

Čj.: UKZUZ 198915/2019

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

Sekce zemědělských vstupů

Oddělení výživy rostlin



Vliv hnojení a vyčerpání půdy na biologickou aktivitu

Zpráva o výsledcích dvouleté vegetační nádobové zkoušky za roky 2017-2018

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

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

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

Brno, říjen 2019

1. Úvod

Název zkoušky: Vliv hnojení a vyčerpání půdy na biologickou aktivitu

Účel zkoušky: biologická aktivita půdy je nezbytným předpokladem úrodnosti. Celá řada hnojiv, pomocných přípravků a agrotechnických opatření si klade za cíl zvyšovat různými cestami biologickou aktivitu. Jedním z důležitých faktorů úrodnosti i biologické aktivity je dostupnost dusíku v půdě. Biologická aktivita byla stanovena v půdě v různé míře hnojené a ovlivněné vyčerpáním živin předplodinou. Byla srovnávána biologická aktivita v půdě čerstvě bohaté na živiny, ve stejné půdě hnojené dusíkem a vyčerpané sklizní kukuřice hnojené a nehnojené dusíkem.

Hypotéza zkoušky:

Biologická aktivita půdy roste s rostoucí hodnotou bilance dusíku

Druh zkoušky: dvouletá vegetační nádobová zkouška byla založena na jaře 2017 ve vegetační hale v Brně

Délka trvání zkoušky: vegetační rok 2017 - 2018

2. Charakteristika použitých hnojiv

2.1 Vstupy použité ve vegetační zkoušce

Močovina (46 % N)

Ledek vápenatý (15 % N)

Superfosfát trojitý (20 % P)

3. Půda použitá k založení zkoušky

K založení zkoušky byla použita svrchní vrstva ornice z lokality Šlapanice u Brna (49°10'07.1"N 16°43'38.3"E - hlinitá půda typu černozem) ručně odebraná v září 2015. Agrochemické vlastnosti použité půdy jsou uvedeny v tab. 3.1. Půda byla po odběru vysušena na vzduchu a do založení zkoušky uložena při pokojové teplotě.

Tab. 3.1 Agrochemické vlastnosti půd použitých k založení zkoušky

půdní reakce pH/CaCl ₂	obsah živin ve výluhu Mehlich 3 (mg kg ⁻¹) a hodnocení dle kritérií				
	CaCO ₃	P	K	Mg	Ca
7,2	nevápnitá	93,1	454	350	4000
neutrální		dobrá	velmi vysoký	velmi vysoký	vysoký

Obsah mikroelementů ve výluhu Mehlich 3 (mg kg ⁻¹)				
Cu	Zn	Fe	Mn	B
4,53	4,27	346,00	133,50	1,79

4. Způsob a dávky hnojení

Schéma vegetační nádobové zkoušky: Ve vegetační zkoušce byly v 1. roce dvě varianty hnojení: kontrola a hnojení dusíkem a fosforem (tab. 4.1). Dávky živin byly stanoveny na základě očekávaného odběru živin výnosem a obsahu živin v půdě (tab. 1). Ve 2. roce byly přidány dvě další varianty, pro které byla využita stejná uskladněná výchozí půda jako při založení předchozích variant s kukuřicí. V této půdě, dále označované jako „čerstvá půda“, nebyly živiny vyčerpány sklizní (tab. 4.2). Obě varianty z předchozího roku nebyly dále hnojeny, z nově založených variant byla jedna nehnojená a jedna hnojená. Cílem bylo získat půdy s co nejširším rozsahem bilance dusíku.

