



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE POTRAVIN A BIOTECHNOLOGIÍ

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

STUDIUM EFEKTU HNOJIVA OBSAHUJÍCÍ PŠENIČNÉ OTRUBY NA RŮST SALÁTU

STUDY OF THE EFFECT OF FERTILIZER CONTAINING WHEAT BRAN ON LETTUCE GROWTH

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kamila Smrčková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Číslo práce: FCH-DIP1723/2021

Akademický rok: 2021/22

Ústav: Ústav chemie potravin a biotechnologií

Studentka: **Bc. Kamila Smrčková**

Studijní program: Chemie a technologie potravin

Studijní obor: Potravinářská chemie a biotechnologie

Vedoucí práce: **doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.**

Název diplomové práce:

Studium efektu hnojiva obsahující pšeničné otruby na růst salátu

Zadání diplomové práce:

1. Zpracujte literární rešerši k řešené problematice
2. Provedte charakteristiku materiálů které budou využity v růstových experimentech
3. Provedte růstové experimenty v laboratorním měřítku se surovou půdou a s půdou obohacenou různými poměry biouhel/otruby/kávová sedlina
4. Zpracujte získaná data

Termín odevzdání diplomové práce: 13.5.2022:

Diplomová práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí diplomové práce.

Bc. Kamila Smrčková
studentka

doc. Ing. Pavel Diviš, Ph.D.
vedoucí práce

prof. RNDr. Ivana Márová, CSc.
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2022

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

ABSTRAKT

Cílem práce bylo provést růstové experimenty v laboratorním měřítku s půdou, která byla obohacována 2,5 obj. % pšeničnými otrubami/kávovou sedlinou/biouhlem a studovat půdní i růstové charakteristiky na salátu *Lactuca sativa* L. Kávová sedlina byla přidávána surová nebo upravována oxidací/extrakcí. Germinační testy potvrdily fytotoxické vlastnosti kávové sedliny i přes snahy snížit obsah fenolických látek. Přidání výše uvedených půdních aditiv mělo zvýšený efekt na obsah organické hmoty, vodní kapacitu, pH a vodivost všech směsí oproti kontrolní půdě. Prvková analýza půd před pěstováním nám neprokázala žádný pozitivní přírůstek obsahu minerálních prvků vůči kontrolní půdě. Naopak po pěstování byl nalezen vyšší obsah minerálních prvků (P, Mg, Ca, K, Mn, Fe, Cu a Al) vůči čisté půdě. Vypěstované saláty obsahovaly nejvíce chlorofylu *a*, který dosahoval nejmenších hodnot u salátu vypěstovaného ve směsi s EXKS. Vypěstovaný salát se také lišil minerálním složením. Směs BU+OT+PŮDA obohatila salát fosforem. Naopak směs s EXKS měla negativní vliv na obsah draslíku. Mikroprvky jako je Fe, Zn, Al, Cu, Cr a Mn byly nejvíce ovlivněny v salátu přidáním surové kávové sedliny a OXKS2.

ABSTRACT

The aim of the work was to perform growth experiments on a laboratory scale with soil, which was enriched with 2,5 vol. % of wheat bran/coffee grounds/biochar and to study soil and growth characteristics on *Lactuca sativa* L. The coffee grounds were added raw or modified by oxidation/extraction. Phytotoxic properties of coffee grounds were confirmed by germination tests, although there was an effort to reduce the content of phenolic substances by oxidation /extraction. Soil additives caused an increase in content of organic matter, water capacity, pH and conductivity of all mixtures compared to the control soil. Elemental analysis of soils before cultivation did not show any positive effect on the content of mineral elements compared to the control soil. On the other hand, higher mineral (P, Mg, Ca, K, Mn, Fe, Cu and Al) content compared to soil was recorded cultivation experiments. Chlorophyll *a* was the most abundant in cultivated plants and reached the lowest concentration in plants grown in a mixture with EXKS. Salads differed in mineral content, too. Salads with the highest content of phosphorus were grown on the mixture BU+OT+PŮDA. On the contrary, content of potassium in salads was negatively affected by mixture with EXKS. Microelements (Fe, Zn, Al, Cu, Cr and Mn) were most affected in the salad by the addition of raw coffee grounds and OXKS2.

KLÍČOVÁ SLOVA

půda, pšeničné otruby, kávová sedlina, biouhel, salát, potravinářský odpad

KEY WORDS

soil, wheat bran, spent coffee grounds, biochar, lettuce, food waste

SMRČKOVÁ, Kamila. *Studium efektu hnojiva obsahující pšeničné otruby na růst salátu*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139246>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie potravin a biotechnologií. Vedoucí práce Pavel Diviš.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické Vysokého učení technického v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT v Brně.

.....

podpis autora

Poděkování: Velmi ráda bych poděkovala mému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Pavlu Divišovi, Ph.D. a také konzultantce Ing. Zuzaně Juglové za cenné rady a připomínky, za věnovaný čas a odborné vedení této diplomové práce.

OBSAH

1	Úvod.....	7
2	TEORETICKÁ ČÁST.....	8
2.1	Potravinářský odpad.....	8
2.1.1	Kávová sedlina	10
2.1.2	Pšeničné otruby.....	12
2.2	Biouhel.....	15
2.3	Hnojiva.....	16
2.3.1	Minerální hnojiva	17
2.3.2	Organická hnojiva.....	18
2.4	Půda.....	19
2.4.1	Chemické a biologické složení půd	20
2.4.2	Fyzikální vlastnosti půd.....	21
2.4.3	Fyzikálně-chemické vlastnosti	22
2.5	Rostliny	23
2.5.1	Makroprvky	23
2.5.2	Vybrané mikroprvky.....	27
2.6	Využití statistické metody	28
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	29
3.1	Použité přístroje a laboratorní vybavení	29
3.2	Použité chemikálie	30
3.3	Detoxifikace kávové sedliny	31
3.3.1	Oxidace kávové sedliny za využití KMnO_4	31
3.3.2	Oxidace kávové sedliny za využití H_2O_2 a KMnO_4	31
3.3.3	Extrakce kávové sedliny	31
3.4	Obsah FL v půdních aditivech	32
3.4.1	Extrakce fenolických látek	32
3.4.2	Stanovení FL pomocí HPLC	32
3.4.3	Stanovení FL pomocí UV-VIS	32
3.5	Metoda elementární analýzy půdních aditiv	33
3.6	Stanovení pH extraktů vzorků biouhlu	33
3.7	Charakterizace půdních směsí a půdních aditiv	34
3.7.1	Granulometrie půdy	34
3.7.2	Žíhání.....	34
3.7.3	Stanovení pH	34
3.7.4	Stanovení vodivosti	34
3.7.5	Vodní kapacita půdy a směsí	35
3.7.6	Příprava extraktu vzorků půd	35
3.7.7	Metoda elementární analýzy půdy a půdních směsí.....	35
3.8	Růstový experiment	36
3.8.1	Germinační testy	36

3.8.2	Klíčení salátu	37
3.8.3	Pilotní růstový experiment.....	37
3.8.4	Rozšířený růstový experiment	38
3.8.5	Charakteristika vypěstovaných rostlin.....	38
4	VÝSLEDKY A DISKUZE	40
4.1	Obsah fenolických látek.....	40
4.1.1	Vliv úpravy KS na obsah FL	40
4.1.2	Obsah FL v pšeničných otrubách	42
4.2	Fyzikálně chemické vlastnosti půdy	43
4.3	Fyzikálně chemické vlastnosti směsí	45
4.3.1	Obsah organické hmoty	46
4.3.2	Maximální kapilární vodní kapacita dle Nováka.....	46
4.3.3	Vodivost a pH.....	47
4.3.4	Minerální složení	50
4.4	Germinační testy	63
4.5	Pilotní růstový experiment	64
4.6	Rozšířený růstový experiment	67
5	ZÁVĚR.....	73
6	REFERENCE	75
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	91
8	PŘÍLOHA.....	93

1 ÚVOD

V dnešní době je trendem bezodpadové hospodářství, popřípadě maximální využití vzniklých odpadů. Potravinářský odpad obsahuje velké množství organické hmoty, a má dobrý předpoklad k využití jako organické hnojivo do půd. Nevýhodou organických hnojiv je pomalejší dostupnost minerálních látek, na druhou stranu mají dlouhodobější účinek a zlepšují fyzikální vlastnosti půdy.

Odpady vzniklé v zemědělství mohou mít výhodné vlastnosti pro využití jako půdního aditiva. Jedním z odpadů jsou pšeničné otruby, což je surovina vznikající při zpracování mletí pšenice. Pšeničné otruby jsou velmi bohaté na obsah minerálních látek (především fosforu a hořčíku), cukrů a vlákniny. Jednou z možností zpracování otrub je výroba biouhlu, který má atraktivní fyzikální i chemické vlastnosti, které zvyšují kvalitu půdy. Druhým používaným odpadem je kávová sedlina, má podobné fyzikálně-chemické vlastnosti, ale je posuzována jako fytotoxická kvůli vysokému obsahu fenolických látek.

Rychlý průmyslový rozvoj a lidská činnost způsobily zhoršení kvality půdy a úrodnosti. Roste zájem o rekultivaci málo úrodných půd za účelem zlepšení výnosu plodin a udržitelnosti. Pro výrobu hnojiv je nutné používat odpady, které nejsou toxické a neobsahují žádné těžké kovy. Dále je nutné, aby obsahovaly nejdůležitější makroprvky, které jsou pro rostlinu životně důležité – uhlík, kyslík, vodík, dusík a fosfor. V práci se zaměřuji na studium vlivu potravinářského odpadu především na růst salátu *Lactuca sativa L.*, změny obsahu minerálních látek v půdě a také vliv na další fyzikálně-chemických vlastností jako je obsah organické hmoty, vodivost, pH, či vodní kapacita půdy.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Potravinářský odpad

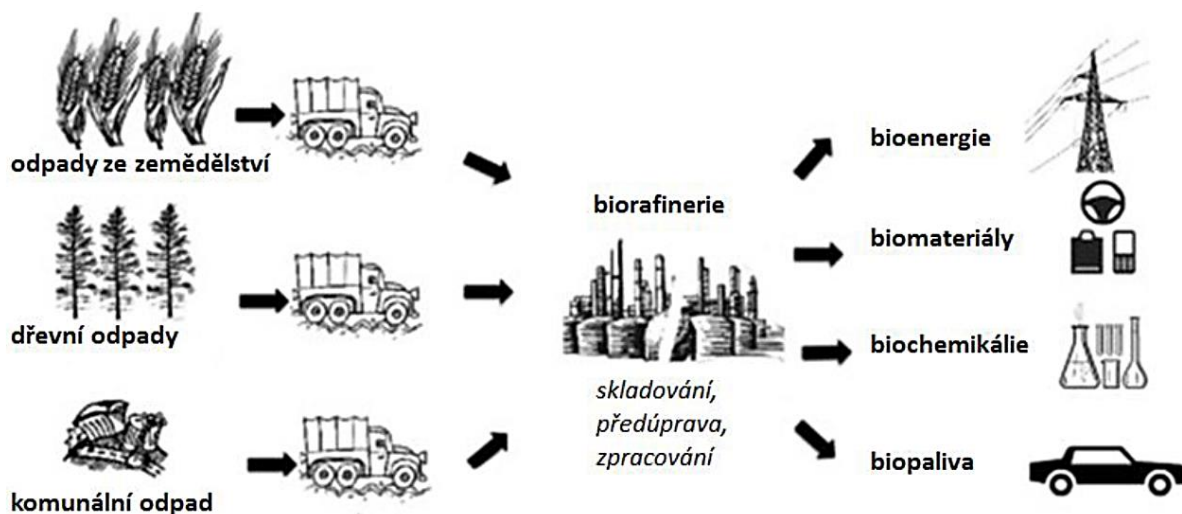
Potravinový systém je komplexní oblastí, která zahrnuje procesy od zemědělské výroby přes transport potravin až po jejich dodání ke spotřebiteli. Evropská unie je jedním z největších výrobců potravin na světě, což přispívá k většímu úbytku biologické rozmanitosti zemědělské půdy, znečištění půd, řek a jezer, případně ke zvýšené produkci CO₂ [1]. Přibližně 1,4 miliardy hektarů úrodné půdy (28 % světové zemědělské plochy) se ročně spotřebuje na produkci potravin, které se ztratí nebo se vyplývají. Kromě plýtvání potravinami a půdními zdroji se odhaduje, že uhlíková stopa plýtvání potravinami přispívá k emisím skleníkových plynů, a to přibližně 3,3 miliardami tun CO₂ ročně [2].

Největší množství potravinového odpadu vzniká ve fázi spotřeby (46 %), následuje prvovýroba (25 %), zpracování a výroba (24 %). Distribuční a maloobchodní fáze představují pouze 5 % potravinového odpadu vytvořeného v dodavatelském řetězci. Pokud se zaměříme na procentuální rozložení odpadů dle skupin potravin, pak zelenina (24 %) a ovoce (22 %) jsou skupiny potravin, které tvoří největší množství potravinového odpadu. Větší množství potravinového odpadu u ovoce a zeleniny vznikají ve fázi spotřeby, což souvisí s jejich vysokým nepoživatelným podílem a nižší dobou trvanlivosti ve srovnání s jinými skupinami potravin. Po ovoci a zelenině následují odpady z obilovin (12 %), masa (11 %) a olejnin (10 %). Ryby a vejce, které tvoří nejmenší části potravinového dodavatelského řetězce, produkují nejnižší množství potravinového odpadu, a to navzdory skutečnosti, že velká část těchto skupin potravin (50 % a 31 %) jde do odpadu [3].

V Evropě se za rok 2012 vyprodukovalo 88 milionů tun odpadu, který zahrnuje jak jedlé potraviny, tak nepoživatelné části spojené s potravinami. Velká část tohoto odpadu je přitom ještě vhodná k dalšímu využití. V posledním desetiletí je široce rozvíjen koncept biorafinerie (obrázek 1). Jedná se o technologie, ve kterých dochází k paralelní konverzi odpadní biomasy na biomateriály, biochemikálie a biopaliva souběžně s výrobou elektrické energie či tepla. Biorafinerie jsou již zavedeny např. pro zpracování řepky, cukru nebo dřevního odpadu [4, 5].

Využitelný odpad z potravin se může zkrmovat, zaorávat zpět do půdy pro její obohacování o organické a minerální látky, kompostovat, zpracovávat v anaerobní digestci nebo spalovat pro výrobu tepelné a elektrické energie. Při nakládání s potravinářským odpadem je nutné věnovat pozornost rizikovým faktorům jako organické a mikrobiální znečištění, pach aj. [4]

Všechny tyto možnosti valorizace odpadu by mohly přinést výhody z hlediska životního prostředí díky snížení emisí metanu ze skládek a zachování přírodních zdrojů, jako je uhlí a další fosilní paliva. Dalším pozitivem by bylo snížení nedostatku potravin a úspora nákladů spojených s nadprodukcí potravin, a také by došlo ke konkrétním investicím do zakládání nepotravinářských plodin určených k výrobě biopaliv nebo bioplastů [6].



Obrázek 1: Zpracování bioodpadů v rafinérii [7].

Skládkování nebo spalování odpadů představuje poslední a nejméně žádoucí možnost. Biologicky rozložitelný organický materiál je totiž zdrojem nepříznivých environmentálních dopadů a rizik při tradičním skládkování (zápachy, požáry, vznik těkavých organických látek, kontaminace podzemních vod, výluhy, globální klimatické změny atd.). Tepelné zpracování je zase omezeno nízkou výhřevností organického odpadu [6].

Postup nakládání s odpadem je popsán ve směrnici evropského parlamentu č. 98/2008 o odpadech a v pozdějších novelizacích tohoto zákona (článek 4). Jedná se o tzv. hierarchii upřednostňování strategií prevence nadbytečných potravin, vedlejších produktů a plýtvání potravinami. V první řadě by měla být snaha o předcházení vzniku odpadů, poté příprava k opětovnému použití, následná recyklace, popř. jiné využití (např. energetika), a následně až odstranění [8, 9].

Je nutné, abychom se snažili eliminovat všechny tyto příčiny, a to již od samotné produkce v technologických inovacích, které snižují omezení související s vnitřními vlastnostmi potravinářských produktů a se způsobem jejich výroby a využití. Dalším potenciálem pro zlepšení nakládání s odpadem je zefektivnění výroby potravin [10].

Celosvětově byla provedena řada studií se zaměřením na snížení potravinového odpadu v domácnostech. Několik z nich ukázalo, že pohodlí při třídění, úložný prostor doma, dostupnost třídících zařízení, přístup k systému sběru u chodníku a vzdálenost ke sběrným místům jsou důležitými vlivnými faktory, které mohou zvýšit míru recyklace a snížit tak množství komunálního odpadu [11, 12].

2.1.1 Kávová sedlina

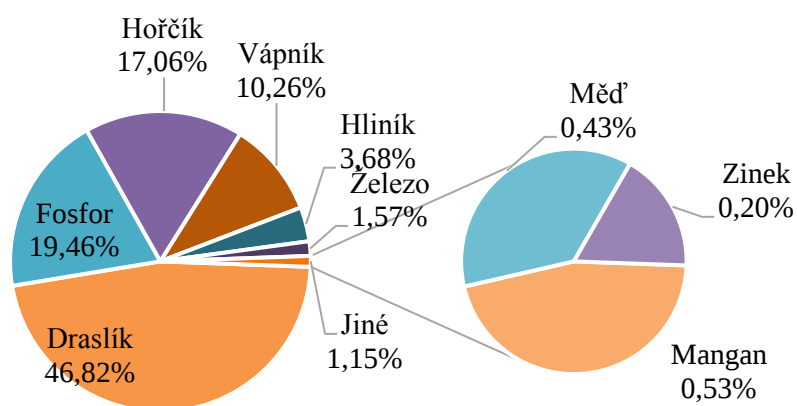
Kávové nápoje jsou jedním z nejrozšířenějších komodit na světě a v posledních desetiletích se zvyšuje jejich spotřeba a s tím roste množství generovaného odpadu. V roce 2015 dosáhla celosvětová spotřeba kávy cca 9,1 miliardy kilogramů ročně a kávová sedlina (KS) z toho činí přibližně 75 % [13]. Ve velkém množství se kávová sedlina likviduje ukládáním na skládkách, přičemž vzniká hojné množství těkavých látek, které znečišťují životní prostředí. Proto je pro jeho udržitelné hospodaření nezbytná alternativa opětovného použití [14, 15].

Díky svému zajímavému chemickému složení a fyzikálním vlastnostem přitahuje kávová sedlina pozornost odborníků zabývajících se odpadovým hospodářstvím. Fyzikální vlastnosti kávové sedliny byly popsány například ve studii Ballesterosema a kol. Bylo zjištěno, že vodní kapacita dosahuje až 5,7 g vody/g suché KS a antioxidační potenciál DPPH (metoda zhášení radikálového kationtu 2,2-difenyl-1-pikrylhydrazyl) byl stanoven na $\sim 20,0 \mu\text{mol TE} \cdot \text{g}^{-1}$ suché KS [16] (TE-vyjádření v μM ekvivalentu Troloxu na 100 g sušené hmoty). Hodnota antioxidačního potenciálu je závislá na stupni pražení, typu kávy, typu extrakce, ale i na použitém antioxidačním testu, čemuž se věnuje studie Del Castillo a kol. [17].

Organická hmota, včetně polysacharidů, zejména celulózy (s glukózou jako hlavní složkou) a hemicelulózy (s manózou, galaktózou a arabinózou) jako hlavními složkami tvoří polovinu suché hmoty KS, dále sem patří také lignin, proteiny a oleje, které jsou také významné složky v KS (viz tabulka 1) [18]. Kromě toho KS obsahuje značné množství minerálních látek (viz obrázek 2), jako je dusík (v rozmezí 1,2 až 2,3 %), fosfor (v rozmezí 0,02 až 0,5 %) a draslík (v průměru 0,35 %), což nabízí možnost aplikace KS v zemědělství jako hnojivo nebo jako půdní kondicionér [19]. Nicméně zemědělské využití KS komplikuje vysoký obsah kofeinu, tříslovin a dalších fenolů zastoupených v tomto materiálu [20, 21].

Tabulka 1: Charakterizace kávové sedliny (dwt= troy penny weight; 643,015 troy penny weight=1 kilogram) [21, 22, 23, 24]

Parametr	Množství
Výhřevnost [MJ/kg]	19,0–26,9
Vlhkost [%]	1,18–65,7
Dusík [hm. %]	2,3
Celkový uhlík [%, dwt]	47,8–69,5
Celulóza [hm. %]	8,6–13,3
Hemicelulózy [hm. %]	30–40
Arabinóza [hm. %]	1,7
Galaktany [hm. %]	13,8
Mannany [hm. %]	21,5
Bílkoviny [hm. %]	6,7–13,6
Tuky [hm. %]	10,0–20,0
Celkové cukry [mg/kg]	8,5 ± 1,2
Celkové fenolické látky [%, dwt]	1,5 ± 1,0
Pektiny [%, dwt]	0,01 ± 0,005
Lignin [%, dwt]	25–33
Tanniny [%, dwt]	0,02 ± 0,1
Chlorogenové kyseliny [%, dwt]	0,4789–3,3
Kofein [hm. %]	0,02
Acetylové skupiny [%, dwt]	2,2
Popel [hm. %]	1,6
Poměr C/N	22/1
Organická hmota [hm. %]	90,5



Obrázek 2: Výšečový graf charakterizující procentuální obsah prvků v kávové sedlině [21].

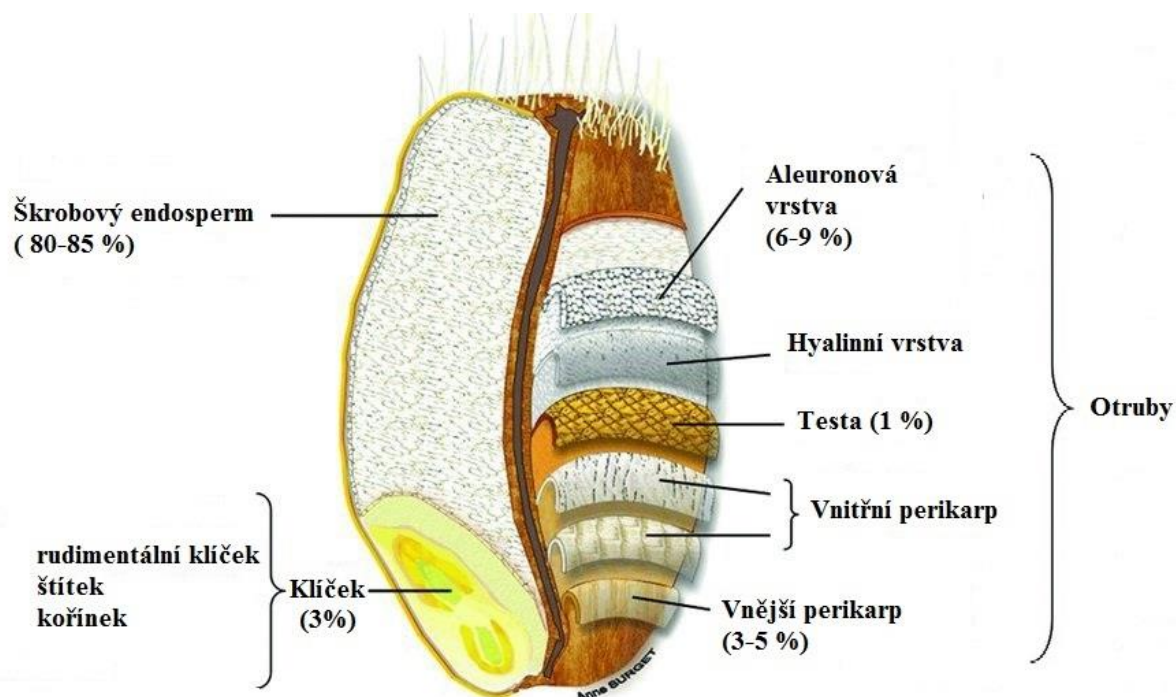
Přibývá mnoho studií, které se zaměřují na různé možnosti využití odpadu, který vzniká při zpracování kávy. Obruča a kol. popsal ve své studii využití kávové sedliny pro produkci polyhydroxyalkanoátů (PHA) a/nebo karotenoidů z KS [22]. Dalšími možnostmi aplikací KS jsou: výroba bionafty, bioetanolu [25], biouhlu a bioplynu; přímý zdroj paliva [26]; extrakce fenolických sloučenin, antioxidantů a fytosterolů [27]; aplikace do půdy [18].

Vysoký obsah minerálních látek, vysoký poměr C/N a příznivé fyzikální vlastnosti dávají kávové sedlině vysoký agronomický potenciál. Kávová sedlina by mohla zlepšovat kvalitu půdy zadržováním vody a hnojiv, její přidání do půdy může mít pozitivní účinky na životní prostředí díky fixaci uhlíku v půdě [13, 19, 21]. Snížením fytotoxicity KS se zabývala studie Ciesielczuk a kol., ve které bylo navrženo využití KS pro účely hnojení ve směsi KS s popelem z tepelné úpravy biomasy [28]. Naopak využití fytotoxického efektu KS se věnovala studie Reigosa a kol., která využívala negativní vlastnosti kávové sedliny pro inhibici růstu nežádoucího plevelu. Účinky se lišily v závislosti na koncentraci fenolických látek a druhu plevelu [29]. Snížení růstu rostlin je dle studie Batish a kol. připisováno existenci kofeinu (přibližně 0,2 %) v espressu KS spolu s tanniny a chlorogenovými kyselinami, které mohou být toxické pro půdní mikroflóru a plodiny [30]. Ve studii Chrysargyris a kol. se poukazuje na fakt, že při 10% zastoupení kávové sedliny v substrátu došlo k inhibici klíčivosti semen, snížení antioxidační kapacity rostlin a docházelo ke zvýšenému stresu u rostlin. Na druhou stranu ve stejné studii zaznamenali zvýšení klíčivosti při vyšším zastoupení KS v písku, což může souviset se zlepšením fyzikálně chemických vlastností substrátu [19]. Další studie, Caliskanem a kol. poukazuje na to, že sice procenta klíčivosti klesaly na 50 %, při vyšším poměru KS k písku, ale nejvyšší klíčivost byla zaznamenána při aplikaci 10 % KS [31]. Další studie se zabývali využitím předkompostované KS do půdy a jejího vlivu na dostupnost prvků pro rostliny [32, 33, 34]. Přídavek KS přímo do půdy byl studován Cervera-Mata a kol. Bylo zjištěno, že po přidání KS do zemědělských půd před kultivací se významně snížilo pH substrátu. KS také snížila koncentrace N v salátu a tím i jeho růst a biomasu [15]. Ze všech těchto studií vyplývá, že KS snižuje klíčivost potažmo růst rostlin, což potvrzuje, že KS je fytotoxická pro rostliny. Naopak pšeničné otruby zatím nebyly popsány jako fytotoxické, ale zatím u nich nebylo provedeno tolik pěstebních studií jako u kávové sedliny.

2.1.2 Pšeničné otruby

Pšenice spolu s kukuřicí a rýží tvoří asi 90 % světové produkce obilovin. Ročně se na světě vyprodukuje přes 650 milionů tun pšenice, z toho se více než 69 % používá jako potravina. Pšenice se zpracovává mletím na mouku, během procesu mletí vznikají vedlejší produkty: pšeničné otruby, pšeničné klíčky a části endospermu. Množství vymleté mouky se pohybuje od 73 do 77 % v závislosti na procesu mletí, odrůdě pšenice a pěstebních podmínkách. Pšeničné otruby se skládají z různých vrstev (viz obrázek 3); perikarp, testa, hyalinní a aleuronová vrstva. Otrubová frakce však také může zahrnovat části škrobového

endospermu a aleuronové vrstvy, protože není možné dokonale oddělit všechny jednotlivé vrstvy pšeničného jádra [35].



Obrázek 3: Morfologie pšeničného zrna – vnější obalové vrstvy a vnitřní struktura zrna. Upraveno podle [36, 37].

Pšeničné otruby (OT) se skládají z vlákniny (53 %), kterou tvoří xylany, lignin, celulóza, galaktan a fruktan. Dalšími významně zastoupenými složkami jsou minerální látky, vláknina, vitamín B a bioaktivní sloučeniny (např.: flavonoidy, karotenoidy, steroly). Fenolické sloučeniny a jejich polymerní forma lignin se v otrubách nacházejí vázané v aleuronu v různých koncentracích. Hlavní fenolickou sloučeninou je kyselina ferulová. Celkově vzato jsou pšeničné otruby cenným zdrojem snadno dostupné škrobové frakci a také relativně vysoké koncentraci proteinů ve srovnání s jinými lignocelulóзовými surovinami, jako je dřevo nebo sláma [16]. Proto se zvyšuje jejich využití v potravinářském, tak i nepotravinářském směru [38]. Podrobná charakterizace pšeničných otrub je uvedena v tabulce 2.

Tabulka 2: Charakterizace pšeničný otrub (dm=dry matter) [38, 39, 40].

Parametr	Množství
Vláknina [% dm]	33,4–63
Vlhkost [% dm]	8,1–12,7
Popel [% dm]	3,9–8,10
Bílkoviny [% dm]	9,6–18,6
Celkové sacharidy [% dm]	60–75
Škrob [% dm]	9,1–38,9
Alkylresorcinol [$\mu\text{g/g}$]	489–1429
Fytosteroly [$\mu\text{g/g}$]	344–2050
Kyselina ferulová [$\mu\text{g/g}$]	1376–1918
Flavonoidy [$\mu\text{g/g}$]	3000–4300
Vázané fenolické sloučeniny [$\mu\text{g/g}$]	4,73–2020
Fosfor [mg/100 g]	900–1500
Hořčík [mg/100 g]	530–1030
Zinek [mg/100 g]	8,3–14
Železo [mg/100 g]	1,9–34
Mangan [mg/100 g]	0,9–10,1
Vitamin E [mg/100 g]	0,13–9,5

Cenné látky je možné získat z otrub několika cestami. První možností je klasický způsob biorafinérie, kde mohou být otruby do značné míry dezintegrovány a rozděleny na frakce s vysokou čistotou, které poté slouží jako prekurzory pro výrobu dalších látek (např. kyselina polymléčná, ethanol). Druhá cesta využívá otruby jako histologicky a chemicky heterogenní materiál obsahující látky, které jsou samy o sobě cenné, ale je nutné je oddělit a vyčistit. Tyto sloučeniny lze rozdělit do čtyř hlavních skupin: rozpustná a nerozpustná vláknina např. arabinoxylan [41, 42] a β -glukan [43]; skupina cukrů a jejich derivátů, např. škrob [44], glukóza [45] a kyselina jantarová [46]; sekundární rostlinné metabolity např. kyselina ferulová [47]; proteiny [48].

V současné době se pšeničné otruby používají hlavně jako krmivo pro hospodářská zvířata. Pro potravinářské účely se využívá velmi malé množství otrub, jelikož mají především negativní sensorické atributy, převážně hořkou chuť. Dalším důvodem jejich nízkého využívání je výrazná schopnost zadržovat vodu, a tím negativní ovlivnění reologických vlastností těsta, což vede např. ke tvorbě chleba s malým objemem a nízkou elasticitou. Vzhledem k velkému množství narůstající biomasy otrub a nízké hodnotě krmných produktů z otrub se mlýnský průmysl zaměřuje na nalezení nových aplikací s přidanou hodnotou pro pšeničné otruby [35]. Koncept integrované biorafinérie, který kombinuje mletí mouky s výrobou nových funkčních potravin, krmiv pro zvířata obohacených živinami a chemikáliemi s přidanou hodnotou, představili Koutinas a kol. [49].

Otruby mohou být považovány také za důležitý zdroj minerálních látek, což je skutečnost, která dosud nebyla brána v úvahu. Například rostoucí poptávka po průmyslových hnojivech může být hnací silou ve výzkumu v této oblasti [50].

Pšeničné otruby jakožto odpadní materiál nabízí možnost využití v zemědělství pro fortifikaci půdy, díky svým fyzikálním a chemickým vlastnostem. Studie Zhang a kol. se zabývala přidáním pšeničných otrub, hnojiva a zaočkování *Pseudomonas sp. SB* do půdy znečištěné PAH (polyaromatické uhlovodíky). Po 60 dnech byla pozorována nejvyšší degradace PAH v půdě s pšeničnými otrubami a hnojivem, díky nárůstu mikroorganismů v půdě. Pšeničné otruby totiž významně podporovaly růst některých půdních mikroorganismů [51].

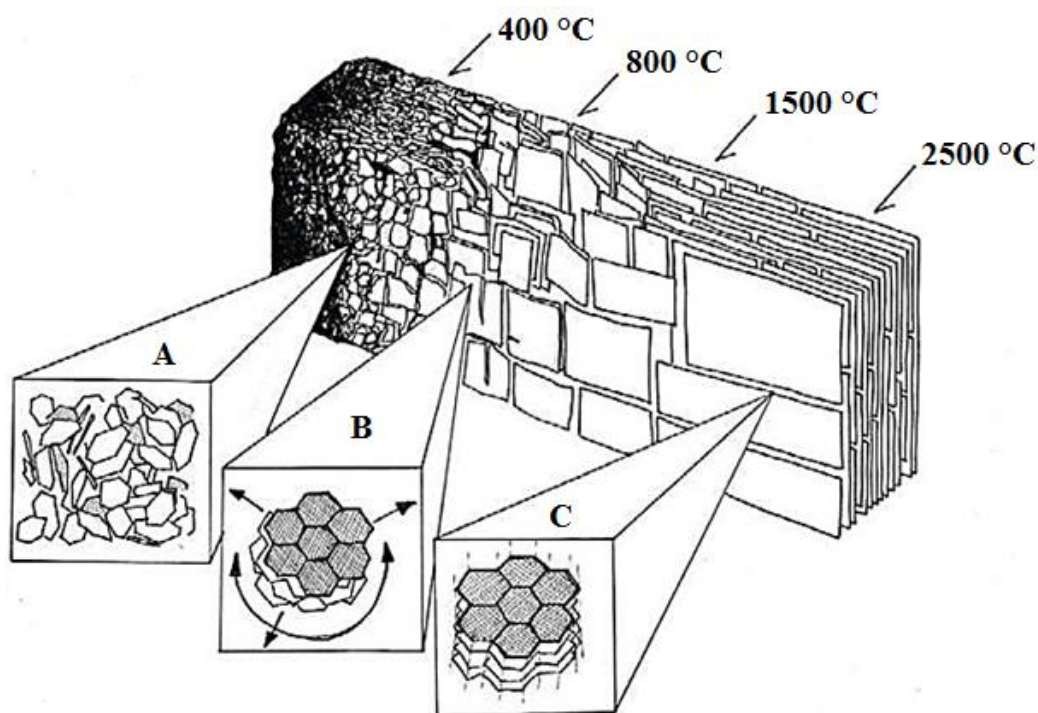
2.2 Biouhel

Biouhel (BU) je materiál vyrobený spalováním organické hmoty za omezeného přístupu kyslíku, tento proces se nazývá pyrolýza. Vhodným materiálem pro přípravu biouhlu jsou suroviny s vysokým obsahem lignocelulózy, např.: zemědělské odpady (seno, sláma, otruby aj.) a popř. kaly z čistíren odpadních vod. Dalšími možnostmi výroby BU jsou zplyňování a hydrotermální karbonizace. Připravený biouhel může být modifikován za účelem zvětšení povrchu, změny funkčních skupin, zvýšení magnetického účinku nebo zvýšení katalytické kapacity [52].

