

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Využití vermikompostu ke hnojení kukuřice

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Kristýna Sedláková

Vedoucí práce: Ing. Aleš Hanč, Ph.D.

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Použití vermikompostu ke hnojení kukuřice" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne: 6. 4. 2016

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Aleši Hančovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce. Ráda bych touto cestou poděkovala i paní Ing. Marii Bazalové, panu Ing. Filipovi Vašákovi a paní prof. Ing. Jiřině Szákové, CSc. za odbornou pomoc při laboratorních měřeních.

Použití vermikompostu ke hnojení kukuřice

Souhrn

Tato práce se zabývá použitím organického hnojiva, vermikompostu, ke hnojení kukuřice (*Zea Mays L.*) a má za cíl popsat účinky tohoto hnojiva na kvalitu půdy a následně na pěstované rostliny kukuřice.

První část práce je pojata teoreticky a je zde popsána metoda vermitechologie – výroba vermikompostu, charakteristika vhodných druhů žížal a požadavky na prostředí. Dále se tato práce zabývá popisem vermikompostu. Jsou zde blíže popsány fyzikální, chemické a biologické vlastnosti tohoto hnojiva. V neposlední řadě tato část práce seznamuje s výhodami vermikompostu, porovnává jeho vlastnosti s vlastnostmi klasického kompostu a průmyslových hnojiv, a také popisuje agronomické hodnocení půdy a vermikompostu.

Druhá část práce seznamuje s praktickou částí polního pokusu, který byl založen 21. 4. 2011 a ukončen 4. 9. 2013.

Použitá hnojiva – vermikompost a DAM byla aplikována v průběhu tří let před setím kukuřice v polním maloparcelovém pokusu jako další varianta k dlouhodobému pokusu s monokulturou kukuřice. Po sklizni kukuřice byly odebírány vzorky půdy a rostlin, které byly následně upraveny a analyzovány. Výsledky byly posléze vyhodnoceny a porovnány s variantami z dlouhodobého pokusu s monokulturou.

V navazující části, ve které jsou uvedeny výsledky tohoto pokusu, jsou graficky znázorněny parametry zeminy i kukuřice po aplikaci hnojiv, a také odběry živin danou plodinou.

V diskuzi jsou pak všechny sledované parametry – pH, obsah C_{ox} , N_{tot} , obsah přístupného P, K, Ca, Mg či výnosy čerstvé a suché hmoty a obsahy sušiny, porovnány s výsledky jiných studií mnoha autorů.

V závěru práce je poukázáno na fakt, že z provedeného pokusu přímo nevyplývalo, že použití vermikompostu výrazně obnovuje a zlepšuje přirozenou úrodnost půdy a výrazně stimuluje produkci rostlin. Důvodem je skutečnost, že k nárůstu obsahu jednotlivých prvků docházelo i ve variantě DAM, kde byl předpokládán nárůst pouze celkového dusíku N_{tot} , a proto není možné potvrdit, že měl vermikompost vliv na pěstovanou kukuřici i v následujících letech po jeho aplikaci.

Klíčová slova: vermikompost, hnojivo, půda, kukuřice

Use of vermicompost for fertilization of maize

Summary

This work deals with the use of organic fertilizer, vermi compost, to fertilize maize (*Zea mays L.*), and aims to describe the effects of fertilizers on soil quality and consequently on maize crops.

The first part is conceived in theory and describes method of vermitechnologie - vermicompost production, characteristics suitable species of earthworms and environmental requirements. Furthermore, in this part of work is a description of vermicompost. There are further described physical, chemical and biological properties of the fertilizer. Finally this part introduces the benefits of vermicompost, comparing its properties with classical compost and commercial fertilizers, and also describes the agronomic evaluation of soil and vermicompost as well.

The second part introduces the practical part of the field experiment, which was founded 21. 4. 2011 and ended 4. 9. 2013. Used fertilizers - vermicompost and DAM were applied during the three years prior to planting maize in a field small experiment as an additional option for long-term experiment with monoculture of maize. After harvesting the maize, samples were taken from soil and plants, which were subsequently edited and analyzed. The results were then analyzed and compared with alternatives in the long experiment with monoculture.

In the next section, which presents the results of this experiment, are shown graphically soil and maize parameters after application of fertilizers, and nutrient uptake of maize. In the discussion are then all monitored parameters - pH, C_{ox} , N_{tot} , content of available phosphorus, potassium, calcium, magnesium or fresh yields and dry matter contents, compared with results of other studies of many authors.

In conclusion, it is pointed out that the experiment did not confirm that the use of vermicompost significantly restores and enhances the natural soil fertility and greatly stimulates the plant production. The reason is that an increase in the content of monitored parameters occurred also in DAM variation, where has been expected an increase mainly of total nitrogen N_{tot} . That is why, it is not possible confirm vermicompost's influence on maize in subsequent years.

Keywords: vermicompost, fertilizer, soil, maize

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce	8
3 Literární rešerše.....	9
3.1 Vermitechnologie	9
3.1.1 <i>Vhodné druhy žížal.....</i>	<i>10</i>
3.1.2 <i>Kritéria vzniku vermikompostu.....</i>	<i>10</i>
3.2 Vlastnosti a složení vermikompostu	11
3.2.1 <i>Fyzikální vlastnosti</i>	<i>12</i>
3.2.2 <i>Biologické vlastnosti</i>	<i>12</i>
3.2.3 <i>Chemické složení vermikompostu</i>	<i>13</i>
3.3 Výhody vermikompostu.....	14
3.4 Porovnání vlastností tradičního kompostu s vermikompostem.....	15
3.5 Porovnání vlastností vermikompostu s chemickými hnojivy.....	17
3.5.1 <i>Vliv vermikompostu na růst rostlin (nádobové pokusy)</i>	<i>17</i>
3.6 Vliv vermikompostu na půdu, rostliny, plody a výnosy	20
3.6.1 <i>Obnova půdy pomocí vermikompostu</i>	<i>20</i>
3.6.2 <i>Vermikompost jako půdní doplněk pro zlepšení růstu a výnosu plodin</i>	<i>20</i>
3.7 Agronomické hodnocení půdy	22
3.7.1 <i>Makroprvky</i>	<i>22</i>
3.7.2 <i>Makroprvky ve vermikompostu.....</i>	<i>24</i>
4 Metodika	26
4.1 Popis experimentu	26
4.2 Parametry hnojiv	26
4.2.1 <i>Vermikompost</i>	<i>26</i>
4.2.2 <i>DAM.....</i>	<i>26</i>
4.3 Parametry zeminy	27
4.4 Parametry plodiny	28
4.5 Použité metody chemických analýz.....	29
4.5.1 <i>Stanovení čerstvé hmoty, suché hmoty a sušiny.....</i>	<i>29</i>
4.5.2 <i>Stanovení pH</i>	<i>29</i>
4.5.3 <i>Suchý rozklad rostlinného materiálu</i>	<i>29</i>
4.5.4 <i>Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (OES – ICP).....</i>	<i>30</i>
4.5.5 <i>Kolorimetrické stanovení organického C podle Simse a Habyho.....</i>	<i>30</i>
4.5.6 <i>Stanovení celkového N dle Kjeldahla.....</i>	<i>31</i>
4.5.7 <i>Stanovení C:N.....</i>	<i>32</i>
4.5.8 <i>Stanovení minerálního dusíku.....</i>	<i>32</i>
4.5.9 <i>Výluh kyselinou octovou.....</i>	<i>33</i>
4.5.10 <i>Stanovení obsahu přístupných živin makroprvků dle Mehlicha III.....</i>	<i>33</i>

4.5.11	<i>Atomová absorpční spektrometrie (AAS)</i>	33
4.5.12	<i>Stanovení rozpustných solí v půdě na základě elektrické vodivosti</i>	34
4.6	Statistické metody	34
5	Výsledky	35
5.1	Výsledky analýz půdy.....	35
5.1.1	<i>Hodnoty pH</i>	35
5.1.2	<i>Obsah oxidovatelného uhlíku</i>	36
5.1.3	<i>Obsah celkového dusíku v půdě</i>	37
5.1.4	<i>Obsah fosforu v půdě</i>	37
5.1.5	<i>Obsah draslíku v půdě</i>	38
5.1.6	<i>Obsah vápníku v půdě</i>	39
5.1.7	<i>Obsah hořčíku v půdě</i>	39
5.2	Výsledky analýz rostlin.....	40
5.2.1	<i>Výnosy čerstvé a suché hmoty, obsahy sušiny</i>	40
5.2.2	<i>Obsah celkového dusíku v kukuřici</i>	42
5.2.3	<i>Obsah fosforu v kukuřici</i>	43
5.2.4	<i>Obsah draslíku v kukuřici</i>	43
5.2.5	<i>Obsah vápníku v kukuřici</i>	44
5.2.6	<i>Obsah hořčíku v kukuřici</i>	45
5.3	Odběry živin kukuřicí	46
6	Diskuze	48
6.1	Hodnoty pH.....	48
6.2	Obsah oxidovatelného uhlíku	49
6.3	Celkový obsah dusíku v půdě.....	50
6.4	Obsah fosforu v půdě.....	51
6.5	Obsah draslíku v půdě.....	51
6.6	Obsah vápníku v půdě.....	52
6.7	Obsah hořčíku v půdě	52
6.8	Výnos čerstvé a suché hmoty, výnos sušiny	53
6.9	Obsah celkového dusíku v kukuřici.....	54
6.10	Obsah fosforu v kukuřici.....	54
6.11	Obsah draslíku v kukuřici	55
6.12	Obsah vápníku v kukuřici	56
6.13	Obsah hořčíku v kukuřici	56
7	Závěr	58
8	Seznam použité literatury	59
9	Přílohy	68
9.1	Tabulky	68
10	Seznam příloh	72

1 Úvod

Intenzivní využívání průmyslových hnojiv od šedesátých let 20. století dramaticky navýšilo celkovou produkci potravin, ale výrazně snížilo jejich nutriční hodnotu a přirozenou půdní úrodnost. Zlepšení výnosů plodin je samozřejmě jedním ze základních cílů udržitelného zemědělství, avšak dalšími prioritami jsou dopady zemědělství na životní prostředí. Nešetrné agronomické postupy, jako je bezohledné používání agrochemikálií, nadměrná orba či využívání marginální půdy (především svahy) sice zvýšily výnosy rostlin, avšak na úkor kvality půdy. Díky těmto okolnostem došlo ke snížení obsahu organické hmoty v půdě, ke snížení biodiverzity či k degradaci fyzikálních vlastností půdy.

Vyčerpání půdní organické hmoty je jedním z hlavních faktorů, způsobujících degradaci půdních ekosystémů a ztrátu jejich odolnosti. Četné studie ukázaly, že organická hmota v půdě je důležitá z hlediska udržení ekonomicky životaschopné produkci plodin s minimálním znečištěním životního prostředí. Při organickém hnojení bylo prokázáno zlepšení obsahu organické hmoty v půdě, mikrobiální činnost, potlačení chorob rostlin a zvýšení odolnosti půdy proti erozi.

Na druhou stranu hlavním omezením použití organických hnojiv je jejich menší vliv na výnos rostlin, než je tomu u průmyslových hnojiv, závisí na daném systému a vedlejších vlivech prostředí.

Alternativními organickými hnojivy jsou vermikompost a biouhel. Vermikompost funguje na rozdíl od průmyslových hnojiv jako stimulátor mikrobiálního růstu a následné mineralizace živin v půdě. Potřebné živiny se uvolňují z naakumulovaného humusu do půdy v konstantním poměru a jeho celková čistá účinnost je v období několika let větší ve srovnání s průmyslovými hnojivy.

2 Cíl práce

Cílem této práce bude zjistit vliv aplikace vermikompostu na agrochemické vlastnosti půdy a na kvantitativní a kvalitativní parametry silážní kukuřice.

Hypotézou práce je, že aplikace vermikompostu průkazně zlepšuje parametry půdy a pěstované kukuřice.

3 Literární rešerše

Značné množství organických odpadů je vyprodukováno ze zemědělské výroby a hospodářských systémů, zahrnujících produkci hospodářského hnoje, kanalizační odpady, odpady z potravinářského a restauračního odvětví, ale také průmyslové odpady. Všechny tyto odpady zvyšují celosvětový problém se znečištěním půd a vod na Zemi. V současné době sice recyklace odpadů předčila spalování, avšak stále je upřednostňováno skládkování odpadů, přičemž je podle výzkumů více než 40 % komunálních odpadů, které jsou uloženy na skládky, organického původu. Pokud ovšem tyto odpady přeměníme na materiály užitečné pro zemědělství či zahradnictví, dosáhneme značných úspor v primární produkci rostlinných živin a metabolické energie.

3.1 Vermitechnologie

Atraktivní alternativou ke klasickému kompostování je použití epigeických druhů žížal, které dokážou narušit strukturu organických odpadů a přeměnit je na kvalitní organické hnojivo – vermikompost (Edwards et al., 2010).

Takto vzniklé organické hnojivo je ideální pro využití ať už v zahradnictví, tak i v zemědělství, kde může být použito jako prostředek pro zlepšení vlastností zemědělské půdy nebo může pozitivně ovlivnit výnosy zemědělských plodin (Oliver, 1937).

Vermikompostování zahrnuje biologickou oxidaci a stabilizaci organických materiálů pomocí vhodných druhů žížal a mikroorganismů. Ačkoli existují i mikroorganismy, které biochemicky degradují organickou hmotu v půdě, žížaly jsou jedinými rozhodujícími organismy v procesu vermikompostování. Půdu provzdušňují a fragmentují substrát, zlepšují tím vlastnosti půdy a v důsledku toho se zvyšuje mikrobiální aktivita. Žížaly svým pohybem promíchávají půdu a rozmělnováním organického materiálu přeměňují jeho fyzikální a chemický charakter. Postupně snižují poměr C:N a zvětšují plochu povrchu mikroorganismům. Vytvářejí tak mnohem více příznivé prostředí pro mikrobiální aktivitu a následný rozklad biologického materiálu (Domínguez et al., 1997).

3.1.1 Vhodné druhy žížal

Pro výrobu kvalitního vermikompostu se používají pouze vhodné druhy žížal, které splňují několik kritérií, jako jsou například vysoká rychlost spotřeby substrátu; trávení a asimilace organického odpadu; tolerance vůči široké škále environmentálních faktorů; krátký životní cyklus; vysoká reprodukční schopnost; vytrvalost a tolerance k manipulaci s nimi samými.

Dle Edwardse (2010) tyto požadavky ukazují na vhodný potenciál k vermikompostování, ovšem jen několik málo druhů je schopno tato kritéria splnit. Pouze pět druhů žížal je extenzivně používáno k vermikompostování. Jedná se o *Eisenia andrei* (kalifornský hybrid), *Eisenia fetida* (žížala hnojní), *Dendrobena veneta* (evropská dešťovka), *Eudrilus eugeniae* (žížala africká) a *Perionyx excavatus*. Dva nejrozšířenější a nejpoužívanější druhy žížal k vermikompostování jsou zobrazeny na obrázku č. 1 níže.



Obr. 1: Nahoře žížala *Eisenia fetida*, dole *Eisenia andrei*

Zdroj: obrázek dostupný z www < <http://www.natuga.de/kompostwuermer.html> >

3.1.2 Kritéria vzniku vermikompostu

Velmi důležitým kritériem pro výrobu kvalitního vermikompostu je vytvoření vhodných podmínek, za kterých budou žížaly schopny kompost produkovat. Mezi ty nejdůležitější patří poměr C:N, teplota, vlhkost, provzdušnění a hodnota pH. Dále pak

dostatek potravy, obsah amoniaku a soli v organickém materiálu, dostatek prostoru a také času potřebného k vytvoření kvalitního vermikompostu.

V následující tabulce č. 1 jsou uvedeny optimální podmínky pro přežití žížal rodu *E. fetida* a *E. andrei* dle výzkumu Edwardse et al. (2010).

Tabulka 1: Optimální podmínky pro chov *E.fetida* a *E.andrei*

Faktory	Požadavky
Teplota	15 °C-20 °C (limit 4 °C-30 °C)
Vlhkost	80 %-90 % (limit 60 %-90 %)
Hodnota pH	5-9
Obsah amoniaku	Nízký: < 1 mg.g ⁻¹
Obsah soli	Nízký: <0.5 %
Poměr C:N	25:1 (limit 30:1)
Provzdušnění	

Zdroj: Edwards et al., 2010

3.2 Vlastnosti a složení vermikompostu

Vermikompost je hnojivo vzniklé zvýšenou degradací organických odpadů, díky interakcím mezi žížalami a mikroorganismy. Žížaly přeměňují organické odpady na jemnější částice při průchodu jejich trávicí soustavou, kde také dochází k odvodnění potravy za pomoci mikroorganismů, které rostou na organických látkách. Celý proces urychluje stupeň mikrobiálního rozkladu organických látek, zvyšuje mikrobiální populaci a zlepšuje fyzikální i chemické vlastnosti daného materiálu. Vede k zrychlení humifikace, během které je nestabilní organický materiál okysličován a stabilizován.

3.2.1 Fyzikální vlastnosti

Z hlediska fyzikálních vlastností je vermikompost tmavé homogenní hnojivo (obr. 2), téměř bez zápachu, které zlepšuje mikrobiální aktivitu v půdě a má vynikající vliv na adsorpci a retenci živin v půdě (Shi-wei a Fu-zhen, 1991).



Obr. 2: Vzhled vermikompostu

Zdroj: obrázek dostupný z [www <http://www.mmsb.nf.ca/vermicomposting.asp?s=harvesting-and-using-finished-vermicompost>](http://www.mmsb.nf.ca/vermicomposting.asp?s=harvesting-and-using-finished-vermicompost)

3.2.2 Biologické vlastnosti

Hlavním důvodem, proč je vermikompost považován za nejlepší organické hnojivo, jsou jeho biologické vlastnosti. Ty nesouvisí pouze s koloběhem živin v půdě, ale také s jejich schopností zásobovat rostliny růstovými hormony jako jsou auxin (pro odnožování), giberelin (pro nárůst hmoty) a cytokinin (podpora klíčení rostlin). Dále pak přítomnost fulvokyselin a huminových kyselin fungujících jako regulátory růstu rostlin (Edwards et al., 2010).

Vermikompost je také velmi bohatý na bakterie (*Azotobacter*, *Rhizobium*, *Nitrobacter* aj.) aktinomycey, bakterie štěpící celulózu a houby.

3.2.3 Chemické složení vermikompostu

Vermikompost je také unikátní svým chemickým složením. Edwards a Burrows (1988) ve své knize uvádějí, že vermikompost získaný z živočišných odpadů zpravidla obsahuje vyšší množství minerálních prvků než komerční prostředky podporující růst. Dokonce většina z těchto prvků je ve formě, která je lépe přijatelná rostlinám, například dusičnany, využitelný fosfor a rozpustné formy draslíku, vápníku a hořčíku.

V následujících tabulkách č. 2 a 3 jsou uvedeny příklady chemického složení mnoha vermikompostů a také jejich srovnání s bezpůdním pěstebním substrátem Metro Mix 360. K vermikompostování byly použity žížaly rodu *Eisenia fetida*, pouze v případě rostlinného odpadu č. 2 (tabulka 2, šestý řádek) byl použit druh *Eisenia andrei*.