Tab. 4.1 Schéma vegetační nádobové zkoušky v 1. roce

Varianta	počet nádob	objem nádoby (l)	navážka půdy (kg)	Dávka N minerální hnojení (kg N ha ⁻¹)	Dávka P minerální hnojení (kg P ha ⁻¹)
1. Kontrola	4	12	12	0	0
2. NP	4	12	12	400	30

Tab. 4.2 Schéma vegetační nádobové zkoušky ve 2. roce

Varianta	půda	počet nádob	objem nádoby (l)	navážka půdy (kg)	Dávka N (kg N ha ⁻¹)	Dávka P (kg P ha ⁻¹)
1. Kontrola	po kukuřici	4	12	12	0	0
2. NP	po kukuřici	4	12	12	0	0
3. Čerstvá nehnojená	čerstvá	4	12	12	0	0
4. Čerstvá hnojená	čerstvá	4	12	12	150	30

1. Aplikace hnojiv v 1. roce pokusu:

Močovina byla aplikována ve dvou dávkách. První dávka byla aplikována při založení pokusu, druhá po vyjednocení rostlin. Dávky dusíku v minerální formě jsou uvedeny v tab. 4.1, dělení dávek je uvedeno v tab. 4.3.

Superfosfát byl aplikován při založení pokusu.

Dávky minerálních hnojiv jsou uvedeny v tab. 4.4.

Tab. 4.3 Dělení dávek minerálního dusíku v 1. roce pokusu

Varianta	dávka N před setím (kg N ha ⁻¹)	dávka N po vzejití (kg N ha ⁻¹)
1. Kontrola	0	0
2. NP	250	150

Tab. 4.4 Dávky hnojiv (g nádoba⁻¹)

Varianta	Močovina	Močovina	Superfosfát
1. Kontrola	0	0	0
2. NP	3	1,8	0,8

2. Aplikace hnojiv ve 2. roce pokusu:

Ledek vápenatý byl aplikován ve třech dávkách. První dávka byla aplikována během jarní regenerace, další dvě dávky ve dvoutýdenním intervalu byly dodány jako 2. regenerační dávka a poté dávka produkční. Dávky dusíku v minerální formě jsou uvedeny v tab. 4.3, dělení dávek je uvedeno v tab. 4.4. a 4.5.

Superfosfát byl aplikován před výsevem pšenice.

Dávky minerálních hnojiv jsou uvedeny v tab. 4.6.

Tab. 4.5 Dělení dávek minerálního dusíku ve 2. roce pokusu (kg ha^{-1})

Varianta	1. regenerační	2. regenerační	produkční
1. Kontrola	0	0	0
2. NP	0	0	0
3. Čerstvá nehnojená	0	0	0
4. Čerstvá hnojená	50	50	50

Tab. 4.6 Dávky hnojiv (g nádoba^{-1})

Hnojivo Varianta	Ledek vápenatý			Superfosfát
	1. regenerační	2. regenerační	produkční	
1. Kontrola	0	0	0	0
2. NP	0	0	0	0
3. Čerstvá nehnojená	0	0	0	0
4. Čerstvá hnojená	1,8	1,8	1,8	0,8

5. Technika založení a průběh zkoušky

Počet opakování: Udává počet vegetačních nádob v každé variantě hnojení: obě plodiny 4 x

Celkový rozsah zkoušky: 4 x 4 = 16 vegetačních nádob

Zkoušená plodina v roce 2017 (1. rok zkoušky): kukuřice, odrůda Pesandor

Zkoušená plodina v roce 2018 (2. rok zkoušky): pšenice ozimá, odrůda Gordian

Technika provedení pokusu:

- Před výsevem kukuřice byla aplikována část dávky minerálních hnojiv dle variant hnojení.
- Výsev kukuřice byl proveden 12.5.2017
- Vyjednocení na 9 vyrovnaných rostlin v každé nádobě bylo provedeno po vzejití (17. 5. 2017).
- Druhá dávka dusíku byla aplikována 15.6.2017 ve fázi 7. listu
- Pod každou vegetační nádobou byla umístěna miska pro zachycení přebytečné závlivkové vody
- Během vegetace byl sledován zdravotní stav rostlin, nebyly zjištěny žádné příznaky poškození chorobami ani škůdci, a proto nebyly použity žádné prostředky na ochranu rostlin.
- Prováděno bylo vegetační pozorování, zejména rozdíly v nástupu do hlavních fenologických fází a morfologie rostlin u jednotlivých variant hnojení
- Sklizeň byla provedena 25. 7. 2017
- Po sklizni byla zemina v nádobách zhomogenizována, byly odebrány vzorky půdy k agrochemickým analýzám a kořeny byly uloženy do spodní části nádoby.
- Do nádob byla poté vyseta pšenice ozimá jako následná plodina. Výsev byl proveden 6.10.2017, bylo vyseto 28 semen na jednu nádobu
- Vyjednocení pšenice na 21 vyrovnaných rostlin bylo provedeno 26.3.2018 po přezimování

