

**Mendelova univerzita v Brně
Zemědělský výzkum, spol. s r.o.**

Uplatněná certifikovaná metodika pro praxi

Metodika 59/23

**METODIKA PŘÍPRAVY A APLIKACE SÍRY KOMBINOVANÉ SE
STATKOVÝMI HNOJIVY DO ORNÉ PŮDY PRO ZVÝŠENÍ OBSAHU SÍRY
V PLODINÁCH A ZLEPŠENÍ PŮDNÍCH VLASTNOSTÍ**

Ing. Martin Brtnický
Ing. Tereza Hammerschmiedt
Ing. Antonín Kintl
Ing. Ondřej Malíček
Ing. Oldřich Látal, Ph.D.
Mgr. Jiří Holátko, Ph.D.

Brno 2023

Autoři

- ¹ Ing. Martin Brtnický
- ¹ Ing. Tereza Hammerschmiedt
- ^{1,2} Ing. Antonín Kintl
- ¹ Ing. Ondřej Malíček
- ¹ Ing. Oldřich Látal, Ph.D.
- ¹ Mgr. Jiří Holátko, Ph.D.

¹ Mendelova univerzita v Brně

² Zemědělský výzkum, spol. s r.o.

Dedikace:

Uplatněná certifikovaná metodika byla vypracována za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci projektu číslo TH04030142 „Využití odpadu produkovaného při výrobě bioplynu ke zlepšení půdních vlastností a zvýšení obsahu síry v rostlinách“.

Certifikace:

Metodika byla certifikována Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským osvědčením č. UKZUZ 031757/2023 ze dne 27.2.2023.

Oponovali:

Prof. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D., Vysoké učení technické v Brně
RNDr. Jiří Čuhel, Ph.D., Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Vydavatel:

© Zemědělský výzkum, spol. s r.o.
Zahradní 1, 664 41 Troubsko

ISBN:

978-80-88000-40-2

Metodika je volně dostupná ke stažení v elektronické verzi na odkazu:

<https://www.vupt.cz/cz/odborne-informace/metodiky-technologie-pro-praxi>

OBSAH

ABSTRAKT	4
KLÍČOVÁ SLOVA	4
CÍL METODIKY	4
ÚVOD	5
VLASTNÍ POPIS METODIKY	6
Charakteristika lokality a zemědělského podniku	6
Postup realizace	6
Odběr půdních vzorků a jejich analýzy	10
Hodnocení vybraných půdních parametrů a mimoekonomického přínosu	10
Hodnocení ekonomických přínosů	15
Srovnání „novosti postupů“	16
Popis uplatnění certifikované metodiky	16
SOUHRN	17
POUŽITÁ LITERATURA	18
SOUVISEJÍCÍ VÝSLEDKY DOSAŽENÉ BĚHEM ŘEŠENÍ PROJEKTU TH04030142	22

ABSTRAKT

Na pozemcích Zemědělské společnosti Sloveč, a.s. byly pro ověření metodických postupů v reálných podmínkách postupně založeny v letech 2021 a 2022 na vybraných lokalitách poloprovozní pokusy s řepkou ozimou. Ověřována byla aplikace organického hnojiva (hnoje) obohaceného o odpadní síru na vybrané půdní parametry, vůči standardní organické hmotě (hnojení hnojem bez přídavku). Pro účely ověřování výsledku byl v rámci daného managementu obhospodařování dále hodnocen výnos a posouzen ekonomický přínos. Inovační aspekt dosaženého výsledku spočívá v realizaci nových metodických postupů založených na ověření vlivu aplikace organických hnojiv (hnoje) obohacených o odpadní síru na změnu vybraných půdních parametrů v rámci daného managementu obhospodařování, s dopadem do výnosu a ekonomiky. Přísun kvalitní organické hmoty do půdy je žádoucí z hlediska zachování jejího úrodnostního potenciálu a ochrany půdního fondu. Vzhledem ke zvýšení hektarových výnosů průměrně až o 322 kg/ha v porovnání s kontrolou přispěje zavedení nově ověřených metodických postupů ke zvýšení konkurenceschopnosti v zemědělské prvovýrobě u produkce zrna řepky olejné.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hněj; elementární síra; půdní parametry; výnos; ekonomika

CÍL METODIKY

Cílem této metodiky je poskytnout zemědělským podnikům hospodařících na orné půdě informace, jak vlivem aplikace organického hnojiva (hnoje) obohaceného o odpadní síru zlepšit nejen výnos a ekonomickou bilanci pěstování řepky olejné, ale také vybrané půdní parametry. Pro účely ověřování daného výsledku v rámci sledovaného managementu obhospodařování byl hodnocen výnos a jeho kvalitativní parametry, ekonomický přínos a posouzeno zachování produkčních vlastností půdy.

ÚVOD

Jedním z hlavních negativních důsledků špatného hospodaření s půdou, neudržitelných zemědělských postupů, znečištění, větrné a vodní eroze je ztráta organické hmoty (SOM) v půdě (Virto et al. 2014; Richmond 2015; Montanarella 2016). Aplikace organických hnojiv může obnovit a udržet vhodný obsah SOM v půdě (Liu et al. 2006). Hnůj je nejrozšířenějším typem organického hnojiva s klíčovou rolí při udržování kvalitní orné půdy v udržitelném zemědělství (Kirchmann a Thorvaldsson 2000). Aplikace hnoje do půdy jako alternativního zdroje živin vhodného pro správnou zemědělskou praxi může zpomalit okyselování půdy vyvolané zejména aplikací minerálních hnojiv (Shi et al., 2019). Fertilizace hnojem pozitivně ovlivňuje nejen tvorbu SOM, ale zlepšuje půdní strukturu i úrodnost půdy (Mustafa et al. 2020; Mustafa et al. 2021). Hnůj je dobrý zdroj živin, zejména uhlíku, dusíku, fosforu a dalších minerálů jak pro rostliny, tak pro půdní organismy včetně mikrobů (Qaswar et al. 2019). Kromě toho hnůj významně přispívá ke zvýšení akumulace vody v půdě, výnosu plodin a půdní mikrobiální aktivitě (Wang et al. 2016; Hoover et al. 2019; Ashraf et al. 2021). Du et al. (2020) zaznamenal, že pravidelná aplikace hnoje do půdy měla pozitivní vliv na zvýšení hektarových výnosů o 7,6 % oproti minerálnímu hnojení. Dále zjistil pozitivní vliv na zvýšení hodnoty pH půdy o 3,3 %, zvýšení vodostálosti agregátů o 28,8 %, zvýšení koncentrace půdního organického uhlíku o 17,7 % a dále na snížení objemové hmotnosti o 3,9 %.

Řepka ozimá je plodina náročná na výživu sírou (Karamanos et al. 2007). Proto je efektivní management hnojení sírou důležitou součástí produkce řepky. Evropské zemědělství v poslední době čelí nedostatku síry v půdě v důsledku vyšších výnosů plodin, snižující se mineralizace síry z půdní organické hmoty i snížené sekvestrace ukládáním atmosférické síry, neboť emise SO_2 byly sníženy na 20 % ve srovnání s úrovněmi před 30 lety (Hoesly et al. 2018). Z obecných údajů půdních rozborů provedených v ČR vyplývá, že 85 % půd má nízký obsah síry (Kulhanek et al. 2018). Přitom dostatečný obsah síry v půdě je důležitý i pro další plodiny a půdní vlastnosti. Elementární síra (S^0) je vhodným zdrojem síry, s pomalým uvolňováním této živiny, což žádoucím způsobem ovlivňuje její dlouhodobou koncentraci v půdě. S^0 může být zdrojem živin pro rostliny i mikroorganismy, lze ji použít k regulaci pH v procesu kompostování (Roig et al. 2004) i k úpravě čistírenských kalů určených k hnojení. Protože elementární síra není rozpustná ve vodě, musí ji půdní bakterie oxidovat na sírany, aby ji mohly rostliny využít k výživě. Proces její oxidace je vhodné urychlit postupem použitým před aplikací do půdy.

Úprava hnoje elementární sírou představuje jeden z takových postupů, které jeví slibné výsledky v některých předchozích studiích. Aplikace elementární síry zvyšuje dostupnost živin (Skwierawska et al. 2016; Bouranis et al. 2019), zejména ve vápenitých půdách (Soaud et al. 2011; Besharati 2017), slouží jako přísada měnící fyzikálně-chemické vlastnosti půdy (Skwierawska et al. 2008; Abou Hussien et al. 2020). Navíc má potenciál zvýšit výnosy (Soltanaeva et al. 2018). Ačkoli byl vliv elementární síry na kvalitu hnoje, vlastnosti půdy a růst rostlin při popsán v několika studiích (Mahimairaja et al. 1994; Garcia de la Fuente et al. 2007; Godlewska 2018), metodické postupy pro tento způsob společné úpravy a užití obou půdních hnojiv (hnůj, S^0) v ČR dosud chybí.

