

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

Uplatněná certifikovaná metodika pro praxi

Metodika 61/23

**Metodika aplikace tekutých organických hnojiv při pásovém
zpracování půdy při pěstování kukuřice**

Mgr. Jiří Holátko, Ph.D.

Ing. Tereza Hammerschmiedt

Ing. Antonín Kintl

Ing. Ondřej Malíček

Ing. Oldřich Látal, Ph.D.

Ing. Martin Brtnický

Brno 2023

Autoři:

^{1,2} Mgr. Jiří Holátko, Ph.D.

¹ Ing. Tereza Hammerschmiedt

^{1,3} Ing. Antonín Kintl

¹ Ing. Ondřej Malíček

^{1,2} Ing. Oldřich Látal, Ph.D.

¹ Ing. Martin Brtnický

¹ Mendelova univerzita v Brně

² Agrovýzkum Rapotín s.r.o

³ Zemědělský výzkum, spol. s r.o.

Dedikace:

Uplatněná certifikovaná metodika byla vypracována za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci projektu číslo TH04030132 „Systémy aplikace tekutých organických hnojiv jako prostředek ke zlepšení půdního prostředí, zvýšení využitelnosti živin rostlinami a jako prostředek k minimalizaci dopadů na životní prostředí“.

Certifikace:

Metodika byla certifikována Ministerstvem zemědělství osvědčením č. MZE-6326/2023-13123 ze dne 7.2.2023.

Oponovali:

Ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství ČR

prof. Ing. Jiří Kučerík, Ph.D., VUT v Brně

Vydavatel:

© Zemědělský výzkum, spol. s r.o.

Zahradní 1, 664 41 Troubsko

ISBN:

978-80-88000-42-6 (Zemědělský výzkum, spol. s r.o)

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
CÍL METODIKY.....	4
ÚVOD.....	5
VLASTNÍ POPIS METODIKY.....	6
Charakteristika lokality a zemědělského podniku.....	6
Postup realizace.....	6
Hodnocení výnosu a ekonomických přínosů.....	7
Odběr půdních vzorků a jejich analýzy.....	8
Hodnocení vybraných půdních parametrů a mimoekonomického přínosu.....	8
SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“.....	12
POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY.....	12
SOUHRN.....	13
POUŽITÁ LITERATURA.....	14
SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE.....	16

ABSTRAKT

V letech 2020 až 2021 byla v poloprovozních pokusech se silážní kukuřicí ověřována aplikace variabilního množství tekutých organických hnojiv (digestátu) s využitím samochodného stroje VREDO (typ VT4556) vybaveného aplikátorem Muck Tiller (firmy P&L), který umožňuje pásové zpracování půdy se současnou aplikací digestátu do tří hloubek. Takováto přímá aplikace tekutých organických hnojiv do půdy během předseťové přípravy představuje jeden ze způsobů, jak efektivně využít disponibilní množství živin pro výživu rostlin v období intenzivního růstu a tím i vyšší výnos kukuřičné siláže. Proto byl hodnocen vliv použité technologie na výnos kukuřičné siláže a na ekonomiku její produkce. Aplikace $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ vedla k průměrnému zvýšení výnosu sušiny kukuřičné siláže o $1,52 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ a tím k ekonomickému přínosu v hodnotě $2965 \text{ Kč} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, aplikace $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ pak zvýšila průměrný výnos sušiny kukuřičné siláže o $2,85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, což odpovídá $5702 \text{ Kč} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Což je vzhledem k nulovým nákladům na pořízení digestátu velice výhodné, především v době růstu cen průmyslových hnojiv a jejich nižší dostupnosti na trhu. Environmentální přínos pásového zpracování půdy spojeného s aplikací digestátu spočívá v celkovém zlepšení chemicko-biologických půdních podmínek, které vedou k zachování zdraví a kvality orné půdy, dále v lepší protierozní ochraně při zakládání porostu kukuřice, snížení úniku volného amoniaku a vyplavování dusičnanů do podzemních vod.

Klíčová slova

Strip-till, digestát, výnos, ekonomický přínos, půdní respirace, enzymatické aktivity.

CÍL METODIKY

Hlavním cílem předkládané metodiky je poskytnout zemědělským podnikům hospodařícím na orné půdě potřebné informace o vlivu přímé aplikace variabilního množství tekutých organických hnojiv (digestátu) při pásového zpracování půdy na zvýšení přísunu živin k silážní kukuřici během předseťové přípravy. Dále o tom, jak tento technologický postup může zlepšit chemicko-biologické parametry půdy a zvýšit produkční potenciál obhospodařované půdy. Technologie pásového zpracování půdy přispívá k protierozní ochraně při zakládání porostu kukuřice. Přímá aplikace tekutých organických hnojiv do půdy pásovým zpracováním vede k vyšší efektivnosti jejich zapravení a k vhodnějšímu využití živin rostlinami. Hospodárnější využití živin z organických hnojiv a jejich přímá aplikace do půdy také přispívají k ochraně životního prostředí a možnému snížení spotřeby průmyslových hnojiv, což je aktuálně velmi výhodné vzhledem k vysokému nárůstu jejich cen.

ÚVOD

Pěstování bioenergetických plodin jako surovin pro výrobu energie hraje důležitou roli při nahrazování fosilních paliv obnovitelnými zdroji (Karpenstein-Machan 2001). V ČR je hlavní vstupní surovinou pro výrobu bioplynu kukuřičná siláž. V roce 2021 dosahovala výměra osevní plochy kukuřice dle údajů ČSÚ 228 tis. ha a 90 % porostu bylo pěstováno právě na siláž jako hlavní energetická složka objemných krmiv ve výživě hospodářských zvířat a vsázka do bioplynových stanic.

Vedlejším produktem z výroby bioplynu je digestát, který obsahuje významné množství snadno dostupných živin, zejména dusíku, fosforu a draslíku (Koszel a Lorencowicz, 2015). Aplikace digestátu jako půdního hnojiva vrací většinu živin nezbytných pro růst rostlin zpět do orné půdy (Rivard et al. 1995; Bãth and Rãmert 1999; Wang et al. 2008), čímž udržuje úrodnost půdy (Adediran et al. 2003), zlepšuje půdní strukturu a zvyšuje obsah půdní organické hmoty (Wang 2014; Gryń et al. 2020).

