

Č.j.: UKZUZ 152520/2025

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

Oddělení výživy rostlin



Vliv minerální recyklace živin na výnos a biologickou aktivitu půdy
Zpráva o výsledcích vegetační nádobové zkoušky a mikrobiologických analýz

Zpracoval: Ing. Jaroslav Hynšt, Ph.D.
Markéta Vodáková
Mgr. Stanislav Malý, Ph.D.
Mgr. Jiří Čuhel, Ph.D.

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

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

Brno, srpen 2025

1. Úvod

Název zkoušky: Vliv minerální recyklace živin na výnos

Účel zkoušky: Jedním z klíčových principů hnojení je navracet do půdy živiny odčerpané výnosem. Koloběh živin je však také úzce propojen s biologickou aktivitou půdy, která se podílí na udržování dostupnosti živin. Ve vegetační nádobové zkoušce byl proto testován vliv rostoucí dávky dusíku na výnos předplodiny a vliv recyklace živin ze sklizené biomasy na výnos následně pěstovaných plodin a biologickou aktivitu půdy.

Cíle zkoušky: zjistit množství N, které může být aplikováno a recyklováno, aniž by došlo k přehnojení. Zjistit, jak rostoucí dávky ovlivňují parametry biologické aktivity půdy. Zjistit, jestli využití živin rostlinami souvisí s biologickou aktivitou půdy. Ověřit možnosti hnojení pro potřeby nádobových zkoušek.

Hypotézy a očekávané výsledky:

- Výnos roste s rostoucí dávkou N až do určité hranice
- Recyklace rostoucího množství N při rostoucí úrovni hnojení zvyšuje výnos následné plodiny až do určité hranice
- Návrat živin v množství odpovídajícím odběru živin předplodinou umožňuje udržení úrodnosti
- Recyklace rostoucího množství N při rostoucí úrovni hnojení zvyšuje biologickou aktivitu půdy

Druh zkoušky: vegetační nádobová zkouška byla založena na jaře 2021 ve vegetační hale ÚKZÚZ v Brně

Délka trvání zkoušky: vegetační rok 2021 - 2024

2. Chemické složení použitého hnojiva a testovaných přípravků

- Jako zdroj dusíku v minerální formě byla použita močovina s obsahem 46 % N
- Jako zdroj fosforu v minerální formě byl použit trojitý superfosfát s obsahem 20 % P
- Jako zdroj draslíku v minerální formě byl použit síran draselný s obsahem 42 % K

3. Vlastnosti použité půdy

K založení zkoušky byla použita ručně odebraná svrchní vrstva ornice z lokality Zbýšov (49.1315611N, 16.8127056E) - černozem (tab. 1).

Tab. 1 Základní agrochemické vlastnosti půdy použité k založení zkoušky

Parametry	půdní reakce pH/CaCl ₂	obsah živin ve výluhu Mehlich III mg kg ⁻¹ a hodnocení dle kritérií			
		P	K	Mg	Ca
hodnocení	7,8	45,5	217,3	818,4	7894
	alkalická	nízký	dobrý	velmi vysoký	velmi vysoký

4. Zkoušené plodiny

1. rok (2021): Předplodina: Řepka jarní (*Brassica napus*) - odrůda Cleopatra
Následná plodina: Kukuřice (*Zea mays*) - odrůda Pesandor
2. rok (2022): Ječmen jarní (*Hordeum vulgare*) – odrůda Laudis 550
3. rok (2023): Kukuřice (*Zea Mays*) - odrůda Honoreen
4. rok: Ječmen jarní (*Hordeum vulgare*) - odrůda Laudis 550

5. Dávky hnojiv a schéma vegetační nádobové zkoušky

Schéma vegetační zkoušky a dávky živin aplikované při založení zkoušky (před výsevem řepky) jsou uvedeny v tabulce 2. Tabulka 3 uvádí dávky živin aplikované k předplodině (ječmen jarní) ve druhém roce pokusu, tabulka 4 dávky živin aplikované ve třetím roce pokusu a v tabulce 5 je uvedeno schéma aplikace hnojiv do jednotlivých nádob ve třetím roce pokusu před výsevem kukuřice.

