

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



Porovnání různých dávek hnojiva Rošťák

Závěrečná zpráva o výsledcích vegetační nádobové zkoušky za roky 2011-2015

Zpracoval: Ing. Jaroslav Hynšt, Ph.D.
Markéta Vodáková
Ing. Pavel Němec
Ing. Lenka Prášková, Ph.D.

Schválil: Ing. Michaela Smatanová, Ph.D.
Vedoucí oddělení výživy rostlin

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

Obsah	strana
1 ÚVOD	2
2 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA POPELA.....	2
3 ORGANICKÉ A ANORGANICKÉ POLUTANTY POPELA	3
3.1 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)	3
3.2 Rizikové prvky.....	4
2 MATERIÁL A METODY	5
2.1 Půdní podmínky	5
2.2 Rozsah a způsob použití popela Rošťák	6
2.3 Chemické složení popela Rošťák.....	6
2.4 Aplikace základních živin a ověřovaného hnojiva	7
2. Technika provedení zkoušky	10
2.6 Hodnocené parametry	11
3 VÝSLEDKY	12
3.1 Výnosy vybraných plodin v letech 2011 - 2013	12
3.2 Výnos svazenky v roce 2014	14
3.3 Výnosy kozlíčku v roce 2015	15
3.4 Zhodnocení obsahu PAH v rostlinách	15
3.5 Výpočet toxického ekvivalentu PAH v rostlinách.....	18
3.6 Zhodnocení obsahu PAH v půdě	19
3.7 Výpočet toxického ekvivalentu PAH v půdě.....	23
3.8 Srovnání mezi množstvím PAH dodaného hnojivem a výsledným obsahem v půdě	24
4 ZÁVĚR	25
5 POUŽITÁ LITERATURA	27

1 ÚVOD

Využití popela vzniklého spalováním biomasy ke hnojení je jednou z možností recyklace živin v agroekosystému. Popel může být zdrojem využitelných živin, ale jeho aplikace je spojena s řadou rizik. Limitujícím faktorem aplikace popela je obsah toxických látek, zejména rizikových prvků a polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH), které vznikají při nedokonalém spalování organických látek.

Chemické složení popela samo o sobě nemusí poskytovat dostatečnou informaci o jeho využitelnosti ke hnojení. Aby byla zajištěna bezpečná aplikace a efektivní využití živin obsažených v popelu, bylo prováděno testování s cílem zjistit a odpovídajícím způsobem hodnotit přínosy a rizika hnojení popelem a zjistit rozsah, v jakém může být tento materiál do půdy aplikován. Nezbytnou součástí testování těchto materiálů je nejen sledování vlivu na výnos, ale také zjišťování výskytu všech nežádoucích látek v půdě a v pěstovaných plodinách.

2 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA POPELA

Popel vzniká jako produkt spalování organické hmoty za vzniku CO_2 a minerálního podílu. V principu lze spalovat všechny organické materiály, ale popel použitelný ke hnojení je zpravidla získáván spalováním rostlinné biomasy. Výchozími surovinami pro spalování jsou především dřevo a sláma. Všechna registrovaná hnojiva v ČR obsahující popel jsou vyrobena z produktů ze spalování slámy nebo dřeva.

Celkový obsah popelovin (minerálních látek) v rostlinné biomase je řádově několik procent, většinou kolem 5%. V případě rostlinné hmoty jsou hlavní složkou popela především K a Ca v podobě oxidů a karbonátů. V menší míře je zastoupen P a Mg. Dusík při spalování biomasy rostlin odchází ve formě emisí oxidů dusíku, a proto je jeho obsah většinou nízký. Živiny jsou přítomny v rozpustné i nerozpustné formě. Obsah živin v popelu je velmi variabilní. Z dostupných literárních zdrojů (Ochecová 2015), z informací výrobců a z výsledků analýz popela provedených ÚKZÚZ vyplývá, že aplikací popela v rozsahu dávek 0,5 - 1 t/ha je do půdy dodán především K a Ca v množství 5 - 200 kg K_2O , 12 - 150 kg CaO. V menší míře může být popel také zdrojem P a Mg, a to v množství 4 - 50 kg P_2O_5 a 4 - 30 kg MgO. Vysoká koncentrace kationtů je spojena s vysokou hodnotou pH, které je v rozmezí 10 - 12.

Vzhledem k tomu, že spalování neprobíhá téměř nikdy úplně dokonale, je součástí hmoty popela také spalitelná organická hmota v rozsahu koncentrací 2 - 10%. Některá hnojiva na bázi popela jsou tak klasifikována jako organominerální. Spalitelný podíl tvoří nespálené zbytky výchozí biomasy v různé míře přetvořené pyrolýzou v pyrogenní organickou hmotu (Knicker, 2007). Tato pyrogenní organická hmota má řadu vlastností, které mohou mít značný dopad na agrochemické vlastnosti půdy. Proto je jako zdroj organické hmoty v poslední době často diskutován čistý produkt pyrolýzy organických materiálů, který je nazýván biouhli (biochar). Při spalování za přítomnosti vzduchu probíhá pyrolýza jen omezeně a proto tvoří pyrogenní organická hmota jen malou část hmoty popela. Naopak, biouhli je produkováno zahříváním bez přítomnosti kyslíku, většinu materiálu tvoří produkty pyrolýzy a popel vzniká v omezené míře. Nicméně, při využití popela ke hnojení je vstup organické složky popela do půdy poměrně zanedbatelný, vzhledem k omezenému množství popela, které může být do půdy bezpečně aplikováno.