Tabulka 2: Porovnání chemického složení MM360 a vermikompostů vyprodukovaných z různých materiálů

Parametr	pH	C:N	C	N	P	K	Ca	Fe	Zdroj
Jednotka		poměr	%	%	%	%	%	%	
MM 360	5,90	x	31,78	0,43	0,15	1,59	1,03	2,58	Atiyeh et al., 2001
Prasečí kejda	5,30	x	27,38	2,36	4,50	0,40	8,60	0,80	Atiyeh et al., 2001
Rostlinný odpad	7,96	17,60	22,73	x	0,43	1,84	x	x	Fu et al., 2011
Rostlinný odpad	7,27	11,50	16,10	1,40	0,34	0,49	x	x	Jouquet et al., 2010
Prasečí kejda a kokosová kůra	x	17,60	x	0,68	0,74	0,52	x	0,18	Jeyabal, Kuppuswamy, 2001
Prasečí kejda s plevele	x	13,70	x	0,78	0,75	0,54	x	0,19	Jeyabal, Kuppuswamy, 2001
Kravský hnůj s kokosovou kůrou	x	17,30	x	0,61	0,76	0,51	x	0,23	Jeyabal, Kuppuswamy, 2001
Kravský hnůj s plevele	x	12,40	x	0,87	0,79	0,55	x	0,22	Jeyabal, Kuppuswamy, 2001
Nespecifikovaný organický odpad	7,80	15,30	24,10	1,60	1,00	0,10	x	x	Ali et al., 2007

Zdroj: Vlastní zpracování na základě literárních údajů.

Z uvedené tabulky vyplývá, že pěstební substrát MM360 má přibližně stejnou hodnotu pH jako uvedené vermikomposty, avšak obsahy uvedených prvků vermikompostů značně kolísají v závislosti na použitém organickém odpadu či metodě zpracování, tudíž se od složení MM360 liší. Značný rozdíl v chemickém složení můžeme pozorovat v případě rostlinných

odpadů, kdy byl v prvním případě použit druh žížaly *Eisenia fetida* a v druhém rod *Eisenia andrei*.

Tabulka 3: Příklady chemického složení vermikompostů vyprodukovaných z různých surovin

Parametr	pH	C:N	C	N	P	K	Ca	Mg	HK	FK	Zdroj
Jednotka		Poměr	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	mg.kg ⁻¹	
Bioodpad + bavlněný odpad	6,5	x	x	6400	16000	6000	x	7100	x	x	Zaller, 2007
Odpady z vinařství	8,3	x	4220	22500	x	x	x	x	53900	44500	Fernandez-Gómez et al., 2011
Kravský hnůj	7,5	x	9800	10100	x	x	x	x	15300	8700	Fernandez-Gómez et al., 2011
Kravský hnůj 2	5,8	54,9	3622	6600	5200	6400	x	x	x	x	Pramanik et al., 2007
Matoliny	6,9	22,0	3440	16000	25000	2900	2500	4600	35000	28000	Romero et al., 2010
Tráva	7,7	67,9	4979	7300	4300	5900	x	x	x	x	Pramanik et al., 2007
Plevele	7,2	71,5	4458	6200	4000	5700	x	x	x	x	Pramanik et al., 2007
Rostlinný odpad	7,0	11,5	3110	13500	8100	x	1190	7200	64800	22600	Tejada et al., 2009

Zdroj: Vlastní zpracování na základě literárních údajů.

Celková kvantita i kvalita živin, obsažená ve vermikompostu, je vysvětlována zrychlující se mineralizací organického materiálu, zvyšující se mikrobiální aktivity, rozkladu polysacharidů a značnou mírou humifikace (Albanell et al., 1988; Elvira et al., 1996).

3.3 Výhody vermikompostu

Jednou z výhod vermikompostu je, že obsahuje enzymy, jako jsou amyláza, lipáza, celulóza či chitináza. Tyto enzymy pokračují v rozkladu organického materiálu v půdě a zvyšují výnos až o 30 %, jelikož rostliny mají bohatší vzrůst. Samotné enzymy také umožňují rostlinám lepší využitelnost minerálních látek, které jsou v půdě obsaženy. Z doposud provedených výzkumů bylo zjištěno, že využitelnost minerálních látek z půdy s obsahem enzymů z vermikompostu je 80-90 %, kdežto běžná využitelnost minerálních látek se pohybuje v rozmezí 40-50 % (Chaoui et al., 2003).

Další výhodou vermikompostu je jeho snadná vstřebatelnost, takže jej lze aplikovat nejen ke kořenům rostlin, ale i na povrch půdy (např. travnatých ploch).

Edwards et al. (2010) dále uvádějí několik dalších výhod vermikompostu, díky kterým se stává více a více preferovaným hnojivem. Vermikompost je bezzápachový, a proto je vhodný i pro pokojové rostliny; neobsahuje žádnou chemii a nezatěžuje tak životní prostředí, tudíž se může použít i na plochách s ochranným pásmem vodních zdrojů; má velkou absorpční schopnost, díky které rovnoměrně zásobuje rostlinu vodou a živinami; zvyšuje množství květů a prodlužuje dobu kvetení (např. u balkonových květin); dále pak zvyšuje množství plodů u ovocných keřů a stromů a urychluje dobu jejich dozrávání; chrání rostliny proti škůdcům a eliminuje jejich nemoci; je dobře snesitelný s průmyslově vyráběnými hnojivy, dokonce se dávkování chemických hnojiv může snížit o 40–50 %, a tím nedojde k odplavování nežádoucích látek do spodních vod.

3.4 Porovnání vlastností tradičního kompostu s vermikompostem

Kvalita vermikompostu je podstatně vyšší než u klasického kompostu. Důvodem je přítomnost prospěšných aerobních bakterií, ale i dalších půdních mikroorganismů, kteří při běžném kompostování nepřežijí termofilní fázi. Oproti běžnému kompostu je vermikompost schopen zadržet potřebné živiny (zejména dusík, draslík a fosfor) na dlouhou dobu a rostlinu jimi pak následně vyživovat. Další předností vermikompostu je jeho velká pórovitost, provzdušnění a schopnost zadržet vodu, a to opět díky jeho vysokému obsahu humusu (Canellas et al., 2002).

Některé studie prokázaly, že zatímco běžný kompost dosahoval vyššího obsahu amoniaku, vermikompost inklinoval k vyšším hodnotám nejen dusičnanů, které jsou pro rostliny lépe dostupnou formou dusíku, ale také fosforu, draslíku, síry a magnesia (Atiyeh et al., 2000).

V neposlední řadě je nutno zmínit, že nevýhodou kompostu je také jeho doba vzniku (osm týdnů) a následné dozrávání, které činí obvykle čtyři týdny. Pokud by byla délka dozrávání zkrácena a kompost použit ke hnojení, mohl by způsobit značné škody na plodinách. U vermikompostu dozrávání není potřeba. Může být aplikován ihned po jeho výrobě (Tognetti et al., 2005).

Při porovnání chemických vlastností vermikompostů a kompostů (viz tabulka č. 4), bylo zjištěno, že vermikompost má tendenci směřovat k nižšímu pH, mít nižší koncentraci amonného dusíku a naopak vyšší koncentraci dusíku ve formě NO_3^- oproti běžnému kompostu. Tyto rozdíly jsou pravděpodobně způsobeny odlišnými procesy probíhajícími během vermikompostování a kompostování (např. odlišné mikrobiální společenství atd.). Kompostování vede k uvolnění minerálního dusíku v podobě NH_4^+ , zatímco vermikompostování přemění většinu dusíku na rostlinám snadno dostupnou formu NO_3^- (Atiyeh et al., 2000).

Tabulka 4: Chemické vlastnosti vermikompostu a kompostu

	pH	N (%)	C _{ox} (%)	P (%)	K (%)	NH ₄ ⁺ (μg/g)	NO ₃ ⁻ (μg/g)
Vermikompost							
Prasečí výkaly	5,3	2,36	43,8	4,5	0,4	123	4525
Zbytky potravin	7,3	1,80	34,0	0,4	1,1	<14	665
Kompost							
Biodpad	7,6	3,70	62,0	1,7	0,6	5000	165
Listí	8,0	1,16	35,3	0,2	0,6	32	188

Zdroj: Atiyeh et al., 2000

Sinha et al. (2010) také provedl několik studií porovnávajících chemické vlastnosti konvenčního kompostu a vermikompostu. Studie potvrzují, že vermikompost obsahuje až 4krát více živin než klasický kompost (tabulka č. 5). Sinha et al. (2010) dále poukazuje na lepší dostupnost nejen dusíku, ale i ostatních důležitých rostlinných živin oproti kompostu.

Tabulka 5: Srovnání nutričních hodnot klasického kompostu s vermikompostem

Parametr	Kompostování	Vermikompostování
Celkový C (%)	9,34	13,50
Celkový N (%)	1,05	1,33
Dostupný P (%)	0,32	0,47
Mg (mg/100 g kompostu)	689,32	832,48

Zdroj: Sinha et al., 2010

3.5 Porovnání vlastností vermikompostu s chemickými hnojivy

Mnoho vědeckých studií potvrzuje, že zatímco vermikompost, který je bohatý na prospěšné půdní mikroby a základní živiny, posiluje přirozenou úrodnost půdy, kdežto průmyslová hnojiva tuto mikrobiální kulturu ničí, a tím vytváří půdní závislost na těchto hnojivech. Jejich nevýhodou je také negativní ovlivnění stupně pH a pórovitosti půdy.

Zatímco průmyslová hnojiva uvolňují živiny do půdy relativně rychle a ty se pak brzy vyčerpají a je zapotřebí dalšího hnojení, vermikompost funguje jako hnojivo pomalu uvolňující živiny (Sinha et al., 2009).

Velmi důležitý je i fakt, že průmyslová hnojiva jsou vyráběna z ropných produktů, které spadají do neobnovitelných zdrojů, kdežto vermikompost je biologického původu a je proto obnovitelným a nevyčerpitelným zdrojem.

V následující podkapitole je popsáno několik studií, zabývajících se účinky vermikompostu a také jeho porovnání s bezpůdním růstovým substrátem Metro Mix 360 (dále jen MM360).

3.5.1 Vliv vermikompostu na růst rostlin (nádobové pokusy)

Využití vermikompostu v zahradnickém průmyslu rapidně vzrostlo po uveřejnění mnoha pozitivních výsledků, dosažených aplikací tohoto hnojiva v nádobových pokusech. Jedním z mnoha důvodů bylo zlepšení růstu a celkového vývoje rostlin po aplikaci vermikompostu. Výhodou je rychlejší ekonomická návratnost pěstitelům v důsledku rychlejšího klíčení rostlin, kvetení, ale i vyšším výnosům a lepší kvalitě plodin. Ekonomická

návratnost vychází také z úspor na nákladné obměňování rašelinového základu jakožto růstového media.

Většina z provedených výzkumů se pokusila objasnit, jaký mechanismus je zodpovědný za tak pozitivní odezvy rostlin. Jedna z možností zvýšení výnosu plodin zahrnuje kombinaci mnoha faktorů zlepšující fyzikálně-chemické kvality růstových médií po dodání vermikompostu k plodinám, biologické změny v růstových médiích, produkci růstových hormonů a růstových regulátorů (Edwards et al., 2010).

Při aplikaci vermikompostu k zelenině, Edwards a Burrows (1988) zjistili, že je dosahováno zlepšení klíčení sazenic, oproti sazenicím hnojenými průmyslovými hnojivy. Jednalo se o testovací rostlinky hrachu, pšenice, zelí, rajčat a ředkvi. Kromě toho přišli se zjištěním, že růst okrasných keřů, jako například jalovce obecného či kaliny bodnanské, probíhal mnohem lépe ve zvermikompostované směsi než v ostatních růstových médiích (např. MM360). Uvedli také, že některé okrasné rostliny, jako jsou chryzantémy, šalvěj a petunie, kvetly dříve ve srovnání s rostlinami pěstovanými v pěstebných rašelinných substrátech.

Bukerfield et al. (1999) používal ve svých pokusech směs vermikompostu a písku a dosáhl podobných vývojových trendů v růstu jako Edwards a Burrows (1988). Růst a hmotnost ředkvi při sklizni se zvyšovala přímo úměrně s množstvím aplikovaného vermikompostu.

Nejlepší růstové výsledky u rajčat, salátu a pepře byly dosaženy používáním zvermikompostovaného kachního odpadu a rašelinné směsi (Wilson a Carlie, 1989). Dále bylo prokázáno, že stupně příjmu živin rostlinami souvisí s mírou růstu a celkovým vývojem rostlin.

Subler et al. (1998) popisuje zrychlení růstu rostlin, pěstovaných ve směsi vermikompostu společně s pěstebním bezpůdním substrátem MM360, ve srovnání s dvěma komerčními růstovými médii, vyrobenými z biologických odpadů. Ke svému pokusu použili sazenice rajčat a měsíčku lékařského. Jejich experiment poukazuje na značné rozdíly týkající se obsahu chlorofylu, který byl pozorován během raných stádií růstu měsíčku lékařského, v reakci na aplikaci vermikompostu. Na konci jejich pokusu byly viditelné změny v nárůstu rostlinné biomasy charakterizovány jako reakce na kombinaci 10% vermikompostu a 90% směsi MM360, ve srovnání s rostlinami hnojenými 100% MM360. K významnému zvýšení došlo také u hmotnosti sazenic rajčat při substituci sazby 10% a 20% vermikompostu oproti MM360. Stejně tak maliny pěstované v 80% MM360 a s přidavkem 20%

zvermikompostované prasečí kejdy vytvořily největší hmotnost sušiny. Chan a Griffiths (1988) pozorovali stimulační efekty prasečí zvermikompostované kejdy na růst sóji, zejména pokud šlo o nárůst délky kořenů, počet postranních kořenů, délku výhonků a velikost internodií v sazenicích rostlin.

Další pokus týkající se nárůstu kořenové hmoty prováděl Siddagangaiah et al. (1996). Pozoroval ujmoutí řízků vanilky a došel k závěru, že k ujmoutí docházelo mnohem lépe ve vermikompostu než v ostatních použitých substrátech, jako například v kokosové dužině či písku.

Podobné reakce rostlin byly pozorovány u hřebíčku a černého pepře, které byly oseté v poměru 1:1 vermikompostem a půdní směsí (Thankamani et al., 1996). Řízky černého pepře vzrostlé z vermikompostu byly významně vyšší a měly podstatně více listů než ty, co byly pěstovány v komerčních směsích. Stejně tak další parametry jako délka rostlinky, počet větvení, ale i větší kořenový systém byly u hřebíčku vypěstovaného z vermikompostové směsi kvantitativně i kvalitativně vyšší.

Efekty vermikompostu, vytvořeného z prasečí kejdy, na růst a výnosy rajčat byly zkoumány Atiyehem et al. (2000). Vermikompost byl substituován do pěstebního substrátu MM360, v dávkách 0 %, 10 %, 20 % a dalších 10% krocích do 100 %. Klíčení rajčatových semínek výrazně vzrůstalo při nahrazení z 20 %, 30 % a 40 % vermikompostu do MM360. Náhrada z 10 %-50 % vermikompostu do MM360 zvýšila suchou hmotnost rajčatových semínek ve srovnání s růstem v 100% MM360.

Největší obchodovatelné výnosy – 5,1 kg na rostlinu ve smyslu kvality rajčete, byly pozorovány v substituci 1:5 vermikompostu do MM360. Největší hmotnost rajčatových plodů v této směsi byla o 12,4 % větší než plody rajčat, která byla pěstována v 100% MM360. Studií bylo zjištěno, že ve směsích, ve kterých byl vermikompost převažující složkou, došlo ke snížení množství neobchodovatelných rajčatových plodů.

Velmi zajímavým výsledkem výše zmíněných pokusů byla skutečnost, že růst sazenic v 100% vermikompostu proběhl za jednoznačně nejkratší dobu, avšak sazenice měly menší počet listů a vážily méně než ty, co byly pěstované v 100% MM360 směsi. Tuto skutečnost potvrdily již dřívější závěry na základě pokusů Atiyeho et al. (1998), které dokazují, že ne vždy vermikompost dokáže zvýšit růst plodin a následné výnosy na základě větších koncentrací vermikompostu.

3.6 Vliv vermikompostu na půdu, rostliny, plody a výnosy

3.6.1 Obnova půdy pomocí vermikompostu

„Půda je dynamický živý systém, který se tvoří, vyvíjí a udržuje vlivem okolního prostředí“ (Filip, 2012). Použitím vermikompostu navracíme energii zpět do půdy, aby mohla být opětovně využita rostlinami pro jejich růst, a tím byly vytvořeny podmínky pro produkci kyslíku (Filip, 2012).

Dle Edwardse et al. (2010) má použití vermikompostu pozitivní účinky na půdu díky své stabilní organické hmotě, která má schopnost regenerovat narušené půdy obnovením mikrobiální kultury. Filip (2012) dodává, že použití tohoto hnojiva zvyšuje sorpční schopnosti lehčích půd a naopak nakypřuje utužené a těžké půdy. Dále poukazuje na skutečnost, že vermikompost snižuje vodní erozi na svazích, zabraňuje vysychání půd a dlouhodobě rostlinám zabezpečuje dostatek potřebných živin.

Vermikompost také zvyšuje klíčivost osiv, zlepšuje odolnost rostlin vůči plísňovým a houbovým chorobám, stabilizuje hodnotu pH a snižuje kyselost půd (Sinha et al., 2010). Půdy hnojené vermikompostem jsou úrodnější, protože lépe přijímají vodu, lépe zadržují živiny a umožňují vhodnější dávkování průmyslových hnojiv. Sinha et al. (2010) i Filip (2012) zmiňují efekt vermikompostu na zlepšení zpracovatelnosti půdy, díky které dochází k snižování spotřeby energie při jejím samotném obdělávání.

3.6.2 Vermikompost jako půdní doplněk pro zlepšení růstu a výnosu plodin

Jak již bylo výše zmíněno, vermikompost zlepšuje vitalitu a odolnost rostlin vůči mnoha chorobám, např. u vinné révy potlačuje vznik peronospor a u jahod černou hnilobu či plíseň šedou.

Singh et al. (2010) si pro svůj pokus vybral rostlinky jahodníku Chandler, na kterých pozoroval snížení výskytu fyziologických poruch a výskyt plísně šedé na plodech po použití vermikompostových výluhů. Výluhy byly získány z předchozího vermikompostování organických odpadů, kravského hnoje (KH), rostlinného odpadu (RO) a směsi kravského hnoje a rostlinného odpadu (KRO) v poměru 1:2.

Z vypěstovaných sazenic jahodníku vždy náhodně vybral rostliny, na kterých byly pozorovány především tyto atributy: velikost listové plochy (cm²), suchá hmotnost (g),

albinismus, deformace plodů či výskyt plísňových onemocnění nebo bakteriální příznaky Botrytis, dále pak pevnost a barva plodů.

Z analýzy dat vyplývá, že aplikace vermikompostových výluhů výrazně zlepšila růstové parametry, jako jsou velikost listové plochy či suchá hmotnost rostliny. Dále byl pozorován podstatně vyšší výnos ovoce (až o 13,9 %) ve srovnání s kontrolou, nicméně výsledek týkající se hmotnosti plodu byl nevýznamný. Singh et al. (2010) dále uvádí, že aplikací vermikompostových výluhů byl ovlivněn obsah živin v listu i v plodech jahodníku, a to především při hnojení variantou KRO.

Zajímavým zjištěním byl fakt, že mezi jednotlivými výluhy listová aplikace KRO výrazně snížila albinismus u ovoce (o 5,7 %), nicméně účinek proti malformaci a plísni šedé byl na stejné úrovni jako u zbylých výluhů. Listová aplikace výluhů také výrazně ovlivnila počet obchodovatelného ovoce, kdy byl u varianty KRO tržní výnos ovoce o 26,5 % vyšší ve srovnání s kontrolou.

