

Čj.: UKZUZ 024092/2022

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

Sekce zemědělských vstupů

Oddělení výživy rostlin



**Vliv agrouhlí na růst polních plodin a změny půdních vlastností
při vysokých dávkách živin**

Zpráva o výsledcích dvouleté vegetační nádobové zkoušky za rok 2020 - 2021

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

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

Předkládá: Ing. Miroslav Florián, Ph.D.
ředitel Sekce zemědělských vstupů

Brno, leden 2022

1. Úvod

Název zkoušky: Vliv agrouhlí na růst polních plodin a změny půdních vlastností při vysokých dávkách živin

Účel zkoušky: ve vegetační nádobové zkoušce byl ověřován vliv dvou typů agrouhlí v půdě hnojené vysokými dávkami živin ve formě minerálního hnojiva a kompostu na výnos kukuřice, změny půdních vlastností a růst následné plodiny pšenice. Vliv agrouhlí na výnos je pravděpodobně založen na schopnosti agrouhlí sorbovat živiny a postupně je uvolňovat ve formě dostupné rostlinám. Aby se přínos agrouhlí mohl projevit, musí být živiny sorbovány v dostatečném množství. Při nízkých dávkách živin může odběr živin plodinou způsobit vyčerpání půdy, na agrouhlí se sorbuje jen málo živin a jeho vliv se nemusí projevit. Ve vegetační nádobové zkoušce byl proto ověřován vliv agrouhlí na výnos pěstovaných plodin a změny půdních vlastností při vysokých dávkách živin. Vlastnosti agrouhlí se mohou významně lišit v závislosti na postupu výroby, proto jsou testovány dva odlišné produkty. Agrouhlí poutá nejen minerální živiny, ale i organické látky. Organické látky jsou samy o sobě zdrojem pomalu uvolnitelných živin, proto lze předpokládat, že při jejich společné aplikaci s agrouhlím bude výnos ovlivňován méně, než v případě minerálního hnojení.

Hypotézy zkoušky:

- a) při vysokých dávkách živin se projeví pozitivní vliv agrouhlí na výnos a agrochemické vlastnosti půdy
- b) agrouhlí zvýší výnos v následujícím roce
- c) vliv agrouhlí je větší při minerálním hnojení

Druh zkoušky: dvouletá vegetační nádobová zkouška byla založena na jaře 2020 ve vegetační hale v Brně

Délka trvání zkoušky: vegetační rok 2020-2021

Výrobce agrouhlí: Biouhel.cz s.r.o

Materiál pro založení zkoušky poskytl zdarma p. Jan Káňa

2. Chemické složení agrouhlí a zralého kompostu

2.1 Chemické složení agrouhlí

- 1. **Agrouhlí:** je vyrobeno z dřevního odpadu z těžby při teplotě 800 °C, doba zdržení 35 min
- 2. **Agrouhlí:** je vyrobeno z anaerobního digestátu kukuřice a celulóзовých vláken při teplotě 470 °C, doba zdržení 25 min

Analýzy agrouhlí byly provedeny v NRL ÚKZÚZ Plzeň a Opava v dubnu 2016 (tab. 1).

Tab. 1 Obsah živin a rizikových prvků v agrouhlí

Parametry	Agrouhlí č.1	Agrouhlí č.2
Sušina OH	98,2	48,1
Spalitelné látky v sušině	90,0	65,4
Popel v sušině	10,0	34,6
Hodnota pH v H ₂ O	10,7	9,7
Hodnota pH v CaCl ₂	11,2	9,1
Vodivost (mS/cm)	0,7	0,7
N Celkový organický v sušině (%)	0,5	1,4
C celkový jako (%)	84,4	62,5
C:N	201,1	43,9
K celkový v sušině (%)	0,7	1,7
Mg celkový v sušině (%)	0,2	0,4
P celkový v sušině (%)	0,1	0,6
Na celkový v sušině (mg/kg)	2336	409
Mn celkový v sušině (mg/kg)	2100	174

Obsah rizikových prvků ve všech testovaných výrobcích/materiálech splňuje zákonem stanovené limity (mg/kg): kadmium 1,0; olovo 10; rtuť;1,0; arsen 20; chrom 50.

2.2 Chemické složení kompostu

K založení zkoušky byl použit kompost z kompostárny Víška u Jevíčka, Hanácká zemědělská společnost Jevíčko a. s. Odběr zralého kompostu byl proveden před aplikací ke hnojeným rostlinám.

Analýzy byly provedeny v NRL ÚKZÚZ Plzeň v dubnu 2020, chemické vlastnosti kompostu jsou uvedeny v tab. 2.

Tab. 2 Chemické složení kompostu použitého k založení zkoušky

Parametry	Hodnota
Sušina (%)	45,5
Spalitelná sušina (%)	42,41
Celkový N (% sušiny)	2,19
Celkový P (% sušiny)	0,47
Celkový K (% sušiny)	2,32
Celkový Mg (% sušiny)	0,48
pH	9,12
C:N	9,7

Obsah rizikových prvků splňuje zákonem stanovené limity (mg kg⁻¹): kadmium 2,0; olovo 100; rtuť 1,0; arsen 20,0; chrom 100,0.