Následné plodiny byly hnojeny minerálními hnojivy v dávkách, které odpovídaly odběru N, P a K výnosem předplodiny.

Tab. 2 Schéma vegetační nádobové zkoušky a dávky živin aplikované při založení zkoušky před výsevem řepky

Označení	Varianta	Počet opakování	Dávky živin k první plodině (kg ha ⁻¹)		
			N	P	K
1	0	5	0	30	150
2	100	5	100	30	150
3	200	5	200	30	150
4	300	5	300	30	150

Tab. 3 Dávky živin aplikované k ječmenu ve 2. roce pokusu při různých úrovních hnojení

Dávka dusíku (kg N ha ⁻¹)	Dávky živin kg ha ⁻¹		
	N	P	K
0	57	10,9	180
100	104	19,1	254
200	171	19,6	255
300	207	22,4	256

Tab. 4 Dávky živin odpovídající odběru živin výnosem předcházející plodiny (ječmen) při různých úrovních hnojení ve třetím roce zkoušky před výsevem kukuřice

Dávka dusíku (kg N ha ⁻¹)	Dávky živin kg ha ⁻¹		
	N	P	K
0	53	15.0	167
100	91	20.7	204
200	147	22.5	224
300	192	21.5	256

Tab. 5 Dávky minerálních hnojiv do nádob ve 3. roce zkoušky před výsevem kukuřice

Označení	Varianta	Dávka hnojiva		
		Močovina (g nádoba ⁻¹)	Superfosfát (g nádoba ⁻¹)	Síran draselný (g nádoba ⁻¹)
5	0	0,6	0,4	2,0
6	100	1,0	0,5	2,4
7	200	1,6	0,6	2,7
8	300	2,1	0,5	3,0

6. Způsob hnojení

Aplikace hnojiv: minerální hnojivo bylo zapraveno do půdy před výsevem plodiny. Minerální živiny byly aplikovány formou močoviny, superfosfátu a síranu draselného v dávce odpovídající odběru živin předchozí plodinou, vypočítanému pro každou nádobu.

7. Technika založení a průběh zkoušky

Celkový rozsah zkoušky: 4 varianty x 5 opakování
Celkem 20 vegetačních nádob

Technika provedení pokusu:

- po sklizni předplodiny (ječmen) byla půda v nádobách homogenizována a kořeny zapraveny do spodní části nádoby
- do každé nádoby bylo 4. 5. 2023 vyseto 9 zrn kukuřice, po vzejití (12. 5. 2023) bylo 19. 5. 2023 provedeno vyjednání na 4 vyrovnané rostliny v každé nádobě
- pod každou vegetační nádobou byla umístěna miska pro zachycení přebytečné závlivkové vody, pro případný návrat zpět do nádoby.
- růstové rozdíly mezi variantami byly vyfotografovány
- během vegetace byl sledován zdravotní stav rostlin, proti bzunce ječné byly 27. 5. 2023 aplikovány přípravky Decis Mega (0,02 %) a Mospilan (0,02 %).
- 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
- sklizeň byla provedena 3. 8. 2023
- po sklizni kukuřice byly odebrány vzorky půdy pro mikrobiologické analýzy

Hodnocené parametry:

