

Č.j.: UKZUZ 129198/2024

Česká republika - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
organizační složka státu, se sídlem v Brně
Sekce zemědělských vstupů

Oddělení výživy rostlin



**Vliv pyrolyzovaného kalu zpracovaného kompostováním na výnos a využití
živin**

Zpráva o výsledcích víceleté vegetační nádobové zkoušky za rok 2023

Zpracoval: Ing. Jaroslav Hynšt, Ph.D.
Markéta Vodáková

Schválil: Ing. Michaela Smatanová, Ph.D.
vedoucí Oddělení výživy rostlin

Předkládá: Ing. Josef Svoboda, Ph.D.
ředitel Sekce zemědělských vstupů

Brno, červenec 2024

1. Úvod

Název zkoušky: Vliv pyrolyzovaného kalu zpracovaného kompostováním na výnos a využití živin

Účel zkoušky: nezbytným předpokladem úrodnosti půdy je její biologická aktivita, pro kterou jsou klíčové kořeny rostlin. Ty zásobují půdu uhlíkem a udržují vzájemně prospěšné vztahy s půdními organismy. Udržování biologické aktivity však vyžaduje také vstupy kvalitní organické hmoty, která obsahuje nejen uhlík, ale i ostatní živiny potřebné ke stavbě buněk půdních organismů. Hlavním zdrojem této formy organické hmoty jsou organická a statková hnojiva. Organické hnojení pomáhá udržovat v půdě populaci mikroorganismů schopných uveřejnit pozitivní vztahy s rostlinou vytvářet. Navíc je zdrojem minerálních živin, které umožňují rostlinám nejen vytvářet výnos ale produkovat i uvedené podzemní vstupy. Současně však nadbytek živin v půdě může omezovat vstupy C do rhizosféry. Naplnění všech uvedených předpokladů klade značné nároky na množství a kvalitu použitých hnojiv. Tradičními organickými vstupy jsou pro tyto účely kompost a hnůj, které však mohou mít nedostatek některých klíčových prvků, jako je P nebo S. Celá řada biogenních prvků je obsažena v čistírenských kalech, jejichž využití je značně problematické. Předchozí pokusy nicméně prokázaly využitelnost kalů zpracovaných pyrolýzou jako zdroje živin. Obohacení kalu kompostovaným materiálem by mohlo po zapravení do půdy podpořit její biologickou aktivitu jako prostředí s dostatkem živin a organické hmoty příznivé pro rozvoj rhizosféry mikroflóry. Kompostovaný materiál je zdrojem rozložitelné organické hmoty a některých živin, kal je zdrojem některých potenciálně limitujících živin, jako je např. S a P a současně představuje povrch pyrolyzované organické hmoty prostor pro sorpci živin a rozvoj mikroflóry. Uvádí se, že oživení půdy umožňuje rychlejší zpřístupňování živin z půdních zásob a z rozkladu hnojiv a posklizňových zbytků. Podobný efekt by mohla mít i aplikace pyrolyzovaného kalu obohaceného organickou hmotou. Jeho vliv na schopnost půdy zásobovat rostliny dusíkem a dalšími živinami je proto sledován ve vegetační nádobové zkoušce. Očekávané přínosy se mohou projevit po delší době, proto je zkouška plánovaná jako víceletá, nejméně na dva roky.

Hypotézy zkoušky:

- a) vyšší biologická aktivita v organicky hnojené půdě podporuje růst pěstovaných rostlin a tím zvyšuje výnos, ale současně váže část aplikovaného dusíku. Proto **při srovnatelném odběru dusíku výnosem bude výnos vyšší v organicky hnojené půdě**. Organické hnojení tak nahradí více živin, než by odpovídalo rozdílu v odběru živin výnosem.
- b) při **negativní bilanci je v organicky hnojené půdě více živin uvolněno rostlinám z půdních zdrojů**. Organické hnojení tak vyrovnává rozdíl mezi vstupy živin a nároky rostlin.
- c) v **organicky hnojené půdě bude při pozitivní bilanci živin více živin využito následnou plodinou než v půdě organicky nehnojené**.
- d) kompostování organické hmoty s pyrolyzovaným kalem obohacuje rozkládanou hmotu o limitující prvky a aktivní povrchy pro mikroby. Zlepšení podmínek zvýší aktivitu mikrobů po aplikaci organické hmoty do půdy. To urychlí uvolňování živin z aplikovaného hnojiva i z organických zdrojů v půdě včetně posklizňových zbytků. **Organická hmota kompostovaná s pyrolyzovaným kalem proto nahradí více minerálních živin než pyrolyzovaný kal nebo kompost.**

Druh zkoušky: víceletá vegetační nádobová zkouška byla založena na jaře 2023 ve vegetační hale v Brně

Délka trvání zkoušky: vegetační rok 2023 - 2024

Rozsah zkoušky: 7 variant x 5 opakování
Celkem 35 vegetačních nádob

Výrobce hnojiva: Vzorek materiálu poskytly HST Hydrosystémy s.r.o. v množství dostatečném pro provedení pokusu. Nespotřebované hnojivo bylo náležitým způsobem zlikvidováno v souladu s předpisy o nakládání s odpady.

2. Použitá hnojiva

2.1 Chemické složení pyrolyzovaného kalu

Karbochar je vyroben pyrolýzou čistírenského kalu. Údaje o složení byly poskytnuty výrobcem (Tab. 1).

Tab. 1 Chemické vlastnosti Karbocharu, obsah živin (VŠCHT)

Parametry	Karbochar
Popel v sušině	76,2
Hodnota pH v H ₂ O	11,7
Vodivost (μS/cm)	1 500
N Celkový organický v sušině (%)	1,5
C celkový jako (%)	22,3
C:N	15,3
K celkový v sušině (%)	0,4
Mg celkový v sušině (%)	1,4
P celkový v sušině (%)	4,1
S celková v sušině (%)	0,7
Na celkový v sušině (mg/kg)	4 110

2.2 Kompostování pyrolyzovaného kalu

Ke kompostování pyrolyzovaného kalu byla použita směs zakládky kompostu ze zahradních odpadů (kompostárna Náměšť) (tab. 2). Směs byla pravidelně vlhčena a promíchávána v intervalech 14 dní po dobu 6 měsíců. Byly připraveny dvě varianty kompostu: kompost bez přídatku a s přídatkem pyrolyzovaného kalu, který byl k základce přidán v množství odpovídajícím 10 % hmotnosti zakládky.

2.3 Chemické složení kompostu

Odběr kompostu k chemické analýze byl proveden před aplikací ke hnojeným rostlinám. Chemické vlastnosti hnojiva jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Chemické vlastnosti kompostu

Parametry	Kompost	Karbochar-kompost
Sušina (%)	37,7	43,9
C v sušině (%)	27,0	24,6
N Celkový organický v sušině (%)	3,0	2,1
C:N	9	12
P celkový v sušině (%)	0,5	1,4
K celkový v sušině (%)	2,8	2,1
Mg celkový v sušině (%)	0,6	0,8
Ca celkový v sušině	2,3	3,0
S celková v sušině (%)	0,4	0,4

2.3 Chemické složení minerálních hnojiv

Jako zdroj dusíku byla použita močovina s obsahem 46 % N. Jako zdroj draslíku a síry v minerální formě byl použit síran draselný s obsahem 42 % K a 18 % S.