3. Půda použitá k založení zkoušky

Půdní podmínky: K založení zkoušky byla požitá ručně odebraná svrchní vrstva ornice z lokality Žabčice. Agrochemické vlastnosti použité půdy jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Základní agrochemické vlastnosti půdy použité k založení zkoušky

půdní reakce pH/CaCl ₂	CaCO ₃	obsah živin ve výluhu Mehlich III mg kg ⁻¹ a kritéria hodnocení			
		P	K	Mg	Ca
5,4	nevápnitá	72,0	105,1	97	1391
kyselá		vyhovující	nízký	nízký	vyhovující

Obsah mikroelementů ve výluhu Mehlich III mg kg ⁻¹				
Cu	Zn	Fe	Mn	B
1,25	2,05	159,40	53,83	<0,50
nízký	nízký	střední	střední	nízký

4. Zkušební plodiny

1. rok zkoušky (2020): kukuřice, odrůda Pesandor

2. rok zkoušky (2021): pšenice ozimá, odrůda LG Orlice

5. Schéma vegetační nádobové zkoušky

Schéma zkoušky, dávky živin, agrouhlí a kompostu jsou uvedeny v tab. 4. Tab. 5 uvádí dávky agrouhlí a kompostu do jednotlivých nádob v 1. roce zkoušky. Dávky minerálních hnojiv v jednotlivých letech pokus jsou uvedeny v tab. 6 a tab. 7.

Tab. 4 Schéma vegetační nádobové zkoušky a dávky živin v 1. roce zkoušky

Varianta	Dávka N (kg ha ⁻¹)	Dávka P (kg ha ⁻¹)	Dávka K (kg ha ⁻¹)	Kompost (t ha ⁻¹)	Agrouhlí I (t ha ⁻¹)	Agrouhlí II (t ha ⁻¹)
1.Kontrola	0	0	0	0	0	0
2.NPK	400	60	120	0	0	0
3.NPK+agrouhlí I	400	60	120	0	30	0
4.NPK+agrouhlí II	400	60	120	0	0	60
5.Kompost+N	400	0	0	30	0	0
6.Kompost+N+agrouhlí I	400	0	0	30	30	0
7.Kompost+N+agrouhlí II	400	0	0	30	0	60

Tab. 5 Schéma aplikace kompostu a agrouhlí do nádob v 1. roce zkoušky

Varianta	Kompost (g nádoba ⁻¹)	Agrouhlí I (g nádoba ⁻¹)	Agrouhlí II (g nádoba ⁻¹)
1.Kontrola	0	0	0
2.NPK	0	0	0
3.NPK+agrouhlí I	0	165	0
4.NPK+agrouhlí II	0	0	330
5.Kompost+N	0	0	0
6.Kompost+N+agrouhlí I	165	165	0
7.Kompost+N+agrouhlí II	165	0	330

Tab. 6 Schéma aplikace minerálních hnojiv do nádob v 1. roce zkoušky

Varianta	Dávka N (kg ha ⁻¹)		Močovina (g nádoba ⁻¹)		Superfosfát (g nádoba ⁻¹)	Síran draselný (g nádoba ⁻¹)
	Před setím	Po vyjedení	Před setím	Po vyjedení		
1.Kontrola	0	0	0	0	0	0
2.NPK	250	150	2,7	1,6	1,5	1,4
3.NPK+agrouhlí I	250	150	2,7	1,6	1,5	1,4
4.NPK+agrouhlí II	250	150	2,7	1,6	1,5	1,4
5.Kompost+N	0	100	0	1,1	0	0
6.Kompost+N+agrouhlí I	0	100	0	1,1	0	0
7.Kompost+N+agrouhlí II	0	100	0	1,1	0	0

Tab. 7 Schéma aplikace minerálních hnojiv do nádob ve 2. roce zkoušky

Varianta	Dávka N (kg ha ⁻¹)			Dávka hnojiva (g nádoba ⁻¹)		
				Močovina	Ledek vápenatý	Močovina
	Před setím	Regenerační	Produkční	Před setím	Po jednocení	Produkční
1.Kontrola	0	0	0	0	0	0
2.NPK	50	100	100	0,5	3,3	1,1
3.NPK+agrouhlí I	50	100	100	0,5	3,3	1,1
4.NPK+agrouhlí II	50	100	100	0,5	3,3	1,1
5.Kompost+N	0	100	0	0	0	0
6.Kompost+N+agrouhlí I	0	100	0	0	0	0
7.Kompost+N+agrouhlí II	0	100	0	0	0	0

6. Způsob a dávky hnojení

Před založením pokusu bylo aplikováno agrouhlí, kompost a fosforečné a draselné hnojivo dle varianty. Dále byla před založením aplikována část dávky plánované dávky dusíku. Hnojiva byla promíchána s půdou při plnění nádob. Zbývající část roční dávky dusíku byla aplikována po vyjedení kukuřice.

Aplikované hnojivo bylo mělce zapraveno do půdy.

Hnojení pšenice bylo provedeno ve třech termínech: před výsevem, na jaře jako regenerační hnojení a na konci odnožování jako produkční hnojení.