3 ORGANICKÉ A ANORGANICKÉ POLUTANTY POPELA

3.1 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH)

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) jsou sloučeniny složené z uhlovodíkových cyklů bez heterogenních atomů a substituentů. Vyskytují se především jako produkt nedokonalého spalování uhlíkatých paliv. Straka a Havelcová (2012) uvádějí vyšší výskyt PAH v popelech, ve kterých obsah spalitelné sušiny převyšuje 6%. Tento jev vysvětlují sorpcí PAH v pórovité struktuře nespálené organické hmoty. To odpovídá i výsledkům měření ÚKZÚZ, ve kterých byly zvýšené obsahy PAH zjištěny právě ve vzorcích se spalitelnou sušinou 8 - 9 %.

PAH se řadí mezi perzistentní organické polutanty (POPs). Doba setrvání jednotlivých PAH v prostředí se může výrazně lišit. Mnohé se v půdě samovolně rozkládají během několika roků (naftalen, antracen), jiné, jako je např. BAP benzo(a)pyren, jsou v půdě relativně špatně rozložitelné, a to navzdory procesům degradace (mikrobiální činnost, fotolýza, hydrolýza atd.). Pohyblivost PAH v půdě je významně ovlivňována jejich sorpcí na organickou hmotu. Lehčí PAH se mohou vypařovat, PAH s větším počtem aromatických jader jsou ve větší míře sorbovány. PAH v půdě mohou být také odbourávány biologicky a biologický rozklad může významně snižovat jejich koncentraci v půdě (Alexander, 1999).

Vstup PAH do půdy může zvýšit jeho obsah v půdě, který je hodnocen podle vyhlášky č. 153/2016 Sb, o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., platné od 1.6.2016, kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. Tato nová vyhláška udává preventivní hodnotu 1 mg/kg pro sumu 12 individuálních PAH. Preventivní hodnota představuje horní hranici obsahů rizikové látky v půdě. Zpráva ÚKZÚZ z roku 2015 uvádí koncentrace PAH v orných zemědělských půdách v rozsahu hodnot mediánu 501 - 967 µg/kg (Poláková a kol., 2015).

Organické polutanty obsažené v půdě mohou několika způsoby vstupovat do rostlin. HOLOUBEK (2005) specifikuje příjem PAH vegetací následnými procesy:

- z půdního roztoku kořenem (závisí na vodním režimu rostliny a obsahu lipidických složek v kořenu, umožňujících snadnější sorpci do vnitřních pletiv),
- adsorpcí PAH na povrch kořene
- foliární příjem látek odpařených z půdního povrchu
- adsorpcí PAH na listovou plochu
- některé PAH jsou syntetizovány přímo rostlinami

Výskyt PAH v rostlinách může představuje určité riziko pro zdraví při konzumaci rostlinných produktů se zvýšeným obsahem těchto uhlovodíků. PAH přítomné v potravinách zpravidla nevyvolávají bezprostřední akutní reakci, ale nebezpečné jsou především jejich mutagenní a teratogenní účinky, které se mohou projevit až po delší době expozice, nebo delší čas po vstupu do organismu. Hodnocení obsahu PAH ve vzorcích plodin je vzhledem k hygienickým normám problematické, a to z důvodu absence limitních hodnot pro většinu PAH v českých právních předpisech. K nejnebezpečnějším PAH patří benzo(a)pyren, jehož koncentrace v přímo konzumovaných potravinách by podle nařízení 208/2005/ES neměla překročit hodnotu 2 mg/kg. V rámci EU byl zaveden limit pro obsah benzo(a)pyrenu v některých potravinách (nařízení 208/2005/ES).

Při hodnocení sumárních koncentrací skupiny látek vzhledem k rozdílným úrovním toxicity jednotlivých sloučenin byl zaveden princip tzv. ekvivalentů toxicity, který přiřazuje toxický ekvivalent jednotlivým sloučeninám. Toxické ekvivalenty byly odvozeny od humanotoxikologických studií, zohledňujících karcinogenní riziko. Sčítáním součinů těchto ekvivalentů v oblasti zátěže jednotlivých PAH je získána výsledná sumární hodnota. Nejtoxičtějšími PAH (toxický ekvivalent=1) jsou benzo(a)pyren (BAP) a dibenzo(a,h)antracen (DBA). Toxicita směsi se pak vyjadřuje jako suma toxických ekvivalentových faktorů (suma TEF), detailně popsáno v kap.3.6.

3.2 Rizikové prvky

Minerální podíl se po spálení organických látek stává podstatnou částí hmoty popela a kromě základních minerálních živin obsahuje celou řadu stopových prvků. Některé z nich patří mezi důležité mikrobiogenní prvky, nezbytné pro rostliny, především Cu, Zn, Mo. Jiné stopové prvky se řadí mezi rizikové prvky, ke kterým patří Cd, Hg, As, Ni, Pb, Cr. Ale i zmíněné mikrobiogenní prvky, jinak nezbytné pro život, jsou ve vysoké koncentraci toxické. Koncentrace rizikových prvků může být dále zvyšována i kontaminací výchozích materiálů. Aby vstupy toxických látek nepřispívaly k jejich škodlivé kumulaci v půdě, je aplikované množství popela zpravidla omezeno na 0,5 - 1 t/ha za rok a podle vyhlášky č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv může být aplikováno v množství 2 t za 3 roky.

Významným potenciálním zdrojem PAH a rizikových prvků jsou také čistírenské kaly, proto by popel a kaly neměly být aplikovány v jednom roce a jejich současná aplikace je přímo zakázána vyhláškou 377/2013 o skladování a způsobu použití hnojiv. Kromě přítomnosti toxických látek může mít negativní vliv také vysoká hodnota pH popela, která může působit fytotoxicky.