Singhův výzkum také prokázal pozitivní účinky výluhů na pevnost plodů jahodníku, vnější barvu, kyselost či obsah kyseliny askorbové.

Účinky vermikompostu testoval i Atiyeh et al. (2000) na sazenicích rajčat pomocí skleníkového experimentu. Růstové a výnosové parametry byly měřeny 85. a 100. den po přesazení. Přidáním vermikompostu se výrazně zvýšil růst rostliny rajčete, ale neměl žádný významný vliv na počet listů nebo výnosů 85 dní po přesazení.

Výnosy rajčat byly významně vyšší, pokud byl vztah vermikompostu k půdě v poměru 1:1, 1:2 nebo 1:3 100 dní po přesazení. Přídavek zvermikompostovaného ovčího hnoje snížil pH půdy, kyselost a naopak zvýšil množství rozpustných i nerozpustných látek a koncentraci sacharidů v rajčatových plodech. Celkové obsahy dusíku v plodech nebyly ovlivněny přídavkem vermikompostu.

Z uvedených studií tedy vyplývá, že aplikace vermikompostu či vermikompostových výluhů měla v nádobových pokusech velmi pozitivní účinky nejen na půdu, ale i na růst rostlin a jejich výnosy

3.7 Agronomické hodnocení půdy

3.7.1 Makroprvky

Rostlinné živiny jsou chemické látky potřebné pro zajištění veškerých životních pochodů rostlin. Tyto látky můžeme rozdělit na základní prvky (C, H, O), makroprvky (N, P, K, Mg, Ca atd.) a mikroprvky (Fe, Cu, Zn, atd.). Přítomnost všech těchto látek je nutná pro správný vývoj a kvalitu vypěstovaných rostlin. Jejich nedostatek se projevuje poruchami růstu, nižším výnosem dané plodiny, případně může nastat ukončení vegetačního cyklu.

Makroprvky rostliny přijímají především svými kořeny ve formě kationtů (K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} aj.) nebo aniontů (NO_3^- , SO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$ aj.). Dalším způsobem je mechanismus vstupu živin skrz listy a stonky. Avšak mimokořenová výživa nemůže plně nahradit kořenovou výživu, a proto ji je nutné chápat jako speciální opatření – tedy při nedostatku vláhy, při poškození kořenů, jako prevenci před poškozením rostlin apod.

Samotný proces příjmu živin je ovlivňován několika faktory. Jedná se o faktory vnitřní, které jsou ovlivněny samotnou rostlinou, a dále faktory vnější, jako jsou povětrnostní a půdní podmínky (Vaněk et al., 2007).

3.7.1.1 Dusík

Prvotním zdrojem dusíku je atmosféra, ze které se dusík dostává do půdy prostřednictvím jeho fixace mikroorganismy, hnojivy a ve formě spadů (Vaněk et al., 2007). Celkový obsah dusíku v půdě je 0,1–0,2 %. Z tohoto množství je pro rostliny dostupné 1–2 % minerálního dusíku, a to především ve formě NH_4^+ , NO_3^- . O příjmu obou iontů rozhodují především vnější podmínky, ale i sama rostlina. Zbytek, tedy 98–99 %, je ve formě organických sloučenin (Richter, 1996).

Dusík hraje důležitou roli v produktivitě rostlin, jelikož je hlavní složkou aminokyselin, proteinů, nukleových kyselin a chlorofylu.

Poruchy v příjmu dusíku rostlinami se projevují narušením metabolismu, omezením růstu, snížením výnosu a obvykle i zhoršenou kvalitou produkce. Zjevné jsou i změny v zabarvení rostlin jako důsledek omezené tvorby chlorofylu, nebo jeho odbourávání ve starších listech (Vaněk et al., 2007).

3.7.1.2 Fosfor

Obsah fosforu v půdě je nízký, pohybuje se v rozmezí 0,01-0,15 %. Značná část je navíc pevně poutána, tudíž je nepřístupná rostlinám. Fosfor se vyskytuje jak v anorganických formách, tak organických (30–50 % celkového obsahu fosforu v půdě, např. fosfolipidy, nukleové kyseliny atd.) (Vaněk et al., 2007).

Řada organických sloučenin fosforu má významnou biochemickou funkci jako nositelé energie ATP. Fosfor má vliv na vegetativní dozrávání a růst plodů či tvorbu pupenů. Zároveň je důležitý při prvních stádiích růstu. Rostliny přijímají fosfor kořeny formou fosforečnanů (příjem je podmíněn správnou hodnotou pH, provzdušeností atd.).

Poruchy v příjmu fosforu rostlinami se projevují červeným až nafialovělým zbarvením listů a tvoří se zakrnělé květní orgány (Kováčik, 2007)

3.7.1.3 Draslík

Celkový obsah draslíku v půdě se pohybuje v rozmezí 0,5–3 % a vyskytuje se především v anorganických formách, v organických jen zřídka (Vaněk a kol., 2007).

Draslík je důležitým prvkem při fotosyntéze, látkové výměně sacharidů a také při vodním režimu rostlin. Rostliny jej přijímají jako výměnný kationt K^+ .

Do půd se draslík přidává jako součást organického hnojiva nebo jako chemické hnojivo s obsahem draselných solí, a to buď samostatně nebo jako NPK hnojivo.

Při nedostatku draslíku dochází k odumírání tkání a poruchám růstu (nekrózy listů, náchylnost k plísňovým onemocněním). Při nadbytku příjmu K^+ rostliny zpomalují růst a je omezen příjem ostatních prvků, především hořčíku a vápníku (Kalina, 2005).

3.7.1.4 Vápník

Obsah vápníku v půdě se pohybuje mezi 0,1–10 %. Převážná část vápníku v půdě se nachází v těžko rozpustných sloučeninách (uhličitanu, křemičitanu, sírany apod.). Nejčastějšími sloučeninami vápníku jsou vápence a dolomity. Z hlediska výživy rostlin i půdní úrodnosti je významný výměnný vápník. Ten se do půdního roztoku dostává výměnou za jiné kationty, zvětráváním křemičitanů a rozkladem uhličitanů. Rostliny jej přijímají špičkami kořenů ve formě Ca^{2+} .

Nedostatek vápníku se projevuje nepřímo – ovlivněním půdních vlastností. Je-li nižší zastoupení vápníku v sorpčním komplexu, sníží se hodnota pH a poklesne obsah vápníku v půdním roztoku, čímž se všeobecně zhorší podmínky pro růst rostlin. Nedostatek vápníku způsobuje zahnívání kořenů, špatnou tvorbu kořenových vlásků a objevuje se blednutí špiček listů. Přebytek vápníku většině rostlin neškodí. (Vaněk et al., 2007).

3.7.1.5 Hořčík

Obsah hořčíku v půdě se pohybuje od 0,4–0,6 %. Je uložen hlavně v minerálech jako např. magnezit, serpentín, olivín. Můžeme ho také nalézt ve formě solí – uhličitanů, chloridů, síranů a dusičnanů. Hořečnaté soli jsou snadno rozpustné, proto hrozí vyplavení z půdy. Rostlina přijímá hořčík pasivně ve formě Mg^{2+} z půdního roztoku a obecně je méně přijímán než Ca^{2+} nebo K^+ .

Hořčík je součástí chlorofylu, tudíž je při jeho nedostatku omezena asimilace CO_2 , porušena struktura membrán chloroplastů a tím omezena tvorba chlorofylu, což se projevuje zbarvením starších listů (pruhovitost, červené zbarvení), až jejich odumírání. Při nadbytku hořčíku se poškozuje kořenová soustava (Kováčik, 2007).

3.7.2 Makroprvky ve vermikompostu

Vermikompost se skládá převážně z uhlíku, vodíku a kyslíku. Obsahuje živiny, jako jsou NO_3^- , PO_4^{2-} , Ca, K, Mg, S a řadu stopových prvků, které mají srovnatelné účinky na růst rostlin a jejich výnos jako minerální hnojiva aplikovaná do půdy (Theunissen et al., 2010).

V substrátu je velmi důležitý obsah dusíku, který ukazuje na dostatečné zásoby bílkovin. Množství dusíku by se mělo pohybovat v rozmezí 1–4 %. Vyšší obsah dusíku může být pro žížaly nebezpečný z hlediska rozkladu bílkovin v půdě a vzniku látek, které jsou pro žížaly jedovaté. Zajonc (1990) uvádí, že z tohoto důvodu bychom se měli vyhnout použití slepičího hnoje jako substrátu pro výrobu vermikompostu, neboť se vyznačuje vysokou koncentrací dusíku.

Žížaly mají také velký vliv na transformaci dusíku a zvýšení jeho mineralizace tak, aby mohl být zachován ve formě NO_3^- . Obecně lze však říci, že konečný obsah dusíku v kompostu je závislý na počátečním obsahu dusíku v bioodpadu a procesu rozkladu (Garg et al., 2006).

Uhlík slouží jako zdroj organické hmoty a spolu s dusíkem umožňuje syntetizovat proteiny. Stejně tak se podílí se na stavbě buněk a jejich reprodukci.

Bylo zjištěno, že po použití žížal substráty obsahují více fosforu dostupného rostlinám. Zvýšený obsah a lepší dostupnost fosforu jsou přisuzovány přímému působení střevních enzymů žížal a nepřímo stimulaci střevní mikroflóry (Garg et al., 2006, Suthar, 2010).

Hladina fosforu ve vermikompostu obvykle souvisí s množstvím organických forem fosforu obsažených v odpadních materiálech, použitých k procesu vermikompostování. Rychlost mineralizace fosforu je ovlivněna složením materiálu a činností mikroflóry. Fosfor s draslíkem hrají důležitou roli při rozmnožování buněk a při látkové výměně (Plíva a kol., 2006). Obsah fosforu (P_2O_5) by se měl pohybovat v rozmezí 1,4–8 % a obsah draslíku (K_2O) v rozmezí 0,6–2,5 % (Zajonc, 1990).

Dle Lim et al. (2011) se kyseliny produkované mikroorganismy do značné míry podílejí na rozpouštění nerozpustného draslíku. Mikroflóry přítomné ve střevech žížal tak mohou působením enzymů zvýšit obsah draslíku v konečném vermikompostu.

Vermikompost je bohatý především na výměnný draslík, jehož koncentrace v průběhu procesu stoupá. Jeho největší koncentrace se často nachází v podestýlkách, kam je vyplavován (Suthar a Singh, 2008).

Změna obsahu vápníku během vermikompostování není zcela prokázána, a proto je nutné proces dále sledovat. Metabolismus vápníku u žížal je spojován především s trávením a vylučováním enzymů. U některých druhů žížal byla vypořovávána produkce vápníku ze žláz, ale např. u *Eisenia fetida* tyto poznatky nejsou zcela prokázány (Suthar, 2010).

Ani v případě přeměny hořčíku není přímý vliv vermikompostu prokázán. Existuje pouze hypotéza, že houby a hyfy řas, které mají schopnost snadno přilnout na čerstvý vermikompost, přispívají ke zvyšování obsahu hořčíku v hotovém vermikompostu (Suthar, 2010).

4 Metodika

4.1 Popis experimentu

Vermikompost byl aplikován v průběhu tří let před setím kukuřice v polním maloparcelovém pokusu jako další varianta k dlouhodobému pokusu s monokulturou kukuřice. Po sklizni kukuřice byly odebírány vzorky půdy a rostlin. Ty byly následně upraveny a analyzovány. Výsledky byly vyhodnoceny a porovnány s variantami z dlouhodobého pokusu s monokulturou. Polní pokus byl založen 21. 4. 2011 a ukončen 4. 9. 2013.

4.2 Parametry hnojiv

4.2.1 Vermikompost

Použitý vermikompost byl zakoupen od firmy Ekovermes. Jednalo o typ jemný. Před použitím tohoto vermikompostu jako hnojiva bylo provedeno stanovení jeho pH, sušiny, obsahu C a N a poměr těchto prvků. Dále byly stanoveny celkové obsahy P, K, Ca a Mg (v čerstvé hmotě). Výsledky jsou shrnuty v tabulce č. 6.

Tabulka 6: Agrochemické vlastnosti vermikompostu Ekovermes

Hnojivo	pH	Sušina (%)	C (%)	N (%)	C:N	P	K	Ca	Mg
						(%)	(%)	(%)	(%)
VK jemný	5,64	47,3	22,83	2,85	8,00	0,30	0,41	0,85	0,23

4.2.2 DAM

Jako další varianta k tříletému pokusu byla pozorována účinnost hnojiva DAM 390 oproti vermikompostu.

DAM 390 je vodný roztok dusičnanu amonného a močoviny. Obsahuje 42,2 % NH_4NO_3 a 32,7 % $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. DAM 390 se svou účinností vyrovná ostatním dusíkatým hnojivům a často je i předčí, neboť je zde dosaženo rovnoměrnější aplikace. Velkou výhodou

je i možnost kombinace DAM s většinou pesticidů, což představuje pokles aplikačních nákladů a obvykle také snížení dávky pesticidu.

K základnímu hnojení je vhodným hnojivem především k jařinám. Jeho účinnost můžeme zvýšit, jestliže hnojivo brzy po aplikaci zapravíme do půdy vláčením.

S ohledem na možné popálení rostlin není DAM vhodným hnojivem k přihnojování kukuřice na list. Proto je zapotřebí speciálních nástavců na ramena postřikovače, díky kterým se dá značně omezit poškození rostlin kukuřice (Vaněk et al., 2007).

4.3 Parametry zeminy

Půdním druhem z Červeného Újezdu (Praha – západ) je půda jílovitohlinitá, typ luvizem modální. Tyto půdy jsou rozšířeny ve středních výškových polohách, kde půdotvorným substrátem jsou nejčastěji sprašové hlíny, středně těžké glaciální sedimenty a smíšené svahoviny.

Významným půdotvorným procesem je ilimerizace, neboli mechanický posun jílových částic prosakujících vodou z horní části půdy do střední části profilu. Dalším častým jevem, vyskytujícím se na těchto půdách, je proces oglejení, kdy jílem obohacený a zhutnělý horizont je málo propustný pro vodu, která se pak dočasně zadržuje na povrchu. S tímto jevem se setkáváme na periodicky zamokřených půdách (Tomášek, 2007).

Zrnitostně jsou luvizemě středně těžké až těžké půdy. Obsah humusu je střední s méně příznivou kvalitou. Půdní reakce je obvykle kyselá a sorpční vlastnosti jsou také méně příznivé. Agrochemické vlastnosti půdy z Červeného Újezdu jsou popsány v tabulce č. 7.

Vhodnými plodinami jsou především obiloviny, jetel a v nižších polohách i vojtěška a cukrovka (Vopravil et al., 2009).

Tabulka 7: Agrochemické vlastnosti půdy před založením pokusu v roce 2010

Zemina	pH	C _{ox} (%)	N (%)	Výluh Mehlich III (mg/kg)			
				P	K	Ca	Mg
Červený Újezd	6,51	1,07	0,11	186	183	1888	127

4.4 Parametry plodiny

Testovanou plodinou v tomto pokusu byla kukuřice setá (*Zea mays L.*), viz obrázek 3. Kukuřice setá je druh jednoděložné rostliny z čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Jedná se o robustní jednoletou plodinu, dorůstající nejčastěji do výšky 1-3 m (Vaněk et al., 2007).

Kukuřice je náročná na vodu - vytváří mohutný kořenový systém sahající do hloubek od 1-4 m, pokud tomu dovoluje půdní profil. Preferuje hluboké a propustné půdy. Nesnáší naopak půdy obsahující hrubší frakce, suché či zamokřené. Není odolná vůči zasolení. Preferuje půdy neutrální s vyšším obsahem organického materiálu a živin (Doebley et al., 1980).

Kvůli vysoké spotřebě dusíku kukuřicí, by se dávky dusíku v minerálních hnojivech měly podle výnosu a organického hnojení pohybovat mezi 80 až 200 kg N na hektar. V našem pokusu byla použita dávka 120 kg N/ha ve variantě hnojené DAM 390.

Co se týče agrochemického ošetření půdy v našem pokusu před založením kultury kukuřice, byla provedena orba doplněná hnojením. Následovala příprava set'ového lůžka a posléze setí do řádek vzdálených 50-60 cm. Dále bylo provedeno meziřádkové ošetření v průběhu vegetace. Poslední operací byla sklizeň vypěstované kukuřice na siláž.



Obr. 3: Vzrostlé rostliny kukuřice v Červeném Újezdu

Zdroj: fotodokumentace pana Ing. Aleše Hanče

4.5 Použité metody chemických analýz

Metody chemických analýz, použité pro jednotlivá stanovení, byly provedeny v laboratořích fakulty FAPPZ České zemědělské univerzity v Praze.

4.5.1 Stanovení čerstvé hmoty, suché hmoty a sušiny

Veškerý rostlinný materiál byl po sklizni a stanovení výnosu čerstvé hmoty vložen do sušárny, kde se sušil po dobu 14 dnů při teplotě 45°C. Takto usušená rostlinná hmota byla následně opět zvážena a z ní vypočteno % sušiny. Vysušené rostliny byly rozemlety a připraveny k dalším analýzám.

4.5.2 Stanovení pH

Pro stanovení výměnného pH bylo do třepacích baněk naváženo 10 g suchého rozemletého vzorku zeminy, k němuž bylo přidáno 50 ml 0,01 M roztoku CaCl₂. Takto upravený vzorek byl extrahován na mechanické třepačce po dobu 60 minut. Po uplynutí této doby byla suspenze ponechána 60 minut v klidu. Následně byla suspenze promíchána a bylo provedeno měření.

4.5.3 Suchý rozklad rostlinného materiálu

Do kádinek z křemenného skla byl navážen suchý rostlinný materiál o hmotnosti 1,0 g. Tyto reakční nádoby byly přiklopeny hodinovými skličky a posléze umístěny na elektrickou plotnu, kde se po 60 minutách postupně zvyšovala teplota ze 160 °C na 220 °C, 280 °C až na 350 °C. Po 4 hodinách byla z kádinek sejmuta hodinová sklička a kádinky byly vloženy do pece na 14 hodin, kde se opět postupně zvyšovala teplota až na 500 °C. Se zvyšující se teplotou dochází k postupné destrukci organické hmoty.

Po vychladnutí (přibližně po 30 minutách) byly kádinky se vzorky vyjmuty a do každé z nich byl odpipetován 1 ml 1,5% koncentrované kyseliny dusičné (HNO₃), která zde slouží jako pomocné činidlo. Kádinky s činidlem byly přemístěny na elektrickou plotnu o teplotě 130 °C na 45 minut. Kádinky se tentokrát nezakrývaly, aby došlo k odpaření HNO₃. Po odpaření kyseliny byly kádinky opět vloženy na 60 minut do pece o teplotě 500 °C.

Po ochlazení na laboratorní teplotu bylo do každé kádinky odpipetováno přibližně 5 ml 1,5% pomocného činidla.

Poté se kádinky ponořily do ultrazvukové lázně, kde se docílilo kvalitativního uvolnění popele od stěn reakční kádinky. Vzniklé roztoky byly následně přelity do 20ml zkumavek, které byly doplněny kyselinou dusičnou na potřebný objem, překryty parafínovou fólií a poté promíchány. Takto nachystané vzorky výluhu byly připraveny pro stanovení emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (OES – ICP).