Biouhel má atraktivní fyzikální vlastnosti, které závisí na podmínkách pyrolýzy a charakteristikách suroviny. Provádění pyrolýzy při určité teplotě vede k akumulaci nebo ztrátě určitých živin. Například celkový obsah P v BU může klesat při teplotách nad 760 °C kvůli těkání během pyrolýzy [53]. U celkového obsahu N je možné dosáhnout nejvyšší úrovně při teplotách pyrolýzy mezi 300 a 400 °C v důsledku ztráty heterocyklických sloučenin obsahujících dusík [54].

Biouhel vyrobený při vysokých teplotách ($t > 400$ °C [55]) má větší povrch s vysokou porézností, vyšší obsah organického uhlíku, adsorpční kapacitu a kapacitu kationtové výměny (KVK), zároveň má vysoké pH [56]. Biouhel pyrolyzovaný při vysokých teplotách podporuje zadržování živin v půdě a svým vysokým pH podporuje snižování kyselosti půdy [57]. Snižováním pH půdy může být také vyvoláno vápnění [56]. Na některé vlastnosti závislé na teplotě pyrolýzy se můžeme podívat na obrázku 4.

Nízkoteplotní pyrolýza (do 400 °C) má vyšší výtěžnost a produkuje BU s nižším pH. V kyselých půdách má tento biouhel však minimální vliv na pH, zatímco v alkalických půdách může mírně snižovat pH a tím ovlivňovat rozpustnost půdních živin, jako je P a další stopové prvky [58]. Vzniklý biouhel obsahuje větší množství těkavých látek a na jeho povrchu je více funkčních skupin s kyslíkem, které působí jako místa výměny živin [59, 60]. Biouhel produkovaný při nízkých teplotách má tendenci obsahovat organické látky (nasycené a nenasycené uhlovodíky), které podporují mikrobiální aktivitu v půdě [61].



Obrázek 4: Ideální vývoj struktury biouhlu vytvořeného při určitých teplotách: (A) zvýšený podíl aromatického uhlíku, vysoce amorfní struktura; (B) nárůst konjugovaných systémů aromatického uhlíku, turbostraticky uspořádané; (C) struktura se stává pravidelná v 3D [62].

Vzhledem ke svému potenciálně vysokému obsahu povrchových funkčních skupin může BU zvýšit půdní KVK, zejména v půdách s písčitou texturou [58]. Zvýšení půdní KVK snižuje vyplavování živin z půdního profilu a zvyšuje dostupnost živin pro kořeny rostlin [63]. Dle studie Mukherjee a kol. dochází ke zvýšení KVK stárnutím biouhlu v půdě [64]. Je také známo, že aplikace BU zvyšuje obsah dusíku v půdě [58]. Biouhel poskytuje vhodné prostředí pro půdní mikroorganismy (např. lepší provzdušnění půdy, zvýšení obsahu vody atd.) [65, 66], dodává živiny pro jejich růst a stimuluje jejich aktivitu [67], čímž zlepšuje úrodnost půdy a produktivitu plodin [68]. Biouhel přitahuje pozornost také jako nástroj sekvence C pro kompenzaci zvyšujících se koncentrací CO_2 v atmosféře [69]. Vzhledem k dlouhým poločasům rozpadu C (v rozmezí 102 až 107 let) je uhlíková složka BU v půdě stabilnější a odolnější než jiné organické úpravy půdy, např. jako kompost a hnůj, které mají relativně vysokou rychlost degradace [70].

2.3 Hnojiva

Hnojivo lze definovat jako těžený, rafinovaný nebo vyrobený produkt obsahující jednu nebo více základních rostlinných živin v dostupných nebo potenciálně dostupných formách a v komerčně hodnotných množstvích bez obsahu jakékoli škodlivé látky nad přípustné limity. Jako zdroje rostlinných živin může sloužit velké množství různorodých materiálů (např.: přírodní, syntetické, recyklované odpady nebo řada biologických produktů). Určitá

zásoba minerálních a organických zdrojů živin je v půdách přítomna, ale často je nutné je doplňovat vnějšími aplikacemi pro lepší růst rostlin. V praktickém zemědělství najde uplatnění široká škála zdrojů i přes velké rozdíly v jejich povaze, obsahu živin, formách, fyzikálně-chemických vlastnostech a rychlosti uvolňování živin. Zdroje živin jsou obecně klasifikovány jako organické, minerální nebo biologické. Většina živin vstupujících do zemědělství pochází z komerčních minerálních hnojiv, které poskytují rychlé uvolňování živin a snadnou aplikaci. Na druhou stranu je snaha o nahrazení minerálních hnojiv organickými hnojivy, jejichž výroba by neznečišťovala životní prostředí. Organická hnojiva hrají sice významnou roli z ekologického hlediska a pozitivního účinku na vlastnosti půdy, ale jejich přínos z hlediska minerálních látek je významně menší [71].

2.3.1 Minerální hnojiva

Minerální hnojiva jsou tradičně klasifikována do dvou větších skupin na jednoduchá a komplexní hnojiva. Jednoduchá hnojiva obsahují jednu ze tří hlavních živin: dusík, fosfor nebo draslík. Komplexní hnojiva se skládají alespoň ze dvou makroživin a často se kombinují s mikroživinami [71].

Dusíkatá hnojiva se vyrábí nejvíce jako soli amoniaku nebo sloučeniny dusíku, které se nakonec v půdě přemění na amonný kationt [72]. Nejčastějšími dusíkatými hnojivy jsou kapalný nebo plynný amoniak, močovina, dusičnan vápenatý, síran amonný. Amoniak je nejčastěji zastoupeným zdrojem dusíku v plynných minerálních hnojivech [71]. Močovina je dnes nejdůležitějším a nejrozšířenějším N hnojivem na světě [73]. Je to organická dusíkatá sloučenina vyrobená synteticky z amoniaku a oxidu uhličitého. Hnojivo vyrobené z močoviny je možné podávat formou granulí a v půdě vytváří slabě kyselé pH [71]. Síran amonný je kyselinotvorné hnojivo, které je vysoce rozpustné ve vodě. Výhodná aplikace síranu amonného je především do půd, které jsou chudé na síru a dusík [74]. Dusičnan vápenato-amonný je směs dusičnanu amonného a jemně mletého vápence nebo dolomitu, který je granulovaný. Dusičnany jsou dobře rozpustné ve vodě a mohou být lehce vyplavovány z půdy [71].

Fosfátová hnojiva obsahují P, většinou ve formě fosforečnanů vápenatých, amonných nebo draselných. Jedním z nejznámějších je tzv. superfosfát jednoduchý – směs $\text{CaSO}_4 + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, který je skvělým doplňkem fosfátu i síry. Trojitý superfosfát – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ se vyrábí rozkladem surových fosfátů kyselinou sírovou a veškerý fosfor obsažený v superfosfátu je ve vodě rozpustný. Trojitý fosfát oproti jednoduchému není zdrojem síry. Thomasova moučka je vedlejším produktem procesu výroby oceli ze surového železa v otevřeném ohni. Používá se na hnojení díky pomalému působení na půdu [75, 71].

Draselná hnojiva jsou převážně ve vodě rozpustné soli [71]. Nejběžnějším zdrojem draslíku je chlorid draselný, jedná se o přírodní minerál těžený z hlubinných ložisek. Chloridy jsou ve vyšších dávkách toxické pro rostliny, a proto se pro některé citlivější rostliny zásadně

nepoužívají např. pro chmel, citrusy, révu vinnou a cibuli. Vedlejším produktem těžby KCl je síran draselný a dusičnan draselný. Oba jsou také komerčně dostupná draselná hnojiva, ale jsou dražší [76].

Vápenatá hnojiva snižují kyselost půdy. Mezi běžná vápenatá hnojiva řadíme oxid vápenatý, hašené vápno, zemědělský vápenec, dolomit, dusičnan vápenatý, chlorid vápenatý, sádrovec, cheláty vápníku atd. Suroviny pro vápenatá hnojiva jsou hojné, protože celé hory se skládají z uhličitanu vápenatého a nechybí ani sádrovec. **Síra** se většinou vyskytuje ve vícesložkových hnojivech, jedinou výjimkou je elementární síra. Je mnoho dalších sloučenin, které slouží jako živiny pro rostliny v půdě, je ale u nich velmi specifické použití [71].

Chemická hnojiva na jedné straně zvyšují výnosy plodin, jsou však drahá a poškozují životní prostředí. Negativními vlivy poškozující životní prostředí jsou např.: vyplavování a znečištění vodních nádrží, snížení dynamické populace mikroorganismů v půdě a vodě a populace užitečného hmyzu, zvýšení emise skleníkových plynů, snížení úrodnosti půdy a narůstající nedostatek mikroživin v půdě, které snižují účinek NPK hnojiv a mnoho dalších [71, 77]. Výhradní závislost na anorganických hnojivech tedy není udržitelnou možností pro dlouhodobou úrodnost půdy a výnos plodin [56].

2.3.2 Organická hnojiva

Organická hnojiva pocházejí především z látek rostlinného a živočišného původu. Přírodní zdroje obsahují kromě živin (hlavně P – 30 % a N – do 20 %) také organickou hmotu neboli humus, která působí jak na rostliny, tak na půdní mikroflóru [71, 78]. Rozklad organické hmoty provádějí heterotrofní mikroorganismy, čímž napomáhají k uvolňování a koloběhu živin rostlin, zejména dusíku, síry a fosforu. Na tento proces má vliv teplota, vlhkost a okolní půdní podmínky [77]. Právě díky doplnění půdy organickým uhlíkem a energií (cukr a škrob) se podpoří růst biomasy a tím se ilepší parametry dýchání půdy [71, 78].

Půdy, které jsou pravidelně hnojené statkovými hnojivy, jsou úrodnější, protože mají lepší fyzikální vlastnosti (dokážou lépe přijímat vodu, lépe zadržují živiny, jsou odolnější vůči výkyvům pH). Další pozitivní aspekt představují nízké náklady na výrobu a využívání obnovitelných zdrojů pro výrobu organických hnojiv. Účinek organických hnojiv je pozvolnější, ale s dlouhodobějším účinkem na půdu. Účinky organických hnojiv byly sledovány následujícími studiemi: komposty z tuhého komunálního odpadu různého stáří, čistírenských kalů a statkových hnojiv mohou zvýšit mikrobiální biomasu [79, 80], odpad z čistíren odpadních vod může zlepšit strukturu půdy a kapacitu zadržování vody [81], při mulčování na vinici se díky aplikaci odpadu snížila potřeba chemické regulace plevelů [82] a byly potlačeny choroby rostlin [83].

Většina organických zdrojů živin včetně odpadních materiálů, má velmi rozdílné složení a často nízkou koncentraci živin, které se liší svou dostupností [71]. Dalším podstatným

faktorem produkce klasických statkových hnojiv je počet zvířat připadajících na určitou plochu. Podniky se pokouší hledat náhradní opatření nejčastěji zaorávkou slámy nebo zeleným hnojením [8].

Organické zdroje rostlinných živin se ve všech zemích používají v různé formě. Mezi nejčastěji používaná organická hnojiva v ČR řadíme: statková hnojiva (hnůj), upravené živočišné odpady (močůvka, kejda), upravené lehké kaly, kompost, humus [8]. Další koncentrovanější organická hnojiva, jako jsou výlisky, rybí moučka a drůbeží trus, jsou poměrně bohatší na NPK oproti výše zmíněným organickým zdrojům [71].

Hnůj označuje směs složenou z trusu a moči hospodářských zvířat spolu s podestýlkou, případně zbytků krmiv. Hnůj lze použít jednoduše po vysušení na vzduchu nebo po kompostování. Při skladování se organický hnůj částečně rozkládá fermentací, při které vznikají i cenné huminové látky [71]. **Močůvka** patří k dusíkato-draselným hnojivům, jedná se o prokvašenou moč zvířat, která je zředěná vodou. V zemědělské praxi je u močůvky problém s její aplikací a zapravením do půdy [8]. Při roštovém nebo volném ustájení zvířat bez podestýlky vzniká **kejda**, což je směs, která se skládá z trusu a moči, částečně smíchané s malým podílem slámy a s malým nebo velkým podílem vody, aby se zlepšila jeho tekutost. Kejda je celkově velice dobrým zdrojem dobře přijatelných živin N, P i K [71].

Zelené hnojení představuje zaorávání čerstvých zelených rostlin, které byly pěstovány k tomuto účelu (např. hrachor, hořčice a řepka) většinou přímo na místě hnojení. Zelené hnojení přispívá k půdní fixaci dusíku a recykluje půdní živiny z nižších hloubek do ornice. Problémem je dlouhá vegetační doba pro vysévané rostliny, cena osiv a nutné dobré vláhové podmínky stanoviště [8, 71]. Pro životní prostředí má velkou hodnotu kompostování odpadů a využití **kompostu** pro ochranu půdní struktury a pro zásobování plodin živinami. Během kompostování se rozloží všechny rozpustné dusíkaté sloučeniny a bílkoviny na amoniak. Například kompostování organického odpadu může zvýšit obsah N a P v půdě. Obsah P a K v kompostu je běžně stejně vysoká jako u minerálních hnojiv. Kompost se dá aplikovat povrchově, ale také zapravením do půdy. Použitím kompostu v dlouhodobém horizontu se výrazně zlepšila struktura půdy, dále byl povrch lépe chráněn proti stlačovacímu účinku kapek deště a zlepšila se kapacita zadržení vody a pH [79].

2.4 Půda

Půdy představují nejsvrchnější části zemské kůry, přičemž vznikají především zvětráváním hornin, tvorbou humusu a přenosem materiálu. Půda je základním faktorem pro růst a výživu rostlin. Vedle produkční funkce je podstatná z hlediska jejích filtračních, pufracích aj. vlastností, a také tvoří nezbytné prostředí pro růst organismů. Jednotlivé typy půd jsou od sebe velmi odlišné svými vlastnostmi, vzhledem a původem. Půda je řazena mezi neobnovitelné zdroje a má podstatný význam pro současnou i další generaci [8, 71]. Při hodnocení úrodnosti půdy je nutné přihlížet v širších environmentálních aspektech,

nejenom k jejím kvalitám (např.: fyzikální, chemické a biologické vlastnosti). Kvalita půdy je komplexní charakteristika určována mnoha parametry [84]. Jako nejcitlivější indikátor kvality půd slouží mikrobiální procesy, protože jejich reakce na změny půdních podmínek je nejrychlejší ze všech půdních charakteristik [95]. Pokud je půda degradovaná, snižuje se tím její úrodnost, a tím se omezuje produkce potravin, proto je neustále nutné půdu chránit a udržovat [56]. Organizace OSN pro výživu a zemědělství klasifikovala 25 % celosvětové zemědělské půdy jako „vysoce degradované“ [85].

2.4.1 Chemické a biologické složení půd

Půda je heterogenní polydisperzní systém obsahující plynnou, kapalnou a pevnou fázi. Zastoupení jednotlivých skupenství mají velký význam pro příjem živin a vlastní růst rostlin. Půdní póry jsou vyplněny vzduchem, plynná fáze je přitom důležitá pro zvyšování diverzity mikroorganismů v půdě a napomáhá mineralizaci [8, 71].

Kapalná fáze vytváří půdní roztok, který je důležitý pro distribuci a příjem živin v půdě. Kořeny rostlin přijímají živiny pouze v minerálních formách, a to jako kladně nebo záporně nabité ionty (kationty a anionty) z půdního roztoku [71]. Mezi nejčastěji vyskytující se minerální ionty patří oxyaniont fosfát (PO_4^{3-}), síran (SO_4^{2-}), dusičnan (NO_3^-) nebo kationt amonný (NH_4^+) a další kationty jako Ca^{2+} , Mg^{2+} a K^+ [86].

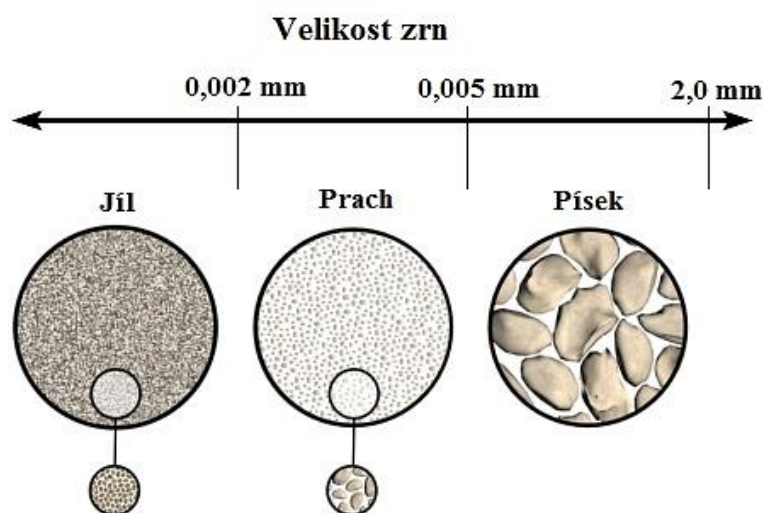
Pevná fáze půdy je zastoupena organickou a minerální částí. Minerální hmota půdy se pohybuje od velkých kusů štěrku, oblázků až po malá zrnka písku, bahna a jílových částic. Kromě toho existují různé oxidy, sírany, křemičitany a uhličitany, které jsou součástí minerální hmoty. Rozdíl ve velikosti mezi hrubou částicí písku (průměr 2,0–0,2 mm) a jemným jílem (méně než 0,002 mm) je tisícinásobný (obrázek 5). Malá velikost částic jílu poskytuje velmi velký reaktivní povrch. Tato jílovitá frakce rozhoduje o sorpci živin, zadržování vody i pohybu vody v profilu. Celkově minerální částice a jejich zastoupení ovlivňují uspořádání částic, velikost pórů, obsah a výměnu vzduchu, zadržování a pohyb vody [8, 71]. Zato půdní organická hmota se skládá ze směsi rostlinných a živočišných zbytků v různém stupni rozkladu. Pro zjednodušení tohoto chemicky velmi složitého a fyzikálně heterogenního systému se půdní organická hmota obvykle dělí na nehumifikované, přechodné a humifikované struktury. Nehumifikované látky se převážně skládají ze sacharidů, bílkovin, tuků a vosků. Větší část půdní organické hmoty však tvoří humifikované látky. Jedná se o amorfni, tmavě zbarvené, částečně aromatické materiály podobné polyelektrolytu, jejichž molekulová hmotnost se pohybuje od několika stovek do několika tisíc Da [87, 88]. Huminové látky jsou dále operativně definovány do tří kategorií: huminová kyselina, fulvová kyselina a nerozpustný humin [87]. Půdní organická hmota hraje přímou roli při výměně kationtů a zadržování vody, uvolňuje živiny do půdního roztoku a produkuje kyseliny, které ovlivňují fixaci a uvolňování dalších živin [71]. Organická hmota obsahuje téměř veškerý uhlík v půdě [88]. Správný poměr mezi dostupným uhlíkem a dusíkem umožňuje mineralizaci. Pokud je dostupný obsah uhlíku v poměru k dusíku vysoký, mikrobi absorbují

minerální dusík z půdního roztoku, což podporuje nedostatek dusíku v rostlinách [79]. Poměr C: N poskytuje obecný index kvality půdní organické hmoty, který se u úrodných půd pohybuje v rozmezí 10–15:1 [71].

2.4.2 Fyzikální vlastnosti půd

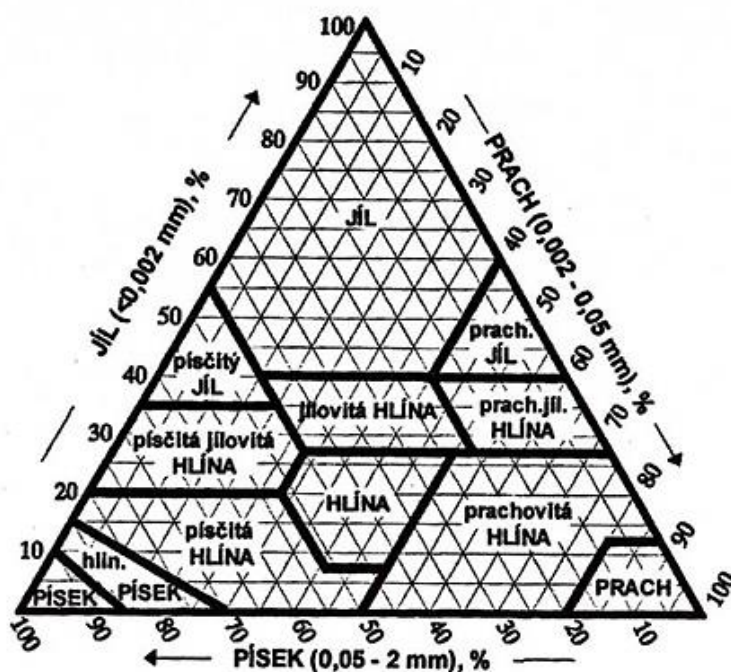
Nejenom chemické složení půdy má vliv na pěstování rostlin, ale také fyzikální vlastnosti půdy jsou důležité, a to především zrnitost, struktura a pórovitost půd. Jejich vliv je podstatný pro infiltraci vody, kapacitu zadržení vody, usazování, stupeň provzdušnění, potenciální objem zakořenění, mobilitu a příjem živin [71, 89].

Zrnitost půdy neboli textura označuje distribuci velikosti částic v půdě. Podstatný význam pro úrodnost a schopnost zadržování vody má procento částic půdy o průměru menším než 2 mm, které tvoří jemnou půdu (písek, prach a jíl). Na tyto částice se můžeme podívat na obrázku 5 [71].



Obrázek 5: Velikosti zrn a pórů mezi zrny [90].

Pro klasifikaci půd dle zrnitosti se využívá tzv. trojúhelníkový diagram zrnitosti (obrázek 6). Kombinací prachu, jílu a písku je možno specifikovat 12 texturních tříd, sdružených v 5 třídách: lehká zemina, lehčí střední zemina, střední zemina, těžká zemina a velmi těžká zemina [91].



Obrázek 6: Rozdělení dle podílu jednotlivých frakcí pomocí tzv. zrnitostního trojúhelníku [90].

Struktura půdy je na rozdíl od textury velice proměnlivým faktorem. Jedná se o trojrozměrné uspořádání různých velikostí a tvarů půdních agregátů. Má vliv na obsah a propustnost vody, pórovitosti a teplotu půdy. Pro zemědělské využití je nejlepším typem velká zrnitá „drťová“ struktura s biologicky vytvořenými houbovitými agregáty o velikosti 0,1–1 cm tvořenými žížalami v kombinaci s vláknitými houbovými hyfami nebo mikroby [71].

Mezery mezi částicemi jsou spojeny do složité sítě pórů různých velikostí. Prostřednictvím tohoto pórového prostoru si půda vyměňuje vodu a vzduch s prostředím. Pohyb vzduchu a vody také umožňuje proudění tepla a živin. Počet a velikost pórů se mezi půdami s různým obsahem organické hmoty, texturou a strukturou značně liší [71]. Póry se mohou dělit do tří skupin na nekapilární (vyplněny vzduchem, voda z nich odtéká gravitací); semikapilární (vyplněny vodou a vzduchem); kapilární (zaplněny vodou, která je zadržována vztláním) [91]. Čím větší póry, tím rychleji protéká voda, a snižuje se tak její zádržnost. Pokud půda obsahuje větší množství vody, je v půdě méně vzduchu, a naopak. Oba parametry jsou potřeba, aby půda sloužila jako médium pro růst rostlin. Snížení obsahu kyslíku může vést k omezení výskytu aerobních mikroorganismů a snížení aktivity oxidačních procesů, naopak se tím zesílí činnost anaerobních mikroorganismů a redukčních procesů [71].

2.4.3 Fyzikálně-chemické vlastnosti

Mezi fyzikálně-chemické vlastnosti řadíme pH, výměnnou kapacitu iontů a sorpční vlastnosti půd. Sorpční vlastnosti půdy vyjadřují schopnost půdy zadržovat látky rozpuštěné, popřípadě dispergované ve vodě. Díky sorpci nedochází k rychlému pohybu živin v půdním profilu

a ztrátám vyplavením [8]. Důležitým ukazatelem zdraví půdy je půdní reakce, která ovlivňuje rozpustnost sloučenin v půdním roztoku, příjem živin rostlinami aj. Stanovuje se jako hodnota pH, která udává kyselost nebo zásaditost půd [71]. Hodnota pH je podmíněna obsahem sloučenin v půdě, které ovlivňují koncentraci iontů H^+ , případně OH^- v půdním roztoku, jedná se hlavně o $CaCO_3$, H_2CO_3 , $Ca(HCO_3)_2$, huminové kyseliny, fulvokyseliny a další [8]. Kyselé půdy se pohybují od pH 3 do 6,5, alkalické půdy od pH 7,5 do 10; většina půd má pH v rozmezí 5–8, zatímco rozmezí pro růst rostlin je v rozmezí pH 3–10. Pouze malé procento dostupných živin se volně pohybuje v půdním roztoku. Většina z nich je volně vázána na minerálních a organických površích ve výměnné formě. Tento mechanismus funguje jako zásobárna jak pro kationty živin, tak pro anionty a je nazýván jako kation výměnná kapacita [71]. KVK půdy je měřítkem množství negativně nabitých míst na površích půdy, která mohou zadržovat kladně nabité ionty (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) elektrostatickými silami. Půda s vyšším KVK má větší kapacitu udržet si adekvátní množství nabitých iontů než půda s nižším KVK [92]. Jílovité půdy mají vyšší KVK než písčité půdy, podobně půdy bohaté na organickou hmotu mají vyšší KVK než půdy s nízkým obsahem organické hmoty [71].

2.5 Rostliny

Rostliny přeměňují světelnou energii na biomasu prostřednictvím fotosyntézy. Jsou základem zemědělské výroby a celého života na Zemi. Produkují organické látky, které jsou bohaté na energii získanou ze Slunce a slouží jako základ pro existenci vyšších organismů - živočichů. S procesem fotosyntézy je úzce svázána produkce kyslíku. Pro svůj růst a vývoj je pro rostliny nutností vhodná teplota, dostatek vody a příjem živin. Potřebné živiny získávají rostliny jak z půdních zásob, tak z vnějších zdrojů živin (hnojiva, organická hnojiva, atmosféra atd.) [71].

Rostlinné živiny jsou látky potřebné k projevu všech životních funkcí rostlin. Celkem 17 prvků řadíme do esenciálních rostlinných živin. Zatímco N, P, K, Ca, S a Mg jsou známy jako makroživiny (obsah v rostlinách do 1,5 % v sušině), Fe, Zn, Cu, B, Mo, Mn, a Cl jsou mikroživiny (obsah v rostlinách je menší než 0,05 %). Zbylých 5 prvků řadíme k mikroživinám, jsou charakteristické jen pro určité druhy rostlin (tzv. prvky užitečné), jedná se o Na, Si, Al, Co a další [71, 93].

2.5.1 Makroprvky

Dusík je jednou ze živin nezbytně nutných pro vegetativní růst plodin. Je potřebný pro syntézu škrobu v listech, produkci aminokyselin pro syntézu bílkovin, a tím i výnos plodiny [93]. Rostliny přijímají N buď jako dusičnanový ion nebo amonný ion [71]. Půdní mikroorganismy hrají hlavní roli v amonifikačním procesu dusičnanů (NO_3^-) na amonné ionty (NH_4^+) [94]. Projevy nedostatku dusíku od počátku vegetace mají za následek snížení tvorby stavebních a funkčních bílkovin, dále je projevem omezení růstu rostlin a snížení tvorby všech podstatných orgánů rostlin (listy, stébla, lodyhy apod.). Protože

je N také složkou chlorofylu, jeho nedostatek se projevuje žloutnutím nebo chlorózou listů. Rostliny jsou také při nedostatku slabší, kratší, a často jsou porosty větvenovité a světlejší (obrázek 7). Kořeny jsou nitkovité a je zkrácená vegetační doba, rostliny rychleji dozrávají, ale s nižším výnosem a kvalitou. Při nadbytku dusíku rostliny prodlužují vegetační dobu, jsou sytě zelené, plodů je více, ale jsou malinké, velmi náchylné ke stresovým faktorům a dochází k poškození pletiv (např. zasychání okraje listů) [8, 71].



Obrázek 7: Příklad nedostatku dusíku na listu [95].

Fosfor rostliny přijímají ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné (H_2PO_4^- a HPO_4^{2-}). Tento prvek je základní složkou nukleových kyselin, buněčných membrán a enzymů. Je potřebný pro různé buněčné procesy, jako je fotosyntéza, metabolismus sacharidů, produkce energie, redoxní homeostáza a signalizace. Fosfor funguje jako aktivátor pro více než 60 enzymů v rostlinách, reguluje obsah vody a snižuje nepříznivé účinky solí v rostlinách [93]. Při jeho nedostatku dochází ke snížení výnosu plodin a obsahu hlavních složek v produktech, pro které jsou pěstovány (např. škrob, sacharóza, bílkoviny aj.). Růst rostlin je výrazně omezen, dochází také k odnožování a špatnému vývoji kořenů a v neposlední řadě zpomaluje zrání [8, 71]. Nedostatek fosforu se projevuje červenáním listů, jelikož dochází ke zvýšené tvorbě antokyanů, k prodlužování a ke špatně vyvinuté žilnatině (viz obrázek 8) [96].



Obrázek 8: Příklad nedostatku fosforu na listu [95].

Draslík je třetí důležitou živinou pro růst rostlin, která hraje zásadní roli v metabolismu, růstu a vývoji rostlin. Rostliny by měly bez dostatečného přísunu draslíku špatně vytvořené kořeny, rostly by pomalu, produkovaly by malá semena a měly by nižší výnosy a zvýšenou náchylnost k chorobám a škůdcům [97]. Rostlina s deficitem draslíku může vypadat například jako na obrázku 9. K je hlavní osmoregulátorem v rostlinných buňkách, který je důležitý při fotosyntéze tím, že působí při transpiraci a absorpci CO_2 , řídí vodivost průduchů, funguje při transportu cukru, aktivaci enzymů a odolnosti vůči tahu. Draslík se nachází v půdě především v anorganických sloučeninách – primární nebo sekundární křemičitany a rostlinami je přijímán ve formě kationtu [71]. Dostupnost draslíku je obvykle nízká kvůli jeho uzavření v silikátech a jeho silné adsorpci vazebnými místy K-specifickými na částicích jílu [98].



Obrázek 9: Příklad nedostatku draslíku na listu [95].

Vápník je absorbován kořeny rostlin ve formě dvojmocného kationtu Ca^{2+} . Jeho příjem může být negativně ovlivněn kationty H^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} ale hlavně K^+ , pokud se nacházejí v nadměrném množství [8, 71]. Plní dvojí funkci, je nejen důležitým faktorem pro stabilitu buněčné stěny a membrány, ale slouží také jako druhý posel v mnoha vývojových a fyziologických procesech včetně reakce rostlin na biotický stres [99]. Nedostatek Ca je vidět

nejprve na rostoucích špičkách a nejmladších listech. Při nedostatku vápníku poklesne hodnota pH a sníží se tvorba kořenů, dochází k poruchám růstu vegetačního vrcholu (lámání vegetačního vrcholu u řepky a máku) a v neposlední řadě dochází k odpadu květů (viz obrázek 10). Jeho nadbytek většinou rostlinám nevadí [8, 71].



Obrázek 10: Příklad nedostatku vápníku na listu [95].

Hořčík je přijímán jako kationt Mg^{2+} převážně pasivně na základě elektrochemického gradientu. Hořčík se účastní mnoha fyziologických a biochemických procesů; je základním prvkem pro růst a vývoj rostlin a hraje klíčovou roli v obranných mechanismech rostlin v abiotických stresových situacích. Především je centrálním atomem v chlorofylu, čímž je životně důležitý pro fotosyntézu. Prvním signálem nedostatku Mg u rostlin je omezení fotosyntézy, biosyntézy bílkovin a dochází také ke snížení fotosynteticky aktivních pigmentů (chlorofyl). Viditelnými symptomy u rostlin je zakrslý vzrůst a soustředění chlorofylu kolem nervatury a starších listů (viz obrázek 11) [71, 100]. Hořčík je celkově v rostlinách mobilní, proto se nedostatek Mg projevuje až na starších částech rostliny. Různorodost symptomů u různých rostlinných druhů je však tak velká, že jejich obecný popis je v případě Mg obtížnější než u jiných živin [8, 71].



Obrázek 11: Příklad nedostatku hořčíku na listu [95].

Síra je rostlinami přijímána kořeny především ve formě síranového iontu (SO_4^{2-}). Síra je dobře transportována po rostlině hlavně do mladých listů a meristémů. Metabolismus síry v rostlinách úzce souvisí s metabolismem dusíku přes syntézu bílkovin (aminokyseliny: cystein, cystin a methionin). Síra aktivuje enzymy, ale také vytváří specifické látky, které ovlivňují chuť, vůni a aroma [8, 71]. Příznaky nedostatku S se podobají příznakům nedostatku N – listy jsou světle žluté (obrázek 12). Na rozdíl od nedostatku dusíku se však příznaky objevují nejprve na mladších listech a přetrvávají i po dostatečném přísunu dusíku [93].



Obrázek 12: Příklad nedostatku síry na listu [95].

2.5.2 Vybrané mikroprvky

Mikroprvky jako **železo** a **zinek** hrají velmi důležitou roli ve fyziologických procesech kulturních rostlin, jsou však vyžadovány ve velmi malých množstvích. Fe je vyžadováno pro syntézu chlorofylu a udržování struktury a funkci chloroplastů. Ve výživě rostlin se nejvíce uplatňuje kationt Fe^{2+} a Fe^{3+} , v menší míře se uplatňují chelátové sloučeniny s extrémně nízkou rozpustností, tudíž často dochází k deficitu. Deficit Fe se tak stává běžnou nutriční poruchou u mnoha plodin, což vede k intervenální chloróze u mladých listů, zakrnělému růstu kořenů, nižšímu výnosu a ke snížené kvalitě [93]. Podobně jako Fe je Zn nezbytný pro optimální růst rostlin, protože ovlivňuje několik biologických procesů včetně syntézy tryptofanu, z něhož vzniká kyselina β -indolyloctová (IAA). Rostlinami je přijímán jako Zn^{2+} a na jeho příjem má vliv pH a množství fosforu v prostředí. Nedostatek Zn v rostlině má za následek deformované chlorotické listy, intervenální nekrózu, sníženou fotosyntézu a sníženou produkci biomasy, což vede ke snížení růstu rostlin, nižšímu výnosu a špatné nutriční kvalitě produkce [101]. Toxicita zinku může vést ke snížení růstu kořenů a rozpínání listů s následnou chlorózou [71]. V současné literatuře byla provedena studie vlivu nanočástic oxidu zinečnatého (<100 nm) na růst kukuřice (*Zea mays L.*) v systému kultivace v roztoku. Experimentální výsledky ukázaly, že nanočástice oxidu zinečnatého by mohly podpořit a udržet růst rostlin kukuřice stejně jako konvenční Zn hnojivo (ZnSO_4) [102].