2 MATERIÁL A METODY

Účel zkoušky: posoudit přínosy popela Rošťák z hlediska zvýšení výnosu dodanými živinami a současně ověřit do jaké míry se případný vstup PAH a těžkých kovů může projevit na zátěži půdy a pěstovaných rostlinách.

Druh zkoušky: vegetační nádobová zkouška byla založena na jaře 2011 jako postregistrační ve vegetační hale ÚKZÚZ v Brně.

Trvání zkoušky: vegetační roky 2011 - 2015

Kombinace hnojení:

1. Kontrola
2. Rošťák 1 t/ha
3. Rošťák 2 t/ha
4. Rošťák 5 t/ha

Aplikace těchto dávek byla přepočítána na plochu vegetačních nádob.

Zkoušené plodiny: vliv hnojiva byl testován na plodinách pěstovaných ve čtyřech osevních sledech - A, B, C a D v každém pokusném roce. Tabulka uvádí i počet opakování, tj. počet vegetačních nádob každé kombinaci hnojení.

osevní sled	počet opakování	rok 2011	rok 2012	rok 2013	rok 2014	rok 2015
A	12	Paprika roční odr. Amy	Řepka jarní odr. Blanice	Paprika roční odr. Amy F1	Svazanka vratičolistá odr. Vega	Kozlíček polníček Odr. Larged Leaved
B	10	Mrkev setá odr. Vanda	Ječmen jarní odr. Sladar	Ječmen jarní odr. Sladar		
C	8	Ječmen jarní odr. Sebastian	Pšenice jarní odr. Tercie	Pšenice jarní odr. Tercie		
D	8	Salát hlávkový odr. Maršálus, Kozlíček polníček	Kozlíček polníček odr. Larged Leaved	Kozlíček polníček odr. Larged Leaved		

Rozsah zkoušky: 152 nádob

2.1 Půdní podmínky

K založení zkoušky byla použita ručně odebraná svrchní vrstva ornice z lokality Stará Pošta u Rajhradu

Tab.2.1: Základní agrochemické vlastnosti - stav půdy před založením zkoušky

Půdní reakce (pH/CaCl ₂)	Obsah živin ve výluhu Mehlich III (mg/kg) a kritéria hodnocení			
	P	K	Mg	Ca
7,4	11	130	346	5030
neutrální	nízký	vyhovující	velmi vysoký	velmi vysoký

2.2 Rozsah a způsob použití popela Rošťák

ROŠŤÁK je hnojivo na bázi rostlinného popela, má charakter organominerálního draselno-vápenatého hnojiva. Je ve formě sypkého hygroskopického prášku charakteristické barvy s případnou příměsí karbonizované biomasy. Kromě významného množství draslíku a vápníku obsahuje též menší množství hořčíku a fosforu a zbytky dusíku. Hnojivo se získává z podroštového popela ze spalování biomasy a z popílku zachyceného při spalování biomasy ve filtrech.

Hnojivo vyrobené na bázi rostlinného popela umožňuje návrat rostlinných živin obsažených v energeticky využívané biomase zpět do půdy. Hnojivo se používá na pozvolnější úpravu půdní reakce a k zlepšení fyzikálně chemických vlastností půdy. Část obsahu draslíku, asi 50 %, je pomalu rozpustná. Přítomnost částečně zkarbonizované rostlinné hmoty zvyšuje agronomickou účinnost hnojiva.

2.3 Chemické složení popela Rošťák

Chemické složení hnojiva ROŠŤÁK (hnojivo na bázi rostlinného popela)

Výrobce: Energetické centrum s.r.o., Otín č.p. 3, 37701 Jindřichův Hradec

Chemické a fyzikální vlastnosti:

Vlastnost	Hodnota ve vysušeném vzorku
Vlhkost v %	max. 25,0
Spalitelné látky v % ¹⁾	max. 20,0
Celkový draslík jako K ₂ O v % ¹⁾	min. 10,0
Vápník jako CaO v % ¹⁾	min. 5,0
Obsah částic pod 0,5 mm ¹⁾	min. 30,0
Obsah částic nad 5 mm ¹⁾	max. 30,0
Hodnota pH	9,5 až 11,5

1) hodnota uvedená v sušině

Obsah těžkých kovů v hnojivu podle nového návrhu vyhlášky 474/2000 Sb. **splňuje** zákonem stanovené limity v mg.kg⁻¹ sušiny popela ze samostatného spalování biomasy u Cd (5), Pb (50), Hg (0,5), Cr (50).

Obsah sumy 12 PAH (suma antracenu, benzo(a)antracenu, benzo(b)fluoranthenu, benzo(k)fluoranthenu, benzo(a)pyrenu, benzo(ghi)perylenu, fenantrenu, fluoranthenu, chryseny, indeno (1,2,3-cd)pyrenu, naftalenu a pyrenu) **byl překročen** o **173,5** mg/kg. Limitní hodnota v době založení pokusu byla stanovena na 100 mg/kg. V současnosti je v platných právních předpisech hodnota 20 mg/kg.

Tab.2.2: Analýzy PAH v hnojivu Rošťák (µg/kg)

Analyt	Hodnota v sušině	Analyt	Hodnota v sušině
Sušina	92,5 %	Chrysen	5710
Naftalen	48400	Benzo(b)fluoranten	6680
Acenaftylen	36800	Benzo(k)fluoranten	2530
Acenaften	402	Benzo(a)pyren	9700
Fluorene	500	Dibenzo(ah)antracen	168
Fluorene	500	Benzo(ghi)perylen	15800
Fenantren	46800	Indeno(1,2,3-cd)pyren	6700
Antracen	6220	Σ dle vyhl. č. 13/1994 Sb.	179 920 µg/kg
Ffluoranten	59100	Σ zbývajících	419 579 µg/kg
Pyren	61900	Σ všech PAH	599 499 µg/kg
Benzo(a)pyren	3990	Σ dle návrhu vyhl. č. 474/2000 Sb.	273 530 µg/kg

Analýzy provedla NRL ÚKZÚZ Opava v červnu 2011.