Z agrotechnického hlediska patří kukuřice mezi okopaniny, které je vhodné hnojit organickými hnojivy. Z pohledu cirkulárního hospodářství je vhodné využít k tomuto účelu digestát, který z výše uvedených důvodů může sloužit jako částečná či úplná náhrada hnojení minerálními hnojivy (Riva et al., 2016; Šimon et al., 2015). Pozitivní účinky aplikace digestátu na obsah živin v půdě a postupy ke snížení jejich potenciálních ztrát vyplavováním byly předmětem několika nedávných studií (Nabel et al. 2017; Spagnolo et al. 2019; Holatko et al. 2021). Dusík v digestátu je převážně v amoniakální formě a je náchylný ke ztrátám vyluhováním nebo volatilizací po jeho oxidaci na dusičnany nebo redukci na amoniak (Möller and Stinner 2009). Potenciální ztráta dusíku z digestátu emisemi amoniaku představuje riziko zhoršení životního prostředí (znečištěním ovzduší a skrze dešťové srážky následnou eutrofizací povrchových vod), snížení účinnosti organického hnojení a menší dostupnosti živin využívaných polními plodinami (Yaseen et al. 2021). Proto je vhodné k aplikaci digestátu a dalších tekutých organických hnojiv využívat technologii pásového zpracování půdy.

Pásové zpracování půdy (strip-till) je zpracování půdy v pružích ve směru řádků vysévané plodiny, jehož plošný podíl nepřesáhne více než jednu čtvrtinu povrchu pozemku (Brant et al., 2011). Principem pásového zpracování je kombinace výhod plošného zpracování půdy a setí do nezpracované půdy (no-till). Pásové zpracování půdy ke kukuřici může pozitivně ovlivnit strukturu půdy, zvýšit její provzdušnění a teplotu v osevním lůžku, také může vést k zadržování půdní vlhkosti a tím přispět k lepšímu zásobení rostlin vodou, zejména při nedostatku srážek na počátku vegetace (Brant et al., 2011; Godsey et al., 2017). Ve srovnání s konvenčními technologiemi může pásové zpracování půdy přispět k nižšímu výskytu plevelů po výsevu kukuřice (Brant et al. 2011) a přispívá k prevenci půdní eroze. Technologie strip-till také umožňuje aplikaci kapalných hnojiv přímo do řádků, kde se seje osivo (USDA, 2013), a do různých hloubek půdního profilu, což snižuje množství potřebných hnojiv a zlepšuje možnost využití hnojiva rostlinami (Koszel a Lorencowicz, 2015; Slepetiene et al., 2020).

V porovnání s konvenční hlubokou orbou mají minimalizační technologie, které redukuje hloubku a intenzitu zpracování půdy a ponechávají rostlinné zbytky nebo strniště na povrchu nebo ve vrchní vrstvě půdy, také příznivý vliv na obsah organického uhlíku v půdě, přeměnu živin (Celik et al., 2011, Álvaro-Fuentes et al., 2013) a obohacení a zvýšení aktivity půdního mikrobiomu (Celik et al., 2011; Helgason et al., 2009; van Groenigen et al., 2010). Např. Tauchnitz et al. (2018) hodnotili ve svých pokusech různé formy zpracování půdy s aplikací tekutých organických hnojiv do půdy před setím kukuřice. Hodnoceny byly technologie standardního zpracování půdy s aplikací organických hnojiv, pásového zpracování půdy s aplikací organických hnojiv s/bez aplikace inhibitoru nitrifikace (Vizura) a dále minerální hnojení a kontrola bez aplikace hnojiv. Z výsledků je patrné, že výnos sušiny a příjem dusíku při pásového zpracování půdy nebyly významně odlišné od ploch ošetřených konvenčním způsobem. Vyšší rozdíly byly zaznamenány u dřívějšího termínu sklizně z důvodu vyšší koncentrace amoniakálních iontů v půdě, která má pozitivní vliv na raný růst a lepší ochranu půdy při pásového způsobu zpracování půdy. U pásového zpracování půdy s/bez aplikace inhibitoru nitrifikace (Vizura) byly zaznamenány nejnižší ztráty a vyplavování dusíku oproti ostatním technologiím zpracování půdy.

VLASTNÍ POPIS METODIKY

Charakteristika lokality a zemědělského podniku

Zemědělské družstvo Senice na Hané se nachází v Olomouckém kraji v oblasti úrodného Hornomoravského úvalu v průměrné nadmořské výšce 247 m n. m. Jedná se o výrobní oblast řepařskou ležící v teplém, (mírně) suchém klimatickém regionu T2 s průměrnou roční teplotou 8–9 °C a průměrným ročním úhrnem srážek 350–500 mm.

Podnik obhospodařuje celkem 5 040,97 ha zemědělské půdy, z toho připadá 4 786,57 ha na ornou půdu a TTP, zbytek výměry zahrnují chmelnice, ovocné sady a ostatní trvalé kultury. V rámci rostlinné výroby podnik pěstuje pšenici ozimou, ječmen jarní, kukuřici na zrno, cukrovou řepu, řepku ozimou, silážní kukuřici, vojtěšku, dočasné travní porosty a jetel červený. V rámci živočišné výroby je podnik specializován na chov dojného skotu a nosnic. Chová průměrně 500 kusů dojnic. Průměrná roční spotřeba digestátu ze spoluvlastněné bioplynové stanice je 10 500 tun.

Postup realizace

V letech 2020 a 2021 byly na vybraných pozemcích zemědělského družstva Senice na Hané postupně realizovány poloprovozní pokusy se silážní kukuřicí. Sledován byl vliv variabilní aplikace tekutých organických hnojiv (digestátu) a jejich přímé zapravení s využitím pásového zpracování půdy v rámci předseťové přípravy na vybrané půdní parametry a výnos biomasy silážní kukuřice. Byl hodnocen dopad do ekonomiky pěstování silážní kukuřice a přínos do ochrany životního prostředí, hodnocený jako vliv na diverzitu a aktivitu půdního mikrobiomu.

Na začátku září 2019, po sklizni obilovin, byla podle agrotechnických postupů v místě obvyklých vyseta směs strništních meziplodin v množství 10 kg·ha⁻¹ hořčice bílé (*Sinapis alba* L.) a 5 kg·ha⁻¹ svazenky vratičolisté (*Phacelia tanacetifolia* L.). Meziplodiny byly ponechány na poli, kde přes zimu vymrzly, a jejich zbytky byly na jaře zamulčovány. Na jaře 2020 bylo provedeno celoplošné hnojení hnojivou NPK v dávce 160 kg N·ha⁻¹. V polovině dubna 2020 byly založeny poloprovozní pokusné varianty o rozloze 0,6–1,0 ha dle záběru stroje a tvaru pozemku. Aplikace digestátu v dávkách 0, 20 a 40 m³·ha⁻¹ byla provedena pomocí stroje VT4556 (Vredo Dodewaard B.V, Nizozemsko) vybaveného aplikátorem MUCK TILLER (P & L, spol. s r.o., Česká republika) pro pásové zpracování půdy (Obr. 1) a aplikaci digestátu ve třech hloubkách 10, 15 a 20 cm. Týden po aplikaci digestátu byl zaset hybrid kukuřice (*Zea mays* L.) Banshee (FAO 300). Kukuřice byla sklizena 5 měsíců po zasetí. Vzorky půdy byly odebrány týden po sklizni.