4.5.4 Optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (OES – ICP)

Výluhy z výše zmíněných extrakcí rostlinného materiálu byly změřeny atomovým spektrometrem Vista-Pro. Tato metoda slouží ke stanovení obsahu stopových i významných koncentrací jednotlivých prvků v analyzovaném vzorku.

Principem této metody je zahřátí vzorku, který tak přechází z pevného skupenství přes kapalně až do plynného stavu. V důsledku zvyšování teploty se složitější sloučeniny rozpadají na jednodušší a následně se rozpadají na volné atomy. Pomocí postupného zvyšování teploty se atomy ze základního stavu dostávají na vyšší energetické úrovně až po úroveň ionizační. Elektronové neexcitovaných prvků vyzařují energii na charakteristické vlnové délce a vyzařované elektromagnetické záření je následně měřeno optickou emisní spektrofotometrií (OES). Výhodou této metody je možnost stanovení několika prvků současně.

Plazmou je označován ionizovaný plyn, který má dostatečné množství elektricky nabitých částic, přičemž kladně a záporně nabitě částice jsou rovnocenně zastoupeny. Přestože je celá soustava velice vodivá, navenek nevykazuje žádný náboj. Pro přechod plynu na plazmu je nutné dodat energii vyšší, než je ionizační energie přítomných atomů. Indukčně vázaná plazma pak vzniká v proudu plynu za atmosférického tlaku. Nejčastěji používaným plazmovým plynem je lehce ionizovatelný argon (Száková et al., 2005).

4.5.5 Kolorimetrické stanovení organického C podle Simse a Habyho

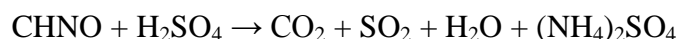
Do 100ml odměrných baněk bylo naváženo po 1,0 g zeminy a následně pomocí překlopné pipety přidáno 10 ml 95% kyseliny sírové (H_2SO_4) a 10 ml 2 M dichromanu draselného ($K_2Cr_2O_7$). Takto připravený vzorek byl pečlivě promísen a ponechán 20 minut stát. Následně byl obsah baňky zředěn destilovanou vodou na celkový objem 90 ml.

Pod proudem tekoucí vody byla baňka ochlazena a opět doplněna destilovanou vodou na konečný objem 100 ml. Poté byla suspenze promíchána a přefiltrována přes filtrační papír. Vzniklý filtrát byl změřen na kolorimetru značky Spekol při vlnové délce 600 nm a z kalibračního grafu byl vypočítán obsah organického C.

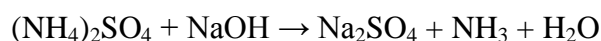
4.5.6 Stanovení celkového N dle Kjeldahla

Stanovení celkového dusíku dle Kjeldahla pomocí systému Kjeltec je univerzální metoda, která se dá aplikovat na jakýkoliv typ vzorků. Vzorky by měly být mechanicky upravené (rozemleté či rozdrcené) a částice by neměly být větší jak 1 mm. Pro homogenní vzorky je doporučena navážka 0,1 – 1,0 g a pro nehomogenní ne více než 1,0 g.

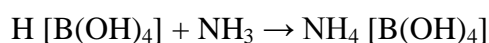
Do skleněných mineralizačních kyvet o objemu 250 ml, které byly umístěny v kovovém panelu, byla navážena sušina kukuřice v rozmezí 0,500 – 0,525 g a jednotlivé záznamy byly zapisovány do programu Vapodest-Manager. Do každé z kyvet byly přidány dvě lžičky katalyzátoru – směs 0,1 g práškového selenu, 100 g síranu draselného (K_2SO_4), 1 g síranu měďnatého ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) a 10 ml 96% kyseliny sírové (H_2SO_4). Následně se suspenze nechala 1,5 hodiny mineralizovat při teplotě 400 °C. Dusík byl ze vzorku převeden na síran amonný dle následující rovnice:



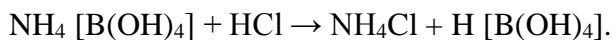
Poté byly vzorky naředěny 50 ml demineralizované vody a postupně vkládány do přístroje, kde následně proběhla destilace a titrace. Procesem destilace se za účasti 30% hydroxidu sodného (NaOH) převedly amonné ionty (NH_4^+) na amoniak (NH_3):



Amoniak (NH_3) byl jímán do předlohy z 1% roztoku kyseliny borité (H_3BO_3), směsného indikátoru bromkresolové zeleně nebo metylčerveně a hydroxidu sodného (NaOH):



Následně byl amoniak titrován roztokem 0,05 M kyseliny chlorovodíkové (HCl) do bodu ekvivalence dle následující rovnice:



Výsledky stanovení celkového obsahu dusíku ve vzorcích byly zjištěny prostřednictvím počítačového systému napojeného na analytický systém Gerhardt.

4.5.7 Stanovení C:N

Poměr C:N jsme stanovili z poměru C_{org} získaného podílem ze spalitelných látek a celkového dusíku ze stanovení dle Kjeldahla.

4.5.8 Stanovení minerálního dusíku

Stanovení minerálního dusíku se provádí pomocí kontinuálního průtokového analyzátoru San plus system od holandské firmy Skalar.

Principem přístroje je kolorimetrické stanovení – změny intenzity zbarvení v závislosti na koncentraci měřené látky. Vzorky přicházející z dávkovače a činidla z lahví, jsou nasávány do chemické jednotky peristaltickou pumpou. Vestavěný vzduchový injektor zajišťuje segmentování proudu vzorku vzduchovými bublinami. Požadovaná činidla se přidávají a míchají se vzorkem ve spirálách v chemické jednotce. Je možné provádět úpravy reakčních směsí díky UV digesci, dialýze a ohřevu. Reakční směsi jsou poté převedeny do vestavěných detekčních hlav (stanovení dusíku) nebo do separátního externího infračerveného detektoru (stanovení uhlíku). Zabarvení je měřeno při vlnové délce 540 nm u nitrátového N, 660 nm u amonného N a 540 nm u celkového N. Výstupní signály z fotometru a IR detektoru jsou převedeny do interface a dále pak do počítače k dalším výpočtům.

Díky kontinuálnímu průtokovému analyzátoru můžeme stanovit celkový dusík N_{tot} , amonný dusík N-NH^{4+} , nitrátový dusík N-NO^{3-} a rozpuštěný organický uhlík DOC.

4.5.9 Výluh kyselinou octovou

Pro účely tohoto experimentu byly určovány přístupné obsahy mikroprvků v půdě i v rostlině (Cd, Cu, Ni a Zn). Suché rozemleté vzorky o hmotnosti 1,0 g ve 100ml polyetylenových lahvičkách byly extrahovány 20 ml 0,11 M roztoku kyseliny octové (CH₃COOH). Takto připravená směs byla přibližně 16 hodin mechanicky protřepávána a posléze 10 minut centrifugována při 4000 otáčkách. Následně byl vzniklý supernatant (přibližně 10 ml) přelit do zkumavek a proměřen optickým emisním spektrometrem

4.5.10 Stanovení obsahu přístupných živin makroprvků dle Mehlicha III

Při této metodě se půda extrahuje kyselým roztokem, který obsahuje fluorid amonný pro zvýšení rozpustnosti různých forem fosforu vázaných na hliník. V roztoku je přítomen i dusičnan amonný, který příznivě ovlivňuje desorpci draslíku, hořčíku a vápníku. Kyselá reakce vyluhovacího roztoku je nastavena kyselinou octovou a kyselinou dusičnou (65%). Přítomnost EDTA zajišťuje dobrou uvolnitelnost nutričně významných mikroelementů. Jedná se o metodu, která umožňuje z jednoho vzorku analyzovat všechny základní prvky.

Extrakční postup:

Do připravených nádob byl připraven roztok obsahující 0,2M CH₃COOH + 0,25M NH₄NO₃ + 0,013 mol.l⁻¹ HNO₃ + 0,015M NH₄F + 0,001M EDTA, poměr vzorku vůči extrakčnímu činidlu je 1:10 (5 g + 50 ml). Takto připravené vzorky byly 10 minut třepány na třepačce, promíchány a následně přefiltrovány přes filtrační papír (Mehlich, 1984).

4.5.11 Atomová absorpční spektrometrie (AAS)

Vzorky a jejich výluhy byly proměřeny na přístroji AA280FS atomovým absorbním spektrofotometrem pro určení obsahu makroprvků. Tato metoda využívá jako analytickou vlastnost sledovaných elementů absorpci záření jejich volnými atomy. Úbytek tzv. primárního záření je mírou koncentrace volných atomů prvku, který záření absorboval. Zdrojem tohoto primárního záření je nízkotlaká, neonem plněná výbojka s dutou katodou, ve které musí být prvek, který stanovujeme. K přeměně prvku na volné atomy dochází pomocí atomizátoru, kdy

se využívá tepelné a chemické energie plamenů. Hlavním požadavkem je získání co nejvyšší koncentrace volných atomů analytu (sledovaného prvku) a dosažení definované závislosti mezi koncentrací analytu ve vzorku a v plynné fázi, ve které probíhá měření (Száková et al., 2005).

4.5.12 Stanovení rozpustných solí v půdě na základě elektrické vodivosti

Měření elektrické vodivosti půdního výluhu je rychlá metoda, kterou je možné využít ke stanovení celkového obsahu rozpustných solí. Vlastní stanovení vychází z Ohmova zákona. Odpor kapalných vodičů je za stejných podmínek (především teploty) stálý. Převrácenou hodnotou elektrického odporu je elektrická vodivost.

Pracovní postup:

Do 100 ml kádinky bylo naváženo 20 g jemnozeme, která byla přelita 50 ml destilované vody. Po zamíchání tyčinkou se suspenze 1 hodinu intenzivně promíchávala a následně byla k měření použita skleněná elektroda konduktometru.

4.6 Statistické metody

Veškerá získaná data byla posléze statisticky analyzována. Ke zjištění, zda se výsledné hodnoty statisticky významně liší, či nikoliv, byla použita jednofaktorová metoda ANOVA na hladině významnosti $p < 0,05$ a Scheffého test (program STATISTICA 2012). Výsledky statistické analýzy jsou uvedeny v příloze této práce.

5 Výsledky

Výsledky této práce jsou rozděleny do tří hlavních částí. První část se týká analýzy půdy, přičemž byly u zeminy z Červeného Újezdu vyhodnoceny výsledky z rozborů pH, celkového obsahu C_{ox} , N_{tot} a přístupné obsahy vybraných prvků.

Ve druhé části jsou popsány výsledky analýz sklizené kukuřice, u které byly hodnoceny celkové výnosy čerstvé a suché hmoty, obsah sušiny a obsahy vybraných prvků.

Ve třetí části jsou graficky porovnány odběry prvků vypěstovanou kukuřicí v jednotlivých letech.

5.1 Výsledky analýz půdy

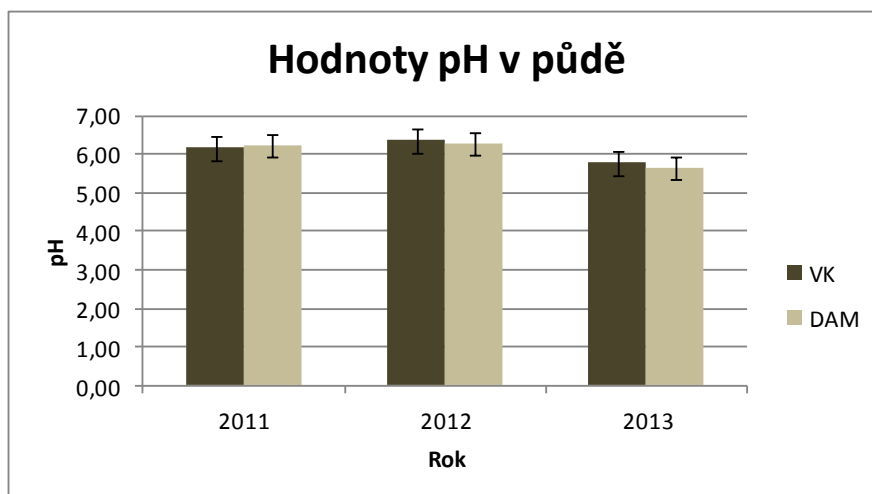
5.1.1 Hodnoty pH

Následující graf č. 1 znázorňuje hodnoty pH v jednotlivých letech pokusu. Původní, nehnojená zemina z Červeného Újezdu (dále ČÚ) dosahovala hodnoty pH 6,51. V následujícím roce 2011 došlo k poklesu pH na hodnotu 6,19 v případě hnojení vermikompostem (dále VK) a v případě hnojení DAM na hodnotu 6,24. V roce 2012 došlo k mírnému zvýšení hodnot u obou typů hnojení, avšak v roce 2013 došlo k opětovnému snížení těchto hodnot, a to v případě VK na pH 5,80. Hnojení vermikompostem i DAMem tedy mírně snížilo pH půdy v Červeném Újezdu. U obou variant hnojení se v jednotlivých letech hodnota pH blížila spíše ke kyselému pH.

Statisticky významný rozdíl je v případě hnojení VK ve všech letech, v případě hnojení DAMem byl významný statistický rozdíl mezi roky 2011 a 2013, a dále mezi roky 2012 a 2013.

V porovnání jednotlivých variant VK:DAM byl významný statistický rozdíl v letech 2012 a 2013.

Graf 1: Hodnoty pH v půdě

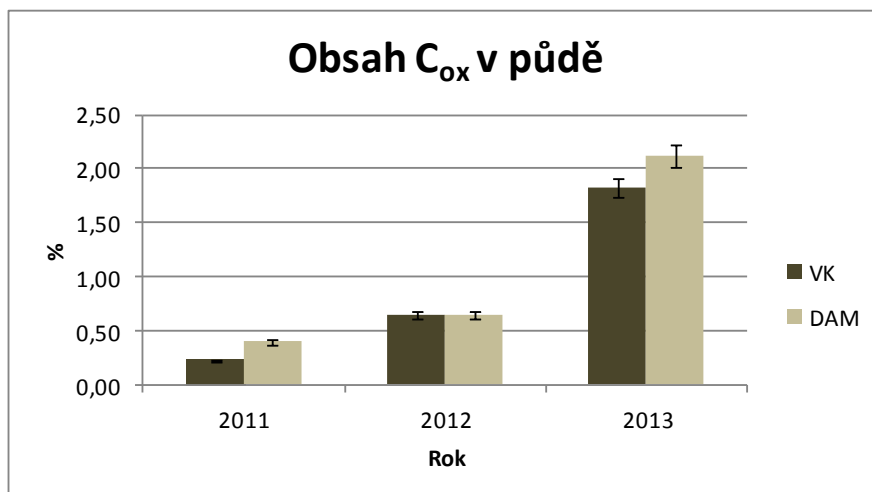


5.1.2 Obsah oxidovatelného uhlíku

Hodnota C_{ox} v nehnojené půdě byla 1,07 %. V roce 2011 se obsah C_{ox} v zemině z Červeného Újezdu snížil na hodnotu 0,22 %. V následujících dvou letech se obsah C_{ox} rovnal hodnotě 1,83 %. V průměru se tedy hodnota C_{ox} pohybovala okolo 1 %. Z grafu č. 2 můžeme vyčíst vyšší hodnoty obsahu C_{ox} v jednotlivých letech u půdy hnojené DAM.

Statisticky se významně liší obě varianty hnojení. Varianta VK vykazuje významné statistické rozdíly mezi roky 2011 a 2012 a také mezi roky 2011 a 2013. Stejně tak tomu je i ve variantě DAM. V porovnání jednotlivých variant VK:DAM nebyl zjištěn významný statistický rozdíl v jednotlivých letech.

Graf 2: Obsah C_{ox} v půdě

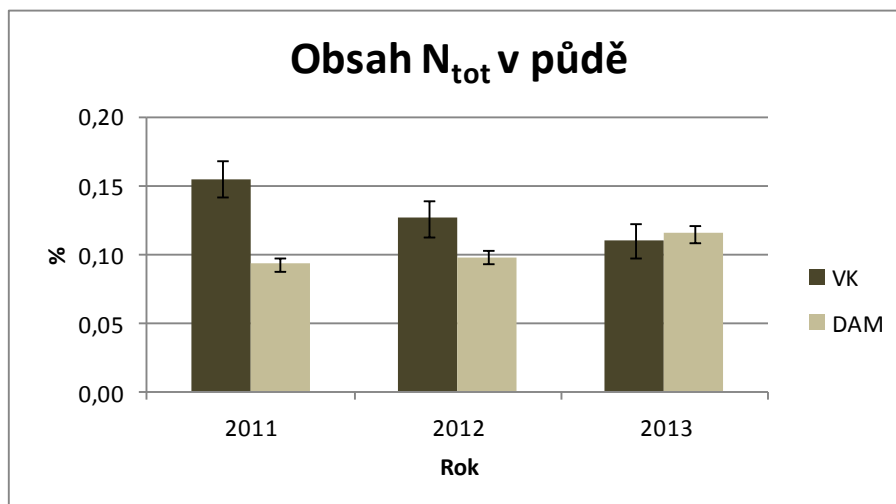


5.1.3 Obsah celkového dusíku v půdě

Celkový obsah dusíku v nehnojené variantě v roce 2010 dosahoval hodnoty 0,11 %. V následujících letech vykazoval celkový obsah dusíku minimální odchylky ve variantě DAM. Ve variantě VK byl obsah dusíku nejvyšší první rok pokusu, kdy jeho hodnota byla 0,16 %, avšak následující roky obsah dusíku klesal a v roce 2013 jeho obsah opět činil 0,11 %. Varianta DAM měla opačný trend, kdy obsahy dusíku v jednotlivých letech rostly (viz graf č. 3).

V jednotlivých letech se obsahy dusíku výrazně lišily u varianty VK. Statisticky významný rozdíl mezi variantami VK:DAM byl zjištěn v roce 2012.

Graf 3: Obsah dusíku v půdě

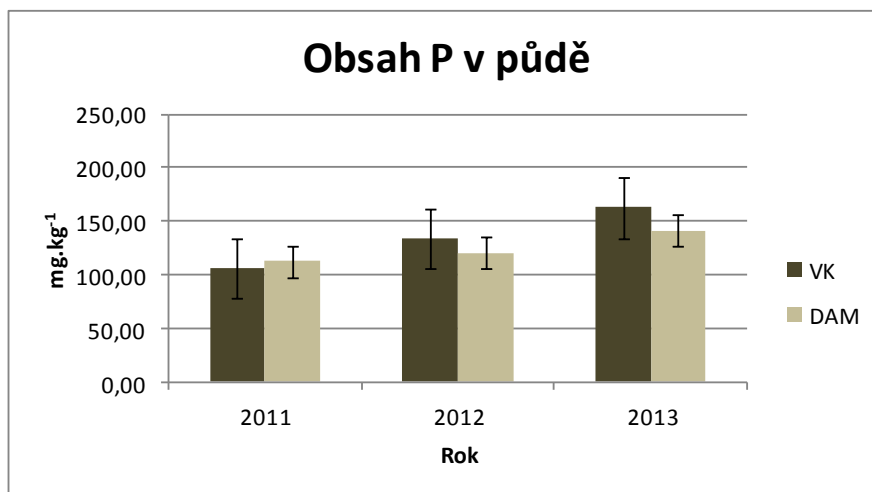


5.1.4 Obsah fosforu v půdě

Z grafu č. 4 můžeme vyčíst, že u obou variant hnojení došlo k nárůstu obsahu fosforu ve všech letech. Přístupný fosfor se u vermikompostem hnojené varianty pohyboval v rozmezí 106,43–163,33 mg.kg⁻¹. Hodnota nehnojené zeminy před založením pokusu v roce 2010 byla 186 mg.kg⁻¹. Ačkoli v průběhu našeho pokusu obsah fosforu stoupal, celkově byl na konci pokusu obsah tohoto prvku nižší než před začátkem pokusu.