Mangan je přijímán ve formě Mn^{2+} a jeho příjem je ovlivněn pH a redoxpotenciálem půdy. Je známo, že aktivuje několik enzymů a funguje jako autokatalyzátor. Je nezbytný pro štěpení molekuly vody během fotosyntézy, a také důležitý při metabolismu N, při asimilaci CO_2 , při syntéze vitamínu C a při fotosyntetických pochodech [8, 71]. Deficit Mn má tedy škodlivé účinky na fotosyntetický aparát v důsledku sníženého fotosyntetického transportu elektronů a oxidačního stresu. Dlouhodobý nedostatek Mn vede k rozvoji nekrózy listů, příznaku oxidačního stresu, který se projevuje jako hnědé skvrny mezi žilkami v důsledku zvýšené akumulace reaktivních forem kyslíku (ROS) v chloroplastech [103].

Měď je přijímána rostlinou ve formě kationtu Cu^{2+} a je vázána v kořenech, kde dosahuje největší koncentrace [71]. Hraje klíčové role ve fotosyntetických a respiračních elektronových transportních řetězcích, metabolismu buněčné stěny, ochraně proti oxidačnímu stresu a biogenezi molybdenového kofaktoru [104]. Příznaky nedostatku Cu jsou nejprve viditelné ve formě úzkých, zkroucených listů a bledě bílých špiček výhonků [71]. Měď se však tradičně používá v zemědělství jako protiplísňové činidlo a je také ve velké míře uvolňována do životního prostředí lidskou činností, která často způsobuje znečištění životního prostředí a potenciální toxicitu pro rostliny [104]. Nadbytek Cu vyvolává nedostatek Fe, a proto je častým příznakem chloróza [71].

2.6 Využité statistické metody

Data byla podrobena vybraným statistickým metodám. V některých případech byl použit t test, Shapiro-Wilkův W test byl použit pro ověření normální distribuce dat. Poté byly všechny závislé proměnné analyzovány pomocí jednocestné ANOVA, pokud byla splněna podmínka homogenity rozptylu. Popřípadě byla použita Kruskal-Wallisova metoda a metoda mnohonásobného porovnání pro neparametrické hodnoty. Byly také použity post hoc testy, pokud byl ověřen statisticky významný účinek. Statistické analýzy byly provedeny na hladině významnosti $p = 0,05$ za použití softwaru Statistica 13.

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Použité přístroje a laboratorní vybavení

- Kapalinový chromatograf Agilent Infinit 1260, (ELSD, LC/MSD Series), kolona Kinetex EVO C18 250x4,6 mm
- ICP optical emission spectrometr, HORIBA Scientific, ULTIMA 2
- Zařízení na výrobu ultračisté vody ELGA
- Analytické váhy
- Lednička s mrazničkou
- Ultrazvuková vodní lázeň, NETZ K5
- Automatické pipety
- Vialky 2 ml
- Injekční stříkačky 10 ml
- Membránové filtry, nylon 0,45 µl, Chromservis
- Mlecí zařízení BCD mini
- Vysokoteplotní pec, LAC
- Spektrometr SPECORD 50 plus, analytikjena
- Horkovzdušná sušárna
- Centrifuga ROTOFIX 32a
- Třepací zařízení LT2
- Mikrovlnná pec Milestone, mls 1200 mega
- Magnetická míchačka
- pH metr METTLER TOLEDO SevenMulti
- Konduktometr METTLER TOLEDO SevenEasy
- Sítovací stroj HAVER EML 200digital T

3.2 Použité chemikálie

Název	Mr	CAS	Výrobce	Země původu	Čistota
Manganistan draselný	158,04	7722-64-7	MACH CHEMIKÁLIE	Česká republika	99 %
Ethanol	46,07	64-17-5	Avantor	Francie	96 %
Dusičnan sodný	84,99	7631-99-4	Lachema	Česká republika	100 %
Síran vápenatý dihydrát	142,04	7757-83-7	Lachema	Česká republika	100 %
Síran sodný dekahydrát	124,04	7757-82-6	Sigma Aldrich	Francie	99,99 %
Chlorid amonný	53,49	12125-02- 9	Lachema	Česká republika	100 %
Chlorid sodný	58,44	7647-14- 15	Lachema	Česká republika	100 %
Chlorid vápenatý	110,98	10043-52- 4	Penta	Česká republika	97 %
Hydroxid sodný	40	1310-73-2	Sigma Aldrich	Francie	99,99 %
Kofein	194,19	58-08-2	Sigma Aldrich	Francie	>99 %
Kyselina gallová	188,13	5995-86-8	Sigma Aldrich	Německo	>98 %
Uhličitan sodný	105,99	497-19-8	Lachema	Česká republika	100 %
Folin-Ciocaltauovo činidlo	94,11	12111-13- 6	Sigma Aldrich	Německo	-
Peroxid vodíku	34,0147	7722-84-1	Analytika s.r.o.	Česká republika	30 %
Kyselina dusičná	63,01	7697-37-2	Analytika s.r.o.	Česká republika	67 %
Aceton	58,08	67-64-1	Avantor	Francie	99,8 %
Uhličitan hořečnatý	121,41	39409-82- 0	Penta	Česká republika	100 %
Mořský písek	-	-	Penta	Česká republika	-

3.3 Detoxifikace kávové sedliny

Kávová sedlina použitá v našem experimentu je směsí odrůdy Robusta i Arabiky. Byla sesbírána v kavárnách, domácnostech i v kancelářích. Následně byla sušena při 80 °C do konstantní hmotnosti. Takto připravená KS byla dále analyzována a upravována.

3.3.1 Oxidace kávové sedliny za využití KMnO_4

Na analytických vahách byly naváženy 4 g kávové sedliny s přesností na čtyři desetinná místa. Do kádinky s připraveným vzorkem bylo přidáno 40 ml 1% oxidačního činidla a magnetické míchadlo. Kádinky byly umístěny na vícemístnou magnetickou míchačku, kde bylo nastaveno 500 rpm po dobu 10 minut. Oxidační roztok byl kvantitativně převeden do centrifugačních zkumavek. Roztok byl odstřeďován 10 minut při 6000 rpm. Sediment byl rozsuspendován v destilované vodě a znovu zcentrifugován. Po ukončení oxidace byly všechny vzorky kávové sedliny rozprostřeny na Petriho misky a byly přemístěny do sušárny, kde byla oxidovaná kávová sedlina (OXKS) sušena při teplotě 80 °C do konstantní hmotnosti. Supernatant oxidačního činidla byl slit a znovu použit při oxidaci kávové sedliny. Oxidace s recyklovaným oxidačním činidlem probíhala po dobu 20 minut.

3.3.2 Oxidace kávové sedliny za využití H_2O_2 a KMnO_4

Byly naváženy 4 g kávové sedliny a k nim bylo přilito 40 ml 10% peroxidu vodíku. Následovala 30 min oxidace na magnetické míchačce. Po ukončení oxidace byla tato oxidační směs převedena do centrifugačních zkumavek a vložena do centrifugy. Vzorek byl odstřeďován 10 min při 6000 rpm. Sediment byl rozsuspendován v destilované vodě a znovu zcentrifugován. Po centrifugaci byl opět znovu promyt destilovanou vodou a znovu zcentrifugován. Následovala oxidace pomocí 0,1% manganistanu draselného stejným postupem jako u peroxidu vodíku. Po těchto dvou oxidačních krocích byl sediment přemístěn na Petriho misky a umístěn do sušárny, kde byla oxidovaná kávová sedlina (OXKS2) sušena při teplotě 80 °C do konstantní hmotnosti.

3.3.3 Extrakce kávové sedliny

Extrakce byla provedena 60% EtOH, v poměrech 1 g KS/30 ml EtOH a 25 g KS/250 ml EtOH dle studií Mussatto a kol. [105] a Kim a kol. [106]. Bylo naváženo 25 g/8,3 g KS a bylo přidáno 250 ml 60% EtOH. Vše bylo zahříváno v topném hnízdě v baňce s kulatým dnem o objemu 500 ml pod zpětným chladičem po dobu 90 minut. Do baňky byly předem přidány varné kamínky. Následovala filtrace za podtlaku přes Büchnerovu nálevku za využití vývěvy. Částice zachycené na filtračním papíře byly promývány destilovanou vodou do bezbarvého filtrátu. Následně byla extrahovaná kávová sedlina (EXKS) sušena v sušárně při teplotě 80 °C do konstantní hmotnosti.

3.4 Obsah FL v půdních aditivech

3.4.1 Extrakce fenolických látek (FL)

Byla připravena směs pro extrakci ethanol: voda v poměru 3: 2. Byl navážen 1 g vzorku s přesností na čtyři desetinná místa. Každý vzorek byl umístěn do kádinky a bylo přidáno 10 ml připravené směsi ethanol-voda a magnetické míchadlo. Následně byla spuštěna extrakce na magnetické míchače, která trvala 15 minut. Po extrakci byly roztoky převedeny pomocí injekčních stříkaček s filtry o velikosti pórů 45 μm do 2 ml vialek se septem.

3.4.2 Stanovení FL pomocí HPLC

Připravené vzorky extrakcí (dle postupu 3.4.1) byly analyzovány pomocí přístroje Agilent 1260 Infinity s detekcí na diodové poli (DAD) a pomocí hmotnostní spektrometrie (MS), při reverzní fázi. Nastavení přístroje najdeme v tabulce 3, stanovení probíhalo gradientovou elucí.

Tabulka 3: Nastavení přístroje Agilent 1260 Infinity pro stanovení FL pomocí HPLC

Parametr	Nastavené hodnoty
Objem nástriku	5 μl
Průtok mobilní fáze	1 ml/min
Složení mobilní fáze	HCOOH (1 %), MeOH
Název kolony	Kinetex EVO C18 250x4,6 mm
Teplota na koloně	35 °C
Tlak	300 bar
Detektor	DAD, MS
Vlnová délka	240–360 nm

3.4.3 Stanovení FL pomocí UV-VIS

Byl připraven 7,5% uhličitan sodný. Nejdříve bylo v 50 ml destilované vody rozpuštěno 7,5 g krystalického uhličitanu sodného, kdy pro rychlejší rozpuštění látky byl roztok vložen do ultrazvukové vany. Následně byl roztok kvantitativně převeden do 100 ml odměrné baňky a doplněn po rysku destilovanou vodou. Folin-Ciocalteuovo činidlo (F-C) bylo naředěno v poměru 1:9 s destilovanou vodou.

Kalibrační křivka: Zásobním standardem byl roztok kyseliny gallové o koncentraci 200 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Z tohoto roztoku byly postupným ředěním destilovanou vodou získány roztoky o přibližné koncentraci 25, 50, 75, 100, 125, 150 a 200 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Poté byl do zkumavek napipetován 1 ml destilované vody, 100 μl standardu a 1 ml připraveného Folin-Ciocalteuova činidla. Promíchaný obsah zkumavek byl ponechán 5 minut stát. Po 5 minutách byl do každé

zkumavky přidán 1 ml 7,5% roztoku uhličitanu sodného, směs byla ponechána při laboratorní teplotě 15 minut. Reakcí F-C s fenolickými látkami vznikl roztok modrého zbarvení. Byla změřena absorbance při 750 nm na UV-VIS spektrometru proti slepému vzorku. Slepý vzorek byl připravován stejným postupem, avšak 100 µl standardu bylo nahrazeno 100 µl destilované vody.

Vlastní stanovení: Pro přípravu vzorků byl využit stejný postup, avšak namísto 100 µl standardu bylo využito 100 µl extraktu. Extrakt byl připraven dle postupu 3.4.1.

3.5 Metoda elementární analýzy půdních aditiv

Pro rozklad vzorku bylo použito 6 ml koncentrované HNO_3 , 1 ml H_2O_2 a 0,5 g vzorku. Takto připravený vzorek byl vložen do mikrovlnné pece a následně naředěn deionizovanou vodou do 25 ml odměrných baněk. Následně byly naměřeny hodnoty mikro (Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn) a makro (Ca, K, Mg, Na, P) prvků. Kalibrační křivka byla připravena ze standardizovaných roztoků. Pro mikro prvky byla zvolena kalibrační řada 0,25; 0,5 a 1 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, u makro prvků 10; 25; 50 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Jako nosný plyn byl použit argon, nastavení přístroje pro mikro a makro prvky můžeme vidět v tabulce 4.

Tabulka 4: Parametry měření pro prvkovou analýzu aditiv do půd pomocí ICP-OES Ultima 2.

Parametry	Makro prvky	Mikro prvky
průtok Ar:		
plazmový plyn	13,5 l/min	13,98 l/min
stínící plyn	0,6 l/min	0,588 l/min
pomocný plyn	0,2 l/min	0,2 l/min
zmlžovač	typ Meinhard	
mlžná komora	cyklonová	
rychlost otáček peristaltického čerpadla	15 rpm	16 rpm
tlak na zmlžovači	2,99 bar	2,99 bar
výkon generátoru	1100 W	1350 W
průtok plynu na zmlžovači	0,84 ml/min	0,83 ml/min

3.6 Stanovení pH extraktů vzorků biouhlu

Pro stanovení pH biouhlu byla využita metoda definovaná EBC. Vzorek byl smíchán s 0,01 M CaCl_2 v hmotnostním poměru 1:5. Připravená suspenze byla jednu hodinu třepána na třepačce s frekvencí pohybu 150 otáček za minutu. Výluh byl přefiltrován přes stříkačkové filtry s porozitou 0,45 µl. V takto připraveném vzorku bylo stanoveno pH pomocí pH metru.

3.7 Charakterizace půdních směsí a půdních aditiv

3.7.1 Granulometrie půdy

Měření distribuce velikosti částic bylo provedeno na síťovacím stroji po dobu 5 min, při nulovém intervalu a síla vibrací byla nastavena na 1. stupeň. Byla použita síta s velikostí ok: 2; 1; 0,6; 0,4; 0,25 a 0,125 mm. Analyzovaného vzorku bylo naváženo 250–500 g. Po skončení analýzy byly zváženy postupně všechny vzniklé frakce na sítích.

3.7.2 Žihání

Při žihání bylo postupováno dle ČSN EN 15935. Kelímek byl vložen do pece na 30 min při teplotě 550 ± 25 °C. Po vyžihání byl kelímek vyjmut z pece a byl vložen do exsikátoru, kde se nechal vychladnout. Prázdný kelímek byl zvážen na analytických vahách s přesností na 1 mg. Poté byl do kelímku navážen 1 g vzorku s přesností na 1 mg a kelímek byl vložen do pece. Teplota pece byla nastavena na (550 ± 25) °C a byla udržována po dobu 2 hodin. Po vyžihání byl horký kelímek vložen do exsikátoru a nechal se vychladnout na laboratorní teplotu. Po vychladnutí byl kelímek zvážen s přesností na 4 desetinná místa.

3.7.3 Stanovení pH

Pro stanovení pH půdy a půdních aditiv (KS, OXKS, EXKS, OT) byl využit postup ze směrnice ČSN ISO 10390. Pro změření pH byl použit pH metr s kombinovanou argentochloridovou elektrodou ($\text{Ag(s)}|\text{AgCl(s)}|\text{KCl(aq)}$). Bylo odebráno 5 ml reprezentativního podílu z laboratorního vzorku půd. Analyzovaný vzorek se vložil do lahve o objemu 50 ml a byl přidán pětinasobek objemu deionizované vody. Suspenze byla třepána pomocí mechanického třepacího zařízení po dobu 60 ± 10 min. Potom byly vzorky ponechány 1 h, ale nikoliv déle než 3 h v klidu a bez přístupu vzduchu. Směs byla ihned promíchána, díky čemuž vznikla homogenní suspenze částic a bylo změřeno pH při teplotě 20 ± 2 °C. pH bylo odečteno po ustálení hodnoty a byla zaznamenána hodnota s přesností na dvě desetinná místa.

3.7.4 Stanovení vodivosti

U stanovení vodivosti půdy a půdních aditiv (KS, OXKS, EXKS, OT, BU) byl použit konduktometr. Celý experiment se shodoval s postupem z ČSN ISO 11265. Bylo odváženo 20,00 g laboratorního vzorku a byl vložen do třepací lahve (250 ml borosilátové sklo nebo polyethylen). Bylo přidáno 100 ml deionizované vody o teplotě (20 ± 1) °C. Lahev byla uzavřena a vložena do horizontální polohy na třepáčku po dobu 30 minut. Následně byl obsah filtrován přes filtrační papír (KA 5-M) a stejným způsobem se provedlo slepé stanovení, které nesmělo převýšit $1 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$. Byla-li hodnota slepého stanovení vyšší, vyluhování bylo opakováno. Byla změřena konduktivita s korekcí na teplotu 25 °C. Výsledky byly zaznamenány na dvě desetinná místa a byly vyjádřeny v $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$.

3.7.5 Vodní kapacita půdy a směsí

Vodní kapacita byla stanovena pomocí Kopeckého válečku o standardizovaném objemu 100 cm^3 , do kterého byl odebrán vzorek půdy/směsi a po dobu 24 hodin byl částečně ponořen do vody. Poté byl váleček vyndán a na dvě hodiny umístěn na filtrační papír. V průběhu experimentu byla měřena hmotnost suché půdy, mokré půdy po 24 hodinách a mokré půdy po 2 hodinách. Z rozdílů hmotností bylo možné vypočítat maximální vodní kapacitu podle Nováka [107] dle rovnice (1).

$$\theta_{MKK} = (m_{2h} - m_s) \cdot 100 [\%], \quad (1)$$

kde θ_{MKK} je maximální kapilární kapacita, m_{2h} je hmotnost mokré půdy po 2 hodinách na filtračním papíře a m_s je počáteční hmotnost půdy/směsi.

3.7.6 Příprava extraktu vzorků půd

Extrakty byly připraveny pomocí syntetické dešťové vody. Dešťová voda byla připravena dle tabulka 5. Do 50 ml centrifugačních zkumavek bylo naváženo 10 g vysušeného vzorku půdy na analytických vahách. Ke vzorkům bylo napipetováno 25 ml dešťové vody. Suspenze byly umístěny na třepačku ve vodorovné poloze na dobu 24 hodin. Poté byl obsah zkumavek odstředěn na centrifuze Rotofix 32a při 4000 ot/min po dobu 15 min. Supernatant byl zfiltrován přes filtrační papír do 25 ml zkumavek, které byly do jejich dalšího použití umístěny v mrazáku.

Tabulka 5: Koncentrace složek obsažených v syntetické dešťové vodě [108].

Složka	Koncentrace [mg/l]
NaNO ₃	1,6
CaSO ₄ ·2H ₂ O	5,2
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	1,6
NH ₄ Cl	1,3
NaCl	3,7
NaOH	0,2

3.7.7 Metoda elementární analýzy půdy a půdních směsí

Prvková analýza vzorků upravených extrakcí dle 3.7.6 byla provedena před pěstováním a po pěstování salátu technikou ICP-OES. Následně byly naměřeny hodnoty mikro (Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn) a makro (Ca, K, Mg, Na, P) prvků. Kalibrační křivka byla připravena ze standardizovaných roztoků. Kalibrační křivka byla připravena ze standardizovaných roztoků. Pro mikro prvky byla zvolena kalibrační řada 0,25; 0,5 a 1 mg·l⁻¹, u makro prvků 50; 100;

200 mg·l⁻¹. Jako nosný plyn byl použit argon, nastavení přístroje pro mikro a makro prvky můžeme vidět v tabulce 6.

Tabulka 6: Parametry měření pro prvkovou analýzu půdy pomocí ICP-OES Ultima 2.

Parametry	Makro prvky	Mikro prvky
průtok Ar:		
plazmový plyn	13,5 l/min	13,98 l/min
stínící plyn	0,6 l/min	0,588 l/min
pomocný plyn	0,2 l/min	0,2 l/min
zmlžovač		typ Meinhard
mlžná komora		cyklonová
rychlost otáček peristaltického čerpadla	15 rpm	16 rpm
tlak na zmlžovači	2,99 bar	2,99 bar
výkon generátoru	1100 W	1350 W
průtok plynu na zmlžovači	0,84 ml/min	0,84 ml/min

3.8 Růstový experiment

Vliv substrátu na rostliny byl hodnocen růstovými experimenty. Pro pěstební experimenty byl využit hlávkový salát (*Lactuca sativa L.*), celoroční, odrůda Lento. Průměrná hmotnost salátu se pohybuje dle výrobce Gardenie od 200–280 g při dodržení vegetační doby 63–75 dní. Při experimentu bylo použito plnospektrální LED osvětlení VIPARSPECTRA. Biouhel použitý v experimentu byl vyroben pyrolýzou při teplotě 300 °C.

3.8.1 Germinační testy

Postup germinačních testů byl navržen dle postupů následujících prací: Mañas a kol. [109] a Charles a kol. [110]. Byl připraven 30% výluh z každého vzorku směsi půd a tzv. negativní kontrola (destilovaná voda). Následně byla provedena filtrace přes Büchnerovu nálevku a filtrát byl dále použit jako růstový roztok. Dvacet semen salátu bylo položeno na vatku do Petriho misky a zalito 20 ml roztoku. Petriho misky byly uzavřeny parafilmem a ponechány po dobu 7 dní za laboratorní teploty v digestoři. Na Petriho misky bylo svíceno plnospektrálním LED osvětlením každý den dvanáct hodin. Po testu byl spočítán počet vyklíčených semen a vyjádřen jako procento klíčivosti s ohledem na semena, která nebyla vystavena výluhu (negativní kontrola). Dále byla změřena délka kořene, a nakonec vypočítán index klíčení.

3.8.2 Klíčení salátu

Saláty byly nejprve naklíčeny mimo květináče v uzavřených Petriho miskách za standardních laboratorních podmínek. Klíčení probíhalo na vatě pokropené dostatkem vody, dokud nevyrostly první dva zelené lístky salátu. Doba klíčení byla přibližně jeden týden.

3.8.3 Pilotní růstový experiment

Do květináčů o velikosti 20x20x14 cm byly připraveny půdní směsi a referenční čistá půda (obrázek 13). Naklíčená semínka hlávkového salátu (*Lactuca sativa* L.), byla vložena do připravených půd a půdní směsi byly zality na 70 % jejich maximální vodní kapacity dle Rajapaksha a kol. [111]. Po dobu experimentu byly rostliny zalévány okometricky. Experiment trval 28 dní. Pro pěstování salátu byl zvolen režim svícení 12/12 a laboratorní teplota dle studie Cervera-Mata a kol. [112].



Obrázek 13: Fotografie pilotního růstového experimentu pořízená 23.02.2022.

3.8.4 Rozšířený růstový experiment

Naklíčená semínka hlávkového salátu (*Lactuca sativa* L.), byla přesunuta do květináčů o velikosti 7x7x10 cm. Květináče obsahovaly 250 ml vysušených půdních směsí: čistou půdu, půdu s NPK (1,5 kg/ m³) a různé směsi půdy s 2,5 obj. % BU, OT, KS, OXKS, OXKS2 nebo EXKS. Vždy bylo připraveno 7 květináčů od každé směsi, celkem tedy 49 vzorků (obrázek 14). Všechny směsi byly předem zality na 70 % jejich maximální vodní kapacity dle Rajapaksha a kol. [111]. Experiment trval 26 dní, po celou dobu byly květináče zalévány okometricky. Po uplynutí 26 dní byly saláty opatrně vyjmuty z půdy. Pro pěstování salátu byl zvolen režim svícení 12/12 a laboratorní teplota dle studie Cervera-Mata a kol. [112].



Obrázek 14: Fotografie rozšířeného růstového experimentu pořízená 11.4.2022.

3.8.5 Charakteristika vypěstovaných rostlin

Byla stanovena **hmotnost čerstvé rostliny** i **hmotnost sušiny rostliny**, a to po jejím sušení v sušárně při teplotě 60 °C do konstantní hmotnosti dle studie Hoque a kol. [113]. Dále byla změřena **délka kořenů a listů** a byly **stanoveny vybrané makro a mikro prvky v salátu na ICP-OES** (dle metody 3.5).

Množství chlorofylu

Bylo odváženo 0,25 g čerstvých listů s přesností na čtyři desetinná místa, které byly následně nastříhány do třenky. Ke kouskům listů bylo přidáno malé množství mořského písku

a uhličitanu hořečnatého. Obsah třenky byl důkladně rozetřen a promyt 5 ml acetonu. Roztok byl ponechán v klidu. Připravená suspenze byla filtrována do 25 ml odměrné baňky přes filtrační papír. Třenka a filtrační papír byly vymývány acetonem až do úplného odbarvení. Poté byla odměrná baňka doplněna po rysku acetonem. Absorbance byla měřena oproti acetonu při 470 nm, 646 nm, 663 nm. Následně byla dle rovnic 2, 3 a 4 ze studie Wellburn A. R. vypočtena koncentrace chlorofylů a karotenoidů v extraktu [114].

$$Chl\ a = 12,21 \cdot A_{663} - 2,81 \cdot A_{646} [\mu g \cdot ml^{-1}], \quad (2)$$

$$Chl\ b = 20,13 \cdot A_{646} - 5,03 \cdot A_{663} [\mu g \cdot ml^{-1}], \quad (3)$$

$$Cx + c = \frac{1000 \cdot A_{470} - 3,27 \cdot Chl\ a - 104 \cdot Chl\ b}{198} [\mu g \cdot ml^{-1}] \quad (4)$$

4 VÝSLEDKY A DISKUZE

4.1 Obsah fenolických látek

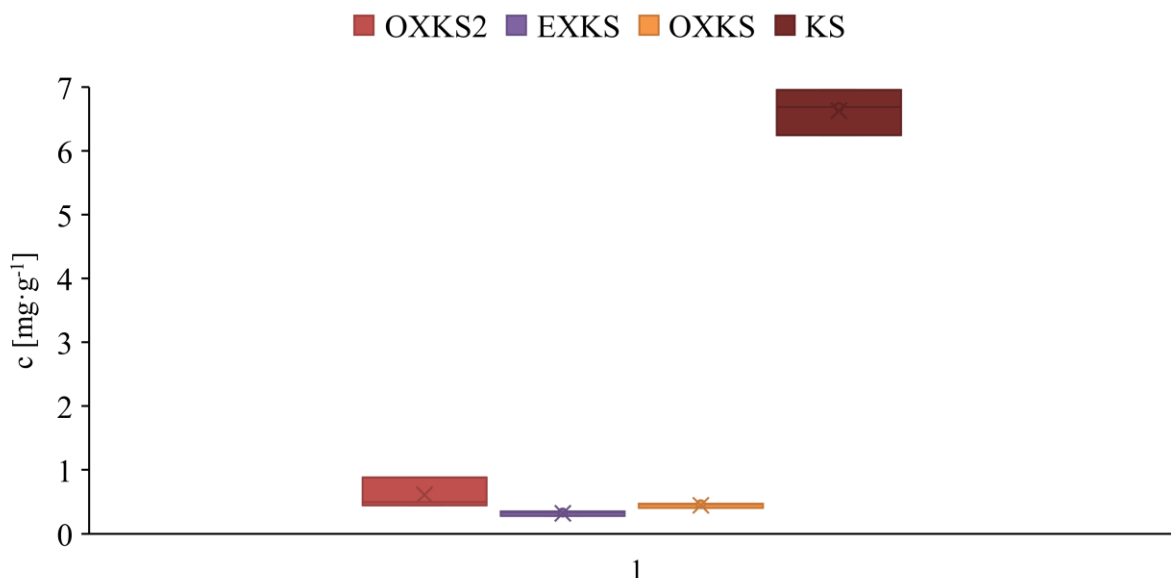
4.1.1 Vliv úpravy KS na obsah FL

V rámci této práce jsme se zaměřili na sledování změn obsahu fenolických látek v různě upravené kávové sedlině z důvodu jejich prokazatelného fytotoxického efektu. Naměřená koncentrace celkových FL v neupravené KS byla stanovena na $6,6271 \pm 0,3551 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ (obrázek 15). Tato koncentrace odpovídá zmiňovanému množství fenolických látek ve směsi kávové sedliny arabiky a robusty v literatuře, která uvádí koncentraci v rozmezí 4,3–6,7 % [115]. Nicméně studie zaměřené na obsah FL v jednotlivých odrůdách stanovily výrazně nižší koncentrace fenolických látek v KS. Janissen a kol. stanovil koncentraci fenolických látek pro odrůdu Arabika na $2,5 \pm 0,1 \%$ [116] a Kieu Tran a kol. naměřil koncentraci pro odrůdu Robusta $2,98 \pm 0,18 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ [117]. Takto velké odlišnosti jsou způsobeny rozdílnou přípravou kávy, původem kávy a odlišnou metodou přípravy extraktů.

Jednou z mnoha metod odstranění fenolických látek z KS bylo využití 60% EtOH. Druhou metodou bylo využití oxidačního činidla. Z obrázku 15 můžeme vidět, že metoda oxidace 1% KMnO_4 je téměř stejně účinná jako metoda extrakce. Třetí možností bylo využití 0,1% KMnO_4 v kombinaci s 10% H_2O_2 . Statisticky podle t-testu jsou data obsahu FL stejná u OXKS a OXKS2 ($t = 1,2191$; $p = 0,3471$). Snížení koncentrace fenolických látek byl dále statisticky zpracován a u všech upravených KS byla prokázána odlišnost dat vůči surové KS (viz tabulka 7).

Tabulka 7: Naměřená koncentrace celkového obsahu FL v různě upravené KS a výsledky statistického zpracování pomocí t testu vůči hodnotám KS.

	c [mg/g]	t hodnota	p hodnota
OXKS	$0,45 \pm 0,04$	52,7045	0,0004
OXKS2	$0,61 \pm 0,24$	28,8438	0,0012
EXKS	$0,32 \pm 0,04$	29,1548	0,0017



Obrázek 15: Hodnoty celkové koncentrace fenolických látek v OXKS, OXKS2, EXKS a KS měřených dle Folin-Ciocalteua při 750 nm.

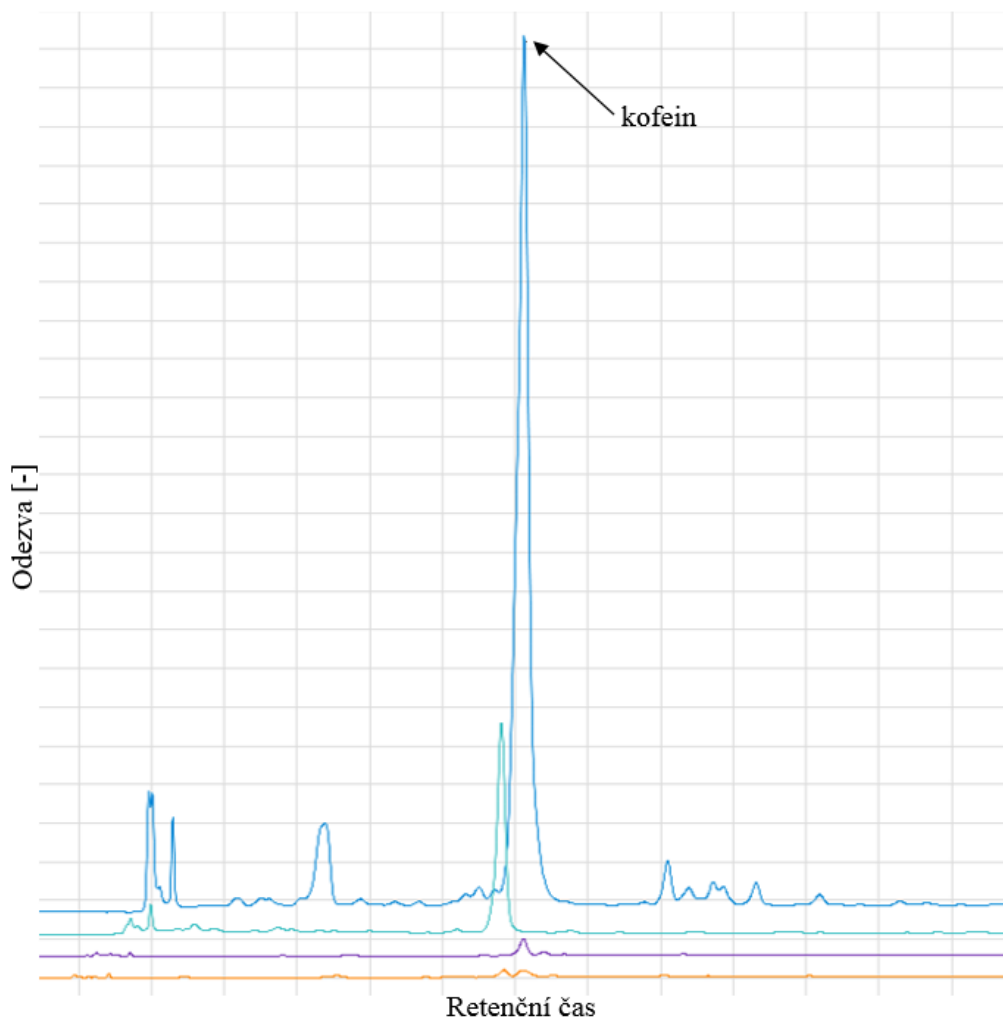
Při úpravě kávové sedliny extrakcí i oxidací došlo také k signifikantnímu snížení koncentrace kofeinu. Kofein je fytotoxický pro rostliny [30]. Koncentrace kofeinu všech vzorků KS byly změřeny metodou HPLC. Ve studii López-barrera a kol. [118] naměřili obsah kofeinu v KS (odráda Arabika) $0,4 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, ovšem s jinou přípravou vzorku, což mohlo způsobit odchylku od našich dat (viz tabulka 8). V odrůdě kávy Robusta je očekávaný obsah kofeinu $2,31 \pm 0,39 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ podle studie Kieu Tran a kol. [117]. Všechny upravené KS obsahovaly mnohonásobně menší množství kofeinu než KS, čímž jsme si potvrdili předpokládanou úspěšnost metody oxidace i extrakce (tabulka 8).

Tabulka 8: Koncentrace kofeinu ve vzorcích OXKS, OXKS2, EXKS, KS vyhodnocené z HPLC.

	c [mg/g]
KS	$5,4174 \pm 0,2314$
OXKS	$1,0441 \pm 0,0453$
OXKS2	0,0334
EXKS	0,0789

Chromatogram z analýzy kofeinu pomocí HPLC je znázorněn na obrázku 16. Chromatogram srovnává všechny intenzity signálů kofeinu KS a OXKS/OXKS2/EXKS. U OXKS můžeme pozorovat až pětinasobné snížení koncentrace kofeinu oproti KS (tabulka 8). Zajímavým rozdílem je opět OXKS a OXKS2, kde se situace oproti obsahu FL změnila a obsah kofeinu se více snížil u OXKS2 (tabulka 8). Je tedy možné, že u OXKS2 peroxid vodíku jako slabší

oxidační činidlo snáze oxidovalo kofein. A následně manganistan působil stejně jako u OXKS, což znamená, že došlo k oxidaci jak fenolických látek, tak kofeinu. Nejlépe zoxidovanou formou KS podle koncentrace kofeinu se tedy jeví OXKS2 (tabulka 8). Na druhou stranu v obsahu celkových FL měla lepší výsledky EXKS (obrázek 15).