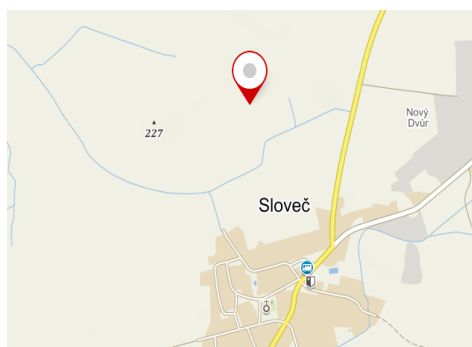
VLASTNÍ POPIS METODIKY

Na pozemcích Zemědělské společnosti Sloveč, a.s. byly pro ověření metodických postupů v reálných podmínkách postupně založeny v letech 2021 a 2022 na vybraných lokalitách poloprovozní pokusy s řepkou ozimou. Ověřována byla aplikace organického hnojiva (hnoje) obohaceného o odpadní síru na vybrané půdní parametry, vůči standardní organické hmotě (hnojení hnojem bez přídavku). Pro účely ověřování výsledku byl v rámci daného managementu obhospodařování dále hodnocen výnos a posouzen ekonomický přínos.

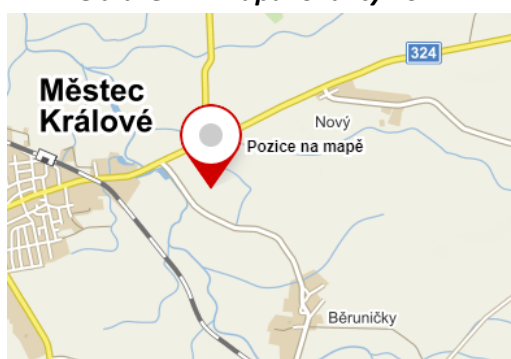
Charakteristika lokality a zemědělského podniku

Podnik se nachází ve Středočeském kraji ve výrobní oblasti řepařské. Poloprovozní pokusy probíhaly v roce 2021 v blízkosti obce Sloveč a v roce 2022 v blízkosti obce Městce Králové. Jedná se o klimatický region teplý a suchý – T2. Průměrná nadmořská výška je 212 m n. m., průměrná roční teplota 9,4 °C a průměrný roční úhrn srážek 550–600 mm. V této oblasti se nachází převážně těžká černozem.

Podnik obhospodařuje celkem 2 999 ha zemědělské půdy. V rámci rostlinné výroby podnik pěstuje plodiny jak tržní, tak i pro zabezpečení krmné základny: pšenice ozimá, pšenice jarní, ječmen ozimý, ječmen jarní, řepka ozimá, řepa cukrovka, silážní kukuřice, sója, mák, len setý a víceleté pícniny na orné půdě. V rámci živočišné výroby je podnik specializován na chov dojného skotu. Základní stádo se sestává z 747 dojnic plemene holštýnský skot a kříženci. Celková roční produkce hnoje v podniku je 12 000 tun.



Obrázek 1: Mapa lokality 2021



Obrázek 2: Mapa lokality 2022

Postup realizace

Vybraný pozemek s poloprovozními variantami byl rozdělen do jednotlivých variant v souladu s Tabulkou 1 o velikosti každé varianty cca 0,4 ha dle záběru stroje. Pro účely následného vzorkování byla každá varianta rozdělena na 3 stejnoměrné díly (subvarianty). Aplikace hnoje, síry a dodatkové hnojení byla provedena v souladu s osevním plánem. Pozemek byl obhospodařován standardními agrotechnickými postupy v místě obvyklými.

Tabulka 1: Varianty pokusu a aplikace

Varianta a aplikace		APLIKACE t/ha	
		2021	2022
kontrola (pouze NPK)	K	-	-
síra	S	0,15	0,15
hnůj	H	40	40
hnůj + síra	H + S	40 + 0,15	40 + 0,15

Elementární síra pochází z odsiřovacího zařízení THIOPAQ (Paques, Holandsko), které je využíváno k čištění bioplynu. Jedná se o sypký vedlejší produkt s obsahem síry 73–78 %, který je možné využít jako náhradu sirných hnojiv. Aplikáční dávka byla přepočítána na 150 kg čistých živin na hektar.

Hnůj byl vyroben dle standardních výrobních postupů přímo v zemědělském podniku a pocházel od různých kategorií skotu ustájených na podestýlce. Po vyvezení ze stáje byl vytvarován do figury a zakryt plachtou zajištěnou proti povětrnostním podmínkám.

Hnůj se sírou byl vyroben dle metodiky na hnojišti, kdy předepsaná dávka elementární síry byla rovnoměrně vmíchána do hnoje s využitím mechanizace (nakladače). Hnůj byl poté vytvarován do figury a zakryt plachtou po dobu alespoň 2 měsíců z důvodu zlepšení kvality fermentačního procesu, snížení produkce volného amoniaku a zamezení vniknutí srážek.

Aplikace hnoje, hnoje v kombinaci s elementární sírou a elementární síry samotné byla provedena v srpnu 2020 a 2021. K aplikaci na pole byla využita rozmetadla statkových hnojiv (hnůj a jeho kombinace se sírou). Samotná síra byla aplikována s využitím rozmetadla průmyslových hnojiv.

Po aplikacích byl pozemek obhospodařován dle agrotechnických postupů v místě obvyklých.

Tabulka 2: Průměrné chemické parametry aplikovaných organických hnojiv

Hnojivo	pH	Cox	C	N	P	K	S
	-	%	%	%	g/kg	g/kg	%
Hnůj	9,32±0,38 ^a	14,11±0,58 ^a	38,70±1,58 ^a	4,51±0,18 ^b	4,19±0,17 ^b	30,47±1,24 ^b	0,78±0,03 ^b
Hnůj + síra	8,42±0,34 ^a	12,91±0,53 ^a	35,07±1,43 ^a	7,41±0,30 ^a	4,87±0,20 ^a	38,93±1,59 ^a	1,59±0,06 ^a

Pozn.: Hodnoty jsou uvedeny v sušině jako průměr ± směrodatná odchylka (n=3); různá písmena značí statistické rozdíly mezi variantami na ≤ 5% hladině statistické významnosti na základě t-testu.



Obrázek 3: Pohled na uskladnění zaplachtovaného hnoje (polní hnojiště) před aplikací

Rok 2021

V roce 2020 byla vybrána lokalita „Drážka“ (GPS: 50.2366456 N, 15.3176817 E), kde bylo v souladu s plánem činností poloprovozních pokusů pro rok 2021 provedeno dne 28. 8. 2020 setí řepky ozimé

odráždy TREZZOR o výsevku 0,85 VJ/ha (340 semen/m²). Organické hnojení, elementární síra a zásobní živiny (NPK u variant bez organického hnojení) byly aplikovány dle metodiky v srpnu 2020. Celoplošné přihnojení třemi dávkami průmyslových hnojiv bylo provedeno v měsících března až dubna 2021. Celková dávka živin byla stanovena dle normativu na N₁₇₀P₃₅K₁₇₅.

V průběhu hospodářského roku 2020/2021 byla hodnocena tři růstová stádia rostlin řepky ozimé dle Baiera et al. (1988) při průměrné analýze a odběru 3×50 rostlin / varianta:

- I. hodnocení [rozvinutí čtyř až šesti pravých listů] dne 20. 11. 2020;
- II. hodnocení [plný květ: asi 50 % květů na hlavním stonku otevřených] dne 1. 6. 2021;
- III. hodnocení [druhá technická zralost] dne 23. 7. 2021.

Tabulka 3: Hodnocení růstových stádií řepky ozimé a výnosů 2021

Varianta	Výška 1 rostliny (cm)		Výnos (kg/ha)
	20.11.	1.6.	23.7.
K	20,5	115,8	2 592±102 ^b
S	21,9	124,7	2 624±103 ^b
H	22,9	134,6	2 899±113 ^{ab}
H+S	23,6	123,8	3 003±117 ^a

Pozn.: Hodnoty jsou uvedeny jako průměr ± směrodatná odchylka (n=3); různá písmena značí statistické rozdíly mezi variantami na ≤ 5% hladině statistické významnosti na základě Tukeyho testu.

