NÁRODNÉ POĽNOHOSPODÁRSKE
A POTRAVINÁRSKE CENTRUM
VÝSKUMNÝ ÚSTAV RASTLINNEJ
VÝROBY

TESTOVANIE APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV NA ZLEPŠENIE PÔDNEJ BIOLÓGIE, ORGANICKEJ HMOTY A OBSAHU ŽIVÍN V PÔDE

SPRÁVA Z POĽNÉHO POKUSU

2024

TESTOVANIE APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV NA ZLEPŠENIE PÔDNEJ BIOLÓGIE, ORGANICKEJ HMOTY A OBSAHU ŽIVÍN V PÔDE

SPRÁVA Z POĽNÉHO POKUSU

Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum Lužianky
2024

Názov: Testovanie aplikácie organických hnojív na zlepšenie pôdnej biológie, organickej hmoty a obsahu živín v pôde

Správa z poľného pokusu

Autori: RNDr. Igor Danielovič, PhD.
Ing. Božena Šoltysová, PhD.
Ing. Ladislav Kováč, PhD.
Mgr. Katarína Ondreičková, PhD.
PhDr. Lucia Baľák Lukáňová

Nerecenzované

Poďakovanie

Táto správa vznikla vďaka podpore v rámci projektu č. 19R01-18-P01-00001 „Rozvoj a podpora výroby udržateľného biometánu, organických hnojív a obehového biohospodárstva“ (Repower).

OBSAH

ÚVOD 6
1. MATERIÁL A METÓDY 7
1.1 Charakteristika pokusnej lokality 7
1.2 Charakteristika klimatických pomerov na pokusnej lokalite 7
1.3 Charakteristika pôdnych pomerov pokusnej lokality 9
1.4 Spôsob založenia pokusov 9
1.5 Sledované parametre 15
2. EFEKT APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV NA SLEDOVANÉ PARAMETRE 18
2.1 Hodnotenie produkčných a kvalitatívnych parametrov zrna kukurice siatej *(Zea mays L.)* .. 18
2.2 Vplyv aplikácie organických hnojív na pôdne prostredie 22
2.2.1 Biologické parametre pôdy – mikrobiálna diverzita 22
2.2.2 Biologické parametre pôdy – biologické zdravie 34
2.2.3 Organická hmota v pôde 35
2.2.4 Chemické parametre pôdy 36
2.2.5 Fyzikálne parametre pôdy 38
3. ZÁVER – ODPORÚČANÉ TECHNOLÓGIE APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV 42
4. POUŽITÁ LITERATÚRA 44

ÚVOD

Pôda je základnou zložkou životného prostredia a neobnoviteľným a nenahraditeľným prírodným zdrojom. Pri jej intenzívnom využívaní sa však stáva ľahko zničiteľným prírodným zdrojom. Základným cieľom udržateľného rozvoja je rozumné hospodárenie na pôde s udržaním jej základných vlastností na optimálnej úrovni. Zdravá pôda je základom úspešného rastu rastlín, keď poskytuje pestovaným plodinám mechanickú oporu, zásobuje ich vodou, vzduchom a minerálnymi živinami.

Človek využíva pôdu a táto jeho aktivita je plošne najrozsiahlejšou. Pri tomto plošnom využívaní pôdy sa do popredia dostávajú dva najdôležitejšie záujmy človeka, ktorými sú výroba potravín a ochrana a tvorba životného prostredia. V súvislosti so štrukturálnymi zmenami spoločnosti, nielen v poľnohospodárstve, je potrebné si uvedomiť, že trvalá udržateľnosť je najnovšou a v súčasnosti jedinou koncepciou budúcnosti ľudstva (Fazekašová, Poráčová, 1999).

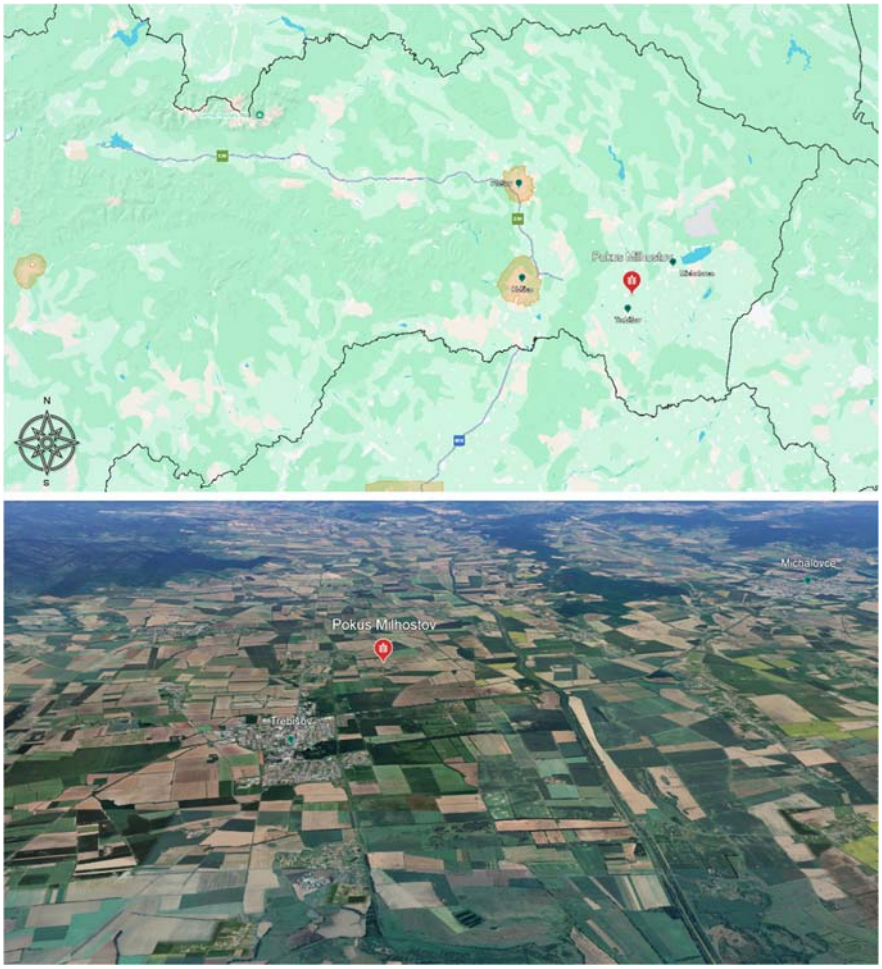
K trvalej udržateľnosti krajiny, životného prostredia a pôdy prispieva aj výrazné rozšírenie využitia organických hnojív v agrárnej praxi. Okrem tradične využívaných organických hnojív ako je napr. maštaľný hnoj, hnojovica, komposty sa rozširuje sortiment ponúkaných organických hnojív rôzneho pôvodu a zloženia od mnohých výrobcov. Organické hnojivá sú rozličné látky rastlinného alebo živočíšneho pôvodu. Sú to plnohodnotné hnojivá, pretože na ich zložení sa zúčastňujú tie isté látky, ktoré sa zúčastňujú na tvorbe rastlinnej hmoty. Vo všeobecnosti organické hnojivá obsahujú uhlíkovú matricu organických biologických látok (prítomných v maštaľnom hnoji, komposte, rastlinných pozberových zvyškoch, zelenom hnojení a.pod.), ktorá je nenahraditeľná pre formovanie pôdnej štruktúry, sorpčného komplexu a humusu. Vytvára potenciálne zdroje živín a zodpovedá za mikrobiologickú aktivitu a pôdnu úrodnosť.

Cieľom správy je vyhodnotiť rôzne technologické postupy aplikácie organických hnojív z aspektu ich vplyvu nielen na produkčné a kvalitatívne parametre plodiny, ale najmä na pôdu – biologický život v pôde, chemické a fyzikálne parametre.

1. MATERIÁL A METÓDY

1.1 Charakteristika pokusnej lokality

Experimentálne pracovisko Milhostov sa nachádza v centrálnej časti Východoslovenskej nížiny v nadmorskej výške 101 m (48°40´ s. š.; 21°44´ v. d.) severozápadne od okresného mesta Trebišov (Obr. 1).



Obr. 1 Experimentálne pracovisko Milhostov *(zdroj: Excel enterprise, s.r.o.)*

1.2 Charakteristika klimatických pomerov na pokusnej lokalite

Experimentálne pracovisko patrí podľa Linkeša et al. (1996) do teplého a veľmi suchého nížinného kontinentálneho klimatického regiónu T 03. V tabuľke 1 je uvedené porovnanie mesačnej priemernej teploty vzduchu v roku 2024 s dlhodobým normálom z rokov 1981 – 2010 (Danilovič, Hlavatá a Šoltysová, 2017).

Teplota vzduchu v roku 2024 bola, s výnimkou mesiaca november, vyššia ako je dlhodobý normál. Počas vegetácie kukurice boli podľa hodnotenia mesiace apríl a máj teplé, ale ďalšie mesiace jún až august mimoriadne teplé. Ešte aj september bol veľmi teplý. Teplota v októbri bola normálna, ale to už nemalo zásadný vplyv na porast kukurice a pôdne parametre. V zásade je možné pestovateľský ročník 2024 počas vegetácie hodnotiť ako mimoriadne teplý.

Tabuľka 1 Porovnanie mesačnej priemernej teploty vzduchu [°C] v roku 2024 s dlhodobým normálom

Mesiac	DN	2024	Odchýlka od DN	Hodnotenie
I.	-2,2	0,2	2,4	teplý
II.	-0,8	6,5	7,3	mimoriadne teplý
III.	4,3	8,6	4,3	mimoriadne teplý
IV.	10,4	12,7	2,3	teplý
V.	15,5	17,4	1,9	teplý
VI.	18,4	21,2	2,8	mimoriadne teplý
VII.	20,4	24,2	3,8	mimoriadne teplý
VIII.	19,8	23,3	3,5	mimoriadne teplý
IX.	14,8	18,2	3,4	veľmi teplý
X.	9,3	10,2	0,9	normálny
XI.	3,7	3,0	-0,7	normálny
XII.	-1,0	2,0	3,0	teplý
$\bar{x}$ **I.-XII.**	9,4	12,3	2,9	mimoriadne teplý
$\bar{x}$ **IV.-IX.**	16,6	19,5	2,9	mimoriadne teplý

kde: DN – dlhodobý normál za roky 1981 – 2010, $\bar{x}$ – priemer, MPN – mimoriadne podnormálny / mimoriadne chladný, SPN – silne podnormálny / veľmi chladný, PN – podnormálny / chladný, N – normálny, NN – nadnormálny / teplý, SNN – silne nadnormálny / veľmi teplý, MNN – mimoriadne nadnormálny / mimoriadne teplý

Tabuľka 2 Porovnanie mesačnej sumy zrážok [mm] v rokoch 2024 s dlhodobým normálom

Mesiac	DN	2024	% DN	Hodnotenie
I.	23	39,6	172,2	vlhký
II.	26	16,7	64,2	normálny
III.	29	24,9	85,8	normálny
IV.	41	40,8	99,5	normálny
V.	66	70,7	107,1	normálny
VI.	67	102,6	153,1	vlhký
VII.	77	22,3	29,0	veľmi suchý
VIII.	66	43,7	66,2	normálny
IX.	57	97,8	171,6	vlhký
X.	41	37,1	90,5	normálny
XI.	37	21,3	57,6	suchý
XII.	37	15,1	40,8	suchý
Σ I.-XII.	567	532,6	93,9	normálny
Σ IV.-IX.	374	377,9	101,0	normálny

kde: DN – dlhodobý normál za roky 1981 – 2010, MPN – mimoriadne podnormálny / mimoriadne suchý, SPN – silne podnormálny / veľmi suchý, PN – podnormálny / suchý, N – normálny, NN – nadnormálny / vlhký, SNN – silne nadnormálny / veľmi vlhký, MNN – mimoriadne nadnormálny / mimoriadne vlhký, Σ – suma

Pri hodnotení zrážkových pomerov počas vegetácie od apríla do konca septembra môžeme skonštatovať normálny priebeh zrážkovej činnosti s výnimkou mesiaca júl. Veľmi suchý júl s úhrnom zrážok len 22,3 mm negatívne vplýval na vývoj porastu kukurice. V tomto mesiaci je kukurica mimoriadne náročná na vlahu, čo ovplyvnilo aj výsledné úrody kukurice.

Normálny zrážkový úhrn (43,7 mm) v auguste a vlhký priebeh počasia v septembri (97,8 mm) už nemali významný vplyv na úrodu, ale čiastočne vplývali na biologickú aktivitu v pôde.

1.3 Charakteristika pôdnych pomerov pokusnej lokality

Na území pokusnej lokality sa nachádzajú fluvizeme glejové (FM_G), ktoré vznikli v dôsledku dlhodobého pôsobenia podzemnej a povrchovej vody na veľmi ťažkých aluviálnych sedimentoch s nepriaznivými fyzikálnymi, hydrofyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Agronomické vlastnosti týchto pôd sú podmienené hlavne podielom ílovitých častíc v celom pôdnom profile, resp. iba v podornici. Fluvizeme glejové v Milhostove sú ťažké, ílovito-hlinité pôdy s priemerným obsahom ílovitých častíc vyšším ako 53 %. Ornica je hrudkovitej štruktúry s vysokou pútacou schopnosťou a je ťažko priepustná v celom profile. V pôdnom profile v hĺbke 0,7 – 0,8 m sa nachádza tmavosivý až žltosivý íl. Vysoký obsah ílovitých častíc významne ovplyvňuje ich agronomické vlastnosti.

Pokus s aplikáciou organických hnojív bol založený na fluvizeme glejovej, ktorej zrnitostné zloženie do hĺbky 0,3 m je uvedené v tabuľke 3. Hlavné zrnitostné frakcie jemnozeme sú nasledovné: 1. frakcia – íl (< 0,001 mm), 2. frakcia – jemný a stredný prach (0,001 – 0,01 mm), 3. frakcia – hrubý prach (0,01 – 0,05 mm), 4. frakcia – jemný piesok (0,05 – 0,25 mm), 5. frakcia – stredný piesok (0,25 – 2,00 mm). Obsah zŕn I. kategórie (< 0,01 mm) bol určený ako súčet 1. a 2. frakcie, t.j. súčet obsahu ílu a jemného a stredného prachu. Z pohľadu zrnitostného zloženia sa jedná o pôdu ťažkú ílovito-hlinitú s priemerným obsahom ílovitých častíc 51,43 %.

Tabuľka 3 Priemerné zrnitostné zloženie pôdy [%] na pokusnej lokalite v hĺbke 0,0 – 0,3 m

∅ zŕn [mm]					
<0,001	**0,001-0,01**	**0,01 – 0,05**	**0,05 – 0,25**	**0,25 – 2,0**	**< 0,01**
29,19	22,24	31,99	14,49	2,09	51,43

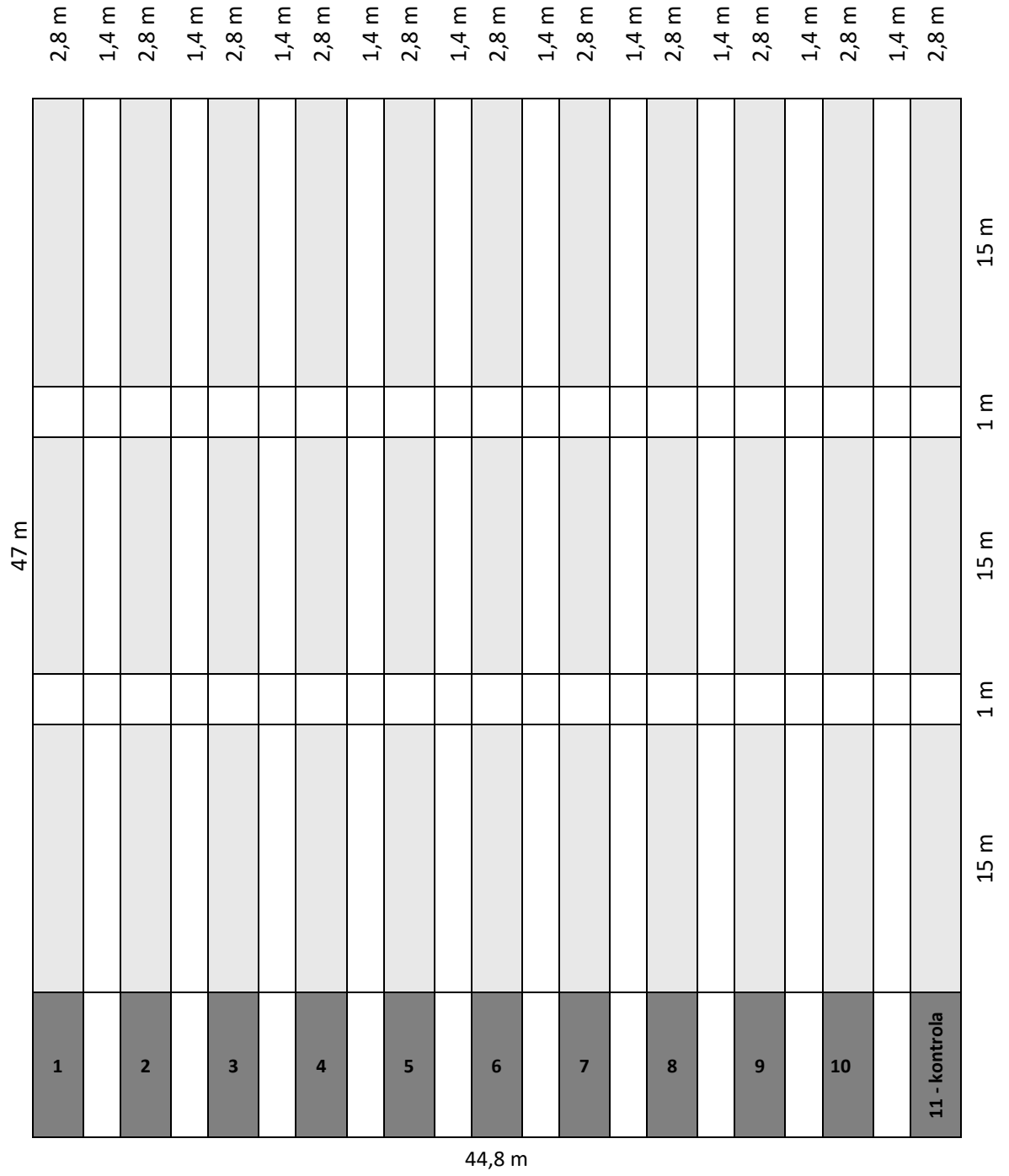
Základné chemické vlastnosti ornice pokusného stanovišťa sú nasledovné: dobrá zásoba prístupného fosforu (priemerne 100 $mg.kg^{-1}$), vyhovujúca zásoba prístupného draslíka (priemerne 250 $mg.kg^{-1}$), dobrá zásoba prístupného vápnika (priemerne 3700 $mg.kg^{-1}$) a prístupného horčíka (priemerne 300 $mg.kg^{-1}$), výmenná pôdna reakcia (pH/KCl) je slabo kyslá (priemerne 5,8), obsah humusu v strednej zásobe (2,5 %), typ humusu je humátovo-fulvátový až fulváto-humátový.