- výnos sušiny kukuřice, ze všech opakování a všech variant
- Analýza rostlin: ve vzorcích sušiny kukuřice z každé nádoby bude stanoven celkový obsah N, P, K, Mg a Ca podle JPP postup č. 40053.1 (Zbíral a kol., 2014).
- po sklizni kukuřice byly odebrány vzorky půdy, ve kterých byly stanoveny vybrané mikrobiologické parametry.
 - Obsah extrahovatelného uhlíku (C_{ext}) a dusíku (N_{ext}), obojí v 0,5 M K_2SO_4
 - Obsah uhlíku (C_{bio}) a dusíku (N_{bio}) v mikrobiální biomase
 - Bazální respirace (RB)
 - Substrátem indukovaná respirace (RS)
 - Respirační křivky a z nich odvozené parametry, specifická růstová rychlost (μ) a čas pro dosažení maximální růstové rychlosti ($t_{peakmax}$)
 - Rychlost nitrifikace (SNA)
 - Obsah vodorozpustného uhlíku (WSC)
 - Obsah vodorozpustného dusíku (WSN)
 - Obsah horkou vodou extrahovatelného uhlíku (HWSC)
 - Obsah horkou vodou extrahovatelného dusíku (HWSN)
 - Podíl A254 vodného půdního extraktu a WSC (SUVA)
 - Podíl A254 horkého vodného půdního extraktu a HWSC (HSUVA)

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 rostl do úrovně hnojení odpovídající 200 kg N ha⁻¹ (tab. 6), další zvyšování dávky výnos dále zvyšovalo, ale rozdíl už nebyl průkazný.

Tab. 6 Vliv dávky dusíku na výnos **sušiny kukuřice** (t ha⁻¹) při různé úrovni minerálního hnojení

Výnos sušiny	Dávka minerálního dusíku (kg N ha ⁻¹)			
	0	100	200	300
	18,2a	29,7b	39,0bc	44,3c

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

Obsah živin v sušině kukuřice

Aplikace rostoucích dávek živin v minerální formě zvyšovala obsah N v sušině (tab. 7). Obsah P a K klesal s rostoucí dávkou N, nárůst biomasy byl větší než příjem živin, a proto došlo k jejich naředění ve větším objemu biomasy.

Tab. 7 Srovnání vlivu dávky minerálního hnojiva na obsah živin v sušině kukuřice při různých úrovních hnojení

Dávka N (kg N ha ⁻¹)	Obsah živin v sušině kukuřice (%)				
	N	P	K	Mg	Ca
0	0,331a	0,112b	1,322b	0,171a	0,219a
100	0,370a	0,099b	1,178b	0,188a	0,230a
200	0,402a	0,065a	0,917a	0,194a	0,217a
300	0,477b	0,055a	0,952a	0,230b	0,245a

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

Odběr živin výnosem kukuřice a srovnání s následnou plodinou

Odběr N se průkazně zvyšoval s rostoucí dávkou dusíku (tab. 8). Současně se zvyšoval i odběr ostatních prvků kromě P, jehož odběr byl hnojením zvýšen jen málo a v půdě ho byl zřejmě nedostatek. Výnos byl limitován dusíkem v celém rozsahu aplikovaných dávek a dusík byl efektivně využit plodinou. Využití aplikovaného N výnosem kukuřice dosahovalo v rozmezí použitých dávek téměř 100 % a z 50 – 190 kg N ha⁻¹ bylo sklizní odčerpáno opět mezi 50 – 190 kg N ha⁻¹. Nárůst odběru N byl téměř lineární a rostliny by zřejmě dokázaly asimilovat i vyšší dávky N.

Odběr N výnosem ječmene, který byl pěstován jako následná plodina po kukuřici, se průkazně zvyšoval s rostoucí dávkou dusíku (tab. 9). Současně se zvyšoval i odběr P, K a Mg, ale změny v čerpání těchto živin byly menší než v případě dusíku. Odběr všech živin byl výrazně nižší než odpovídající hodnoty odběru výnosem kukuřice. Jednou z možných příčin pozorovaného snížení může být omezená recyklace živin v půdě v důsledku omezené biologické aktivity.