Obrázek 16: Chromatogram analýzy kofeinu pro KS (modrá linie), OXKS (zelená linie), OXKS2 (oranžová linie), EXKS (fialová linie), naměřený pomocí Agilent Infinity 1260 při 280 nm.

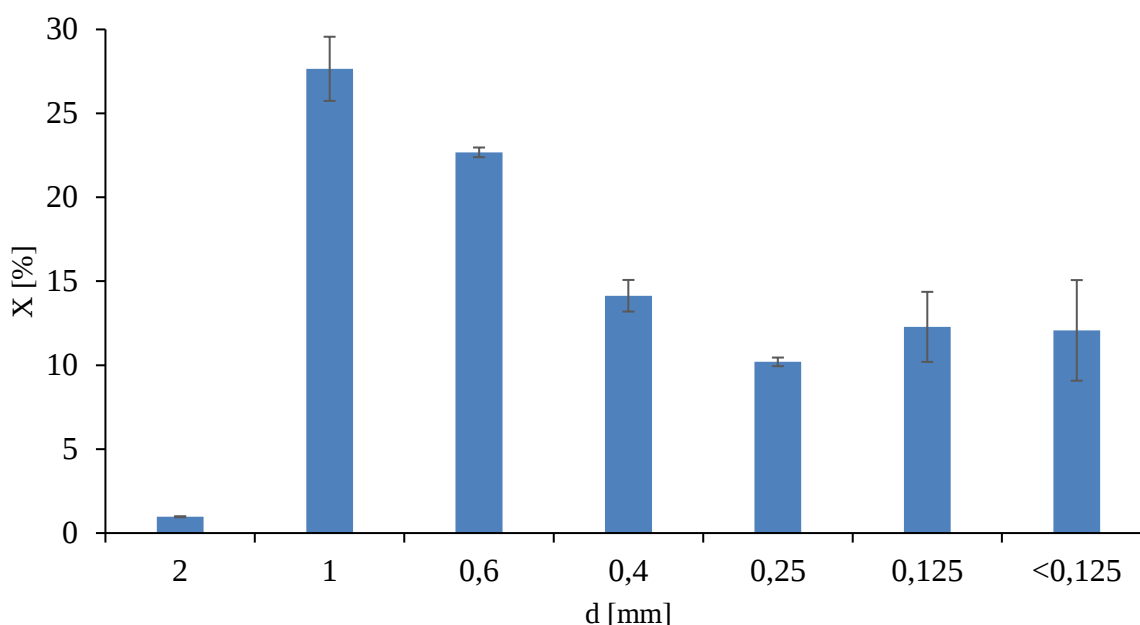
4.1.2 Obsah FL v pšeničných otrubách

Obsah fenolických látek v 1 g pšeničných otrub byl stanoven na $1,9459 \pm 0,0963 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. Vyšší odchylka obsahu FL závisí na odebraném vzorku OT, jelikož OT jsou přírodním materiálem, u kterého nemůžeme počítat s konstantním složením. Literatura udává celkový obsah FL v otrubách až na $5,209\text{--}9,697 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ [38], odchylka může být způsobena různorodostí materiálu nebo použitou metodou analýzy FL. Námi využitou metodou stanovení FL, pomocí Folin-Cicalteuova činidla, byly stanoveny pouze volné FL, ale vázané

FL zůstali v otrubách a mohou působit negativně na růst rostlin při rozkladu otrub v půdě. Otruby obsahují v porovnání s KS méně jak třetinu celkových fenolických látek a obsah FL v těchto materiálech se významně liší dle použitého t testu ($t = 18,0140$; $p = 0,0031$). Z toho důvodu jsme se soustředili na odstranění fenolických látek pouze u KS.

4.2 Fyzikálně chemické vlastnosti půdy

Jako reference k jednotlivým úpravám půdy byla využita čistá zemina, která byla odebrána z pole Brno-Žebětín a spadá dle půdní mapy ČR do subtypu hnědozemě modální [119]. Hnědozem modální se převážně skládá ze spraší, prachovic, polygenetických hlín a je klasifikována zrnitostí 3 [120]. Tato půda byla po namočení bahnitá a po vysušení vytvářela velmi tvrdé hrudky. Z tohoto důvodu byla hlína před použitím namletá, a není tedy možné definovat půdní charakter využitě půdy dle zrnitostního trojúhelníku. Náš vzorek při síťové analýze měl více jak 99 % částí menších než 2 mm (obrázek 17).



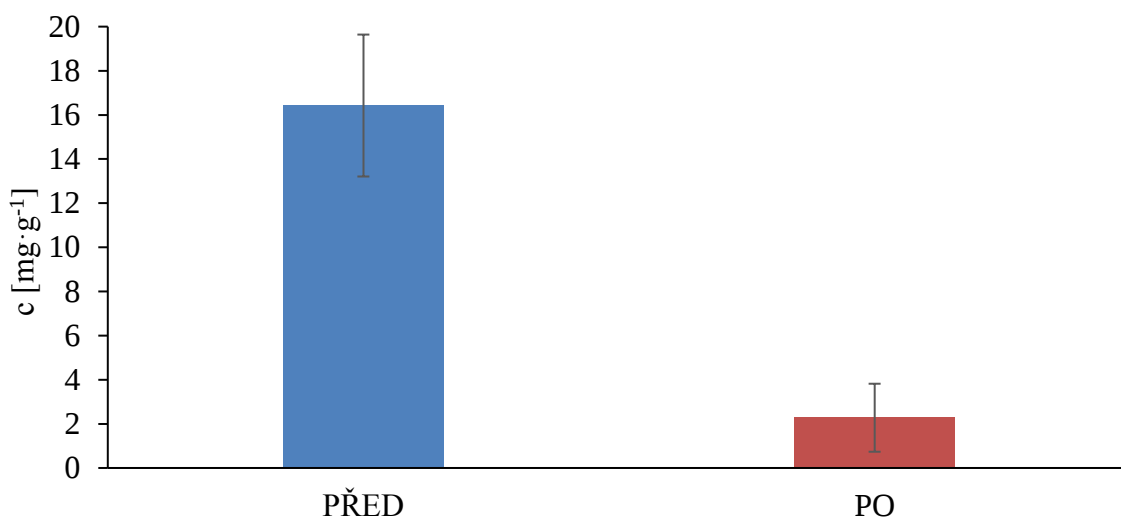
Obrázek 17: Granulometrie u čisté půdy.

Další důležitou charakteristikou pro optimální růst rostlin je vodivost půdy. Naše půda dle hodnoty vodivosti (tabulka 9) spadá mezi půdy nezasolené [123]. Což by znamenalo, že půda má velmi nízkou koncentraci rozpustných iontů, které jsou důležité pro výživu rostlin. S nízkou vodivostí souvisí i hodnota pH (tabulka 9). Odebraný vzorek půdy se vyznačuje jako neutrální, salátu prospívá mírně kyselé pH až neutrální [121]. Obsah organické hmoty (tabulka 9) je vůči průměru 1,8 % u hnědozemě modální celkem nadprůměrný [91]. Půda tím pádem bude mít dostatek živin pro mikroorganismy, bude lépe zadržovat vodu a uvolňovat živiny do půdního roztoku [71]. Vysoký obsah organické hmoty také zapříčiňuje hodnotu maximální kapilární vodní kapacity blízkou horní hranici průměru.

Tabulka 9: Naměřené parametry pro půdu – pH, vodivost, maximální kapilární vodní kapacita, obsah organické hmoty.

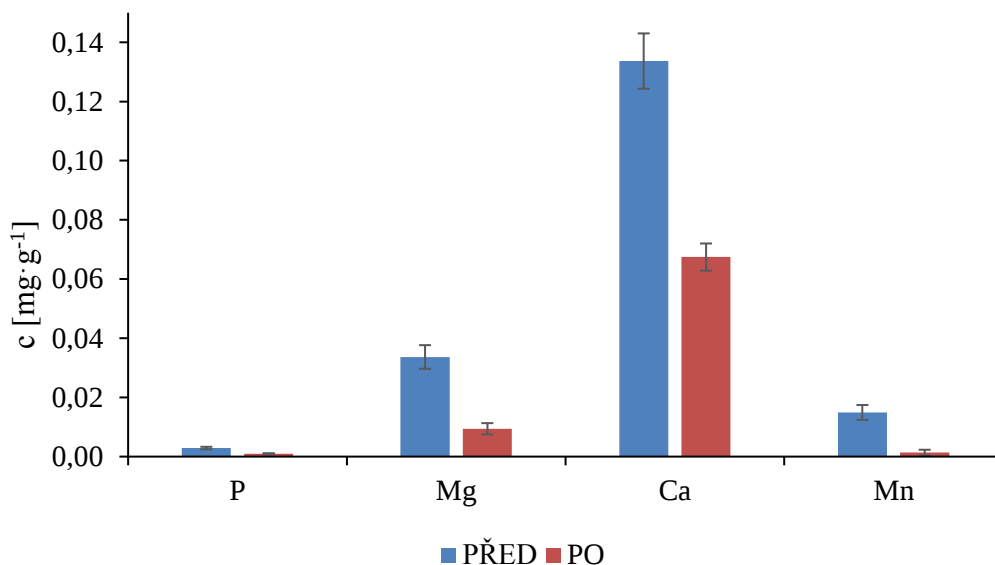
Parametr	Hodnota	Odchylka	Optimální hodnota
pH [-]	7,08	0,04	6,00 ^[122]
Vodivost [$\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$]	0,13	0,01	< 0,7 ^[123]
Organická hmota [%]	8,268	0,100	1,8 % ^[91]
Maximální kapilární vodní kapacita [%]	44,15	2,85	35–45 % ^[91]

Referenční půda před pěstováním obsahuje velmi vysokou koncentraci draslíku (obrázek 18) [91]. Vyšší obsah draslíku může být také příčinou výrazného snížení obsahu vápníku. Draslík se totiž chová jako antagonist k Mg, Ca a Na, kdy snižuje příjem těchto živin [8]. Tím pádem u rostliny dojde k deficitu hořčíku (omezuje se fotosyntéza) a vápníku (dochází ke snížení tvorby kořenů) [71]. Vysoký obsah draslíku může také zasolovat půdy a zvyšovat obsah solí v půdním roztoku. Ostatní živiny mají nižší koncentraci, než jsou ideální parametry pro růst salátu [91, 125]. To se může ve výsledku odrazit jako negativní vliv na růst salátu.

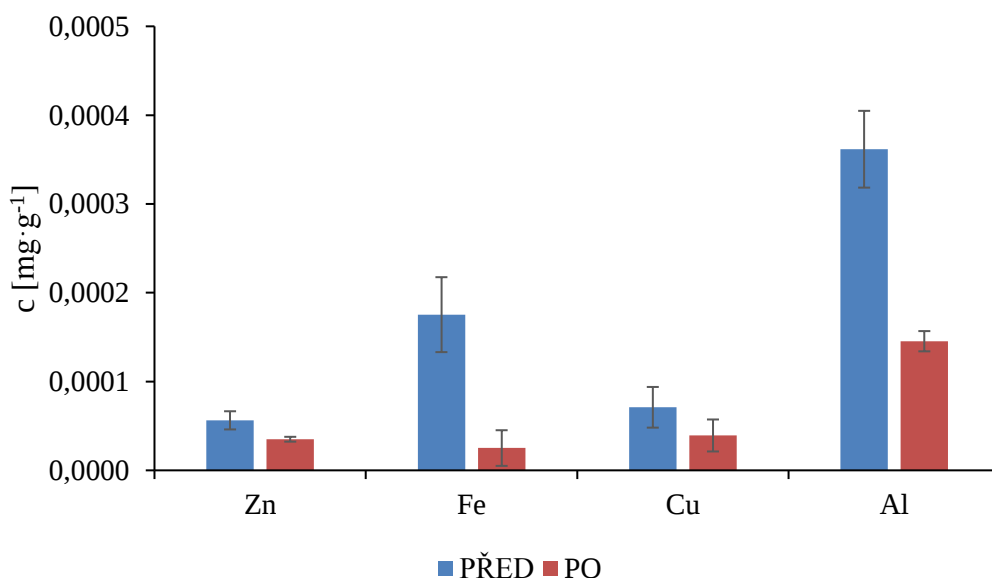


Obrázek 18: Koncentrace draslíku v půdě před a po pěstování salátu.

U všech prvků v půdě došlo k viditelnému snížení koncentrace živin po pěstování, všechny živiny až na Zn vykazují odlišnost dat před a po pěstování salátu (dle t testu a hladiny významnosti $p = 0,05$) (obrázek 19, obrázek 20). Úbytek minerálních látek po pěstování byl zapříčiněn výživou salátu. Největší úbytek živin je očekáván u draslíku, kterého má salát nejvíce, následují ho vápník a hořčík [126].



Obrázek 19: Koncentrace fosforu, hořčíku, vápníku a manganu v půdě před a po pěstování salátu.



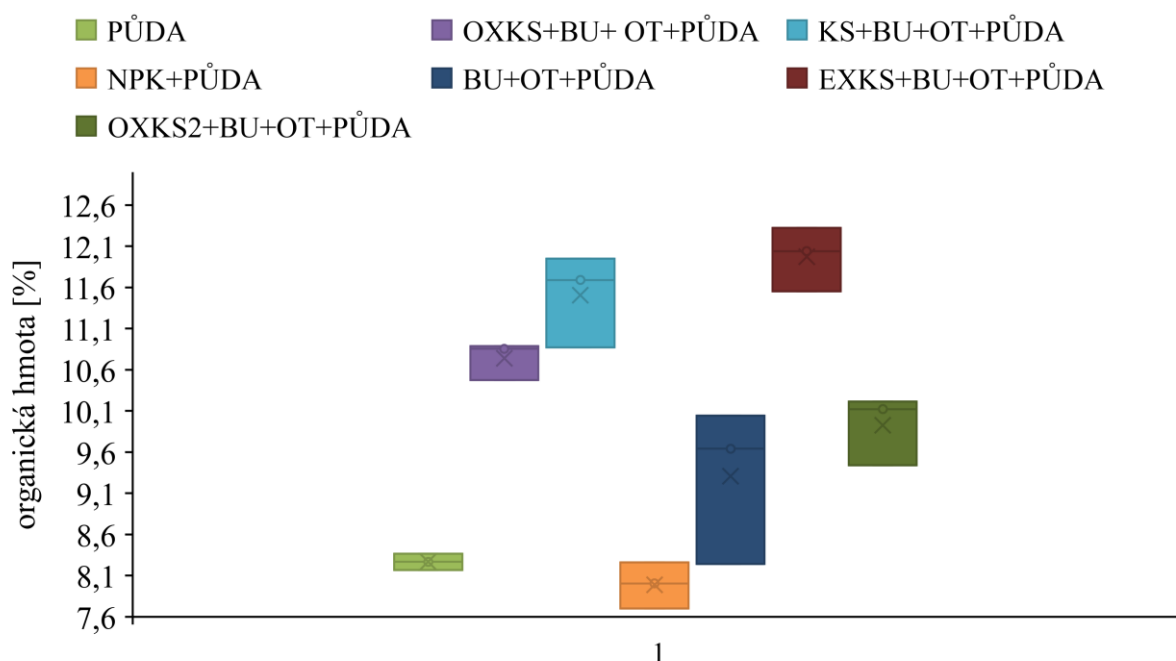
Obrázek 20: Koncentrace zinku, železa, mědi a v půdě před a po pěstování salátu.

4.3 Fyzikálně chemické vlastnosti směsí

Čistá půda byla smíchána vždy s 2,5 obj. % množstvím potravinářského odpadu dle požadované směsi, hnojivo bylo přidáno do půdy v koncentraci 1,5 g·l⁻¹. Mezi sledované změny fyzikálně-chemických vlastností přidavkem různých aditiv do půd patří obsah organické hmoty, vodní kapacita, vodivost, pH a minerální složení.

4.3.1 Obsah organické hmoty

Obsah organické hmoty je definován jako celkový obsah dostupného uhlíku v půdě [88]. Organická hmota je podstatnou součástí půdy a podílí se na výměně kationtů, zadržuje vodu a uvolňuje živiny do půdního roztoku. Zvýšení obsahu organické hmoty půdy z dlouhodobého hlediska obohatíme také o mnoho nutričně významných živin [71]. Z obrázku 21 je zřejmé, že při žihání dosahovaly největšího procentuálního úbytku hmotnosti směsi s obohacenou půdou. Jak jsme očekávali nejmenší úbytek nastal u směsi NPK+PŮDA, protože průmyslové hnojivo neobsahovalo žádnou přidanou hodnotu v podobě organické hmoty. KS sama o sobě obsahuje dle literatury od 87,7 % [127] do 64,7 % organické hmoty [128]. Z grafu (viz obrázek 21) je viditelné že půdní organická hmota byla nejvíce obohacena právě ve směsích s KS, OXKS, OXKS2, EXKS. Směs BU+OT+PŮDA dosahovala nižších hodnot organické hmoty, což je dáno především nižším obsahem potravinářského odpadu ve směsi.



Obrázek 21: Obsahu organické hmoty po vyžihání pro všechny směsi půd.

4.3.2 Maximální kapilární vodní kapacita dle Nováka

Maximální kapilární vodní kapacita je popisována jako schopnost půdy zadržovat vodu pro potřeby rostlin. Existují pouze orientační hodnoty rozsahů hydrolimitů. Hodnota maximální kapilární vodní kapacity závisí na stanovišti vzorku, textuře hlíny i struktuře. Průměrná hodnota maximální kapilární vodní kapacity ornice všech typů půd v ČR je okolo 35 %. Nejvyšších hodnot mohou dosahovat jílovité půdy, které mají až 46,48 % [91]. Obecně tedy neplatí, že s vyšší kapilární vodní kapacitou se zvyšuje kvalita půdy. Záleží tedy na stanovišti i charakteristice půdy.

Její maximální kapilární vodní kapacita vzorku půdy byla stanovena na 44,15 %, což je v porovnání s průměrem v ČR poměrně vysoká zadržnost vody. Přidáním potravinářského odpadu do půdy se viditelně zvýšila vodní kapacita ve všech směsích (tabulka 10), kromě směsi BU+OT+PŮDA, kde došlo ke snížení vodní kapacity vůči referenční půdě. Zvýšení kapilární vodní kapacity bude hrát podstatnou roli při nedostatku vláhy pro rostliny. V současné době, kdy dochází k výkyvům teplot a množství srážek ubývá by potravinářský odpad mohl snížit potřebu zavlažování rostlin.

Tabulka 10: Naměřené hodnoty maximální kapilární vodní kapacity pro půdní směsi s potravinářským odpadem.

Název půdní směsi	Max. kapilární vodní kapacita dle Nováka [%]
PŮDA	44,15 ± 2,85
BU+OT+PŮDA	38,80 ± 0,70
KS+BU+OT+PŮDA	52,67 ± 11,41
OXKS+BU+OT+PŮDA	45,92 ± 0,52
EXKS+BU+OT+PŮDA	46,70 ± 0,57
OXKS2+BU+OT+PŮDA	47,10 ± 0,28

4.3.3 Vodivost a pH

Kyselost půdy a její vodivost, jsou parametry závislé na celkovém množství iontů v půdním roztoku. Oba tyto parametry slouží k posouzení kvality půdy [129].

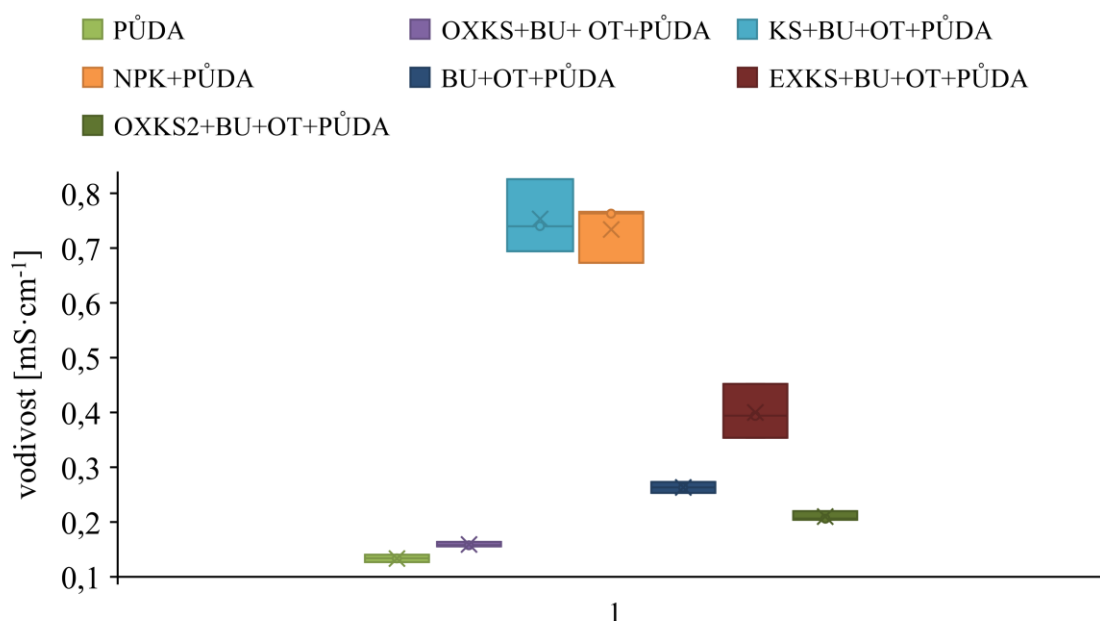
Z dat vodivosti jsme schopni posoudit salinitu půd, jelikož roste s koncentrací rozpuštěných minerálních solí. Půdy dle hodnoty vodivosti dělíme na: nezasolené půdy do $0,7 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, středně zasolené $0,7\text{-}1,4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (citlivější rostliny začínají negativně reagovat), zasolené $1,4\text{-}2,8 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (nepříznivá reakce u všech rostlin) a silně zasolené nad $2,8 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ [123]. Vysoká salinita může vést až ke smrti rostliny. Obecně prvními příznaky salinity je snížení obsahu vody v rostlině, snížení růstu rostliny a ovlivní vegetativního růstu i klíčení [131].

Z tabulky 11 pro vodivost je patrné, že samotné OT dosahovaly nejvyšších hodnot vodivosti. Což je dáno také jejich vysokým obsahem minerálních látek. Námi naměřená hodnota vodivosti pro KS ($2,11 \pm 0,040 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) se odlišuje od hodnoty uváděné v literatuře ($1,85 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) [128]. Tato odchylka může být způsobena různorodostí materiálu i zvolenou metodou měření.

Tabulka 11: Hodnoty vodivosti pro vzorky KS, BU, OT, OXKS, EXKS.

Vzorek	vodivost [$\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$]
KS	$2,11 \pm 0,04$
BU	$1,78 \pm 0,07$
OT	$3,13 \pm 0,04$
EXKS	$0,39 \pm 0,01$
OXKS	$4,16 \pm 0,57$

Vodivost připravených směsí se pohybovala v rozmezí od $0,38\text{--}0,83 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Všechny směsi vykazovaly zvýšenou vodivost alespoň o $0,02 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ oproti kontrolní půdě. Statisticky jako celek mají data odlišné hodnoty ($p = 0,0037$). Nejvyšší vodivost vykazovala směs KS+BU+OT+PŮDA a NPK+PŮDA, citlivější rostliny (např. brambory, zelí a hrách) by tedy mohly vykazovat výše uvedené příznaky zvýšené salinity v půdním roztoku. Zvýšení vodivosti u přidavku NPK bylo očekávané, jelikož došlo k záměrnému zvýšení obsahu minerálních látek. Naopak nejnižší vodivost byla naměřena ve směsi OXKS+BU+OT+PŮDA (obrázek 22), což je v rozporu s naměřenými daty vodivosti KS a OXKS (tabulka 11).



Obrázek 22: Boxový graf pro vodivost půdních směsí.

Využitá aditiva na tvorbu půdních směsí mají slabě kyselé pH. Nejnižší hodnota pH byla naměřena u KS a jejich modifikací (viz tabulka 12). Tato charakteristika byla očekávána z literární rešerše [127, 134]. Hodnoty blížíci se k neutrálnímu pH byly naměřeny u BU a OT po jejich 30minutové extrakci. Při delší extrakci by došlo u OT k ještě většímu poklesu pH, jelikož by došlo k dalšímu vyloučení organických kyselin. Ale z důvodu zachování stejného postupu byla extrakce ukončena. KS stejně jako otruby může být v půdě snadno rozložena

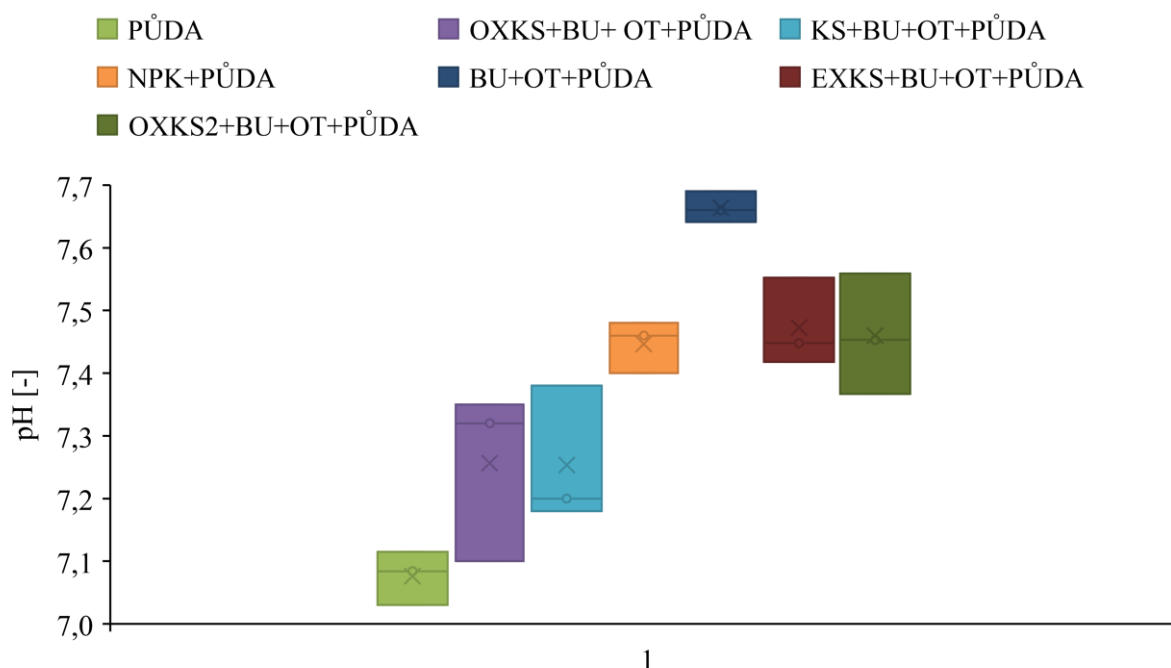
půdními mikroby za vzniku nízkomolekulárních organických kyselin, které snižují pH půdy [136].

Tabulka 12: Hodnoty pH pro vzorky KS, BU, OT, OXKS, EXKS.

Vzorek	pH [-]
KS	$5,27 \pm 0,01$
BU	$6,49 \pm 0,02$
OT	$6,28 \pm 0,03$
EXKS	$5,73 \pm 0,02$
OXKS	$5,93 \pm 0,07$

Půdní pH je podstatným ukazatelem zdraví půdy. Jeho hodnota se odráží v rozpustnosti sloučenin, příjmu živin rostlinou a slouží jako mikrobiální ukazatel [71, 123]. Dle studie DOMINGUES a kol. [133] je vhodné rozmezí pH pro rostliny 5,8-6,2 při 25 °C. Naproti tomu je v literatuře uváděna maximální dostupnost živin při hodnotách pH 6-7,5 [121].

U všech připravených půdních směsí se pohybovalo v rozmezí od pH 7,1-7,7 (obrázek 23). Dle literatury můžeme rozdělit naše směsi na neutrální až alkalické [71]. Mezi neutrální půdy řadíme směs OXKS+BU+OT+PŮDA a KS+BU+OT+PŮDA, ostatní směsi spadají do alkalických půd. Stojí za zmínku, že i v kombinaci s mírně kyselými aditivami jako je KS a BU docházelo spíše ke zvýšení alkality půdy, a to u všech směsí. Ve studii Ribeiro a kol. došlo také ke zvýšení pH půdy po aplikaci popela a KS do půdy oproti půdě čisté ($\text{pH } 7,67 \pm 0,03$) [136]. Při přidavku KS do půdy nedošlo ve studii Cruz a kol. ke snížení pH půdy [132]. Je evidentní, že podstatný vliv na pH u všech půdních směsí má biouhel, který ve všech směsích zvýšil pH v důsledku tzv. vápnění a také svou nejvyšší hodnotou pH [135].



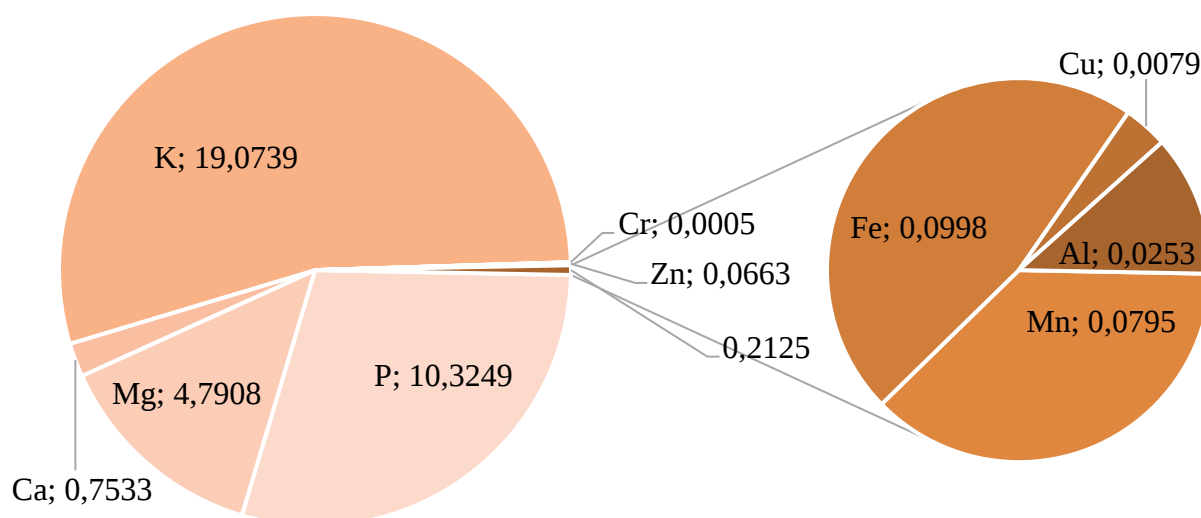
Obrázek 23: Boxový graf pro pH půdních směsí.

Při korelační analýze dat pro vodivost a pH byly zjištěny záporné koeficienty u směsí PŮDA (-0,5935), NPK+PŮDA (-0,3045), BU+OT+PŮDA (-0,3845), což znamenal pokles pH při zvýšení vodivosti. Kdežto u směsí s OXKS (0,6591) a OXKS2 (0,9398) pH a vodivost vykazovala pozitivní korelaci, tím pádem se při zvýšení pH zvyšovala vodivost. U směsí s EXKS+BU+OT+PŮDA korelační analýza neprokázala žádnou závislost. Tato analýza dat nasvědčuje významnému vlivu obsahu minerálních látek na vodivost.

4.3.4 Minerální složení

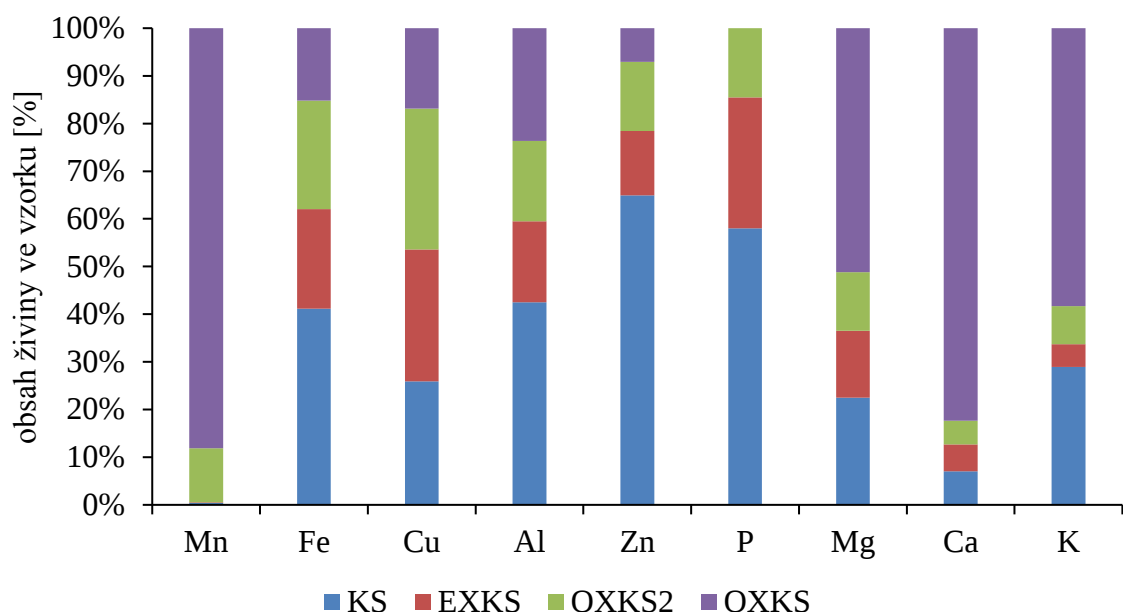
Minerální prvky jsou důležitým faktorem pro růst rostlin. Jsou nezbytné pro správné fungování všech životních funkcí rostliny. Nachází se ve formě iontů v půdním roztoku, kde jsou přijímány kořeny rostlin. Naše práce se soustředila na čtyři vybrané makro živiny (P, Ca, K, Mg) a šest mikro živin (Al, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn) [71]. Všechny prvky byly analyzovány pomocí ICP-OES.

Nejprve bylo samostatně studováno prvkové složení OT a KS. Prvková analýza pšeničných otrub odhalila největší zastoupení makro prvků jako je K, Mg a P, které jsou podstatné pro růst rostlin. Obsah makro živin dosahuje vyšších hodnot než v KS (viz obrázek 24).



Obrázek 24: Průměrná koncentrace prvků (mg·g⁻¹) v pšeničných otrubách použitých v pěstebním experimentu.

Koncentrace nejzastoupenějších minerálních látek v KS (tj. Ca, K, Mg a P) znázorňuje obrázek 25. Draslík a hořčík jsou nejhojnějšími prvky v KS. Trendy koncentrací jednotlivých minerálních látek pro kávovou sedlinu jsou: K > P > Mg (Mussatto a kol., [136]) a K > Mg > P > Ca (Tsai a kol., [138]), což je také trend nalezený v naší studii. Je ale obecně zjištěn významný rozdíl ve složení minerálů v různých KS [115]. Rozdíly v minerálním složení použité kávy je třeba přičíst půdě a hnojivům používaným při pěstování odrůd kávy [139, 140]. Úpravami KS pomocí extrakce a oxidace došlo ke změně minerálního složení. Z obrázku 25 jsou patrné změny složení minerálních látek v upravené KS. U EXKS došlo ke snížení všech minerálních živin. OXKS obsahovala vyšší koncentraci pouze u Mg, Mn, Ca, K oproti surové kávové sedlině. OXKS2 měla vyšší koncentraci pouze v případě Mn.