Hodnoty základných fyzikálnych vlastností skúmaného pôdneho prostredia sa pohybujú v nasledujúcom rozmedzí: merná hmotnosť 2600 – 2650 $kg.m^{-3}$, objemová hmotnosť 1400 – 1640 $kg.m^{-3}$ a pórovitosť je 39 – 44 %. Hydrofyzikálne charakteristiky pôdneho prostredia sú v súlade s fyzikálnymi vlastnosťami. Hodnoty poľnej vodnej kapacity, vyjadrenej ako maximálna kapilárna vodná kapacita sa v pôdnom profile pohybujú v rozpätí 35 – 40 % a hodnoty využiteľnej vodnej kapacity 13 – 17 %.

1.4 Spôsob založenia pokusov

Na základe rokovaní s Asociáciou výrobcov organických hnojív bolo vypracovaných 10 technologických postupov (označenie variantov 1 až 10) pre založenie pokusu s kukuricou

siatou. Variant 11 je kontrolným variantom hnojeným NPK hnojivom. Pokus bol založený dňa 3.5.2024 metódou dlhých pásov v troch opakovaniach podľa schémy uvedenej na Obr. 2 a 3. Variantne na aktiváciu osiva boli použité prípravky: Rokoaktív, Ecofertile a Chitopron. Pred výsevom plodiny, opäť variantne, boli do pôdy použité hnojivá: Rokolan, Ecofertile, Trifender, Zeo Granul, Humac, Agro Eca Protect, Premium Lasta, Revital, Effeco by ZZ. Na plodinu pri dodržaní technologických postupov boli použité hnojivá: Rokohumín, Rokolan, Microfertile, Klinogrow, Agro Eca Protect, Vermivital, Biomit a Amazon (tabuľka 4).



Obr. 2 Schéma pokusu

Obr. 3 Pokus s kukuricou siatou

Tabuľka 4 Varianty aplikácie organických hnojív

Variant/ ošetrenie	1	2	3	4	5
3.listová výživa Aplikačná dávka/ha	**ROKOHUMÍN kvapalný** 5 l/ha **MICROfertile** 5 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 5 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 5 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha **AGRO ECA PROTECT** 4 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha **AGRO ECA PROTECT** 4 l/ha **MICROfertile** 2 l/ha v 150 l vody
2.listová výživa Aplikačná dávka/ha	**ROKOHUMÍN kvapalný** 5 l/ha **MICROfertile** 5 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 5 l/ha **KLINOGROW** 1,5 kg/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 5 l/ha **KLINOGROW** 1,5 kg/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha **KLINOGROW** 1,5 kg/ha **AGRO ECA PROTECT** 4 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha **KLINOGROW** 1,5 kg/ha **AGRO ECA PROTECT** 4 l/ha **MICROfertile** 2 l/ha v 150 l vody
1.listová výživa Aplikačná dávka/ha	**ROKOHUMÍN kvapalný** 5 l/ha **MICROfertile** 5l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 5 l/ha **KLINOGROW** 1,5 kg/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 5 l/ha **KLINOGROW** 1,5 kg/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha **KLINOGROW** 1,5 kg/ha **AGRO ECA PROTECT** 4 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha **AGRO ECA PROTECT** 4 l/ha **MICROfertile** 2 l/ha v 150 l vody
Výživa pôdy Aplikačná dávka/ha	**ROKOLAN** 50 l/ha/ v 150 l vody **ECOFERTILE** 10 l/ha	**ROKOLAN** 30 l/ha v 150 l vody **ECOFERTILE** 15 l/ha	**ROKOLAN** 30 l/ha v 100-150 l vody zapracovať do pôdy **ZEO GRANUL** 180 kg/ha	**ROKOLAN** 30 l/ha **AGRO ECA PROTECT** 4 l/ha v 100-150 l vody zapracovať do pôdy **HUMAC** 150 kg/ha	**ROKOLAN** 20 l/ha **ECOFERTILE** 10 l/ha v 150 l vody zapracovať do pôdy **HUMAC** 100 kg/ha **PREMIUM LASTA** 100 kg/ha **ZEO GRANUL** 100 kg/ha
Ošetrenie osiva Aplikačná dávka/ha	**ROKOAKTÍV** 5 l/t osiva **ECOFERTILE** 1 l/t osiva	**ROKOAKTÍV** 5 l/t osiva + **CHITOPRON** 5 % 1 l/t osiva	**ROKOAKTÍV** 5 l/t osiva **ECOFERTILE** 1 l/t osiva	**ROKOAKTÍV** 5 l/t osiva	**ROKOAKTÍV** 5 l/t osiva **ECOFERTILE** 1 l/t osiva **CHITOPRON** 5 % 3 l/t osiva

pokračovanie tabuľky 4

Variant/ ošetrenie	6	7	8	9	10	11
3.listová výživa Aplikačná dávka/ha	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha v 150 l vody	**ROKOLAN** 5 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha **BIOMIT** 3 l/ha v 150 l vody	
2.listová výživa Aplikačná dávka/ha	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha v 150 l vody **VERMIVITAL KUKURICA** 5 l/ha min. 200 a viac litrov vody (fáza 6 – 10 listov)	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha **KLINOGROW** 1,5 kg/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha v 150 l vody	**ROKOLAN** 5 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha **AMAZON** 1 kg/ha **BIOMIT** 3 l/ha v 150 l vody	
1.listová výživa Aplikačná dávka/ha	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha **KLINOGROW** 1,5 kg/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha v 150 l vody	**ROKOLAN** 5 l/ha v 150 l vody	**ROKOHUMÍN kvapalný** 3 l/ha **BIOMIT** 3 l/ha v 150 l vody (4-6 listov)	
Výživa pôdy Aplikačná dávka/ha	**ROKOLAN** 20 l/ha v 100-150 l vody **REVITAL** 15 l/ha množstvo vody zvoliť podľa veľkosti postrekovača	**ROKOLAN** 20 l/ha v 100-150 l vody **EFFECO BY ZZ** 10 t/ha zaorať do pôdy (10-15 cm)	**ROKOLAN** 50 l/ha v 100-150 l vody	**ROKOLAN** 50 l/ha v 100-150 l vody	**ROKOLAN** 50 l/ha **TRIFENDER** 0,5 kg/ha v 100-150 l vody	**NPK** 100 kg/ha
Ošetrenie osiva Aplikačná dávka/ha	**ROKOAKTÍV** 5 l/t osiva **CHITOPRON** 5 % 3 l/t osiva	**ROKOAKTÍV** 5 l/t osiva **CHITOPRON** 5 % 3 l/t osiva	**ROKOAKTÍV** 5 l/**t** osiva	**ROKOAKTÍV** 5 l/t osiva	**ROKOAKTÍV** 5 l/t osiva	

1.5 Sledované parametre

Poľné sledovania boli vykonané na experimentálnom pracovisku v Milhostove a laboratórne analýzy na pracovisku v Michalovciach.

Priemerné teploty vzduchu a úhrny zrážok: Podklady (priemerné teploty vzduchu a úhrny zrážok) boli získané z meteorologickej stanice Slovenského hydrometeorologického ústavu. Údaje sa porovnávali s dlhodobým normálom (1981 – 2010) (Danilovič et al., 2017).

Úrody (t.ha^{-1}) zrna kukurice: Úrody kukurice boli zisťované z každého variantu aplikácie organických hnojív a z každého opakovania.

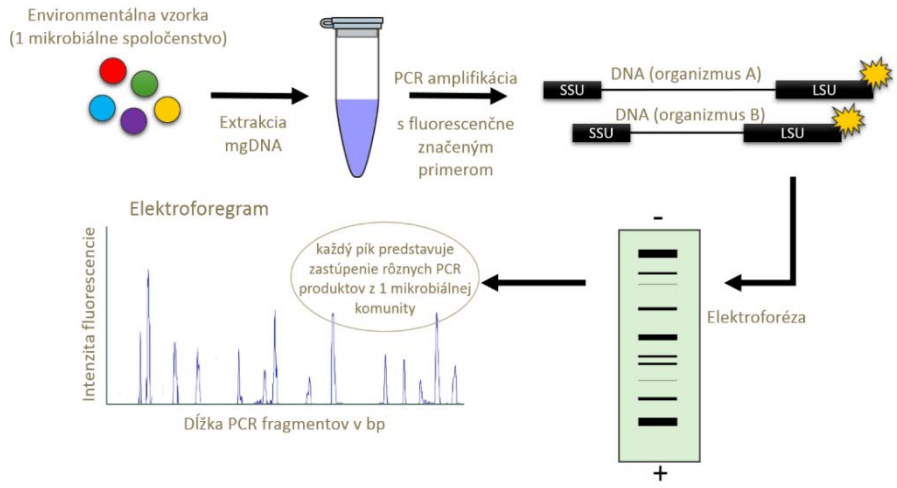
Kvalitatívne parametre zrna kukurice: z kvalitatívnych parametrov sa v laboratóriu zisťoval obsah dusíkatých látok a škrobu (Javorský a kol., 1987). Obidva parametre boli prepočítané na sušinu.

- obsah dusíkatých látok v zrne bol stanovený Kjeldahlovou metódou,
- obsah škrobu v zrne bol stanovený podľa Ewersa,
- sušina bola stanovená gravimetricky.

Stanovenie mikrobiálnej diverzity

Z **biologických parametrov pôdy** sa sledovala genetická diverzita baktérií a húb využitím metódy ARISA (Automated ribosomal intergenic spacer analysis). Hodnotila sa: celková mikrobiálna biomasa ako hmotnosť metagenomickej DNA (mg DNA) na 1 g pôdy; indexy alfa diverzity baktérií a húb (Chao-1, Simpson, Shannon, Evenness); celková diverzita baktérií a húb hodnotená pomocou viacrozmerných štatistických metód.
Vzorky pôdy boli odoberané z hĺbky cca 5-10 cm do uzatvárateľných ZIP vreciek z každého opakovania. Vzorky pôdy boli po odbere uskladnené v chlade a tme.

1. **odber porušených vzoriek pôdy:** odber pôdy vo fáze kvitnutia kukurice (10 variantov s aplikáciou stimulantov a 1 kontrolný variant v troch opakovaniach – 33 pôdnych vzoriek). Odber pôdnych vzoriek bol realizovaný 31.7.2024.
2. **odber porušených vzoriek pôdy:** odber pôdy v čase technologickej zrelosti kukurice (10 variantov s aplikáciou stimulantov a 1 kontrolný variant v troch opakovaniach – 33 pôdnych vzoriek). Odber pôdnych vzoriek bol realizovaný 10.10.2024.



Obr. 4 Schematický záznam jednotlivých krokov ARISA analýzy použitím fluorescenčne značených primerov.

Stanovenie biologického zdravia pôdy

Cieľom biologickej analýzy je získať prehľad o biologickom zdraví pôdy porovnaním vzoriek pôdy pred začatím experimentov so vzorkami z jednotlivých variantov experimentu pri jeho ukončení. Z tohto dôvodu vzorky pôdneho materiálu boli odoberané v dvoch termínoch:

1. odber dňa 15.4.2024 (pred sejbou kukurice a pred aplikáciou organických hnojív),
2. odber dňa 23.10.2024 (pred zberom kukurice siatej).

Biologická analýza zdravia pôdy zahŕňa nasledujúce parametre:

- biomasa prospešných húb (µg/g),
- biomasa prospešných baktérií (µg/g),
- pomer húb a baktérií,
- biomasa aktinobaktérií (µg/g),
- prítomnosť anaeróbnych baktérií (áno/nie),
- prítomnosť patogénnych baktérií (áno/nie),
- biomasa a diverzita oomycét (µg/g),
- množstvo améb (počet/g),
- množstvo bičíkovcov (počet/g),
- množstvo nálevníkov (počet/g),
- množstvo prospešných nematód (počet/g),
- množstvo parazitických nematód (počet/g),

Vzorky pôdneho materiálu boli vyhodnotené metodikou Soil Food Web pomocou mikrobiologického optického mikroskopu.

Predmetom analýzy bola:

- kvantifikácia biomasy baktérií pri 400 x zväčšení a pri riedení 1:1000
- kvantifikácia biomasy aktinobaktérií pri 400x zväčšení a pri riedení 1:10,
- kvantifikácia biomasy prospešných húb a oomycét pri 400x zväčšení a pri riedení 1:10,
- kvantifikácia prvokov pri 400x zväčšení a pri riedení 1:10,
- kvantifikácia nematód pri 100x a 400x zväčšení a riedení 1:10,
- určenie pomeru huby / baktérie,
- určenie prítomnosti anaeróbnych baktérií,
- určenie prítomnosti patogénnych baktérií.

Základné riedenie 1:10 je pripravené pridaním 1 ml prípravku/kompostu/pôdy do 9 ml vody. Do analýzy sú započítané živé štádiá baktérií, húb, prvokov a nematód, nepočítajú sa ich dormantné/spiace štádiá akými sú cysty, spóry a vajíčka.

Prístroje a zariadenia:

Na identifikáciu a kvantifikáciu mikrobiálnej biomasy, počtu prvokov a nematód bol použitý optický mikroskop Bresser BIOSCIENCE Trino s možnosťou zväčšenia 40-1000x, s Koehlerovým osvetlením a s Abbe kondenzorom.

Stanovenie chemických parametrov pôdy:

1. **odber porušených vzoriek pôdy:** odber pôdy pred aplikáciou stimulantov a následnou sejbou kukurice bol realizovaný z každého sledovaného variantu (10 variantov s aplikáciou stimulantov, 1 kontrolný variant). Odber pôdy bol realizovaný 15.4.2024. Vzorky boli vysušené, pošrotované a boli v nich stanovené potrebné chemické parametre pôdy.
2. **odber porušených vzoriek pôdy:** odber pôdy po zbere úrody kukurice bol realizovaný z každého sledovaného variantu (10 variantov s aplikáciou stimulantov, 1 kontrolný

variant) 22.10.2024. Vzorky boli vysušené, pošrotované a boli v nich stanovené potrebné chemické parametre pôdy.