V jednotlivých letech se obsahy fosforu výrazně lišily u obou variant. V případě VK byl statisticky významný rozdíl mezi všemi roky, u varianty DAM byl výrazný rozdíl mezi lety 2011 a 2013. Statisticky významný rozdíl mezi variantami VK:DAM byl zjištěn v letech 2012 a 2013.

Graf 4: Obsah fosforu v půdě

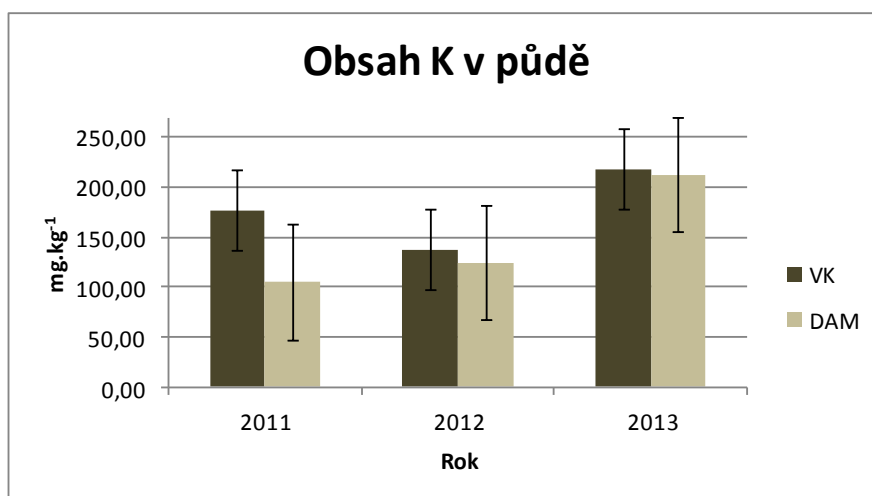


5.1.5 Obsah draslíku v půdě

Přístupný obsah draslíku se v půdě hnojené VK pohyboval okolo 178 mg.kg⁻¹. V případě varianty DAM byla tato průměrná hodnota nižší a to 148 mg.kg⁻¹ (graf č. 5).

V jednotlivých letech pokusu se obsahy draslíku výrazně lišily u obou variant. U varianty VK se významně lišil rok 2012 od roku 2013. Ve variantě DAM byl významný statistický rozdíl mezi všemi roky. V žádném roce nebyl naměřen statisticky významný rozdíl mezi variantami VK:DAM.

Graf 5: Obsah draslíku v půdě

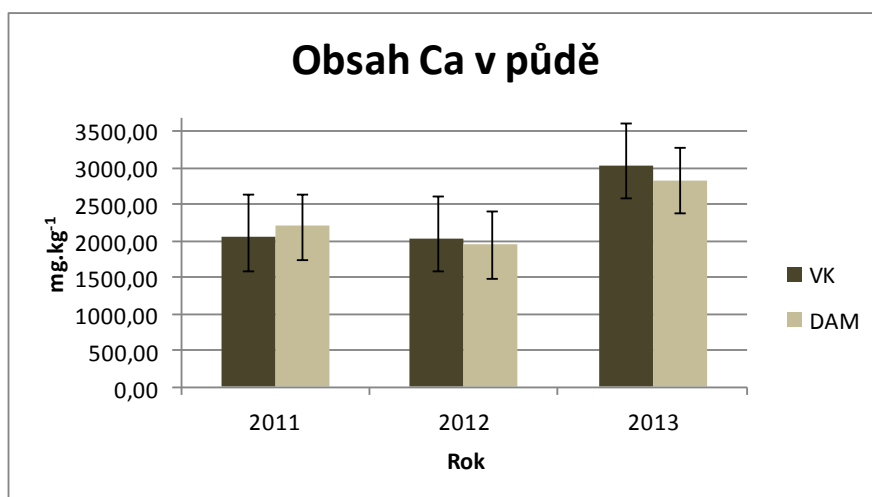


5.1.6 Obsah vápníku v půdě

Přístupný obsah vápníku, v půdě hnojené vermikompostem, se v průměru pohyboval okolo 2387 mg.kg^{-1} , u DAM byl obsah nepatrně nižší, a to 2333 mg.kg^{-1} (viz graf č. 6). Ze zaznamenaných hodnot vyplývá, že v roce 2012 obsah prvku mírně poklesl, ale v roce 2013 již výrazně stoupl, a oproti původní hodnotě vápníku v půdě v roce 2010 (1888 mg.kg^{-1}) se vyšplhal na hodnotu 3045 mg.kg^{-1} (VK varianta).

Statisticky se významně lišily obě varianty v jednotlivých letech. Jak u VK, tak i u DAM varianty byl významný rozdíl mezi roky 2011 a 2013 a také mezi roky 2012 a 2013. Statisticky významný rozdíl byl mezi variantami VK:DAM v roce 2013.

Graf 6: Obsah vápníku v půdě

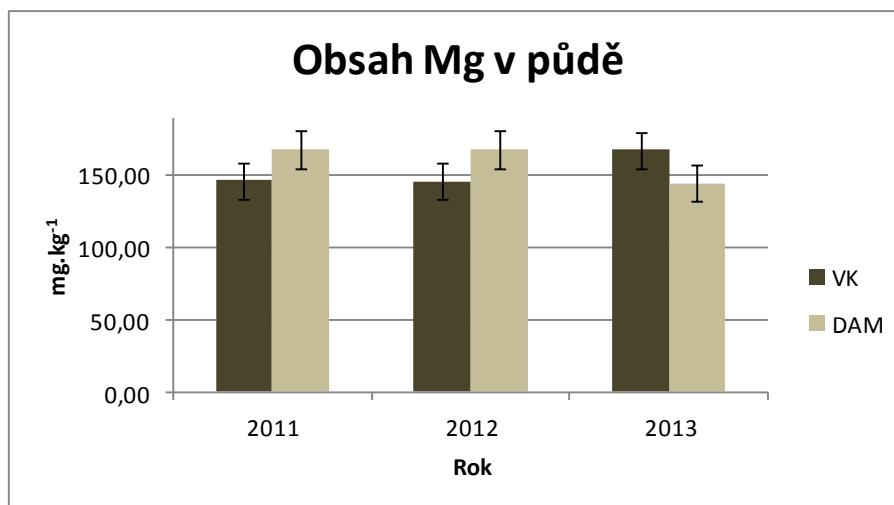


5.1.7 Obsah hořčíku v půdě

Dle grafu č. 7 je patrný nárůst obsahů přístupného hořčíku v půdě u varianty VK. U varianty DAM došlo v posledním roce k poklesu. V průměru se obsah dostupného hořčíku pohyboval na 156 mg.kg^{-1} a lze konstatovat, že obsah Mg v půdě v jednotlivých letech rostl, jelikož jeho obsah v roce 2010 byl 127 mg.kg^{-1} .

V jednotlivých letech se obsah hořčíku významně lišil u varianty VK, kde se lišily roky 2011 a 2013 a také 2012 a 2013. Statisticky významný rozdíl v porovnání VK:DAM byl zjištěn v roce 2013.

Graf 7: Obsah hořčíku v půdě

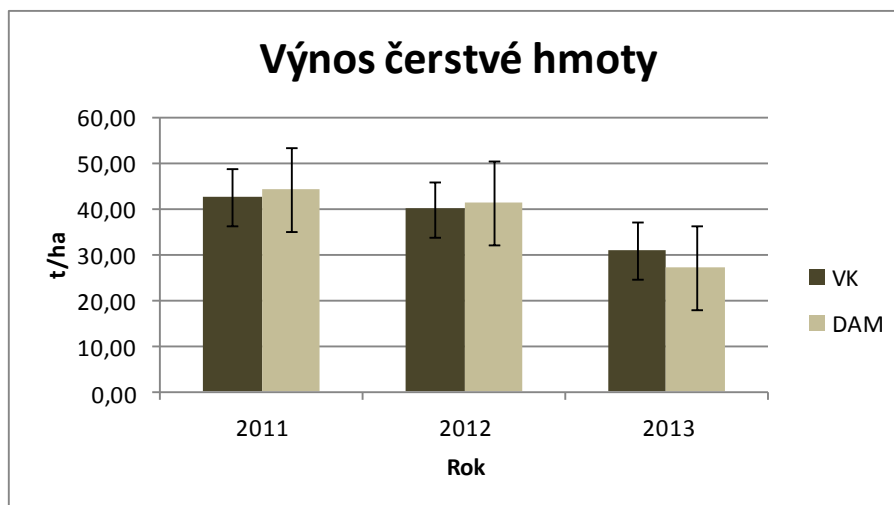


5.2 Výsledky analýz rostlin

5.2.1 Výnosy čerstvé a suché hmoty, obsahy sušiny

Výnos čerstvé hmoty byl v průměru všech tří let u obou variant 38 t/ha (viz graf č. 8). V průběhu pokusu došlo každoročně ke snížení výnosu čerstvé hmoty, tudíž je pokles patrný i na výnosu suché hmoty (graf č. 9) a obsahu sušiny (graf č. 10).

Graf 8: Výnos čerstvé hmoty

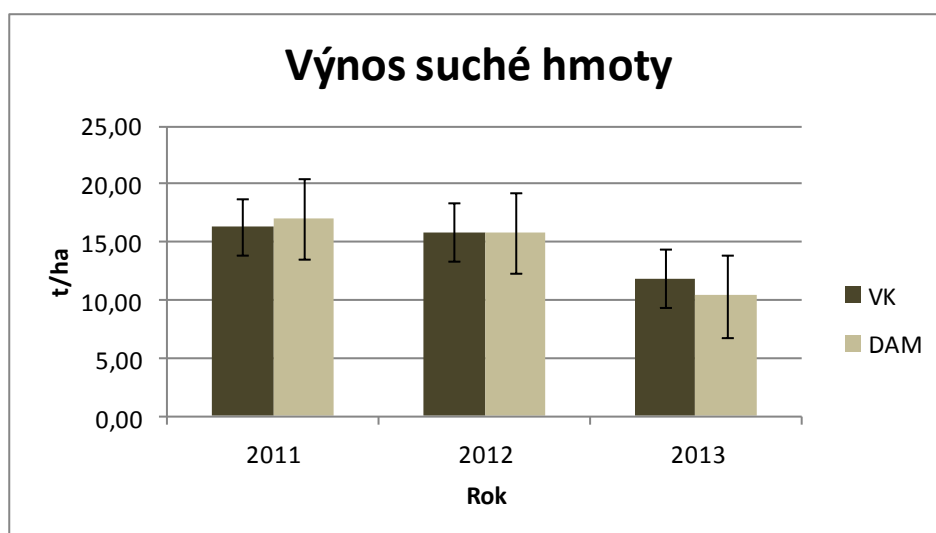


V jednotlivých letech se výnosy čerstvé hmoty výrazně lišily u varianty DAM, kde se významně lišil rok 2011 od roku 2013 a rok 2012 a 2013.

Statisticky významný rozdíl v porovnání VK:DAM nebyl zjištěn v žádném roce.

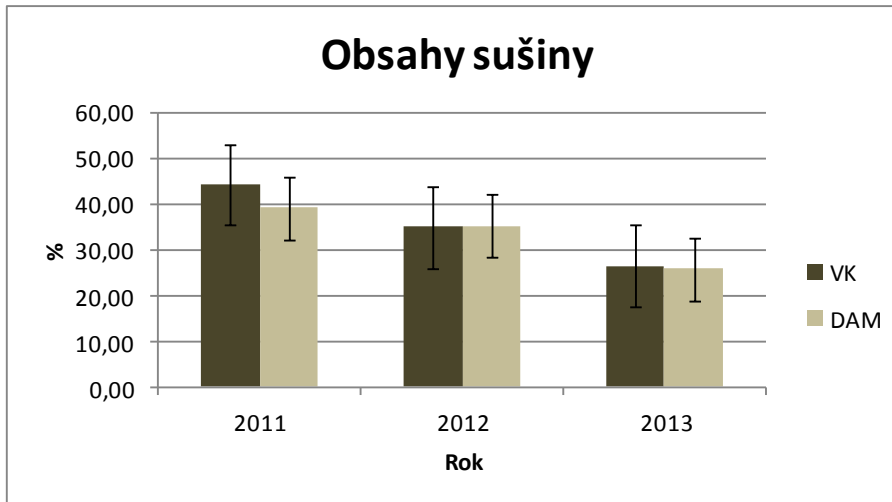
Po vysušení čerstvé rostlinné hmoty došlo k poklesu celkového výnosu kukuřice zhruba o 50 %. Statisticky se významně lišila půda hnojená DAMem, kde se významně lišil rok 2011 od roku 2013 a rok 2012 a 2013. Statisticky významný rozdíl mezi variantami VK a DAM nebyl zjištěn v žádném roce pozorování.

Graf 9: Výnos suché hmoty



Celkový obsah sušiny byl v průměru o 2 % vyšší u varianty VK než u DAM varianty (33 %). V jednotlivých letech se obsahy sušiny výrazně lišily u obou variant. Statisticky významný rozdíl mezi variantami VK a DAM nebyl zjištěn v žádném roce pozorování.

Graf 10: Obsahy sušiny

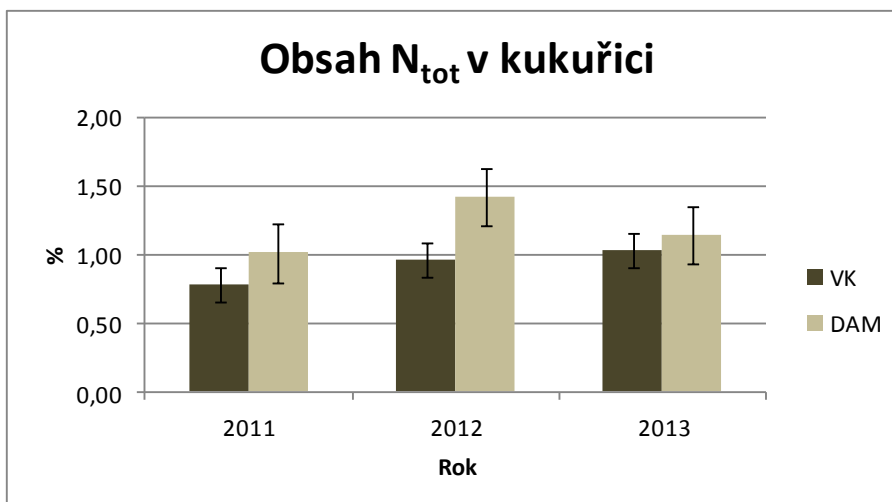


5.2.2 Obsah celkového dusíku v kukuřici

U zeminy hnojené vermikompostem docházelo k postupnému nárůstu obsahu dusíku, kdežto u půdy hnojené DAMem došlo ve třetím roce pokusu k poklesu jeho obsahu (graf č. 11). V průměru je obsah dusíku v kukuřici nepatrně vyšší u rostlin pěstovaných v DAM variantě (1,19 %) oproti variantě VK (0,92 %).

V jednotlivých letech pokusu se obsahy celkového dusíku výrazně lišily u varianty DAM. Lišily se roky 2011 a 2012 a také roky 2012 a 2013. Statisticky významný rozdíl mezi variantami VK a DAM byl zjištěn v letech 2011 a 2012.

Graf 11: Obsah celkového dusíku v kukuřici

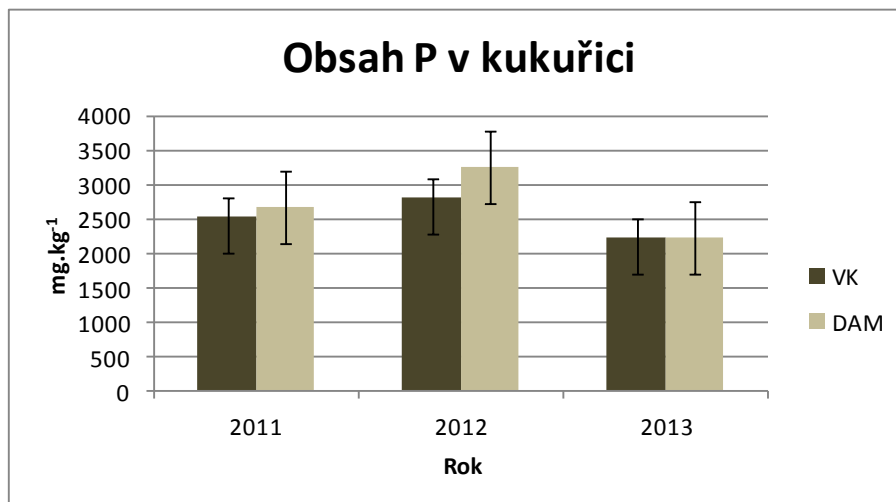


5.2.3 Obsah fosforu v kukuřici

Obsah fosforu v kukuřici se na zemině hnojené vermikompostem pohyboval v rozmezí 2229 – 2808 mg.kg⁻¹. U půdy hnojené DAMem se tyto hodnoty pohybovaly v rozmezí 2226 – 3255 mg.kg⁻¹. Z grafu č. 12 je patrné, že nejvyšší hodnoty byly zaznamenány u obou variant v roce 2012, ovšem následující rok hodnoty výrazně klesly.

V jednotlivých letech pokusu se obsah fosforu výrazně nelišil u žádné z variant. Také statisticky významný rozdíl mezi variantami VK a DAM nebyl zjištěn v žádném roce pozorování.

Graf 12: Obsah fosforu v kukuřici

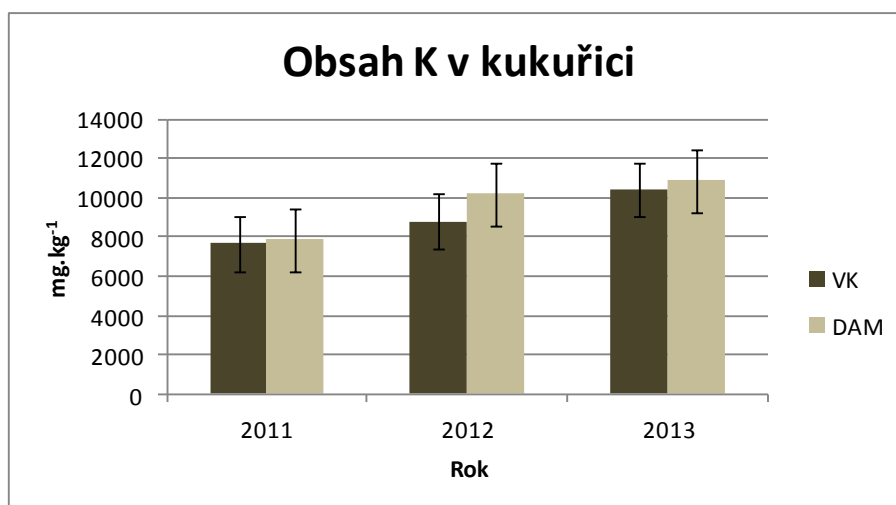


5.2.4 Obsah draslíku v kukuřici

Obsah draslíku v kukuřici se v jednotlivých letech zvyšoval jak u varianty VK, tak i u varianty DAM. U varianty VK v roce 2011 začínal obsah draslíku v kukuřici na hodnotě 7670 mg.kg⁻¹ a v roce 2013 byl draslík již na hodnotě 10429 mg.kg⁻¹. Co se týká varianty DAM, byly tyto hodnoty v každém roce nepatrně vyšší (graf č. 13).