Výnos plodin u jednotlivých variant byl vyhodnocen s využitím standardní samojízdné sklízecí mlátičky dne 23. 7. 2021.



Obrázek 4: Sklizeň řepky ozimé (23. 7. 2021)

Rok 2022

V roce 2021 byla vybrána lokalita „Městecká“ (GPS: 50.2079661 N, 15.3221019 E), kde bylo v souladu s plánem činností poloprovozních pokusů pro rok 2022 provedeno dne 10. 9. 2021 setí řepky ozimé odráždy TREZZOR o výsevku 0,85 VJ/ha (340 semen/m²). Organické hnojení, elementární síra a zásobní živiny (NPK u variant bez organického hnojení) byly aplikovány dle metodiky v září 2021. Celoplošné přihnojení třemi dávkami průmyslových hnojiv bylo provedeno v měsících března až dubna 2022. Celková dávka živin byla stanovena dle normativu na N₁₇₀P₃₅K₁₇₅.

V průběhu hospodářského roku 2021/2022 byla hodnocena tři růstová stádia rostlin řepky ozimé dle Baiera et al. (1988) při průměrné analýze a odběru 3×50 rostlin / varianta:

- I. hodnocení [rozvinutí čtyř až šesti pravých listů] dne 23. 11. 2021;
- II. hodnocení [plný květ: asi 50 % květů na hlavním stonku otevřených] dne 13. 5. 2022;
- III. hodnocení [druhá technická zralost] dne 21. 7. 2022.

Tabulka 4: Hodnocení růstových stádií řepky ozimé a výnosů 2022

Varianta	Výška 1 rostliny (cm)		Výnos (kg/ha)
	23.11.	13.5.	21.7.
K	10,7	68,4	3 917±155 ^a
S	12,2	89,1	4 017±160 ^a
H	12,3	82,3	4 017±159 ^a
H+S	14,2	95,2	4 150±161 ^a

Pozn.: Hodnoty jsou uvedeny jako průměr ± směrodatná odchylka (n=3); různá písmena značí statistické rozdíly mezi variantami na ≤ 5% hladině statistické významnosti na základě Tukeyho testu

Výnos plodin u jednotlivých variant byl vyhodnocen s využitím standardní samojízdné sklízecí mlátičky dne 21. 7. 2022.



Obrázek 5: Průběžné hodnocení porostu řepky ozimé (29. 4. 2022)

Každá subvarianta byla sklizena celá na traktorový přívěs, který byl neprodleně zvážen na mobilní nápravové váze o váživosti 0-15 t (přesnost ±1 kg) a dále byl vyhodnocen výnos (t/ha) za celou variantu.

V obou sledovaných letech nebyly rozdíly ve výnosu statisticky významné až na variantu H+S v roce 2021 v porovnání s kontrolou a variantou S. Avšak i mezi ostatními variantami bylo možné pozorovat jasný trend zvyšujícího se výnosu v závislosti na hnojení. V roce 2021 byl oproti kontrole, nejvyšší průměrný rozdíl výnosu řepky ozimé u varianty H+S (411 kg/ha). V roce 2022 byl oproti kontrole, nejvyšší průměrný rozdíl výnosu řepky ozimé u varianty H+S (233 kg/ha). U variant H (100 kg/ha) a S (100 kg/ha) byl poměrně vyrovnaný.

Obsah síry v zru

Tabulka 5: Průměrný obsah síry v sušině zrna řepky ozimé

Varianta	Obsah S (%)
K	0,216 ± 0,028 ^a
S	0,269 ± 0,111 ^a
H	0,155 ± 0,054 ^a
H+S	0,207 ± 0,041 ^a

Pozn.: Hodnoty jsou uvedeny jako průměr ± směrodatná odchylka (n=3); různá písmena značí statistické rozdíly mezi variantami na ≤ 5% hladině statistické významnosti na základě Tukeyho testu.

Obsah síry v sušině zrna řepky ozimé byl vyhodnocen za obě sledované sezony 2021 a 2022. Tyto průměrné hodnoty byly sice nejvyšší ve variantě S, avšak rozdíl oproti kontrole a ostatním variantám nebyl statisticky průkazný.

Odběr půdních vzorků a jejich analýzy

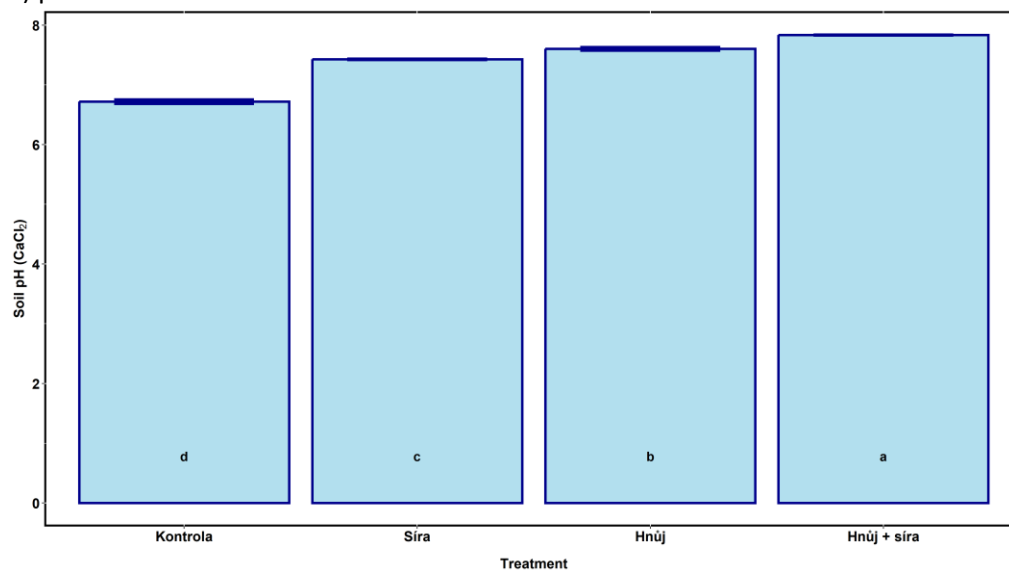
Každý rok po sklizni řepky byly odebrány půdní vzorky z hloubky 0-15 cm. Z jednotlivých variant byly odebrány tři souhrnné porušené vzorky, z nichž se každý skládal z osmi jednotlivých dílčích vzorků. Každý souhrnný vzorek byl homogenizován, zbaven rostlinných a živočišných zbytků a proset sítem o velikosti ok 2 mm na tzv. jemnozemi. V odebraných vzorcích půdy bylo měřeno pH a biologické vlastnosti: enzymatické aktivity (fosfatasa = Phos a arylsulfatasa = ARS), bazální (BR) a substrátem (D-glukosou) indukovaná respirace (Glc-SIR). Pro měření pH dle (ISO 10390:2005) byly využity na vzduchu sušené vzorky. Vzorky pro analýzu enzymatických aktivit dle (ISO 20130:2018) byly mrazem vysušené. Ve vzorcích skladovaných při 4 °C byla stanovena respirace, a to metodou MicroResp podle původní metodiky (Campbell et al. 2003) a oficiálního protokolu dodavatele (Technická příručka v2.1, Institut Jamese Huttona).

Hodnocení vybraných půdních parametrů a mimoekonomického přínosu

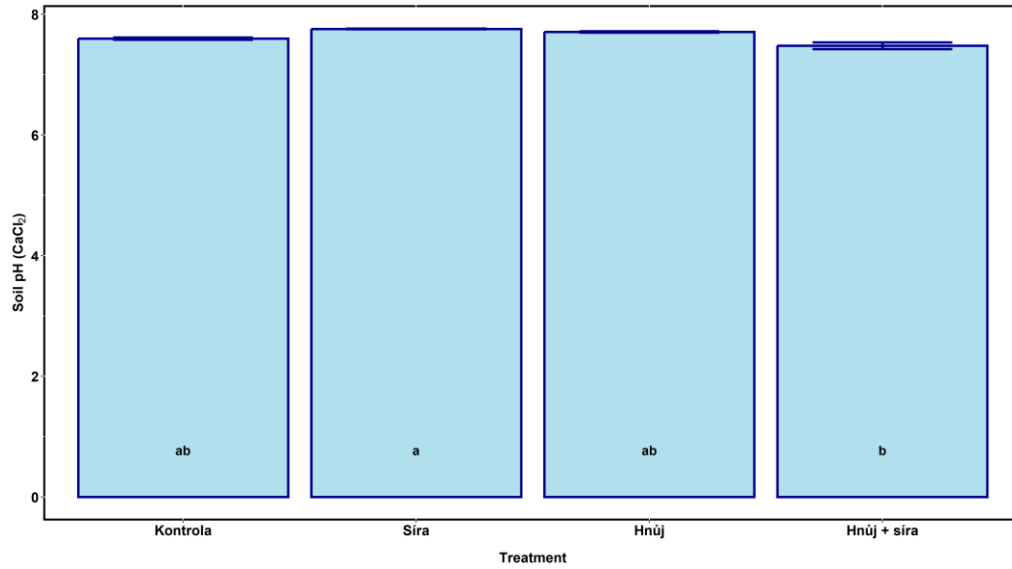
Elementární síra (S^0) je využitelná jako zdroj živin pro mikroorganismy a rostliny. Není rozpustná ve vodě, takže ji musí půdní bakterie oxidovat na síran (SO_4^{2-}), než ji rostliny mohou využít k výživě. Protože síran je anion může být vyluhován do prostředí, hnojivo na bázi elementární síry postupnou přeměnou na síran snižuje ztráty této živiny.