Sledované chemické parametre pôdy: obsah celkového dusíka, pôdneho organického uhlíka, prístupných živín (fosfor, draslík, horčík, vápnik), hodnoty výmennej pôdnej reakcie, pomer uhlíka k dusíku (výpočtom). Sledované parametre pôdy boli stanovené použitím známych metód:

- pôdny organický uhlík [$g.kg^{-1}$] – bol stanovený metódou podľa Ťurina, pôdny organický uhlík sa zoxidoval pomocou kyslíka uvoľneného z chromsírovej zmesi a nespotrebovaná kyselina chromsírová sa stanovila titráciou Mohrovou soľou na indikátor difenylamín (Hraško a kol., 1962),
- celkový dusík [$mg.kg^{-1}$] – bol stanovený podľa Kjeldahla, po mineralizácii vzorky pôdy kyselinou sírovou sa dusík viazal vo forme síranu amónneho a po destilácii vodnou parou sa amoniak vytlačil silným hydroxidom, vydestiloval do predlohy so známym obsahom kyseliny sírovej a spätnou titráciou hydroxidom sa zistil obsah celkového dusíka (Hraško a kol., 1962),
- výmenná pôdna reakcia (pH/KCl) v roztoku KCl s koncentráciou 1 $mol.l^{-1}$, sa stanovila potenciometricky (Hrivňáková a kol., 2011),
- prístupný fosfor [$mg.kg^{-1}$] – po extrakcii pôdy extrakčným roztokom podľa Mehlicha III (NH_4F, EDTA, NH_4NO_3, CH_3COOH, HNO_3) sa stanovil spektrofotometricky ako fosfomolybdénová modrá (Hrivňáková a kol., 2011),
- prístupný draslík [$mg.kg^{-1}$] – po extrakcii pôdy extrakčným roztokom podľa Mehlicha III (NH_4F, EDTA, NH_4NO_3, CH_3COOH, HNO_3) sa stanovil metódou plameňovej fotometrie (Hrivňáková a kol., 2011),
- prístupný horčík [$mg.kg^{-1}$] – po extrakcii pôdy extrakčným roztokom podľa Mehlicha III (NH_4F, EDTA, NH_4NO_3, CH_3COOH, HNO_3) sa stanovil metódou atómovej absorpčnej spektrofotometrie (Hrivňáková a kol., 2011),
- prístupný vápnik [$mg.kg^{-1}$] – po extrakcii pôdy extrakčným roztokom podľa Mehlicha III (NH_4F, EDTA, NH_4NO_3, CH_3COOH, HNO_3) sa stanovil metódou atómovej absorpčnej spektrofotometrie (Hrivňáková a kol., 2011).

Stanovenie fyzikálnych parametrov pôdy:

- **stanovenie pôdnej vlhkosti** – v jarno – letnej časti vegetácie (27.6.2024) boli odoberané pôdne vzorky pre stanovenie pôdnej vlhkosti. Vzorky boli odoberané do plechových návažovačiek z pôdnych profilov 0 – 0,1 m, 0,1 – 0,2 m a 0,2 – 0,3 m z každého variantu. V danom termíne bolo odobratých 99 vzoriek pôdy. Vlhkosť pôdy bola stanovená gravimetricky (Hrivňáková a kol., 2011).

- **Stanovenie fyzikálnych parametrov** pôdy použitím známych metód a postupov (Hrivňáková a kol., 2011). Pôdne vzorky pre zistenie fyzikálnych vlastností boli odoberané ako neporušené vo forme Kopeckého fyzikálnych valčekov v jarnej časti vegetácie z hĺbky ornice, t. j. z 0,0 – 0,3 m v trojnásobnom opakovaní. Vzorky boli odoberané zo všetkých variantov s aplikáciou stimulantov a z kontrolného variantu. Odber vzoriek bol realizovaný 14.5.2024.

Hodnotili sa nasledujúce fyzikálne a hydrofyzikálne parametre pôdy

- merná hmotnosť (ρs, $kg.m^{-3}$) – pyknometricky

- objemová hmotnosť redukovaná (ρ_d, $kg.m^{-3}$) – gravimetricky,
  ρ_d = hmotnosť zeminy po vysušení/objem valčeka
- celková pórovitosť (Pc, %) – výpočtom podľa vzorca
  $Pc = [(\rho_s - \rho_d)/ \rho_s] \times 100$

2. EFEKT APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV NA SLEDOVANÉ PARAMETRE

2.1 Hodnotenie produkčných a kvalitatívnych parametrov zrna kukurice siatej *(Zea mays L.)*

Pôda je z globálneho hľadiska rozhodujúca pre zabezpečenie udržateľného rozvoja, a to nielen v oblasti poľnohospodárstva. Spôsob jej využívania významne ovplyvňuje zabezpečovanie jej produkčných a mimoprodukčných funkcií, ktoré sú prejavom jej kvality. Nevhodné využívanie pôdy spôsobuje jej degradáciu a následne nastáva pokles jej produkčnej schopnosti a ďalších významných funkcií. V rámci našich doposiaľ získaných výsledkov je zrejmé, že narastá význam aplikácie organických hnojív ako alternatívy a náhrady hnojív minerálnych. Sú jedným z riešení, ako pri súčasných vysokých teplotách a nižšom úhrne zrážok dosiahnuť optimálne úrody poľných plodín, ekologizovať poľnohospodárstvo a zvyšovať kvalitu pôdneho prostredia a biologický život v pôde.

V rámci riešenia projektu boli založené pokusy s aplikáciou organických hnojív do kukurice siatej. Dosiahnuté úrody sú uvedené v tabuľke 5.

Tabuľka 5 Priemerné úrody [t.ha^{-1}] zrna kukurice siatej podľa variantov a ich štatistické vyhodnotenie

Variant	Opakovanie			
	1.	**2.**	**3.**	**Priemer**
1.	7,90	7,51	7,60	**7,67 de**
2.	8,18	8,10	7,87	**8,05 ef**
3.	8,30	9,07	8,79	**8,72 f**
4.	8,32	7,47	7,65	**7,81 de**
5.	7,61	8,25	8,07	**7,98 ef**
6.	7,20	6,86	7,14	**7,06 cd**
7.	8,74	7,01	7,42	**7,72 de**
8.	8,52	6,65	6,92	**7,36 de**
9.	8,22	7,24	7,02	**7,49 de**
10.	6,84	6,13	6,46	**6,48 bc**
11.	6,81	5,83	6,11	**6,25 a**

kde: písmená (a, b, c, d, e, f) medzi faktormi poukazujú na štatisticky preukazné rozdiely (α = 0,05) – LSD test

Priemerné úrody zrna kukurice sa na variantoch s aplikáciou organických hnojív pohybovali od 6,48 t.ha^{-1} na 10. variante do 8,72 t.ha^{-1} na 3. variante. Na kontrolnom 11. variante sa dosiahla úroda 6,25 t.ha^{-1}. Na úrody zrna kukurice významne vplývali meteorologické faktory najmä mimoriadne vysoké teploty v mesiacoch jún, júl a august, keď boli dlhodobé teploty vzduchu prekonané o 2,8 až 3,8^{o}C. Aplikácia organických hnojív mohla zmierniť nepriaznivý vplyv vysokých teplôt na výsledné úrody. Sú to zatiaľ len ročné výsledky, na základe ktorých sa ešte nedajú vysloviť jednoznačné závery. Signifikantný vplyv meteorologických faktorov bol zistený pri pokusoch s organominerálnymi hnojivami v Milhostove v rokoch 2018 – 2020. V roku 2018 sa dosiahla priemerná úroda 7,18 t.ha^{-1}, ale v zrážkovo a teplotne priaznivejšom roku 2019 priemerná úroda bola 9,58 t.ha^{-1} a v roku 2020 dokonca 11,17 t.ha^{-1} (Kováč, Balla, Šoltysová, 2020).

Pokus bol vyhodnotený aj štatistickými metódami, ale na relevantné hodnotenie by bolo potrebné pokus zopakovať ešte aspoň v nasledujúcich dvoch rokoch. Predbežne je možné

skonštatovať, že v roku 2024 preukazne najvyššia úroda sa dosiahla pri 3. variante. Nebola však signifikantne vyššia ako pri 2. a 5 variante. Preukazne najnižšia úroda sa dosiahla na kontrolnom 11. variante. Úrody na 10. variante však neboli signifikantne vyššie oproti kontrolnému variantu (tabuľka 5).

Z parametrov kvality zrna kukurice siatej sú najdôležitejšie dusíkaté látky a škrob. Prevládajúcou zložkou zrna kukurice je škrob. Podľa STN 46 1100-8 má byť v zrne potravinárskej kukurice obsah škrobu v sušine najmenej 68 %. Zrno kukurice siatej pestovanej na variantoch 5., 6. a 8. až 11. vyhovovalo uvedenej STN.

Obsah škrobu v zrne kukurice siatej sa vyskytoval v rozmedzí 65,19 – 69,45 % a bol štatisticky vysoko preukazne závislý od variantu (tabuľka 6). Vysoko preukazne najviac škrobu bolo stanovené v zrne kukurice z variantu 6. a 10. a vysoko preukazne najmenej z 2. variantu.

Tabuľka 6 Priemerné obsahy škrobu a dusíkatých látok stanovené v zrne kukurice siatej podľa variantov a ich štatistické vyhodnotenie

Variant	Stanovené parametre [%]		Úroda kvalitatívnych parametrov [t.ha^{-1}]	
	Škrob	Dusíkaté látky	Škrob	Dusíkaté látky
1.	65,40 ab	10,61 h	5,02	0,81
2.	65,19 a	9,92 g	5,25	0,80
3.	66,58 abc	8,79 e	5,81	0,77
4.	65,25 ab	9,04 f	5,10	0,71
5.	68,37 de	8,20 bc	5,46	0,65
6.	68,64 e	8,31 cd	4,85	0,59
7.	66,84 bcd	8,00 b	5,16	0,62
8.	68,29 de	8,29 cd	5,03	0,61
9.	68,16 cde	8,49 d	5,11	0,64
10.	69,45 e	7,51 a	4,50	0,49
11.	68,08 cde	8,29 cd	4,26	0,52

kde: písmená (a, b, c, d, e, f, g, h) medzi faktormi poukazujú na štatisticky preukazné rozdiely (α = 0,05) – LSD test

Podobne aj obsah dusíkatých látok v zrne kukurice siatej bol štatisticky vysoko preukazne závislý od variantu a vyskytoval v rozmedzí 7,51 – 10,61 % (tabuľka 6). Vysoko preukazne najviac dusíkatých látok bolo stanovených v zrne kukurice z 1. variantu a vysoko preukazne najmenej z 10. variantu.

Nepriamy vzťah medzi obsahom škrobu a dusíkatých látok v zrne kukurice siatej na zrno bol potvrdený aj zápornou korelačnou závislosťou medzi týmito parametrami (r = - 0,82) kvality.

Pri prepočte obsahu škrobu z hektára bolo zistené, že najvyššia úroda škrobu bola zaznamenaná na 3. variante (5,81 t.ha^{-1}) a optimálna bola aj na 5. variante (5,46 t.ha^{-1}). Naopak najnižšia úroda škrobu bola na kontrolnom 11. variante (4,26 t.ha^{-1}) a 10. variante s aplikáciou organických hnojív (4,50 t.ha^{-1}).

2.2 Vplyv aplikácie organických hnojív na pôdne prostredie

Pre dosahovanie vysokých úrod poľných plodín je potrebné do pôdy pravidelne dodávať organické hnojivá nevyhnutné pre tvorbu pôdneho humusu, pretože len pôdy dostatočne zásobené humusom si trvalo udržujú dobrú pôdnu úrodnosť.

Pri vhodnej starostlivosti o pravidelnú dodávku organických hnojív do pôdy a optimalizáciou podmienok pre tvorbu humusu vytvárame nielen dobré fyzikálne vlastnosti ornice, ale pôdy sú taktiež obohacované o živiny, ktoré organické hnojivá obsahujú. Návratom organických hnojív do pôdy sa uzatvára kolobeh živín v hospodárstve.

2.2.1 Biologické parametre pôdy – mikrobiálna diverzita

Biologické vlastnosti pôdy predstavujú dynamickú a mimoriadne citlivú zložku pôdneho ekosystému, ktorá priamo odráža jeho kvalitu, vitalitu a schopnosť reagovať na vonkajšie vstupy. Na rozdiel od fyzikálnych a chemických vlastností, ktoré sa často menia pomalšie, biologické parametre – najmä aktivita a diverzita pôdnych mikroorganizmov – dokážu rýchlo reflektovať zmeny vyvolané rôznymi spôsobmi hospodárenia. Mikrobiálne spoločenstvá v pôde plnia množstvo esenciálnych ekologických funkcií: podieľajú sa na rozklade organickej hmoty, cykloch uhlíka, dusíka a ďalších živín, zvyšujú dostupnosť fosforu, ovplyvňujú pôdnu štruktúru a priamo aj nepriamo podporujú rast a zdravotný stav rastlín. Ich zloženie a aktivita sú ovplyvňované radom faktorov vrátane typu a dávky aplikovaného hnojiva, obsahu organickej hmoty, vlhkostných pomerov, ako aj prítomnosti biostimulačných látok či inhibičných zložiek v pôde. Z tohto dôvodu sa biologické ukazovatele čoraz častejšie využívajú ako doplnok k fyzikálno-chemickým analýzam pôdy – najmä v súvislosti s hodnotením vplyvu agroekologických opatrení, prechodom na ekologické hospodárenie alebo pri testovaní nových typov organických hnojív. V kontexte udržateľného poľnohospodárstva a zvyšujúceho sa dôrazu na pôdne zdravie majú biologické indikátory – ako je mikrobiálna diverzita – veľký význam nielen ako nástroje hodnotenia súčasného stavu pôdy, ale aj ako prediktory jej dlhodobej produktivity a odolnosti.

V rámci poľného experimentu s kukuricou boli preto monitorované aj biologické ukazovatele pôdy, pričom osobitná pozornosť bola venovaná mikrobiálnej diverzite bakteriálnych a hubových spoločenstiev v rizosfére rastlín. Tieto dáta poskytujú cenný pohľad na ekologickú odozvu pôdnych mikroorganizmov na rôzne typy organických vstupov počas vegetačného obdobia.

Výsledky ARISA analýzy pre rok 2024

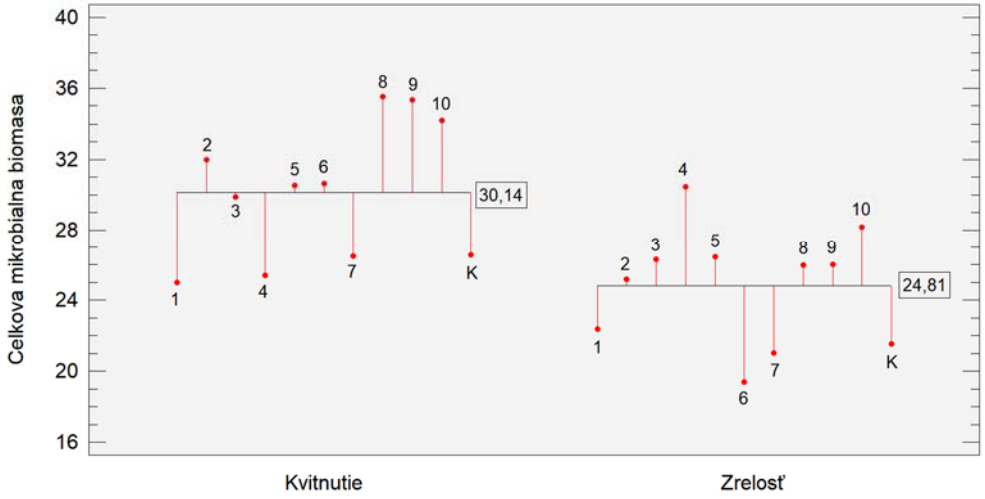
Mikrobiálna biomasa

Celková mikrobiálna biomasa bola hodnotená ako množstvo metagenomickej DNA (mgDNA[1]), ktoré bolo možné získať pomocou daného izolačného kitu z určitého množstva pôdy a predstavuje DNA ako zo živých, tak aj mŕtvych mikroorganizmov. Následne koncentrácia/množstvo DNA bola prepočítaná na jednotný objem pôdy, t.j. hmotnosť DNA

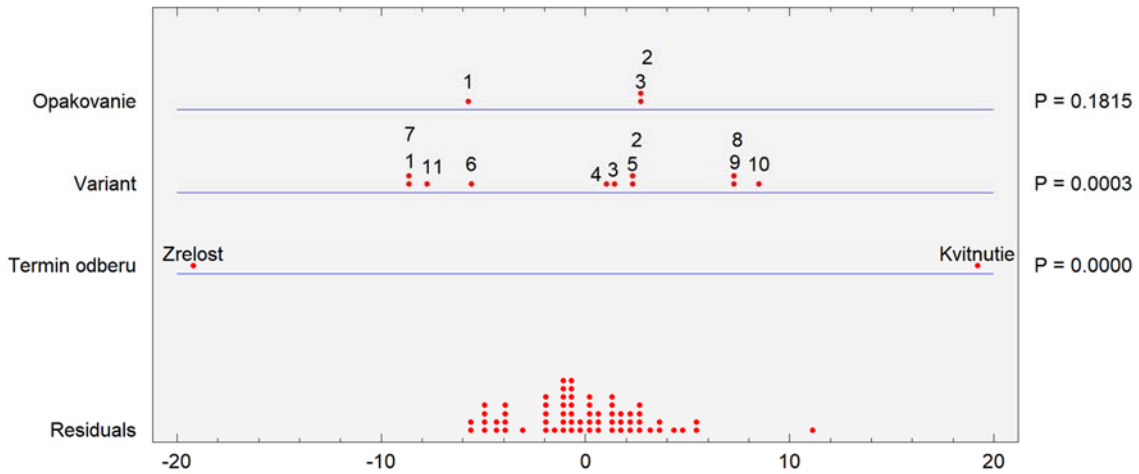
[1] mgDNA predstavuje všetku DNA, ktorú je možné získať izoláciou DNA z environmentálnrej vzorky. Metagenomika je štúdium štruktúry a funkcie celých nukleotidových sekvencií izolovaných a analyzovaných zo všetkých organizmov (zvyčajne mikróbov) v hromadnej vzorke a často sa používa na štúdium špecifickej komunity mikroorganizmov, ako sú tie v pôde alebo vo vzorke vody.

v µg na 1 g pôdy. Štatistické vyhodnotenie mikrobiálnej biomasy bolo robené pomocou štatistických programov Statgraphics a Past.