3. Půda použitá k založení zkoušky

K založení zkoušky byla použita svrchní vrstva ornice z lokality Modřice. Agrochemické vlastnosti použité půdy jsou uvedeny v tab. 3

Tab. 3: Základní agrochemické vlastnosti půdy použité k založení zkoušky

půdní reakce pH/CaCl ₂	obsah živin ve výluhu Mehlich III mg kg ⁻¹ a hodnocení dle kritérií				
	P	K	Mg	Ca	S
7,3	31,9	151,7	407,2	6693	16,1
alkalická	nízký	vyhovující	velmi vysoký	velmi vysoký	nízký

4. Zkoušené plodiny

1. rok zkoušky (2023): kukuřice (*Zea mays*), odrůda Honoreen

5. Schéma vegetační nádobové zkoušky

Schéma vegetační zkoušky a dávky živin v minerálních hnojivech jsou uvedeny v tab. 4. K variantě Karbochar byl aplikován pyrolyzovaný kal (6 tun/ha), varianta Kompost byla hnojena kompostem v dávce 40 tun/ha a k variantě Karbochar-kompost byl aplikován pyrolyzovaný kal zpracovaný kompostováním (40 tun/ha).

Tab. 4: Schéma vegetační nádobové zkoušky a dávky živin (kg.ha⁻¹)v 1. roce zkoušky

Varianta	Dávka N	Dávka P	Dávka K
1.N0PK	0	60	240
2.N1PK	100	60	240
3.N2PK	200	60	240
4.N3PK	300	60	240
5.Karbochar	200	0	0
6.Kompost	200	0	0
7.Karbochar-kompos	200	0	0

6. Způsob a dávky hnojení kukuřice

Před založením zkoušky byl aplikován pyrolyzovaný kal (6 tun/ha), kompost (40 tun/ha), pyrolyzovaný kal zpracovaný kompostováním (40 tun/ha) a fosforečné a draselné hnojivo dle varianty (tab. 5, tab. 6). Dále byla před založením aplikována část plánované dávky dusíku. Hnojiva byla promíchána s půdou při plnění nádob. Celková dávka N byla rozdělena na několik dílčích dávek, aby se omezil možný negativní vliv vysokých dávek na biologickou aktivitu půdy. Zbývající část roční dávky dusíku byla aplikována ve dvou termínech během vegetace (tab. 7):

- po vyjednání
- 3 týdny po vyjednání

Hnojiva aplikovaná během vegetace byla mělce zapravena do půdy.

Tab. 5: Schéma aplikace kompostu a agrouhlí (g nádoba⁻¹) do nádob v 1. roce zkoušky

Varianta	Karbochar	Kompost	Karbochar-kompost
1.N0PK	0	0	0
2.N1PK	0	0	0
3.N2PK	0	0	0
4.N3PK	0	0	0
5.Karbochar	30	0	0
6.Kompost	0	200	0
7.Karbochar-kompost	0	0	200

Tab. 6: dávky N v 1. roce zkoušky

Varianta	Celková dávka N (kg ha ⁻¹)	Dávky dusíku během vegetace (kg ha ⁻¹)		
		Před výsevem	Po vyjednání	3 týdny po vyjednání
1.N0PK	0	0	0	0
2.N1PK	100	100	0	0
3.N2PK	200	100	50	50
4.N3PK	300	100	100	100
5.Karbochar	200	100	50	50
6.Kompost	200	100	50	50
7.Karbochar-kompost	200	100	50	50

Tab. 7: Schéma aplikace minerálních hnojiv do nádob v 1. roce zkoušky

Varianta	Močovina (g nádoba ⁻¹)			Superfosfát (g nádoba ⁻¹)	Síran draselný (g nádoba ⁻¹)
	Před setím	Po vyjednání	3 týdny po vyjednání		
1.N0PK	0	0	0	1,5	2,9
2.N1PK	1,1	0	0	1,5	2,9
3.N2PK	1,1	0,5	0,5	1,5	2,9
4.N3PK	1,1	1,1	1,1	1,5	2,9
5.Karbochar	1,1	0,5	0,5	0	0
6.Kompost	1,1	0,5	0,5	0	0
7.Karbochar-kompost	1,1	0,5	0,5	0	0

7. Technika založení a průběh zkoušky

Technika provedení pokusu:

Kukuřice

- rośliny byly pěstovány v plastových nádobách s 10 kg zhomogenizované zeminy, do každé nádoby bylo 4. 5. 2023 vyseto 9 semen, po vzejití (12. 5. 2023) bylo 19. 5. 2023 provedeno vyjednání na 4 vyrovnané rostliny v každé nádobě. Sklizeň byla provedena 8. 8. 2023.