7. Technika založení a průběh zkoušky

- Před výsevem kukuřice bylo aplikováno agrouhlí, kompost a část dávky minerálních hnojiv dle variant hnojení.
- Výsev kukuřice byl proveden 5.5.2020
- Vzcházení rostlin bylo zaznamenáno 12.5.2020.
- Vyjedení na 4 vyrovnané rostliny v každé nádobě bylo provedeno 18. 5. 2020
- Druhá dávka dusíku byla aplikována po vyjedení 20.5.2020
- Pod každou vegetační nádobou byla umístěna miska pro zachycení přebytečné závlivkové vody

- Během vegetace byl sledován zdravotní stav rostlin, proti bzunce ječné byl použit přípravek Karate Zeon (0,1 %)
- Prováděno bylo vegetační pozorování, zejména rozdíly v nástupu do hlavních fenologických fází a morfologie rostlin u jednotlivých variant hnojení
- Růstové rozdíly mezi variantami byly vyfotografovány v termínu 22. 6. 2020 ve fázi 7. listů a před sklizní (30.7.2020)
- V průběhu vegetace byla vlhkost zeminy v nádobách udržována pravidelnou zálivkou dle potřeby demineralizovanou vodou, upravenou reverzní osmózou MID 50 K (Pharmapur řady Aqua Complet) na hodnotu 60 % maximální vodní kapacity
- Sklizeň byla provedena 30. 7. 2020
- po sklizni byla zemina v nádobách zhomogenizována, byly odebrány vzorky půdy k agrochemickým analýzám a kořeny byly uloženy do spodní části nádoby.
- do nádob byla vyseta pšenice jako následná plodina. Výsev byl proveden 9. 10. 2020, bylo vyseto 28 semen na jednu nádobu Po vzejití (20. 10. 2020) bylo 25. 2. 2021 provedeno vyjednání na 21 vyrovnaných rostlin v každé nádobě
- během vegetace byl sledován zdravotní stav rostlin, použité přípravky na ochranu rostlin jsou uvedeny v tab. 8
- sklizeň byla provedena 7. 7. 2021

Tab. 8 Přípravky použité k ochraně proti chorobám a škůdcům ječmene jarního v průběhu zkoušky

Přípravek	datum	koncentrace (%)	Škůdce/choroba
Boogie XPro	21. 12. 2020	0,1	padlí
Boogie XPro	25. 2. 2021	0,1	padlí
Seguris	12. 4. 2021	0,1	padlí
Karate	23. 4. 2021	0,1	žraví škůdci
Boogie XPro	29. 4. 2021	0,1	padlí
Seguris	17. 5. 2021	0,1	padlí
Boogie XPro	27. 5. 2021	0,1	padlí

Hodnocené parametry:

Výnos:

po sklizni kukuřice byl stanoven **výnos sušiny rostlin**; po sklizni pšenice byl stanoven **výnos zrna a slámy**.

Analýzy 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 byl 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).

Analýzy půdy: po sklizni rostlin kukuřice byly odebrány vzorky půdy, ve kterých byly stanoveny vybrané parametry.

- **Kationtová výměnná kapacita (KVK)** a **obsah výměnných kationtů** byly stanoveny v extraktu půdy roztokem BaCl₂ (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30230.1 dle Zbírala a kol., 2016). Obsah jednotlivých prvků byl stanoven metodou ICP-OES

Vliv agrouhlí na růst polních plodin a změny půdních vlastností při vysokých dávkách živin
(Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30500.1 dle Zbírala a kol., 2011). Výpočet KVK a stupně nasycení byl proveden dle Zbírala a kol. 2016 Jednotným pracovním postupem

- 30235.1. Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30234.1 dle Zbírala a kol., 2016 byl použit ke stanovení výměnné acidity titrací.
- **Elektrická vodivost** byla stanovena konduktometricky (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30060.1 dle Zbírala a kol., 2016)
- **Obsah P, K, Mg a Ca** byl 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 byl také stanoven **obsah Cu, Zn, Al, Fe, Mn a B**.

Statistické vyhodnocení výsledků

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

8. Výsledky

8.1 Výnos

V prvním roce pokusu byl výnos zvyšován především minerálním a o něco méně organickým hnojením, vliv agrouhlí byl menší. Výnos **kukuřice** byl průkazně vyšší ve všech variantách hnojených NPK než v nehnojené kontrole. Průkazné zvýšení výnosu oproti kontrole bylo zaznamenáno i po aplikaci kompostu s agrouhlím II (tab. 9). Výnos varianty hnojené kompostem a kompostem s agrouhlím I se statisticky průkazně nelišil od kontrolní varianty. Vliv agrouhlí na výnos se více projevil ve druhém roce pokusu. Výnos **zrna pšenice** byl při minerálním hnojení průkazně vyšší než výnos organicky hnojených variant. Při minerálním hnojení byl výnos dále průkazně zvyšován o 14 % přidavkem agrouhlí II. Výnos zrna byl průkazně zvyšován i aplikací kompostu ve srovnání s kontrolou (tab. 10). Také výnos **slámy pšenice** byl všemi variantami hnojení zvyšován ve srovnání s kontrolou. Nejvyšších hodnot dosahovaly varianty s agrouhlím II, nejnižší výnos slámy měla varianta hnojená kompostem s agrouhlím I. V případě agrouhlí II se tak potvrdily hypotézy, že přínos agrouhlí bude větší při minerálním hnojení, projeví se při vysokých dávkách živin a bude větší ve druhém roce pokusu. Vliv agrouhlí I na výnos byl neutrální nebo spíše negativní.

Tab. 9 Výnos sušiny kukuřice

Varianty hnojení	Výnos (t ha ⁻¹)	Relativní srovnání (%)
1.Kontrola	31,2a	100
2.NPK	37,2bc	119
3.NPK+agrouhlí I	35,9bc	115
4.NPK+agrouhlí II	38,4c	123
5.Kompost+N	35,2abc	113
6.Kompost+N+agrouhlí I	33,1ab	106
7.Kompost+N+agrouhlí II	37,7c	121

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

Tab. 10 Výnos zrna a slámy pšenice

Variety hnojení	Výnos zrna (t ha ⁻¹)	Relativní srovnání (%)	Výnos slámy (t ha ⁻¹)	Relativní srovnání (%)
1.Kontrola	1,1a	100	5,5a	100
2.NPK	11,4c	1036	20,8bc	379
3.NPK+agrouhlí I	11,0c	1004	19,9bc	361
4.NPK+agrouhlí II	13,0d	1183	23,6c	429
5.Kompost+N	7,5b	682	19,8bc	360
6.Kompost+N+agrouhlí I	7,0b	639	17,0b	309
7.Kompost+N+agrouhlí II	8,0b	725	23,4c	426

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

8.2 Obsah chlorofylu v listech

Obsah chlorofylu dosahoval nejvyšších hodnot v minerálně hnojených variantách, nejnižší obsah měla nehnojená kontrola (tab. 11). Rozdíly mezi variantami zhruba odpovídaly rozdílům v dosažených výnosech.