Odber pôdnych vzoriek na stanovenie genetickej diverzity mikroorganizmov prebiehal v dvoch termínoch – vo fáze kvitnutia a vo fáze úplnej zrelosti kukurice. Celková pôdna mikrobiálna biomasa bola počas kvitnutia signifikantne vyššia ako v zrelosti (ANOVA, P≤0,001). Počas kvitnutia bol priemer biomasy 30,14 µg/1g pôdy a v zrelosti 24,81 µg/1g pôdy. Vysoko podpriemerné hodnoty biomasy mali vo fáze kvitnutia varianty č. 1, 4, 7 a kontrola. Vo fáze zrelosti mali podpriemerné hodnoty biomasy varianty č. 1, 6, 7 a kontrola (Obr. 5). Pomocou viacfaktorovej ANOVA analýzy, kde ako faktory vplývajúce na celkovú mikrobiálnu biomasu boli zvolené: 1. termín odberu, 2. použitý variant hnojiva a 3. opakovanie; bol detegovaný štatisticky významný vplyv termínu odberu a použitého variantu hnojiva na mikrobiálnu biomasu, avšak nie opakovanie (Obr. 6).

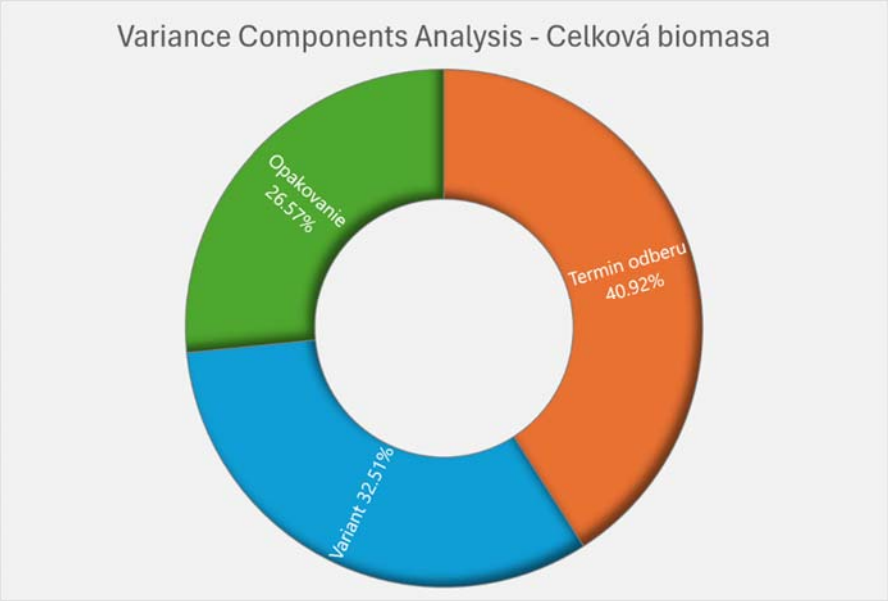


Obr. 5 Grafické znázornenie priemerných hodnôt pôdnej biomasy vyjadrenej ako µg DNA na 1 g pôdy, kde čierna čiara a číslo v rámčeku predstavuje celkovú priemernú hodnotu biomasy vo fáze kvitnutia a vo fáze zrelosti a červené čiary smerom hore alebo dole predstavujú nad alebo podpriemerné hodnoty biomasy v danom type variantu, K = kontrolný variant

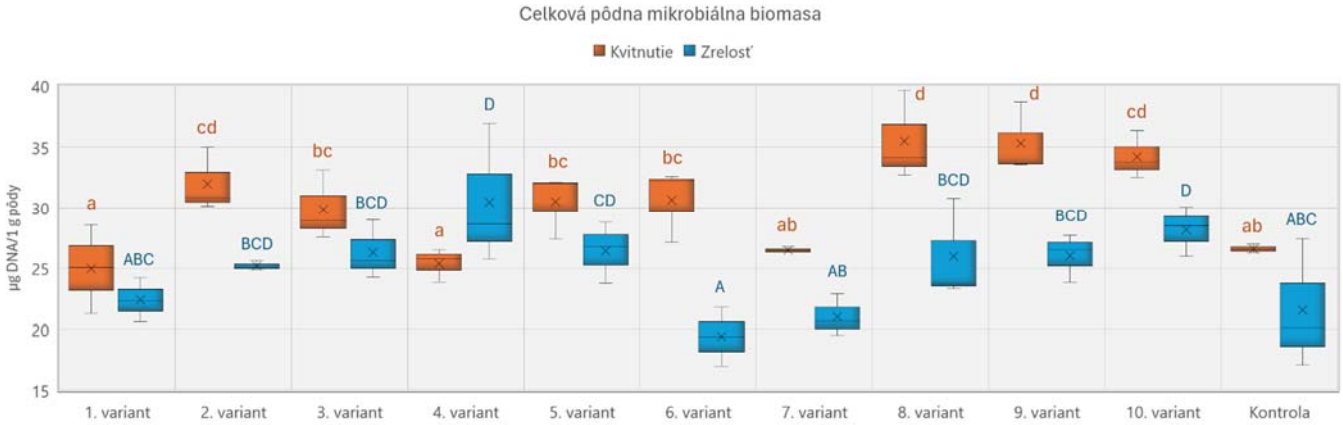


Obr. 6 Grafická podoba viacfaktorovej ANOVA analýzy, kde ako faktory sú termín odberu, variant a opakovanie. Na pravej strane grafu sú zodpovedajúce P-hodnoty pre každý faktor

Pomocou analýzy zložiek variancie (Variance Components Analysis) bola vypočítaná percentuálna miera akou prispieva konkrétny faktor na variabilitu pôdnej mikrobiálnej biomasy. V prípade pokusu s kukuricou bolo poradie vplyvu faktorov akou vplývali na variabilitu biomasy nasledovný: termín odberu > variant hnojiva > opakovanie (Obr. 7). Keďže termín odberu mal skoro 41 % vplyv na variabilitu pôdnej biomasy, tak bol zhodnotený vplyv použitého variantu hnojiva v každom termíne odberu samostatne (Obr. 8).



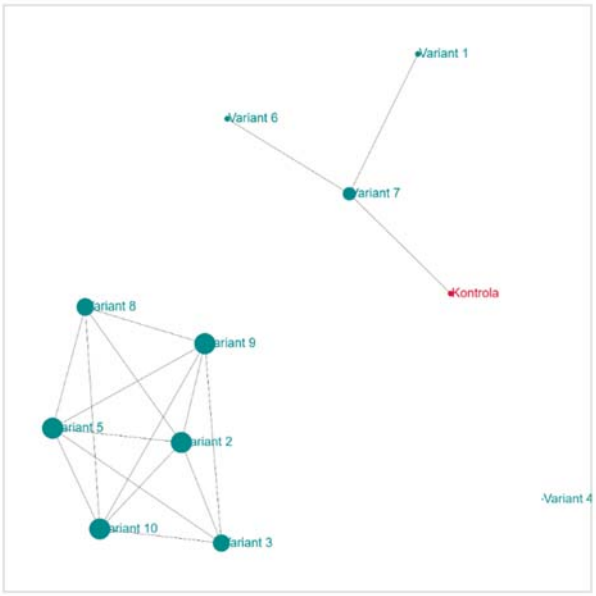
Obr. 7 Analýza zložiek variancie, t.j. akou percentuálnou mierou prispeli jednotlivé faktory na variabilitu mikrobiálnej biomasy



Obr. 8 Celková pôdna mikrobiálna biomasa vyjadrená ako množstvo DNA v µg na 1 g pôdy. Rozdielne malé alebo veľké písmená predstavujú štatisticky významný rozdiel medzi variantami hodnotené pre každú rastovú fázu samostatne (LSD, α=0,05)

Na zistenie podobností jednotlivých variantov v pôdnej mikrobiálnej biomase s kontrolou bolo použité zobrazenie pomocou „Network diagramu“, ktorý predstavuje vnútorné prepojenia (podobnosti) medzi jednotlivými vzorkami. Každý variant zodpovedá farebnému bodu, pričom veľkosť toho bodu závisí od počtu spojov medzi ostatnými bodmi/variantami, t.j. počtom podobností s nimi nad 50 %. Čím menšia veľkosť bodu, tým menej má podobností nad 50 % s ostatnými vzorkami a čím väčší bod, tým viac podobností

má. V tomto prípade mal kontrolný variant podobnosti vyššie ako 50 % s variantami č. 7, 1 a 6. Variant č. 4 tvoril samostatnú skupinu. Ostatné varianty nedosahovali ani 50 % podobnosť s kontrolou v rámci mikrobiálnej biomasy (Obr. 9).



Obr. 9 Network diagram vyjadrujúci Bray-Curtis podobnosti vyššie ako 50% medzi jednotlivými variantami použitého hnojiva

Záver z hodnotenia celkovej pôdnej mikrobiálnej biomasy: Rastliny vo fáze kvitnutia vykazovali v pôde štatisticky vyššiu mikrobiálnu biomasu ako vo fáze zrelosti. Celkovo najvyššiu mikrobiálnu biomasu vykazovali varianty č. 8, 9 a 10, pričom výrazný nárast biomasy oproti kontrole bol vo fáze kvitnutia a bol signifikantný. Vplyv použitého variantu hnojiva bol až druhý v poradí, ktorý vplýval na variabilitu pôdnej mikrobiálnej biomasy; prvý bol termín odberu resp. rastová fáza kukurice. Najpodobnejší variant s kontrolou v rámci mikrobiálnej biomasy bol variant č. 7, za ktorým nasledovali varianty č. 1 a 6.

Alfa diverzita

Diverzita mikrobiálnych spoločenstiev v rizosfére kukurice bola hodnotená pomocou viacerých indexov alfa diverzity: ACE [2] (druhová bohatosť), Simpson [3] (dominancia/rovnomernosť), Shannon [4] (celková diverzita) a Evenness [5] (rovnomernosť druhového zastúpenia). Diverzita bola sledovaná samostatne pre bakteriálne

[2] **ACE index** - predstavuje početnosť jednotlivých druhov baktérií/húb pri jednotlivých typoch ošetrenia.

[3] **Simpson index** - diverzity je vyjadrený hodnotami medzi 0 – 1 a čím bližšie sú hodnoty k číslu 1, tak je väčšia pravdepodobnosť, že dva náhodne vybrané jedince reprezentujú rozdielny typ skupiny, t.j. prislúchajú rôznym druhom (taxónom).

[4] **Shannon index** - diverzity hovorí o pravdepodobnosti druhovej identity náhodne vybraného jedinca a čím je hodnota indexu vyššia, tak tým je diverzita daného spoločenstva väčšia. Tento index zohľadňuje počet jedincov ako aj počet druhov (taxónov). Líši sa od 0 pre spoločenstvá s jediným druhom až po vysoké hodnoty pre spoločenstvá s mnohými druhmi, z ktorých každý druh je zastúpený niekoľkými jedincami.

[5] **Evenness** - je index diverzity, ktorého hodnoty sa pohybujú v rozmedzí 0 – 1 a čím bližšie sú hodnoty k 1, tým je vyššia pravdepodobnosť vyrovnanosti spoločenstva, t.j. zastúpenie jednotlivých druhov je vyrovnanejšie čo sa týka počtu jedincov.

a hubové spoločenstvá, a to v dvoch rastových fázach: kvitnutie a úplná zrelosť kukurice (Obr. 10).

Bakteriálne spoločenstvá

ACE index ukázal rozdiely medzi variantmi, avšak štatisticky nevýznamné (ANOVA, p = 0,1859 – kvitnutie; p = 0,5551 – zrelosť). V období kvitnutia sa najvyššia priemerná hodnota ACE objavila vo variante 3 a 5 (82 a 73), naopak najnižšie hodnoty dosiahli kontrola (46,7) a varianty 6 (53,7) a 7 (57,0). V období zrelosti boli rozdiely ešte výraznejšie – zatiaľ čo vo variante 9 bola jedna hodnota až 140,0, vo variante 3 len 19,0, čo naznačuje veľmi rozdielnu druhovú bohatosť v závislosti od variantu ošetrenia pôdy.

Simpsonov index, ktorý meria mieru rovnomernosti a dominancie druhov, odhalil signifikantné rozdiely pri kvitnutí (ANOVA, p = 0,0209). Väčšina organických variantov dosahovala veľmi vysoké hodnoty (napr. variant 4: 0,9778, variant 5: 0,9757), čo poukazuje na vyvážené bakteriálne spoločenstvá v týchto vzorkách. V ostrom kontraste stála kontrola, kde hodnota Simpsonovho indexu bola len 0,8332, čo naznačuje dominanciu jedného alebo niekoľkých málo druhov. Avšak celkovo, kontrola vykazovala veľkú variabilitu v hodnotách tohto indexu medzi opakovaniami. Pri zrelosti sa rozdiely medzi variantmi vyrovnali a štatisticky významné rozdiely už neboli zistené (ANOVA, p = 0,4848). Veľká variabilita medzi opakovaniami však bola vo variante 3, menej vo variantoch 8 a 9.

Shannonov index, kombinujúci druhovú bohatosť aj rovnomernosť, potvrdil vyššiu diverzitu u väčšiny organických variantov. Počas kvitnutia dosiahol najvyššiu hodnotu variant 4 (4,151), nasledovaný variantom 5 (4,100). Kontrola mala opäť najnižšiu hodnotu (1,791), čo zodpovedá aj zistenému nižšiemu ACE a Simpson indexu. V období zrelosti sa diverzita ešte zvýšila – najvyššiu hodnotu zaznamenal variant 9 (4,517), čo potvrdzuje pozitívny vplyv tohto variantu na diverzitu bakteriálnych spoločenstiev v danom čase. Avšak aj tu sa prejavila vysoká variabilita medzi opakovaniami vo variantoch 3, 8 a 9. Štatistické rozdiely medzi variantmi neboli detegované ani vo fáze kvitnutia a ani zrelosti, aj keď počas kvitnutia p-hodnota bola hraničná (ANOVA, p = 0,0657 – kvitnutie, p = 0,7386 – zrelosť).

Evenness index vykázal najvyššiu hodnotu práve v kontrolnom variante počas kvitnutia (0,9994), čo môže byť výsledkom prítomnosti malého počtu rovnomerne zastúpených druhov (nízka komplexnosť spoločenstva), ale priemerná hodnota kontrolného variantu bola porovnateľná s ostatnými variantami. U organických variantov boli hodnoty rovnomernosti rozptýlené medzi 0,58 – 0,74 a štatisticky významný rozdiel medzi variantami v čase kvitnutia nebol zaznamenaný (ANOVA, p = 0.9269). V období zrelosti boli rozdiely medzi variantmi výraznejšie a štatisticky významné (p = 0,0021), pričom variant 2 dosiahol najnižšiu hodnotu (0,5712) a variant 8 najvyššiu (0,8353), čo poukazuje na rôzne štruktúry bakteriálnych komunít v závislosti od ošetrenia.

Hubové spoločenstvá

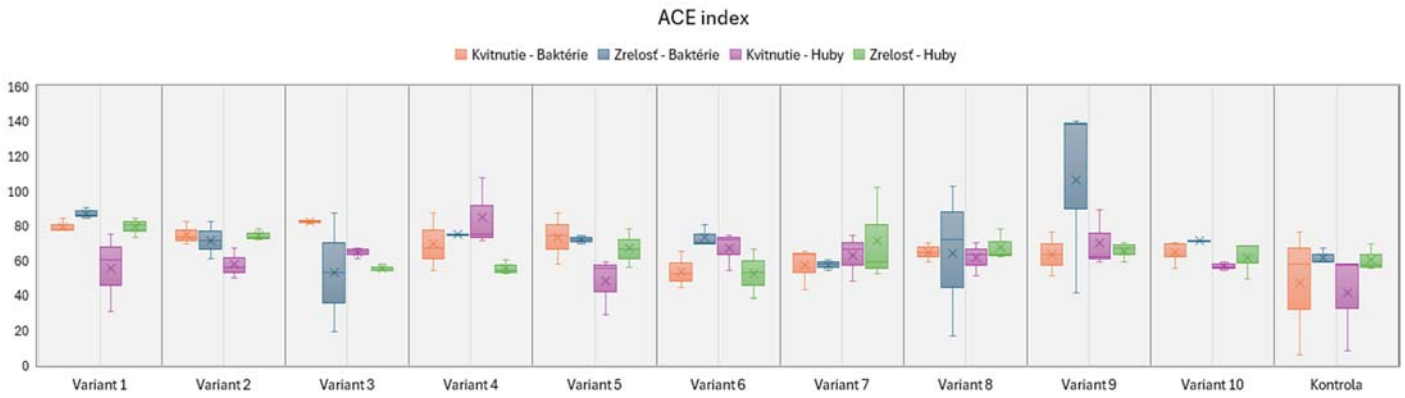
ACE index poukazuje na počet druhov (OTU) prítomných v danom prostredí, vrátane tých menej zastúpených. Počas kvitnutia kolísali hodnoty ACE indexu medzi variantmi od 29 (variant 5) po 108 (variant 4). Vysoké hodnoty dosahovali tiež varianty 6 a 7 (po 74), ako aj variant 9 (89). V boxplote sú tieto rozdiely dobre viditeľné – niektoré varianty (napr. 4, 9) vystupujú z rámca mediánových hodnôt a predstavujú potenciálne obohatené hubové komunity. Štatisticky významný rozdiel medzi variantami v čase kvitnutia nebol zaznamenaný (ANOVA, p = 0,1732). V období zrelosti bola druhová bohatosť celkovo vyrovnanejšia, väčšina variantov sa pohybovala v rozpätí 50 – 80 OTU, pričom opäť vystúpili varianty 7 a 1 (102 a 84).