Obrázek 25: Procentuální obsah prvků v KS, OXKS, OXKS2 a EXKS.

Analýza prvků byla provedena před pěstováním a po pěstování salátu pomocí ICP-OES, vždy ve trojím opakování. Půda po pěstování byla odebrána vždy co nejbližše kořenům. Byl sledován nárůst nebo pokles obsahu živin vůči kontrolní půdě (viz tabulka 13). Pokles minerálních živin před pěstováním i u směsi s minerálním hnojivem je očekávaný vzhledem k pomalému rozpouštění dodaných živin do půdy. V přílohách (8) jsou uvedeny konkrétní naměřené hodnoty pro koncentrace živin před a po pěstování salátu. Ve vytvořených směsích nedošlo ke zvýšení obsahu minerálních látek před pěstováním vzhledem ke kontrolní půdě. U Cr, Zn a v některých případech Al se hodnoty signifikantně nelišily, proto byl použit znak shody (–).

Tabulka 13: Byl sledován efekt způsobu úpravy na koncentrace přístupných živin před pěstováním oproti čisté zemině. Nárůst (↑), pokles (↓) nebo shoda (–).

Vzorek	P	Mg	Ca	K	Cr	Zn	Mn	Fe	Cu	Al
BU+OT+PŮDA	↓	↓	↓	↓	–	–	↓	↓	↓	–
NPK+PŮDA	↓	↓	↓	↓	–	–	↓	↓	↓	↓
OXKS+BU+OT+PŮDA	↓	↓	↓	↓	–	–	↓	↓	–	↓
KS+BU+OT+PŮDA	↓	↓	↓	↓	–	–	↓	↓	↓	↓
EXKS+BU+OT+PŮDA	↓	↓	↓	↓	–	–	↓	↓	↓	↓
OXKS2+BU+OT+PŮDA	↓	↓	↓	↓	–	–	↓	↓	↓	↓

Na druhou stranu po pěstování převažuje vyšší množství minerálních látek právě ve směsích obohacených potravinářským odpadem. Jelikož je půda živý systém mohlo dojít k uvolnění minerálních látek mikroorganismy nebo k jejich lepšímu vyloučení. Dalším uvolněním mohl

být růst salátu. Jelikož kontrolní půda, NPK+PŮDA a BU+OT+PŮDA měly nejnižší fytotoxický efekt na rostliny, docházelo k vyššímu úbytku minerálních látek z půdy z hlediska většího růstu salátu (tabulka 14).

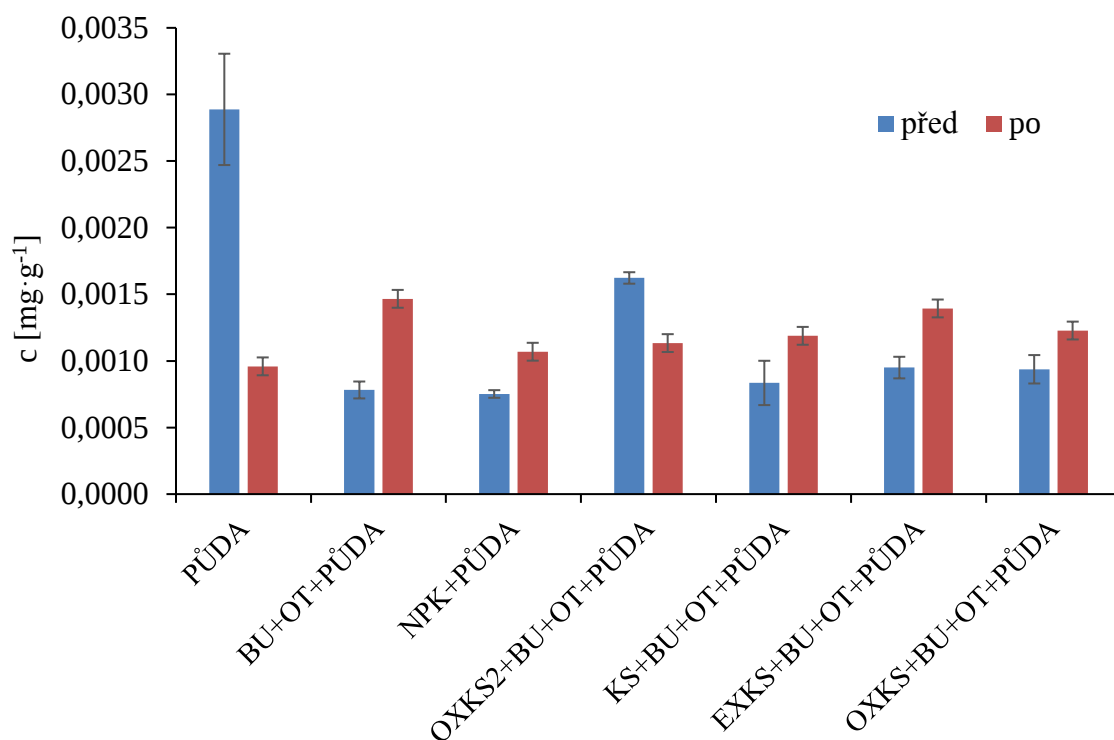
Tabulka 14: Byl sledován efekt způsobu úpravy na koncentrace přístupných živin po pěstování oproti čisté zemině. Nárůst (↑) nebo pokles (↓) nebo shoda (–).

Vzorek	P	Mg	Ca	K	Cr	Zn	Mn	Fe	Cu	Al
BU+OT+PŮDA	↑	↑	↑	↑	–	–	↓	↓	–	–
NPK+PŮDA	↑	↑	↑	↑	–	–	↑	↓	↓	↑
OXKS+BU+OT+PŮDA	↑	↑	↑	↑	–	–	↑	↓	↑	↑
KS+BU+OT+PŮDA	↑	↑	↓	↑	–	–	↑	↑	↑	–
EXKS+BU+OT+PŮDA	↑	↑	↑	↑	–	–	↑	↓	↓	↑
OXKS2+BU+OT+PŮDA	↑	↑	↓	↑	–	–	↑	↑	↑	–

Fosfor

Fosfor je podstatný pro rostlinu hlavně pro regulaci vody a snižuje nepříznivé účinky solí v rostlinách [93]. Jeho celkové množství v půdě se pohybuje v rozmezí od 0,01 do 0,15 % [8]. Převážná část fosforu v půdě je pro rostliny hůře dostupná, protože je fosfor v půdě velmi málo pohyblivý. Vyšší obsah fosforu můžeme očekávat v lehkých půdách s vysokým obsahem organických látek a také s nižší hodnotou pH [71]. Nedostatek fosforu se u rostlin neprojevuje viditelně, spíše jde o omezení biochemických funkcí. Dlouhodobý nedostatek fosforu se nejlépe pozná načervenalými listy [71, 96].

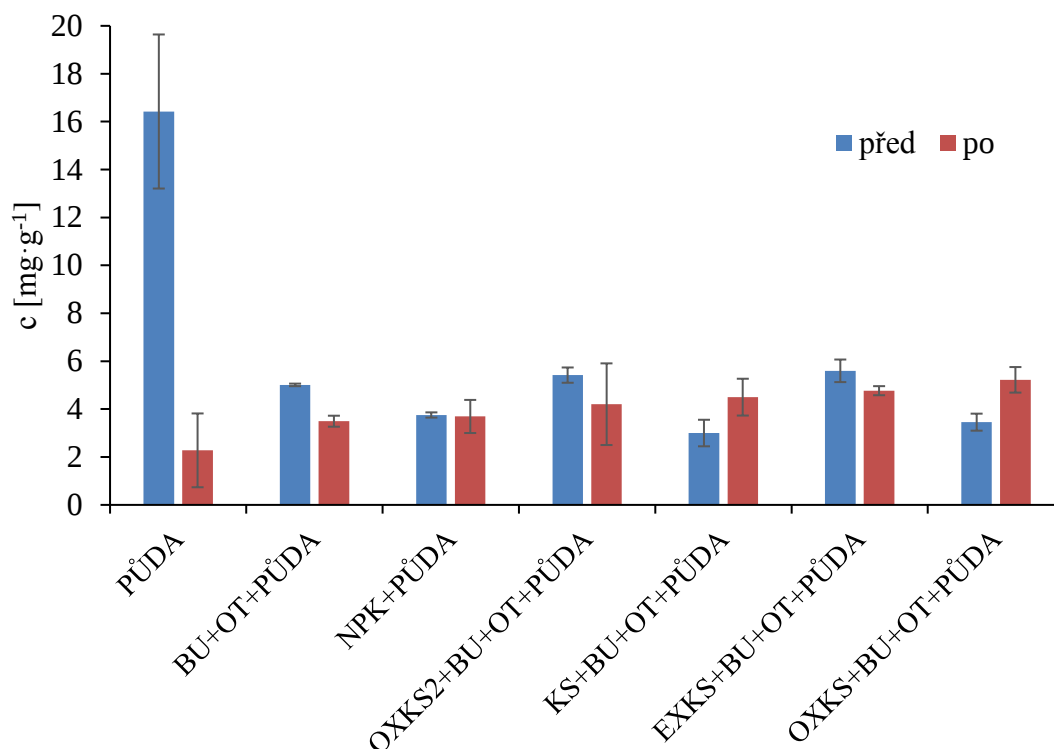
Množství fosforu v půdě před pěstováním je nízké jak u půdy ($2,8880 \pm 0,4179 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) tak u všech půdních směsí. Půdní směsi viditelně neobohatili půdu fosforem i přes velké množství fosforu jak v OXKS ($3,1371 \pm 0,1997 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) tak v OT ($10,3249 \pm 1,0519 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$). V případě po pěstování je viditelný nárůst koncentrace fosforu ve všech směsích kromě kontrolní půdy a směsi s OXKS2+BU+OT+PŮDA (obrázek 26). Vzniklé směsi dokonce vykazovaly vyšší koncentraci fosforu oproti půdě s minerálním hnojivem. Což by mohlo být způsobeno vyšším dodaným množstvím samotného fosforu do půdy pomocí potravinářského odpadu, popřípadě vyšším využitím fosforu rostliny pěstované v NPK+PŮDA. Což by také vysvětlovalo tenké a nerozvětvené kořeny u směsí s OXKS, EXKS, KS, OXKS2. Jelikož nedostatek fosforu je také indikován snížením počtu vedlejších kořenů.



Obrázek 26: Graf naměřené koncentrace fosforu v půdě a půdních směsí před a po pěstování.

Draslík

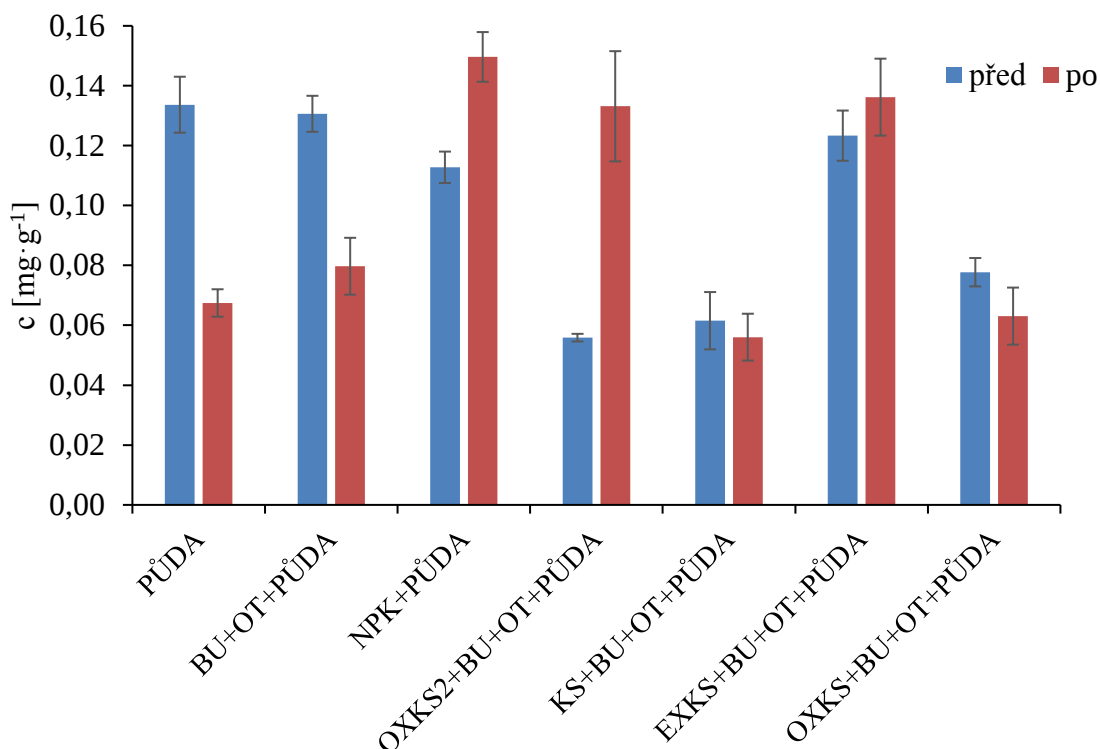
Draslík je podstatnou živinou pro rostliny, kvůli jeho zásadní roli v metabolismu růstu a vývoji rostliny. Bez dostupného draslíku budou mít rostliny nevyvinuté kořeny a celkově bude nižší výnos. Pokud je v půdě příliš mnoho draslíku ($>0,560 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) [91], můžeme očekávat snížení obsahu prvků jako je: Na, Mg a Ca. Tím pádem bude docházet ke snížení dostupnosti těchto prvků a rostlina bude mít příznaky deficitu Na, Mg, a Ca [8]. Obsah draslíku v půdních aditivech se významně liší. Posloupnost v obsahu draslíku u jednotlivých aditiv jde od $\text{EXKS} < \text{OXKS2} < \text{KS} < \text{OT/OXKS}$. Graf (obrázek 27) znázorňuje, že nejnižších hodnot dosahovali směsi s KS a OXKS. Z grafu (obrázek 27) je také čitelné, že jsou to právě směsi KS a OXKS, u kterých došlo ke zvýšení koncentrace draslíku po pěstování.



Obrázek 27: Graf naměřené koncentrace draslíku v půdě a půdních směsí před a po pěstování.

Vápník

Vápník a jeho příjem kořeny rostlin je ohrožován hlavně vysokým obsahem draslíku. Vápník je podstatný pro tvorbu buněčných stěn a membrán, také slouží jako druhý posel v mnoho regulačních procesech [99]. Deficit vápníku je vidět na nejmladších listech (červené skvrny), snížením obsahu vápníku klesá hodnota pH a tvoří se méně kořenů. Obsah vápníku je velmi nízký jak v referenční půdě, tak u všech půd sledovaných před i po pěstování [71]. Optimálně by se měla hodnota vápníku pohybovat okolo $2 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ [91], což nesplňuje ani jedna z půdních směsí. Každopádně můžeme z grafu (obrázek 28) vidět výrazný nárůst obsahu vápníku po pěstování salátu u několika směsí: NPK+PŮDA, OXKS2+BU+OT+PŮDA, EXKS+BU+OT PŮDA.

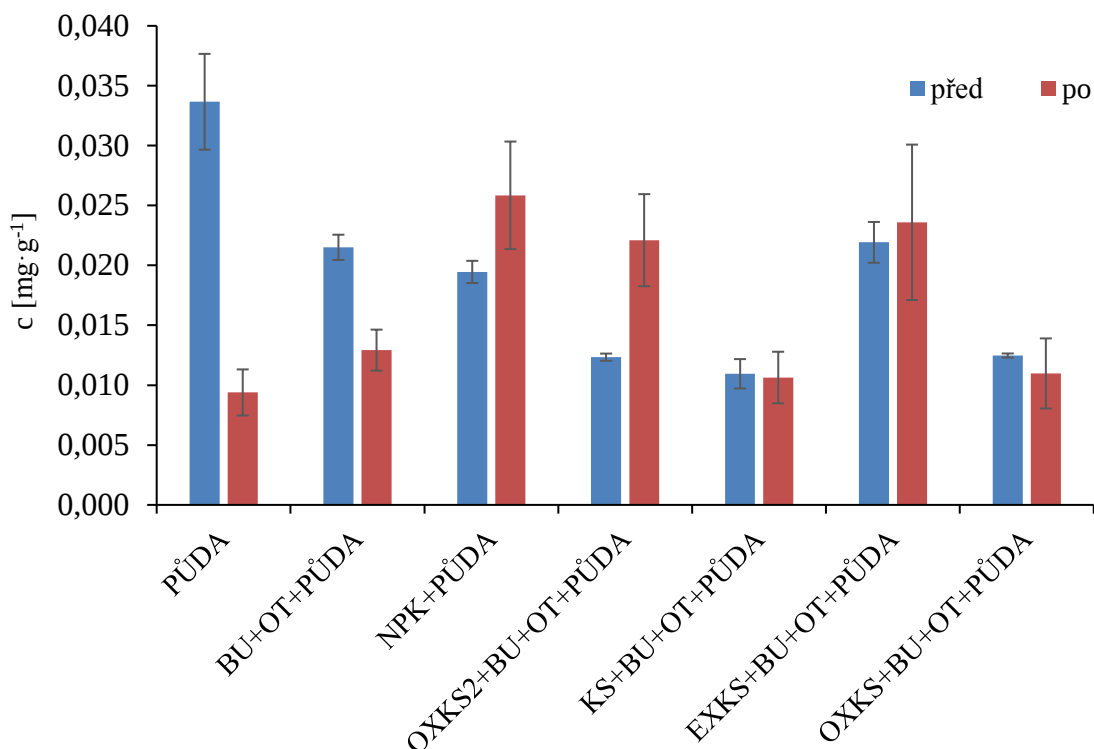


Obrázek 28: Graf naměřené koncentrace vápníku v půdě a půdních směsí před a po pěstování.

Hořčík

Jako centrální atom chlorofylu je hořčík životně důležitý pro fotosyntézu. Účastní se mnohých biochemických i fyziologických procesů a hraje klíčovou roli při růstu a vývoji rostliny. Prvním signálem nedostatku hořčíku v rostlinných je právě snížení fotosynteticky aktivních pigmentů (chlorofyly). Projev nedostatku se ukazuje na starších listech rostlin [71, 100]. Vypěstované saláty měly podobné hodnoty obsahu chlorofylu *a* u všech půdních směsí až na EXKS, která dosahovala nejmenší koncentrace chlorofylu *a*.

Otruby obsahují až $4,7908 \pm 0,2546 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ hořčíku, následuje OXKS ($3,3116 \pm 0,1329 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$), KS ($1,4547 \pm 0,0791 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) a poté EXKS/OXKS2, které se vzájemně neliší a průměrně dosahují $0,8502 \pm 0,083 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$. Z grafu (obrázek 29) vyčteme, že u směsí s KS/OXKS/EXKS nedošlo ke změně před a po pěstování salátu. Směs s OXKS2 na počátku měla méně hořčíku, ale po pěstování dosahovala stejných hodnot jako EXKS, což by znamenalo, že EXKS dokáže nabídnout rostlině již od počátku více hořčíku než OXKS2.

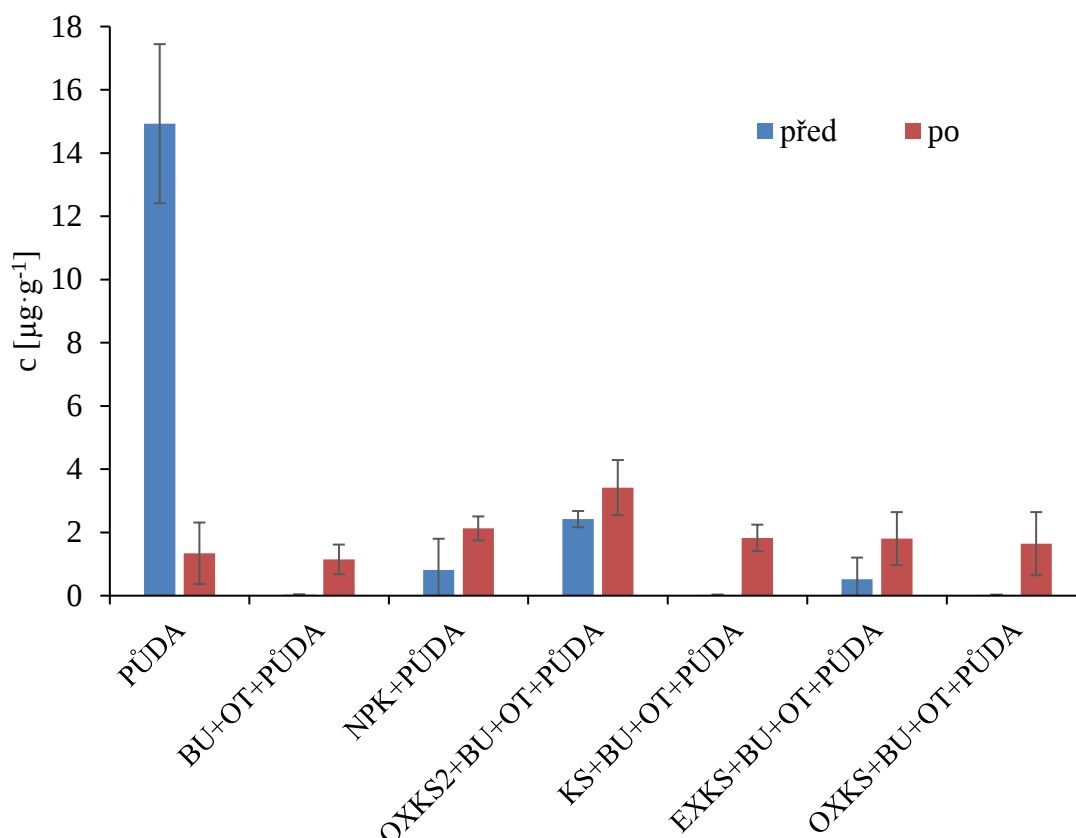


Obrázek 29: Graf naměřené koncentrace hořčíku v půdě a půdních směsí před a po pěstování.

Mangan

Mangan aktivuje mnoho enzymů a podílí se na nezbytném štěpení molekuly vody během fotosyntézy. Jeho nedostatek se projevuje hnědými skvrnami na listech mezi žilkami [71, 103]. Příjem manganu je také ovlivněn pH, zvýšením pH nad 6,8 dochází k nižší rozpustnosti manganu. Reakce rostlin na nadbytek manganu bývá obdobný jako při jeho nedostatku [8].

Očekáváme vyšší množství manganu v půdních směsí s OXKS a OXKS2 kvůli použití manganistanu draselného jako oxidačního činidla, což bylo potvrzeno i při analýze jednotlivých aditiv. Větší množství Mn dle prvkové analýzy obsahuje OXKS. Před pěstováním se ale zvýšil obsah Mn nejvíce u OXKS2+BU+OT+PŮDA. Nicméně z grafu (obrázek 30) vyplývá, že při porovnání směsí s referenční čistou půdou před pěstováním zjistíme, že nedošlo ke zvýšení obsahu Mn. Naopak po pěstování salátu vzrostl obsah manganu u všech směsí kromě kontrolní půdy. Rozdíl koncentrací manganu mezi OXKS a OXKS2 vznikl kvůli použití peroxidu vodíku u OXKS2, který reakcí s manganistanem draselným tvoří oxid manganičitý, hydroxid draselný, vodu a kyslík. Tudiž sloučeniny, které jsou lépe přijatelné pro kořeny rostlin. Můžeme tedy říci, že přidávkem OXKS2 se signifikantně zvýšil obsah manganu po pěstování salátu oproti směsi BU+OT+PŮDA.

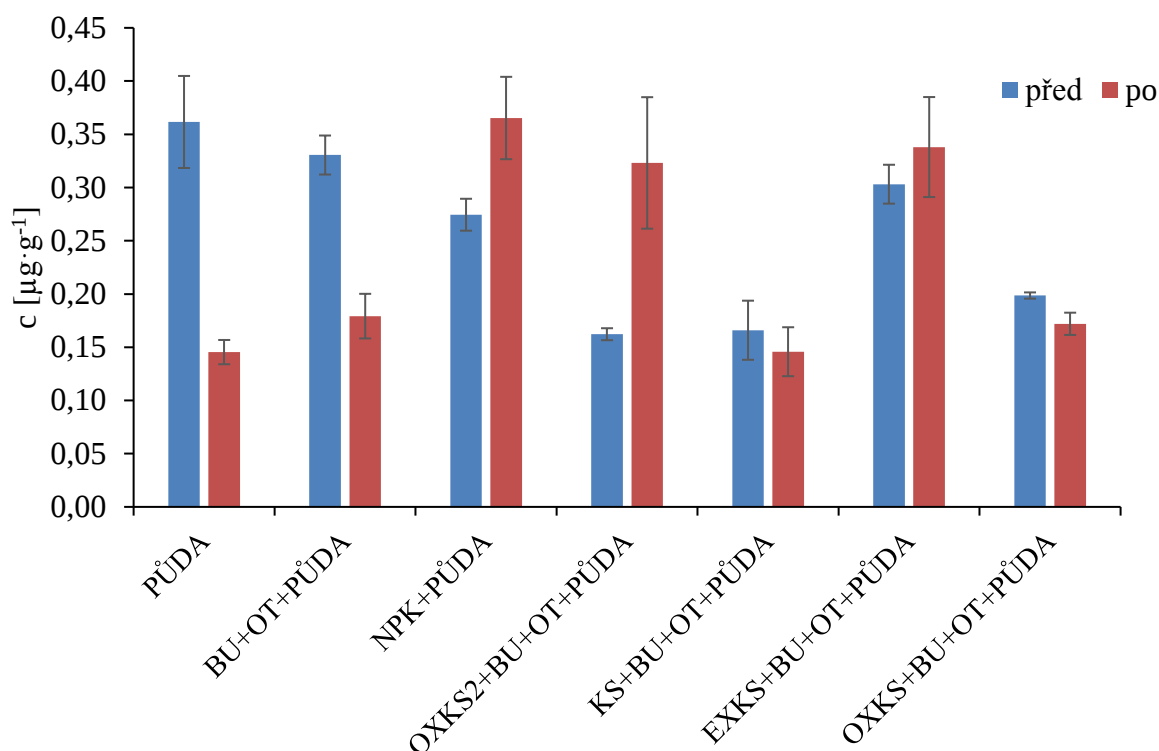


Obrázek 30: Graf naměřené koncentrace manganu v půdě a půdních směsí před a po pěstování.

Hliník

Hliník je jedním z mikroživin a vyskytuje se v půdách v množství okolo 7 %. S nižším pH (<5,5) se koncentrace hliníku v půdním roztoku zvyšuje. Úpravou pH můžeme tedy docílit snížení obsahu hliníku, aby nedošlo k nepříznivému působení na rostliny až k toxicitě. Nadbytek hliníku většinou působí negativně na celkový růst a ovlivňuje příjem živin. Hliník obecně pomáhá především růstu kořenům, a to hlavně pro specifické rostliny jako např. čajovník [8, 71].

pH všech půdních směsí bylo neutrální až alkalické, a proto nebyla nalezena korelace mezi obsahem Al po pěstování a pH půdy. Obsah hliníku je nejvyšší u OT ($0,0253 \pm 0,0108 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$), KS obsahuje $0,0140 \pm 0,0124 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ hliníku, její úpravou se snížila koncentrace hliníku, každopádně statisticky nebyla prokázána odlišnost mezi KS a jejími úpravami. Před pěstováním se nejvíce podobá obsahu v kontrole směs s EXKS a pouze s BU. Po pěstování dosahovaly signifikantně vyšších hodnot směsi NPK+PŮDA, OXKS2+BU+OT+PŮDA, EXKS+BU+OT+PŮDA. U ostatních se hladina hliníku nezměnila nebo po pěstování klesla (viz obrázek 31).

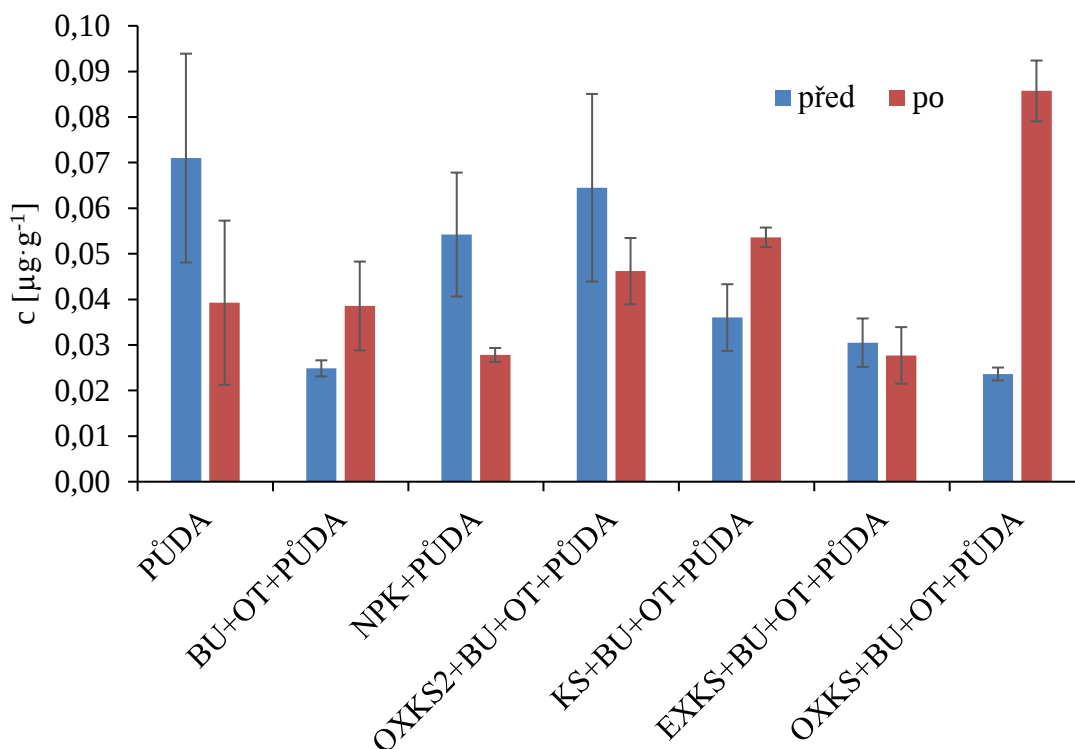


Obrázek 31: Graf naměřené koncentrace hliníku v půdě a půdních směsí před a po pěstování.

Měď

Měď jako mikroprvek je podstatný pro rostlinu z hlediska metabolismu buněčné stěny, transportu elektronů a ochrany proti oxidativnímu stresu. Nedostatek mědi je viditelný ve formě úzkých, zkroucených listů a bledě bílých špiček výhonků. Měď je obecně používána v zemědělství jako protiplísňové činidlo a je také uvolňována do životního prostředí lidskou činností [104].

Ani otruby ani KS nejsou příliš bohaté na obsah mědi, každopádně vyšší obsah je v KS ($0,0151 \pm 0,0040 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$). OXKS obsahuje nejmenší množství mědi ze všech upravených KS ($0,0098 \pm 0,0001 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$). Z grafu (obrázek 32) je ale evidentní, že při aplikaci OXKS došlo ve směsi k razantnímu zvýšení mědi po pěstování salátu. Akumulace mědi ke kořenům mohla přispět k velmi výrazné odchylce směsi s OXKS před a po pěstování.

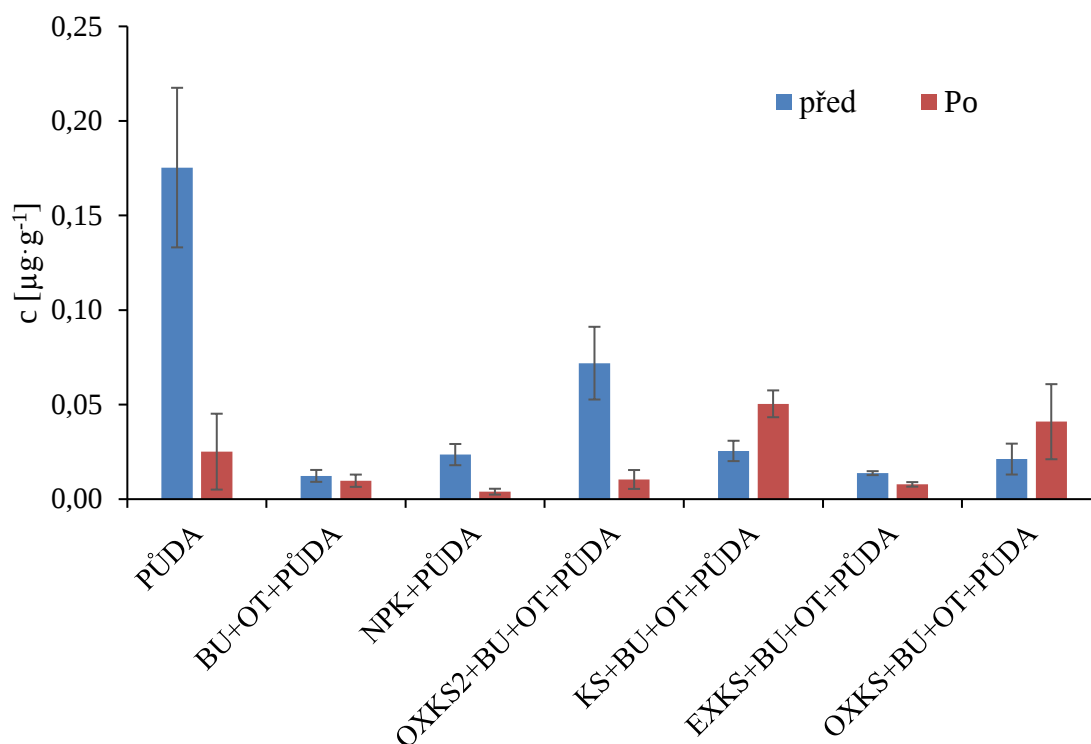


Obrázek 32: Graf naměřené koncentrace mědi v půdě a půdních směsích před a po pěstování.

Železo

Rostliny vyžadují železo ve velmi malých množstvích, v půdách se Fe vyskytuje průměrně okolo 2 %. Železo rostlina potřebuje na syntézu chlorofylu a udržování struktury a funkce chloroplastů. Nízký obsah železa trápí často rostliny z důvodu špatné rozpustnosti kationtů v půdním roztoku [93]. Rozpustnost se zvyšuje až při snížení pH půdy pod 5,5 [8]. Deficit železa poznáme na rostlině chlorózou mladých listů a zakrnělému růstu kořenů [93].