2.4 Aplikace základních živin a ověřovaného hnojiva

Aplikace hnojiva Rošťák byla provedena před výsevem plodin v 1. a ve 3. pokusném roce. Ve 2. a 3. pokusném roce u pšenice a kozlíčku byly kombinace rozděleny, přičemž u poloviny se hnojivo Rošťák neaplikovalo a hodnotilo se jeho následné působení (kombinace 2, 3, 4). U druhé poloviny nádob (kombinace 2a, 3a, 4a) bylo použito hnojivo Rošťák opakovaně, čímž se uměle simulovala zátěž jeho každoroční aplikace. V roce 2014 nebyly nádoby hnojeny žádnými hnojivy. V roce 2015 byly pokusné nádoby hnojeny pouze základními živinami.

Tab.2.3: Množství draslíku aplikované ve formě hnojiva Rošťák v roce 2011

PLODINA	celková dávka K (kg/ha)	K ve formě KCl (kg/ha)	K ve formě hnojiva Rošťák (kg/ha)	hnojivo Rošťák celkem (kg/ha)
A. Paprika roční				
1. Kontrola	339	339	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	339	264	75	1000
3. Rošťák 2 t/ha	339	190	149	2000
4. Rošťák 5 t/ha	374	0	374	5000
B. Mrkev setá				
1. Kontrola	120	120	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	120	46	74	1000
3. Rošťák 2 t/ha	149	0	149	2000
4. Rošťák 5 t/ha	312	0	312	5000
C. Ječmen jarní				
1. Kontrola	240	240	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	240	166	74	1000
3. Rošťák 2 t/ha	240	91	149	2000
4. Rošťák 5 t/ha	312	0	312	5000
D. Polníček				
1. Kontrola	106	106	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	106	32	74	1000
3. Rošťák 2 t/ha	148	0	148	2000
4. Rošťák 5 t/ha	378	0	378	5000

Tab.2.4: Množství draslíku aplikované ve formě hnojiva Rošťák v roce 2012

PLODINA	celková dávka K (kg/ha)	K ve formě KCl (kg/ha)	K ve formě hnojiva Rošťák (kg/ha)	hnojivo Rošťák celkem (kg/ha)
A. Paprika roční				
1. Kontrola	172,7	169,4	0,0	0
2. Rošťák 1 t/ha	248,7	169,4	74,6	1000
3. Rošťák 2 t/ha	324,7	169,4	149,1	2000
4. Rošťák 5 t/ha	554,5	169,4	374,5	5000
B. Ječmen jarní				
1. Kontrola	240,0	240,0	0,0	0
2. Rošťák 1 t/ha	314,3	240,0	74,4	1000
3. Rošťák 2 t/ha	388,7	240,0	148,8	2000
4. Rošťák 5 t/ha	551,9	240,0	311,9	5000
C. Pšenice jarní				
1. Kontrola	240,0	240,0	0,0	0
2. Rošťák 1 t/ha	240,0	240,0	0,0	0
2a. Rošťák 1 t/ha	314,3	240,0	74,4	1000
3. Rošťák 2 t/ha	240,0	240,0	0,0	0
3a. Rošťák 2 t/ha	388,7	240,0	148,8	2000
4. Rošťák 5 t/ha	240,0	240,0	0,0	0
4a. Rošťák 5 t/ha	551,9	240,0	311,9	5000
D. Polníček				
1. Kontrola	105,8	105,8	0,0	0
2. Rošťák 1 t/ha	105,8	105,8	0,0	0
2a. Rošťák 1 t/ha	179,8	105,8	74,0	1000
3. Rošťák 2 t/ha	105,8	105,8	0,0	0
3a. Rošťák 2 t/ha	253,9	105,8	148,1	2000
4. Rošťák 5 t/ha	105,8	105,8	0,0	0
4a. Rošťák 5 t/ha	483,9	105,8	378,2	5000

Tab.2.5: Množství draslíku aplikované ve formě hnojiva Rošťák v roce 2013

PLODINA	celková dávka K (kg/ha)	K ve formě KCl (kg/ha)	K ve formě hnojiva Rošťák (kg/ha)	hnojivo Rošťák celkem (kg/ha)
A. Paprika roční				
1. Kontrola	345,5	338,9	0,0	0
2. Rošťák 1 t/ha	345,5	264,3	74,6	1000
3. Rošťák 2 t/ha	345,5	189,8	149,1	2000
4. Rošťák 5 t/ha	381,7	0,0	374,5	5000
B. Ječmen jarní				
1. Kontrola	240,0	240,0	0,0	0
2. Rošťák 1 t/ha	314,3	240,0	74,4	1000
3. Rošťák 2 t/ha	388,7	240,0	148,8	2000
4. Rošťák 5 t/ha	551,9	240,0	311,9	5000
C. Pšenice jarní				
1. Kontrola	240,0	240,0	0,0	0
2. Rošťák 1 t/ha	240,0	240,0	0,0	0
2a. Rošťák 1 t/ha	314,3	240,0	74,4	1000
3. Rošťák 2 t/ha	240,0	240,0	0,0	0
3a. Rošťák 2 t/ha	388,7	240,0	148,8	2000
4. Rošťák 5 t/ha	240,0	240,0	0,0	0
4a. Rošťák 5 t/ha	551,9	240,0	311,9	5000
D. Polníček				
1. Kontrola	105,8	105,8	0,0	0
2. Rošťák 1 t/ha	105,8	105,8	0,0	0
2a. Rošťák 1 t/ha	179,8	105,8	74,0	1000
3. Rošťák 2 t/ha	105,8	105,8	0,0	0
3a. Rošťák 2 t/ha	253,9	105,8	148,1	2000
4. Rošťák 5 t/ha	105,8	105,8	0,0	0
4a. Rošťák 5 t/ha	483,9	105,8	378,2	5000

2. Technika provedení zkoušky

Všechny operace v průběhu pěti pokusných let u všech plodin jsou detailně popsány v jednotlivých závěrečných zprávách. Tabulka 2.6. shrnuje základní úkony spojené s pokusem a použitými vegetačními nádobami.