Tab. 11 Výnos sušiny kukuřice

Variety hnojení	Fáze sloupkování	Fáze zrání
1.Kontrola	316	253
2.NPK	829	549
3.NPK+agrouhlí I	805	588
4.NPK+agrouhlí II	849	649
5.Kompost+N	523	442
6.Kompost+N+agrouhlí I	651	433
7.Kompost+N+agrouhlí II	598	408

8.3 Obsah živin ve sklizených produktech

Obsah N v **sušině kukuřice** byl průkazně zvýšen minerálním hnojením oproti kontrole (tab. 12). V rostlinách hnojených organicky byl srovnatelný s kontrolou. Obsah P byl po aplikaci agrouhlí I s organickým i minerálním hnojením nižší než v kontrole, agrouhlí II jeho obsah naopak zvyšovalo, a v půdě organicky hnojené bylo zvýšení průkazné. Obsah K byl zvyšován aplikací agrouhlí II a kompostu. Obsah Mg byl průkazně zvyšován minerálním hnojením, vliv organického hnojiva byl neprůkazný. V organicky i minerálně hnojených variantách byl zaznamenán pokles obsahu Mg po přidavku obou typů agrouhlí.

Obsah N v **zrnu pšenice** byl průkazně nižší při hnojení kompostem než v kontrole (tab. 13). Varianty hnojené minerálně měly obsah N průkazně vyšší než kontrola kromě varianty s agrouhlím II, která se od kontroly nelišila. Obsah P byl zvýšený v kontrole, ostatní varianty se navzájem příliš nelišily. Obsah K byl vyšší při organickém hnojení. Na obsah Mg a Ca

Vliv agrouhlí na růst polních plodin a změny půdních vlastností při vysokých dávkách živin
nemělo hnojení vliv. Obsah N ve **slámě pšenice** byl při organickém hnojení srovnatelný s kontrolou, byl zvyšován minerálním hnojením a oběma typy agrouhlí a nejvyšších hodnot dosahoval při aplikaci agrouhlí II s minerálním hnojením (tab. 14). Obsah P byl snižován

minerálním hnojením, organické hnojení jeho obsah naopak zvyšovalo. Při organickém i minerálním hnojení byl obsah P snižován aplikací agrouhlí I a zvyšován aplikací agrouhlí II. Obsah K byl zvyšován přidavkem agrouhlí II, ostatní rozdíly byly menší. Obsah Ca byl u organicky hnojených variant srovnatelný s kontrolní variantou. Průkazně vyšší hodnoty byly zjištěny u variant minerálně hnojených, kde byl přidavkem agrouhlí I neprůkazně a přidavkem agrouhlí II průkazně snižován.

Tab. 12 Obsah živin v biomase kukuřice (% sušiny)

Variety hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1.Kontrola	0,402a	0,103b	0,758a	0,169b	0,318ab
2.NPK	0,916b	0,100b	0,671a	0,225a	0,337a
3.NPK+agrouhlí I	0,776b	0,063a	0,762a	0,164b	0,329a
4.NPK+agrouhlí II	0,897b	0,113bc	1,081b	0,180b	0,341a
5.Kompost+N	0,513a	0,107bc	1,042b	0,164b	0,308ab
6.Kompost+N+agrouhlí I	0,394a	0,069a	1,272c	0,130c	0,249b
7.Kompost+N+agrouhlí II	0,533a	0,127c	1,356c	0,125c	0,271ab

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

Tab. 13 Obsah živin v zrně pšenice (% sušiny)

Variety hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1.Kontrola	1,7b	0,503b	0,482ab	0,158b	0,05a
2.NPK	2,0c	0,374a	0,453a	0,114a	0,05a
3.NPK+agrouhlí I	2,1c	0,365a	0,448a	0,116a	0,05a
4.NPK+agrouhlí II	1,8b	0,392a	0,464a	0,117a	0,05a
5.Kompost+N	1,2a	0,378a	0,514bc	0,130a	0,05a
6.Kompost+N+agrouhlí I	1,4a	0,371a	0,510b	0,127a	0,05a
7.Kompost+N+agrouhlí II	1,2a	0,355a	0,549c	0,122a	0,05a

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

Tab. 14 Obsah živin ve slámě pšenice (% sušiny)

Variety hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1.Kontrola	0,231a	0,062c	1,1ab	0,135a	0,228a
2.NPK	0,446b	0,044ab	1,1ab	0,130a	0,425c
3.NPK+agrouhlí I	0,483bc	0,036a	1,1a	0,136a	0,365bc
4.NPK+agrouhlí II	0,557c	0,053bc	1,4d	0,117a	0,345b
5.Kompost+N	0,263a	0,079d	1,2abc	0,116a	0,247a
6.Kompost+N+agrouhlí I	0,247a	0,059bc	1,2bcd	0,142a	0,297ab
7.Kompost+N+agrouhlí II	0,258a	0,090d	1,3cd	0,123a	0,251a