Obecné zásady

- pod každou vegetační nádobou byla umístěna miska pro zachycení přebytečné závlivkové vody
- během vegetace byl sledován zdravotní stav rostlin, proti bzunce ječné byly 20. 5. 2023 aplikovány přípravky Decis Mega (0,02 %) a Mospilan (0,02 %).
- bude prováděno vegetační pozorování, zejména rozdíly v nástupu do hlavních fenologických fází a morfologie rostlin u jednotlivých kombinací hnojení
- růstové rozdíly mezi kombinacemi byly vyfotografovány
- v průběhu vegetace byla vlhkost zeminy v nádobách udržována pravidelnou závlivkou dle potřeby demineralizovanou vodou, upravenou reverzní osmózou MID 50 K (Pharmapur řady Aqua Complet) na hodnotu 60 % maximální vodní kapacity

Hodnocené parametry:

Analýza půdy: po sklizni byl odebrány vzorky půdy, ve kterých byly stanoveny vybrané parametry.

- **Obsah P, K, Mg, Ca a S** bude stanoven ve výluhu dle Mehliche 3 (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30068.1 dle Zbírala a kol., 2016) metodou ICP-OES (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30074.1 dle Zbírala a kol., 2016). Ve výluhu dle Mehliche 3 bude také stanoven **obsah Cu, Zn, Al, Fe, Mn a B**.

Analýza rostlin: na vzduchu vysušené vzorky rostlin byly rozemlety a použity k analýzám.

- **Obsah N, P, K, Mg, Ca** ve sklizené biomase rostlin byl stanoven ve vzorku mineralizovaném mokrou cestou směsí kyseliny sírové, H₂O₂ a Se (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40020.1 dle Zbírala a kol., 2014). Obsah N bude stanoven metodou dle Kjehldala, (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40053.1 dle Zbírala a kol., 2014), obsah P, K, Mg a Ca byl stanoven metodou ICP-OES (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40090.1 dle Zbírala a kol., 2014).

Výnos: byl zjištěn výnos sušiny kukuřice

Statistické vyhodnocení výsledků

Rozdíly mezi jednotlivými variantami byly testovány s využitím jednofaktorové analýzy variance s následným mnohonásobným porovnáním pomocí Tukeyho testu. Zvolená hladina průkaznosti byla 0,05. Ke statistickému zpracování dat byl použit program Statistica 13.

8. Výsledky

Výnos sušiny kukuřice

Výnos sušiny byl průkazně zvyšován minerálním dusíkatým hnojením (tab. 8). Výnos variant hnojených Karbocharem a kompostem byl zhruba na úrovni varianty N2PK a byl průkazně nižší než výnos varianty N3PK. Výnos varianty Karbochar-kompost se průkazně nelišil od výnosu varianty N3PK.

Tab. 8 Výnos kukuřice při různé úrovni hnojení

Varianta	Výnos kukuřice (t ha ⁻¹)	Relativní srovnání (%)
1.N0PK	16,6a	100
2.N1PK	26,0b	156
3.N2PK	31,4c	189
4.N3PK	35,5d	214
5.Karbochar	30,1c	181
6.Kompost	31,8c	192
7.Karbochar-kompost	32,6cd	196

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

Obsah živin v sušině kukuřice

Obsah N byl průkazně zvyšován zvyšováním dávky N (tab. 9). Obsah P dosahoval nejnižších hodnot u variant N1PK a N2PK, ostatní rozdíly byly malé. V obsahu K nebyl zaznamenán jednoznačný trend i když mezi variantami byly průkazné rozdíly. Obsah Mg byl zvyšován rostoucí dávkou N a organicky hnojené varianty měly obsah srovnatelný s variantou N3PK. Podobný trend měl i obsah Ca.