Tab.2.6: Technika provedení zkoušky

Rok	Plodina	Objem nádob a navážka zeminy	Výsev	Počet rostlin v nádobě	Sklizeň - ukončení pokusu
2011	A. Paprika roční	Ø 25cm, 10 kg	18.2.	1	12.9.
	B. Mrkev setá	Ø 21cm, 5 kg	29.3.	1	25.8.
	C. Ječmen jarní	Ø 21cm, 5 kg	29.3.	22	15.7.
	D. Salát hlávkový Kozlíček polníček	Ø 20cm, 6 kg	29.3.	2	24.6.
	11.8.		12	19.10.	
2012	A. Řepka jarní	Ø 25cm, 10 kg	23.3.	15	11.7.
	B. Ječmen jarní	Ø 21cm, 5 kg	23.3.	21	13.7.
	C. Pšenice jarní	Ø 21cm, 5 kg	23.3.	21	16.7.
	D. Kozlíček polníček	Ø 20cm, 6 kg	28.3.	10	13.6.
2013	A. Paprika roční	Ø 25cm, 10 kg	20.2.	1	2.9.
	B. Ječmen jarní	Ø 21cm, 5 kg	11.4.	21	23.7.
	C. Pšenice jarní	Ø 21cm, 5 kg	11.4.	21	25.7.
	D. Kozlíček polníček	Ø 20cm, 6 kg	12.4.	10	17.6.
2014	A,B,C,D Svazanka vrtičolistá	10,5,5,6 kg	16.4.	8, 6	1.6.
2015	A,B,D Kozlíček polníček	10,5,6 kg	16.4.	8	19., 22. a 23.6.

Pro zkoušku byly použity plastové nádoby o ø 25 cm a 21cm a klasické Mitscherlichovy nádoby s náplní zeminy 6 kg (ø 20 cm). V roce 2015 byly nádoby ve sledu C. po pšenici zrušeny z provozních důvodů.

Vlhkost zeminy v nádobách byla udržována pravidelnou zálivkou demineralizovanou vodou na hodnotu 60 % maximální vodní kapacity. Voda byla upravena reverzní osmózou MID 50 K (Pharmapur řady Aqua Complet).

2.6 Hodnocené parametry

Veškeré analýzy byly prováděny v Národní referenční laboratoři ÚKZÚZ, která má osvědčení o akreditaci podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005 podle Jednotných pracovních postupů, které se vztahují k jednotlivým parametřům (Zbíral 2002, 2005; Zbíral a kol. 2003, 2004).

Analýza ověřovaného popela: celkový obsah rizikových prvků (v lučavce královské) a PAH byly stanovovány v hnojivu před založením zkoušky v roce 2011. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v kapitole 2.4 Chemické složení zkoušeného hnojiva.

Agrochemické vlastnosti půdy: po sklizni plodin byl odebrán průměrný vzorek z každé kombinace hnojení na stanovení PAH, a to v každém pokusném roce.

Hodnocení výnosů: ihned po sklizni byly zjištěny výnosy čerstvé hmoty z každé vegetační nádoby. Poté byly vzorky upraveny a volně usušeny ve skleníku. Zjištěna byla hmotnost vzorků v suchém stavu.

Analýzy rostlin: sušina, PAH

2.7 Statistické vyhodnocení výsledků

Rozdíly výnosů mezi variantami byly analyzovány s využitím jednocestné analýzy variance a Kruskal-Wallisova testu. Hranice významnosti pro zamítnutí nulové hypotézy byla 0,05. Analýza variance byla zpracována s využitím programu NCSS. Dále byly vypočítány parametry regresní rovnice pro závislost obsahu PAH v půdě na dávce hnojiva.

Vedení nádobové zkoušky a zpracování výsledků bylo prováděno v souladu s Metodickým pokynem č. 23/SZV Základní metodika přesných polních a nádobových zkoušek. Veškeré analýzy byly prováděny v akreditované laboratoři NRL ÚKZÚZ.

3 VÝSLEDKY

3.1 Výnosy vybraných plodin v letech 2011 - 2013

Tato závěrečná zpráva shrnuje nejdůležitější výsledky za čtyři pokusné roky. Detailní výsledky každého pokusného roku jsou uvedeny ve výročních zprávách. Odlišná písmena v tabulkách 3.1-3.5 vyznačují statisticky průkazné rozdíly, $p < 0,05$.