V roce 2021 bylo půdní pH signifikantně zvýšeno aplikací všech půdních přídatků a hnojení (Obrázek 6a), v porovnání s variantou S byl vzrůst pH vyšší vlivem přídatku H a zejména H + S, který ukázal nejvyšší pH. V roce 2022 bylo půdní pH naopak nejvíce zvýšeno aplikací samotné elementární síry, statisticky průkazně ovšem pouze v porovnání s H + S (Obrázek 6b). Aplikace kravského hnoje má v půdě alkalizující tendenci (Citak a Sonmez 2011), což bylo v souladu se zjištěnými hodnotami variant H a H + S v půdních vzorcích 2021. Oxidace elementární síry aplikované do půdy za mírně kyselého pH vede k tvorbě kyseliny sírové a acidifikačnímu účinku (Gupta et al. 1988). V první roce aplikace byla samotná aplikace elementární síry narozdíl od očekávaného poklesu pH doprovázena bazickou půdní reakcí. Možným vysvětlením by byla vysoká pufrací schopnost půdy podmíněná obsahem minerálů (vápník, hořčík). Tyto faktory mohou zabránit poklesu pH (Germida a Janzen 1993) jak u samotné síry, tak u přídatku hnůj + element. síra, podobně jako ve studii (Costello a Sullivan 2013).