Tab. 9 Obsah živin v sušině při různé úrovni hnojení

Varianta	Obsah živin v sušině (%)				
	N	P	K	Mg	Ca
1.N0PK	0,394a	0,106ab	1,175ab	0,165a	0,238a
2.N1PK	0,467a	0,086a	0,925a	0,187a	0,279ab
3.N2PK	0,585ab	0,088a	0,890a	0,218b	0,280ab
4.N3PK	0,925c	0,108ab	1,078ab	0,260cd	0,323b
5.Karbochar	0,837c	0,115b	0,890a	0,278d	0,290ab
6.Kompost	0,793bc	0,115b	1,348b	0,251cd	0,329b
7.Karbochar-kompost	0,768bc	0,108ab	1,085ab	0,243bc	0,301b

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

Odběr živin výnosem kukuřice

Odběr všech živin byl zvyšován rostoucí dávkou N v minerální formě s nejvyššími hodnotami při nejvyšší dávce N (varianta N3PK, tab. 10). Všechny formy organického hnojení (varianty Karbochar, kompost a Karbochar-kompost) zvyšovaly odběr živin ve srovnání s variantou N2PK, která byla hnojena stejnou dávkou minerálního N. Pouze odběr K u varianty hnojené samotným Karbocharem se průkazně nelišil od odběru K u varianty N2PK. Z výsledků vyplývá, že Karbochar je zdrojem P a kompost zdrojem P a K a dokážou nahradit minerální formy těchto živin.

Tab. 10 Odběr živin výnosem (kg N ha^{-1}) při různé úrovni minerálního hnojení

Varianta	Odběr živin výnosem (kg ha^{-1})				
	N	P	K	Mg	Ca
1.N0PK	60a	16a	180a	25a	37a
2.N1PK	111a	21ab	221a	45b	67b
3.N2PK	169b	25bc	258ab	63c	81bc
4.N3PK	301d	35d	350c	85e	105d
5.Karbochar	232c	32cd	247a	77de	80bc
6.Kompost	231c	33d	393c	73cd	96cd
7.Karbochar-kompost	229c	32cd	324bc	73cd	90cd

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

Množství chlorofylu v listech kukuřice

I když byly mezi variantami rozdíly v obsahu chlorofylu, jednoznačný trend nebyl zaznamenán (tab. 11).

Tab. 11 Množství chlorofylu v listech kukuřice při různých úrovních hnojení

Varianta	Množství chlorofylu
	16.6
1.N0PK	371
2.N1PK	409
3.N2PK	373
4.N3PK	433
5.Karbochar	411
6.Kompost	425
7.Karbochar-kompost	392

Obsah živin a mikroprvků v půdě po sklizni kukuřice

Obsah P a S byl vyšší v půdě minerálně hnojených variant, kde byly oba prvky přidány formou superfosfátu a síranu draselného (tab. 12, tab. 13). Obsah K byl průkazně nižší u varianty hnojené Karbocharem, ostatní rozdíly byly poměrně malé. Varianty hnojené kompostem měly obsah K srovnatelný s minerálně hnojenými variantami. Obsah Cu, Fe a Mn narůstal s rostoucí dávkou N v minerálně hnojených variantách, varianty hnojené organicky měly obsah na úrovni varianty N2PK. Karbochar také zvyšoval obsah Zn.

Tab. 12 Hodnota pH a obsah živin v půdě (mg kg⁻¹) při různé úrovni minerálního hnojení

Varianta	pH	P	K	Mg	Ca
1.N0PK	7,4a	42b	159c	371a	7020a
2.N1PK	7,5b	41b	147b	373a	7258ab
3.N2PK	7,5b	40b	150bc	380a	7644b
4.N3PK	7,5b	38b	153bc	372a	7572b
5.Karbochar	7,6b	25a	131a	364a	7160ab
6.Kompost	7,6b	30a	154bc	381a	7380ab
7.Karbochar-kompost	7,6b	28a	146b	371a	7354ab

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, p<0,05.