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

8.4 Odběr živin plodinou

Odběr živin je dán výnosem a obsahem živin ve sklizených produktech, proto může lépe vypovídat o využití živin rostlinami než samotný obsah živin nebo výnos. Nejvyšší odběr dusíku sklizní **kukuřice** byl zaznamenán po minerálním hnojení, nižší po organickém

hnojení a nejnižší v nehnojené kontrole (tab. 15). Agrouhlí I snižovalo odběr N u organicky i minerálně hnojených variant. Odběr P byl snižován agrouhlím I a naopak zvyšován agrouhlím II. Hnojení kompostem a agrouhlím II zvyšovalo odběr K. Odběr Mg byl zvyšován minerálním hnojením a snižován oběma typy agrouhlí v minerálně i organicky hnojených variantách.

Odběr dusíku výnosem **pšenice** byl průkazně zvyšován všemi variantami hnojení ve srovnání s kontrolou a byl průkazně vyšší v minerálně hnojených variantách než v organicky hnojených (tab. 16). Nejvyšší hodnota byla zaznamenána při minerálním hnojení s přidavkem agrouhlí II a průkazně převyšovala odběr živin u všech ostatní variant hnojení. Také odběr P byl vyšší při minerálním hnojení a byl zvyšován přidavkem agrouhlí II. Nejnižší odběr K měla kontrolní varianta a nejvyšší byl zaznamenán u organicky i minerálně hnojené varianty s agrouhlím II. Vliv obou typů agrouhlí na odběr živin tedy přibližně odpovídal pozorovaným rozdílům ve výnosu – agrouhlí I odběr živin buď neovlivňovalo, nebo omezovalo, zatímco agrouhlí II čerpání živin naopak podpořilo.

Tab. 15 Odběr živin sklizní kukuřice (kg ha⁻¹)

Varianty hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1.Kontrola	126a	32ab	237a	53ab	99ab
2.NPK	341d	37b	250a	83d	125bc
3.NPK+agrouhlí I	277c	23a	273a	59bc	118bc
4.NPK+agrouhlí II	344d	43c	414c	69c	131c
5.Kompost+N	181ab	38b	367bc	57b	108abc
6.Kompost+N+agrouhlí I	130a	23a	421c	43a	82a
7.Kompost+N+agrouhlí II	201b	48c	512d	47ab	103abc

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

Tab. 16 Odběr živin sklizní pšenice (kg ha⁻¹)

Varianty hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1.Kontrola	28a	8a	59a	8a	11a
2.NPK	299c	48d	267b	38b	84d
3.NPK+agrouhlí I	305c	44cd	244b	37b	68bcd
4.NPK+agrouhlí II	343d	58e	365c	40b	77cd
5.Kompost+N	133b	40c	253b	30b	46b
6.Kompost+N+agrouhlí I	125b	33b	232b	31b	47b
7.Kompost+N+agrouhlí II	147b	46cd	335c	36b	55bc

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

8.5 Obsah živin v půdě po sklizni kukuřice

Aplikace agrouhlí je spojena s poměrně velkým vstupem živin a uhlíku do půdy (tab. 17). Agrouhlí I má vyšší obsah uhlíku a vyšší poměr C:N než agrouhlí II. Agrouhlí I má také vyšší obsah sodíku a manganu. Obsah fosforu, draslíku, hořčíku, vápníku a většiny

Vliv agrouhlí na růst polních plodin a změny půdních vlastností při vysokých dávkách živin
mikroprvků je naopak vyšší v agrouhlí II. Vyšší obsah většiny živin v agrouhlí II je pravděpodobně způsoben vyšším obsahem živin v anaerobním digestátu, ze kterého je

agrouhlí II vyrobeno. Naopak, agrouhlí I bylo vyrobeno ze dřeva, které má výchozí obsah živin zpravidla nižší.

Tab.17 Množství živin a uhlíku dodaných v dávce agrouhlí 30 t ha⁻¹

Parametry	agrouhlí I	Dávka živin (kg ha ⁻¹)	agrouhlí II	Dávka živin (kg ha ⁻¹)
Sušina OH (%)	98,2		48,1	
C celkový jako (%)	84,4	24 568	62,5	17 833
N celkový v sušině (%)	0,46	134	1,42	405
P celkový v sušině (%)	0,12	35	0,64	182
K celkový v sušině (%)	0,71	207	1,65	470
Mg celk. v sušině (%)	0,23	67	0,42	120
Ca celkový v sušině (mg kg ⁻¹)	2,25	655	5,30	1 511

Hodnota pH byla v minerálně hnojené půdě průkazně vyšší po přidavku agrouhlí I, v půdě organicky hnojené bylo zaznamenáno zvýšení po aplikaci obou typů agrouhlí. Obsah P v půdě byl zvyšován minerálním hnojením a v minerálně hnojené půdě také aplikací agrouhlí II oproti kontrole (tab. 18). V půdě hnojené organicky byl obsah P průkazně zvyšován i agrouhlím I. Obsah K byl průkazně zvyšován aplikací agrouhlí II v minerálně hnojené a oběma typy agrouhlí v organicky hnojené půdě. Vyšší hodnoty obsahu P i K byly zjištěny po agrouhlí II a byly průkazně vyšší než po aplikaci agrouhlí I. Oba typy agrouhlí zvyšovaly obsah Ca a Mg, nárůst byl větší v půdě organicky hnojené. Obsah S byl zvyšován minerálním hnojením a přidavkem agrouhlí II. Zdrojem S v minerálně hnojených variantách mohl být síran draselný, aplikovaný jako zdroj K.