Obr. 1: Samochodný stroj VREDO (typ VT4556) s aplikátorem MUCK TILLER

Stejně jako v předcházejícím roce byla začátkem září 2020 na vybraném pozemku zasetá směs vymrzajících meziplodin. V roce 2021 byly na pokusné ploše provedeny stejné operace jako v prvním roce pokusu.

V obou letech pocházel digestát z nedaleké podnikové bioplynové stanice zpracovávající zemědělské odpady: zbytkové siláže, senáže a další rostlinný materiál a prasečí kejdu. Chemické složení digestátu je uvedeno v Tab. 1 jako průměr ± směrodatná odchylka.

Tab. 1: Složení aplikovaného digestátu (v čerstvé hmotě)

Rok	Sušina (%)	Amoniakální dusík (g·kg ⁻¹)	Nitrátový dusík (g·kg ⁻¹)	Minerální dusík (g·kg ⁻¹)	Fosfor (g·kg ⁻¹)	Draslík (g·kg ⁻¹)
2020	3,94±0,08	1,51±0,06	0,49±0,02	2,01±0,07	0,16±0,01	3,74±0,22
2021	7,10±0,38	3,39±0,04	0,31±0,01	3,70±0,03	0,41±0,02	2,95±0,15

Pro zlepšení využití dusíku byla do digestátu přimíchávána pomocná půdní látka, inhibitor nitrifikace, Vizura (BASF spol. s r.o., divize Česká republika) v dávce 2 l·ha⁻¹. Vizura obsahuje účinnou látku dimethylpyrazol fosfát (DMPP), který při aplikaci tekutých statkových, organických i kapalných minerálních hnojiv do půdy výrazně zpomaluje proces přeměny amonného dusíku na dusičnany. Díky tomu má rostlina po delší dobu k dispozici dusík v amonné formě, což je pro ni z fyziologického hlediska výhodné. Výhodou také je, že se amonná forma dusíku na rozdíl od dusičnanů z půdy nevyplavuje.

Hodnocení výnosu a ekonomických přínosů

Výnos plodin u jednotlivých variant byl vyhodnocen s využitím standartní samojízdné sklízecí řezačky (Obr. 2). Každá varianta byla sklizena celá na traktorový přívěs, který byl neprodleně zvážen na mobilní nápravové váze o váživosti 0–15 t (±1 kg) a dále byl vyhodnocen výnos (t·ha⁻¹) za celou variantu.



Obr. 2: Sklizeň silážní kukuřice v roce 2020

Ekonomický dopad byl vyhodnocen dle dané varianty rozdílem vícenákladů na aplikaci digestátu danou technologií a vyššího ocenění produkce, tzn. výnosu silážní kukuřice ve vztahu ke kontrolní variantě.

Kalkulované vstupy

Náklady: Vícenáklady na aplikaci digestátu:

- Pojezd při aplikaci 10 a 20 m³·ha⁻¹: 400 Kč·ha⁻¹
- Pojezd při aplikaci 30 a 40 m³·ha⁻¹: 600 Kč·ha⁻¹
- Přistavení cisterny s 10 m³ tekutého organického hnojiva: 100 Kč·ks⁻¹

Výnosy: Ocenění produkce silážní kukuřice (dle průměrné ceny ČSU v daném roce sklizně):

- Silážní kukuřice (2020): 2 343 Kč·t⁻¹sušiny
- Silážní kukuřice (2021): 2 369 Kč·t⁻¹sušiny

Tab. 2: Kalkulace výnosu v letech 2020-2021

Varianta	Rok 2020			Rok 2021			SUMA	Výnosy	
	t·ha ⁻¹	t·ha ⁻¹	Kč·ha ⁻¹	t·ha ⁻¹	t·ha ⁻¹	Kč·ha ⁻¹		t·ha ⁻¹	Kč·ha ⁻¹
0 m ³ ·ha ⁻¹	14,20	0,00	0	12,37	0	0	26,57	0	0
20 m ³ ·ha ⁻¹	16,00	1,80	4217	13,60	1,23	2913	29,60	7130	3565
40 m ³ ·ha ⁻¹	17,06	2,86	6701	15,20	2,83	6703	32,26	13404	6702

Tab. 3: Kalkulace vícenákladů v letech 2020-2021 a celkový přínos

Varianta	2020	2021	SUMA	Vícenáklady	Výnosy	Vícenáklady	Rozdíl
	Vícenáklady Kč·ha ⁻¹		Kč·ha ⁻¹	Kč·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹	Kč·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹ ku kontrole		
0 m ³ ·ha ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0
20 m ³ ·ha ⁻¹	600	600	1200	600	3565	-600	2965
40 m ³ ·ha ⁻¹	1000	1000	2000	1000	6702	-1000	5702

Aplikace obou dávek digestátu má pozitivní vliv na ekonomiku pěstování kukuřice na siláž. Se zvyšujícím se dávkou aplikovaného digestátu vzrůstá pozitivní vliv na výnos a tím i ekonomický přínos. Aplikace 20 m³·ha⁻¹ vedla k průměrnému zvýšení výnosu sušiny kukuřičné siláže o 1,52 t·ha⁻¹·rok⁻¹ a tím k ekonomickému přínosu v hodnotě 2965 Kč·ha⁻¹·rok⁻¹. Aplikace 40 m³·ha⁻¹ pak zvýšila průměrný výnos sušiny kukuřičné siláže o 2,85 t·ha⁻¹·rok⁻¹, což odpovídá 5702 Kč·ha⁻¹·rok⁻¹. Vzhledem k tomu, že je digestát považován většinou zemědělci za odpadní produkt výroby bioplynu, je přínos jeho aplikace o to významnější. Díky aplikaci digestátu, se kterým musí zemědělec tak jako tak nějakým způsobem naložit, je možné snížit spotřebu minerálních hnojiv při zachování výnosového potenciálu půdy. Čímž se ještě zvýší příznivý vliv aplikace digestátu na ekonomiku pěstování kukuřice.