V jednotlivých letech pokusu se obsah draslíku výrazně nelišil u žádné z variant. Také v případě statisticky významného rozdílu mezi variantami VK a DAM nebyl zjištěn rozdíl v žádném roce pozorování.

Graf 13: Obsah draslíku v kukuřici

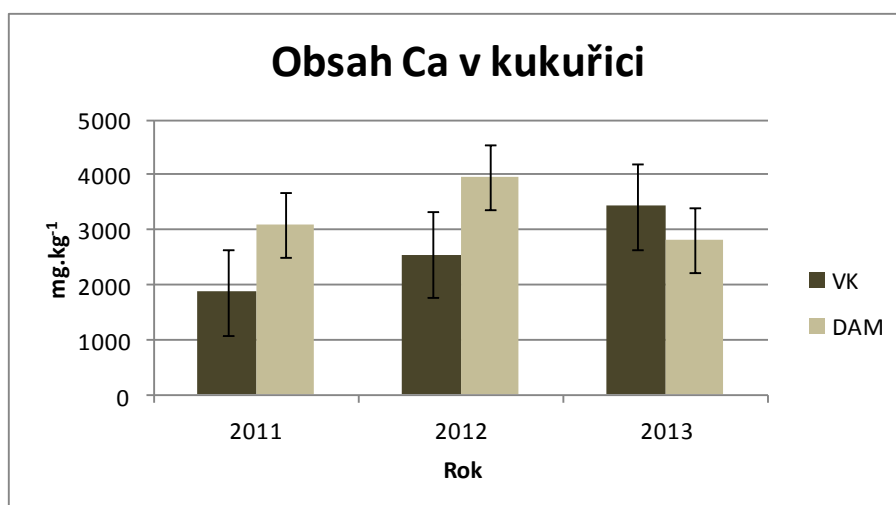


5.2.5 Obsah vápníku v kukuřici

Dle grafu č. 14 vykazuje varianta VK postupný nárůst obsahu vápníku v jednotlivých letech pokusu. Oproti tomu varianta DAM vykazovala nárůst pouze v prvních dvou letech a ve třetím roce došlo k výraznému poklesu. V průměru tří let měla varianta VK nižší obsah vápníku (2625 mg.kg^{-1}) než varianta DAM (3286 mg.kg^{-1}).

V jednotlivých letech pokusu se obsah vápníku výrazně nelišil u žádné z variant. Také v případě statisticky významného rozdílu mezi variantami VK a DAM nebyl zjištěn rozdíl v žádném roce pozorování.

Graf 14: Obsah vápníku v kukuřici

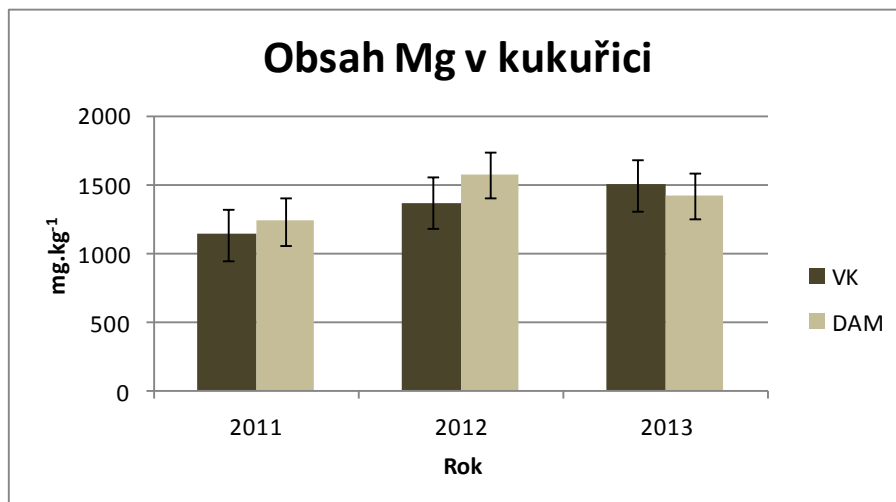


5.2.6 Obsah hořčíku v kukuřici

V následujícím grafu č. 15 můžeme vidět postupný nárůst obsahu hořčíku v případě hnojení VK a mírný pokles v posledním roce pokusu u varianty DAM. Obsah hořčíku ve VK variantách se pohyboval v rozmezí od 1136 mg.kg⁻¹ do 1499 mg.kg⁻¹ a v případě použití hnojiva DAM byl v rozmezí od 1233 mg.kg⁻¹ do 1419 mg.kg⁻¹.

V jednotlivých letech pokusu se obsahy hořčíku výrazně nelišily u žádné z variant. Také v případě statisticky významného rozdílu mezi variantami VK a DAM nebyl zjištěn rozdíl v žádném roce pozorování.

Graf 15: Obsah hořčíku v kukuřici



5.3 Odběry živin kukuřicí

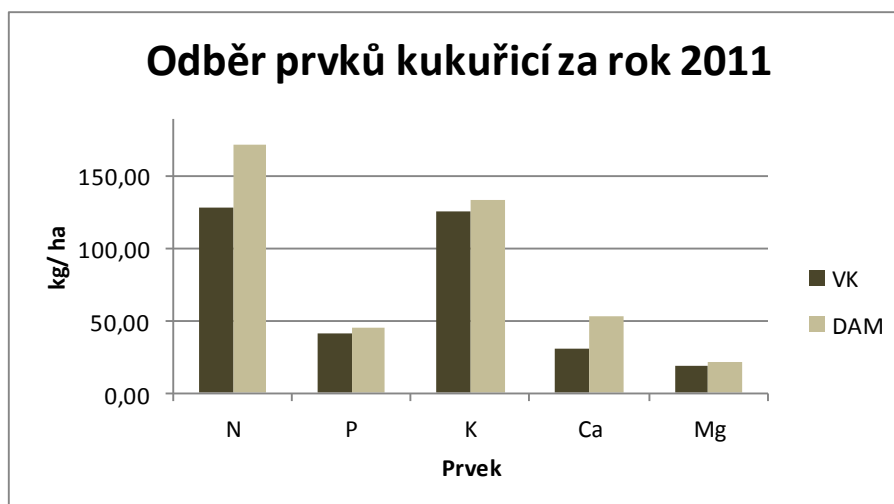
Kukuřice vytváří mohutný kořenový systém a vzhledem k delšímu období příjmu živin využívá dobře živiny půdy. Náleží mezi rostliny typu C-4, a proto využívá velmi dobře sluneční energii. S tím je spojeno i efektivní využití přijatých živin na tvorbu výnosu.

Obsah živin v rostlinách je ovlivněn především půdně-klimatickými podmínkami, úrovní hnojení a pěstovaným hybridem, a proto se i odběr živin může významně lišit (Vaněk et al., 2007).

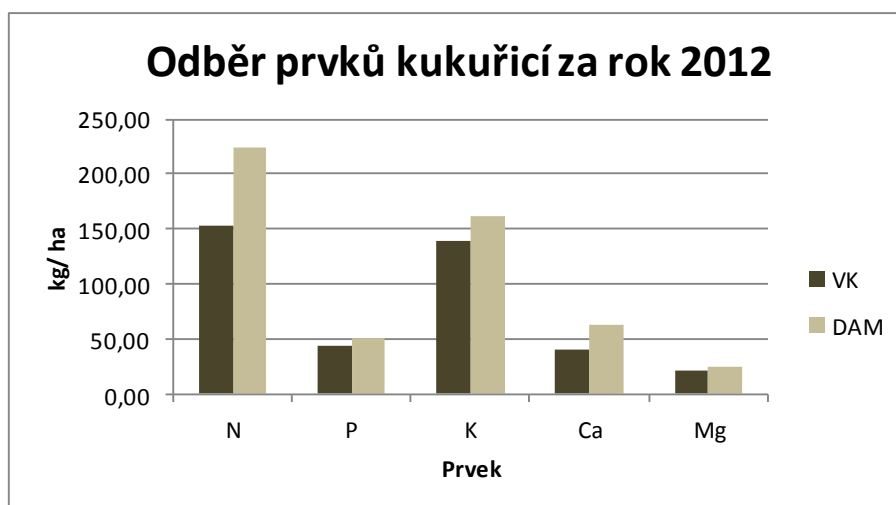
Dle Vaňka et al. (2007) můžeme v počátečních fázích růstu počítat (při výšce porostu 40–50 cm) s odběrem asi 35 kg N, 4 kg P, 40 kg K a 3 kg Mg na ha. Hlavní odběr živin nastává nejčastěji od počátku června do konce července, kdy kukuřice přijme 70-75 % všech živin. Nejvyšší odběry v tomto období jsou typické zvláště pro draslík a dusík, příjem fosforu a hořčíku je rovnoměrný během celé vegetace.

V následujících grafech č. 16–18 jsou znázorněny odběry dusíku, fosforu, draslíku, vápníku a hořčíku v jednotlivých letech pokusu. Nejvyšší odběry kukuřicí byly stanoveny ve všech třech letech u dusíku a draslíku, a to jak u VK varianty, tak i DAM varianty. Nejméně kukuřice odebírala hořčík.

Graf 16: Odběr prvků kukuřicí za rok 2011

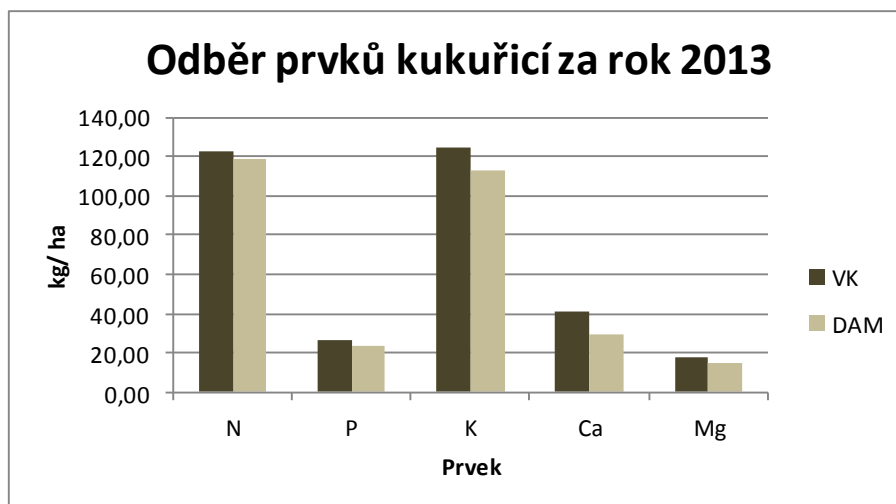


Graf 17: Odběr prvků kukuřicí za rok 2012



V roce 2012 byl odběr prvků vyšší v porovnání s rokem 2011. Jednalo se především o odběr dusíku, draslíku a vápníku (varianta VK i DAM).

Graf 18: Odběr prvků kukuřicí za rok 2013



V roce 2013 došlo k výraznějšímu snížení odběrů prvků, které byly vyjma odběru vápníku nižší než v roce 2012 i v roce 2011 (varianta VK). Zároveň ale došlo ke snížení rozdílu v odběru dusíku mezi variantami.

6 Diskuze

Půda je obecně považována za úrodnou, jestliže obsahuje dostatek živin a biotické činnosti. Absence nebo nerovnováha některého z těchto faktorů má přímý vliv na růst a vývoj rostlin. Dle Theunissen et al. (2010) by se půda měla skládat z 50-70 % minerálních částic, 30–50 % pórů a z 5–15 % organické hmoty. Z půdy pak rostliny získávají živiny z různých zdrojů např. z rostlinných zbytků, z půdních rezerv, či z anorganických a organických hnojiv a to včetně vermikompostu aj.

Mnoha pokusy bylo potvrzeno, že vermikompost má schopnost pozvolna dodávat makro i mikronutrienty do půdy pro optimální růst rostlin. Na následujících stránkách bych chtěla porovnat výsledky této práce s výsledky jiných pokusů prováděných po celém světě.

6.1 Hodnoty pH

Edwards a Bohlen (1996) uvádějí, že pH v rozmezí hodnot 6-7 v půdě po hnojení vermikomposty je optimální pro zdroj rostlinných živin a biologickou stabilizaci materiálu.

Před založením pokusu v roce 2010 byla hodnota pH půdy z Červeného Újezdu 6,5. V následujících třech letech pH oscilovalo okolo hodnoty 6,1. V tomto pokusu tedy hnojení vermikompostem mírně snížilo pH půdy, oproti očekávání, že vermikompost pH půdy zvýší.

Ke stejnému zjištění došel i Gajalakshimi et al. (2002), který také zaznamenal pokles pH půd do kyselějších hodnot při pokusu hnojení vermikomposty z kuchyňského odpadu v porovnání s nehnojenou půdou. Jako důvod uvádí vyšší mineralizaci dusíku a fosforu na dusičnany, dusitany a fosforečnany.

Azarmi et al. (2008) ve své studii sledoval účinky vermikompostu na vlastnosti půdy a došel ke zjištění, že zvýšení množství vermikompostu v půdě mělo za následek snížení pH půdy. Po aplikaci vermikompostu do půdy došlo ke zvýšení obsahu přístupného fosforu, který mohl pravděpodobně také přispět ke snížení pH. Tuto skutečnost potvrzuje i Atiyeh et al. (2001), který uvádí, že aplikace vermikompostu ve větším množství snížilo pH půdy. Také Manyuchi et al. (2013) testovala účinky VK na hodnotu pH jílovito-hlinité půdy po dobu 40 dnů a zjistila, že zvyšování dávky vermikompostu (z 500 g na 750 g a následně na 1000 g/ 4 kg půdy) vedlo ke snížení pH půdy z neutrálních hodnot na hodnotu 5,2. Dále bylo zjištěno, že zvýšení doby aplikace vermikompostu vedlo ke zvýšení pH na hodnotu 5,5.

Ve většině z dostupných pokusů se po přidání vermikompostu pH (ať již nepatrně) zvýšilo. Ndegwa a Thompson (2001) uvádějí, že pokud je původní hodnota pH půdy nižší než pH přidaného vermikompostu, celkově se pH půdy zvyšuje. Dochází totiž k posunu hodnot z původních kyselých podmínek substrátu směrem k neutrálním (7,47). Tyto posuny přímo souvisejí s redukcí těkavých látek a s růstem žízáli biomasy v půdě.

Ačkoli se většině vědeckých publikací můžeme setkat s tvrzením, že vermikompost téměř zaručeně hodnoty pH zvýší, a to i z velmi kyselých hodnot do neutrálních, na základě mnou zjištěných výsledků toto tvrzení potvrdit nemohu. Snížení hodnot pH přisuzuji zvýšení obsahu přístupného fosforu a vyšší mineralizaci dusíku. Resp. snížení hodnoty pH může být také z důvodu biokonverze organického materiálu do jiných meziproduktů organických kyselin (Ndegwa et al., 2000).

6.2 Obsah oxidovatelného uhlíku

Obsah organického uhlíku (C_{ox}) v půdě závisí nejen na samotných vlastnostech půdy, ale především na množství a kvalitě dodávaných organických látek z hnojiva do půdy.

Žížaly mění stav substrátu tím, že podporují ztrátu uhlíku prostřednictvím mikrobiální respirace ve formě CO_2 . Dle Suthara (2009) ztráty mohou činit 20-43 % z celkového organického uhlíku. Dalším jevem, který může mít vliv na snížení C_{ox} , je mineralizace organické hmoty.

Parthasarathi et al. (2008) založil dvouletý polní pokus na jílovitě půdě. Hodnotil účinnost vermikompostu na obsah organického uhlíku v půdách ve srovnání s minerálními hnojivy (NPK). Bylo zjištěno, že vermikompost zvýšil obsah C_{ox} ve variantě 100 % vermikompostu i ve variantě 50 % vermikompostu ku 50 % NPK. Naopak ve vzorcích, kde byla použita pouze NPK, došlo ke snížení obsahu organického uhlíku v důsledku snížení mikrobiální populace.

Ve svých pokusech Gondek a Filipek-Mazur (2005) sledovali účinky organických (chlévký hnůj), organo-minerálních (Damishum – kapalné vícesložkové hnojivo) a minerálních hnojiv na zastoupení živin v půdě a na výnos kukuřice. Výsledky ukázaly lepší působení organického hnojiva na zvýšení C_{ox} oproti Damishumu i minerálním hnojivům.

U půdy z Červeného Újezdu byl zaznamenán výrazný nárůst obsahu C_{ox} . Z původní hodnoty 0,22 % došlo k zvýšení až na hodnotu 1,83 %. V případě hnojení DAMem byl nárůst ještě vyšší. V našem pokusu tedy došlo k opačnému jevu než u výše zmíněného experimentu,

tedy že plochy hnojené minerálním hnojivem měly vyšší obsah C_{ox} oproti plochám hnojeným vermikompostem. Tento jev byl pravděpodobně způsoben vyšším množstvím posklizňových zbytků kukuřice.

6.3 Celkový obsah dusíku v půdě

V půdě je jen malá část dusíku přirozeně dostupná přímo rostlinám ve formách NO_3^- a NH_4^+ (Mengel et al., 2001). Mnohé studie ukázaly, že žížaly zvýšily obsah dusíku ve zvermikompostovaném substrátu díky vylučování výměšků, slizu a enzymů (Suthar, 2009).

Celkový obsah dusíku se v půdě z Červeného Újezdu pohyboval v rozmezí 0,12-0,22 %. Obsah dusíku se oproti očekávání výrazně snížil především v roce 2012, kdy klesl téměř o polovinu oproti roku 2011. Následující rok již ke snížení obsahu dusíku nedošlo.

Pokles obsahu celkového dusíku může být způsoben množstvím a dobou aplikace vermikompostu. Tuto skutečnost potvrzuje i Manyuchi et al. (2013), který zjistil, že zvýšení množství vermikompostu vedlo k mírnému poklesu celkového obsahu dusíku v půdě.

Podle Nair et al. (2006) může pokles hodnoty pH způsobit zadržení dusíku v substrátu. Toto tvrzení by odpovídalo výsledkům z našeho pokusu, kdy hodnoty pH i N_{tot} klesaly.

V našem pokusu z Červeného Újezdu nebyly zaznamenány výraznější změny v obsahu celkového dusíku mezi kontrolní variantou hnojenou DAMem a variantou s vermikompostem. Tuto skutečnost potvrzuje ve svém pokusu i Arancon et al. (2006), který hodnotil účinky vermikompostu na chemické a biologické vlastnosti půdy u polních pozemků osázených jahodami (*Fragaria ananasa*). Celkový obsah dusíku se v půdách hnojených vermikompostem významně nelišil od půd kontrolních, hnojených anorganickým hnojivem.

Angelova et al. (2013) také zkoumala vliv vermikompostu na celkový obsah dusíku v půdě. Půdy použité v tomto experimentu byly mírně kyselé s hodnotou pH 6,5. Ačkoli půdním druhem byla jílovitá zemina a výchozí hodnota pH byla stejná jako v našem pokusu v Červeném Újezdu, došlo v jejím experimentu ke zvýšení obsahu N_{tot} z původní hodnoty $0,24 \text{ g.kg}^{-1}$ na hodnotu $0,68 \text{ g.kg}^{-1}$.