Nárůst P, K a Mg v půdě s agrouhlím by mohl být vysvětlen vstupem živin v dodaném agrouhlí (Tab. 17). Obsah živin je větší v agrouhlí II, což odpovídá vyššímu obsahu P a K v půdě s agrouhlím II.

Vliv hnojení i agrouhlí na obsah Cu byl poměrně malý (tab. 19). Obsah Mn byl průkazně zvyšován agrouhlím I v minerálně i organicky hnojené půdě. To by mohlo být vysvětleno zvýšeným obsahem Mn v agrouhlí I. Obsah Zn byl průkazně zvyšován aplikací agrouhlí II v organicky hnojené půdě.

Ve 2. roce pokusu byla hodnota pH zvyšována oběma typy agrouhlí a také aplikací kompostu (tab. 20). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny po agrouhlí I. Obsah P byl zvyšován organickým i minerálním hnojením ve srovnání s kontrolou, byl zvyšován oběma typy agrouhlí a nejvyšších hodnot dosahoval po agrouhlí II. Obsah K byl průkazně zvyšován přidavkem agrouhlí II v organicky i minerálně hnojené půdě. Oběma typy agrouhlí byl zvyšován obsah Mg a Ca. Obsah Zn byl průkazně zvyšován oběma typy agrouhlí a také aplikací kompostu (tab. 21). Agrouhlí I průkazně zvyšovalo obsah Mn a naopak průkazně snižovalo obsah Cu.

Tab. 18 Obsah živin (Mehlich 3) a pH v půdě po sklizni kukuřice (mg kg⁻¹)

Varianta hnojení	pH	P	K	Mg	Ca	S
1.Kontrola	5,2a	57a	67a	75b	1207a	26a
2.NPK	5,1a	78b	64a	62a	1203a	37b
3.NPK+agrouhlí I	6,0c	82b	80a	87bc	1303ab	32b
4.NPK+agrouhlí II	5,4a	102c	100b	95c	1280ab	44c
5.Kompost+N	5,4a	64ab	69a	79b	1145a	25a
6.Kompost+N+agrouhlí I	6,3c	82b	93b	117d	1447b	23a
7.Kompost+N+agrouhlí II	5,8bc	95c	117c	122d	1378b	34b

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

Tab. 19 Obsah mikroprvků (Mehlich 3) v půdě po sklizni kukuřice (mg kg⁻¹)

Varianta hnojení	Cu	Zn	Al	Fe	Mn	B
1.Kontrola	1,7ab	1,8a	854b	138ab	57a	0,50a
2.NPK	1,7ab	2,2ab	843ab	137ab	59a	0,50a
3.NPK+agrouhlí I	1,4a	2,3ab	789a	132ab	73b	0,63a
4.NPK+agrouhlí II	1,7b	2,8ab	828ab	138ab	55a	0,50a
5.Kompost+N	1,5ab	2,0ab	776a	128a	51a	0,56a
6.Kompost+N+agrouhlí I	1,5ab	3,4ab	815ab	139b	76b	0,75a
7.Kompost+N+agrouhlí II	1,7b	3,6b	798ab	136ab	54a	0,52a

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

Tab. 20 Obsah živin (Mehlich 3) a pH v půdě po sklizni pšenice (mg kg⁻¹)

Varianta hnojení	pH	P	K	Mg	Ca	S
1.Kontrola	5,4b	58a	75a	88b	1435a	35bc
2.NPK	5,2a	66b	75a	64a	1472ab	33bc
3.NPK+agrouhlí I	6,2d	73bc	80a	93bc	1677c	30abc
4.NPK+agrouhlí II	5,8c	96d	97b	101c	1622bc	33bc
5.Kompost+N	5,7c	65ab	84a	89b	1508ab	29ab
6.Kompost+N+agrouhlí I	6,4e	75c	87a	114d	1727c	24a
7.Kompost+N+agrouhlí II	6,2d	93d	110c	121d	1687c	36c

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

Tab. 21 Obsah mikroprvků (Mehlich 3) v půdě po sklizni pšenice (mg kg⁻¹)

Varianta hnojení	Cu	Zn	Al	Fe	Mn	B
1.Kontrola	1,9c	2,0ab	875b	157b	63a	0,620a
2.NPK	1,8bc	1,7a	885b	155ab	60a	0,500a
3.NPK+agrouhlí I	1,5a	2,3bc	852a	146a	86b	0,798a
4.NPK+agrouhlí II	1,8bc	2,4c	870b	155ab	61a	0,635a
5.Kompost+N	1,8bc	2,3bc	871b	151ab	57a	1,125a
6.Kompost+N+agrouhlí I	1,5a	2,6cd	839a	147a	82b	1,125a
7.Kompost+N+agrouhlí II	1,7b	2,8d	827a	147a	57a	0,813a

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

8.6 Agrochemické vlastnosti půdy

Obsah živin ve výměnné formě může více odpovídat reálné dostupnosti živin, než obsah živin dle Mehlicha, který charakterizuje spíše potenciální dostupnost. Na obsah výměnného K nemělo vliv minerální hnojení, ale byl průkazně zvyšován aplikací kompostu (tab. 22). V minerálně hnojené půdě byl obsah výměnného K průkazně zvyšován přídatkem agrouhlí I, v organicky hnojené oběma typy agrouhlí. Vyšší hodnoty byly zaznamenány po aplikaci agrouhlí II a byly průkazně vyšší než hodnoty naměřené v půdě s agrouhlím I. Obsah výměnného K v půdě byl v souladu s jeho dostupností dle Mehlicha 3.