Tab. 8 Srovnání vlivu dávky minerálního hnojiva na odběr živin výnosem kukuřice při různých úrovních hnojení

Dávka N	Odběr živin výnosem kukuřice (kg ha ⁻¹)				
	N	P	K	Mg	Ca
0	54,2a	18,2a	214,1a	27,9a	35,7a
100	99,5b	26,6a	314,4b	49,9ab	61,2b
200	142,8b	23,2a	326,3b	69,4b	77,2bc
300	193,4c	22,0a	382,3b	93,8c	99,7c

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

Tab. 9 Odběr živin výnosem ječmene (kg ha⁻¹) při různých úrovních hnojení

Dávka N	N	P	K	Mg	Ca
0	40,5b	9,3b	75,2b	13,2b	21,3b
100	66,1c	12,3c	125,7c	16,7c	25,9bc
200	92,1d	15,3d	143,4cd	19,1c	25,8bc
300	119,4e	13,8cd	169,7d	19,4c	27,6c

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

Mikrobiologické parametry půdy

Obsah C v mikrobiální biomase a obsah extrahovatelného C narůstaly s rostoucí dávkou N (Tab. 10). Obsah N_{ext} byl hnojením zvyšován jen neprůkazně, obsah N_{bio} narůstal do úrovně hnojení 200, další nárůst byl neprůkazný. Nárůst obsahu C byl v souladu se zvyšováním výnosu a růst výnosu byl zřejmě spojen s vyšší produkcí podzemní biomasy a kořenových exudátů, které

jsou zdrojem tohoto C. Obecně však byl obsah uhlíku nízký, což je jeden z důvodů nízké biologické aktivity. Malý a kol. (2009) uvádějí vyšší hodnoty mikrobiální biomasy a respirace stanovené srovnatelnými metodami. Také obsah N v půdě byl nízký, rostliny zřejmě spotřebovaly většinu přidaného N a jak rostliny, tak i půdní organismy by dokázaly využít i vyšší dávku.

I když hodnoty sledovaných parametrů biologické aktivity rostly s rostoucí dávkou, při vyšších úrovních hnojení byl nárůst poměrně malý. To by mohlo být vysvětleno nedostatkem P v půdě, který se projevil výrazným poklesem obsahu P v sušině rostlin při vyšších dávkách N (tab. 7). Půdní mikroorganismy mají vyšší nároky na dostupnost P než rostliny (Čapek a kol., 2018) a jejich aktivita mohla být nedostatkem P limitována. Omezená biologická aktivita by mohla vysvětlovat omezené zpřístupňování živin z půdních zásob pro ječmen, který byl pěstován jako následná plodina. I když bylo výnosem kukuřice využito 90 % aplikovaného dusíku, z dávky 100 – 300 kg N ha⁻¹, aplikované při založení pokusu, se v posledním roce pokusu ve výnosu objevila zhruba polovina tohoto množství.

Důležitou funkcí půdy je recyklace živin z posklizňových zbytků, kořenů a dalších zdrojů organické hmoty v půdě. Při nízké biologické aktivitě půdy tento proces neprobíhá dostatečně rychle a udržení úrodnosti vyžaduje nahrazování nevyužitých živin dalšími vstupy. Půdní organismy mají také nároky na živiny a dostatek živin v půdě nebo v rozkládané biomase je nezbytný pro jejich činnost včetně zpřístupňování živin.

Tab. 10 Obsah extrahovatelného C a N v půdě a obsah C a N v mikrobiální biomase v půdě při různých úrovních hnojení dusíkem

Dávka N (kg N ha ⁻¹)	C _{ext} (μg C g ⁻¹)	N _{ext} (μg N g ⁻¹)	C _{bio} (μg C g ⁻¹)	N _{bio} (μg N g ⁻¹)
0	47,1a	5,7a	175a	28,1a
100	54,0b	6,3a	183a	29,2a
200	59,0bc	6,2a	237ab	40,1b
300	62,5c	6,6a	282b	46,5b

Rychlost respirace rostla s rostoucí dávkou N. Hodnota μ s rostoucí dávkou naopak klesala. Ostatní parametry rostly do úrovně hnojení 200 (Tab. 11).