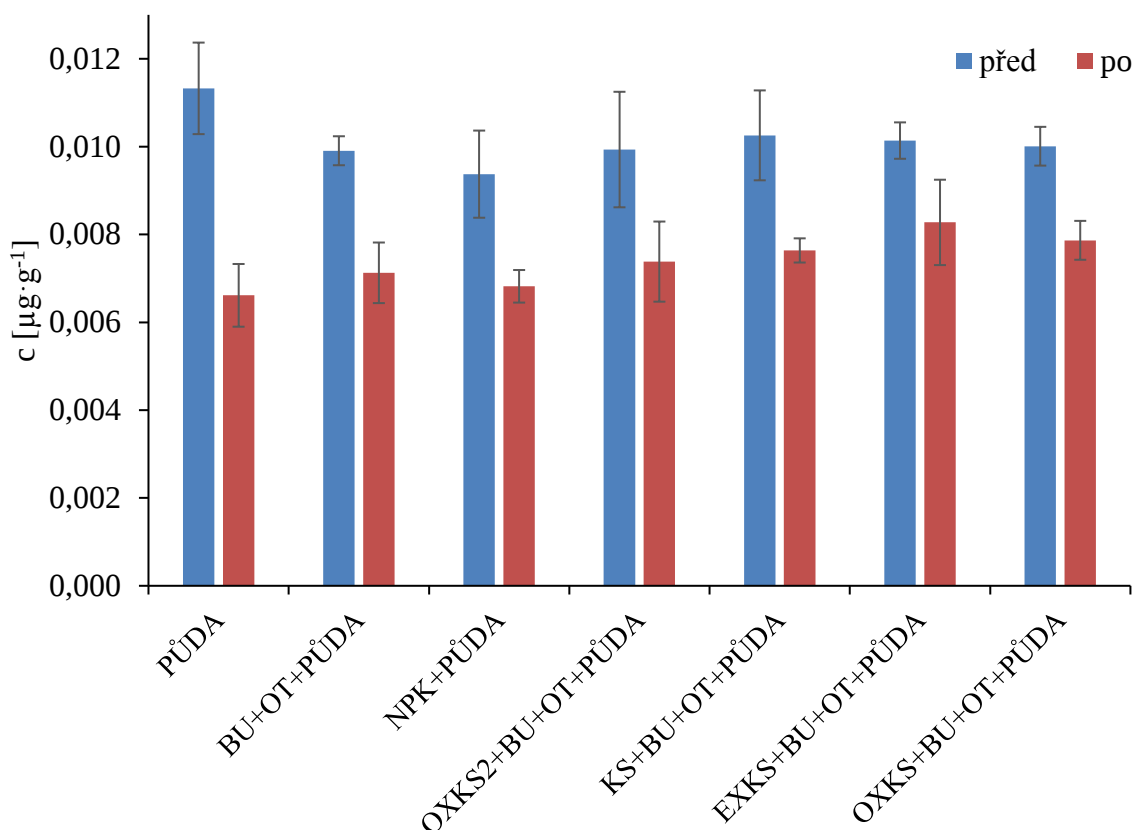
Půdní roztok obsahoval velmi malé množství železa, což mohlo být způsobeno špatnou rozpustností. Chloróza listů ale nebyla zaznamenána u žádného vyrostlého salátu. Nejbohatším aditivem na obsah železa je KS, která ale obohatila půdu vyšší koncentrací až po pěstování salátu. Hned za KS je OXKS2, která obohatila půdu před pěstováním nejvíce ze všech směsí s potravinářským odpadem. OXKS obohatila půdu železem stejně jako KS po pěstování, ostatní směsi nevykazovaly zvýšení koncentrace železa oproti kontrolní půdě (viz obrázek 33).



Obrázek 33: Graf naměřené koncentrace železa v půdě a půdních směsí před a po pěstování.

Chrom

Chrom je druhým nejběžnějším kovovým kontaminantem v podzemních vodách, půdě a sedimentech. Kvůli jeho širokému průmyslovému využití představuje vážný problém pro životní prostředí. Protože Cr je pro rostliny neesenciálním prvkem, neexistuje žádný mechanismus příjmu, je tedy vychytáván spolu se základními prvky, jako je síran. Hromadění Cr v rostlinách způsobuje vysokou toxicitu ve smyslu omezení růstu a akumulace biomasy a vyvolává strukturální změny. Zasahuje do fotosyntetických a respiračních procesů a mechanismu příjmu vody a minerálů [141]. Množství Cr v přirozených půdách se pohybuje mezi 0,005 a 1 mg·g⁻¹ v závislosti na typu půdy [142]. Obsah chromu v našich půdních aditivech je velmi nízký, jelikož jejich přidáním do půdy nebyla koncentrace chromu významně ovlivněna. Z grafu na obrázku 34 můžeme pozorovat, že chrom po pěstování snížil svoji koncentraci u všech vzorků směsí.

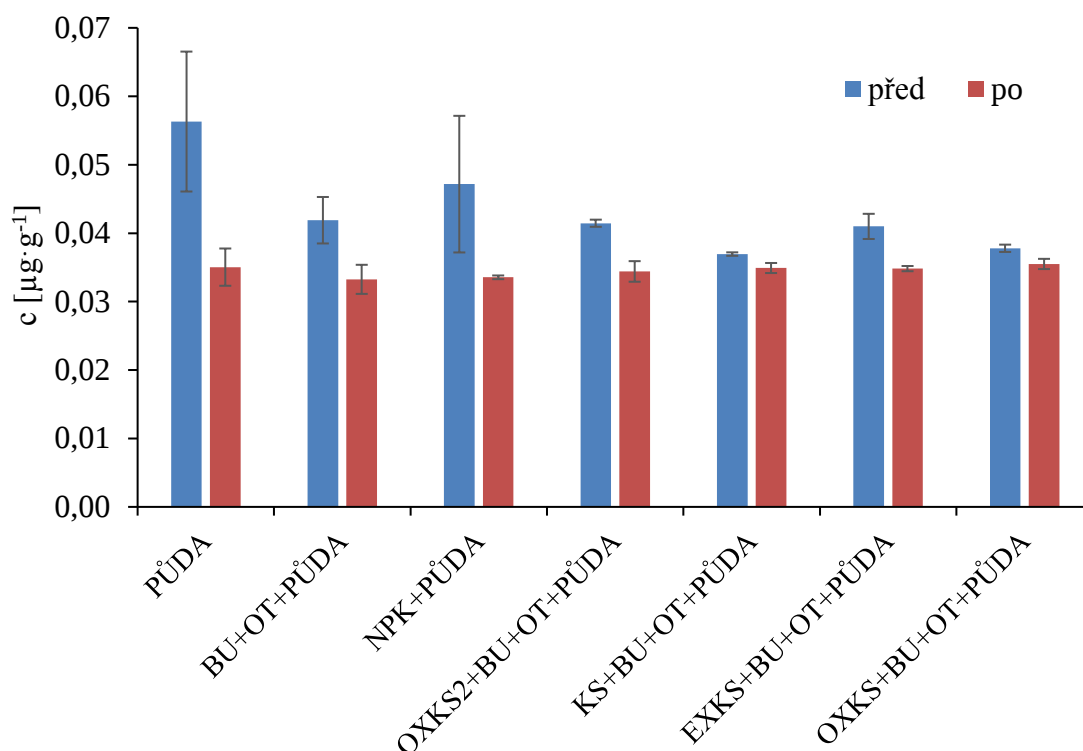


Obrázek 34: Graf naměřené koncentrace chromu v půdě a půdních směsí před a po pěstování.

Zinek

Zinek je další esenciální mikroživinou pro růst rostlin, je nezbytný pro optimální růst a ovlivňuje řadu biologických procesů (např. syntézu kyseliny β -indolyloctové). Na jeho příjem rostlinou má vliv pH a množství fosforu v prostředí. Nedostatek zinku snižuje růst celé rostliny, ale i kořene a vede ke špatné nutriční kvalitě rostlin [101].

Obsah zinku v aditivech je nejvyšší u OT, kde dosahuje hodnoty až $0,0663 \pm 0,0570 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$. Poloviční množství obsahuje KS, oxidací i extrakcí se obsah zinku opět snížil na průměrné hodnoty okolo $0,0054 \pm 0,0018 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$. Koncentrace zinku se významně nelišili po pěstování u žádné ze směsí. Jediné, co je z grafu (obrázek 35) jasné je vyšší dodání zinku minerálním hnojivem před pěstováním. Jinak hodnoty nevykazují vyšší odlišnost u žádné ze směsí. Dále je také nutné podotknout, že u všech směsí došlo ke snížení koncentrace zinku po pěstování salátu.



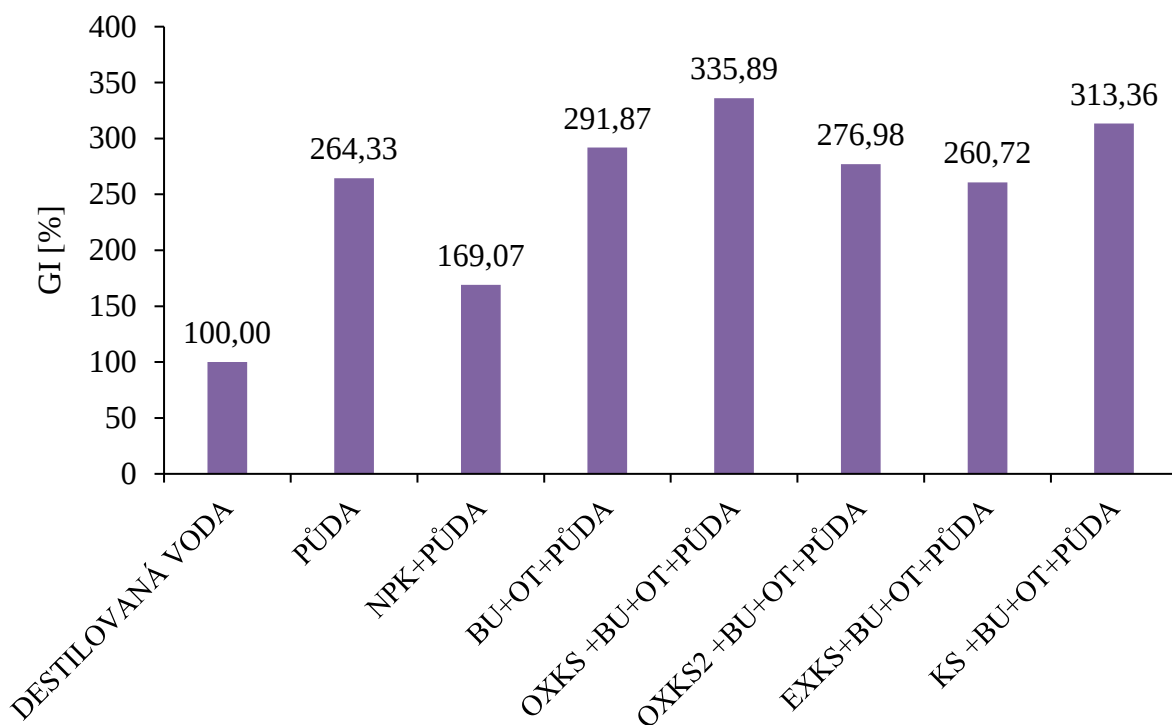
Obrázek 35: Graf naměřené koncentrace zinku v půdě a půdních směsí před a po pěstování.

4.4 Germinační testy

Germinační testy byly prováděny ve dvanácti hodinových světelných intervalech. Pomocí germinačních testů byly sledovány fytotoxické vlastnosti půdních směsí v závislosti na počtu vyklíčených semínek a délce kořenů. Metoda měření délky kořenů byla vybrána dle Baumgarten a kol., protože prodlužování kořenů prokázalo citlivost vůči polutantům z prostředí během raných fází růstu rostlin [143]. Destilovaná voda vykazovala nejkratší délky kořenů a stejně tak směs NPK+PŮDA. Ostatní směsi se významně lišily od destilované vody (PŮDA, BU+OT+PŮDA, OXKS+BU+OT+PŮDA, KS+BU+OT+PŮDA). Hnojivo použité v našem experimentu není určeno přímo ke klíčení, a právě proto mohla směs NPK+PŮDA dosahovat tak nízkých délek kořenů. U destilované vody je celkem očekávaný malý vzrůst kořene vzhledem k nedostatku živin.

Klíčivost semen byla 100 % pouze u směsi BU+OT+PŮDA, kde BU je převážně složen z uhlíku, a mohl tak přispět k lepšímu poměru C:N. U ostatních půdních směsí vyklíčilo pouze devatenáct semínek z dvaceti. PŮDA použitá v experimentu je sama o sobě netoxická, příspěvek KS do směsí prokázal svoji fytotoxickou povahu i přes snahy eliminovat fytotoxické látky extrakcí a oxidací. Ve studii Gomes a kol. při klíčení semen salátu s KS došlo k inhibici růstu oxidačním stresem a toxicitou kofeinu, každopádně u obsahu KS 2,5–5 % docházelo ke stimulaci růstu bez významných rozdílů ve srovnání s kontrolou [144]. Obecně se ale uvádí, že KS má fytotoxické vlastnosti [29, 30, 145].

Germinační index zahrnuje jak délku kořenů, tak úspěšnost počtu naklíčených semínek vůči destilované vodě. V grafu (obrázek 36) můžeme pozorovat vyšší hodnoty germinačního indexu vůči kontrole u všech směsí, což je dáno velkým rozdílem naměřených kořenů vůči destilované vodě. Vzhledem ke germinačnímu indexu by se dalo hovořit o nulové fytotoxicitě kávovou sedlinou. Ve směsi NPK+PŮDA došlo k velmi nízkému germinačnímu indexu v porovnání s ostatními směsí, výsledek může být způsoben typem použitého hnojiva určeného spíše k vegetační fázi růstu. Zastoupení jednotlivých minerálních látek nebylo optimální a nejspíše došlo k posunutí poměru C: N.

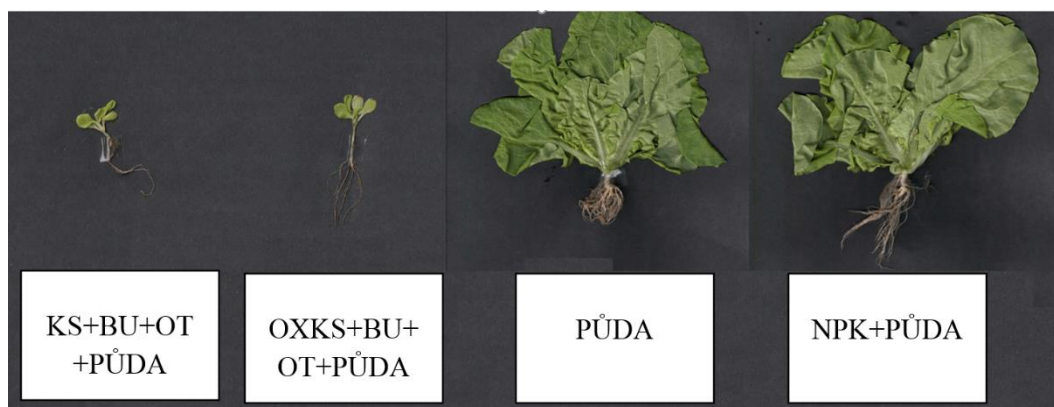


Obrázek 36: Graf germinačního indexu pro destilovanou vodu a půdní směsi.

4.5 Pilotní růstový experiment

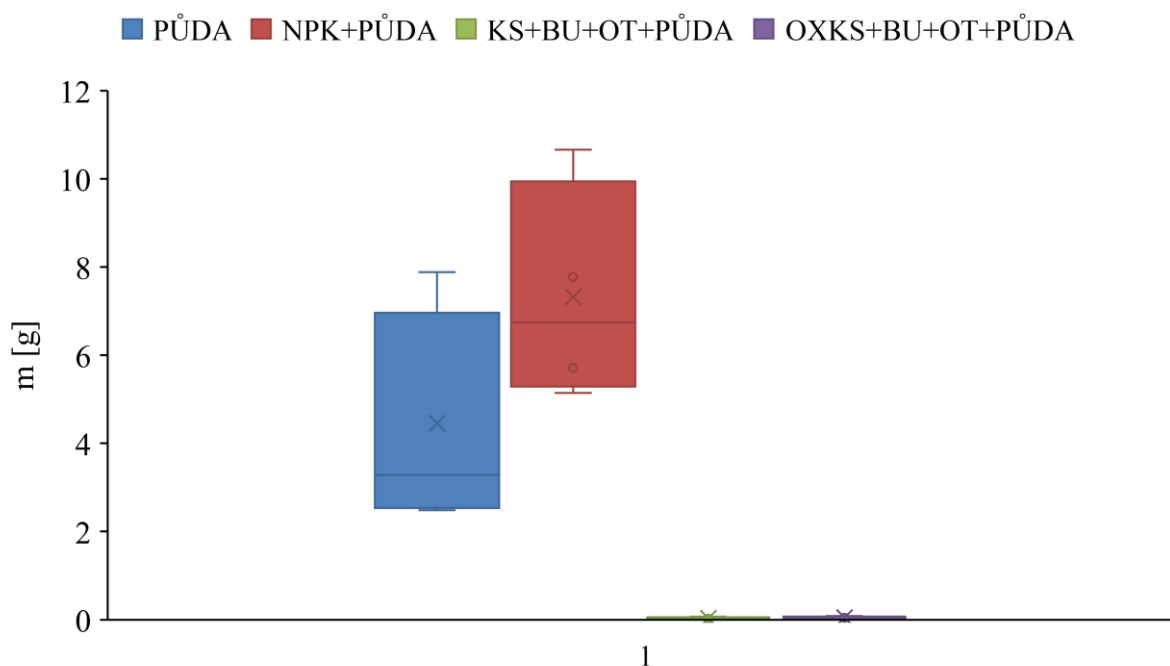
Pilotní růstový experiment sloužil k získání zkušeností a k přípravě na rozsáhlejší růstový experiment. Klíčení salátů bylo prováděno na vatě, což způsobovalo problém s odejmutím vyklíčeného semínka do půdy, proto jsme ve druhém experimentu semínka dávali do vaty odděleně. Bylo také zjištěno, že saláty po třech týdnech dorůstají menšího vzrůstu, než byl objem našich květináčů. Proto byly v rozšířeném experimentu použity menší květináče, které byly dostačující pro 26denní experiment. Průměrně se saláty zavlažovaly jednou za 3 dny. Saláty byly zalévány kohoutkovou vodou a byly v uzavřené digestoři, která se otevírala pouze při zalévání. Tím byla snaha o co nejmenší výkyvy teplot. LED osvětlení nahrazovalo sluneční paprsky.

Pilotní experiment obsahoval pouze kontrolní čistou půdu, půdu s NPK a dvě směsi s potravinářským odpadem (OXKS+BU+OT+PŮDA, KS+BU+OT+PŮDA). Saláty vypěstované v PŮDA a NPK+PŮDA vykazovaly vzrostlé zelené saláty, bez viditelných vad. U směsi OXKS+BU+OT+PŮDA měly saláty často červené tečky na listech, konce listů zasychaly, byly malé a světle zelené. Největší fyto toxický efekt měla dle očekávání směs s KS. Rostliny byly malé a světlé, u některých mladých listů se objevili hnědo-červené tečky. Negativní vliv KS na růst rostlin byl zvýrazněn tím, že půda nebyla porostlá mechem jako u ostatních substrátů. Rozdíl mezi vypěstovanými rostlinami zobrazuje obrázek 37.



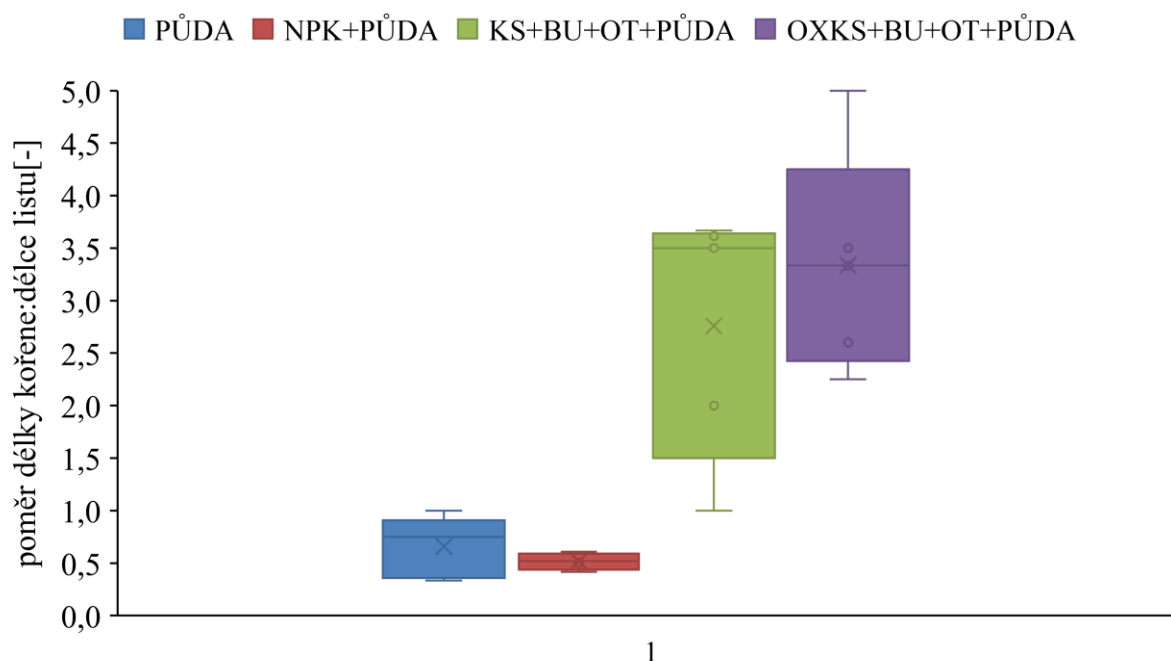
Obrázek 37: Sken vypěstovaných salátů po čtyř týdenním pilotním experimentu. Zleva: KS+BU+OT+PŮDA, OXKS+BU+OT+PŮDA, PŮDA, NPK+PŮDA.

Graf na obrázku 38 znázorňuje významný rozdíl mezi hmotností biomasy vyrostlé v PŮDĚ a NPK+PŮDA. Směsi KS+BU+OT+PŮDA a OXKS+BU+OT+PŮDA naopak měly daleko menší čerstvou hmotnost ($p = 0,0024$) což je vidět i na předchozím obrázku 37.



Obrázek 38: Boxový graf čerstvé hmotnosti salátu pilotního experimentu pro směsi PŮDA, NPK+PŮDA, KS+BU+OT+PŮDA, OXKS+BU+OT+PŮDA.

Nebyla prokázána signifikantní odlišnost u datasetu pro délku kořenů. Boxový graf poměru délky kořenů ku listu nám ale ukazuje, že délka kořenů byla v případě KS+BU+OT+PŮDA a OXKS+BU+OT+PŮDA mnohonásobně delší než délka listů (obrázek 39). Naopak delší listy narostly v PŮDĚ a NPK+PŮDA. Směsi KS+BU+OT+PŮDA a OXKS+BU+OT+PŮDA naopak měly daleko kratší listy. Z důvodu malého vzrůstu rostlin u zvolených směsí jsme v rozšířeném experimentu přidali více vzorků a byly také vytvořeny další tři směsi s potravinářským odpadem.



Obrázek 39: Boxové graf délky kořene ku délce listu salátu pilotního experimentu pro směsi PŮDA, NPK+PŮDA, KS+BU+OT+PŮDA, OXKS+BU+OT+PŮDA.

4.6 Rozšířený růstový experiment

Rozšířený růstový experiment měl 49 vzorků rozdělených do 7 směsí (tabulka 15). Každá směs byla předem zalita na 70 % dosažené maximální kapilární vodní kapacity [111]. Vypěstované saláty v referenční půdě byly pěkně vzrostlé a zelené, pouze jeden ze salátů byl stočený a 2 kusy salátů měly červeno-hnědé tečky na listech. NPK+PŮDA nevykazovala žádné známky vad, salát byl pěkně zelený i pevný. BU+OT+PŮDA měly saláty menší než předchozí dvě skupiny (obrázek 40), ale byly zelené a pouze jeden salát měl červeno-hnědé tečky na listech. Při přidavku KS do směsi měly saláty červeno-hnědé tečky na listech, světle zelenou barvu listů a u mladých lístků docházelo k zasychání. Dosahovaly také menšího vzrůstu. Úplně stejné vady byly nalezeny ve směsích OXKS2+BU+OT+PŮDA, OXKS+BU+OT+PŮDA, EXKS+BU+OT+PŮDA.



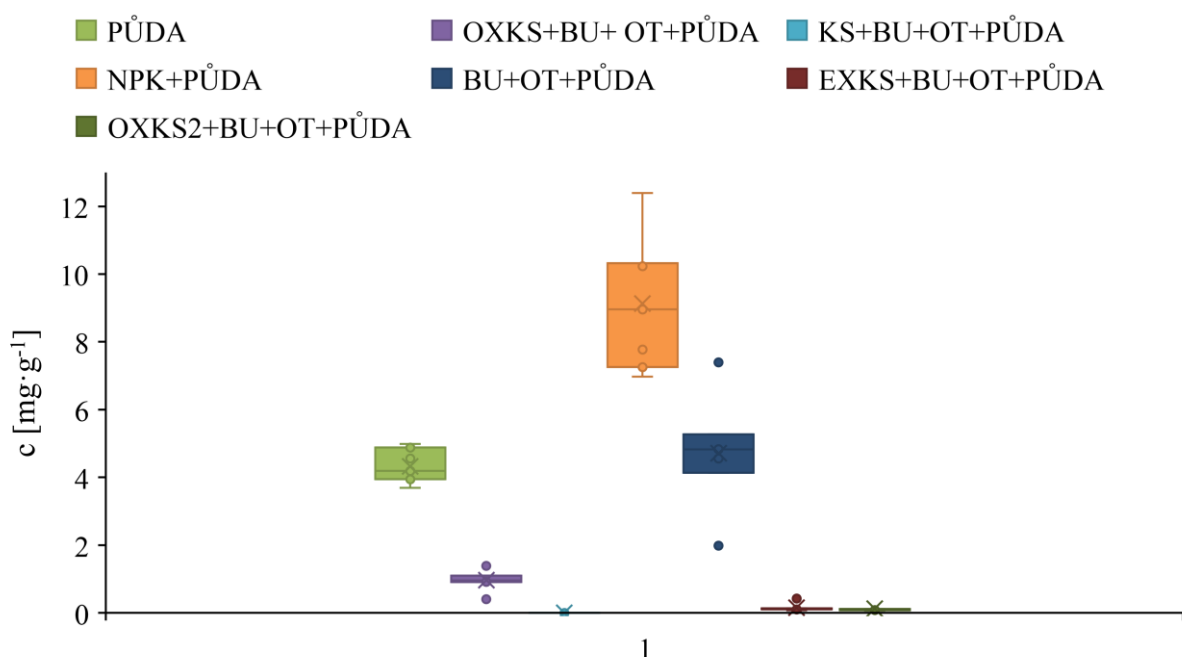
Obrázek 40: Sken vypěstovaných salátů. Zleva shora: BU+OT+PŮDA, EXKS+BU+OT+PŮDA, OXKS2+BU+OT+PŮDA, KS+BU+OT+PŮDA. Zleva zdola: NPK+PŮDA, PŮDA, OXKS+BU+OT+PŮDA.

Tabulka 15: Používána označení a zkratky pro vypěstované saláty v půdních směsích.

Zkratka pro vypěstovaný salát	Použitá půda
S_P	PŮDA
S_NPK	NPK+PŮDA
S_KS	KS+BU+OT+PŮDA
S_OXKS	OXKS+BU+OT+PŮDA
S_EXKS	EXKS+BU+OT+PŮDA
S_OXKS2	OXKS+BU+OT+PŮDA
S_BU	BU+OT+PŮDA

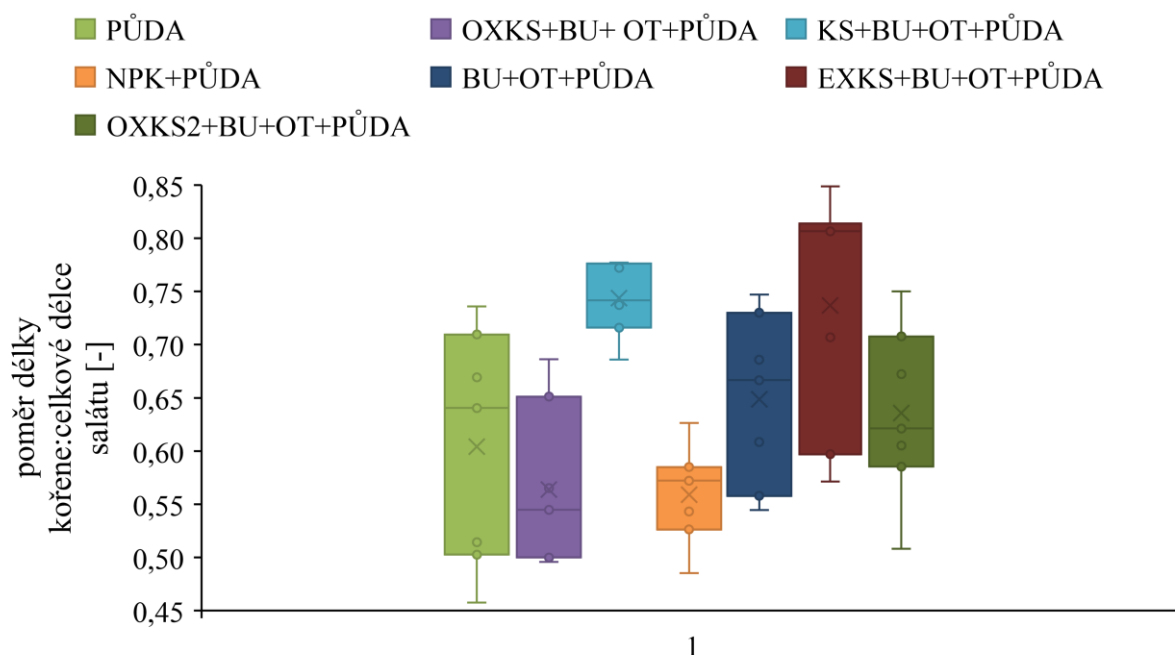
Důležitým ukazatelem je hmotnost vypěstovaného salátu. Graf (obrázek 41) znázorňuje významný rozdíl v hmotnosti čerstvé rostliny u přidavku NPK. Data ukazují, že velmi podobnou hmotnost měly rostliny vyrostlé na čisté půdě a půdě s přidavkem biouhlu a otrub. Ze směsí obsahující KS a její úpravy nejvíce vyhovovala salátům směs s OXKS. Největší negativní vliv na růst salátu měli směsi s KS; EXKS; OXKS2. Při experimentu jsme také mohli pozorovat u směsí s KS mnohem pomalejší vzrůst na počátku experimentu. Až v posledních dnech směsi s KS vykazovaly viditelně vyšší nárůst biomasy. Což je v souladu se studií Ribeiro a kol., kde KS a popel výrazně inhibovaly celkový výnos

biomasy [136]. Naopak ve studii Cruz a kol. nebyla shledána odlišnost kontrolního vzorku půdy od použití 2,5% směsi KS s půdou (experiment trval 32 dní) [132].



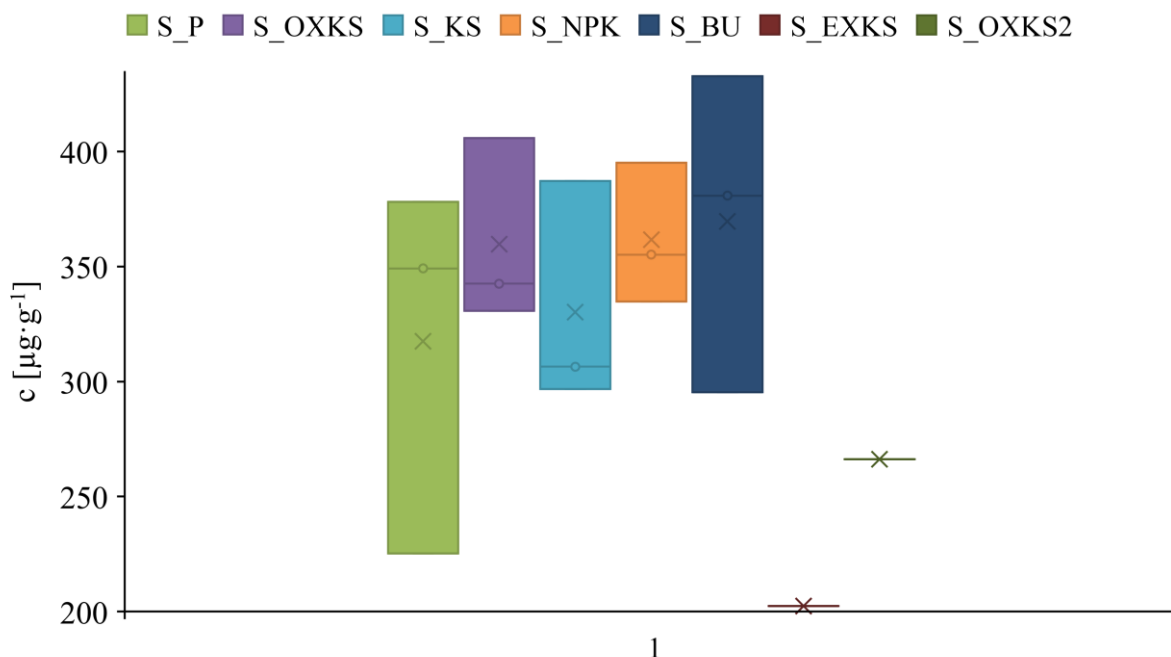
Obrázek 41: Boxový graf čerstvé hmotnosti salátu pro všechny použité půdní směsi.

Kořenový systém salátu by měl mít jeden hlavní kulovitý kořen s mnoho malými vedlejšími kořeny. Na obrázku 40 je vidět, že rostliny rostoucí v směsích mají jednoduchý dlouhý kořen. To může znamenat, že se rostlina snaží minimalizovat fytotoxický efekt nebo ji v půdě chybí důležitá složka pro růst. V našem případě se jedná spíše o minimalizaci negativního efektu KS a jejích úprav. Graf (obrázek 42) poměru délky kořene k celkové délce kořene ukazuje nejnižší hodnoty u směsi NPK+PŮDA a OXKS+BU+OT+PŮDA. Ostatní směsi se od sebe navzájem významně neodlišovaly [71].



Obrázek 42: Boxový graf poměru délky kořene ku celkové délce salátu pro všechny použité půdní směsi.