Obsah výměnného Mg byl průkazně vyšší v organicky hnojené půdě než v půdě kontrolní varianty a půdě minerálně hnojené. Obsah Mg byl průkazně zvyšován přídatkem agrouhlí v organicky i minerálně hnojené půdě. Stejně jako obsah výměnného K i obsah výměnného Mg zhruba odpovídal jeho dostupnosti ve výluhu dle Mehlicha 3. Vliv na obsah výměnného Ca byl poměrně malý. Obsah Mn byl průkazně zvyšován minerálním hnojením a průkazně snižován přídatkem agrouhlí I při minerálním hnojení. Také v půdě organicky hnojené oba typy agrouhlí průkazně snižovaly obsah Mn ve srovnání s kontrolou i minerálně hnojenými variantami s agrouhlím.

Obsah výměnného Na byl průkazně vyšší po aplikaci agrouhlí I. To je v souladu s vysokým obsahem Na v agrouhlí I.

Kationtová výměnná kapacita byla při minerálním hnojení zvyšována agrouhlím I a při hnojení kompostem oběma typy agrouhlí. Vyšší hodnoty po přídatku agrouhlí se průkazně nelišily od kontrolní varianty, ale převyšovaly hodnoty varianty hnojené pouze minerálně, kde byla zaznamenána nejnižší hodnota (tab. 22).

Ve druhém roce pokusu byly nejnižší obsah kationtů a nejnižší hodnota KVK naměřeny v půdě varianty NPK (tab. 23). Pouze obsah Mn dosahoval nejvyšších hodnot v NPK hnojené půdě. Obsah K v minerálně hnojené půdě zvyšován přídatkem agrouhlí II a jeho obsah byl průkazně vyšší ve všech organicky hnojených variantách, kde byl navíc dále zvyšován aplikací agrouhlí II. Obsah Mg byl zvyšován oběma typy agrouhlí. Obsah Ca byl průkazně zvyšován přídatkem agrouhlí v minerálně hnojené půdě ve srovnání s minerálně hnojenou variantou bez agrouhlí. Nejvyšší hodnoty obsahu Ca byly zaznamenány v organicky hnojené půdě s oběma typy agrouhlí.

Tab. 22 Agrochemické vlastnosti půdy po sklizni kukuřice. Obsah výměnného K, Mg, Ca a Mn ve výluhu 0,1 M BaCl₂

Varianta hnojení	Obsah výměnného K (mekv kg ⁻¹)	Obsah výměnného Mg (mekv kg ⁻¹)	Obsah výměnného Ca (mekv kg ⁻¹)	Obsah výměnného Na (mekv kg ⁻¹)	Obsah výměnného Mn (mekv kg ⁻¹)	KVK (mekv kg ⁻¹)
1.Kontrola	1,0a	6,5b	68ab	0,4b	1,0c	77ab
2.NPK	0,8a	4,8a	63a	0,3a	1,3d	70a
3.NPK+agrouhlí I	1,2a	7,8c	80b	0,9c	0,9bc	91b
4.NPK+agrouhlí II	1,6b	8,2cd	68ab	0,4b	0,8b	79ab
5.Kompost+N	1,1a	7,1bc	69ab	0,4b	0,9bc	78ab
6.Kompost+N+agrouhlí I	1,4b	9,3d	78ab	0,9c	0,5a	90b
7.Kompost+N+agrouhlí II	2,0c	9,9d	75ab	0,4b	0,6a	88b

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

Tab. 23 Agrochemické vlastnosti půdy po sklizni pšenice. Obsah výměnného K, Mg, Ca a Mn ve výluhu 0,1 M BaCl₂

Varianta hnojení	Obsah výměnného K (mekv kg ⁻¹)	Obsah výměnného Mg (mekv kg ⁻¹)	Obsah výměnného Ca (mekv kg ⁻¹)	Obsah výměnného Na (mekv kg ⁻¹)	Obsah výměnného Mn (mekv kg ⁻¹)	KVK (mekv kg ⁻¹)
1.Kontrola	1,2a	6,5b	70ab	0,9a	0,495c	79ab
2.NPK	1,2a	4,0a	66a	0,9ab	0,590c	72a
3.NPK+agrouhlí I	1,2a	6,6b	79bc	1,9c	0,275b	88bc
4.NPK+agrouhlí II	1,8c	7,9c	82c	0,9ab	0,328b	95cd
5.Kompost+N	1,4b	7,0bc	77bc	1,2b	0,295b	87bc
6.Kompost+N+agrouhlí I	1,5b	9,0d	88c	2,0c	0,120a	100d
7.Kompost+N+agrouhlí II	2,1d	10,1e	87c	1,0ab	0,148a	100d

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

9. Závěr

V půdě hnojené vysokými dávkami živin byl prokázán pozitivní vliv agrouhlí II na úrodnost půdy i výnos. V souladu s hypotézami se jeho přínos projevil více ve druhém roce pokusu a v minerálně hnojené půdě. Agrouhlí I výnos spíše snižovalo, což mohlo být způsobeno omezením příjmu N, případně snížením obsah Cu v půdě. A přestože mělo agrouhlí I vysoký obsah Mn byl obsah Mn ve výměnné formě po jeho aplikaci nižší, což mohlo také limitovat výnos. Zvýšení výnosu po přidavku agrouhlí II by mohlo být vysvětleno zvýšením dostupnosti P, K nebo Zn, případně také zvýšením pH. Zvýšení pH spolu se zvýšením obsahu Mg a Ca však bylo srovnatelné nebo i vyšší po přidavku agrouhlí I, samo o sobě proto

Vliv agrouhlí na růst polních plodin a změny půdních vlastností při vysokých dávkách živin
pozitivní vliv agrouhlí II nevysvětluje. Oba typy agrouhlí také výrazně zvyšovaly hodnotu KVK.