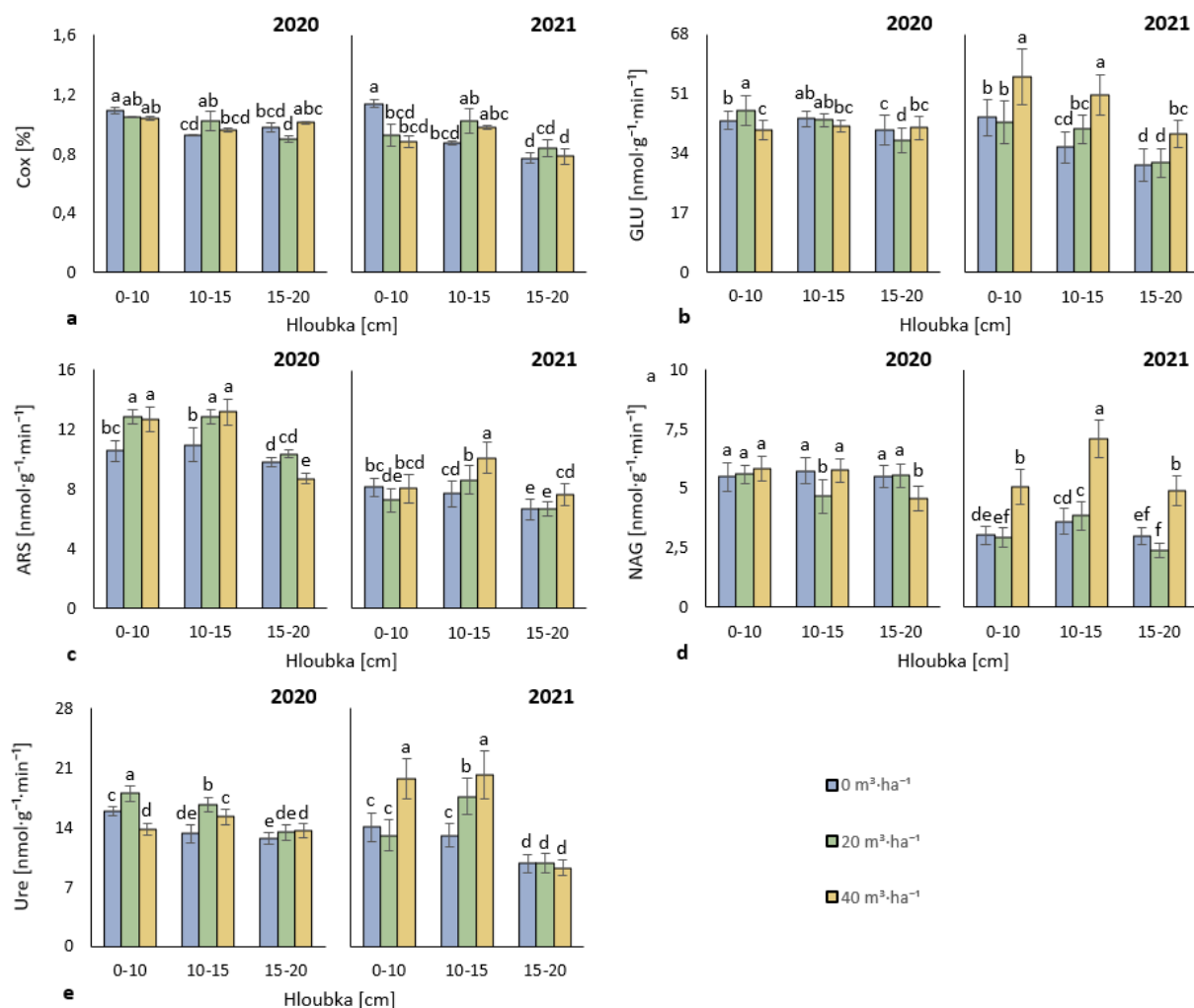
Odběr půdních vzorků a jejich analýzy

V obou letech byly vzorky půdy odebrány týden po sklizni kukuřice na siláž. Každá varianta byla rozdělena na 3 rovnoměrné díly. Z každé části byl odebrán vzorek půdy z hloubky 0-10 cm, 10-15 cm a 15-20 cm. Pro každou variantu a každou hloubku tak byly získány tři jednotlivé půdní vzorky sloučené z 8 odběrových míst. V laboratoři byly vzorky homogenizovány, prosety přes síto o velikosti ok 2 mm a vysušeny na vzduchu pro měření oxidovatelného uhlíku (Cox) podle ISO 14235 (1998). Lyofilizované vzorky byly použity pro stanovení enzymových aktivit β-glukosidázy (GLU), N-acetyl-β-D-glukosaminidázy (NAG), arylsulfatázy (ARS) a ureázy (Ure) podle ISO 20130 (2018). Vzorky uchované při 4 °C byly použity pro určení bazální respirace (BR) a substrátem indukovaných re spirací pomocí zařízení MicroResp podle (Campbell et al., 2003). Substrátem indukované respirace byly měřeny po přidání specifických zdrojů energie: D-glukózy (Glc-SIR), D-manózy (Man-SIR) a L-alaninu (Ala-SIR).

Hodnocení vybraných půdních parametrů a mimoekonomického přínosu

Množství oxidovatelného uhlíku v půdě (Cox), který souvisí s mikrobiálně dostupným a využitelným uhlíkem, se významně snížilo v hlubších vrstvách (10–15 a 15–20 cm) ve srovnání s ornici (0–10 cm) v nehnojené variantě v obou sledovaných letech 2020 a 2021 (Obr. 3a). V hloubkách půdy 10–15 a 15–20 cm došlo k významnému poklesu Cox při aplikaci digestátu v množství 20 m³·ha⁻¹ (v obou letech) a 40 m³·ha⁻¹ (v roce 2021). Rozdíly v Cox v závislosti na hloubce byly v systému pásového zpracování půdy očekávatelné, protože Diederich et al. (2019) zaznamenali podobné, o 50 % vyšší hodnoty Cox v ornici (0–15 cm) ve srovnání s hloubkou 15–30 cm. Tyto rozdíly mohou být způsobeny především tím, že aplikace digestátu byla prováděna v hloubce 10–15 cm, přičemž takový postup vede k akumulaci dostupného organického uhlíku v této vrstvě půdy. Ma et al. (2020) navíc pozorovali nepřímý vztah mezi hloubkou a uhlíkem dostupným pro mineralizaci. Slepitiene et al. (2020) zjistili, že aplikace digestátu do půdy v hloubce 0–40 cm zvýšila obsah organického uhlíku především ve svrchní vrstvě půdy. V naší práci jsme však nezjistili žádný pozitivní vliv přídatku digestátu na hodnoty Cox ve svrchní vrstvě půdy, a to bez ohledu na složení digestátu, což bylo pravděpodobně způsobeno vysokým podílem původní půdní organické hmoty ve svrchní vrstvě půdy. Dále jsme v horních vrstvách ve srovnání s hlubšími vrstvami půdy předpokládali výrazně zvýšenou mineralizaci labilních frakcí uhlíku z digestátu aerobními mikroorganismy, což dokládají výsledky respirace. Ačkoli aplikace digestátu neovlivnila obsah Cox ve svrchní vrstvě půdy, střední vrstva půdy v hloubce 10–15 cm byla v obou letech pozitivně ovlivněna digestátem v dávce 20 m³·ha⁻¹ ve srovnání s kontrolou (0 m³·ha⁻¹). Současně jsme v roce 2021 zjistili signifikantní nárůst hodnot respirace ve vrstvě 10-15 cm (ve srovnání s ornici) při obou dávkách digestátu (bazální respirace – BR) a při dávce 40 m³·ha⁻¹ (všechny substrátem

indukované respirace – SIR). Proto přisuzujeme zjevně pozitivní vliv aplikace digestátu do půdního profilu (vrstva 10–15 cm) na obsah Cox v půdě a jeho dlouhodobější uchování pro delší zvýšení mineralizace uhlíku a celkovou transformaci organické hmoty.