- Během vegetace byl sledován zdravotní stav rostlin, podle potřeby byly použity povolené přípravky na ochranu rostlin (tab. 5.1).
- Sklizeň byla provedena 10.7.2018
- V průběhu vegetace byla vlhkost zeminy v nádobách udržována pravidelnou závlahou dle potřeby demineralizovanou vodou, upravenou reverzní osmózou MID 50 K (Pharmapur řady Aqua Complet) na hodnotu 60 % maximální vodní kapacity

Tab. 5.1 Přípravky na ochranu rostlin použité k ochraně pšenice ve 2. roce zkoušky

Přípravek	datum	koncentrace (%)	Škodlivý činitel
Seguris	8.11.2017	0,1	padlí
BoogieXPro	2.1.2018	0,1	padlí
BoogieXPro	4.4.2018	0,1	padlí
Seguris	30.4.2018	0,1	padlí
BoogieXPro	9.5.2018	0,1	padlí
Pirimor	25.5.2018	0,2	mšice

Hodnocené parametry:

Výnos:

po sklizni kukuřice byl stanoven **výnos sušiny rostlin**;

po sklizni pšenice byl stanoven **výnos zrna a slámy**;

Analýzy rostlin:

na vzduchu vysušené vzorky rostlin byly rozemlety a použity k analýzám.

- **Obsah N, P, K, Mg, Ca** ve sklizené biomase rostlin byl stanoven ve vzorku mineralizovaném mokrou cestou směsí kyseliny sírové, H₂O₂ a Se (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40020.1 dle Zbírala a kol., 2014). Obsah N byl stanoven metodou dle Kjehldala, (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40053.1 dle Zbírala a kol., 2014), obsah P, K, Mg a Ca byl stanoven metodou ICP-OES (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 40090.1 dle Zbírala a kol., 2014).

Analýzy půdy: po sklizni rostlin kukuřice byly 25.8.2018 odebrány vzorky půdy, ve kterých byly stanoveny vybrané parametry.

- **Obsah P, K, Mg a Ca** byl stanoven ve výluhu dle Mehlicha 3 (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30068.1 dle Zbírala a kol., 2016) metodou ICP-OES (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30074.1 dle Zbírala a kol., 2016).
po sklizni pšenice byly odebrány vzorky půdy, ve kterých byly stanoveny vybrané agrochemické a mikrobiologické parametry.
- **Obsah P, K, Mg a Ca** byl stanoven ve výluhu dle Mehlicha 3 (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30068.1 dle Zbírala a kol., 2016) metodou ICP-OES (Jednotný pracovní postup ÚKZÚZ č. 30074.1 dle Zbírala a kol., 2016).
- Obsah extrahovatelného uhlíku (C_{ext}) a dusíku (N_{ext}), obojí v 0,5 M K₂SO₄
- Obsah uhlíku (C_{bio}) a dusíku (N_{bio}) v mikrobiální biomase
- Bazální respirace (RB)
- Substrátem indukovaná respirace (RS)
- Respirační křivky a z nich odvozené parametry, specifická růstová rychlost (μ) a čas pro dosažení maximální růstové rychlosti (t_{peakmax})

Statistické vyhodnocení výsledků

Rozdíly mezi jednotlivými variantami byly testovány s využitím jednofaktorové analýzy variance s následným mnohonásobným porovnáním pomocí Tukeyova testu. Zvolená hladina průkaznosti byla 0,05. Ke statistickému zpracování dat byl použit program Statistica 12.

6. Výsledky

6.1 Výnos sušiny kukuřice v 1. roce pokusu

Výnos kukuřice byl zhruba na stejné úrovni v obou variantách, rozdíl byl neprůkazný. (tab. 6.1).