Tab. 11 Rychlost respirace (RSS), substrátem indukovaná respirace (SRS), rychlost růstu (μ), čas dosažení maximální růstové rychlosti, rychlost amonifikace (AMO) a rychlost nitrifikace v půdě při různé úrovni hnojení dusíkem.

Dávka N (kg N ha ⁻¹)	RSS (μg O ₂ g ⁻¹ h ⁻¹)	SRS (μg O ₂ g ⁻¹ h ⁻¹)	μ (h ⁻¹)	T _{peakmax} (h)	AMO (μg NH ₄ ⁺ g ⁻¹ d ⁻¹)	SNA (μg NO ₂ ⁻ g ⁻¹ h ⁻¹)
0	0,497a	10,5a	0,216b	23,7a	0,154a	333,5a
100	0,646ab	12,8a	0,199ab	22,9ab	0,411b	503,3b
200	0,829b	18,3b	0,179a	22,8ab	1,368c	716,8c
300	1,111c	20,3b	0,179a	21,9b	1,535c	767,1c

Obsah vodorozpustných forem C a N (tab. 12) měl podobný trend jako obsah C a N extrahovatelných roztokem neutrální soli (tab. 9). Hodnoty SUVA a HSUVA byly podobné při všech úrovních hnojení (tab. 12).

Tab. 12 Obsah vodorozpuštěných frakcí C (WSC) a N (WSN), obsah horkou vodou rozpustných frakcí C (HWSC) a N (HWSN), podíl A_{254} vodného půdního extraktu a WSC (SUVA) v půdě při různých úrovních hnojení dusíkem

Dávka N	WSC ($\mu\text{g C g}^{-1}$)	WSN ($\mu\text{g N g}^{-1}$)	HWSC ($\mu\text{g C g}^{-1}$)	HWSN ($\mu\text{g N g}^{-1}$)	SUVA ($A_{254} \mu\text{g C}^{-1} \text{ml}^{-1}$)	HSUVA ($A_{254} \mu\text{g C}^{-1} \text{ml}^{-1}$)
0	35,1a	4,3a	208,2a	24,3a	0,031a	0,021a
100	39,2ab	4,4a	217,5a	27,8ab	0,028a	0,020a
200	47,3ab	6,3a	231,5a	28,5b	0,026a	0,021a
300	50,3b	4,8a	231,6a	28,5b	0,027a	0,021a

9. Závěry

Výnos byl zvyšován rostoucí dávkou N až do 300 kg N ha⁻¹. Také odběr N výnosem rostl až do nejvyšší dávky, aplikovaný dusík byl efektivně využit a zhruba odpovídal množství N odčerpanému z půdy výnosem předchozí plodiny. Biologická aktivita půdy byla v podmínkách pokusu zvyšována rostoucí dostupností dusíku, ale při vyšších dávkách dusíku byla zřejmě limitována dostupností fosforu. Mikroorganismy mají větší nároky na P než rostliny a jejich aktivita mohla být značně omezena jeho nedostatkem. Rostliny i půda by pravděpodobně dokázaly využít i vyšší dávky obou živin než dávky použité v pokusu. Nízká biologická aktivita půdy může zpomalit také zpřístupňování živin z půdních zásob. To by mohlo současně znamenat, že udržení úrodnosti vyžaduje nahrazování nevyužitých živin dalšími vstupy, což je z dlouhodobého hlediska neudržitelné. Dávka potřebná k dosažení nejvyššího výnosu proto nemusí být dostatečná z hlediska zachování úrodnosti půdy. Z výsledků vyplývá, že biologická aktivita vyžaduje dostatečné zdroje minerálních živin a nedostatek živin může biologickou aktivitu a s ní i úrodnost půdy omezovat.