Obr. 3: a) Oxidovatelný uhlík, b) aktivita β -glukosidázy, c) aktivita arylsulfatázy, d) aktivita N-acetyl- β -glukosaminidázy, e) aktivita ureázy. Průměrné hodnoty \pm směrodatná odchylka, statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$

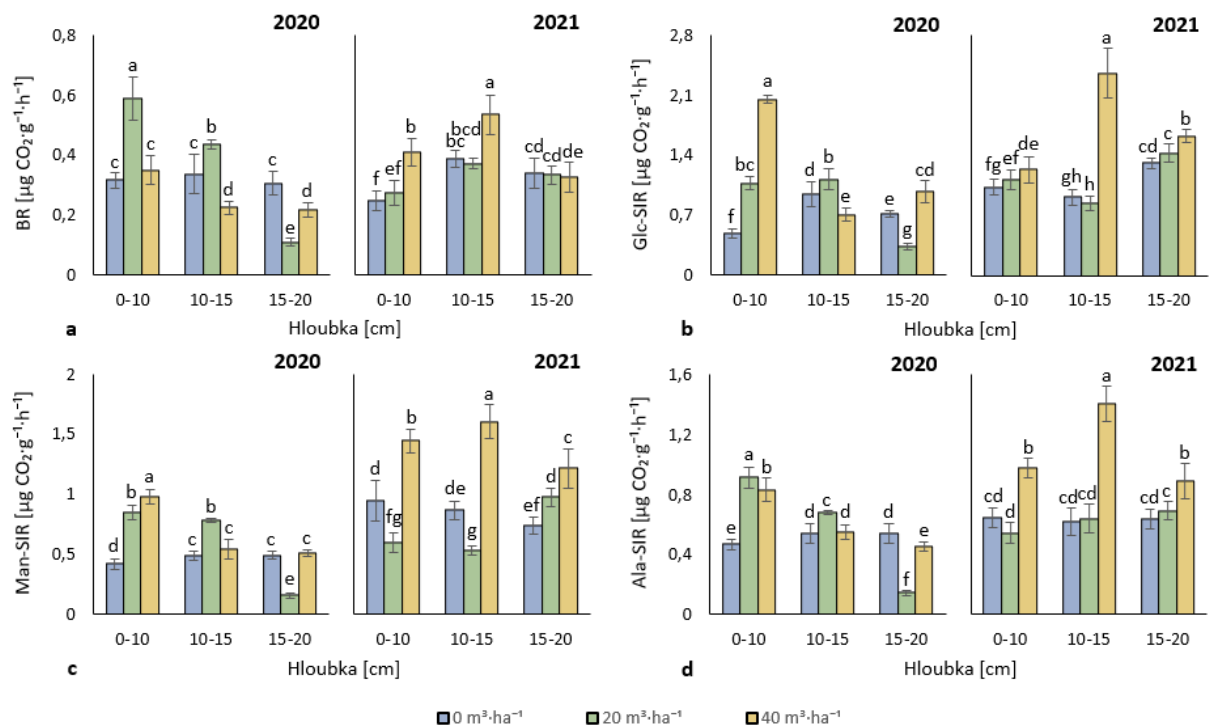
Na rozdíl od Cox aktivita β -glukosidázy (GLU) ve svrchní vrstvě půdy reagovala na aplikaci digestátu pozitivně jak v roce 2020 (při 20 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$), tak v roce 2021 (při 40 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) (Obr. 3b), což naznačuje stimulaci mikrobiální aktivity v důsledku přísunu více hůře rozložitelných sloučenin organickému uhlíku. Stimulační vliv digestátu na aktivitu GLU je známý (Musatti et al., 2017) a my jsme pozorovali pozitivní vliv digestátu na hodnoty GLU v roce 2021 ve všech hloubkách při dávce 40 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ ve srovnání s kontrolní půdou.

Výsledky arylsulfatázy (ARS) ukázaly, že mineralizace síry byla v kontrolní variantě negativně závislá na hloubce půdy. Již dříve bylo zjištěno, že aktivita ARS výrazně klesá s hloubkou v půdním profilu (Tabatabai a Bremner, 1970) a tento pokles byl spojen s poklesem obsahu organického uhlíku (Deng a Tabatabai, 1997). Hodnoty ARS se nejvíce zvýšily přidávkem obou dávek digestátu v ornici a ve střední hloubce půdy (10–15 cm) v roce 2020 (Obr. 3c). V roce 2021 bylo zvýšení ARS zjištěno v hloubce 10–15 cm pro obě dávky digestátu a v největší hloubce pouze pro dávku 40 $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. Byl tedy prokázán pozitivní vliv aplikace digestátu na stimulaci aktivit transformace živin v hlubších vrstvách půdy.

Stanovení N-acetyl- β -glukosaminidázy (NAG), indikátoru mineralizace dusíku a uhlíku souvisejícího přeměnou houbové biomasy v půdě, neukázalo výrazný vliv hloubky půdy nebo dávky digestátu v roce

2020 (Obr. 3d). Naopak digestát zapravený do půdy ve vysoké dávce ($40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) výrazně zlepšil aktivitu NAG ve všech hloubkách v roce 2021, pravděpodobně v důsledku vyšší dostupnosti živin. V minulosti bylo zjištěno, že digestát zvyšuje aktivitu NAG v půdě (García-Sánchez et al., 2015). Z těchto výsledků jsme odvodili, že pásové zpracování méně bohaté půdy pozitivně ovlivnilo houbovou biomasu v celém profilu, aniž by hloubka půdy měla negativní vliv. Předpokládali jsme, že přídavek dusíku získaného z digestátu podporoval růst hub účinněji ve střední vrstvě půdy ve srovnání s vrchní vrstvou půdy (2021) v důsledku menšího objemu volatilizace amoniaku způsobující ztráty dusíku.