Tab. 6.1 Výnos sušiny kukuřice

Varianty hnojení	Výnos (t ha ⁻¹)	Relativní srovnání (%)
1. Kontrola	44,8±1,4a	100
2. NP	45,9±0,8a	102

6.2 Výnos zrna a slámy pšenice ve 2. roce pokusu

Výnos zrna i slámy pšenice byl průkazně zvyšován NP hnojením ve srovnání s kontrolou v půdě po kukuřici (tab. 6.2). Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány v obou variantách v čerstvé půdě, které se vzájemně průkazně nelišily a zároveň dosahovaly průkazně vyšších výnosů zrna i slámy, než obě varianty v půdě po kukuřici.

Tab. 6.2 Výnos zrna a slámy pšenice

Varianty hnojení	Výnos zrna (t ha ⁻¹)	Relativní srovnání (%)	Výnos slámy (t ha ⁻¹)	Relativní srovnání (%)
1. Kontrola	2,3±0,2a	100	3,1±0,2a	100
2. NP	6,4±0,7b	280	7,6±0,5b	245
3. Čerstvá nehnojená	9,1±0,7c	396	10,5±0,7c	337
4. Čerstvá hnojená	8,6±0,7c	374	10,6±0,5c	341

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

6.3 Obsah živin ve sklizených produktech

Obsah N, Mg a Ca v **sušině kukuřice** byl průkazně zvýšen minerálním hnojením oproti kontrole (tab. 6.3). Obsah K byl naopak hnojením snižován a na obsah P nemělo hnojení vliv. Obsah N v **zrnu pšenice** byl srovnatelný v nehnojené i hnojené variantě v půdě po kukuřici, byl průkazně vyšší v zrnu pšenice pěstované v čerstvé půdě nehnojené, kde byl dále průkazně zvýšen hnojením (tab. 6.4). Obsah P, K a Mg byl naopak průkazně nižší v rostlinách pěstovaných v čerstvé půdě hnojené i nehnojené, než v kontrole a hnojené variantě po kukuřici. Obsah Mg v zrnu pšenice byl v půdě po kukuřici a obsah P v zrnu i v půdě čerstvé dále snižován hnojením.

Obsah P, K a Mg byl negativně korelován s obsahem N v zrnu.

Obsah N v zrnu pšenice z nehnojené kontroly byl poměrně nízký a odpovídal obsahu bílkovin v zrnu zhruba 9 %. Hnojení zvýšilo výnos, ale ne obsah N v zrnu rostlin v půdě po kukuřici. To naznačuje limitaci výnosu dusíkem. Naopak, v půdě čerstvé byl dusík spíše v nadbytku,

především v hnojené variantě, kde obsah N v zrně odpovídal obsahu bílkovin v zrně zhruba 18 %.

Také obsah N ve **slámě pšenice** byl srovnatelný v nehnojené i hnojené variantě v půdě po kukuřici a byl průkazně vyšší v rostlinách pěstovaných v čerstvé půdě nehnojené, kde byl dále průkazně zvýšen hnojením (tab. 6.5). Stejný trend byl pozorován v obsahu K. Obsah P ve slámě byl nejvyšší v nehnojené kontrole, u ostatních variant dosahoval přibližně stejných hodnot a byl průkazně nižší. Obsah Mg byl nejvyšší ve slámě rostlin v půdě čerstvé hnojené, neprůkazně nižší v kontrole a ostatní hodnoty byly průkazně nižší a vzájemně se nelišily. Obsah Ca byl podobný v hnojené i nehnojené variantě v půdě po kukuřici, v půdě čerstvé byl obsah průkazně vyšší a hnojením byl dále průkazně zvýšen.

Obsah K, Mg a Ca byl v korelaci s rostoucím obsahem N ve slámě.