10. Použitá literatura

Čapek, P., S. Manzoni, E. Kaštovská, B. Wild, K. Diáková, J. Bárta, J. Schnecker, C. Blasi, P. J. Martikainen, R. J. Eloy Alves, G. Guggenberger, N. Gentsch, G. Hugellus, J. Palmtag, R. Mikutta, O. Shibistova, T. Urich, C. Schleper, A. Richter, H. Šantrůčková. 2018. A plant-microbe interaction framework explaining nutrient effects on primary production. *Nature Ecology and Evolution* 2: 1588-1596. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0662-8>

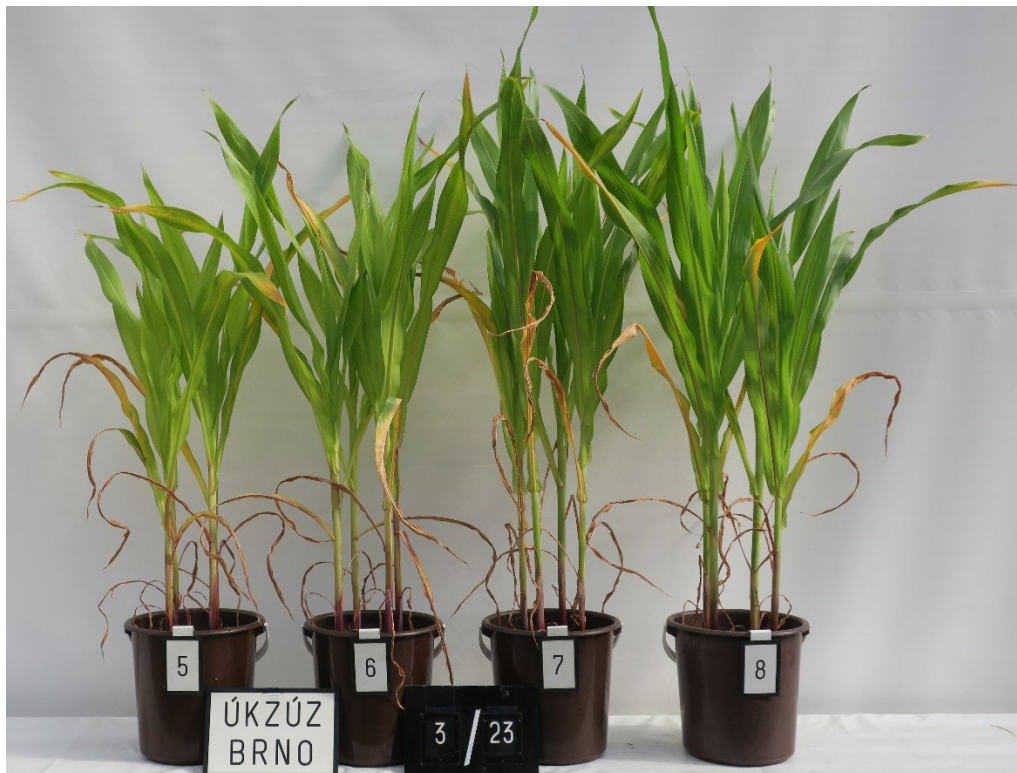
Malý, S., Královec, J., Hampel, D., 2009. Effects of long-term mineral fertilization on microbial biomass, microbial activity, and the presence of r- and K-strategists in soil. *Biol. Fertil. Soils* 45, 753-760. <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0388-5>.

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.

11. Fotodokumentace

Obr 1. Rostliny kukuřice, fáze 6. listu. Čísla nádob 5, 6, 7, 8 odpovídají variantám 0, 100, 200 a 300



Obr 2. Rostliny kukuřice před sklizní. Čísla nádob 5, 6, 7, 8 odpovídají variantám 0, 100, 200 a 300