Ureáza (Ure) je všudypřítomný enzym, který se používá k monitorování rané fáze mineralizace dusíku a deaminace organických dusíkatých sloučenin. Ure klesala s hloubkou na výrazně nejnižší hodnoty v 15–20 cm v kontrolní půdě v obou letech a v roce 2020 s dávkou $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Obr. 3e). Důvodem pravděpodobně bylo omezené množství půdní organické hmoty v nejhlubší vrstvě půdy, podobně jako uvádějí Li et al. (2015). Aplikace digestátu v roce 2020 však zvýšila hodnoty Ure při dávce $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ve svrchní vrstvě půdy a v hloubce 10–15 cm, zatímco digestát bohatší na živiny v roce 2021 zvýšil Ure nejvíce ve střední vrstvě půdy v obou dávkách a ve svrchní vrstvě půdy pouze v dávce $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Proto jsme opět zjistili, že potřeba amonného dusíku získaného digestátem ve střední vrstvě půdy byla v roce 2021 ve srovnání s ornici vyšší, pravděpodobně v důsledku nižší dostupnosti dusičnanového dusíku.



Obr. 4: a) Bazální respirace, b) D-glukózou indukovaná respirace, c) D-manózou indukovaná respirace, d) L-alaninem indukovaná respirace. Průměrné hodnoty \pm směrodatná odchylka, statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$

Bazální respirace půdy (BR) představující mineralizaci uhlíku a překvapivě nevykazovala v roce 2020 v rámci celého profilu žádný rozdíl a v roce 2021 pokles ve svrchní vrstvě půdy ve srovnání s hlubšími vrstvami u kontroly (Obr. 4a). Ve shodě s výsledky ostatních mikrobiálních aktivit byla respirace v sezóně 2021 nejvyšší ve střední vrstvě půdy při $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ a stejná dávka také významně zvýšila BR ve svrchní vrstvě půdy ve srovnání s hloubkou 15–20 cm. Tento výsledek byl v souladu s dříve uváděnými pozitivními účinky přídavku digestátu na BR (Elbl et al., 2020; Habova et al., 2016). Půda v roce 2020 vykazovala vyšší BR ve svrchní a střední vrstvě půdy při dávce $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, avšak se zřetelnou negativní závislostí hodnot na rostoucí hloubce při dávce $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. V roce 2020 byla BR vyšší v hloubkách 10–15 cm a 15–20 cm. Digestát aplikovaný do různých vrstev půdy nevyvolal ve všech stejnou stimulaci aerobní mineralizace uhlíku, pravděpodobně z důvodu nižšího provzdušnění hluboké půdy a menší

přístupnosti uhlíku v důsledku nižší sušiny digestátu, které působí jako limitující faktory na BR v roce 2020.

Vzhledem k předpokládané výraznější stimulaci půdního mikrobiomu vysokými dávkami bohatšího digestátu v roce 2021 došlo ke zvýšení celkového respiračního potenciálu, jak ukazuje glukózou indukovaná respirace (Glc-SIR). Tato vyšší biomasa respirujících mikrobů mohla překonat omezení kyslíku. To můžeme odvodit z hodnot Glc-SIR pro rok 2021, které byly významně vyšší ve všech hloubkách při aplikaci $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (Obr. 4b). To bylo opět v souladu s uváděným vyšším pozitivním vlivem digestátu na respiraci vyvolanou substrátem v půdě paralelně ošetřené digestátem a minerálním hnojivem (Elbl et al., 2020). Absolutně nejvyšší hodnoty Glc-SIR byly zjištěny ve střední vrstvě půdy (10–15 cm), což je vysvětlitelné předpokládanou zvýšenou mineralizací labilní frakce uhlíku získaného digestátem ve svrchní vrstvě půdy ve srovnání s hlubšími vrstvami půdy, které si zachovaly více oxidovatelného uhlíku po delší dobu stimulace aerobní respirace mikrobů spojenou s digestátem. Na rozdíl od roku 2021 se Glc-SIR v roce 2020 výrazně nejvíce zvýšila v ornici, a to oběma dávkami digestátu. Tato skutečnost zdůraznila pozitivní vliv aplikace digestátu ve svrchní vrstvě půdy, ale naznačila snížený účinek v hlubších vrstvách. Stimulace respirační kapacity digestátem v hlubších vrstvách byla zřejmě opět limitována nasycením půdy kyslíkem. Nicméně výrazné přírůstky Glc-SIR v nejhlubší vrstvě půdy (15–20 cm) v roce 2020 a všechny přírůstky SIR v hloubce 15–20 cm při vysoké dávce $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (oproti 0 a $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) v roce 2021 naznačily pozitivní vliv aplikace digestátu k obohacení všech vrstev půdy živinami a pro stimulaci jejich transformace.

Byly pozorovány podobné, ale ještě významnější pozitivní účinky vysoké dávky digestátu na respiraci vyvolanou cukry a aminokyselinami (Man-SIR a Ala-SIR) v roce 2021. Man-SIR (Obr. 4c) a Ala-SIR (Obr. 4d) způsobily významné zvýšení těchto SIR ve všech hloubkách při aplikaci $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. V roce 2021 byly nejvyšší hodnoty Man-SIR a Ala-SIR zjištěny ve střední vrstvě půdy, z čehož jsme usoudili (stejně jako u výsledků stanovení Ure), že v hloubce 10–15 cm přídatek digestátu urychlil hydrolyzu Ure více než ve svrchní vrstvě půdy, pravděpodobně v důsledku zpomalené tvorby dusičnanů. Pozitivní účinky digestátu na Ala-SIR i Man-SIR ve srovnání s kontrolní ornici (20 a $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) a půdou v hloubce 10–15 cm ($20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) byly zjištěny i v roce 2020. U variant s přídatkem digestátu byla opět zjištěna silná nepřímá závislost Ala-SIR a Man-SIR na hloubce půdy. Proto jsme předpokládali částečnou stabilizaci vnesené organické hmoty v hlubších vrstvách spolu s imobilizací dusíku, jak uvádějí jiní autoři (Horta a Carneiro, 2021; Greenberd et al., 2019), a usuzovali jsme na to z výsledků respirace a enzymových (ARS, NAG a Ure).

Zjistili jsme, že pásové zpracování půdy v kombinaci s přídatkem digestátu ve třech různých hloubkách (10, 15 a 20 cm) zlepšilo biologické vlastnosti půdy a mikrobiální aktivitu související s přeměnou živin, ale rozdílně v jednotlivých letech (2020 a 2021), což bylo způsobeno rozdíly ve vlastnostech aplikovaného digestátu. Můžeme zobecnit, že nejvýraznější zlepšení oxidovatelného uhlíku, arylsulfatázy, ureázy a všech typů respirace v roce 2020 (ve srovnání s ornici (0–10 cm)) bylo způsobeno nižší ($20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) dávkou digestátu ve střední vrstvě půdy (10–15 cm). Nejvýraznější pozitivní účinky na arylsulfatázu, N-acetyl- β -glukosaminidázu a všechny typy respirace v roce 2021 byly způsobeny vyšší ($40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) dávkou digestátu ve střední vrstvě půdy (10–15 cm) ve srovnání s ornici (0–10 cm). Kromě toho pásová aplikace digestátu (20 nebo $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) v hlubších vrstvách půdy (10–15 a 15–20 cm) zmírnila pokles hodnot Cox (v obou letech) a β -glukosidázy (v roce 2021) v závislosti na hloubce (ve srovnání s odpovídajícími vrstvami kontrolní půdy). Došli jsme k závěru, že pásové zpracování půdy v kombinaci s aplikací méně bohatého digestátu v sezóně 2020 mělo méně přínosný vliv výrazněji negativně ovlivněnou hloubkou půdy, zejména ve vztahu k ukazatelům respirace. Naopak v roce 2021 byly výrazně pozitivní dopady digestátu aplikovaného prostřednictvím strip-tillu srovnatelné pro všechny tři různé hloubky půdy a ověřily tak přínos této agrotechniky pro zdraví a kvalitu půdy z pohledu aktivity půdního mikrobiálního společenstva.