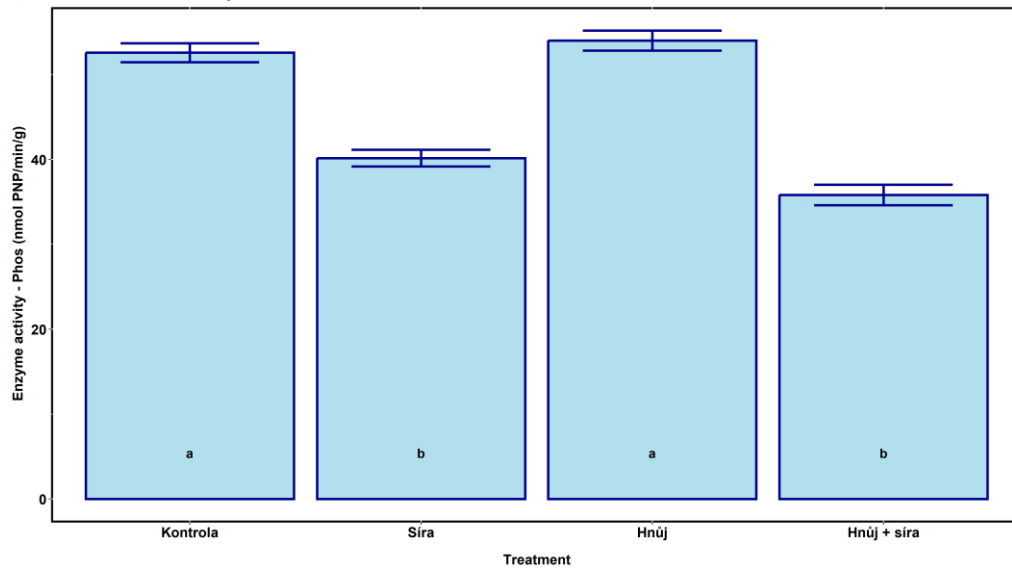
a) pH 2021



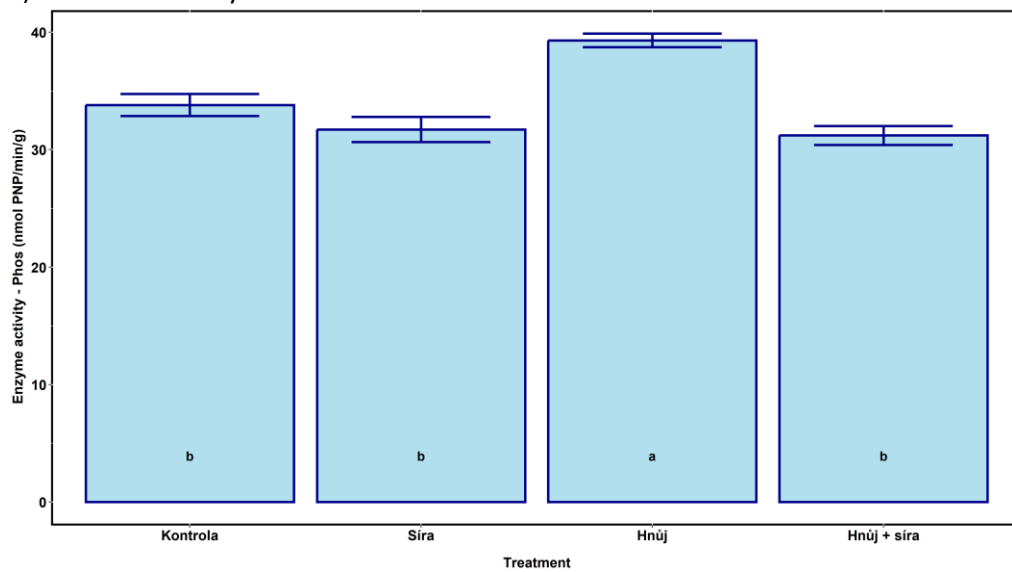
b) pH 2022



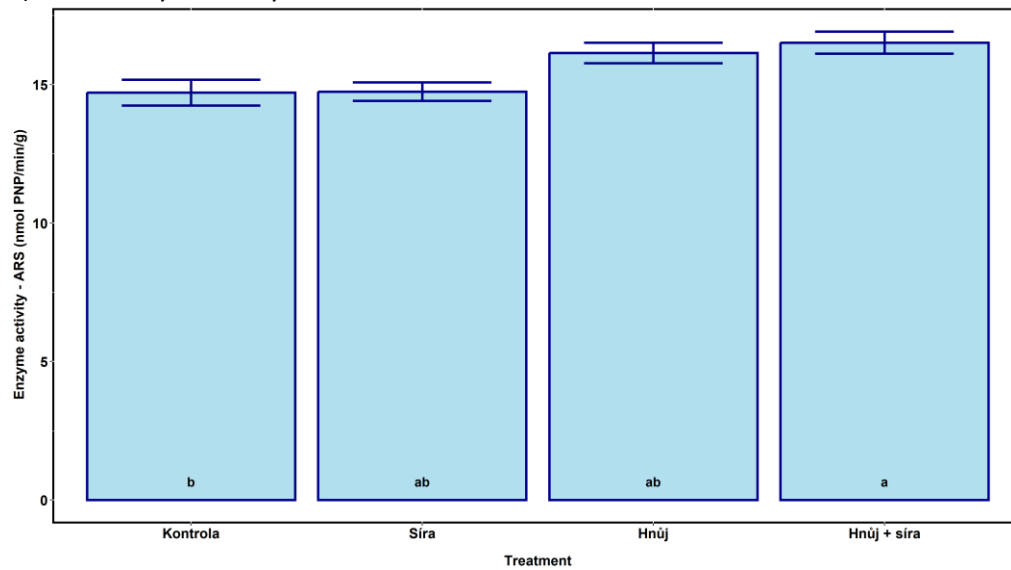
c) aktivita fosfatasy 2021



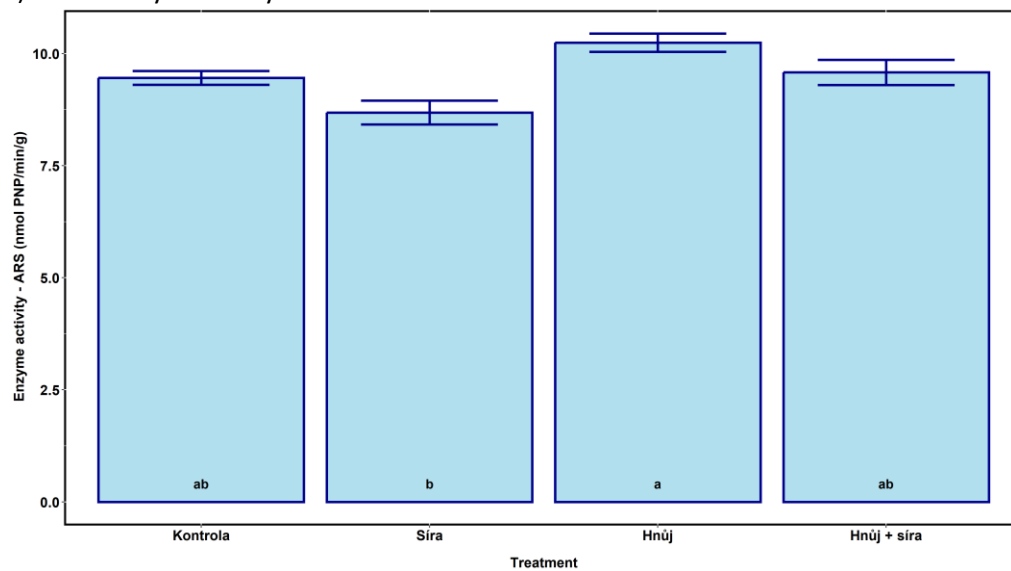
d) aktivita fosfatasy 2022



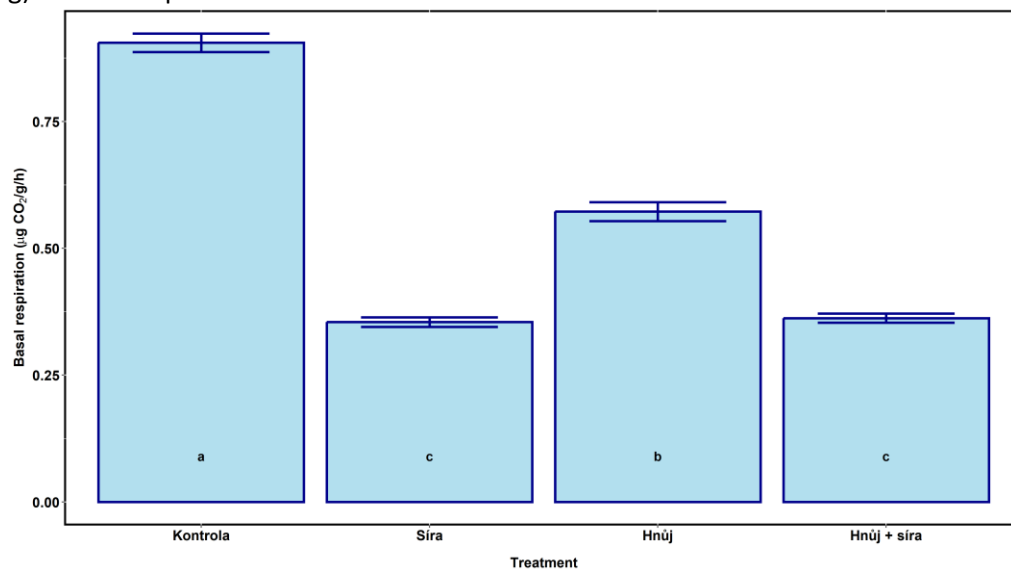
e) aktivita arylsulfatasy 2021



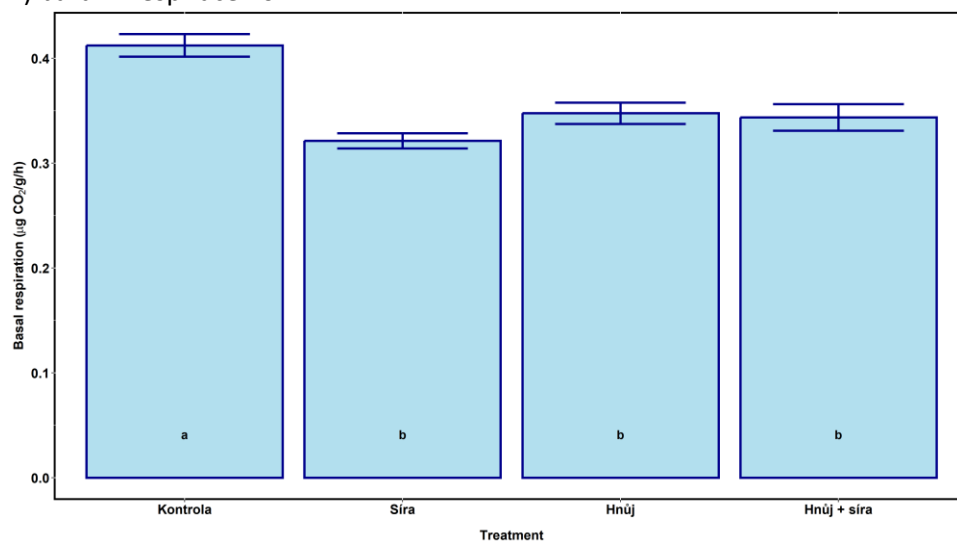
f) aktivita arylsulfatasy 2022



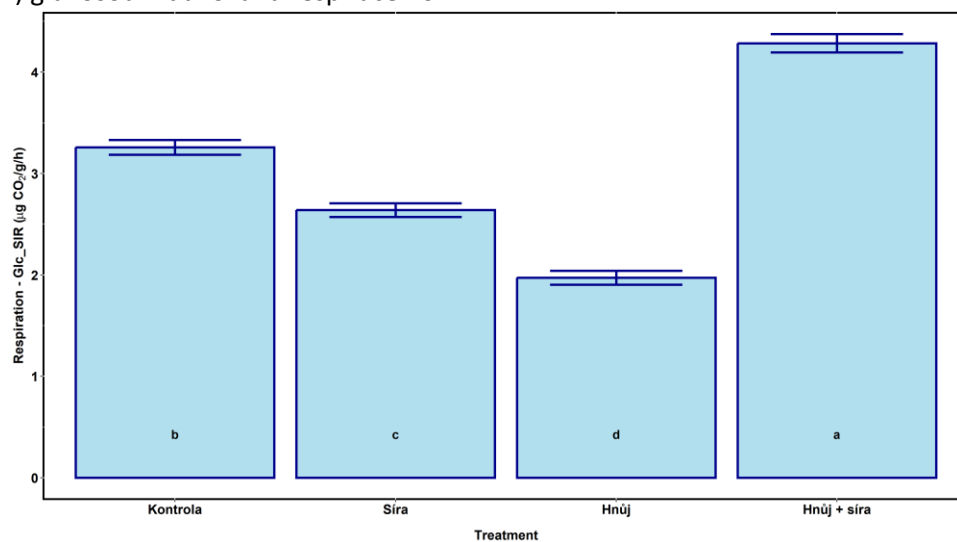
g) bazální respirace 2021



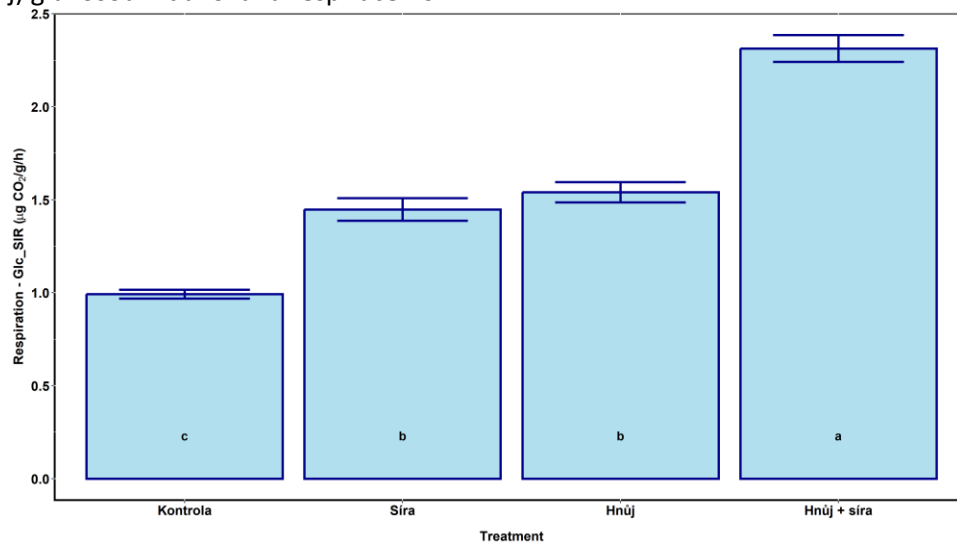
h) bazální respirace 2022



i) glukosou indukovaná respirace 2021



j) glukosou indukovaná respirace 2022



Obrázek 6: Půdní vlastnosti ve variantách hnojených elementární sírou a hnojem s/bez elementární síry v letech 2021 a 2022.