Tab. 6.3 Obsah živin v biomase kukuřice (% sušiny)

Variety hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1. Kontrola	0,799±0,027a	0,071±0,004a	1,738±0,079b	0,137±0,005a	0,347±0,028a
2. NP	1,199±0,089b	0,073±0,018a	1,595±0,059a	0,157±0,007b	0,439±0,009b

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

Tab. 6.4 Obsah živin v zrně pšenice (% sušiny)

Variety hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1. Kontrola	1,383±0,073a	0,472±0,012a	0,523±0,017a	0,142±0,003ab	<0,050
2. NP	1,378±0,043a	0,386±0,025b	0,519±0,008a	0,119±0,003b	<0,050
3. Čerstvá nehnojená	2,267±0,066b	0,307±0,019c	0,422±0,015b	0,101±0,005c	<0,050
4. Čerstvá hnojená	2,859±0,062c	0,262±0,016d	0,393±0,021b	0,099±0,003c	<0,050

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

Tab. 6.5 Obsah živin ve slámě pšenice (% sušiny)

Variety hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1. Kontrola	0,249±0,020a	0,301±0,024a	2,098±0,089a	0,162±0,009ab	0,287±0,019a
2. NP	0,282±0,033a	0,024±0,007b	2,098±0,065a	0,137±0,028b	0,315±0,040a
3. Čerstvá nehnojená	0,531±0,097b	0,023±0,007b	3,238±0,229b	0,139±0,031b	0,453±0,093b
4. Čerstvá hnojená	0,922±0,073c	0,025±0,006b	3,722±0,196c	0,197±0,019a	0,701±0,028c

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

6.4 Odběr živin plodinou a bilance živin

Odběr živin je dán výnosem a obsahem živin ve sklizených produktech, proto může lépe vypovídat o využití živin rostlinami než samotný obsah živin nebo výnos.

Hnojení průkazně zvýšilo odběr N, K, Mg a Ca **výnosem kukuřice**. Odběr P byl v obou variantách srovnatelný (tab. 6.6).

S rostoucí dostupností N značně narůstal odběr N, K a Ca **výnosem pšenice**, zatímco odběr P a Mg se zvýšil jen málo. Značné množství živin odčerpá výnos slámy, ve které hnojení značně zvýšilo obsah živin (tab. 6.7).

Odběr N výnosem pšenice byl v půdě po kukuřici průkazně zvýšen hnojením, přesto však byl průkazně nižší, než v nehnojené čerstvé půdě. I v čerstvé půdě hnojení dále průkazně zvýšilo odběr N. Odběr P byl v půdě po kukuřici zvýšen hnojením na hodnotu, která se nelišila od odběru P v půdě čerstvé nehnojené. Hnojení v čerstvé půdě naopak vedlo k průkaznému poklesu odběru P ve srovnání s půdou čerstvou nehnojenou.

Odběr K a Mg byl průkazně vyšší v hnojené variantě ve srovnání s kontrolou v půdě po kukuřici. Výrazně vyšší hodnoty však byly zaznamenány v obou variantách v čerstvé půdě, které se vzájemně průkazně nelišily a zároveň dosahovaly průkazně vyššího odběru než obě varianty v půdě po kukuřici. Odběr Ca byl průkazně vyšší v obou variantách v čerstvé půdě než v půdě po kukuřici. Současně byl v obou půdách odběr Ca průkazně zvyšován hnojením. Přestože s rostoucím obsahem dusíku v zrna klesal obsah P, K a Mg, zvyšování výnosu vysokou dostupností N v čerstvé půdě a hnojením současně zvyšovalo odběr živin a odběr všech živin byl v korelaci s odběrem dusíku.

Bilance dusíku za dva roky pokusu byla u všech variant hnojení negativní (tab. 6.8). Nejnižší hodnoty byly zaznamenány v nehnojené kontrole, nejvyšší v půdě čerstvé hnojené.

Tab. 6.6 Odběr živin sklizní kukuřice (kg ha^{-1})

Varianty hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1. Kontrola	322,6±4,4a	28,6±0,7a	701,9±25,7a	55,4±2,0a	203,8±18,7a
2. NP	499,2±42,9b	30,5±7,9a	664,0±34,9a	65,3±3,2b	398,5±32,4b

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

Tab. 6.7 Odběr živin sklizní zrna a slámy pšenice (kg ha^{-1})