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

Využití uvedeného řešení v praxi umožní zemědělským subjektům efektivnější hospodaření s tekutými organickými hnojivy (digestátem). Přímá aplikace těchto hnojiv do půdy s využitím pásového zpracování během předsetové přípravy představuje jeden ze způsobů, jak efektivně využít disponibilní množství živin pro výživu rostlin v období intenzivního růstu a tím i vyšší výnos kukuřičné siláže. Hospodárnější využití živin z organických hnojiv a jejich přímá aplikace do půdy přispějí k ochraně životního prostředí a možnému snížení spotřeby průmyslových hnojiv. Aplikace $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ vedla k průměrnému zvýšení výnosu sušiny kukuřičné siláže o $1,52 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ a tím k ekonomickému přínosu v hodnotě $2965 \text{ Kč} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, aplikace $40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ pak zvýšila průměrný výnos sušiny kukuřičné siláže o $2,85 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, což odpovídá $5702 \text{ Kč} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Což je vzhledem k nulovým nákladům na pořízení digestátu velice výhodné, především v době růstu cen průmyslových hnojiv a jejich nižší dostupnosti na trhu.

Mezi další výhody pásového zpracování půdy spojeného s aplikací digestátu patří také lepší protierozní ochrana při zakládání porostu kukuřice, snížení úniku volného amoniaku a vyplavování dusičnanů do podzemních vod, čímž tato technologie přispívá k ochraně životního prostředí a šetrnějšímu hospodaření s dusíkem v souladu s evropskou a národní legislativou.

Závěrem lze tedy říci, že představená technologie vede k celkovému zlepšení chemicko-biologických půdních podmínek, které vedou k zachování zdraví a kvality orné půdy s následným zlepšením ekonomiky zemědělské produkce při současné redukci environmentálních rizik.

POUŽITÁ LITERATURA

- Adediran J.A., De Baets N., Mnkeni P.N.S., Kiekens L., Muyima N.Y.O. and Thys A. (2003): Organic waste materials for soil fertility improvement in the border region of the eastern cape, south africa. *Biological Agriculture & Horticulture*, **20**(4): 283-300. doi: 10.1080/01448765.2003.9754974.
- Álvaro-Fuentes, J.; Morell, F.J.; Madejón, E.; Lampurlanés, J.; Arrúe, J.L.; Cantero-Martínez, C. Soil biochemical properties in a semiarid Mediterranean agroecosystem as affected by long-term tillage and N fertilization. *Soil Tillage Res.* **2013**, *129*, 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.01.005>.
- Báth B. and Rämert B. (1999): Organic household wastes as a nitrogen source in leek production. *Acta Agriculturae Scandinavica, B*, **49**(4): 201-208. doi: 10.1080/090647100750001569.
- Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Holec, J., Cihlář, P., Fuksa, P., Procházka, L., Pivec, J., 2011: Uplatnění pásového zpracování půdy v porostech silážní kukuřice. *Agromanuál*, **3**(6), 76-79.
- Campbell, C.D.; Chapman, S.J.; Cameron, C.M.; Davidson, M.S.; Potts, J.M. 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. *Appl. Environ. Microbiol.* **2003**, *69*, 3593–3599. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.6.3593-3599.2003>.
- Celik, I.; Barut, Z.B.; Ortas, I.; Gok, M.; Demirbas, A.; Tulun, Y.; Akpınar, C. Impacts of different tillage practices on some soil microbiological properties and crop yield under semi-arid Mediterranean conditions. *Int. J. Plant Prod.* **2011**, *5*, 237–254.
- Deng, S.P.; Tabatabai, M.A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. *Biol. Fertil. Soils* **1997**, *24*, 141–146. <https://doi.org/10.1007/s003740050222>.
- Diederich, K.M.; Ruark, M.D.; Krishnan, K.; Arriaga, F.J.; Silva, E.M. Increasing Labile Soil Carbon and Nitrogen Fractions Require a Change in System, Rather Than Practice. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **2019**, *83*, 1733–1745. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.11.0458>.
- Elbl, J.; Simeckova, J.; Skarpa, P.; Kintl, A.; Brtnický, M.; Vaverkova, M.D. Comparison of the Agricultural Use of Products from Organic Waste Processing with Conventional Mineral Fertilizer: Potential Effects on Mineral Nitrogen Leaching and Soil Quality. *Agron.* **2020**, *10*, 19. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020226>.
- García-Sánchez, M.; Siles, J.A.; Cajthaml, T.; García-Romera, I.; Tlustoš, P.; Száková, J. Effect of digestate and fly ash applications on soil functional properties and microbial communities. *Eur. J. Soil Biol.* **2015**, *71*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.08.004>.
- Gryń G., Gryń G., Paluszak Z., Olszewska H. and Keutgen A.J. (2020): Chemical and microbiological properties of luvisol after addition of post-fermentation residue. *Journal of Elementology*, **25**(2/2020): 701-716. doi: 10.5601/jelem.2019.24.3.1872.
- Habova, M.; Vlcek, V.; Simeckova, J.; Hybler, V.; Pospisilova, L.; Jandak, J. Response of microbial associations to fertilizers application. In Proceedings of the 23rd International PhD Students Conference (MendelNet), Mendel Univ Brno, Fac AgriSciences, Brno, Czech Republic, 9–10 November 2016; pp. 411–416.
- Holátko J., Hammerschmiedt T., Kintl A., Mustafa A., Naveed M., Baltazar T., Latal O., Skarpa P., Ryant P. and Brtnický M. (2022): 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. *Frontiers in Plant Science*, **13**. doi: 10.3389/fpls.2022.1004879.
- ISO_14235:1998. Soil quality—Determination of organic carbon by sulfochromic oxidation. *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland, 1998.
- ISO_20130:2018. Soil quality—Measurement of enzyme activity patterns in soil samples using colorimetric substrates in micro-well plates. *International Organization for Standardization*, Geneva, Switzerland, 2018.
- Karpenstein-Machan M. (2001): Sustainable cultivation concepts for domestic energy production from biomass. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **20**(1): 1-14.
- Koszel, M.; Lorenkowicz, E. Agricultural Use of Biogas Digestate as a Replacement Fertilizers. *Agric. Agric. Sci. Procedia* **2015**, *7*, 119–124. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.12.004>.
- Li, N.; Xu, Y.-Z.; Han, X.-Z.; He, H.-B.; Zhang, X.-d.; Zhang, B. Fungi contribute more than bacteria to soil organic matter through necromass accumulation under different agricultural practices during the