Najnižšie hodnoty dosiahol variant 6 (38). Na boxplotoch však tieto rozdiely nie sú extrémne výrazné, čo zodpovedá aj výsledku štatistiky (ANOVA, p = 0,1549).

Simpsonov index odzrkadľuje, nakoľko v komunite dominuje určitý druh – čím vyššia hodnota, tým rovnomernejšie je rozdelenie druhov. V období kvitnutia sa priemerné hodnoty pohybovali medzi 0,8981 (variant 7) až po 0,9336 (variant 4), čo môže v tomto variante naznačovať stabilné a vyrovnané hubové prostredie. V štádiu zrelosti boli hodnoty vo všeobecnosti stále vysoké (>0,9) u väčšiny variantov, no výrazné poklesy boli zaznamenané napríklad pri variante 8 (0,8262) a variante 7 (0,8249). Variant 4 mal počas zrelosti hodnotu len 0,8183, čo je zreteľne nižšia rovnomernosť ako počas kvitnutia, čo môže indikovať nárast dominancie určitého hubového taxónu. Tieto poklesy sú v boxplotoch viditeľné ako spodné hodnoty a mierne rozšírené kvartily. Štatisticky významné rozdiely medzi variantami neboli detegované ani počas kvitnutia ani v zrelosti (ANOVA, p = 0,7483 – kvitnutie; p = 0,5137 – zrelosť).

Shannonov index v období kvitnutia ukázal celkovo nižšiu diverzitu hubových spoločenstiev v porovnaní s baktériami, pričom hodnoty sa pohybovali v rozpätí 1,96–3,90. Najvyššiu hodnotu mal variant 4 (3,894) a variant 9 (3,583), čo korešponduje s ich vysokým ACE aj Simpson indexom. Varianty Kontrola, 1 a 5 mali najnižšie hodnoty (1,967 a 2,530, resp. 2,747). Počas zrelosti sa rozptyl hodnôt Shannon indexu pohyboval medzi 2,5 – 3,5, s najvyššími hodnotami pri variante 1 (3,538) a kontrole (3,544). Najnižšie hodnoty boli zaznamenané pri variantoch 4, 6 a 8 (okolo 2,5), čo môže naznačovať menej komplexné hubové komunity. Štatisticky významné rozdiely medzi variantami v Shannonovom indexe neboli detegované ani počas kvitnutia ani v zrelosti (ANOVA, p = 0,7436 – kvitnutie; p = 0,2652 – zrelosť).

Evenness index ukázal najväčšie rozdiely medzi hubovými a bakteriálnymi komunitami. Počas kvitnutia sa hodnoty pohybovali medzi 0,30 – 0,49, s najvyššou hodnotou v kontrole (0,4935) a variantom 10 (0,4899). Varianty 3, 4 a 6 mali najnižšie hodnoty (0,3345, 0,3245, resp. 0,3038), čo naznačuje nerovnomerné zastúpenie druhov – teda dominanciu niekoľkých málo taxónov. V štádiu zrelosti boli rozdiely ešte výraznejšie – napríklad variant 7 dosiahol len 0,1642, čo predstavuje veľmi nízku rovnomernosť, zatiaľ čo kontrolný variant dosiahol najvyššiu hodnotu (0,5017). Boxploty tieto rozdiely dobre odrážajú – zrelosť priniesla vyššiu variabilitu v rámci niektorých variantov. Evenness index ukázal rozdiely medzi variantmi, avšak štatisticky nevýznamné (ANOVA, p = 0,1255 – kvitnutie; p = 0,8511 – zrelosť).



Obr. 10 Hodnoty alfa diverzity vypočítané z ARISA profilov baktérií a húb vo fáze kvitnutia a zrelosti. Rozdielne malé písmená predstavujú štatisticky významný rozdiel medzi variantami hodnotené pre každú rastovú fázu samostatne (LSD, α=0,05)

Network plot

Na základe Bray-Curtis indexu podobnosti boli vytvorené sieťové (network) grafy, ktoré vizuálne znázorňujú úroveň podobnosti bakteriálnych a hubových spoločenstiev medzi jednotlivými variantmi organického ošetrenia pôdy, vrátane kontroly. Spojenia medzi variantami vyjadrujú prípady, kde bola zistená 50 % podobnosť na úrovni indexov alfa diverzity.

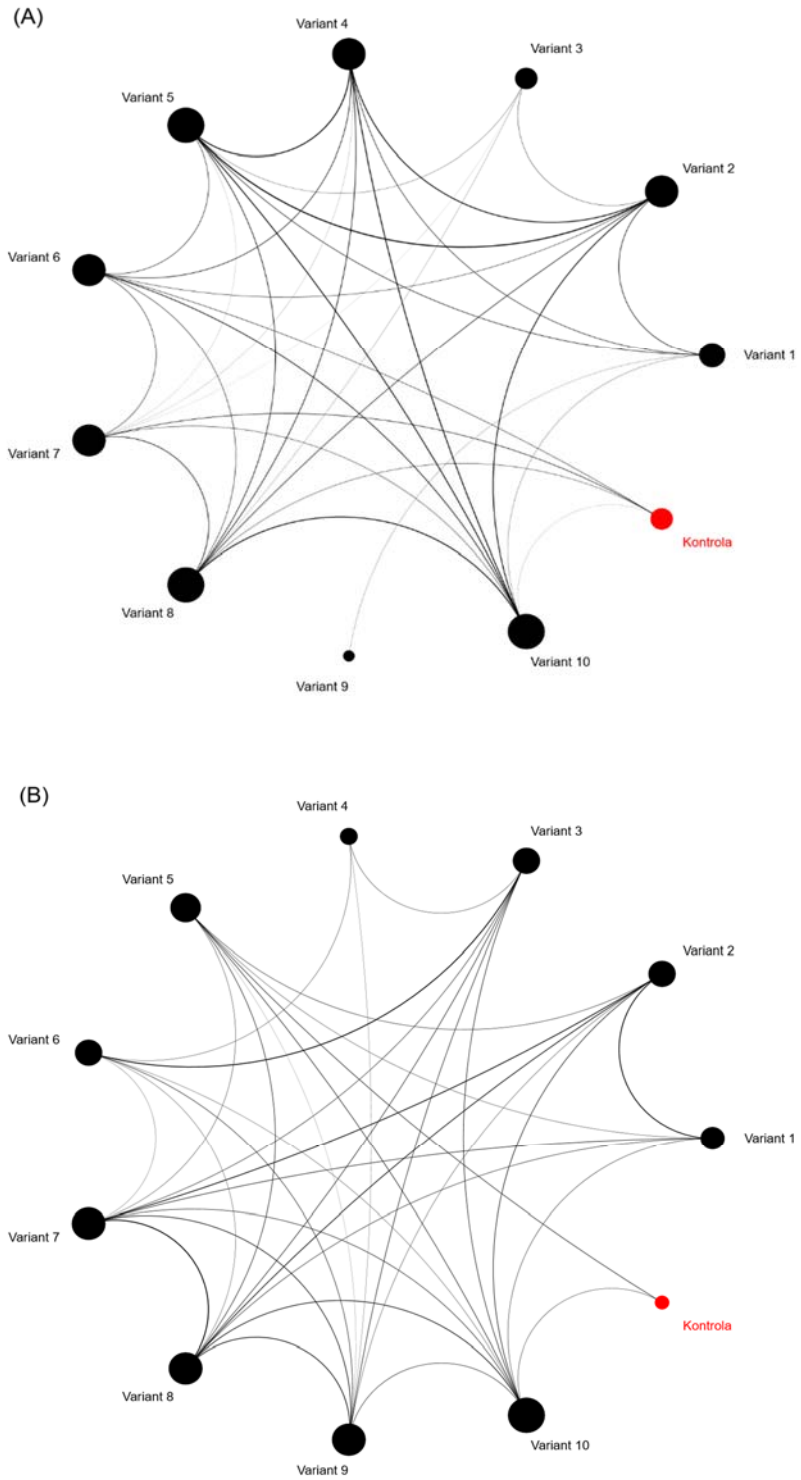
Bakteriálna alfa diverzita je vo väčšine variantov (napr. 2, 4, 5, 6, 8, 10) navzájom bohato prepojená, čo naznačuje, že bakteriálne spoločenstvá v ich rizosférnej pôde vykazujú podobnú štruktúru diverzity (Obr. 11A). Môže to odrážať podobný vplyv aplikovaných organických hnojív na mikrobióm pôdy – či už v ich zložení, alebo efekte na pôdne prostredie. Variant 9 je však takmer úplne izolovaný, s minimálnym prepojením na ostatné, len jeden veľmi tenký spoj s variantom 1. To naznačuje, že bakteriálne spoločenstvo v tomto variante je odlišné

a to môže byť výsledkom špecifického zloženia ošetrenia alebo iného faktora (napr. interakcia s pôdnym typom, štruktúrou koreňov, a i.). Kontrola (červený uzol) je prepojená najmä s variantami 6, 7 a 8 a slabo aj s variantom 10. Tento výsledok naznačuje, že kontrola (klasické NPK hnojenie) nezdieľa vysoký stupeň podobnosti s väčšinou organicky ošetrených variantov v rámci alfa diverzity. Varianty s najvyššou centralitou sú 2, 4, 5, 6, 8 a 10. Tieto varianty sú prepojené s viacerými inými variantmi, čo znamená, že ich bakteriálne spoločenstvá sú vysoko podobné rôznym iným variantom. To môže naznačovať, že tieto varianty majú univerzálnejší alebo menej špecifický vplyv na mikrobióm, prípadne podporujú stabilnejšiu mikrobiálnu komunitu.

Alfa diverzita hubových spoločenstiev je vo väčšine organicky ošetrených variantov (napr. 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10) husto prepojená navzájom (Obr. 11B), čo poukazuje na vysokú podobnosť diverzity hubových spoločenstiev, ktoré sa vyvíjajú v dôsledku aplikácie rôznych organických materiálov. Tieto varianty s najväčšou mierou prepojenosti sú tzv. centrá siete, čo znamená, že, tieto varianty podporujú vznik hubových komunít, ktoré sú si navzájom veľmi podobné. Kontrola (červený uzol) má okrajové postavenie a má iba slabé prepojenia (najmä s variantom 5 a slabšie s 10). To naznačuje, že hubové spoločenstvá v kontrolnej pôde sú výrazne odlišné od tých, aké boli po aplikácii organických hnojív. Tento rozdiel môže byť spôsobený nedostatkom organickej hmoty a špecifických substrátov, ktoré podporujú rozvoj hubových symbiontov, saprofytov alebo mykoríznych druhov. Variant 4 má slabú prepojenosť a minimálny počet spojení, čo môže indikovať špecifický vplyv tohto ošetrenia na hubové spoločenstvá – buď veľmi diferencovaný (ak málo podobný ostatným), alebo menej efektívny z hľadiska stimulácie diverzity.

Výsledky network analýzy založenej na indexoch alfa diverzity a Bray-Curtis podobnosti preukázali, že aplikácia organických pôdnych prípravkov výrazne ovplyvnila zloženie bakteriálnych aj hubových spoločenstiev v rizosfére kukurice. V prípade bakteriálnych aj hubových spoločenstiev sa väčšina variantov navzájom prepájala silnejšími väzbami, čo naznačuje podobné štruktúry diverzity medzi jednotlivými organickými ošetreniami. Kontrola však vykazovala výrazne slabšiu mieru prepojenosti, čím sa odlišovala od variantov s organickým vstupom. Hoci niektoré varianty (napr. variant 9 a 3 pri baktériách a variant 4 pri hubách) vykazovali menšiu mieru konektivity, celkovo sa ukázalo, že väčšina variantov s organickým ošetrením mala podobnejšie diverzitné charakteristiky medzi sebou než v porovnaní s kontrolou.

Tieto výsledky naznačujú, že organické ošetrenia pôdy ovplyvňujú štruktúru mikrobiálnych spoločenstiev, a to v prospech vyššej diverzity a homogénnejších komunitných vzorcov v rámci ošetrených variantov. Zároveň sa ukazuje, že kontrolný variant s konvenčným hnojením má odlišný profil alfa diverzity, čo podporuje význam cielenej aplikácie organických prípravkov pre udržateľné pôdne mikrobiálne prostredie.



Obr. 11 Network analýza podobnosti medzi jednotlivými variantmi organického ošetrenia pôdy a kontrolou na základe indexov alfa diverzity bakteriálnych (a) a hubových (b) spoločenstiev. Vizualizácia je založená na Bray-Curtis indexe podobnosti, pričom sú zobrazené len spojenia s hodnotou 50 %. Uzly predstavujú jednotlivé varianty, pričom ich veľkosť odráža počet prepojení a hrúbka spojov indikuje mieru podobnosti medzi dvojicami variantov.

Beta diverzita

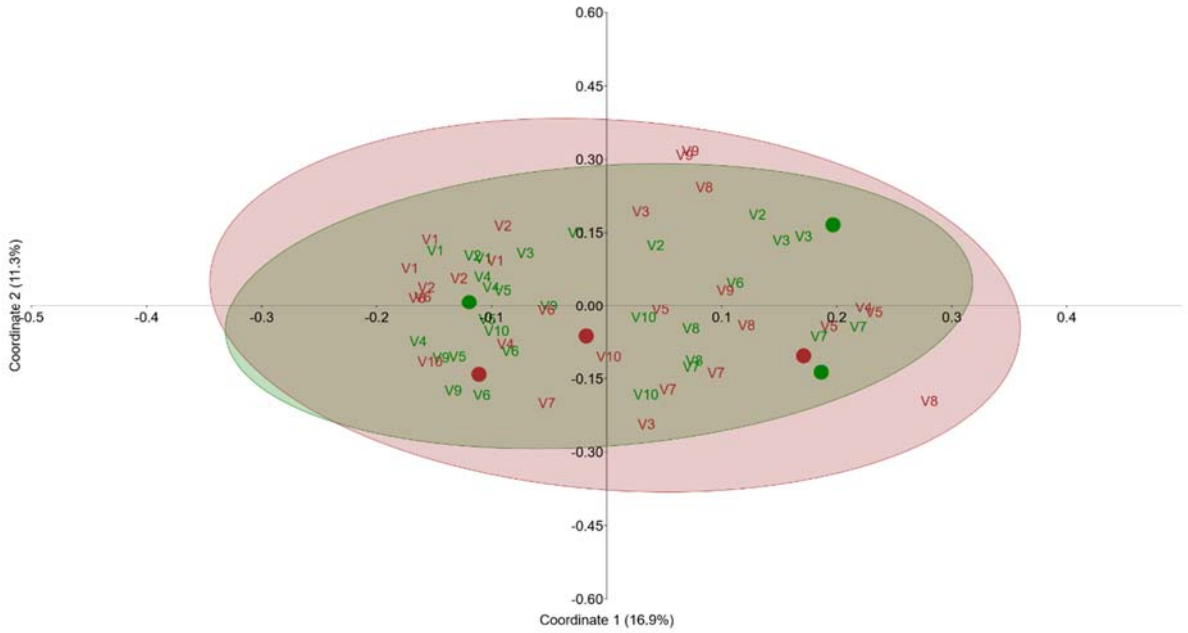
Na posúdenie rozdielov v štruktúre bakteriálnych a hubových spoločenstiev medzi jednotlivými variantmi organického ošetrenia pôdy a kontrolou bola vykonaná analýza beta diverzity. Zatiaľ čo alfa diverzita vyjadruje diverzitu v rámci jednej vzorky, beta diverzita hodnotí rozdiely medzi vzorkami alebo skupinami vzoriek – teda ako sa mikrobiálne komunity menia medzi rôznymi variantmi ošetrenia a v čase. Beta diverzita bola analyzovaná pomocou Principal Coordinates Analysis (PCoA) na základe Bray-Curtis podobnosti, ktorá zohľadňuje kvantitatívne rozdiely v abundancii jednotlivých taxonomických jednotiek medzi vzorkami.