Sloupce zobrazují průměrné hodnoty, chybové úsečky střední chybu průměru (SEM); různá písmena značí statistické rozdíly mezi variantami na ≤ 5% hladině statistické významnosti na základě Tukeyho testu.

Fosfatasa (Phos) je indikátorem solubilizace fosforu a v roce 2021 byla ve všech variantách s elementární sírou (tzn. vyjma varianty H) v porovnání s kontrolou její aktivita snížena (Obrázek 6c). V roce 2022 byla Phos opět v průměru nejnižší u varianty H + S, avšak statisticky srovnatelná s kontrolou, zatímco u varianty H byla Phos signifikantně vyšší (Obrázek 6d). Snížená aktivita Phos ve variantách s přidavkem samotné elementární síry a při koaplikaci s hnojem mohla být důsledkem pozitivního vlivu elementární síry na obsah pro rostliny dostupného fosforu (Grigatti et al. 2019), který v krátkém čase rapidně zvýšil mineralizaci fosforu v půdě (Ye et al. 2011b; Bustamante et al. 2016) do té míry, že potlačil další aktivitu směřující k solubilizaci organofosfátů.

Arylsulfatasa (ARS) je zúčastněna v mineralizaci organosulfátů a v roce 2021 byla její hodnota signifikantně zvýšena pouze ve variantě H + S v porovnání s kontrolou (Obrázek 6e). V roce 2022 byla ARS statisticky srovnatelná s neošetřenou kontrolou u všech variant, pouze u varianty S byla její hodnota signifikantně nižší v porovnání s variantou H (Obrázek 6f). ARS hraje klíčovou roli v metabolismu síry pro její využití v rostlinách. Je široce produkována mnoha půdními bakteriemi a tedy semi-kvantitativním indikátorem půdní bakteriální biomasy. Nejvyšší aktivita ARS byla zjištěna v roce 2021 pravděpodobně proto, že obohacení půdy hnojem o mikroflóru oxidující a využívající síru podpořilo mineralizaci elementární síry a její asimilaci do biomasy, následkem toho vzrostl podíl organosulfátů v SOM. Avšak tento efekt byl málo výrazný, ostatně i ve studii (Ye et al. 2011a) bylo uvedeno, že aplikace elementární síry nestimulovala mineralizační aktivity v půdě.

Bazální respirace (BR) je indikátorem mineralizace uhlíku i celkové aerobní degradační aktivity v půdě a ta byla v roce 2021 přidavky hnojiv a element. síry výrazně snížena (nejvíce u variant s S⁰) v porovnání s neošetřenou půdou (Obrázek 6g). I v roce 2022 byla bazální respirace průkazně vyšší v kontrole než ve variantách s přidavky (Obrázek 6h). Podle studie (Ksiezopolska et al. 2011) půda obohacená hnojem jeví nejmenší míru mineralizace půdního organického uhlíku, a tak nízké hodnoty BR ukazují na zpomalení utilizace uhlíku v půdě a sekvestraci organického uhlíku v půdě. Přídavek způsoboval pokles aerobní mineralizace, na rozdíl od výsledků jiných studií (Kelleher et al. 2017; Malik et al. 2021), referujících o zvýšené půdní respiraci a emisích CO₂ při aplikaci elementární síry. Je možné, že ve variantách s přidavkem S⁰ došlo ke změně ve složení půdního mikrobiálního společenstva, která sice podmiňovala zvýšenou oxidaci síry, transformaci dalších složek půdní organické hmoty, vedoucí ke zvýšení dostupnosti živin v půdě (Ye et al. 2011b), avšak byla spojena s potlačením aktivity mikroorganismů podmiňujících úplnou mineralizaci půdního organického uhlíku.

Respirace indukovaná D-glukosou (Glc-SIR) je indikátorem celkového potenciálu mineralizace uhlíku a nepřímo i biomasy aerobních mikroorganismů v půdě. V roce 2021 varianta H + S signifikantně zvýšila indukovanou respirační aktivitu v porovnání s kontrolou, zatímco všechny další přidavky Glc-SIR snížily (Obrázek 6i). I v roce 2022 byla Glc-SIR prokazatelně nejvyšší u varianty H + S, na rozdíl od r. 2021 měly všechny přidavky (oproti kontrole) signifikantně pozitivní vliv na Glc-SIR. Z těchto výsledků lze odvodit, že kombinace elementární síry a hnoje způsobila zvýšení biomasy aerobních půdních mikroorganismů, podobně jak bylo popsáno (Malik et al. 2021).

V roce 2021 byl prokázán pozitivní účinek přidavku elementární síry koaplikované s hnojem na půdní pH (hodnota se zvýšila ve srovnání s kontrolou). V roce 2022 ke snížení nedošlo. Dále působil přídavek elementární síry koaplikovaný s hnojem na biomasu a respirační potenciál aerobních mikroorganismů v půdách s polní kulturou řepky. Avšak bazální půdní respirace byla účinkem aditiv snížena, ačkoli toto potlačení katabolických aktivit a mineralizace uhlíku může dokládat pozitivní vliv na sekvestraci půdní organické hmoty a půdní organický uhlík. Všechny přidavky se sírou (samotnou a kombinace s hnojem)

snížily v roce 2021 aktivitu fosfatasy, jako možný důsledek rapidního zvýšení dostupnosti mineralizované formy fosforu. Hnůj s element. sírou stimuloval arylsulfatasou katalyzovanou mineralizaci síry v roce 2021, pravděpodobně zvýšenou oxidací síry podpořil asimilaci pro rostliny (řepku) i mikroorganismy nezbytných síranů.

Hodnocení ekonomických přínosů

Ekonomický dopad byl vyhodnocen rozdílem vícenákladů na pořízení a aplikace síry a hnoje v rámci dané varianty a vyššího ocenění produkce, tzn. výnosu řepky ve vztahu ke kontrolní variantě.

Kalkulované vstupy

Roční vícenáklady na síru a hnůj při uvedené dávce:

- Síra (využitelnost 4 roky): 675 Kč/ha
- Hnůj (využitelnost 4 roky): 2 000 Kč/ha

Vícenáklady aplikace síry a hnoje při uvedené dávce:

- Síra: 300 Kč/ha
- Hnůj: 1 000 Kč/ha
- Hnůj + síra: 1 500 Kč/ha

Výnosy: Ocenění produkce dle průměrné ceny v daném roce sklizně [ČSU, 2022]:

- Řepka ozimá (2021): 12 031 Kč/tuna
- Řepka ozimá (2022): 17 409 Kč/tuna

Tabulka 6: Kalkulace výnosu řepky ozimé v letech 2021-2022

Varianta	2021			2022			SUMA Kč/ha	Výnosy Kč/ha/rok
	kg/ha	kg/ha	Kč/ha	kg/ha	kg/ha	Kč/ha		
		ku kontrole			ku kontrole			
K	2 592	0	0	3 917	0	0	0	0
S	2 624	32	385	4 017	100	1 741	2 126	1 063
H	2 899	307	3 694	4 017	100	1 741	5 434	2 717
H+S	3 003	411	4 945	4 150	233	4 056	9 001	4 501

Tabulka 7: Kalkulace vícenákladů řepky ozimé v letech 2021-2022

Varianta	2021			2022			SUMA Kč/ha	Vícenáklady Kč/ha/rok
	H	S	Aplikace	H	S	Aplikace		
	Kč/ha			Kč/ha				
K	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	675	300	0	675	300	1 950	975
H	2000	0	1000	2000	0	1000	6 000	3 000
H+S	2000	675	1500	2000	675	1500	8 350	4 175

Tabulka 8: Souhrnná kalkulace výnosů a vícenákladů v letech 2021-2022 a celkový přínos

Varianta	SUMA výnosy		SUMA vícenáklady		Výnosy Kč/ha/rok ku kontrole	Vícenáklady Kč/ha/rok ku kontrole	Rozdíl
	Kč/ha	Kč/ha/rok	Kč/ha	Kč/ha/rok			
K	0	0	0	0	0	0	0
S	2 126	1 063	1 950	975	1 063	-975	88
H	5 434	2 717	6 000	3 000	2 717	-3 000	-283
H+S	9 001	4 501	8 350	4 175	4 501	-4 175	326

Z ekonomického hlediska se jeví jako nejvýhodnější aplikace hnoje obohaceného o síru, která dosahovala nejvyššího rozdílu mezi průměrnými ročními výnosy a náklady, a to 326 Kč/ha/rok. Také samostatná síra dosáhla lepších ekonomických výsledků než kontrolní varianta, a to o 88 Kč/ha/rok. Samostatný hnůj vykazoval oproti kontrolní variantě negativní ekonomickou bilanci odpovídající -283 Kč/ha/rok.