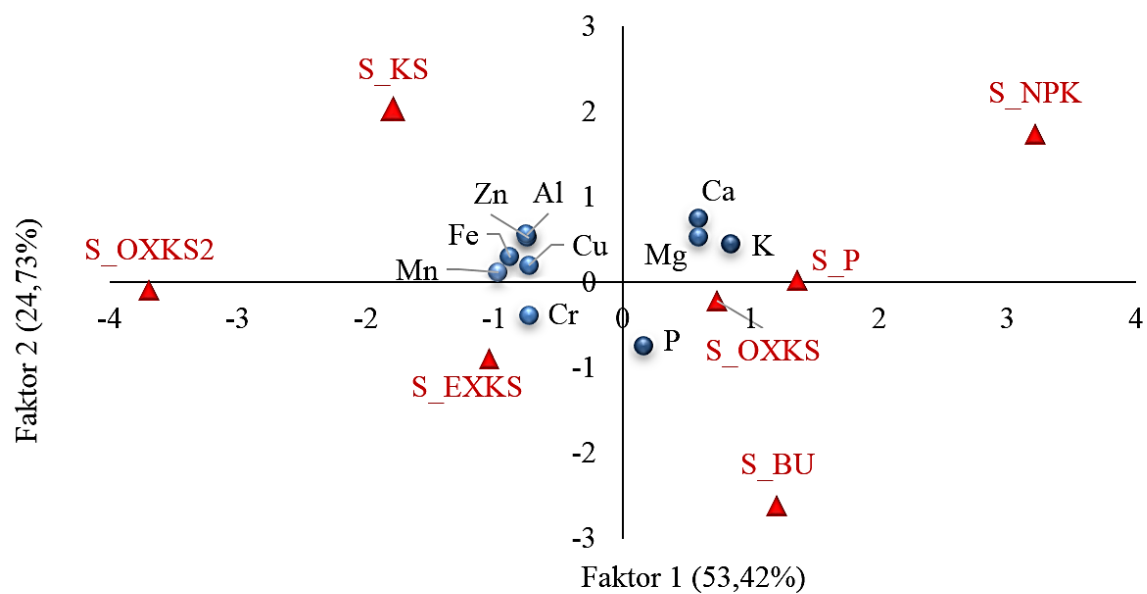
Obsah chlorofylu a karotenoidů v salátech byl změřen pomocí molekulární absorpční spektrometrie. Jak je patrné z grafu, nebyly naměřeny tři opakování pro S_EXKS a S_OXKS2 z důvodu nedostatečného množství narostlé biomasy (obrázek 43). Právě malé množství biomasy a málo zeleného pigmentu bylo pozorováno u S_EXKS a S_OXKS2. Tyto dva substráty měli také největší inhibiční účinek na růst rostlin. Pokud bychom se zaměřili na obsah hořčíku tak zjistíme, že OXKS2 měla velmi málo hořčíku na počátku růstového experimentu, což by mohlo ovlivnit vznik chlorofylu v rostlinách. Nicméně pokud by vznik chlorofylu závisel především na koncentraci hořčíku v substrátu, tak by podobně nízké hodnoty měly být naměřené u salátu rostoucího na půdní směsi obsahující KS/OXKS, ale tento vliv se neprojevil. Toto pravidlo vyvrací i velmi nízký obsah chlorofylu u EXKS, která měla zpočátku množství hořčíku vysoké. Proto se předpokládá, že došlo k tak velkému fytotoxickému efektu substrátu, že to mělo vliv na veškeré růstové aspekty. Vyšší koncentrace chlorofylu *a* (*Chl a*) byla naměřena u ostatních vzorků, což potvrzuje Cruz a kol., která nezaznamenala významný rozdíl chlorofylu *a* mezi kontrolní půdou a půdou obohacenou 2,5 % KS [132]. V další studii Agüero a kol. byl naměřen celkový obsah chlorofylu na $35,65 \pm 1,17$ mg/100 g [146]. Naše průměrná hodnota $41,71 \pm 4,29$ mg/100 g se lišila od diskutovaných dat kvůli rychlé degradaci pigmentů chlorofylu a také použité části salátového listu v analýze [146].



Obrázek 43: Koncentrace chlorofylu *a* ve vypěstovaných salátech.

Obecně jsou pozorovány vysoké variability údajů o minerálech salátu v literatuře, zejména kvůli zemědělství (např. kultivar, umístění, zemědělské postupy, srážky/zavlažování, slanost a teplota) [147]. Salát vypěstovaný v kontrolní půdě spadá do průměrného minerálního složení uváděného v literatuře [126, 148, 149].

Pomocí analýzy hlavních komponent (PCA) byl získán graf (obrázek 44), který ukazuje vliv použité směsi s potravinářským odpadem (červené trojúhelníky) na obsah minerálních živin v salátu (modré tečky). Z grafu lze vyčíst, že směs BU+OT+PŮDA obohatila salát fosforem. Největší vliv na zastoupení Mg, K, Ca měly kontrolní půda a půda s minerálním hnojivem. Naopak směs s EXKS měla negativní vliv na obsah draslíku. Mikroprvky jako je železo, zinek, hliník, měď, chrom a mangan byly nejvíce ovlivněny v salátu přidáním KS a OXKS2. Přesné hodnoty naměřených koncentrací jsou uvedeny v příloze (8).



Obrázek 44: Analýza hlavních komponent: projekce pozorování vzorků salátu do faktorové roviny hlavních komponent 1(53,42 %) a 2 (24,74 %). Vliv použité směsi s potravinářským odpadem (červené trojúhelníky) na obsah minerálních živin v salátu (modré tečky).

5 ZÁVĚR

Cílem práce bylo provést růstové experimenty v laboratorním měřítku se surovou půdou a s půdou obohacenou danými poměry pšeničných otrub/kávové sedliny/biouhlu. Celkem bylo připraveno pět směsí v sedmi opakováních. Směsi byly tvořeny 2,5 obj. % množstvím pšeničných otrub a biouhlu. Kávová sedlina byla přidávána ve stejném množství, ale byla přidávána surová nebo upravována oxidací/extrakcí k docílení co nejnižšího množství fenolických látek.

Vliv výše uvedených půdních aditiv byl podrobován fyzikálně chemickým zkouškám, které zahrnovaly obsah organické hmoty, vodivost, pH a maximální kapilární vodní kapacitu. Byly také provedeny germinační testy salátu *Lactuca sativa* L. v roztoku vzniklém z půdních směsí. Dále byl zkoumán vliv na minerální složení půdy před a po pěstování salátu *Lactuca sativa* L. Nakonec byly také charakterizovány vypěstované saláty ve všech půdních směších, a to konkrétně na minerální složení (draslík, hořčík, fosfor, vápník, železo, mangan, zinek, hliník a měď), hmotnost čerstvé rostliny i sušiny, délku rostliny a množství chlorofylu. Jako reference ke všem analýzám sloužila kontrolní půda bez žádných přidaných aditiv a půda s minerálním hnojivem.

Půda použitá v experimentu byla velmi chudá na obsah minerálních látek a obsahovala velmi vysoké množství draslíku. Vodivost naší kontrolní půdy tak dosahovala pouze $0,13 \pm 0,01 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$. Byla bohatá na organickou hmotu ($8,3 \pm 0,1 \%$). Dle pH je použitá půda neutrální ($7,08 \pm 0,01$) a její vodní kapacita se pohybuje okolo $44,15 \pm 2,85 \%$.

Po přidání aditiv do půdy došlo k předpokládanému zvýšení organické hmoty u všech směsí oproti kontrolní půdě. Čím více bylo přidáno potravinářského odpadu, tím větší obsah organické hmoty byl naměřen. Díky vysoké absorpci vody použitých aditiv byla také zvýšena maximální kapilární vodní kapacita směsí, a to hlavně nejvíce u směsi KS+BU+OT+PŮDA. Přidáním půdních aditiv do půdy došlo ke zvýšení pH, a to hlavně kvůli tzv. vápnění biouhlem. OT ani KS, přestože se jedná o kyselé materiály, neměly vliv na změnu pH. Naopak u vodivosti docházelo k posunu hodnot při přidavku půdních aditiv. Nejvíce zvyšovala vodivost neupravená KS až na hodnoty $0,75 \pm 0,07 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, podobných hodnot dosahovala také kontrolní půda s minerálním hnojivem. Germinační testy potvrdily fytotoxické vlastnosti kávové sedliny i přes snahy snížit obsah fenolických látek oxidací/extrakcí. Fytotoxicita se projevila menším počtem naklíčených semenek salátu u půdních směsí jak se surovou kávovou sedlinou, tak s oxidovanou či extrahovanou kávovou sedlinou. Na druhou stranu vyrostlá semínka měla delší kořen, než semínka klíčící na výtažku z půdy nebo NPK. Z výsledků můžeme tvrdit, že použitá půdní aditiva podporují růst kořene.

Prvková analýza půd před pěstováním nám neprokázala žádný pozitivní přírůstek obsahu minerálních prvků vůči kontrolní půdě. Naopak po pěstování byl nalezen nadbytek obsahu minerálních prvků (P, Mg, Ca, K, Mn, Fe, Cu a Al) vůči čisté půdě. Přidáním potravinářského

odpadu byl obecně znatelný nárůst obsahu prvků po pěstování *Lactuca sativa* L., což mohlo být způsobeno mikrobiálním rozložením použitých půdních aditiv. Také vyšší obsah organické hmoty přispěl k lepší fixaci a uvolňování živin do půdy. Z toho vyplývá, že půdní aditiva by měla větší pozitivní účinek z dlouhodobějšího hlediska, jelikož by se postupně uvolňovaly minerální látky. Fosfor byl nejvíce obohacen směsí BU+OT+PŮDA. K, Mg, Fe a Cu byly nejvíce navýšeny svou koncentrací u směsi OXKS+BU+OT+PŮDA. Směs s OXKS2+BU+OT+PŮDA naopak dodávala vyšší množství Mn, Ca a Al. Směs s EXKS+BU+OT+PŮDA dodávala viditelně nejvíce Ca, Mg a Al.

Při přidavku KS/OXKS/OXKS2/EXKS byly na salátech jasné známky negativního efektu. Červeno-hnědé tečky na listech mohly být způsobeny nedostatkem draslíku v půdě. Světle zelenou barvu listů a u mladých lístků zasychání je pravděpodobně způsobeno nedostatkem železa a hořčíku. Vypěstované saláty obsahovaly z chlorofylů a karotenoidů nejvíce chlorofylu *a*, který dosahoval nejmenších hodnot u salátu vypěstovaného ve směsi s EXKS. U ostatních se hodnoty *Chl a* příliš nelišily. Saláty vypěstované na substrátu obsahující aditiva dosahovaly také menšího vzrůstu oproti kontrolní půdě. Největší biomasa salátu narostla ve směsi s BU+OT+PŮDA. Ostatní směsi se surovou/upravenou KS dosahovaly mnohem nižšího vzrůstu. Kořen rostliny byl také nejméně rozvětvený v zemině obsahující KS a její modifikace. Tento jev potvrzuje nedostatek draslíku. Nedostatek draslíku byl zaznamenán v minerálním složení salátu. Směs EXKS+BU+OT+PŮDA měla největší negativní vliv na obsah draslíku v rostlině. Směs BU+OT+PŮDA obohatila salát fosforem. Největší vliv na zastoupení Mg, K, Ca měly kontrolní půda a půda s minerálním hnojivem. Mikroprvky jako je železo, zinek, hliník, měď, chrom a mangan byly nejvíce ovlivněny v salátu přidáním KS a OXKS2. Můžeme z toho tedy soudit, že přídavek KS i jejich alternací je hlavním důvodem nalezených vad na salátech, a to z důvodu špatného zastoupení minerálních látek a fytotoxického efektu fenolických látek a kofeinu v KS.

Využití potravinářského odpadu za účelem obohacení půdy a zlepšení fyzikálně-chemických vlastností půdy má velký potenciál. Je ale nezbytné brát v úvahu všechny vlastnosti vstupního materiálu do půdy. Použití biouhlu zvyšuje pH, a tak jeho použití není úplně vhodné pro již alkalické půdy. Kávovou sedlinou skýtá velký problém ve formě fenolických látek, půda nedisponuje správnými mechanismy na jejich odstranění a je proto nutné dále zkoumat jejich eventuální odstranění z kávové sedliny. Pšeničné otruby i kávová sedlina obsahují velké množství minerálních látek, které půdy obohatí ale s dlouhodobějším efektem.

6 REFERENCE

- [1] *Od výroby k odpadům: potravinový systém* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2014/clanky/od-vyroby-k-odpadum-potravinovy-system>
- [2] PARITOSH, Kunwar, Sandeep K KUSHWAHA, Monika YADAV, Nidhi PAREEK, Aakash CHAWADE a Vivekanand VIVEKANAND. Food Waste to Energy: An Overview of Sustainable Approaches for Food Waste Management and Nutrient Recycling. *BioMed research international* [online]. United States: Hindawi, 2017, **2017**, 2370927-19 [cit. 2021-11-17]. ISSN 2314-6133. Dostupné z: doi:10.1155/2017/2370927
- [3] *Brief on food waste in the European Union*¹² [online]. European Union, 2020 [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/kcb-food_waste_brief_print_hq.pdf
- [4] SCHERHAUFER, Silvia, Graham MOATES, Hanna HARTIKAINEN, Keith WALDRON a Gudrun OBERSTEINER. Environmental impacts of food waste in Europe. *Waste management (Elmsford)* [online]. United States: Elsevier, 2018, **77**, 98-113 [cit. 2021-11-03]. ISSN 0956-053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2018.04.038
- [5] KRÁTKÝ, Lukáš, Tomáš JIROUT a Andrey KUTSAY. *Perspektivita zpracování odpadů v biorafinériích*. Technická 4, Praha 6, 2017. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav procesní a zpracovatelské techniky.
- [6] GIROTTO, Francesca, Luca ALIBARDI a Raffaello COSSU. Food waste generation and industrial uses: A review. *Waste management (Elmsford)* [online]. United States: Elsevier, 2015, **45**, 32-41 [cit. 2021-11-16]. ISSN 0956-053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2015.06.008
- [7] KUDAKASSERIL KURIAN, Jiby, Gopu RAVEENDRAN NAIR, Abid HUSSAIN a G.S VIJAYA RAGHAVAN. Feedstocks, logistics and pre-treatment processes for sustainable lignocellulosic biorefineries: A comprehensive review. *Renewable & sustainable energy reviews* [online]. Kidlington: Elsevier, 2013, **25**, 205-219 [cit. 2021-11-04]. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2013.04.019
- [8] VANĚK, Václav, Jiří BALÍK, Milan PAVLÍK, Daniela PAVLÍKOVÁ a Pavel TLUSTOŠ. *Výživa a hnojení polních plodin*. Praha: profi press, 2016. Isbn 978-80-86726-79-3.
- [9] RAVINDRAN, Rajeev a Amit Kumar JAISWAL. A comprehensive review on pre-treatment strategy for lignocellulosic food industry waste: Challenges and opportunities. *Bioresource technology* [online]. England: Elsevier, 2016, **199**, 92-102 [cit. 2021-11-04]. ISSN 0960-8524. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2015.07.106
- [10] BOS-BROUWERS, H.E.J, J.M SOETHOUDT, M CANALI, et al. *Drivers of current food waste generation, threats of future increase and opportunities for reduction*. FUSIONS N FP7-KBBE-2012-6-311972, 2014.

- [11] ROUSTA, Kamran, Kim BOLTON, Magnus LUNDIN a Lisa DAHLÉN. Quantitative assessment of distance to collection point and improved sorting information on source separation of household waste. *Waste Management* [online]. 2015, **40**, 22-30 [cit. 2022-02-27]. ISSN 0956053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2015.03.005
- [12] ANDO, Amy W. a Anne Y. GOSSELIN. RECYCLING IN MULTIFAMILY DWELLINGS: DOES CONVENIENCE MATTER?. *Economic Inquiry* [online]. 2005, **43**(2), 426-438 [cit. 2022-02-27]. ISSN 00952583. Dostupné z: doi:10.1093/ei/cbi029
- [13] KOVALCIK, Adriana, Stanislav OBRUCA a Ivana MAROVA. Valorization of spent coffee grounds: A review. *Food and Bioproducts Processing* [online]. 2018, **110**, 104-119 [cit. 2021-10-19]. ISSN 09603085. Dostupné z: doi:10.1016/j.fbp.2018.05.002
- [14] MASSEY, John L. Coffee: Production, Consumption and Health Benefits. New York: Nova Science Publishers, 2016. ISBN 9781634847148.
- [15] CERVERA-MATA, Ana, Miguel NAVARRO-ALARCÓN, Gabriel DELGADO, Silvia PASTORIZA, Javier MONTILLA-GÓMEZ, Juan LLOPIS, Cristina SÁNCHEZ-GONZÁLEZ a José Ángel RUFIÁN-HENARES. Spent coffee grounds improve the nutritional value in elements of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and are an ecological alternative to inorganic fertilizers. *Food chemistry* [online]. England: Elsevier, 2019, **282**, 1-8 [cit. 2021-12-07]. ISSN 0308-8146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2018.12.101
- [16] BALLESTEROS, Lina F, José A TEIXEIRA a Solange I MUSSATTO. Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food and bioprocess technology* [online]. Boston: Springer US, 2014, **7**(12), 3493-3503 [cit. 2021-11-18]. ISSN 1935-5130. Dostupné z: doi:10.1007/s11947-014-1349-z.
- [17] DEL CASTILLO, María Dolores, Jennifer M. AMES a Michael H. GORDON. Effect of Roasting on the Antioxidant Activity of Coffee Brews. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2002, **50**(13), 3698-3703 [cit. 2022-02-27]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf011702q
- [18] HANC, Ales, Tereza HREBECKOVA, Alena GRASSEROVA a Tomas CAJTHAML. Conversion of spent coffee grounds into vermicompost. *Bioresource technology* [online]. Elsevier, 2021, **341**, 125925-125925 [cit. 2021-12-09]. ISSN 0960-8524. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2021.125925
- [19] CHRYSARGYRIS, Antonios, Omiros ANTONIOU, Panayiota XYLIA, Spyridon PETROPOULOS a Nikos TZORTZAKIS. The use of spent coffee grounds in growing media for the production of Brassica seedlings in nurseries. *Environmental science and pollution research international* [online]. Berlin/Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020, **28**(19), 24279-24290 [cit. 2021-11-17]. ISSN 0944-1344. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-020-07944-9

- [20] GIVENS, D.I. a W.P. BARBER. In vivo evaluation of spent coffee grounds as a ruminant feed. *Agricultural Wastes* [online]. 1986, **18**(1), 69-72 [cit. 2022-02-05]. ISSN 01414607. Dostupné z: doi:10.1016/0141-4607(86)90108-3
- [21] MATA, Teresa M., António A. MARTINS a Nídia S. CAETANO. Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization. *Bioresource Technology* [online]. 2018, **247**, 1077-1084 [cit. 2021-10-19]. ISSN 09608524. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2017.09.106
- [22] OBRUCA, Stanislav, Pavla BENESOVA, Dan KUCERA, Sinisa PETRIK a Ivana MAROVA. Biotechnological conversion of spent coffee grounds into polyhydroxyalkanoates and carotenoids. *New Biotechnology* [online]. 2015, **32**(6), 569-574 [cit. 2021-10-19]. ISSN 18716784. Dostupné z: doi:10.1016/j.nbt.2015.02.008
- [23] MUSSATTO, Solange I., Ercília M.S. MACHADO, Livia M. CARNEIRO a José A. TEIXEIRA. Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry wastes hydrolysates. *Applied Energy* [online]. 2012, **92**, 763-768 [cit. 2022-04-26]. ISSN 03062619. Dostupné z: doi:10.1016/j.apenergy.2011.08.020
- [24] MURTHY, Pushpa S., M. MADHAVA NAIDU a Pullabhatla SRINIVAS. Production of α -amylase under solid-state fermentation utilizing coffee waste. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* [online]. 2009, **84**(8), 1246-1249 [cit. 2022-04-26]. ISSN 02682575. Dostupné z: doi:10.1002/jctb.2142
- [25] KWON, Eilhann E., Haakrho YI a Young Jae JEON. Sequential co-production of biodiesel and bioethanol with spent coffee grounds. *Bioresource Technology* [online]. 2013, **136**, 475-480 [cit. 2022-02-05]. ISSN 09608524. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2013.03.052
- [26] SILVA, M.A., S.A. NEBRA, M.J. MACHADO SILVA a C.G. SANCHEZ. THE USE OF BIOMASS RESIDUES IN THE BRAZILIAN SOLUBLE COFFEE INDUSTRY. *Biomass and Bioenergy* [online]. 1998, **14**(5-6), 457-467 [cit. 2022-02-05]. ISSN 09619534. Dostupné z: doi:10.1016/S0961-9534(97)10034-4
- [27] MUSSATTO, Solange I., Lina F. BALLESTEROS, Silvia MARTINS a José A. TEIXEIRA. Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification Technology* [online]. 2011, **83**, 173-179 [cit. 2022-02-05]. ISSN 13835866. Dostupné z: doi:10.1016/j.seppur.2011.09.036
- [28] CIESIELCZUK, Tomasz, Czesława ROSIK-DULEWSKA, Joanna POLUSZYŃSKA, Daria MILEK, Agnieszka SZEWCZYK a Irena SŁAWIŃSKA. Acute Toxicity of Experimental Fertilizers Made of Spent Coffee Grounds. *Waste and biomass valorization* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, 2017, **9**(11), 2157-2164 [cit. 2021-12-07]. ISSN 1877-2641. Dostupné z: doi:10.1007/s12649-017-9980-3
- [29] REIGOSA, M.J, X.C SOUTO a L GONZ'LEZ. Effect of phenolic compounds on the germination of six weeds species. *Plant growth regulation* [online]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1999, **28**(2), 83-88 [cit. 2021-12-07]. ISSN 0167-6903. Dostupné z: doi:10.1023/A:1006269716762

- [30] BATISH, Daizy R., Harminder Pal SINGH, Mansimran KAUR, Ravinder Kumar KOHLI a Surender Singh YADAV. Caffeine affects adventitious rooting and causes biochemical changes in the hypocotyl cuttings of mung bean (*Phaseolus aureus* Roxb.). *Acta Physiologiae Plantarum* [online]. 2008, **30**(3), 401-405 [cit. 2022-02-05]. ISSN 0137-5881. Dostupné z: doi:10.1007/s11738-007-0132-4
- [31] CALISKAN, Servet, Nihan OZOK a Ender MAKINECI. Utilization of Spent Coffee Grounds as Media for Stone Pine (*Pinus pinea*) Seedlings. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* [online]. 2020, **20**(4), 2014-2024 [cit. 2021-11-18]. ISSN 0718-9508. Dostupné z: doi:10.1007/s42729-020-00271-5
- [32] CRUZ, Rebeca, Teresa GOMES, Anabela FERREIRA, et al. Antioxidant activity and bioactive compounds of lettuce improved by espresso coffee residues. *Food chemistry* [online]. Kidlington: Elsevier, 2014, **145**, 95-101 [cit. 2021-11-18]. ISSN 0308-8146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2013.08.038
- [33] CRUZ, Rebeca, Eulália MENDES, Álvaro TORRINHA, Simone MORAIS, José Alberto PEREIRA, Paula BAPTISTA a Susana CASAL. Revalorization of spent coffee residues by a direct agronomic approach. *Food research international* [online]. Elsevier, 2015, **73**, 190-196 [cit. 2021-12-07]. ISSN 0963-9969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2014.11.018
- [34] MORIKAWA, Claudio K a M SAIGUSA. Recycling coffee grounds and tea leaf wastes to improve the yield and mineral content of grains of paddy rice. *Journal of the science of food and agriculture* [online]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2011, **91**(11), 2108-2111 [cit. 2021-12-07]. ISSN 0022-5142. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.4444
- [35] PRÜCKLER, Michael, Susanne SIEBENHANDL-EHN, Silvia APPRICH, Stefan HÖLTINGER, Cornelia HAAS, Erwin SCHMID a Wolfgang KNEIFEL. Wheat bran-based biorefinery 1: Composition of wheat bran and strategies of functionalization. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2014, **56**(2), 211-221 [cit. 2021-10-29]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2013.12.004
- [36] Surget, A. & Barron, C. (2005). Histologie du grain de blé. *Industrie des Céréales*. 145, 3–7.
- [37] Brouns, F., Hemery, Y., Price, R. & Anson, N.M. (2012). Wheat aleurone: separation, composition, health aspects, and potential food use. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52, 553–568.
- [38] ONIPE, Oluwatoyin O., Afam I. O. JIDEANI a Daniso BESWA. Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. *International Journal of Food Science & Technology* [online]. 2015, **50**(12), 2509-2518 [cit. 2021-10-28]. ISSN 0950-5423. Dostupné z: doi:10.1111/ijfs.12935
- [39] BROUNS, Fred, Youna HEMERY, Ruth PRICE a Nuria Mateo ANSON. Wheat Aleurone: Separation, Composition, Health Aspects, and Potential Food Use. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [online]. 2012, **52**(6), 553-568 [cit. 2022-05-04]. ISSN 1040-8398. Dostupné z: doi:10.1080/10408398.2011.589540

- [40] CURTI, Elena, Eleonora CARINI, Greta BONACINI, Giovanni TRIBUZIO a Elena VITTADINI. Effect of the addition of bran fractions on bread properties. *Journal of Cereal Science* [online]. 2013, **57**(3), 325-332 [cit. 2022-05-04]. ISSN 07335210. Dostupné z: doi:10.1016/j.jcs.2012.12.003
- [41] DU, C., G.M. CAMPBELL, N. MISAILIDIS, F. MATEOS-SALVADOR, J. SADHUKHAN, M. MUSTAFA a R.M. WEIGHTMAN. Evaluating the feasibility of commercial arabinoxylan production in the context of a wheat biorefinery principally producing ethanol. Part 1. Experimental studies of arabinoxylan extraction from wheat bran. *Chemical Engineering Research and Design* [online]. 2009, **87**(9), 1232-1238 [cit. 2022-02-15]. ISSN 02638762. Dostupné z: doi:10.1016/j.cherd.2008.12.027
- [42] MISAILIDIS, N., G.M. CAMPBELL, C. DU, J. SADHUKHAN, M. MUSTAFA, F. MATEOS-SALVADOR a R.M. WEIGHTMAN. Evaluating the feasibility of commercial arabinoxylan production in the context of a wheat biorefinery principally producing ethanol. *Chemical Engineering Research and Design* [online]. 2009, **87**(9), 1239-1250 [cit. 2022-02-15]. ISSN 02638762. Dostupné z: doi:10.1016/j.cherd.2008.12.028
- [43] LI, W, S CUI a Y KAKUDA. Extraction, fractionation, structural and physical characterization of wheat β -d-glucans. *Carbohydrate Polymers* [online]. 2006, **63**(3), 408-416 [cit. 2022-02-15]. ISSN 01448617. Dostupné z: doi:10.1016/j.carbpol.2005.09.025
- [44] XIE, Xueju (Sherry), Steve W. CUI, Wei LI a Rong TSAO. Isolation and characterization of wheat bran starch. *Food Research International* [online]. 2008, **41**(9), 882-887 [cit. 2022-02-15]. ISSN 09639969. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodres.2008.07.016
- [45] CHOTĚBORSKÁ, P, B PALMAROLA-ADRADOS, M GALBE, G ZACCHI, K MELZUCH a M RYCHTERA. Processing of wheat bran to sugar solution. *Journal of Food Engineering* [online]. 2004, **61**(4), 561-565 [cit. 2022-02-15]. ISSN 02608774. Dostupné z: doi:10.1016/S0260-8774(03)00216-4
- [46] DORADO, M. Pilar, Sze Ki Carol LIN, Apostolis KOUTINAS, Chenyu DU, Ruohang WANG a Colin WEBB. Cereal-based biorefinery development: Utilisation of wheat milling by-products for the production of succinic acid. *Journal of Biotechnology* [online]. 2009, **143**(1), 51-59 [cit. 2022-02-15]. ISSN 01681656. Dostupné z: doi:10.1016/j.jbiotec.2009.06.009
- [47] DI GIOIA, Diana, Luigi SCIUBBA, Leonardo SETTI, Francesca LUZIATELLI, Maurizio RUZZI, Dario ZANICHELLI a Fabio FAVA. Production of biovanillin from wheat bran. *Enzyme and Microbial Technology* [online]. 2007, **41**(4), 498-505 [cit. 2022-02-15]. ISSN 01410229. Dostupné z: doi:10.1016/j.enzmictec.2007.04.003
- [48] NOGATA, Yoichi a Takashi NAGAMINE. Production of Free Amino Acids and γ -Aminobutyric Acid by Autolysis Reactions from Wheat Bran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2009, **57**(4), 1331-1336 [cit. 2022-02-15]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf802420w

- [49] KOUTINAS, Apostolis A., Rouhang WANG, Grant M. CAMPBELL a Colin WEBB. A Whole Crop Biorefinery System: A Closed System for the Manufacture of Non-food Products from Cereals. KAMM, Birgit, Patrick R. GRUBER a Michael KAMM, ed. *Biorefineries-Industrial Processes and Products* [online]. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag, 2005, s. 165-191 [cit. 2021-12-09]. ISBN 9783527619849. Dostupné z: doi:10.1002/9783527619849.ch8
- [50] APPRICH, Silvia, Özge TIRPANALAN, Johannes HELL, Michael REISINGER, Stefan BÖHMDORFER, Susanne SIEBENHANDL-EHN, Senad NOVALIN a Wolfgang KNEIFEL. Wheat bran-based biorefinery 2: Valorization of products. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 2014, **56**(2), 222-231 [cit. 2021-10-29]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/j.lwt.2013.12.003
- [51] ZHANG, Jie, Jing YUAN, Qingling WANG, Jun WANG, Wuxing LIU, Yongming LUO a Peter CHRISTIE. Enhanced bioremediation of PAH-contaminated soil by wheat bran and microbial community response. *Archives of Agronomy and Soil Science* [online]. 2020, **66**(8), 1089-1102 [cit. 2021-12-09]. ISSN 0365-0340. Dostupné z: doi:10.1080/03650340.2019.1655732
- [52] WANG, Jianlong a Shizong WANG. Preparation, modification and environmental application of biochar: A review. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2019, **227**, 1002-1022 [cit. 2021-10-29]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.282
- [53] KNICKER, Heike. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. *Biogeochemistry* [online]. 2007, **85**(1), 91-118 [cit. 2022-02-15]. ISSN 0168-2563. Dostupné z: doi:10.1007/s10533-007-9104-4
- [54] CANTRELL, Keri B., Patrick G. HUNT, Minori UCHIMIYA, Jeffrey M. NOVAK a Kyoung S. RO. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource Technology* [online]. 2012, **107**, 419-428 [cit. 2022-02-15]. ISSN 09608524. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2011.11.084
- [55] MUKHERJEE, A., A.R. ZIMMERMAN a W. HARRIS. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma* [online]. 2011, **163**(3-4), 247-255 [cit. 2022-02-09]. ISSN 00167061. Dostupné z: doi:10.1016/j.geoderma.2011.04.021
- [56] EL-NAGGAR, Ali, Sang Soo LEE, Jörg RINKLEBE, et al. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma* [online]. 2019, **337**, 536-554 [cit. 2021-10-29]. ISSN 00167061. Dostupné z: doi:10.1016/j.geoderma.2018.09.034
- [57] YUAN, Jin-Hua, Ren-Kou XU, Wei QIAN a Ru-Hai WANG. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their biochars. *Journal of Soils and Sediments* [online]. 2011, **11**(5), 741-750 [cit. 2022-02-09]. ISSN 1439-0108. Dostupné z: doi:10.1007/s11368-011-0365-0

- [58] LAGHARI, Mahmood, Muhammad Saffar MIRJAT, Zhiquan HU, Saima FAZAL, Bo XIAO, Mian HU, Zhihua CHEN a Dabin GUO. Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth. *CATENA* [online]. 2015, **135**, 313-320 [cit. 2022-02-08]. ISSN 03418162. Dostupné z: doi:10.1016/j.catena.2015.08.013
- [59] ROBERTSON, Susan J., P. Michael RUTHERFORD, Juan C. LÓPEZ-GUTIÉRREZ a Hugues B. MASSICOTTE. Biochar enhances seedling growth and alters root symbioses and properties of sub-boreal forest soils. *Canadian Journal of Soil Science* [online]. 2012, **92**(2), 329-340 [cit. 2022-02-15]. ISSN 0008-4271. Dostupné z: doi:10.4141/cjss2011-066
- [60] GLASER, Bruno, Johannes LEHMANN a Wolfgang ZECH. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biology and Fertility of Soils* [online]. 2002, **35**(4), 219-230 [cit. 2022-02-15]. ISSN 0178-2762. Dostupné z: doi:10.1007/s00374-002-0466-4
- [61] STEINBEISS, S., G. GLEIXNER a M. ANTONIETTI. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. 2009, **41**(6), 1301-1310 [cit. 2022-02-15]. ISSN 00380717. Dostupné z: doi:10.1016/j.soilbio.2009.03.016
- [62] DOWNIE, A., CROSKY, A., MUNROE, P., Physical properties of biochar. In: Lemman J, Joseph S, editors. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. London, UK: Earthscan; 2009. pp. 13-32
- [63] LAIRD, David, Pierce FLEMING, Baiqun WANG, Robert HORTON a Douglas KARLEN. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* [online]. 2010, **158**(3-4), 436-442 [cit. 2022-02-09]. ISSN 00167061. Dostupné z: doi:10.1016/j.geoderma.2010.05.012
- [64] MUKHERJEE, A, A. R ZIMMERMAN, R HAMDAN a W. T COOPER. Physicochemical changes in pyrogenic organic matter (biochar) after 15 months of field aging. *Solid earth (Göttingen)* [online]. Copernicus, 2014, **5**(2), 693-704 [cit. 2021-12-13]. ISSN 1869-9529. Dostupné z: doi:10.5194/se-5-693-2014
- [65] IPPOLITO, J.A., T.F. DUCEY, K.B. CANTRELL, J.M. NOVAK a R.D. LENTZ. Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics. *Chemosphere* [online]. 2016, **142**, 184-191 [cit. 2022-02-15]. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2015.05.092
- [66] LAGHARI, Mahmood, Ravi NAIDU, Bo XIAO, et al. Recent developments in biochar as an effective tool for agricultural soil management: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* [online]. 2016, **96**(15), 4840-4849 [cit. 2022-02-09]. ISSN 00225142. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.7753
- [67] ZHU, Xiaomin, Baoliang CHEN, Lizhong ZHU a Baoshan XING. Effects and mechanisms of biochar-microbe interactions in soil improvement and pollution remediation: A review. *Environmental Pollution* [online]. 2017, **227**, 98-115 [cit. 2022-02-09]. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2017.04.032

- [68] SINGH, Rishikesh, J. Nagendra BABU, Rabindra KUMAR, Pratap SRIVASTAVA, Pardeep SINGH a Akhilesh Singh RAGHUBANSHI. Multifaceted application of crop residue biochar as a tool for sustainable agriculture: An ecological perspective. *Ecological Engineering* [online]. 2015, **77**, 324-347 [cit. 2022-02-09]. ISSN 09258574. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoleng.2015.01.011
- [69] PAUSTIAN, Keith, Johannes LEHMANN, Stephen OGLE, David REAY, G. Philip ROBERTSON a Pete SMITH. Climate-smart soils. *Nature* [online]. 2016, **532**(7597), 49-57 [cit. 2022-02-09]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/nature17174
- [70] JEFFERY, S., F.G.A. VERHEIJEN, M. VAN DER VELDE a A.C. BASTOS. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [online]. 2011, **144**(1), 175-187 [cit. 2022-02-09]. ISSN 01678809. Dostupné z: doi:10.1016/j.agee.2011.08.015
- [71] ROY, R.N., A. FINCK, G.J. BLAIR a H.L.S. TANDON. *Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management*. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2006. ISBN 92-5-105490-8.
- [72] AYOUB, Ali T. Fertilizers and the environment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* [online]. **55**(2), 117-121 [cit. 2022-04-02]. ISSN 13851314. Dostupné z: doi:10.1023/A:1009808118692
- [73] BREMNER, J. M. Recent research on problems in the use of urea as a nitrogen fertilizer. AHMAD, N., ed. *Nitrogen Economy in Tropical Soils* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996, 1995, s. 321-329 [cit. 2022-04-02]. ISBN 978-94-010-7264-9. Dostupné z: doi:10.1007/978-94-009-1706-4_30
- [74] CHIEN, Sen H., M. Mercedes GEARHART a Sven VILLAGARCÍA. Comparison of Ammonium Sulfate With Other Nitrogen and Sulfur Fertilizers in Increasing Crop Production and Minimizing Environmental Impact. *Soil Science* [online]. 2011, **176**(7), 327-335 [cit. 2022-04-02]. ISSN 0038-075X. Dostupné z: doi:10.1097/SS.0b013e31821f0816
- [75] CHIEN, S. H., L. I. PROCHNOW, S. TU a C. S. SNYDER. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* [online]. 2011, **89**(2), 229-255 [cit. 2022-04-03]. ISSN 1385-1314. Dostupné z: doi:10.1007/s10705-010-9390-4
- [76] ZÖRB, Christian, Mehmet SENBAYRAM a Edgar PEITER. Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology* [online]. 2014, **171**(9), 656-669 [cit. 2022-04-07]. ISSN 01761617. Dostupné z: doi:10.1016/j.jplph.2013.08.008
- [77] SHISHIR SINHA, KK Pant a Bajpai SHAILENDRA. *Fertilizer Technology II, Biofertilizers.: Mineral fertilizers, bio-fertilizers and PGPRs: Advantages and disadvantages of its implementation*. USA: Studium Press, 2015. ISBN 978-1-62699-045-6.