Bakteriálne spoločenstvá

Výsledky PCoA pre bakteriálne spoločenstvá sú znázornené na Obr. 12, kde sú pre zvýraznenie časového rozlíšenia farebne odlíšené vzorky z obdobia kvitnutia (zelená) a úplnej zrelosti kukurice (hnedá). Prvé dve hlavné osi PCoA analýzy vysvetľujú spolu 28,2 % variabilitu v zložení bakteriálnych spoločenstiev (Coordinate 1: 16,9 %; Coordinate 2: 11,3 %). Napriek tomu, že celková variabilita je rozložená vo viacerých dimenziách, graf umožňuje základné priestorové porovnanie.

Rozdelenie podľa vývojovej fázy kukurice (kvitnutie vs. zrelosť) naznačuje len mierne časové rozdiely v zložení mikrobioty. Zelené a hnedé body sa do veľkej miery prekrývajú, hoci niektoré vzorky z obdobia zrelosti (napr. varianty 5, 7, 8) sa mierne odlišujú, čo môže súvisieť so zmenami v koreňovej exsudácii. Tieto pozorovania však neboli štatisticky významné, ako potvrdila PERMANOVA analýza (F = 0,503; p = 0,3069, Tab. 7). Naopak, rozdiely medzi jednotlivými variantmi ošetrenia boli štatisticky významné (F = 0,751; p = 0,0001, Tab. 7), čo poukazuje na zásadný vplyv typu organického vstupu na štruktúru bakteriálnych komunít. Viaceré varianty (napr. 4 a 6) vykazovali kompaktnejšie zoskupenie opakovaní, čo naznačuje stabilitu komunitnej štruktúry v rámci daného ošetrenia. Iné, ako varianty 5, 7 a 8, boli viac rozptýlené, čo môže odrážať vyššiu vnútornú variabilitu alebo rôznorodú reakciu mikrobioty na vstupy. Kontrolné varianty (plné body) sa nachádzajú prevažne v centrálnej oblasti grafu bez vytvorenia samostatného klastru.

PCoA analýza beta diverzity ukázala, že organické varianty ošetrenia pôdy významne ovplyvňujú zloženie bakteriálnych komunít, pričom viaceré z nich vykazujú štrukturálne podobnosti, zatiaľ čo iné sú charakteristické vyššou komunitnou variabilitou. Naproti tomu, rozdiely medzi vývojovými fázami (kvitnutie vs. zrelosť) neboli štatisticky významné, čo naznačuje, že vplyv času bol menej výrazný než efekt konkrétneho variantu. Kontrola sa neoddelila ako špecifický klaster, čo svedčí o jej intermediárnej pozícii z hľadiska mikrobiálnej diverzity.



Obr. 12 Principal Coordinates Analysis (PCoA) vizualizácia beta diverzity bakteriálnych spoločenstiev na základe Bray-Curtis podobnosti medzi jednotlivými variantmi organického ošetrenia pôdy a kontrolou. Každý variant (1 – 10) je znázornený tromi opakovaniami, pričom kontrolné vzorky sú zobrazené ako plné kruhy. Zelená farba označuje vzorky odobraté v štádiu kvitnutia kukurice (BBCH 65), hnedá farba vzorky zo štádia úplnej zrelosti (BBCH 97). Elipsy znázorňujú 95 % intervaly spoľahlivosti pre každé časové obdobie.

Tabuľka 7 Výsledky dvojfaktorovej PERMANOVA analýzy (permutational multivariate analysis of variance) založenej na Bray-Curtis podobnosti pre bakteriálne spoločenstvá detegované pomocou B-ARISA. Model zahŕňa hlavné faktory fáza rastu kukurice (kvitnutie vs. zrelosť), variant ošetrenia pôdy (10 organických + kontrola) a ich interakciu. PERMANOVA bola vykonaná s 9999 permutáciami.

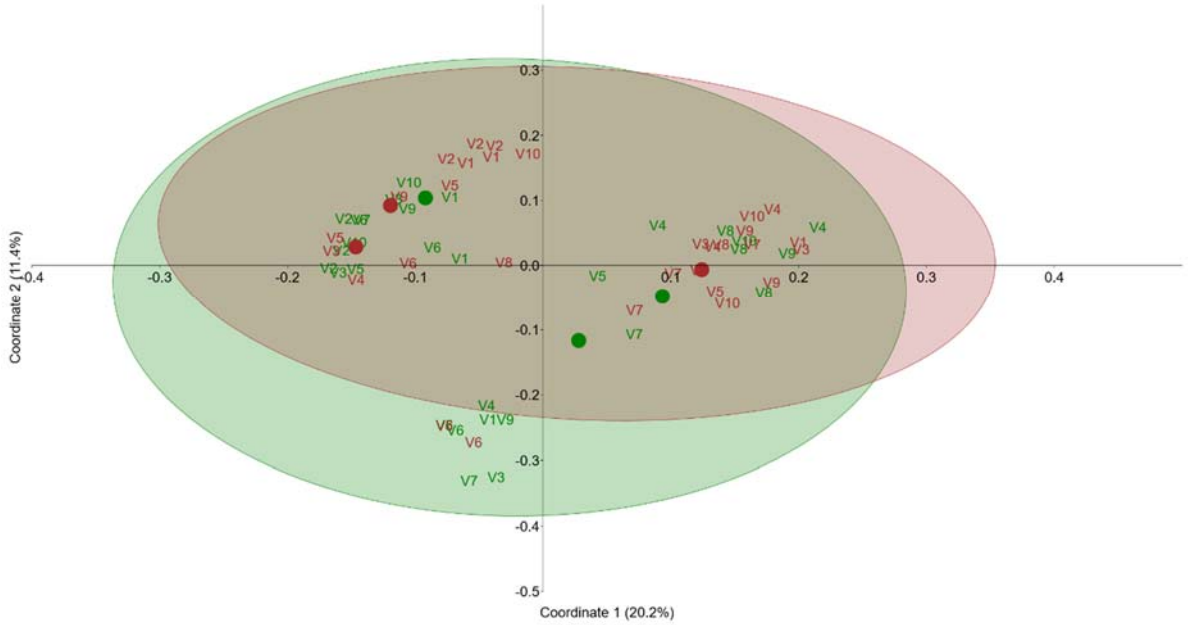
Two-way PERMANOVA (B-ARISA)					
Zdroj variability	**Suma štvorcov**	**df**	**Priemerná kvadratická hodnota**	**F**	**p**
Kvitnutie vs Zrelosť	0,169282	1	0,16928	0,50315	0,3069
Variant	5,30538	21	0,25264	0,75091	0,0001
Interakcie	-0,169282	21	-0,00806	-0,02396	0,6932
Zvyšok	6,05598	18	0,33644		
Celkom	11,361	61			

Hubové spoločenstvá

Výsledky beta diverzity pre spoločenstvá húb sú znázornené na Obr. 13, kde zelenou farbou sú označené vzorky z obdobia kvitnutia a hnedou vzorky zo zrelosti kukurice. Kontrolné

varianty sú zobrazené ako plné body. Každá skupina (kvitnutie vs. zrelosť) je ohraničená 95 % elipsou spoľahlivosti, ktorá vyznačuje rozptyl komunitných profilov vo vnútri skupiny. Osi 1 a 2 vysvetľujú spolu 31,6 % variability v dátach (Coordinate 1 : 20,2 %, Coordinate 2 : 11,4 %).

Na rozdiel od výsledkov pre bakteriálne spoločenstvá (B-ARISA), kde sa fáza rastu neukázala ako významný faktor, v prípade hubových komunít bola vývojová fáza rastliny signifikantným činiteľom ovplyvňujúcim komunitnú štruktúru húb, ako potvrdila PERMANOVA analýza (F = 1,1683; p = 0,0089, Tab. 8). Toto naznačuje, že časová dynamika počas vegetácie významne ovplyvňovala zloženie hubových komunít. Rozloženie vzoriek ukazuje aj efekt variantov organického ošetrenia pôdy a variant ošetrenia pôdy mal taktiež významný vplyv (F = 0,646; p = 0,004, Tab. 8), čo poukazuje na to, že typ organického prípravku ovplyvňoval diverzitu a štruktúru fungálneho mikrobiómu. Interakcia medzi vývojovou fázou a variantom nebola štatisticky významná (p = 0,9912),čo naznačuje, že efekty času a ošetrenia pôdy pôsobili nezávisle, bez synergického alebo interaktívneho vplyvu. Kontrolné varianty sú rozptýlené naprieč grafom a nezoskupujú sa do samostatného klastru.



Obr. 13 Principal Coordinates Analysis (PCoA) vizualizácia beta diverzity hubových spoločenstiev získaných metódou F-ARISA na základe Bray-Curtis podobnosti medzi jednotlivými variantmi organického ošetrenia pôdy a kontrolou. Každý variant (1–10) je znázornený tromi opakovaniami; kontrolné vzorky sú označené plnými kruhmi. Zelená farba označuje vzorky odobraté v štádiu kvitnutia kukurice (BBCH 65), hnedá farba vzorky zo štádia úplnej zrelosti (BBCH 97). Elipsy znázorňujú 95 % intervaly spoľahlivosti pre každú časovú skupinu.

Zaujímavým pozorovaním v rámci PCoA analýzy hubových spoločenstiev (Obr. 13) bolo vyčlenenie dvoch vzoriek variantu 6 zo štádia úplnej zrelosti kukurice mimo 95 % interval spoľahlivosti, vyznačený elipsou. Tieto dve vzorky sa od ostatných vzoriek z rovnakého časového obdobia odlišujú najmä pozdĺž osi 2, čo naznačuje, že v týchto prípadoch došlo

k výraznej zmene v komunitnej štruktúre hubových spoločenstiev. Možné vysvetlenia tohto odľahlého správania môže zahŕňať: i) biologickú variabilitu v rámci variantu 6 v dôsledku mikroklimatických rozdielov alebo štruktúry pôdy; ii) špecifickú reakciu hubovej komunity na zrelosť rastliny, prípadne zmenu v množstve alebo type koreňových exsudátov v neskorom vegetačnom štádiu; iii) alebo dominanciu konkrétneho hubového taxónu, ktorý viedol k posunu celkového diverzitného profilu vzorky mimo hlavného klastru.

Tabuľka 8 Výsledky dvojfaktorovej PERMANOVA analýzy založenej na Bray-Curtis podobnosti pre hubové spoločenstvá detegované metódou F-ARISA. Model zahŕňa hlavné faktory ako vývojová fáza kukurice (kvitnutie vs. zrelosť), variant ošetrenia pôdy (10 organických + kontrola) a ich interakciu. PERMANOVA bola vykonaná s 9999 permutáciami.

Two-way PERMANOVA (B-ARISA)					
Zdroj variability	**Suma štvorcov**	**df**	**Priemerná kvadratická hodnota**	**F**	**p**
Kvitnutie vs Zrelosť	0,662898	1	0,6629	1,1683	0,0089
Variant	7,69827	21	0,36658	0,64605	0,0040
Interakcie	-0,662898	21	-0,03157	-0,05563	0,9912
Zvyšok	12,4833	22	0,56742		
Celkom	20,182	65			

2.2.2 Biologické parametre pôdy – biologické zdravie

Táto časť sa dopracuváva.

2.2.3 Organická hmota v pôde

Pôdna organická hmota predstavuje najdôležitejšiu zásobu organického uhlíka v biosfére a v závislosti od podmienok môže eliminovať alebo sekvestrovať skleníkové plyny v životnom prostredí (Barančíková et al., 2019). Súčasne pôdna organická hmota je považovaná za hlavný indikátor pri hodnotení kvality pôdy. Sledovanie zmien pôdneho organického uhlíka pri rôznych systémoch hospodárenia a využívania krajiny je potrebné pre vývoj trvalo udržateľných systémov hospodárenia na pôde (Zaujec a Kobza, 2002).

Využívanie pôdy človekom viedlo a vedie k znižovaniu zásob uhlíka v pedosfére jeho presunom vo forme emisií oxidu uhličitého z pôdy do ovzdušia, čo prispieva k celkovému nárastu oxidu uhličitého v ovzduší (Chesworth, 2008). Prognózy vyplývajúce z modelovania vývoja obsahu pôdnej organickej hmoty pri súčasných spôsoboch hospodárenia na území Slovenska sú naďalej pesimistické (Barančíková, Šoltysová a Koco, 2010).

Straty organickej hmoty z pôdy nemusia byť trvalé. Existujú nápravné opatrenia, ktorými je možné udržať organický podiel v pôde, čo môže prispieť k pozastaveniu nadmerných presunov pôdneho uhlíka do ovzdušia. Tieto nápravné opatrenia môžu dokonca vyvolať pozitívne bilancie uhlíka v pôde, čo sa zjednodušene nazýva sekvestrácia (ukladanie) uhlíka z ovzdušia do pôdy (Bielek a Jurčová, 2010). Priemerné ročné prírastky pôdnej organickej hmoty opatreniami na sekvestráciu vzdušného oxidu uhličitého sa pohybujú od 1,38 $t.ha^{-1}$ do 17,0 $t.ha^{-1}$.

Organické poľnohospodárske systémy a aplikácia organických hnojív patrí medzi navrhované adaptačné opatrenia pre zachovanie a zvýšenie množstva organického uhlíka v pôde (Ministerstvo životného prostredia SR, 2014).

Zmeny pôdneho organického uhlíka a humusu na variantoch s aplikáciou organických hnojív pri pestovaní kukurice siatej na zrno sú uvedené v tabuľke 9. Na monitorovanej parcele bol zistený obsah humusu v rozmedzí 22,25 – 26,28 $g.kg^{-1}$, teda parcela bola stredne humózna (Fecenko a Ložek, 2000). Zistené obsahy humusu zodpovedajú danému pôdnemu typu (Sotáková, 1982).

Tabuľka 9 Priemerné obsahy organického uhlíka a humusu v pôde podľa variantov aplikácie organických hnojív

Variant	Pôdny organický uhlík [$g.kg^{-1}$]			Humus [$g.kg^{-1}$]		
	jar	jeseň	rozdiel	jar	jeseň	rozdiel
1.	14,14	14,22	0,08	24,37	24,51	0,14
2.	13,84	13,67	-0,17	23,85	23,56	-0,29
3.	12,91	13,15	0,24	22,25	22,66	0,41
4.	13,42	13,10	-0,32	23,13	22,58	-0,55
5.	14,07	13,84	-0,23	24,25	23,85	-0,40
6.	15,25	15,17	-0,08	26,28	26,14	-0,14
7.	14,90	15,03	0,13	25,68	25,9	0,22
8.	14,89	14,64	-0,25	25,66	25,23	-0,43
9.	15,13	14,91	-0,22	26,07	25,69	-0,38
10.	14,05	13,99	-0,06	24,21	24,11	-0,10
11.	14,77	14,57	-0,20	25,45	25,11	-0,34

Zmeny obsahov pôdneho organického uhlíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy boli zanedbateľné a vyskytovali sa v rozmedzí -0,32 $g.kg^{-1}$ až 0,24 $g.kg^{-1}$ (tabuľka 9). Najpozitívnejšia zmena obsahu pôdneho organického uhlíka bola zaznamenaná na 3. variante a naopak najnegatívnejšia zmena na 4. variante.

Zmeny pôdneho organického uhlíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy väčšinou boli mierne negatívne, aj keď štatisticky nepreukazné (tabuľka 10). Rozdiel obsahu pôdneho organického uhlíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy bol len 0,1 $g.kg^{-1}$.

Tabuľka 10 Štatistické vyhodnotenie obsahov organického uhlíka a humusu v pôde

Zdroj variability	**Faktor**	**$C_{ox.}$ [$g.kg^{-1}$]**	**Humus [$g.kg^{-1}$]**	**Zdroj variability**	**Faktor**	**$C_{ox.}$ [$g.kg^{-1}$]**	**humus [$g.kg^{-1}$]**
Variant	1.	14,18 c	24,44 c	Odber	jar	14,31 a	24,65 a
	2.	13,76 b	23,71 b		jeseň	14,21 a	24,49 a
	3.	13,03 a	22,46 a				
	4.	13,26 a	22,86 a				
	5.	13,96 bc	24,05 bc				
	6.	15,21 f	26,21 f				
	7.	14,97 ef	25,79 ef				
	8.	14,77 de	25,45 de				
	9.	15,02 f	25,88 ef				
	10.	14,02 c	24,16 c				
	11.	14,67 d	25,28 d				

kde: $C_{ox.}$ – pôdny organický uhlík, písmená (a, b, c, d, e, f) medzi faktormi poukazujú na štatisticky preukazné rozdiely (α = 0,05) – LSD test

2.2.4 Chemické parametre pôdy

V realizovaných pokusoch s rozdielnou výživou kukurice siatej na zrno boli sledované aj zmeny vybraných chemických parametrov pôdy, konkrétne zmeny obsahu celkového dusíka, prístupných živín (fosfor, draslík, vápnik, horčík) a výmennej pôdnej reakcie.

Dusík je základným produkčným prvkom. Bielek (1999) pre fluvizeme Slovenska uvádza priemerný obsah celkového dusíka 1780 $mg.kg^{-1}$. Z celkového dusíka v pôde je až 98 % viazaného v organických zlúčeninách. Pri obsahu humusu 1,5 – 2,5 % obsahuje ornica 3 000 – 6 000 $kg.ha^{-1}$ N.