Srovnání „novosti postupů“

Postupy uvedené v metodice jsou originální a nelze je jako celek porovnávat s žádnou jinou metodikou, protože podobná metodika nebyla vydána u nás ani v zahraničí.

Popis uplatnění certifikované metodiky

Metodika je určena zemědělským podnikům zaměřeným na rostlinnou výrobu. Metodika může být využita akreditovanými poradci v oblasti zemědělské výroby a ekonomiky, pracovníky decizní sféry v působnosti Ministerstva zemědělství včetně Oddělení regionálních odborů a Státního zemědělského intervenčního fondu, profesními organizacemi (Agrární komora ČR, Zemědělský svaz ČR aj.), pracovníky zemědělského výzkumu, studenty středních a vysokých škol orientovaných na zemědělskou problematiku, pedologii a ochranu životního prostředí.

SOUHRN

Aplikace kvalitních organických hnojiv je principem udržitelného hospodaření na orné půdě. Jsou obecně považována za zdroj půdní organické hmoty a mají vysokou hnojivou hodnotu s postupným uvolňováním živin pro výživu rostlin. Intenzifikace zemědělské činnosti, pokles aplikace sirnatých hnojiv a nízká návratnost síry vlivem nedostatku statkových hnojiv a snížením atmosférických vstupů má za následek její nedostatek v půdě. Hnojení odpadní sírou společně s organickými hnojivy je jednou z cest, jak můžeme zlepšit podmínky pro růst řepky i celkovou rentabilitu zemědělské produkce. Dojde tím ke zlepšení celkového zdraví a kvality půdy, ale i výnosu plodiny. Hnojení řepky hnojivy obohacenými sírou vzniklou při čištění bioplynu má řadu výhod. Nedochozí k zatížení životního prostředí jako při získávání standardních hnojiv a takováto síra je lépe využitelná rostlinami i půdními mikroorganismy.

Inovační aspekt dosaženého výsledku spočívá v realizaci nových metodických postupů založených na ověření vlivu aplikace organických hnojiv (hnoje) obohaceného o odpadní síru na změnu vybraných půdních parametrů v rámci daného managementu obhospodařování, s dopadem do výnosu a ekonomiky. Přísun kvalitní organické hmoty do půdy je žádoucí z hlediska zachování jejího úrodnostního potenciálu a ochrany půdního fondu.

Vzhledem ke zvýšení hektarových výnosů průměrně až o 322 kg/ha v porovnání s kontrolou přispěje zavedení nově ověřených metodických postupů ke zvýšení konkurenceschopnosti v zemědělské prvovýrobě u produkce zrna řepky olejné.

POUŽITÁ LITERATURA

- Abou Hussien E., Nada W., Elgezery M. (2020). Influence of sulphur compost application on some chemical properties of calcareous soil and consequent responses of *Hordeum vulgare* L. plants. Egyptian Journal of Soil Science, 60(1): 67-82. doi: 10.21608/ejss.2019.18503.1318.
- Ashraf M.N., Jusheng G., Lei W., Mustafa A., Waqas A., Aziz T., Khan W.-u.-D., Shafeeq ur R., Hussain B., Farooq M., Wenju Z., Minggang X. (2021). Soil microbial biomass and extracellular enzyme-mediated mineralization potentials of carbon and nitrogen under long-term fertilization (> 30 years) in a rice–rice cropping system. Journal of Soils and Sediments, 21(12): 3789-3800. doi: 10.1007/s11368-021-03048-0.
- Baier J., Smetánková M., Baierová V. (1988). Diagnostika výživy rostlin. Praha, MZVŽ ČSR, 284 s.
- Besharati H. (2017). Effects of sulfur application and *Thiobacillus* inoculation on soil nutrient availability, wheat yield and plant nutrient concentration in calcareous soils with different calcium carbonate content. Journal of Plant Nutrition, 40(3): 447-456. doi: 10.1080/01904167.2016.1245326.
- Bouranis D.L., Venieraki A., Chorianopoulou S.N., Katinakis P. (2019). Impact of elemental sulfur on the rhizospheric bacteria of durum wheat crop cultivated on a calcareous soil. Plants (Basel), 8(10): 379. doi: 10.3390/plants8100379.
- Bustamante M.A., Ceglie F.G., Aly A., Mihreteab H.T., Ciaccia C., Tittarelli F. (2016). Phosphorus availability from rock phosphate: Combined effect of green waste composting and sulfur addition. Journal of Environmental Management, 182: 557-563. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.08.016
- Campbell C.D., Chapman S.J., Cameron C.M., Davidson M.S., Potts J.M. (2003). A rapid microtiter plate method to measure carbon dioxide evolved from carbon substrate amendments so as to determine the physiological profiles of soil microbial communities by using whole soil. Applied and Environmental Microbiology, 69: 3593–3599. doi: 10.1128/AEM.69.6.3593-3599.2003.
- Citak S., Sonmez S. (2011). Effects of chemical fertilizer and different organic manures application on soil pH, EC and organic matter content. Journal of Food, Agriculture and Environment, 9: 739-741.
- Costello R.C., Sullivan, D.M. (2013). Determining the pH buffering capacity of compost via titration with dilute sulfuric acid. Waste and Biomass Valorization, 5(3): 505-513. doi: 10.1007/s12649-013-9279-y
- ČSU (2022). Průměrné ceny vybraných výrobků vstupujících do zemědělství. <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/shortUrl?su=92b62588> [citováno dne 6.11.2022]
- Du Y., Cui B., Wang Z., Sun J., Niu W. (2020). Effects of manure fertilizer on crop yield and soil properties in China: A meta-analysis. Catena, 193: 104617. doi: 10.1016/j.catena.2020.104617
- Garcia de la Fuente R., Carrion C., Botella S., Fornes F., Noguera V., Abad M. (2007). Biological oxidation of elemental sulphur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes. Bioresource Technology, 98(18): 3561-3569. doi: 10.1016/j.biortech.2006.11.008.

- Germida J.J., Janzen H.H. (1993). Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils. *Fertilizer Research*, 35(1-2): 101-114. doi: 10.1007/bf00750224
- Godlewska A. (2018). Sulphur content in test plants and arylsulfatase activity in soil after application of waste materials. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(1): 145-152. doi: 10.15666/aeer/1601_145152.
- Grigatti M., Cavani L., di Biase G., Ciavatta, C. (2019). Current and residual phosphorous availability from compost in a ryegrass pot test. *Science of The Total Environment*, 677: 250-262. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.349
- Gupta V.V.S.R., Lawrence J.R., Germida J.J. (1988). Impact of elemental sulfur fertilization on agricultural soils. I. Effects on microbial biomass and enzyme activities. *Canadian Journal of Soil Science*, 68(3): 463-473. doi: 10.4141/cjss88-045
- Hoesly R.M., Smith S.J., Feng L., Klimont Z., Janssens-Maenhout G., Pitkanen T., Seibert J.J., Vu L., Andres R.J., Bolt R.M., Bond T.C., Dawidowski L., Kholod N., Kurokawa J.-i., Li M., Liu L., Lu Z., Moura M.C.P., O'Rourke P.R., Zhang Q. (2018). Historical (1750–2014) anthropogenic emissions of reactive gases and aerosols from the community emissions data system (ceds). *Geoscientific Model Development*, 11(1): 369-408. doi: 10.5194/gmd-11-369-2018.
- Hoover N.L., Law J.Y., Long L.A.M., Kanwar R.S., Soupir M.L. (2019). Long-term impact of poultry manure on crop yield, soil and water quality, and crop revenue. *Journal of Environmental Management*, 252: 109582. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109582.
- ISO 10390 (2005). Soil quality - determination of pH. Geneva, Switzerland, International Organization for Standardization.
- ISO_20130 (2018). Soil quality — measurement of enzyme activity patterns in soil samples using colorimetric substrates in micro-well plates. Geneva, Switzerland, International Organization for Standardization.
- Karamanos R.E., Goh T.B., Flaten D.N. (2007). Nitrogen and sulphur fertilizer management for growing canola on sulphur sufficient soils. *Canadian Journal of Plant Science*, 87(2): 201-210. doi: 10.4141/p06-133.
- Kelleher B.P., Flanagan P.V., Hart K.M., Simpson A.J., Oppenheimer S.F., Murphy B.T., O'Reilly S.S., Jordan S.F., Grey A., Ibrahim A., Allen C.C.R. (2017). Large perturbations in CO₂ flux and subsequent chemosynthesis are induced in agricultural soil by the addition of elemental sulfur. *Scientific Reports*, 7: 11. doi: 10.1038/s41598-017-04934-9
- Kirchmann H., Thorvaldsson G. (2000). Challenging targets for future agriculture. *European Journal of Agronomy*, 12(3-4): 145-161. doi: 10.1016/s1161-0301(99)00053-2.
- Ksiezopolska A., Wlodarczyk T., Glinski J., Flis-Bujak M. (2011). Respiration of soil enriched with manure and mineral materials (methodical aspects). *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(2): 387-392
- Kulhanek M., Balik J., Sedlar O., Zbiral J., Smatanova M., Suran P. (2018). Determination of available sulphur in soil by the method Mehlich 3. Certified methodology. Brno, Prague; Czech Republic, Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture & Department of Agro-Environmental