Varianty hnojení	N	P	K	Mg	Ca
1. Kontrola	33,3±3,0a	15,8±1,6a	54,0±4,1a	6,2±0,6a	5,2±0,5a
2. NP	98,3±16,0b	24,1±1,9bc	155,8±22,0b	15,2±3,2b	17,3±4,8b
3. Čerstvá nehnojená	240,0±19,4c	28,1±3,6b	311,4±32,4c	20,4±2,2c	55,4±6,5c
4. Čerstvá hnojená	305,7±18,2d	22,9±1,0c	330,9±21,0c	23,8±2,0c	115,2±3,3d

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

Tab. 6.8 Bilance dusíku během dvou let pokusu (kg ha^{-1})

Varianty hnojení	Vstupy 1. rok	Odběr 1. rok	Bilance 1. rok	Vstupy 2. rok	Odběr 2. rok	Bilance 2. rok	Bilance 2 roky
1. Kontrola	0	322,6	-322,6	0	33,3	-33,3	-355,8
2. NP	400	499,2	-99,2	0	98,3	-98,3	-197,5
3. Čerstvá nehnojená	-	-	-	0	240,0	-240,0	-240,0
4. Čerstvá hnojená	-	-	-	150	305,7	-155,7	-155,7

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

6.5 Obsah živin v půdě po sklizni pšenice

Obsah P byl na srovnatelné úrovni v nehnojené čerstvé půdě i v půdě po kukuřici a v obou půdách byl průkazně zvyšován hnojením na zhruba srovnatelnou úroveň. Obsah K byl průkazně nižší v nehnojené půdě po kukuřici, ostatní varianty se nelišily. I když rozdíly v obsahu P, K, Mg byly průkazné, nebyly příliš velké, přestože se jednotlivé varianty značně lišily vstupy a bilancí živin. Rozdíly v obsahu Mg byly neprůkazné. Obsah Ca byl průkazně vyšší v nehnojené i hnojené čerstvé půdě než v půdě po kukuřici.

Tab. 6.9 Obsah živin (Mehlich 3) a pH v půdě po sklizni pšenice (mg kg^{-1})

Varianta hnojení	pH	P	K	Mg	Ca
1. Kontrola	7,5	79,2a	295,1a	372,5a	5014,3a
2. NP	7,4	86,3b	263,3b	363,0a	5112,0a
3. Čerstvá nehnojená	7,5	74,9a	308,8a	372,5a	6029,3b
4. Čerstvá hnojená	7,5	88,1b	309,0a	370,5a	6069,5b

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

6.6 Mikrobiologické vlastnosti půdy po sklizni pšenice

Obsah C_{bio} byl průkazně vyšší v kontrole ve srovnání s půdou čerstvou hnojenou. Ostatní rozdíly byly neprůkazné. Také obsah N_{bio} byl nejvyšší v nehnojené kontrole a nejnižší v půdě čerstvé hnojené, která měla obsah N_{bio} průkazně nižší než zbývající varianty.

Opačný trend ve srovnání s C a N v biomase měl obsah extrahovatelného C a N. Obsah extrahovatelného C byl průkazně vyšší v obou variantách v půdě čerstvé než v obou variantách v půdě po kukuřici. Obsah N_{ext} byl průkazně vyšší v půdě čerstvé hnojené než v kontrole, ostatní varianty se průkazně nelišily.

Hodnoty bazální respirace (RB) se lišily mezi variantami ($p < 0,05$; Anova), ačkoliv Tukeyho test mezi nimi nenalezl signifikantní rozdíly. Vyšší hodnoty v případě kontroly (p -hodnoty pro porovnání s ostatními zásahy jsou v intervalu 0,05 – 0,1) pravděpodobně souvisí s vyšší C_{bio} . Substrátem indukovaná respirace (RS) rozdíly mezi variantami neukázala. Hodnota RB/RS byla průkazně vyšší a hodnota RS/C_{bio} naopak průkazně nižší v nehnojené kontrole ve srovnání s ostatními variantami. Parametry rychlosti růstu (μ a t_{peakmax}) se průkazně nelišily mezi variantami.