Tab.3.1: Výnos semene řepky ve sledu A v roce 2012

Kombinace hnojení	Hmotnost v suché hmotě		
	Průměrný výnos (g)	Pořadí výnosů	Relativní srovnání (%)
A. Řepka (Paprika v roce 2011)			
1.Kontrola	19,88 b	4	100
2.Rošťák 1t/ha	23,22 a	1	117
3.Rošťák 2t/ha	22,05 ab	2	111
4.Rošťák 5t/ha	20,98 b	3	106

Tab.3.2: Výnos zrna pšenice ve sledu C po opakované aplikaci hnojiva v roce 2012

Kombinace hnojení	Hmotnost v suché hmotě		
	Průměrný výnos (g)	Pořadí výnosů	Relativní srovnání (%)
C. Pšenice (Ječmen v roce 2011)			
1. Kontrola	24,40 a	4	100
2a.Rošťák 1t/ha	26,75 a	2	110
3a.Rošťák 2t/ha	27,85 a	1	114
4a.Rošťák 5t/ha	25,01 a	3	103

Tab.3.3: Výnos slámy pšenice ve sledu C po opakované aplikaci v roce 2012

Kombinace hnojení	Hmotnost v suché hmotě		
	Průměrný výnos (g)	Pořadí výnosů	Relativní srovnání (%)
C. Pšenice sláma (Ječmen v roce 2011)			
1. Kontrola	28,01 a	4	100
2a.Rošťák 1t/ha	29,65 a	3	106
3a.Rošťák 2t/ha	31,67 a	2	113
4a.Rošťák 5t/ha	32,83 a	1	117

V roce 2012 bylo hnojivo Rošťák aplikováno pouze u kombinací s opakovanou aplikací (2a, 3a, 4a). Bylo pozorováno statisticky průkazné zvýšení výnosu semene řepky o 17 a 11 % po aplikaci dávky 1 t/ha a 2 t/ha hnojiva (tab. 3.1) v předchozím roce. Nejvyšší dávka hnojiva (5 t/ha) neprůkazně zvyšovala výnos oproti kontrole (o 6 %), ale průkazně méně než dávka 1 t/ha. Výnos zrna pšenice byl zvýšen opakovanou dávkou 1t/ha a 2t/ha (tab. 3.2), ale rozdíl nebyl průkazný. Výnos slámy pšenice se zvyšovalo o 6 – 17 % v kombinacích s opakovanou aplikací hnojiva, kde bylo hnojivem Rošťák hnojeno před setím (tab. 3.3), ale rozdíly nebyly průkazné. V ostatních případech bylo hnojivo Rošťák aplikováno v předchozím roce a na výnos pšenice v roce 2012 nemělo vliv. Také u ječmene bylo hnojivem hnojeno v předchozím roce a rozdíly mezi kombinacemi byly malé. Hnojivo Rošťák, ať už aplikované před výsevem nebo v předchozím roce, mělo jen malý vliv na výnos kozlíčku (výsledky uvedeny ve zprávě za rok 2012).

Tab.3.4: Výnos zrna pšenice ve sledu C v roce 2013 (v závorce plodina roku 2012)

Kombinace hnojení	Hmotnost v suché hmotě		
	Průměrný výnos (g)	Pořadí výnosů	Relativní srovnání (%)
C. Pšenice (Pšenice)			
1. Kontrola	10,81 b	7	100
2. Rošťák 1 t/ha	15,88 ab	6	147
2a. Rošťák 1 t/ha	18,88 ab	4	175
3. Rošťák 2 t/ha	18,63 ab	5	172
3a. Rošťák 2 t/ha	21,39 ab	2	198
4. Rošťák 5 t/ha	20,71 ab	3	191
4a. Rošťák 5 t/ha	22,29 a	1	206

Tab.3.5: Výnos kozlíčku ve sledu C v roce 2013 (v závorce plodina roku 2012)

Kombinace hnojení	Hmotnost v suché hmotě		
	Průměrný výnos (g)	Pořadí výnosů	Relativní srovnání (%)
B. Kozlíček (Kozlíček)			
1. Kontrola	8,17 a	7	100
2. Rošťák 1 t/ha	9,90 a	2	121
2a. Rošťák 1 t/ha	10,13 a	1	124
3. Rošťák 2 t/ha	9,37 a	4	115
3a. Rošťák 2 t/ha	9,25 a	5	113
4. Rošťák 5 t/ha	8,81 a	6	108
4a. Rošťák 5 t/ha	9,65 a	3	118

V roce 2013 byla aplikována 2. dávka hnojiva Rošťák dle plánu pokusu. Výnos zrna pšenice (tab. 3.4) stoupal s rostoucí dávkou hnojiva a byl průkazně zvýšen opakovanou aplikací dávky 1 t/ha o 75%. Opakovaná aplikace dávky 2 t/ha a také jednorázová i opakovaná dávka 5 t/ha dále průkazně zvýšily výnos (celkem o 98 a 106 %) oproti kontrole a také oproti jednorázově aplikované dávce 1 t/ha (a to o 51 a 59 %). Také výnos slámy pšenice a zrna i slámy ječmene rostl s rostoucí dávkou hnojiva (výsledky uvedeny ve zprávě za rok 2013). Výnos kozlíčku byl neprůkazně zvýšen o 21 – 24 % jednorázovou i opakovanou aplikací hnojiva v dávce 1 t/ha, vyšší dávky hnojiva zvýšily výnos o 8 – 18 %, méně než aplikace dávky 1 t/ha (tab. 3.5).