6.4 Obsah fosforu v půdě

Půda z Červeného Újezdu vykazovala postupný nárůst přístupného obsahu fosforu v jednotlivých letech. Dostupný fosfor se u půdy hnojené vermikompostem zvýšil z hodnoty 106,43 mg. kg na hodnotu 163,33 mg.kg⁻¹. U kontrolní varianty hnojené DAMem došlo také k nárůstu obsahu fosforu, avšak navýšení nebylo tolik markantní. Průměrný obsah přístupného fosforu v půdě hnojené VK činil 134,56 mg.kg⁻¹. Dle tabulky kritérií hodnocení obsahu přístupných živin (viz přílohy této práce) je obsah fosforu vysoký.

Tuto skutečnost potvrzuje i Arancon et al. (2006). Uvádí, že půdy s přidáním vermikompostu obsahovaly více fosforu ve srovnání s kontrolními variantami, které obsahovaly minerální hnojiva. To by znamenalo, že množství uvolněného fosforu do půdy bylo pravděpodobně pomalu uvolňováno z vermikompostu díky aktivitě mikroorganismů. Atiyeh et al. (2000) uvádí, že vyšší obsah fosforu v půdě je způsobený zvýšenou enzymatickou aktivitou fosfatázy, která zvyšuje obsah fosforu.

6.5 Obsah draslíku v půdě

Obsah draslíku v půdě z Červeného Újezdu v jednotlivých letech značně kolísal. V roce 2011 odpovídal obsah draslíku hodnotě 177,10 mg.kg⁻¹, v roce 2012 obsah klesl na 137,80 mg.kg⁻¹. V posledním roce experimentu se obsah draslíku opět zvýšil až na hodnotu 218,09 mg.kg⁻¹. Lze tedy říci, že hnojení vermikompostem mělo výrazný vliv na půdu až ve třetím roce experimentu.

Oproti tomu Azarmi et al. (2008), Suthar (2009), Walker et Bernal (2008) aj. uvádějí postupný nárůst obsahu draslíku v půdě. V našem pokusu docházelo k postupnému navyšování obsahu draslíku v jednotlivých letech pouze u kontrolní varianty.

V několika studiích je zmíněno, že množství K velmi kolísá v závislosti na druhu a mineralogickém složení půdy, stupni zvětrání, hnojení, druhu a koncentraci ostatních iontů, reakci půdy a vodním režimu. Tím, že v průběhu let našeho pokusu hodnota pH poklesla a vodní režim byl ovlivňován obdobím sucha (především v letních měsících), lze usuzovat, že výkyvy obsahu K jsou způsobeny právě těmito faktory.

U našeho pokusu v ČÚ byl průměrný obsah přístupného draslíku v půdě hnojené VK 177,66 mg.kg⁻¹, jedná se o vyhovující obsah.

6.6 Obsah vápníku v půdě

Dostupnost vápníku v půdě lze přisuzovat půdním vlastnostem zeminy. V půdě z Červeného Újezdu byly naměřeny poměrně vysoké hodnoty vápníku již před založením pokusu – 1888 mg.kg^{-1} . Tyto vysoké hodnoty mohou být způsobené půdním druhem, půdním typem a danou lokalitou experimentu. Vzhledem k tomu, že půda z Červeného Újezdu spadá do kategorie těžkých půd, a jeho průměrná hodnota za tři roky experimentu činila $2386,90 \text{ mg.kg}^{-1}$, můžeme říci, že obsah vápníku je vyhovující.

Celkově lze říci, že hnojení vermikompostem mělo vliv na obohacení půdy vápníkem, neboť v posledním roce měření obsahovala půda $3045,43 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Yagi et al. (2003) provedli studii, která sledovala účinky vermikompostu v souvislosti s vápněním na obsah vápníku v půdě. Z výsledků bylo zjištěno, že vermikompost navýšil obsah vápníku v půdě (bez ohledu na vápnění), a také byl účinnější než statková hnojiva.

6.7 Obsah hořčíku v půdě

V Červeném Újezdu mělo hnojení vermikompostem vliv na obsah hořčíku v půdě. S přidáním hnojiva došlo každoročně ke zvýšení přístupného obsahu hořčíku. Z původního obsahu 127 mg.kg^{-1} došlo během pokusu k navýšení tohoto obsahu na $167,35 \text{ mg.kg}^{-1}$. Lze tedy říci, že hnojení vermikompostem mělo i během následujících let stále vliv na obsah přístupného hořčíku v půdě. Obsah přístupného hořčíku v půdě hnojené VK je vyhovující (průměrný obsah činí $153,07 \text{ mg.kg}^{-1}$).

Mamta et al. (2012) ve svém polním pokusu hodnotil účinnost vermikompostu ve srovnání s anorganickými hnojivy NPK na obsah hořčíku v půdě. Účinnost hodnotil na různých druzích půd, přičemž jedním z druhů byla také jílovitá půda. Výsledky ukázaly, že varianty 100 % vermikompostu a vermikompostu doplněného NPK v poměru 1:1, zvýšily obsah hořčíku v jílovité půdě.

6.8 Výnos čerstvé a suché hmoty, výnos sušiny

Jedním z hlavních fyziologických procesů rostlin, který ovlivňuje výnos a kvalitu rostlin, je fotosyntéza. Řada polních i skleníkových pokusů ukázala, že organické hnojení vermikompostem zvýšilo proces fotosyntézy (Liu et al., 2003).

Paczka a Kostecka (2013) studovali vliv vermikompostu na růst cukrového hrášku (*Pisum sativum* var. *Macrocarpon*) v otevřené vegetační hale. Ukázalo se, že vermikompost měl pozitivní vliv na celkový výnos hrášku. Rostliny byly o 12 % vyšší, průměrná hmotnost se zvýšila o 39 % a délka stonků se prodloužila o 12 %.

Také Castro et al. (2012) potvrzuje zvýšení čerstvé a suché hmotnosti u rostlinek rýže (*Oryza sativa*) a zvýšení čerstvé hmotnosti kořene.

Singh et al. (2010) zjistili, že aplikace vermikompostových výluhů na rostliny jahodníku výrazně zvýšila suchý výnos a celkový výnos ovoce, a to až o 13 % ve srovnání s kontrolou. Zaller (2007) potvrzuje, že hnojení vermikompostem významně ovlivnilo nárůst biomasy u sazenic rajčat

Pozitivní vliv na výnos a kvalitu rostlin kukuřice po přidání vermikompostu bohužel nepotvrzují výsledky našeho pokusu z Červeného Újezdu. Výnos čerstvé hmoty byl v roce 2011 na hodnotě 42,63 t/ha, v následujícím roce poklesl a v roce 2013 tvořil výnos čerstvé hmoty 30,97 t/ha.

Tuto skutečnost mohlo způsobit několik faktorů, např. malé množství použitého vermikompostu v orniční vrstvě (20 t/ha) a jeho mělké zapravení do půdy (cca v hloubce 5-10 cm) či klimatické výkyvy, především období sucha v letních měsících posledních let. Dále také předpokládám, že na výnos čerstvé a suché hmoty má vliv druh půdy, do které je vermikompost aplikován, a kvalita organických zbytků, ze kterých je vermikompost složen.

Po vysušení čerstvé rostlinné hmoty byl celkový výnos kukuřice o 40 % nižší (viz graf č. 9).

Výnosy čerstvé a suché hmoty kukuřice hnojené vermikompostem nebyly prokazatelně vyšší v jednotlivých letech experimentu než u rostlin hnojených DAMem, ale v průměru vyšších hodnot dosáhly. Gondek a Filipek-Mazur (2005) ve svém nádobovém tříletém pokusu pozorovali největší výnos suché hmoty kukuřice u varianty hnojené minerálním hnojivem. Výnos byl 157 g na 5 kg nádobu, u rostlin pěstovaných ve zvermikompostovaném hospodářském hnoji byl výnos suché hmoty 110 g/ 5 kg nádobu.

Ani celkové výsledky analýz výnosů čerstvé a suché hmoty sklizené kukuřice neprokázaly, že díky vermikompostu byly do půdy zapraveny živiny, které byly patrné i v následujících letech. Nemohu tedy potvrdit zřejmé pozitivní účinky vermikompostu na celkové výnosy kukuřice, které deklarují mnohé studie vermikompostu.

Celková sušina sklizené kukuřice také postupně klesala a v průměru byla stanovena na hodnotu 35 %. V kontrolní variantě byl obsah sušiny 33 %. Vermikompost tedy neměl prokazatelně větší vliv na výnos sušiny oproti variantě DAM (graf č. 10).

6.9 Obsah celkového dusíku v kukuřici

Lazcano et al. (2011) ve svém pokusu zkoumal účinky vermikompostu na obsah celkového dusíku v kukuřici seté (*Zea mays*). Rostliny pěstované v zemině s přidavkem vermikompostu (75 % anorganického a 25 % organického NPK) měly vyšší obsah celkového dusíku ve srovnání s kontrolou (100 % anorganické NPK), avšak rozdíly nebyly markantní. Studie zároveň poukázala na variabilitu účinnosti VK v závislosti na genotypu rostliny.

Díky vermikompostu se dusík pozvolna uvolňuje ve formě dusičnanů a je snadno přístupný pro rostliny. Theunissen et al. (2010) uvádí, že díky přidavku vermikompostu a z něj postupným uvolňováním dusíku do půdy, došlo k navýšení koncentrace karotenu v ovoci i v zelenině.

Podle očekávání byl ve všech letech experimentu naměřen vyšší obsah dusíku v kukuřici u varianty DAM, což bylo způsobeno snadnějším využitím této živiny. Pozitivním zjištěním ovšem byl fakt, že obsah dusíku v rostlinách hnojených vermikompostem byl každoročně vyšší. Lze tedy tvrdit, že hnojení vermikompostem mělo vliv na celkový obsah dusíku i v druhém a třetím roce experimentu.

6.10 Obsah fosforu v kukuřici

Hernández et al. (2010) uvádí, že z celkového obsahu fosforu v kompostu je pro rostliny dostupných pouze 20-40 %. Proto záleží již na počátečním složení kompostu či vermikompostu a na obsahu živin. Pokud hnojivo i substrát obsahují nízkou koncentraci fosforu, pak představují méně významný zdroj tohoto prvku pro rostliny.

Obsah fosforu v kukuřici z ČÚ se v průměru pohyboval okolo 2523 mg. kg⁻¹. V druhém roce našeho pokusu se obsah fosforu navýšil, ovšem v roce 2013 klesl, a to i pod hodnotu naměřenou v prvním roce experimentu. Důvodem by mohly být změny pH, kdy vysoký obsah soli Na⁺ a Cl⁻ v půdě může vyvolat změny v chemickém složení půdního roztoku a tím narušit příjem P rostlinami.

Obsah fosforu závisí na druhu rostlin a způsobu hnojení. Gondek a Filípek-Mazur (2005) uvedli, že kukuřice pěstovaná v prvním roce jejich pokusu (hnojena zvermikompostovaným hnojem) vykazovala větší obsah fosforu (2,18 g/kg), než kukuřice hnojená minerálními hnojivy a Damishunem (1,45 g/kg), a obsahovala také větší obsah fosforu než další pěstovaná plodina – slunečnice. Ve třetím roce tohoto experimentu se však obsahy fosforu u jednotlivých variant i plodin téměř vyrovnaly.

6.11 Obsah draslíku v kukuřici

Bahrampour a Ziveh (2013) ve svém pokusu sledovali vliv vermikompostu na obsah draslíku v rostlinách rajčete (*Lycopersicum esculentum*). Výsledky ukázaly, že rajčata pěstovaná v půdě s vermikompostem měla obsah draslíku 3,3 % a rajčata pěstovaná v kontrolní variantě pouze 1,9 % draslíku. Jejich studie tedy dokazuje zvýšení obsahu draslíku v rostlinách rajčete po aplikaci vermikompostu do půdy. Dále bylo poukázáno na skutečnost, že obsah draslíku v rostlinách se zvyšuje v závislosti se zvyšujícím se množstvím aplikovaného vermikompostu.

Obsah draslíku v kukuřici z ČÚ v jednotlivých letech stoupal jak ve variantě s vermikompostem, tak i v kontrolní variantě. V prvním roce našeho experimentu byl naměřen obsah draslíku 767 mg. kg⁻¹ a v posledním roce 10429 mg. kg⁻¹. Rostliny pěstované v kontrolní variantě dosahovaly vyšších hodnot.

Ze získaných hodnot vyplývá, že hnojení vermikompostem nemělo výrazný vliv na obsah draslíku v kukuřici, jelikož varianta DAM vykazovala větší obsah K v jednotlivých letech (graf č. 13).

6.12 Obsah vápníku v kukuřici

Premuzic et al. (1998) i Atiyeh et al. (2009) zkoumali účinky vermikompostu na rostliny rajčete (*Lycopersicum esculentum*) z hlediska obsahu vápníku v rostlinách. Výsledkem obou studií bylo zjištění, že rajčata sklizená na organickém substrátu (100% vermikompost nebo vermikompost a půda v poměru 1:1) obsahovala podstatně více vápníku, než rajčata pěstovaná v hydroponickém médiu, či v klasickém substrátu.

Obsah vápníku v kukuřici z ČÚ v jednotlivých letech stoupal při hnojení vermikompostem. V prvním roce experimentu byl obsah vápníku v kukuřici 1879 mg.kg^{-1} a v posledním roce 3439 mg.kg^{-1} . Vermikompost měl pozitivní vliv na pěstovanou kukuřici, jelikož živiny zapravené do půdy byly patrné i každý následující rok.

6.13 Obsah hořčíku v kukuřici

Alburquerque et al. (2007) při svém pokusu zjistil, že po aplikaci kompostu i vermikompostu na jílovitohlinitou půdu došlo ke snížení obsahu hořčíku a také vápníku ve sklizeném jílku (*Lolium*).

U kukuřice vypěstované v Červeném Újezdu byl zjevný nárůst obsahu hořčíku v jednotlivých letech. Pouze v případě varianty DAM došlo v posledním roce k mírnému snížení obsahu Mg. Ze zjištěných hodnot lze usoudit, že vermikompost měl vliv na obsah hořčíku ve sklizené kukuřici.

V několika studiích, týkajících se vlivu vermikompostu na obsah hořčíku v plodině, bylo potvrzeno, že použití vermikompostu má významný vliv na obsah hořčíku, ale další studie toto tvrzení nepotvrdily. Lze tedy usuzovat, že značný vliv na obsah Mg ve sklizených plodinách má typ půdy, do které je vermikompost aplikován.

V závěru této kapitoly bych ještě ráda zmínila jednu studii velmi podobnou našemu pokusu. Doan et al. (2015) testoval vliv vermikompostu a biouhlu na půdní úrodnost, výnos kukuřice a erozi půdy v tříletém polním pokusu. Půdním typem byla Akrisol s nízkým obsahem C (0,31 %) a N (0,16 %); P (0,38 mg.100 g⁻¹), K (7,68 mg.100 g⁻¹). Hodnota pH půdy byla 5,3. Co se týká aplikace vermikompostu, bylo každoročně použito 20 kg /ha.

Vermikompost byl smíchán s půdou ve vrchních 10 cm. Výsledkem pokusu byl fakt, že aplikace biouhlu v kombinaci s vermikompostem neměla výrazný efekt na obsah C či obsah přístupného K, ale výrazně zlepšila obsah celkového N (0,35 %) i přístupného P (22,07 mg.100 g⁻¹) a zvýšila hodnotu pH (6,5). V případě hnojení samotným vermikompostem byla hodnota pH stejná a obsahy prvků nepatrně nižší. Co se týká výnosu kukuřice a jejího růstu, hodnoty vykazovaly vysokou meziroční variabilitu (7,2 t/ha, 4,7 t/ha a 6,5 t/ha). Ta byla způsobena v závislosti na změně obsahu organické hmoty a také na změně podmínek okolí. Efekt VK byl významný především v druhém roce pokusu, kdy byly rostliny v situaci environmentálního stresu.

Toto zjištění naznačuje, že by VK mohl být slibným substrátem pro zlepšení odolnosti agroekosystémů na vodní stres. V případě použití směsi VK a biouhlu bylo zlepšení pozorováno pouze v některých případech. Pokud byl biouhel aplikován samostatně, měl pozitivní účinky na růst i výnos kukuřice, což potvrzuje jeho vliv na zlepšení dlouhodobé úrodnosti půdy. Dle Doan et al. (2015) kombinace těchto dvou technologií nabízí jedinečnou příležitost, jak zlepšit produktivitu výroby, ale také snížit negativní vliv zemědělství na životní prostředí.

7 Závěr

Z předchozího textu je patrné, že použití vermikompostu má pozitivní vliv na zlepšení kvality půdy, na pěstované plodiny a jejich výnosy, avšak pouze v případě nádobových a skleníkových pokusů. V polních pokusech prozatím takových pozitivních výsledků dosaženo nebylo.

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnotit vliv vermikompostu, jakožto hnojiva, na kvalitu půdy a následně na pěstované rostliny kukuřice. Uvedenou studií nebylo prokázáno, že použití vermikompostu výrazně obnovuje a zlepšuje přirozenou úrodnost půdy a výrazně stimuluje produkci rostlin. Celkově se sice obsah jednotlivých prvků zvyšoval jak v půdě, tak i v rostlinách kukuřice, ale zároveň tomu tak bylo i ve variantě DAM, kde byl předpokládán nárůst pouze celkového dusíku N_{tot} . Z tohoto důvodu zamítám stanovenou hypotézu, že aplikace vermikompostu průkazně zlepšuje parametry půdy a pěstované kukuřice.

Možnou příčinou těchto výsledků je pravděpodobně skutečnost, že půda v Červeném Újezdu je půdou těžkou, ve které se živiny z vermikompostu neuvolňují (tak, jako je tomu u lehčích písčitých půd), jelikož se prvky vážou na jílu a vytvářejí tak sorpční komplex. Kvůli nedostatku kyslíku v půdě nedochází k mineralizaci.

Další příčinou by mohlo být nízké zapravení vermikompostu do ornice a jeho původní zanedbatelné množství v orniční vrstvě (0,66 % VK tvořilo ornici).

Přesto je použití vermikompostu ke hnojení velmi perspektivní alternativou k průmyslovým hnojivům, jelikož využívání vermitechologie má v moderním zemědělství potenciál zabránit devastujícím účinkům anorganických hnojiv na životní prostředí.

Prozatím nejefektivnějším řešením bylo použití kombinace vermikompostu s průmyslovými hnojivy. Díky použití této směsi organického a anorganického hnojiva není tolik zatěžováno životní prostředí. Proto průmyslová hnojiva mohou být aplikována v mnohem menších dávkách a půda si tak na nich nevytváří silnou závislost a je schopna samostatné obnovy.

8 Seznam použité literatury

Albanell, E., Plaixats, J., Cabreo, T. 1988. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biology and Fertility of Soils*. 6. 266-269.

Albuquerque, J. A.; González, J.; García, D.; Cegarra, J. 2007. Effects of a compost made from the solid by-product (“alperujo”) of the two-phase centrifugation system for olive oil extraction and cotton gin waste on growth and nutrient content of ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Bioresource Technology*. 98 (4) 940 – 945.

Ali, M., Griffiths A. J., Williams K. P., Jones D. L. 2007. Evaluating the growth characteristics of lettuce in vermicompost and green waste compost. *European Journal of Soil Biology*. 43 (1). 316-S319.

Angelova, V. R., Akova, V. I., Artinova, N. S., Ivanov, K. I. 2013. The Effect of Organic Amendments on Soil Chemical Characteristics. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 19 (5). 958 – 971.