Tab. 13 Obsah síry a mikroprvků v půdě (mg kg⁻¹) při různé úrovni minerálního hnojení

Varianta	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B
1.N0PK	62,2b	3,3a	99a	1,810a	178a	1,946a
2.N1PK	78,4b	3,5ab	100a	1,878a	182ab	1,978a
3.N2PK	75,3b	3,6b	111b	2,182ab	197c	1,936a
4.N3PK	64,7b	3,7b	115c	2,136ab	198c	1,862a
5.Karbochar	20,8a	3,6b	110b	3,018b	189bc	1,852a
6.Kompost	15,3a	3,6b	111b	2,466ab	196c	1,886a
7.Karbochar-kompost	19,5a	3,5b	111b	2,508ab	191bc	2,082a

Pozn: Odlišná písmena vyznačují statisticky průkazné rozdíly, p<0,05.

9. Závěry

Všechny tři organické přídavky byly významným zdrojem živin pro rostliny a zvýšily příjem N a P z půdy, oba komposty zvýšily také odběr K výnosem. Zvýšení dostupnosti P v půdě s jeho nízkým obsahem by mohlo vysvětlovat zvýšení odběru dalších živin včetně N.

Při nižší úrovni hnojení je organická hmota zdrojem dusíku, při vyšší je naopak využití dusíku efektivnější a je ho zapotřebí méně pro dosažení srovnatelného výnosu. Tento efekt byl nejvíce patrný po aplikaci kompostovaného pyrolyzovaného kalu. Do jisté míry protichůdný vliv může mít řadu vysvětlení, je však v podstatě v souladu s hypotézou. Regulace dostupnosti N při rozdílných vstupech je jedním z klíčových přínosů organické hmoty

Hypotéza, že organická hmota kompostovaná s pyrolyzovaným kalem nahradí více minerálních živin než pyrolyzovaný kal nebo kompost, se nepotvrdila, kompostovaný kal a kompost byly jako bezprostřední zdroj živin zhruba srovnatelné, jen příjem K plodinou byl menší po pyrolyzovaném kalu. Nicméně lze předpokládat, že se očekávaný vliv organického hnojení více projeví ve druhém roce pokusu, kdy lze očekávat, že vyšší biologická aktivita půdy hnojené kompostem zpřístupní více živin.

Jestli se projeví očekávaný vliv zpracování pyrolyzovaného kalu kompostováním na dostupnosti a čerpání živin z půdy bude testováno ve druhém roce pokusu.

10. Použitá literatura

Zbíral, J., Čižmárová, E., Dočkalová, R., Fojtlová, E., Hájková, H., Holcová, H., Kabátová, N., Niedobová, E., Rychlý, M., Staňková, K., Urbánková, E., Vilamová, V., Žalmanová, A., 2014. Jednotné pracovní postupy – analýza rostlinného materiálu. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 120 s.

Zbíral, J., Čižmárová, E., Obdržálková, E., Rychlý, M., Vilamová, V., Srnková, J., Žalmanová, A., 2016. Jednotné pracovní postupy – analýza půd I. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

11. Fotodokumentace

Obr.1 Rostliny kukuřice ve fázi 8. listu. Čísla nádob 1 – 6 odpovídají variantám pokusu 1. N0PK, 2. N1PK, 3. N2PK, 4. N3PK, 5. Karbochar, 6. Kompost a 7. Karbochar-kompost.



Obr.2 Rostliny kukuřice před sklizní. Čísla nádob 1 – 6 odpovídají variantám pokusu 1. N0PK, 2. N1PK, 3. N2PK, 4. N3PK, 5. Karbochar, 6. Kompost a 7. Karbochar-kompost.