Chemistry and Plant Nutrition, Faculty of Agrobiolgy, Food and Natural Resources, Czech University of Life Sciences.

- Liu X., Herbert S.J., Hashemi A.M., Zhang X., Ding G. (2006). Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation - a review. *Plant, Soil and Environment*, 52: 531-543.
- Mahimairaja S., Bolan N.S., Hedley M.J., Macgregor A.N. (1994). Losses and transformation of nitrogen during composting of poultry manure with different amendments: An incubation experiment. *Bioresource Technology*, 47(3): 265-273. doi: 10.1016/0960-8524(94)90190-2.
- Malik K.M., Khan K.S., Billah M., Akhtar M.S., Rukh S., Alam S., Munir A., Aulakh A.M., Rahim M., Qaisrani M.M., Khan N. (2021). Organic amendments and elemental sulfur stimulate microbial biomass and sulfur oxidation in alkaline subtropical soils. *Agronomy (Basel)*, 11(12): 18. doi: 10.3390/agronomy11122514
- Montanarella L. (2016). The importance of land restoration for achieving a land degradation-neutral world: *Land Restoration*, Elsevier, 249-258. doi: 10.1016/b978-0-12-801231-4.00020-3.
- Mustafa A., Hu X., Abrar M.M., Shah S.A.A., Nan S., Saeed Q., Kamran M., Naveed M., Conde-Cid M., Hongjun G., Ping Z., Minggang X. (2021). Long-term fertilization enhanced carbon mineralization and maize biomass through physical protection of organic carbon in fractions under continuous maize cropping. *Applied Soil Ecology*, 165: 103971. doi: 10.1016/j.apsoil.2021.103971.
- Mustafa A., Minggang X., Ali Shah S.A., Abrar M.M., Nan S., Baoren W., Zejiang C., Saeed Q., Naveed M., Mehmood K., Nunez-Delgado A. (2020). Soil aggregation and soil aggregate stability regulate organic carbon and nitrogen storage in a red soil of southern China. *Journal of Environmental Management*, 270: 110894. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.110894.
- Qaswar M., Ahmed W., Jing H., Hongzhu F., Xiaojun S., Xianjun J., Kailou L., Yongmei X., Zhongqun H., Asghar W., Shah A., Zhang H. (2019): Soil carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P) stoichiometry drives phosphorus lability in paddy soil under long-term fertilization: A fractionation and path analysis study. *PLOS One*, 14(6): e0218195. doi: 10.1371/journal.pone.0218195.
- Richmond N.T. (2015). Chemical soil degradation as a result of contamination: A review. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 6(11): 301-308. doi: 10.5897/jssem15.0499.
- Roig A., Cayuela M.L., Sanchez-Monedero M.A. (2004). The use of elemental sulphur as organic alternative to control pH during composting of olive mill wastes. *Chemosphere*, 57(9): 1099-1105. doi: 10.1016/j.chemosphere.2004.08.024.
- Shi R.Y., Liu Z.D., Li Y., Jiang T., Xu M., Li J.Y., Xu R.K. (2019). Mechanisms for increasing soil resistance to acidification by long-term manure application. *Soil and Tillage Research*, 185: 77-84. doi: 10.1016/j.still.2018.09.004
- Skwierawska M., Skwierawska M., Skwierawski A., Benedycka Z., Jankowski K. (2016). Sulphur as a fertiliser component determining crop yield and quality. *Journal of Elementology*, 21(2): 609 - 623. doi: 10.5601/jelem.2015.20.3.992.

- Skwierawska M., Zawartka L., Zawadzki B. (2008): The effect of different rates and forms of sulphur applied on changes of soil agrochemical properties. *Plant, Soil and Environment*, 54(4): 171-177. doi: 10.17221/391-pse.
- Soaud A.A., Al Darwish F.H., Saleh M.E., El-Tarabily K.A., Sofian-Azirun M., Rahman M.M. (2011). Effects of elemental sulfur, phosphorus, micronutrients and *Paracoccus versutus* on nutrient availability of calcareous soils. *Australian Journal of Crop Science*, 5(5): 554-561. ISSN:1835-2707
- Soltanaeva A., Suleimenov B., Saparov G., Vassilina T. (2018). Effect of sulfur-containing fertilizers on the chemical properties of soil and winter wheat yield. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 24: 586-591.
- Virto I., Imaz M., Fernández-Ugalde O., Gartzia-Bengoetxea N., Enrique A., Bescansa P. (2014). Soil degradation and soil quality in Western Europe: Current situation and future perspectives. *Sustainability*, 7(1): 313-365. doi: 10.3390/su7010313.
- Wang X., Jia Z., Liang L., Yang B., Ding R., Nie J., Wang J. (2016). Impacts of manure application on soil environment, rainfall use efficiency and crop biomass under dryland farming. *Scientific Reports*, 6: 20994. doi: 10.1038/srep20994.
- Ye R.Z., Wright A.L., McCray J. M. (2011b). Seasonal changes in nutrient availability for sulfur-amended everglades soils under sugarcane. *Journal of Plant Nutrition*, 34(14): 2095-2113. doi: 10.1080/01904167.2011.618571
- Ye R., McCray J.M., Wright A.L. (2011a). Microbial response of a calcareous histosol to sulfur amendment. *Soil Science*, 176(9): 479-486. doi: 10.1097/SS.0b013e31822769e7

SOUVISEJÍCÍ VÝSLEDKY DOSAŽENÉ BĚHEM ŘEŠENÍ PROJEKTU TH04030142

Časopis Agronomy (Jimp): Biochar and Sulphur Enriched Digestate: Utilization of Agriculture Associated Waste Products for Improved Soil Carbon and Nitrogen Content, Microbial Activity, and Plant Growth, doi: 10.3390/agronomy11102041

Časopis Frontiers in Plant Science (Jimp): Co-composting of cattle manure with biochar and elemental sulphur and its effects on manure quality, plant biomass and microbiological characteristics of post-harvest soil, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.1004879/full>

Časopis Chemical and Biological Technologies in Agriculture (Jimp): Impact of smart combinations of graphene oxide and micro/nanosized sulfur particles on soil health and plant biomass accumulation, doi: 10.1186/s40538-022-00323-1

Časopis Plants (Jimp): Using Waste Sulfur from Biogas Production in Combination with Nitrogen Fertilization of Maize (*Zea mays* L.) by Foliar Application, doi: 10.3390/plants10102188

Časopis Remote Sensing: Using UAV to Identify the Optimal Vegetation Index for Yield Prediction of Oil Seed Rape (*Brassica napus* L.) at the Flowering Stage, <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/19/4953>

Vědecká příloha časopisu Úroda (Jost): Aplikace různých druhů elementární síry a ovlivnění aktivity půdních mikroorganismů

Vědecká příloha časopisu Úroda (Jost): Ovlivnění půdní respirace přidavkem digestátu s různým obsahem síry

Vědecká příloha časopisu Úroda (Jost): Vliv aplikace síry kombinované s kompostem na výnos řepky a půdní parametry