Uvedené výsledky ukazují, že z hlediska mikrobiální biomasy působí jako pozitivní faktor posklizňové zbytky pěstovaných plodin. Více posklizňových zbytků lze předpokládat v půdě po kukuřici, která byla obohacena nejen biomasou kořenů pšenice, ale i zbytky kořenů kukuřice z předchozího roku. Organická hmota rostlinného původu slouží jednak jako substrát pro půdní mikroorganismy, jednak se podílí se na tvorbě půdní struktury. První hypotézu podporuje nejvyšší obsah C_{bio} v kontrolní půdě, druhou vyšší maximální vodní kapacita v půdách, na kterých byla první rok pěstována kukuřice. Kukuřice dosahovala značného výnosu a značně velká byla i biomasa kořenů.

V obou čerstvých půdách byla zaznamenána vyšší koncentrace C_{ext} , který představuje labilní frakci půdní organické hmoty, snadno využitelnou půdními mikroorganismy. Jedná se např. o

nízkomolekulární organické sloučeniny obsažené v kořenových exsudátech. Jejich vysoká koncentrace v obou čerstvých půdách je pravděpodobně výsledkem vyššího výnosu pšenice. V půdách s vyšší nadzemní biomasou rostlin lze očekávat i větší rozvoj kořenového systému, což pravděpodobně vedlo k vyšším hodnotám C_{ext} . V půdách po kukuřici byl výnos pšenice menší a kořeny kukuřice z předchozího roku byly pravděpodobně horším zdrojem C_{ext} vzhledem k vyčerpání lehce rozpustného C v průběhu jejich rozkladu.

Vyšší dostupnost extrahovatelného C z kořenů pšenice se odráží ve vyšším poměru RS/C_{bio} v hnojené půdě po kukuřici a v čerstvých půdách, protože poměr RS/C_{bio} je indikátorem aktivní frakce půdní mikrobiální biomasy. Je známo, že mikroorganismy rostoucí za podmínek vyšší, a v průběhu sezóny variabilní, koncentrace snadno využitelného substrátu ho využívají relativně neefektivně. Významná část C bývá respirována v poměru k C zabudovanému do mikrobiální biomasy. Uvedený mechanismus dobře vysvětluje nízký obsah C_{bio} v půdách čerstvých hnojených v porovnání s kontrolou, ačkoliv koncentrace C_{ext} by naznačovala opak. Hmota kořenů však mohla být zvýšenou dostupností dusíku naopak omezena. Hnojení zvyšuje růst kořenů jenom do určité míry a často se uvádí, že příliš vysoký obsah N v půdě urychluje růst sklizených produktů na úkor podzemních vstupů. Proto je možné, že i přes vyšší aktuální obsah C_{ext} byl celkový vstup C do půdy menší ve více hnojené půdě po kukuřici i čerstvě hnojené a výsledkem je aktivnější ale menší mikrobiální biomasa. O nižším celkovém vstupu C do půdy svědčí i nižší WHC v čerstvě hnojené půdě. Zdrojem C_{ext} může být i rozkládající se biomasa mrtvých mikrobiálních buněk po rychlé, ale krátkodobé reakci mikrobiálního společenstva na vstup lehce rozpustného substrátu.

Tab. 6.10 Maximální vodní kapacita (WHC), obsah C a N v mikrobiální biomase (C_{bio} a N_{bio}) a obsah extrahovatelného C a N (C_{ext} a N_{ext}) v půdě po sklizni pšenice ($mg\ kg^{-1}$)

Varianta hnojení	WHC	C_{bio}	N_{bio}	C_{ext}	N_{ext}
1. Kontrola	55,3a	334a	71,2a	78,9a	35,1a
2. NP	56,2a	300ab	52,4a	86,6a	47,2ab
3. Čerstvá nehnojená	54,3ab	282ab	51,7a	111,4b	51,2ab
4. Čerstvá hnojená	51,4b	275b	16,3b	112,2b	94,6b

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

Tab. 6.11 Respirace, parametry růstových křivek a poměr respirace k biomase v půdě po sklizni kukuřice