Arancon, N. Q.; Edwards, C. A.; Bierman, P. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: Part 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology*. 97 (6) 831 – 840.

Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A. 1998. Growth of tomato plants in vermicomposted hog manure. In *Proceedings of the 6th International Symposium on Earthworm Ecology*. *Pedobiologia*. 43. 724-728.

Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., Shuster, W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*. 44. 579-590.

Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A., Metzger, J. D. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: Effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology*. 78 (1). 11-20.

- Azarmi, R., Giglou, M. T., Taleshmikail, R. D. 2008. Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. *African Journal of Biotechnology*. 7 (14). 2397 – 2401.
- Bahrapour, T., Ziveh, P. S. 2013. Effect of Vermicompost on Tomato (*Lycopersicum esculentum*) Fruits. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4 (11). 2965 – 2971.
- Buckerfield, J. C., Flavel, T., Lee, K. E., Webster, K. A. 1999. Vermicomposts in solid and liquid form as plant-growth promoter. *Pedobiologia*. 43. 753-759.
- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Okorokova, A. L., Facanha, R. A. 2002. Humic acids isolated from eartworm compost enhance root elongation, lateral root emergence and plasma membrane H⁺ - ATPase activity in maize rous. *Journal of Plant Physiology*. 130. 1951-1957.
- Castro, R. N., Garcia, A. C., Santos, L. A., Guridi, F., Sperandi, M. V. L., Berbara, R. L. L. 2012. Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. *African Journal of Biotechnology*. 11 (13). 3125 – 3134.
- Doan, T. T., Henry-des-Tureaux, T., Rumpel, C., Janeau, J., Jouquet, P. 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm. *Science of The Total Environment*. 514. 147-154.
- Doebley, J. F., Iltis, H. H. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). I. A subgeneric classification with a key to taxa. *Amer. J. Bot.* 67:982-993. Dostupné z <<http://www.herbarium.usu.edu/treatment/Zea.htm/>>.
- Domínguez, J., Briones, M. J. I., Mato, S. 1997. Effect of diet on growth and reproduction of *Eisenia andrei* (Oligochaeta, Lumbricidae). *Pedobiologia*. 41. 566-576.
- Edwards, C. A. 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms: In *Earthworms in Waste and Environmental Management*, ed. C. A. Edwards and E. F. Neuhauser. SPB Academic Publishing, the Hague, the Netherlands. 21-31.

Edwards, C. A., Burrows, L. 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media.: In *Earthworms in Environmental and Waste Management*, ed. C. A. Edwards and E. F. Neuhauser. SPB Academic Publishing, the Hague, the Netherlands. 211-220.

Edwards, C. A., Bohlen, P. J. 1996. *Biology and ecology of earthworm*. Chapman and Hall. London. p. 426.

Edwards, C. A., Arancon N. Q., Sherman R. 2010. *Vermiculture technology: Earthworms, organic wastes and environmental management*. CRC Press. USA. p. 623. ISBN: 978-1-4398-0987-7.

Elvira, C., Goicoechea, M., Samperdo, L., Mato, S., Nogales, R. 1996. Bioconversion of solid paper-pulp mill sludge earthworms. *Bioresource Technology*. 57. 173-177.

Fernández-Gómez, M. J., Nogales R., Insam H., Romero E., Goberna M. 2011. Role of vermicompost chemical composition, microbial functional diversity, and fungal community structure in their microbial respiratory response to three pesticides. *Bioresource Technology*. 102 (20). 9638-9645.

Filip, J., *Obnova půdy pomocí vermikompostu* [online]. *Vermikompostování*. 26. února 2012 [cit. 2013-04-06]. Dostupné z <<http://www.vermikompostovani.cz/obnova-pudy-pomoci-vermikompostu/>>.

Gajalakshmi, S., Ramasamy, E. V., Abbasi S. A. 2002. High-rate composting–vermicomposting of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*, Mart. Solms). *Bioresource Technology* 83 (2002). p. 235–239.

Garg, P.; Gupta, A.; Satya, S. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*. 97 (3) 391- 395.

Garg, V. K., Renuka, G. 2009. Vermicomposting of Agro-Industrial Processing Waste. *Biotechnology for Agro-Industrial Residues Utilisation*. 431-456.

- Gondek, K., Filipek-Mazur, B. 2005. The effects of mineral treatment and the amendments by organic and organomineral fertilisers on the crop yield, plant nutrient status and soil properties. *Plant Soil Environment* 51. p. 34–45.
- Hernández, A., Castillo, H., Ojeda, D., Arras, A., López, J., Sánchez, E. 2010. Effect of vermicompost and compost on lettuce production. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 70 (4). 583 – 589.
- Chan, P. L. S., Griffiths D. A. 1988. The vermicomposting of pre-treated pig manure. *Biological Wastes*. 24. 57-69.
- Chaoui, H. I., Zibilske, L. M., Ohno, T. 2003. Effects of earthworms casts and compost on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 35. 295-302.
- Jeyabal, A., Kuppaswamy G. 2001. Recycling of organic wastes for the production of vermicompost and its response in rice – legume cropping system and soil fertility. *European Journal of Agronomy*. 15 (3). 153-170.
- Jouquet, P., Plumere T., Thu T. D., Rumpel C., Duc T. T., Orange D. 2010. The rehabilitation of tropical soils using compost and vermicompost is affected by the presence of endogeic earthworms. *Applied Soil Ecology*. 46 (1). 125-133.
- Kalina, M. 2005. *Hnojení v zahradě*. 2. vydání. Grada Publishing. Praha. 114 s. ISBN: 802471275X.
- Klír, J., Kunzová, E., Čermák, P. 2007. *Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení*. VÚRV, p. 32, 33. ISBN: 978-80-87011-14-0.
- Kováčik, P. 2007. *Výživa a úroveň hnojenia rastlín*. Ústav vedecko-technických informácií pre podohospodárstvo. Nitra. 96 s. ISBN: 9788089088591.

- Lazcano, C., Domínguez, J. 2011. The Use of Vermicompost in Sustainable Agriculture: Impact on Plant Growth and Soil Fertility. Nova Science Publishers. p. 23. ISBN: 9781613247853.
- Lim, P. N., Wu, T. Y., Sim, E. Y. S., Lim, S. L. 2011. The Potential Reuse of Soybean Husk as Feedstock of *Eudrilus Eugeniae* in Vermicomposting. *Journal of Science Food Agriculture*. 91. 2637 – 2642.
- Liu, L. H., Ludewig, U., Gassert, B., Frommer, W. B., Wirén, N. V. 2003. Urea transport by nitrogen-regulated tonoplast intrinsic proteins in *Arabidopsis*. *Plant Physiol*. 133. 1220 – 1228.
- Mamta, Wani, K. A., Rao, R. J. 2012. Effect of vermicompost on growth of brinjal plant (*Solanum melongena*) under field conditions. *Journal on New Biological Reports*. 1 (1). 25 - 28.
- Manyuchi, M. M., Chitambwe, T., Phiri, A., Muredzi, P., Kunhukamwe, Q. 2013. Effect of Vermicompost, Vermiwash and Application Time on Soil Physicochemical Properties. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*. 4 (4). 216 – 220.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 Soil Test Extractant: A modification of Mehlich 2 Extractant, *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 15. 1409-1416.
- Mengel, K.; Kirkby, E. A.; Kosegarten, H.; Appel, T. 2001. *Principles of Plant Nutrition*. Springer Netherlands. Dordrecht. 849 p., ISBN 978-0-7923-7150-2.
- Nair, J., Sekiozoic, V., Anda, M. 2006. Effect of pre-composting on vermicomposting of kitchen waste. *Bioresource Technology*. 97. 2091 – 2095.
- Ndegwa, P. M., Thompson, S. A. 2000. Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. *Bioresource technology*. 75. 7 – 12.

- Ndgewa, P. M., Thompson, S. A. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology*. 76. 107 – 112.
- Neuhauser, E. F., Loehr, R. C., Malecki, M. R. 1988. The potential of earthworms for managing sewage sludge: In *Earthworms in Waste and Environmental Management*, ed. C. A. Edwards and E. F. Neuhauser. SPB Academic Publishing, the Hague, the Netherlands. 9-20 .
- Oliver, G. S. 1937. Our friend the earthworms. Gardener's book club. California, 8.
- Pączka, G., Kostecka, J. 2013. The influence of vermicompost from Kochem waste on the yield – enhancing characteristics of peas *Pisium sativum* L. Var. *Saccharatum* Ser. Bajka variety. *Journal of Ecological Engineering*. 14 (2). 49 – 53.
- Parthasarathi, K., Balamurugan, M., Ranganathan, L. S. 2008. Influence of vermicompost on the physico-chemical and biological properties in different types of soil along with yield and quality of the pulse crop-blackgram. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.* 5 (1). 51 – 58.
- Plíva, P., Banout, J., Habart, J., Jelínek, A., Kollárová, M., Roy, A., Tomanová, D. 2006. *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha. 65 s. ISBN: 8086884112.*
- Pramanik, P., Ghosh G. K., Ghosal P. K., Banik P. 2007. Changes in organic – C, N, P, K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. *Bioresource Technology*. 98 (13). 2485-2494.
- Premuzic, Z., Bargiela, M., Garcia, A., Rendina, A., Iorio, A. 1998. Calcium, Iron, Potassium, Phosphorus, and Vitamin C Content of Organic and Hydroponic Tomatoes. *Hort Sciences*. 33 (2). 255 – 257.
- Richter, R. 1996. *Půdní úrodnost. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství. Praha. 34 s. ISBN: 8071051101.*

Romero, E., Fernández-Bayo J., Castillo Díaz J. M., Nogales G. 2010. Enzyme activities and diuron persistence in soil amended with vermicompost derived from spent grape marc and treated with urea. *Applied Soil Ecology*. 44 (3). 198-204.

Shi-Wei, Z., Fu-Zhen, H. 1991. The nitrogen uptake efficiency from ¹⁵N labeled chemical fertilizer in the presence of earthworm manure (cast). In *Advances in Management and Conservation of Soil Fauna*, ed. G. K. Veeresh, D. Rajagopal, and C. A. Viraktamath, Oxford and IBH, New Delhi. 539-542 .

Siddagangaiah, B. A., Vadiraj, M. R., Sudharsan, M. R., Krishnakumar, V. 1996. Standardization of rooting media for propagation of vanilla (*Vanilla planifolia*). *Spices Aromatic Crops*. 5. 131-133.

Singh, R.; Gupta, R. K.; Patil, R. T.; Sharma, R. R.; Asrey, R.; Kumar, A.; Jangra, K. K. 2010. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae*. 124. 34–39.

Sinha, R. K., Herat, S., Valani, D., Chauhan, K. 2009. Vermiculture and sustainable agriculture. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*; IDOSI Publication. 1-55. Dostupné také z <[http:// www.idosi.org/](http://www.idosi.org/)>.

Sinha, R. K., Agarwal, S., Chauhan, K., Valani, D. 2010. The wonders of earthworms and its vermicompost in farm production: Charles Darwin's "friends of farmers", with potential to replace destructive chemical fertilizers from agriculture. *Agricultural Sciences*. 1. 76-94.

Subler, S., Edwards, C. A., Metzger, J. 1998. Comparing vermicomposts and composts. *BioCycle*. 39. 63-66.

Suthar, S. 2009. Bioremediation of Agricultural Wastes through Vermicomposting. *Biological Abstracts Bioremediation Journal*. 13 (1). 21-28.

Suthar, S. 2010. Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology. *Ecological Engineering*. 36. 1028 – 1036.

Száková, J., Tlustoš, P., Koliňová, D. 2005. Použití instrumentálních analytických technik pro stanovení rizikových prvků v zemědělských materiálech. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 47 s. ISBN 80-213-1407-9.

Tejada, M., García-Martínez A. M., Parrado J. 2009. Effects of a vermicompost composted with beet vinasse on soil properties, soil losses and soil restoration. *Catena*. 77 (3). 238-247.

Thankamani, C. K., Sivaraman, K., Kandiannan, K. 1996. Response of clove (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr.& Perry) seedlings and black pepper (*Piper nigrum* L.) cuttings to propagating media under nursery conditions. *Spices Aromatic Crops*. 5. 99-104.

Theunissen, J., Ndakidemi, P. A., Laubscher, C. P. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of the Physical Sciences*. 5 (13). 1964 – 1973.

Tognetti, C., Laos, F., Mazzarino, M. J., Hernandez, M. T. 2005. Composting vs.vermicomposting: A comparison of end product quality. *Journal of Compost Science and Utilization*. 13. 6-13.

Tomášek, M. 2007. Půdy České Republiky. 4. vydání. Česká geologická služba. Praha. 67 s. ISBN: 9788070756881.

Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press. Praha. 176 s. ISBN 9768086726250.

Vopravil, J. 2009. Půda a její hodnocení v ČR (Díl I). Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd. Praha. 148 s. ISBN: 9788087361023.

Walker, D. J.; Bernal, M. P. 2008. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil. *Bioresource Technology*. 99. 396 – 403.

Wilson, D. P., Carlie W. R. 1989. Plant growth in potting media containing worm-worked duck waste. *Acta Horticulturae*. 238. 205-220.

Yagi, R., Ferreira, M. E., Pessô de Cruz M. C., Barbosa, J. C. 2003. Organic matter fractions and soil fertility under the influence of limit, vermicompost and cattle manure. *Scientia Agricola*. 60 (3). 549 – 557.

Yuming, F., Shao, L., Liu, H., Tong L. 2011. Ethylene removal evaluation and bacterial community analysis of vermicompost biofilter material. *Journal of Hazardous Materials*. 192 (2). 658-666.

Zajonc, I. 1990. Biologické princípy využitia dážďoviek pre výrobu vermikompostu a produkciu bielkovinovej biomasy z odpadov poľnohospodárskej výroby. *Institut výchovy a vzdelání*. Nitra. S 22.

Zaller, J. G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media: Effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Horticulturae*. 112 (2). 191-199.

9 Přílohy

9.1 Tabulky

Tab. 1: Hodnoty pH půdy po sklizni kukuřice

pH půdy				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	6,19	6,37	5,80	6,12
ANOVA	p= 0,000048			
DAM	6,24	6,26	5,66	6,05
ANOVA	p= 0,000022			

Tab. 2: Obsah C_{ox} v půdě po sklizni kukuřice

C _{ox} v půdě (%)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	0,22	1,84	1,83	1,29
ANOVA	p= 0,000206			
DAM	0,40	2,10	2,12	1,54
ANOVA	p= 0,000043			

Tab. 3: Celkový obsah N_{tot} v půdě po sklizni kukuřice

N _{tot} v půdě (%)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	0,223	0,126	0,120	0,156
ANOVA	p= 0,000000			
DAM	0,396	0,098	0,115	0,203
ANOVA	p= 0,454284			

Tab. 4: Obsah P v půdě po sklizni kukuřice

P v půdě (mg/kg)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	106,43	133,90	163,33	134,56
ANOVA	p= 0,000029			
DAM	112,43	120,45	141,33	124,74
ANOVA	p= 0,012982			

Tab. 5: Obsah K v půdě po sklizni kukuřice

K v půdě (mg/kg)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	177,10	137,80	218,09	177,66
ANOVA	p= 0,015988			
DAM	105,57	124,35	212,75	147,56
ANOVA	p= 0,000001			

Tab. 6: Obsah Ca v půdě po sklizni kukuřice

Ca v půdě (mg/kg)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	2068,30	2046,98	3045,43	2386,90
ANOVA	p= 0,000001			
DAM	2203,80	1952,54	2842,10	2332,81
ANOVA	p= 0,000657			

Tab. 7: Obsah Mg v půdě po sklizni kukuřice

Mg v půdě (mg/kg)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	146,27	145,60	167,35	153,07
ANOVA	p= 0,018410			
DAM	167,73	167,21	144,68	159,87
ANOVA	p= 0,490972			

Tab. 8: Výnos čerstvé hmoty kukuřice

Výnos čerstvé hmoty kukuřice (g)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	42,63	39,89	30,97	37,83
ANOVA	p= 0,183841			
DAM	44,31	41,17	27,07	37,52
ANOVA	p= 0,000486			

Tab. 9: Výnos suché hmoty kukuřice

Výnos suché hmoty kukuřice (g)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	16,39	15,89	11,91	14,73
ANOVA	p= 0,070708			
DAM	17,04	15,83	10,41	14,43
ANOVA	p= 0,000187			

Tab. 10: Sušina ve sklizené kukuřici

Sušina ve sklizené kukuřici (%)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	44,17	34,90	26,42	35,16
ANOVA	p= 0,001315			
DAM	39,10	35,14	25,74	33,33
ANOVA	p= 0,009326			

Tab. 11: Celkový obsah N_{tot} ve sklizené kukuřici

N _{tot} (%)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	0,78	0,96	1,03	0,92
ANOVA	p= 0,514413			
DAM	1,01	1,42	1,14	1,19
ANOVA	p= 0,514413			

Tab. 12: Obsah P ve sklizené kukuřici

P v kukuřici (mg/kg)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	2533	2808	2229	2523
ANOVA	p= 0,804201			
DAM	2671	3255	2226	2717
ANOVA	p= 0,178824			

Tab. 13: Obsah K ve sklizené kukuřici

K v kukuřici (mg/kg)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	7670	8814	10429	8971
ANOVA	p= 0,699187			
DAM	7853	10216	10890	9653
ANOVA	p= 0,720005			

Tab. 14: Obsah Ca ve sklizené kukuřici

Ca v kukuřici (mg/kg)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	1879	2557	3439	2625
ANOVA	p= 0,459761			
DAM	3093	3954	2812	3286
ANOVA	p= 0,744559			

Tab. 15: Obsah Mg ve sklizené kukuřici

Mg v kukuřici (mg/kg)				
Varianta	2011	2012	2013	Průměr
VK	1136	1370	1499	1335
ANOVA	p= 0,508480			
DAM	1233	1571	1419	1408
ANOVA	p= 0,491313			

Červeně vyznačené hodnoty představují statisticky významný rozdíl. U hodnot, které se po analýze rozptylu statisticky významně lišily, byl pro podrobnější vyhodnocení použit Scheffého test.

Tab. 16: Kritéria hodnocení obsahu přístupných živin pro těžké půdy (Mehlich III, orná půda)

obsah	FOSFOR (mg.kg ⁻¹)	DRASLÍK (mg.kg-1)	VÁPÍK (mg.kg-1)	HOŘČÍK (mg.kg-1)
nízký	do 50	do 170	do 1700	do 120
vyhovující	51 - 80	171 - 260	1701 - 3000	121 - 220
dobrý	81 - 115	261 - 350	3001 - 4200	221 - 330
vysoký	116 - 185	351 - 510	4201 - 6600	331 - 460
velmi vysoký	nad 185	nad 510	nad 6600	nad 460

Zdroj: upraveno dle Rámcové metodiky výživy rostlin a hnojení (Klír et al., 2007)

Tab. 17: Kritéria pro hodnocení půdní reakce

Hodnota pH	Půdní reakce
do 4,5	extrémně kyselá
4,6 - 5,0	silně kyselá
5,1 - 5,5	kyselá
5,6 - 6,5	slabě kyselá
6,6 - 7,2	neutrální
7,3 - 7,7	alkalická
nad 7,7	silně alkalická

Zdroj: Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení (Klír et al., 2007)

10 Seznam příloh

Tabulky:

15 tabulek statistiky jednofaktorové ANOVY

1 tabulka hodnocení obsahu přístupných živin pro ornou půdu

1 tabulka hodnocení půdní reakce