Dusík vytvára veľké množstvo zlúčenín, pričom jeho mocenstvo sa mení od -3 do +5 a vyskytuje sa v organických a anorganických zlúčeninách v troch skupenstvách. Ich podstatná časť sa nachádza v pôdnom prostredí s cyklami premien, ktoré významne pôsobia na jeho prístupnosť pre rastliny. Systém kolobehu dusíka v prírode umožňuje pritom existenciu života na Zemi a jeho obsah vo vzduchu je obrovskou zásobárňou a poistkou tohto systému (Bízik a Zápotočný, 2009).

Obsah celkového dusíka v pôde súvisí s obsahom pôdneho organického uhlíka. Signifikantné lineárne korelácie medzi organickým uhlíkom a celkovým dusíkom v orničnom horizonte s hodnotou korelačného koeficienta r = 0,76 zaznamenali Zaujec a Kobza (2002), r = 0,90 Barančíková (2005) a r = 0,94 Růžek et al. (2009). Zo získaných výsledkov bola medzi obsahom pôdneho organického uhlíka a celkového dusíka zistená veľká kladná závislosť (r = 0,73).

Obsah celkového dusíka v pôde sa vyskytoval v rozmedzí 1414 – 1569 mg.kg^{-1} (tabuľka 11) a bol vysoko preukazne závislý od variantu a termínu odberu (tabuľka 12). Zásoba dusíka vzhľadom na obsah organického uhlíka bola vysoká.

Tabuľka 11 Priemerné obsahy celkového dusíka, prístupného fosforu a draslíka v pôde podľa variantov aplikácie organických hnojív

Variant	N_t [mg.kg^{-1}]			P [mg.kg^{-1}]			K [mg.kg^{-1}]		
	jar	jeseň	rozdiel	jar	jeseň	rozdiel	jar	jeseň	rozdiel
1.	1528	1474	-54	102,7	106,6	3,9	242,2	251,9	9,7
2.	1476	1414	-62	103,3	99,2	-4,1	246,4	253,3	6,9
3.	1480	1414	-66	108,8	110,0	1,2	234,7	249,0	14,3
4.	1452	1456	4	118,7	115,1	-3,6	247,0	254,4	7,4
5.	1508	1443	-65	110,3	105,2	-5,1	265,4	269,4	4,0
6.	1532	1496	-36	112,6	108,8	-3,8	278,0	279,2	1,2
7.	1522	1494	-28	109,6	105,6	-4,0	253,3	257,8	4,5
8.	1542	1534	-8	100,7	102,3	1,6	260,7	263,7	3,0
9.	1569	1538	-31	104,2	98,4	-5,8	266,7	261,3	-5,4
10.	1540	1483	-57	100,2	94,6	-5,6	240,1	245,2	5,1
11.	1535	1515	-20	77,2	74,5	-2,7	244,3	250,3	6,0

kde: N_t – celkový dusík, P – prístupný fosfor, K – prístupný draslík

Zmeny obsahov celkového dusíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy neboli výrazné a vyskytovali sa v rozmedzí -66 mg.kg^{-1} až +4 mg.kg^{-1}. Zmeny pôdneho organického uhlíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy väčšinou boli mierne negatívne (tabuľka 11). Variabilitu obsahov celkového dusíka v ročníku zaznamenali aj Gömöryová a Gömöry (2013).

Tabuľka 12 Štatistické vyhodnotenie vybraných chemických parametrov pôdy

Zdroj variability	Faktor	N_t [mg.kg^{-1}]	P [mg.kg^{-1}]	K [mg.kg^{-1}]	Ca [mg.kg^{-1}]	Mg [mg.kg^{-1}]	pH/KCl
Variant	1.	1501 cd	104,7 d	247,1 bc	3634,8 a	242,0 a	5,99 bc
	2.	1445 a	101,3 c	249,9 c	3625,0 a	250,5 b	6,02 c
	3.	1447 a	109,4 ef	241,9 a	3720,2 b	252,5 b	6,07 c
	4.	1454 ab	116,9 g	250,7 cd	3596,7 a	272,0 c	5,87 a
	5.	1476 bc	107,8 e	267,4 f	3617,9 a	297,0 d	5,89 a
	6.	1514 de	110,7 f	278,6 g	3742,2 b	301,5 d	5,89 a
	7.	1508 d	107,6 e	255,6 d	3881,8 c	315,5 e	6,02 c
	8.	1538 ef	101,5 c	262,2 e	3923,2 c	329,4 f	5,88 a
	9.	1554 f	101,3 c	264,0 ef	4203,4 d	342,5 g	5,88 a
	10.	1512 de	97,4 b	242,7 ab	4178,7 d	348,1 g	5,90 ab
	11.	1525 de	75,9 a	247,3 bc	3916,7 c	367,0 h	5,83 a
Odber	jar	1517 b	104,4 b	252,6 a	3805,7 a	299,6 a	5,93 a
	jeseň	1478 a	101,8 a	257,8 b	3838,0 b	303,6 b	5,93 a

kde: N_t – celkový dusík, P – prístupný fosfor, K – prístupný draslík, Ca – prístupný vápnik, Mg – prístupný horčík, pH/KCl – výmenná pôdna reakcia, písmená (a, b, c, d, e, f, g, h) medzi faktormi poukazujú na štatisticky preukazné rozdiely (α = 0,05) – LSD test

Obsah celkového fosforu v pôde je nízky a súvisí tiež s druhom pôdy. Stredné hlinité a ťažšie ílovité pôdy všeobecne obsahujú vyššie množstvo celkového fosforu ako ľahké piesočnaté pôdy (Benko a kol., 1974). V našich podmienkach sa obsah celkového fosforu pohybuje od 0,02 % do 0,2 % (Fecenko a Ložek, 2000). Značné zmeny v obsahu fosforu nastávajú v dôsledku klimatických podmienok. V pôdach rovnakej textúry semiarídneho pásma je obsah fosforu vyšší než v pôdach humídneho pásma.

Obsah prístupného fosforu sa vyskytoval v rozmedzí 74,5 – 118,7 $mg.kg^{-1}$ (tabuľka 11) a bol vysoko preukazne závislý od variantu a termínu odberu (tabuľka 12). Z hľadiska kritérií pre hodnotenie výsledkov chemických rozborov orných pôd (Vyhláška MPRV SR č. 151/2016 Z. z.) bol v pôde dobrý až vysoký obsah prístupného fosforu. Zmeny obsahov prístupného fosforu medzi jarným a jesenným odberom pôdy na variantoch s aplikáciou organických hnojív neboli jednoznačné a vyskytovali sa od -5,8 $mg.kg^{-1}$ do +3,9 $mg.kg^{-1}$ (tabuľka 11).

Draslík je živina, ktorú potrebujú všetky rastliny vo väčšom množstve, a to dokonca viac ako dusík. V prírode sa draslík nevyskytuje v prvkovej forme, ale je súčasťou kremičitanov, uhličitanov, síranov, chloridov a fosforečnanov. Obsah celkového draslíka v pôde závisí od je pôvodu a väčšinou sa pohybuje od 0,5 % do 3,0 %. Pôdy ťažké ílovité môžu obsahovať viac ako 4 % draslíka (Ložek, Fecenko, Borecký, 1995).

Z celkového obsahu draslíka len 1 % sa nachádza vo výmennej a vodorozpustnej forme, ľahko prístupnej pre rastliny (Ložek, Fecenko, Borecký, 1995). Obsah prístupného draslíka sa v pokuse s kukuricou siatou na zrno vyskytoval v rozmedzí 234,7 – 279,22 $mg.kg^{-1}$ (tabuľka 11) a bol vysoko preukazne závislý od variantu a termínu odberu (tabuľka 12). Z hľadiska kritérií pre hodnotenie výsledkov chemických rozborov orných pôd (Vyhláška MPRV SR č. 151/2016 Z. z.) bol v pôde vyhovujúci až dobrý obsah prístupného draslíka. Zmeny obsahov prístupného draslíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy na variantoch s použitím organických hnojív neboli jednoznačné a vyskytovali sa v rozmedzí -5,4 $mg.kg^{-1}$ až +14,3 $mg.kg^{-1}$ (tabuľka 11).

Dôležitou makroživinou v pôde je vápnik, ktorý je nielen potrebnou živinou, ale zohráva významnú úlohu pri úprave pôdnej reakcie. Vápnik ovplyvňuje prístupnosť ostatných makro a mikroelementov v pôde, čo sa prejavuje na produkcii a kvalite úrod. Navyše vápnik neutralizuje pôdnu kyslosť a tým inhibuje príjem ťažkých kovov (Sobocká et al., 2005).

Obsah prístupného vápnika sa vyskytoval v rozmedzí 3565,7 – 4226,3 $mg.kg^{-1}$ (tabuľka 13) a bol vysoko preukazne závislý od variantu a preukazne od termínu odberu (tabuľka 12). Z hľadiska kritérií pre hodnotenie výsledkov podľa Práškovej a Nemca (2016) bol v pôde vysoký obsah prístupného vápnika. Zmeny obsahov prístupného vápnika medzi jarným a jesenným odberom pôdy na variantoch s použitím organických hnojív neboli jednoznačné a vyskytovali sa v rozmedzí -62,0 $mg.kg^{-1}$ až +95,2 $mg.kg^{-1}$ (tabuľka 13).

V pôdach sú pomerne značné množstva horčíka (0,1 – 0,6 %), ale len malá časť z celkového horčíka sa nachádza vo formách prístupných pre rastliny (Ložek, Fecenko, Borecký, 1995). Z celkového obsahu horčíka v pôde sa až 90 – 95 % nachádza v silikátoch, aluminosilikátoch, biotite, pyroxénoch, terpentíne a montmorillonite. V silikátovej forme sa horčík ťažko rozpúšťa vo vode a preto jeho využitie rastlinami je veľmi malé. Karbonátové pôdy obsahujú horčík viazaný vo forme uhličitanov, ktoré ľahšie zvetrávajú, a tým sa v porovnaní so silikátmi stáva horčík prístupnejší pre rastliny.

Z hľadiska výživy rastlín má význam horčík v prístupnej forme (výmenný a vodorozpustný horčík). Vo výmennej forme je horčík viazaný na pôdny sorpčný komplex a vo forme vodorozpustných solí je zložkou pôdneho roztoku. Množstvo horčíka v pôde je závislé od pôdnej vlhkosti, teda od obsahu vody v pôde. V závislosti na pohybe vody v pôde

dochádza k stratám horčíka z pôdy vymývaním a tým k transportu horčíka do spodných pôdnych vrstiev. Takýmto spôsobom sa ročne z pôdy vyplaví 20 – 25 kg.ha^{-1} horčíka.

Tabuľka 13 Priemerné obsahy prístupného vápnika a horčíka a hodnôt výmennej pôdnej reakcie podľa variantov aplikácie organických hnojív

Variant	Ca [mg.kg^{-1}]			Mg [mg.kg^{-1}]			pH/KCl		
	jar	jeseň	rozdiel	jar	jeseň	rozdiel	jar	jeseň	rozdiel
1.	3601,6	3667,9	66,3	239,4	244,5	5,1	5,98	6,00	0,02
2.	3588,2	3661,8	73,6	248,3	252,6	4,3	5,99	6,05	0,06
3.	3726,7	3713,6	-13,1	247,9	257,1	9,2	6,05	6,08	0,03
4.	3627,7	3565,7	-62,0	275,2	268,8	-6,4	5,89	5,85	-0,04
5.	3610,9	3624,8	13,9	297,9	296,0	-1,9	5,91	5,86	-0,05
6.	3727,3	3757,1	29,8	298,1	304,9	6,8	5,92	5,86	-0,06
7.	3846,7	3916,8	70,1	310,2	320,7	10,5	5,99	6,04	0,05
8.	3931,3	3915,1	-16,2	325,7	333,0	7,3	5,89	5,86	-0,03
9.	4193,4	4213,3	19,9	345,2	339,7	-5,5	5,87	5,89	0,02
10.	4131,1	4226,3	95,2	344,5	351,6	7,1	5,88	5,91	0,03
11.	3877,7	3955,7	78,0	363,5	370,4	6,9	5,82	5,84	0,02

kde: Ca – prístupný vápnik, Mg – prístupný horčík, pH/KCl – výmenná pôdna reakcia

Monitorovaná ílovito-hlinitá fluvizem glejová mala dobrý až vysoký obsah prístupného horčíka (Vyhláška MPRV SR č. 151/2016 Z. z.), ktorého obsah sa pohyboval od 239,4 mg.kg^{-1} do 370,4 mg.kg^{-1} (tabuľka 13). Obsah horčíka v pôde bol vysoko preukazne závislý od variantu a termínu odberu (tabuľka 12). Zmeny obsahov prístupného horčíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy na sledovaných variantoch sa vyskytovali od -6,4 mg.kg^{-1} do +10,5 mg.kg^{-1} (tabuľka 13).

Dôležitým ukazovateľom agrochemických charakteristík pôd je pôdna reakcia, ktorá vplýva na rast a vývoj kultúrnych rastlín, na činnosť mikroorganizmov v pôde a má veľký význam v pôdotvornom procese (Ložek, Fecenko, Borecký, 1995).

Hodnoty výmennej pôdnej reakcie sa vyskytovali v rozmedzí od 5,82 do 6,08 (tabuľka 13) a podľa kritérií hodnotenia bola výmenná pôdna reakcia slabo kyslá (Vyhláška MPRV SR č. 151/2016 Z. z). Hodnoty výmennej pôdnej reakcie boli vysoko preukazne závislé od variantu (tabuľka 12).

Diferencie hodnôt výmennej pôdnej reakcie medzi jarným a jesenným odberom pôdnych vzoriek boli štatisticky nepreukazné a vyskytovali sa v rozpätí -0,06 až +0,06 (tabuľka 13).

Pôdna reakcia ovplyvňuje prístupnosť živín. Zvýšená kyslosť pôdy znižuje rozpustnosť niektorých živín niekedy až pod životné minimum rastlín. Masaryk a kol. (1980) uvádzajú optimálne hodnoty pôdnej reakcie, pod ktorými je výraznejšie obmedzený rast rastlín. Pre optimálny rast a vývoj väčšiny rastlín je potrebná neutrálna pôdna reakcia (6,5 – 7,2). Niektoré rastliny s väčšou či menšou toleranciou znášajú pôdnu reakciu presahujúcou tieto krajné hodnoty o 0,4, ale v našich pokusoch zistené hodnoty výmennej pôdnej reakcie sú nižšie ako uvedené limitné hodnoty, čo mohlo negatívne ovplyvniť rast plodín na sledovaných variantoch.

2.2.5 Fyzikálne parametre pôdy

Na zmeny fyzikálnych vlastností pôdy sú vo všeobecnosti náchylnejšie menej kvalitné pôdy, ku ktorým patria aj pôdy ťažké s vyšším obsahom ílovitých častíc. Na variantoch s aplikáciou organických hnojív bola zisťovaná pôdna vlhkosť z pôdnych profilov 0 – 0,1 m, 0,1 – 0,2 m a 0,2 – 0,3 m. Priemerné hodnoty pôdnej vlhkosti na jednotlivých variantoch hnojenia v troch pôdnych hĺbkach sú uvedené v tabuľke 14.

Vo všetkých troch hodnotených pôdnych profiloch bola vlhkosť pôdy štatisticky preukazne závislá od variantu aplikácie organických hnojív (tabuľka 14).

Tabuľka 14 Vlhkosť pôdy na jednotlivých variantoch aplikácie organických hnojív a jej štatistické vyhodnotenie

Variant	Hĺbka pôdy			
	0 – 0,1 m [%]	**0,1 – 0,2 m [%]**	**0,2 – 0,3 m [%]**	**0 – 0,3 m [%]**
1.	17,98 b	18,03 d	16,68 d	**17,56 b**
2.	17,91 b	15,70 b	14,25 b	**15,95 a**
3.	17,18 a	14,64 a	14,08 b	**15,30 a**
4.	17,90 b	15,65 b	13,47 a	**15,67 a**
5.	18,53 c	16,65 c	17,90 e	**17,70 bc**
6.	17,82 b	19,31 e	18,53 f	**18,55 cd**
7.	19,93 d	18,11 d	14,82 c	**17,62 b**
8.	20,69 ef	19,16 e	17,64 e	**19,16 de**
9.	20,78 f	19,91 f	17,80 e	**19,50 e**
10.	21,89 g	21,54 h	20,71 g	**21,38 f**
11.	20,24 de	20,93 g	21,11 g	**20,76 f**
priemer	**19,17**	**18,15**	**17,00**	**18,11**

kde: písmená (a, b, c, d, e, f, g, h) medzi faktormi poukazujú na štatisticky preukazné rozdiely (α = 0,05) – LSD test

Z hľadiska variantov bola vysoko preukazne najvyššia vlhkosť pôdy v hĺbke 0 – 0,3 m zistená na 10. (21,38 %) a 11. (20,76 %) variante, teda tieto varianty boli najlepšie z hľadiska zásobenosti rastlín vodou. Súčasne na 10. variante bola najvyššia vlhkosť pôdy zistená v prvých dvoch sledovaných pôdnych profiloch a na 11. variante v treťom profile pôdy (tabuľka 14).