Varianta hnojení	RB	RS	μ	$t_{peakmax}$	RB/RS	RS/ C_{bio}
1. Kontrola	1,7a	15,9a	0,212a	24,3a	0,110a	47,5a
2. NP	1,3a	19,2a	0,179a	25,5a	0,070b	65,0b
3. Čerstvá nehnojená	1,4a	17,1a	0,234a	23,3a	0,080b	61,2b
4. Čerstvá hnojená	1,4a	18,0a	0,225a	23,1a	0,077b	65,7b

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

7. Souhrn výsledků

Výnos a odběr živin výnosem: rostoucí úroveň hnojení zvyšovala jen málo výnos kukuřice. Výnos pšenice byl v půdě po kukuřici hnojením zvyšován. Vyšší výnos byl zaznamenán v půdě čerstvé, kde další hnojení nemělo na výnos vliv. Nicméně, s rostoucí úrovní N se zvyšoval odběr N i dalších živin výnosem pšenice i kukuřice.

Půdní vlastnosti: obsah základních živin byl podobný ve všech variantách. V půdě čerstvé byl pouze vyšší obsah Ca. Půdy se výrazně lišily obsahem extrahovatelného N, který byl vyšší v čerstvé půdě než v půdě po kukuřici a byl zvyšován hnojením.

Mikrobiologické vlastnosti půdy: v rozporu s hypotézou byly nejvyšší hodnoty biomasy zaznamenány v nehnojené půdě. Na hodnotách C_{bio} se pozitivně projevil vstup organické hmoty v podobě kořenů pěstovaných plodin. Hnojení v konečném důsledku omezilo buď vstupy C v podobě kořenů nebo vedlo k produkci lehce rozpustných organických látek, které jsou půdními mikroorganismy využívány s menší efektivitou a mikrobiální biomasa v hnojených půdách byla proto nižší.

8. Závěr

Mikrobiální biomasa a respirace dosahovaly nejvyšších hodnot v nehnojené půdě po kukuřici, ve které byl zaznamenán největší úbytek dusíku sklizní. Hypotéza, že biologická aktivita je vyšší v půdě s vyšší hodnotou bilance dusíku se tak nepotvrdila a mikrobiální biomasa byla pravděpodobně zvyšována především vstupy organické hmoty v podobě kořenů kukuřice.

Naopak, v hnojených půdách byl zaznamenán spíše pokles ve srovnání s půdami nehnojenými. Příčinou by mohla být nižší efektivita využití snadno rozložitelné organické hmoty v půdě s vyšší dostupností dusíku nebo naopak omezení růstu kořenů příliš vysokou dostupností dusíku. Ve srovnání s kontrolou však byl u ostatních variant vyšší podíl aktivní biomasy, který mohl být způsoben lepší rozložitelností biomasy kořenů ve více hnojené půdě.

Z výsledků vyplývá, že hnojení dusíkem ovlivňuje nejen výnos a kvalitu pěstovaných plodin, ale může výrazně působit i na množství a aktivitu živých organismů v půdě. Příliš vysoká dostupnost dusíku může rozvoj půdních organismů různými cestami omezovat. Proto je stanovení optimální dávky dusíku důležité i pro podporu půdní biologické aktivity.

9. Použitá literatura

- Zbírál, J., Čižmárová, E., Dočkalová, R., Fojtlová, E., Hájková, H., Holcová, H., Kabátová, N., Niedobová, E., Rychlý, M., Staňková, K., Urbánková, E., Vilamová, V., Žalmanová, A., 2014. Jednotné pracovní postupy – analýza rostlinného materiálu. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 120 s.
- Zbírál, J., Čižmárová, E., Obdržálková, E., Rychlý, M., Vilamová, V., Srnková, J., Žalmanová, A., 2016. Jednotné pracovní postupy – analýza půd I. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský.
- Zbírál, J., Tieffová, P., Plhalová, Š., Urbánková, E., Niedobová, E., Strížová, I., Srnková, J., 2011. Jednotné pracovní postupy – analýza půd II. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 230 s.
- Zbírál, J., Malý, S., Váňa, M., Čuhel, J., Fojtlová, E., Čižmár, D., Žalmanová, A., Srnková, J., Obdržálková, E., 2011. Jednotné pracovní postupy – analýza půd III. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 253 s.