3.2 Výnos svazenky v roce 2014

Tab.3.6: Výnos svazenky v jednotlivých sledech plodin (v závorce plodina roku 2013)

Kombinace hnojení	Hmotnost v suché hmotě		
	Průměrný výnos (g)	Pořadí výnosů	Relativní srovnání (%)
A. Svazenka (Paprika)			
1.Kontrola	28,13 a	2	100
2.Rošťák 1t/ha	20,59 b	4	73
3.Rošťák 2t/ha	33,38 a	1	119
4.Rošťák 5t/ha	26,88 a	3	96
B. Svazenka (Ječmen)			
1.Kontrola	12,01 b	2	100
2.Rošťák 1t/ha	11,13 b	3	93
3.Rošťák 2t/ha	13,22 a	1	110
4.Rošťák 5t/ha	10,91 b	4	91
C. Svazenka (Pšenice)			
1. Kontrola	29,66 a	1	100
2. Rošťák 1 t/ha	26,65 a	2	90
2a. Rošťák 1 t/ha	25,17 a	5	85
3. Rošťák 2 t/ha	25,37 a	4	86
3a. Rošťák 2 t/ha	22,80 a	6	77
4. Rošťák 5 t/ha	25,89 a	3	87
4a. Rošťák 5 t/ha	22,70 a	7	77
D. Svazenka (Kozlíček polníček)			
1. Kontrola	22,58 a	1	100
2. Rošťák 1 t/ha	20,78 ab	4	92
2a. Rošťák 1 t/ha	19,97 b	5	88
3. Rošťák 2 t/ha	21,45 ab	2	95
3a. Rošťák 2 t/ha	19,09 bc	6	85
4. Rošťák 5 t/ha	21,11 ab	3	93
4a. Rošťák 5 t/ha	17,55 c	7	78

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

Ve čtvrtém roce (2014) bylo hnojení vynecháno. Původní aplikace hnojiva Rošťák se pozitivně projevila na vyšším výnosu pěstované svazenky jen u dvou kombinací. Dávka 2 t/ha na půdě po paprice průkazně zvýšila výnos o 19 % a stejná dávka po ječmenu o 10 %. Naopak, dávka 1 t/ha ve sledu po paprice výnos průkazně snížila. Po pšenici a kozlíčku byl zaznamenán pokles hmotnosti svazenky s rostoucí dávkou hnojiva Rošťák (tab. 3.6). Snížení výnosu bylo průkazné u rostlin pěstovaných v půdě po kozlíčku a hnojených opakovanými dávkami hnojiva Rošťák. Ve sledu po pšenici byl vliv hnojiva neprůkazný.

3.3 Výnosy kozlíčku v roce 2015

Tab.3.7: Výnos kozlíčku ve sledech A, B, D

Kombinace hnojení	Hmotnost v suché hmotě		
	Průměrný výnos (g)	Pořadí výnosů	Relativní srovnání (%)
A. Kozlíček (Paprika v roce 2011)			
1.Kontrola	10,85 c	4	100
2.Rošťák 1t/ha	11,88 ab	2	109
3.Rošťák 2t/ha	11,17 bc	3	103
4.Rošťák 5t/ha	12,92 a	1	119
B. Kozlíček (Ječmen v roce 2011)			
1.Kontrola	7,68 c	4	100
2.Rošťák 1t/ha	8,97 b	3	117
3.Rošťák 2t/ha	9,68 ab	2	126
4.Rošťák 5t/ha	10,33 a	1	135
D. Kozlíček (Kozlíček polníček v roce 2011)			
1. Kontrola	7,57 c	7	100
2. Rošťák 1 t/ha	8,90 bc	5	118
2a. Rošťák 1 t/ha	9,88 ab	3	131
3. Rošťák 2 t/ha	8,35 b	6	110
3a. Rošťák 2 t/ha	9,40 ab	4	124
4. Rošťák 5 t/ha	10,17 ab	2	134
4a. Rošťák 5 t/ha	11,30 a	1	149

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

Vysvětlivky:

2., 3., 4. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu v dávkce 1, 2, 5 t/ha
2a., 3a., 4a. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák ve druhém **i ve třetím roce** pokusu v dávkce 1, 2, 5 t/ha

V posledním roce pokusu byly aplikovány základní živiny ve formě minerálních hnojiv, hnojivo Rošťák aplikováno nebylo. Byl zaznamenán rostoucí výnos biomasy polníčku s rostoucí dávkou hnojiva Rošťák (tab. 3.7). Ve sledu po paprice byl výnos průkazně vyšší (o 9 a 19 %) po aplikaci dávek 1 t/ha a 5 t/ha. Ve sledu po ječmeni bylo pozorováno průkazné zvýšení výnosu po aplikaci dávek 2 a 5 t/ha o 26 a 35 % ve srovnání s kontrolou. Ve sledu po polníčku byl výnos průkazně zvýšen opakovanými dávkami 1 a 5 t/ha hnojiva Rošťák (varianty 2a, 4a) o 31 a 49%.

3.4 Zhodnocení obsahu PAH v rostlinách

V roce 2014 byly u svazenky nejvyšší průměrné hodnoty sumy 16 PAH naměřeny u kontroly po kozlíčku (131 $\mu\text{g}/\text{kg}$), přičemž je nepatrný rozdíl mezi kombinacemi nehnojenými a hnojenými i ve třetím roce pokusu (tab. 3.7). Rozdíly mezi kombinacemi byly malé a nebyl zaznamenán prokazatelný vliv hnojení na obsah PAH.

V roce 2015 byly v rostlinách kozlíčku pěstovaných ve sledu A (po paprice) nejvyšší hodnoty zjištěny v kontrolní kombinaci (101 $\mu\text{g}/\text{kg}$) a po aplikaci nejvyšší dávky hnojiva (106 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Ve sledu plodin B (po ječmeni) obsah PAH v rostlinách mírně klesal s rostoucí dávkou hnojiva. Ve sledu plodin D nebyl zaznamenán jednoznačný trend.