Z hľadiska variantov bola preukazne najnižšia vlhkosť pôdy v pôdnej hĺbke 0 – 0,3 m zistená na 3. (15,30 %), 4. (15,67 %) a 2. (15,95 %) variante.

S poklesom pôdnej hĺbky bol zaznamenaný vysoko preukazný pokles pôdnej vlhkosti, pričom medzi prvým a tretím pôdnym profilom bol zaznamenaný priemerný pokles pôdnej vlhkosti o 2,17 % (tabuľka 14). Vysoko preukazne najvyššia vlhkosť pôdy (19,17 %) bola zistená v 1. pôdnom profile (0 – 0,1 m), nižšia (18,15 %) v 2. pôdnom profile (0,1 – 0,2 m) a najnižšia (17,00 %) v 3. pôdnom profile (0,2 – 0,3 m).

V tabuľke 15 sú uvedené fyzikálne charakteristiky pôdy zistené v sledovanom období v hĺbke 0 – 0,3 m. Priemerné hodnoty objemovej hmotnosti na sledovaných variantoch sa nachádzali v rozpätí 1473 – 1521 kg.m^{-3}. Zistené hodnoty objemovej hmotnosti boli vyššie ako 1400 kg.m^{-3}, čo je limitná hodnota pre ílovito-hlinitú pôdu (Zákon o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy č. 220/2004 Z. z.) a preto môže dochádzať k zhutneniu pôdy a k nepriaznivým zmenám vodného a vzdušného režimu pôdy.

Tabuľka 15 Fyzikálne parametre pôdy zistené na jednotlivých variantoch aplikácie organických hnojív v hĺbke 0 – 0,3 m a ich štatistické vyhodnotenie

Variant	Objemová hmotnosť ρ_d [kg.m^{-3}]	Celková pórovitosť Pc [%]
1.	1479 a	42,36 cd
2.	1501 ab	41,47 abc
3.	1473 a	42,58 d
4.	1484 a	42,14 bcd
5.	1487 ab	42,05 bcd
6.	1505 ab	41,35 ab
7.	1508 ab	41,21 ab
8.	1521 b	40,69 a
9.	1478 a	42,39 cd
10.	1521 b	40,72 a
11.	1492 ab	41,82 bcd
priemer	**1495**	**41,71**

kde: písmená (a, b, c, d) medzi faktormi poukazujú na štatisticky preukazné rozdiely (α = 0,05) – LSD test

Preukazne najnižšie hodnoty objemovej hmotnosti boli zistené na variante 3. (1473 kg.m^{-3}), 9. (1478 kg.m^{-3}), 1. (1479 kg.m^{-3}) a 4. (1484 kg.m^{-3}) a preukazne najvyššie na variante 8. (1421 kg.m^{-3}) a 10. (1421 kg.m^{-3}).

Procesy napučiavania a zmršťovania sú typické pre ťažké pôdy s vysokým obsahom ílovitých častíc a ovplyvňujú pórovitosť pôdy a jej zmeny. Celková pórovitosť je funkciou objemovej hmotnosti, preto sú jej hodnoty nižšie pri vyššej objemovej hmotnosti. Optimálna celková pórovitosť pre ílovito-hlinité pôdy má byť vyššia ako 47 %. Priemerné hodnoty pórovitosti na variantoch aplikácie organických hnojív v rozmedzí 40,69 – 42,58 % poukazujú na zhutnenie pôdneho profilu (tabuľka).

Celková pórovitosť pôdy bola štatisticky preukazne závislá od variantu. Vysoko preukazne najvyššia celková pórovitosť pôdy bola zistená na 3. variante (42,58 %) a vysoko preukazne najnižšia na 8. (40,69 %) a 10. (40,72 %) variante.

3. ZÁVER – ODPORÚČANÉ TECHNOLÓGIE APLIKÁCIE ORGANICKÝCH HNOJÍV

Prebiehajúca klimatická zmena s extrémami v počasí, keď sa striedajú obdobia sucha s obdobiami s intenzívnymi zrážkami, významnou mierou ovplyvňuje hospodárenie farmárov na pôdach v podmienkach Slovenska. Jedným z riešení je aj využívanie organických hnojív, ktoré významným spôsobom môžu eliminovať dopady klimatických zmien a prispieť k udržateľnému hospodáreniu na pôde, zvyšovaniu sekvestrácie uhlíka, zvyšovaniu obsahu organických látok a humusu v pôde a tým obohatiť aj biologický život v pôde.

Extrémny priebeh počasia na pokusnej lokalite dokumentuje aj priebeh meteorologických veličín v roku 2024 a to najmä čo sa týka teplotných pomerov. Celé vegetačné obdobie je možné charakterizovať ako veľmi teplé a silne nadnormálne, pričom v každom mesiaci boli zaznamenané vyššie teploty vzduchu ako je dlhodobý normál pre danú lokalitu. Letné mesiace jún až august boli mimoriadne nadnormálne (mimoriadne teplé). Tendencia globálneho otepľovania je teda zrejmá a v projekte hľadáme riešenia, ktoré pripravia agrosektor na tieto zmeny.

Na základe jednoročných výsledkov nie je možné robiť širšie závery, ale je badateľné, že aplikácia organických hnojív pri rôznych technológiách je z aspektu úrod nielen rovnocenná aplikácii štandardných minerálnych hnojív, ale vo väčšine variantov ju signifikantne prekonáva.

Z pokusu vyplýva, že po vyhodnotení produkčných parametrov je možné odporučiť využívať technológiu z 3. variantu. Pri tejto technológii sa osivo morilo prípravkami Rokoaktív a Ecofertile. Pred sejbou sa aplikoval Rokolan a ZEO granul. Počas vegetácie 3-krát Rokohumín a 2-krát Klinogrow. Dávkovanie a ďalšie podrobnosti sú uvedené v metodickej časti.

Nižšie úrody sa dosiahli na 2. a 5. variante, ale rozdiely v úrodách neboli preukazné. Druhy a dávky organických hnojív na týchto variantoch sú uvedené v metodike.

Z hľadiska kvalitatívnych parametrov je možné konštatovať, že aj najvyššia úroda škrobu bola zaznamenaná na 3. variante (5,81 $t.ha^{-1}$) a optimálna bola aj na 5. variante (5,46 $t.ha^{-1}$).

Na základe komplexného hodnotenia mikrobiálnej diverzity pomocou metódy ARISA možno konštatovať, že aplikácia rôznych organických pôdnych prípravkov mala vplyv na zloženie mikrobiálnych spoločenstiev, a to v zmysle celkovej diverzity, rovnomernosti i komunitnej štruktúry.

Bakteriálne spoločenstvá (B-ARISA):

- v rámci alfa diverzity sa ukázalo, že viaceré organické varianty podporili vyššiu druhovú bohatosť (ACE), rovnomernosť (Simpson) a celkovú diverzitu (Shannon) oproti kontrole,
- kontrolný variant vykazoval nižšie hodnoty indexov diverzity počas kvitnutia, čo môže poukazovať na nižšiu ekologickú komplexnosť bakteriálneho zloženia pri použití klasického hnojenia,
- z výsledkov beta diverzity (PCoA a PERMANOVA) vyplynulo, že typ organického ošetrenia pôdy bol štatisticky významným faktorom ovplyvňujúcim bakteriálnu štruktúru (p = 0,0001), zatiaľ čo časová zložka (kvitnutie vs. zrelosť) významný vplyv nemala,
- network analýza ukázala vysoký stupeň podobnosti medzi viacerými organickými variantmi, zatiaľ čo kontrola a variant 9. boli odlišnejšie v rámci indexov alfa diverzity.

Hubové spoločenstvá (F-ARISA):

- alfa diverzita húb preukázala vyššiu citlivosť na vývojové štádium kukurice – niektoré varianty vykazovali výraznejšie rozdiely medzi kvitnutím a zrelosťou, a to najmä v rámci Shannon a Simpson indexov,
- beta diverzita (PCoA) ukázala časové rozlíšenie, pričom PERMANOVA potvrdila štatisticky významné rozdiely medzi fázami rastu (p = 0,0089), ako aj medzi variantami (p = 0,0040),

- hubové spoločenstvá sa ukázali ako citlivejšie na dynamiku rastového cyklu rastliny než baktérie, čo je dôležité z pohľadu agroekologického manažmentu,
- v network analýze tvorili hubové spoločenstvá z organických variantov husto prepojenú sieť, pričom kontrola a variant 4. boli odlišné od ostatných variantov v rámci indexov alfa diverzity.

Zmeny obsahov pôdneho organického uhlíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy boli zanedbateľné a vyskytovali sa v rozmedzí -0,32 $g.kg^{-1}$ až 0,24 $g.kg^{-1}$. Najpozitívnejšia zmena obsahu pôdneho organického uhlíka bola zaznamenaná na 3. variante a naopak najnegatívnejšia zmena na 4. variante.

Zmeny obsahov pôdneho organického uhlíka medzi jarným a jesenným odberom pôdy boli väčšinou negatívne a vyskytovali sa v rozmedzí -66 $mg.kg^{-1}$ až +4 $mg.kg^{-1}$.

Zmeny obsahov prístupných živín (fosfor, draslík, vápnik, horčík) medzi jarným a jesenným odberom pôdy na variantoch s aplikáciou organických hnojív neboli jednoznačné. Z prístupných pôdnych živín bola najoptimálnejšia zmena prístupného fosforu zistená na 1. variante (+3,9 $mg.kg^{-1}$), prístupného draslíka na 3. variante (+14,3 $mg.kg^{-1}$), prístupného vápnika na 10. variante (+95,2 $mg.kg^{-1}$) a prístupného horčíka na 7. variante (+10,5 $mg.kg^{-1}$) aplikácie organických hnojív.

Diferencie hodnôt výmennej pôdnej reakcie medzi jarným a jesenným odberom pôdnych vzoriek boli štatisticky nepreukazné a vyskytovali sa v rozmedzí len -0,06 až +0,06.

Z hľadiska variantov bola vysoko preukazne najvyššia vlhkosť pôdy v ornici (hĺbka 0 – 0,3 m), teda najlepšia zásobenosť rastlín vodou, zistená na 10. (21,38 %) a 11. (20,76 %) variante aplikácie organických hnojív.

Základné fyzikálne vlastnosti pôdy nevyhovovali Zákonu č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy. Hodnoty objemovej hmotnosti boli vyššie ako je limitná hodnota pre ílovito-hlinité pôdy (1400 $kg.m^{-3}$) a celková pórovitosť bola nižšia ako 47 %, čo je minimálna hodnota celkovej pórovitosti pre ílovito-hlinité pôdy. Najoptimálnejšie hodnoty fyzikálnych parametrov pôdy boli zistené na 3. variante aplikácie organických látok (najvyššia celková pórovitosť pôdy – 42,58 %, najnižšia objemová hmotnosť pôdy – 1473 $kg.m^{-3}$).

4. POUŽITÁ LITERATÚRA

Barančíková, G. 2005. Vývoj pôdnej organickej hmoty na vybraných pôdnych typoch trvalých trávnych porastov a orných pôd v priebehu monitoringu. In: *Štvrté pôdoznalecké dni na Slovensku*. Bratislava : VÚPOP, 2005, s. 7-13. ISBN 80-89128-18-1.

Barančíková, G. et al. 2019. *Pôdny organický uhlík a jeho odozva na využívanie krajiny Slovenska*. 1. vyd. Bratislava : NPPC – výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 105 s. ISBN 978-80-8163-0294.

Barančíková, G., Šoltysová, B., Koco, Š. 2010. Prediction of soil organic carbon stock in conditions of Eastern Slovak Lowland. In: *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 56, no. 2, s. 35-43.

Bielek, P. 1999. *Obsahy pôdnej organickej hmoty v pôdach SR.* In: GRANEC, M. – ŠURINA, B. 1999. Atlas pôd SR [online], 1999, 60 s. Dostupné na internete: <http://www.podnemapy.sk/portal/prave_menu/atlas_pod_sr/Atlas_pod_SR.pdf>.

Bielek, P., Jurčová, O. 2010. *Metodika bilancie pôdnej organickej hmoty a stanovenia potreby organického hnojenia poľnohospodárskych pôd.* 2. doplnené vyd. Bratislava : VÚPOP, 145 s. ISBN 978-80-89128-80-8.

Bízik, J., Zápotočný, V. 2009. *Význam diagnostiky obsahu dusíka v pôde pre výživu rastlín.* [cit 2019-12-9]. Dostupné na internete: <http://old.agroporadenstvo.sk/rv/poda/diagnost_n.htm>.

Danilovič, M., Hlavatá, H., Šoltysová, B. 2017. Criteria for abnormality evaluation of selected weather parameters in the Slovak Republic. In: *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 63, no. 2, pp. 86-91. ISSN 1335-2415. DOI: 10.1515/agri-2017-0005.

Fazekašová, D., Poráčová, J. 1999. Trvalo udržateľné poľnohospodárstvo. 1. vyd. Prešov : FHPV Prešovskej univerzity, 76 s. ISBN 80-88722-80-2

Fecenko, J., Ložek, O. 2000. *Výživa a hnojenie poľných plodín.* 1. vyd. Nitra : SPU Nitra. 452 s. ISBN 80-7137-777-5.

Gömöryová, E., Gömöry, D. 2013. Vývoj niektorých pôdnych charakteristík na kalamitných plochách Tanapu v období rokov 2006-2012. In: *16. pedologické dny 2013 : Časové změny půdních vlastností a jejich predikce* : Sborník příspěvků. Milovy : Mendelova univerzita v Brně, 2013, s. 12-18.

Hraško, J. et al. 1962. *Rozbory pôd.* 1. vyd. Bratislava : SVPL, 342 s.

Hraško, J., Červenka, L., Facek, Z., Komár, J., Němeček, J., Pospíšil, J., Sirový, V. 1962. *Rozbory pôd*. Bratislava : Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry, 342 s.

Hrivňáková, K., Makovníková, J., Barančíková, G., Bezák, P., Bezákova, Z., Dodok, R., Greco, V., Chlpík, J., Kobza, J., Listjak, M., Mališ, J., Píš, V., Schlosserová, J., Slávik, O., Širáň, M. 2011. *Jednotné pracovné postupy rozborov pôd*. 1. vyd. Bratislava : VÚPOP, 136 s. ISBN 978-80-89128-89-1.

Husson, O. et al. 2021. Soil and plant health in relation to dynamic sustainment of Eh and pH homeostasis. In: *Plant Soil*, https://doi.org/10.1007/s11104-021-05047-z.

Javorský, P., Fojtíková, D., Kalaš, V, Kratochvíl, J., Schwarz, M. 1987. *Chemické rozbory v zemědělských laboratořích*, 1. diel. Praha : Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR, 1987. 288 s.

CHesworth, W. 2008. *The Encyclopedia of Soil Science.* Dordrecht : Springer, s. 91-97.

Javorský, P., Fojtíková, D., Kalaš, V., Kratochvíl, J., Schwarz, M. 1987. *Chemické rozbory v zemědělských laboratořích*, 1. diel. Praha : Ministerstvo zemědělství a výživy ČSR, 1987. 288 s.

Kováč, L., Balla P., Šoltysová, B. 2020. *Záverečná správa o výsledkov výživárskeho pokusu s prípravkami Rokolan a Rokoaktív v rokoch 2018 – 2020*. Záverečná správa. Michalovce: NPPC-VÚA Michalovce, 33 s.

Ložek, O., Fecenko, J., Borecký, V. 1995. *Základy výživy a hnojenia rastlín.* 1. vyd. Nitra : NOI Nitra, 1995. 134 s. ISBN 80-85330-21-0.

Ministerstvo životného prostredia SR 2014. *Stratégia adaptácie Slovenskej republiky na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy.* 103 s.

Růžek, L., Růžková, M., Voříšek, K., Kubát, J., Friedlová, M., Mikanová, O. 2009. Chemical and microbiological characterization of Cambisols, Luvisols and Stagnosols. In: *Plant Soil Environ.*, vol. 55, 2009, no. 6, pp. 231-237.

Sobocká, J., Šurina, B., Torma, S., Dodok, R. 2005. *Klimatická zmena a jej možné dopady na pôdny fond Slovenska.* 1. vyd. Bratislava : VÚPOP, 2005. 46 s.

Sotáková, S. 1982. *Organická hmota a úrodnosť pôdy*. 1. vyd. Bratislava : Príroda, 1982. 234 s.

Vyhláška MPRV SR č. 151/2016 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o agrochemickom skúšaní pôd a o skladovaní a používaní hnojív. 20 s.

Zákon č. 220/2004 Z. z. o ochrane a využívaní poľnohospodárskej pôdy a o zmene zákona č. 245/2003 Z. z o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov. Zbierka zákonov č. 220/2004, čiastka 96, s. 2278-2213.

Zaujec, A., Kobza, J. 2002. The content and quality of soil organic matter in key monitoring sites observing by soil monitoring system of the Slovak Republic. In: *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, vol. 48, vo. 9, pp. 492-499.