- [78] ODLARE, M., M. PELL a K. SVENSSON. Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues. *Waste Management* [online]. 2008, **28**(7), 1246-1253 [cit. 2022-03-19]. ISSN 0956053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2007.06.005
- [79] JAKOBSEN, Svend Tage. Aerobic decomposition of organic wastes 2. Value of compost as a fertilizer. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 1995, **13**(1), 57-71 [cit. 2022-03-19]. ISSN 09213449. Dostupné z: doi:10.1016/0921-3449(94)00015-W
- [80] JEDIDI, Naceur, Abdennaceur HASSEN, Oswald VAN CLEEMPUT a Ali M'HIRI. Microbial Biomass in a Soil Amended with Different Types of Organic Wastes. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy* [online]. 2004, **22**(2), 93-99 [cit. 2022-03-19]. ISSN 0734-242X. Dostupné z: doi:10.1177/0734242X04043930
- [81] JOSHUA, W.D, D.L MICHALK, I.H CURTIS, M SALT a G.J OSBORNE. The potential for contamination of soil and surface waters from sewage sludge (biosolids) in a sheep grazing study, Australia. *Geoderma* [online]. 1998, **84**(1-3), 135-156 [cit. 2022-03-19]. ISSN 00167061. Dostupné z: doi:10.1016/S0016-7061(97)00125-0
- [82] PINAMONTI, Flavio. Compost mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* [online]. 1998, **51**(3), 239-248 [cit. 2022-03-19]. ISSN 13851314. Dostupné z: doi:10.1023/A:1009701323580
- [83] HOITINK, HAJ a MJ BOEHM. BIOCONTROL WITHIN THE CONTEXT OF SOIL MICROBIAL COMMUNITIES: A Substrate-Dependent Phenomenon. *Annual Review of Phytopathology* [online]. 1999, **37**(1), 427-446 [cit. 2022-03-19]. ISSN 0066-4286. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.phyto.37.1.427
- [84] WIENHOLD, B.J., S.S. ANDREWS a D.L. KARLEN. Soil Quality: A Review of the Science and Experiences in the USA. *Environmental Geochemistry and Health* [online]. 2004, **26**(2), 89-95 [cit. 2022-03-19]. ISSN 0269-4042. Dostupné z: doi:10.1023/B:EGAH.0000039571.59640.3c
- [85] DUBOIS, O. *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW)—Managing Systems at Risk; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy*. FAO (The Food and Agriculture Organization of the United Nations). London, UK: Earthscan, 2011. ISBN 9781849713276.
- [86] MAATHUIS, Frans JM. Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology* [online]. 2009, **12**(3), 250-258 [cit. 2022-03-26]. ISSN 13695266. Dostupné z: doi:10.1016/j.pbi.2009.04.003
- [87] DIDONATO, Nicole, Hongmei CHEN, Derek WAGGONER a Patrick G. HATCHER. Potential origin and formation for molecular components of humic acids in soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* [online]. 2016, **178**, 210-222 [cit. 2022-03-26]. ISSN 00167037. Dostupné z: doi:10.1016/j.gca.2016.01.013

- [88] SCHULTEN, Hans-Rolf a Peter LEINWEBER. Characterization of humic and soil particles by analytical pyrolysis and computer modeling. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* [online]. 1996, **38**(1-2), 1-53 [cit. 2022-03-31]. ISSN 01652370. Dostupné z: doi:10.1016/S0165-2370(96)00954-0
- [89] DEXTER, A.R. Soil physical quality. *Geoderma* [online]. 2004, **120**(3-4), 201-214 [cit. 2022-03-19]. ISSN 00167061. Dostupné z: doi:10.1016/j.geoderma.2003.09.004
- [90] *Odtokový proces: Půdní druhy - klasifikace půd podle textury (zrnitosti)* [online]. [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/runoff_cz/navmenu.php_tab_1_page_4.1.0.htm
- [91] SÁŇKA, M., Š. POLÁKOVÁ, R. VÁCHA a P. FIALA. *Kritéria pro hodnocení produkčních a ekologických vlastností půd* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2018 [cit. 2022-04-03]. ISBN 978-80-7212-627-9. Dostupné z: https://pedologie.czu.cz/dokumenty/Kriteria_pro_hodnoceni_vlastnosti%20pud.pdf
- [92] ROSS, Donald S.; KETTERINGS, Quirine. Recommended methods for determining soil cation exchange capacity. *Recommended soil testing procedures for the northeastern United States*, 1995, 493.101: 62.
- [93] KUMAR, Suresh, Santosh KUMAR a Trilochan MOHAPATRA. Interaction Between Macro- and Micro-Nutrients in Plants. *Frontiers in Plant Science* [online]. 2021, **12** [cit. 2022-03-19]. ISSN 1664-462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2021.665583
- [94] LAIRD, David, Pierce FLEMING, Baiqun WANG, Robert HORTON a Douglas KARLEN. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* [online]. 2010, **158**(3-4), 436-442 [cit. 2022-02-09]. ISSN 00167061. Dostupné z: doi:10.1016/j.geoderma.2010.05.012
- [95] *Pěstitelský výraz: Info-kurýry: Průvodce deficitu* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: https://www.canna-cz.com/grow_info/130
- [96] HA, Sukbong a Lam-Son TRAN. Understanding plant responses to phosphorus starvation for improvement of plant tolerance to phosphorus deficiency by biotechnological approaches. *Critical Reviews in Biotechnology* [online]. 2012, **34**(1), 16-30 [cit. 2022-03-26]. ISSN 0738-8551. Dostupné z: doi:10.3109/07388551.2013.783549
- [97] SEENIVASAGAN, Renganathan a Olubukola Oluranti BABALOLA. Utilization of Microbial Consortia as Biofertilizers and Biopesticides for the Production of Feasible Agricultural Product. *Biology* [online]. 2021, **10**(11) [cit. 2022-03-26]. ISSN 2079-7737. Dostupné z: doi:10.3390/biology10111111
- [98] SHENG, Xia Fang a Lin Yan HE. Solubilization of potassium-bearing minerals by a wild-type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. *Canadian Journal of Microbiology* [online]. 2006, **52**(1), 66-72 [cit. 2022-03-26]. ISSN 0008-4166. Dostupné z: doi:10.1139/w05-117

- [99] THOR, Kathrin. Calcium—Nutrient and Messenger. *Frontiers in Plant Science* [online]. 2019, **10** [cit. 2022-03-26]. ISSN 1664-462X. Dostupné z: doi:10.3389/fpls.2019.00440
- [100] SENBAYRAM, Mehmet, Andreas GRANSEE, Verena WAHLE a Heike THIEL. Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. *Crop and Pasture Science* [online]. 2015, **66**(12) [cit. 2022-03-26]. ISSN 1836-0947. Dostupné z: doi:10.1071/CP15104
- [101] ZHAO, Kuan, Yanyou WU a Maoteng LI. Effects of Zn Deficiency and Bicarbonate on the Growth and Photosynthetic Characteristics of Four Plant Species. *PLOS ONE* [online]. 2017, **12**(1) [cit. 2022-03-19]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0169812
- [102] ADHIKARI, Tapan, S. KUNDU, A. K. BISWAS, J. C. TARAFDAR a A. SUBBA RAO. Characterization of Zinc Oxide Nano Particles and Their Effect on Growth of Maize (*Zea mays* L.) Plant. *Journal of Plant Nutrition* [online]. 2014, **38**(10), 1505-1515 [cit. 2022-03-26]. ISSN 0190-4167. Dostupné z: doi:10.1080/01904167.2014.992536
- [103] SCHMIDT, Sidsel Birkelund, Poul Erik JENSEN a Søren HUSTED. Manganese Deficiency in Plants: The Impact on Photosystem II. *Trends in Plant Science* [online]. 2016, **21**(7), 622-632 [cit. 2022-03-26]. ISSN 13601385. Dostupné z: doi:10.1016/j.tplants.2016.03.001
- [104] YRUELA, Inmaculada. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology* [online]. 2009, **36**(5) [cit. 2022-03-26]. ISSN 1445-4408. Dostupné z: doi:10.1071/FP08288
- [105] MUSSATTO, Solange I., Lina F. BALLESTEROS, Silvia MARTINS a José A. TEIXEIRA. Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds. *Separation and Purification Technology* [online]. 2011, **83**, 173-179 [cit. 2022-04-03]. ISSN 13835866. Dostupné z: doi:10.1016/j.seppur.2011.09.036
- [106] KIM, Ji-Hee, Dong AHN, Jong EUN a Sun MOON. Antioxidant Effect of Extracts from the Coffee Residue in Raw and Cooked Meat. *Antioxidants* [online]. 2016, **5**(3) [cit. 2022-04-03]. ISSN 2076-3921. Dostupné z: doi:10.3390/antiox5030021
- [107] *Přůznavství: laboratorní cvičení* [online]. [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=5496&typ=html
- [108] HERNÁNDEZ, R.P.B., Z. PÁSZTI, H.G. DE MELO a I.V. AOKI. Chemical characterization and anticorrosion properties of corrosion products formed on pure copper in synthetic rainwater of Rio de Janeiro and São Paulo. *Corrosion Science* [online]. 2010, **52**(3), 826-837 [cit. 2022-03-20]. ISSN 0010938X. Dostupné z: doi:10.1016/j.corsci.2009.11.003
- [109] MAÑAS, P. a J. DE LAS HERAS. Phytotoxicity test applied to sewage sludge using *Lactuca sativa* L. and *Lepidium sativum* L. seeds. *International Journal of Environmental Science and Technology* [online]. 2018, **15**(2), 273-280 [cit. 2022-04-12]. ISSN 1735-1472. Dostupné z: doi:10.1007/s13762-017-1386-z

- [110] CHARLES, Jérémie, Bertrand SANCEY, Nadia MORIN-CRINI, Pierre-Marie BADOT, François DEGIORGI, Giuseppe TRUNFIO a Grégorio CRINI. Evaluation of the phytotoxicity of polycontaminated industrial effluents using the lettuce plant (*Lactuca sativa*) as a bioindicator. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2011, **74**(7), 2057-2064 [cit. 2022-04-12]. ISSN 01476513. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2011.07.025
- [111] RAJAPAKSHA, Anushka Upamali, Meththika VITHANAGE, Jung Eun LIM, Mohamed Bedair M. AHMED, Ming ZHANG, Sang Soo LEE a Yong Sik OK. Invasive plant-derived biochar inhibits sulfamethazine uptake by lettuce in soil. *Chemosphere* [online]. 2014, **111**, 500-504 [cit. 2022-05-01]. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2014.04.040
- [112] CERVERA-MATA, Ana, Silvia PASTORIZA, José Ángel RUFIÁN-HENARES, Jesús PÁRRAGA, Juan Manuel MARTÍN-GARCÍA a Gabriel DELGADO. Impact of spent coffee grounds as organic amendment on soil fertility and lettuce growth in two Mediterranean agricultural soils. *Archives of Agronomy and Soil Science* [online]. 2017, **64**(6), 790-804 [cit. 2022-04-12]. ISSN 0365-0340. Dostupné z: doi:10.1080/03650340.2017.1387651
- [113] HOQUE, M. Murshidul, Husein AJWA, Mona OTHMAN, Richard SMITH a Michael CAHN. Yield and Postharvest Quality of Lettuce in Response to Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Fertilizers. *HortScience* [online]. 2010, **45**(10), 1539-1544 [cit. 2022-05-04]. ISSN 0018-5345. Dostupné z: doi:10.21273/HORTSCI.45.10.1539
- [114] WELLBURN, Alan R. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *Journal of Plant Physiology* [online]. 1994, **144**(3), 307-313 [cit. 2022-04-29]. ISSN 01761617. Dostupné z: doi:10.1016/S0176-1617(11)81192-2
- [115] PUJOL, D., C. LIU, J. GOMINHO, M.À. OLIVELLA, N. FIOL, I. VILLAESCUSA a H. PEREIRA. The chemical composition of exhausted coffee waste. *Industrial Crops and Products* [online]. 2013, **50**, 423-429 [cit. 2022-05-05]. ISSN 09266690. Dostupné z: doi:10.1016/j.indcrop.2013.07.056
- [116] JANISSEN, Brendan a Tien HUYNH. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2018, **128**, 110-117 [cit. 2022-04-23]. ISSN 09213449. Dostupné z: doi:10.1016/j.resconrec.2017.10.001
- [117] KIEU TRAN, Thy Minh, Timothy KIRKMAN, Minh NGUYEN a Quan VAN VUONG. Effects of drying on physical properties, phenolic compounds and antioxidant capacity of Robusta wet coffee pulp (*Coffea canephora*). *Heliyon* [online]. 2020, **6**(7) [cit. 2022-04-29]. ISSN 24058440. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04498
- [118] LÓPEZ-BARRERA, Dunia Maria, Kenia VÁZQUEZ-SÁNCHEZ, Ma. Guadalupe Flavia LOARCA-PIÑA a Rocio CAMPOS-VEGA. Spent coffee grounds, an innovative source of colonic fermentable compounds, inhibit inflammatory mediators

- in vitro. *Food Chemistry* [online]. 2016, **212**, 282-290 [cit. 2022-04-24]. ISSN 03088146. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2016.05.175
- [119] *Půdní mapa: Půdní typologie (TKSP ČR)* [online]. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/pudy/#>
- [120] *Taxonomický klasifikační systém půd ČR: Půdní typy, subtypy, variety* [online]. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: http://www.uhul.cz/images/typologie/taxonomicky_klasifikacni_system_pud_v_cr.pdf
- [121] UNIDO, IFDC. *The role of fertilizers in agriculture.: Fertilizer Manual*. Dordrecht, pp 1–69. International Fertilizer Development Center (ed) United Nations industrial development organization.: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [122] LEE, E.H., B.Y. LEE, K.D. KIM, J.W. LEE a Kwon Y.S. Nitrate content and activities of nitrate reductase and glutamine synthetase as affected by temperature and pH of nutrient solution in leaf lettuce and water dropwort. *KOREAN SOCIETY FOR HORTICULTURAL SCIENCE, JOURNAL* [online]. 1998 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <http://worldveg.tind.io/record/31325>
- [123] ŠKARPA, Petr. Laboratorní výuka z výživy rostlin [online]. 2009 [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/laborator/index.php?N=0&I=0&J=0&K=0
- [124] KÖRSCHENS, Martin. Importance of Soil Organic Matter (SOM) for Biomass Production and Environment (a review). *Archives of Agronomy and Soil Science* [online]. 2002, **48**(2), 89-94 [cit. 2022-05-05]. ISSN 0365-0340. Dostupné z: doi:10.1080/03650340214162
- [125] ROOSTA, Hamid R. Interaction between water alkalinity and nutrient solution pH on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf magnesium, iron, manganese, and zinc concentrations in lettuce. *Journal of Plant Nutrition* [online]. 2011, **34**(5), 717-731 [cit. 2022-04-25]. ISSN 0190-4167. Dostupné z: doi:10.1080/01904167.2011.540687
- [126] NALI, Cristina, Elena BALDUCCI, Luisa FRATI, Luca PAOLI, Stefano LOPPI a Giacomo LORENZINI. Lettuce plants as bioaccumulators of trace elements in a community of central Italy. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. 2009, **149**(1-4), 143-149 [cit. 2022-05-05]. ISSN 0167-6369. Dostupné z: doi:10.1007/s10661-008-0189-6
- [127] ARULRAJAH, Arul, Farshid MAGHOOLPILEHROOD, Mahdi Miri DISFANI a Suksun HORPIBULSUK. Spent coffee grounds as a non-structural embankment fill material: engineering and environmental considerations. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2014, **72**, 181-186 [cit. 2022-04-25]. ISSN 09596526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2014.03.010
- [128] KIM, Min-Suk, Hyun-Gi MIN, Namin KOO, Jeongsik PARK, Sang-Hwan LEE, Gwan-In BAK a Jeong-Gyu KIM. The effectiveness of spent coffee grounds and its biochar on the amelioration of heavy metals-contaminated water and soil using

- chemical and biological assessments. *Journal of Environmental Management* [online]. 2014, **146**, 124-130 [cit. 2022-04-25]. ISSN 03014797. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2014.07.001
- [129] LUND, Eric D. Soil Electrical Conductivity. LOGSDON, Sally, Dave CLAY, Demie MOORE a Teferi TSEGAYE, ed. *Soil Science Step-by-Step Field Analysis* [online]. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 2008, 2015-11-02, s. 137-146 [cit. 2022-05-06]. ISBN 9780891188568. Dostupné z: doi:10.2136/2008.soilsciencestepbystep.c11
- [130] TANJI, Kenneth K. a Wesley W. WALLENDER. *Agricultural Salinity Assessment and Management*. 2. USA: American Society of Civil Engineers, 2011.
- [131] HERNANDEZ-SORIANO, M.C. *Soil health and land use mangement*. Croatia: InTech, 2011. ISBN 978-953-307-614-0.
- [132] CRUZ, Rebeca, Paula BAPTISTA, Sara CUNHA, José Alberto PEREIRA a Susana CASAL. Carotenoids of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Grown on Soil Enriched with Spent Coffee Grounds. *Molecules* [online]. 2012, **17**(2), 1535-1547 [cit. 2022-05-04]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules17021535
- [133] DOMINGUES, Diego S., Hideaki W. TAKAHASHI, Carlos A.P. CAMARA a Suzana L. NIXDORF. Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2012, **84**, 53-61 [cit. 2022-04-24]. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2012.02.006
- [134] LIU, K. a G.W. PRICE. Evaluation of three composting systems for the management of spent coffee grounds. *Bioresource Technology* [online]. 2011, **102**(17), 7966-7974 [cit. 2022-04-25]. ISSN 09608524. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2011.05.073
- [135] NOVAK, Jeffrey M., Warren J. BUSSCHER, David L. LAIRD, Mohamed AHMEDNA, Don W. WATTS a Mohamed A. S. NIANDOU. Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. *Soil Science* [online]. 2009, **174**(2), 105-112 [cit. 2022-04-25]. ISSN 0038-075X. Dostupné z: doi:10.1097/SS.0b013e3181981d9a
- [136] RIBEIRO, João Peres, Estela Domingos VICENTE, Ana Paula GOMES, Maria Isabel NUNES, Célia ALVES a Luís A. C. TARELHO. Effect of industrial and domestic ash from biomass combustion, and spent coffee grounds, on soil fertility and plant growth: experiments at field conditions. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2017, **24**(18), 15270-15277 [cit. 2022-04-25]. ISSN 0944-1344. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-017-9134-y
- [137] MUSSATTO, Solange I., Ercília M. S. MACHADO, Silvia MARTINS a José A. TEIXEIRA. Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology* [online]. 2011, **4**(5), 661-672 [cit. 2022-05-05]. ISSN 1935-5130. Dostupné z: doi:10.1007/s11947-011-0565-z
- [138] TSAI, Wen-Tien, Sii-Chew LIU a Ching-Hsiang HSIEH. Preparation and fuel properties of biochars from the pyrolysis of exhausted coffee residue. *Journal of*

- Analytical and Applied Pyrolysis* [online]. 2012, **93**, 63-67 [cit. 2022-05-05]. ISSN 01652370. Dostupné z: doi:10.1016/j.jaap.2011.09.010
- [139] HOMBUNAKA, P. a D. L. ROWELL. Potassium leaching potential and fertilizer recommendations for smallholder coffee gardens of Papua New Guinea. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* [online]. 2007, **33**(11-12), 1767-1778 [cit. 2022-05-05]. ISSN 0010-3624. Dostupné z: doi:10.1081/CSS-120004821
- [140] LAVIOLA, B.G., H.E.P. MARTÍNEZ, R.B. DE SOUZA a V.H. ALVAREZ. Dynamics of calcium and magnesium in leaves and fruits of Arabic coffee. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* [online]. 2007, (31), pp. 319-329 [cit. 2022-05-05]. Dostupné z: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/HXYDfwLLQG5pSc8fcXkKWrd/?format=pdf&lang=pt>
- [141] SINGH, Harminder Pal, Priyanka MAHAJAN, Shalinder KAUR, Daizy R. BATISH a Ravinder K. KOHLI. Chromium toxicity and tolerance in plants. *Environmental Chemistry Letters* [online]. 2013, **11**(3), 229-254 [cit. 2022-05-07]. ISSN 1610-3653. Dostupné z: doi:10.1007/s10311-013-0407-5
- [142] ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (1998) Toxicological profile for chromium. U.S. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA
- [143] BAUMGARTEN, A. a H. SPIEGEL. *Phytotoxicity (plant tolerance) Ecotix. Environ. Safe*, 30. Ecotix. Environ., 2004, pp. 221-251.
- [144] GOMES, Teresa, et al. Effect of fresh and composted spent coffee grounds on lettuce growth, photosynthetic pigments and mineral composition. In: *VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas*. SECH e SEAgIng, 2014. p. 1-5.
- [145] MUSSATTO, Solange I., Livia M. CARNEIRO, João P.A. SILVA, Inês C. ROBERTO a José A. TEIXEIRA. A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. *Carbohydrate Polymers* [online]. 2011, **83**(2), 368-374 [cit. 2022-04-30]. ISSN 01448617. Dostupné z: doi:10.1016/j.carbpol.2010.07.063
- [146] AGÜERO, M.V., M.V. BARG, A. YOMMI, A. CAMELO a S.I. ROURA. Postharvest Changes in Water Status and Chlorophyll Content of Lettuce (*Lactuca Sativa* L.) and their Relationship with Overall Visual Quality. *Journal of Food Science* [online]. 2008, **73**(1), S47-S55 [cit. 2022-05-04]. ISSN 00221147. Dostupné z: doi:10.1111/j.1750-3841.2007.00604.x
- [147] KAWASHIMA, Luciane M a Lucia M VALENTE SOARES. Mineral profile of raw and cooked leafy vegetables consumed in Southern Brazil. *Journal of Food Composition and Analysis* [online]. 2003, **16**(5), 605-611 [cit. 2022-05-03]. ISSN 08891575. Dostupné z: doi:10.1016/S0889-1575(03)00057-7
- [148] KELLY, Simon D. a Alison S. BATEMAN. Comparison of mineral concentrations in commercially grown organic and conventional crops – Tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) and lettuces (*Lactuca sativa*). *Food Chemistry* [online]. 2010, **119**(2),

738-745 [cit. 2022-05-05]. ISSN 03088146. Dostupné z:
doi:10.1016/j.foodchem.2009.07.022

- [149] MOU, Beiquan. Nutrient Content of Lettuce and its Improvement. *Current Nutrition & Food Science* [online]. 2009, 5(4), 242-248 [cit. 2022-05-05]. ISSN 15734013. Dostupné z: doi:10.2174/157340109790218030

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BU	Biouhel
BU+OT+PŮDA	Směs půdy a 2,5 obj. % množstvím biouhlu, pšeničných otrub
DAD	Detektor diodového pole
EBC	European Biochar Certificate
EXKS	Extrahovaná kávová sedlina, VAR, 60 % EtOH
EXKS+BU+OT+PŮDA	Směs půdy a 2,5 obj. % množstvím extrahované kávové sedliny, biouhlu, pšeničných otrub
F-C	Folin-Ciocalteu činidlo
FL	Fenolické látky
Chl a	Chlorofyl a
KS	Kávová sedlina
KS+BU+OT+PŮDA	Směs půdy a 2,5 obj. % množstvím kávové sedliny, biouhlu, pšeničných otrub
KVK	Kationtová výměnná kapacita
K-W	Kruskal-Wallis
MS	Hmotnostní spektrometr
NPK	Minerální hnojivo obsahující dusík, fosfor a draslík
NPK+PŮDA	Směs půdy a NPK v koncentraci 1,5 g·l ⁻¹
OT	Pšeničné otruby
OXKS	Oxidovaná kávová sedlina pomocí 1% KMnO ₄
OXKS+BU+OT+PŮDA	Směs půdy a 2,5 obj. % množstvím oxidované kávové sedliny, biouhlu, pšeničných otrub
OXKS2	Oxidovaná kávová sedlina pomocí 0,1% KMnO ₄ a 10% H ₂ O ₂

OXKS2+BU+OT+PŮDA Směs půdy a 2,5 obj. % množstvím oxidované kávové
sedliny 2, biouhlu, pšeničných otrub

S_BU Salát vypěstovaný ve směsi 2,5% (BU+OT) +PŮDA

S_EXKS..... Salát vypěstovaný ve směsi 2,5% (EXKS+BU+OT) +PŮDA

S_NPK Salát vypěstovaný ve směsi půdy s minerálním hnojivem

S_OXKS Salát vypěstovaný ve směsi 2,5% (OXKS+BU+OT) +PŮDA

S_OXKS2 Salát vypěstovaný ve směsi 2,5% (OXKS2+BU+OT) +PŮDA

S_P Salát vypěstovaný v kontrolní čisté půdě

8 PŘÍLOHA

Tabulka 16: Prvková analýza pomocí ICP-OES vypěstovaného salátu.

c [mg·g ⁻¹]										
Vzorek	P	Mg	Ca	K	Cr	Zn	Mn	Fe	Cu	Al
S_P	1,7502 ± 0,0567	2,8987 ± 0,4320	5,2039 ± 0,3934	91,7026 ± 16,8861	0,0014 ± 0,0002	0,0460 ± 0,0320	0,0310 ± 0,0086	4,4411 ± 2,3916	0,1804 ± 0,0403	4,7407 ± 3,8027
S_NPK	1,7639 ± 0,1118	4,8925 ± 0,2231	7,2137 ± 1,7949	142,0815 ± 7,0788	0,0013 ± 0,0002	0,0177 ± 0,0033	0,0230 ± 0,0027	4,8203 ± 0,8528	0,1836 ± 0,0453	4,6239 ± 1,5948
S_BU	20,6961 ± 31,9393	2,2162 ± 0,0958	3,8770 ± 1,4238	90,9517 ± 8,3195	0,0020 ± 0,0007	0,0142 ± 0,0059	0,0269 ± 0,0110	4,2832 ± 0,9127	0,2281 ± 0,0831	3,7350 ± 0,8086
S_KS	2,4918 ± 0,1570	2,2299 ± 0,1450	5,8126 ± 0,4826	94,2383 ± 5,6231	0,0015 ± 0,0006	0,1448 ± 0,2196	0,0593 ± 0,0271	7,4133 ± 6,0020	0,6824 ± 0,6764	9,1489 ± 12,6628
S_OXKS	2,1680 ± 0,0529	2,0728 ± 0,3057	4,7749 ± 0,7514	93,4567 ± 0,3150	0,0012 ± 0,0002	0,0168 ± 0,0035	0,0423 ± 0,0226	5,4517 ± 2,6621	0,2823 ± 0,0376	5,4683 ± 3,4848
S_OXKS2	2,9408 ± 1,7933	1,6400 ± 0,4777	3,4283 ± 0,6677	51,2189 ± 29,3777	0,0029 ± 0,0003	0,0925 ± 0,0379	0,0895 ± 0,0079	9,8054 ± 7,0100	0,4438 ± 0,0098	8,5351 ± 8,8845
S_EXKS	3,0475	2,5042	4,8114	67,3863	0,0024	0,0426	0,0543	5,3884	0,6753	4,2390

Tabulka 17: Prvková analýza pomocí ICP-OES pro půdu před pěstováním.

c [μg·g ⁻¹]				
Vzorek	P	Mg	Ca	K
PŮDA	2,8880 ± 0,4179	33,662 ± 3,998	133,6612 ± 9,3544	16424,8064 ± 3215,5426
BU+OT+PŮDA	0,7818 ± 0,0634	21,5086 ± 1,0541	130,6326 ± 6,0077	5010,4322 ± 53,1190
NPK+PŮDA	0,7517 ± 0,0287	19,4534 ± 0,9275	112,768 ± 5,2417	3754,1144 ± 108,8553
OXKS+BU+OT+PŮDA	1,6228 ± 0,0431	12,3336 ± 0,3024	55,8615 ± 1,2729	5418,7942 ± 319,2777
KS+BU+OT+PŮDA	0,8347 ± 0,1664	10,9485 ± 1,2259	61,5192 ± 9,5688	3000,4314 ± 553,7936
EXKS+BU+OT+PŮDA	0,9500 ± 0,0809	21,9236 ± 1,7038	123,3298 ± 8,3841	5598,4469 ± 471,1913
OXKS2+BU+OT+PŮDA	0,9373 ± 0,1066	12,4715 ± 0,1722	77,7161 ± 4,7417	3454,4155 ± 355,0363
Vzorek	Cr	Zn	Mn	Fe
PŮDA	0,0113 ± 0,001	0,0563 ± 0,0102	14,9274 ± 2,5157	0,1753 ± 0,0422
BU+OT+PŮDA	0,0099 ± 0,0003	0,0419 ± 0,0034	0,0316 ± 0,0130	0,0123 ± 0,0031
NPK+PŮDA	0,0094 ± 0,001	0,0472 ± 0,0100	0,8185 ± 0,9823	0,0236 ± 0,0056
OXKS+BU+OT+PŮDA	0,0099 ± 0,0013	0,0415 ± 0,0005	2,4207 ± 0,2566	0,0719 ± 0,0192
KS+BU+OT+PŮDA	0,0103 ± 0,001	0,0369 ± 0,0003	0,0254 ± 0,0096	0,0255 ± 0,0054
EXKS+BU+OT+PŮDA	0,0101 ± 0,0004	0,041 ± 0,0018	0,5231 ± 0,6809	0,0138 ± 0,0010
OXKS2+BU+OT+PŮDA	0,01 ± 0,0004	0,0378 ± 0,0005	0,0276 ± 0,0017	0,0212 ± 0,0082
Vzorek	Cu	Al		
PŮDA	0,071 ± 0,0229	0,3616 ± 0,0432		
BU+OT+PŮDA	0,0249 ± 0,0018	0,3305 ± 0,0183		
NPK+PŮDA	0,0542 ± 0,0136	0,2745 ± 0,015		
OXKS+BU+OT+PŮDA	0,0645 ± 0,0206	0,1622 ± 0,0056		
KS+BU+OT+PŮDA	0,036 ± 0,0073	0,166 ± 0,0278		
EXKS+BU+OT+PŮDA	0,0305 ± 0,0053	0,3031 ± 0,0183		
OXKS2+BU+OT+PŮDA	0,0236 ± 0,0014	0,1986 ± 0,0029		

Tabulka 18: Prvková analýza pomocí ICP-OES pro půdu po pěstování.

c [µg·g ⁻¹]				
Vzorek	P	Mg	Ca	K
PŮDA	0,9591 ± 0,1919	9,3918 ± 1,9221	67,4325 ± 4,5889	2277,4603 ± 1540,6795
BU+OT+PŮDA	1,4660 ± 0,2483	12,9217 ± 1,7139	79,7200 ± 9,4916	3494,4376 ± 229,1018
NPK+PŮDA	1,0690 ± 0,0635	25,8479 ± 4,4921	149,6279 ± 8,3034	3692,1124 ± 690,8816
OXKS+BU+OT+PŮDA	1,1338 ± 0,3141	22,1054 ± 3,8439	133,1463 ± 18,4011	4204,608 ± 1704,2402
KS+BU+OT+PŮDA	1,1883 ± 0,1126	10,6359 ± 2,1545	56,0264 ± 7,8270	4499,0037 ± 768,8733
EXKS+BU+OT+PŮDA	1,3937 ± 0,2923	23,5977 ± 6,4892	136,1935 ± 12,8551	4768,5421 ± 189,0291
OXKS2+BU+OT+PŮDA	1,2279 ± 0,2322	10,9763 ± 2,9277	63,0566 ± 9,5316	5222,0623 ± 533,2795
Vzorek	Cr	Zn	Mn	Fe
PŮDA	0,0066 ± 0,0007	0,0350 ± 0,0027	1,3399 ± 0,9741	0,0251 ± 0,0201
BU+OT+PŮDA	0,0071 ± 0,0007	0,0333 ± 0,0021	1,1457 ± 0,4704	0,0097 ± 0,0032
NPK+PŮDA	0,0068 ± 0,0004	0,0335 ± 0,0003	2,1273 ± 0,3798	0,0040 ± 0,0015
OXKS+BU+OT+PŮDA	0,0074 ± 0,0009	0,0344 ± 0,0015	3,4175 ± 0,8728	0,0410 ± 0,0199
KS+BU+OT+PŮDA	0,0076 ± 0,0003	0,0349 ± 0,0007	1,829 ± 0,4178	0,0504 ± 0,0071
EXKS+BU+OT+PŮDA	0,0083 ± 0,0010	0,0348 ± 0,0004	1,8036 ± 0,8403	0,0078 ± 0,0012
OXKS2+BU+OT+PŮDA	0,0079 ± 0,0004	0,0355 ± 0,0007	1,6459 ± 0,9981	0,1156 ± 0,1301
Vzorek	Cu	Al		
PŮDA	0,0393 ± 0,018	0,1454 ± 0,0114		
BU+OT+PŮDA	0,0386 ± 0,0097	0,1792 ± 0,0210		
NPK+PŮDA	0,0278 ± 0,0015	0,3653 ± 0,0387		
OXKS+BU+OT+PŮDA	0,0462 ± 0,0073	0,3231 ± 0,0618		
KS+BU+OT+PŮDA	0,0536 ± 0,0021	0,1458 ± 0,0230		
EXKS+BU+OT+PŮDA	0,0277 ± 0,0062	0,3380 ± 0,0470		
OXKS2+BU+OT+PŮDA	0,0857 ± 0,0067	0,1720 ± 0,0105		