- early pedogenesis of a Mollisol. *Eur. J. Soil Biol.* **2015**, *67*, 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.02.002>.
- Ma, X.Z.; Chen, L.J.; Chen, Z.H.; Wu, Z.J.; Zhang, L.L.; Zhang, Y.L. Soil glycosidase activities and water soluble organic carbon under different land use types. *Rev. Cienc. Suelo Y Nutr. Veg.* **2010**, *10*, 93–101.
- Möller K. and Stinner W. (2009): Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *European Journal of Agronomy*, **30**: 1-16.
- Musatti, A.; Ficara, E.; Mapelli, C.; Sambusiti, C.; Rollini, M. Use of solid digestate for lignocellulolytic enzymes production through submerged fungal fermentation. *J. Environ. Manag.* **2017**, *199*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.022>.
- Nabel M., Schrey S.D., Poorter H., Koller R. and Jablonowski N.D. (2017): Effects of digestate fertilization on sida hermaphrodita: Boosting biomass yields on marginal soils by increasing soil fertility. *Biomass & Bioenergy*, **107**: 207–213. doi: 10.1016/j.biombioe.2017.10.009.
- Riva, C., Orzi, V., Carozzi, M., Acutis, M., Boccasile, G., Lonati, S., ... & Adani, F. (2016). Short-term experiments in using digestate products as substitutes for mineral (N) fertilizer: Agronomic performance, odours, and ammonia emission impacts. *Science of the Total Environment*, *547*, 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.156>
- Rivard C.J., Rodriguez J.B., Nagle N.J., Self J.R., Kay B.D., Soltanpour P.N. and Nieves R.A. (1995): Anaerobic digestion of municipal solid waste. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, **51-52**(1): 125-135. doi: 10.1007/bf02933417.
- Šimon, T., Kunzová, E., & Friedlová, M. (2015). The effect of digestate, cattle slurry and mineral fertilization on the winter wheat yield and soil quality parameters. *Plant, Soil and Environment*, *61*(11), 522-527. <https://doi.org/10.17221/530/2015-PSE>
- Slepetiene, A.; Volungevicius, J.; Jurgutis, L.; Liaudanskiene, I.; Amaleviciute-Volunge, K.; Slepetys, J.; Ceseviciene, J. The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania. *Waste Manag.* **2020**, *102*, 441–451. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.008>.
- Spagnolo S., Tinello A., Cavinato C., Zabeo A. and Semenzin E. (2019): Sustainability assessment of two digestate treatments: A comparative life cycle assessment. *Environmental Engineering and Management Journal*, **18**(10): 2193-2202.
- Tabatabai, M.; Bremner, J. Factors affecting soil arylsulfatase activity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **1970**, *34*, 427–429.
- Tauchnitz, N., Bischoff, J., Schrödter, M., Ebert, S., & Meissner, R. (2018). Nitrogen efficiency of strip-till combined with slurry band injection below the maize seeds. *Soil and Tillage Research*, *181*, 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.03.020>
- USDA. Conservation practice definitions and their corresponding potential to adversely impact cultural resources. *Nat. Resour. Conserv. Serv.* **2013**, *11*.
- Wang L. (2014). Anaerobic digestion of organic wastes, CRC Press. doi: 10.1201/b16764-24.
- Wang Y., Shen F., Liu R. and Wu L. (2008): Effects of anaerobic fermentation residue of biogas production on the yield and quality of chinese cabbage and nutrient accumulations in soil. *International Journal of Global Energy Issues*, **29**(3): 284. doi: 10.1504/ijgei.2008.018009.
- Yaseen M., Ahmad A., Naveed M., Ali M.A., Shah S.S.H., Hasnain M., Ali H.M., Siddiqui M.H., Salem M.Z.M. and Mustafa A. (2021): Subsurface-applied coated nitrogen fertilizer enhanced wheat production by improving nutrient-use efficiency with less ammonia volatilization. *Agronomy*, **11**(12): 2396. doi: 10.3390/agronomy11122396.

SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

Časopis Agriculture (J_{imp}): Does Digestate Dose Affect Fodder Security and Nutritive Value?, <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/2/133>

Časopis Agronomy (J_{imp}): Biochar and Sulphur Enriched Digestate: Utilization of Agriculture Associated Waste Products for Improved Soil Carbon and Nitrogen Content, Microbial Activity, and Plant Growth, <https://doi.org/10.3390/agronomy11102041>

Časopis Agronomy (J_{imp}): Comparison of the Agricultural Use of Products from Organic Waste Processing with Conventional Mineral Fertilizer: Potential Effects on Mineral Nitrogen Leaching and Soil Quality, <https://doi.org/10.3390/agronomy10020226>

Časopis Agronomy (J_{imp}): Deciphering the Effectiveness of Humic Substances and Biochar Modified Digestates on Soil Quality and Plant Biomass Accumulation, <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/7/1587>

Časopis Agronomy (J_{imp}): Effects of Strip-Till and Simultaneous Fertilization at Three Soil Depths on Soil Biochemical and Biological Properties, <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/11/2597>

Časopis Agronomy Research (J_{sc}): Digestate application with regard to greenhouse gases and physical soil properties <https://doi.org/10.15159/ar.21.125>

Chemical and Biological Technologies in Agriculture (J_{imp}): EFFECT of digestates derived from the fermentation of maize-legume intercropped culture and maize monoculture application on soil properties and plant biomass production, <https://doi.org/10.1186/s40538-022-00310-6>

Užitný vzor č. 34062 „Aplikátor a zařízení pro vícevrstvou aplikaci kapalných organických hnojiv“ zapsaný u Úřadu průmyslového vlastnictví

Vědecká příloha časopisu Úroda (J_{ost}): Ovlivnění půdní respirace přidavkem digestátu s různým obsahem síry

Vědecká příloha časopisu Úroda (J_{ost}): Vliv aplikace digestátu do porostu vojtěšky na její výnos a půdní parametry

Vědecká příloha časopisu Úroda (J_{ost}): Vliv obohaceného digestátu na půdní respiraci

Vědecká příloha časopisu Úroda (J_{ost}): Vliv přidavku biouhlu a bentonitu na kvalitativní parametry digestátu