Na výnos měl pozitivní vliv i kompost, který zvyšoval hodnotu pH, obsah K, Mg a Zn v půdě a příjem P a K rostlinou. Mechanismus, kterým přídavky agrouhlí a kompostu zvyšovaly dostupnost a příjem živin nelze na základě výsledků jednoznačně stanovit. Může jít o vstup živin v aplikovaných hnojivech ale i jejich zpřístupňování do biologicky dostupné formy. V půdě hnojené organicky však byl výnos pravděpodobně limitován nižší dostupností dusíku a je možné, že při zvýšení dávky minerálního dusíku by se předpokládané výhody kompostu i agrouhlí více projevíly.

10. Použitá literatura

- Zbíral, J., Čižmarová, 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., Čižmarová, E., Obdržálková, E., Rychlý, M., Vilamová, V., Srnková, J., Žalmanová, A., 2016. Jednotné pracovní postupy – analýza půd I. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský.
- Zbíral, J., Tieffová, P., Plhalová, Š., Urbánková, E., Niedobová, E., Strížová, I., Srnková, J., 2011. Jednotné pracovní postupy – analýza půd II. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 230 s.
- Zbíral, J., Malý, S., Váňa, M., Čuhel, J., Fojtlová, E., Čižmár, D., Žalmanová, A., Srnková, J., Obdržálková, E., 2011. Jednotné pracovní postupy – analýza půd III. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 253 s.

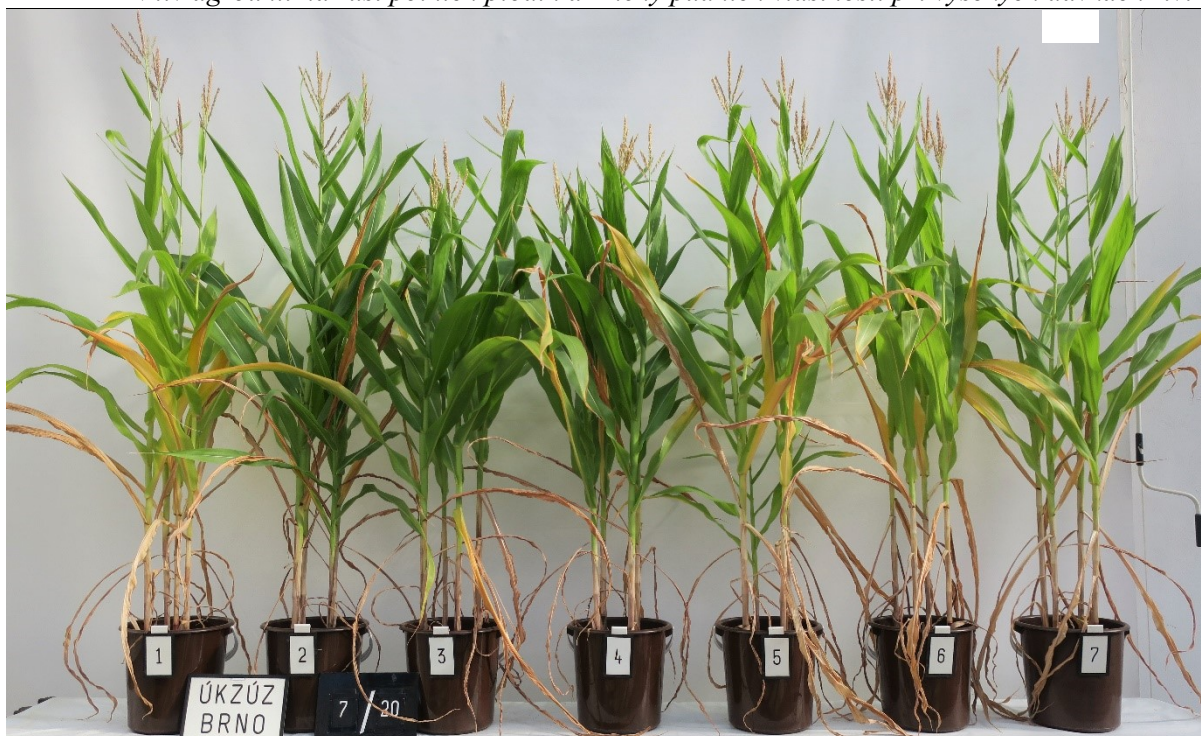
9. Fotodokumentace

Obr. 1 Rostliny kukuřice 7 týdnů po výsevu ve fázi 7. listu



1. Kontrola nehnojená
2. NPK
3. NPK+agrouhlí I
4. NPK+agrouhlí II
5. NPK+kompost
6. NPK+kompost+agrouhlí I
7. NPK+kompost+agrouhlí II

Obr. 2 Rostliny kukuřice před sklizní



Obr. 3 Rostliny pšenice ozimé ve fázi sloupkování



1. Kontrola nehnojená
2. NPK
3. NPK+agrouhlí I
4. NPK+agrouhlí II
5. NPK+kompost
6. NPK+kompost+agrouhlí I
7. NPK+kompost+agrouhlí II

Obr. 4 Rostliny pšenice ozimé před sklizní