Tab.3.8: Obsah PAH v suché hmotě rostlin svazanky 2014

Kombinace	PAH v sušině (µg/kg)																		
	ANA	AN	ANY	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	FLU	CHR	IPY	NAP	PHE	PYR	Σ16	Σ12	Σ7
Svazanka																			
1. Kontrola	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,0	14,3	8,9	2,0	5,0	2,5	27,6	9,8	93,1	70,7	50,9
2. Rošťák 1t/ha	2,5	1,0	10,0	4,4	3,6	3,5	1,0	2,5	1,5	14,9	10,7	4,4	5,0	2,5	27,6	10,1	105,2	80,5	58,4
3. Rošťák 2t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	4,5	1,5	2,0	2,5	1,5	14,6	10,9	2,0	5,0	2,5	27,3	10,4	100,2	75,3	53,9
4. Rošťák 5t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	3,1	3,1	1,0	2,5	1,5	14,6	11,8	2,0	5,0	2,5	28,6	9,8	101,0	75,2	53,8
Svazanka																			
1. Kontrola	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	15,6	6,9	2,0	5,0	2,5	31,9	11,5	98,9	78,0	56,5
2. Rošťák 1t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	16,2	9,0	2,0	5,0	2,5	32,6	10,4	101,2	78,2	57,8
3. Rošťák 2t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	12,4	4,8	2,0	5,0	6,8	24,8	8,6	87,9	69,1	50,5
4. Rošťák 5t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	4,53	1,5	1,0	2,5	1,5	14,9	4,9	2,0	5,0	10,7	27,1	9,9	101,0	82,1	62,2
Svazanka																			
1. Kontrola	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	12,4	4,9	2,0	5,0	15,4	26,9	8,6	98,6	79,8	61,2
2. Rošťák 1	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	13,9	4,4	2,0	5,0	14,1	28,4	8,6	99,9	81,5	62,9
2a. Rošťák 1 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	0,15	1,5	1,0	2,5	1,5	13,2	5,0	2,0	5,0	11,2	28,2	8,1	96,2	77,2	59,1
3. Rošťák 2 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	5,0	1,5	2,2	2,5	1,5	13	4,7	2,0	5,0	9,9	26,4	10,1	99,4	80,7	59,3
3a. Rošťák 2 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	3,4	1,5	1,0	2,5	1,5	12,5	4,3	2,0	5,0	12,2	25,6	8,7	95,6	77,3	58,7
4. Rošťák 5 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	12,9	6,3	2,0	5,0	11,7	26,4	9,2	97,0	76,7	57,5
4a. Rošťák 5 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	11,8	4,4	2,0	5,0	12,4	25,1	8,0	92,2	73,8	55,8
Svazanka																			
1. Kontrola	2,5	1,0	10,0	7,9	10	10,4	5,6	11,4	5,2	14	5,3	7,4	5,0	2,5	22,8	9,9	131,1	108,0	65,6
2. Rošťák 1 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	4,1	5,2	2,4	2,5	1,5	13,1	5,0	5,5	5,0	8,2	29,6	10,7	108,2	89,2	63,4
2a. Rošťák 1 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	13,5	5,2	4,0	5,0	9,2	28,6	9,3	98,3	79,1	59,8
3. Rošťák 2 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	3,1	3,1	1,0	2,5	1,5	13,8	5,0	5,0	5,0	8,7	32,1	10,3	106,7	87,7	65,7
3a. Rošťák 2 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	2,0	1,0	2,5	1,5	16,9	4,6	4,5	5,0	6,4	30,1	11,6	102,6	84,0	62,4
4. Rošťák 5 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	3,6	1,0	2,5	1,5	16,7	6,1	4,25	5,0	7,0	33,5	11,1	109,2	89,1	65,9
4a. Rošťák 5 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	3,1	2,0	1,0	2,5	1,5	15,0	7,8	4,6	5,0	5,4	27,3	10,2	100,5	78,7	58,5

Vysvětlivky:

2., 3., 4. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu v dávkách 1, 2, 5 t/ha

2a., 3a., 4a. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák ve druhém a ve třetím roce pokusu v dávkách 1, 2, 5 t/ha

ANT - anthracene, BaA - benzo(a)anthracene, BaP - benzo(a)pyrene, BbF - benzo(b)fluoranthene, BkF - benzo(k)fluoranthene, BPE - benzo(ghi)perylene, FLT - fluoranthene, FLU - fluorene, CHR - chrysene, NAP - naphthalene, PHE - phenanthrene, , PYR - pyrene, ANA - acenaphthene, ANY - acenaphthylene, DBA - dibenzo(ah)anthracene, IPY - indeno (1,2,3-cd)pyrene

Tab.3.9: Obsah PAH v suché hmotě rostlin kozlíčku v roce 2015

Kombinace	PAH v sušině (µg/kg)																		
	ANA	ANT	ANY	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	FLU	CHR	IPY	NAP	PHE	PYR	Σ16	Σ12	Σ7
Kozlíček																			
1. Kontrola	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	10,1	6,6	2,0	5,0	17,6	30,2	6,4	101,4	80,8	64,4
2. Rošťák 1t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	9,5	4,4	2,0	5,0	5,4	25,1	5,8	80,5	62,3	46,5
3. Rošťák 2t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	7,4	2,0	2,0	5,0	6,9	23,3	4,2	74,3	58,3	44,1
4. Rošťák 5t/ha	2,5	1,0	10,0	5,0	6,4	6,0	3,1	6,0	1,5	8,3	4,5	2,0	10,3	6,2	26,6	6,7	106,3	87,8	55,6
Kozlíček																			
1. Kontrola	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	8,8	5,8	2,0	5,0	11,8	35,3	6,6	98,8	79,0	62,4
2. Rošťák 1t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	8,7	5,2	2,0	5,0	8,5	33,7	5,5	92,2	73,0	57,5
3. Rošťák 2t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	7,3	2,0	2,0	5,0	10,1	31,1	4,5	85,5	69,5	55,0
4. Rošťák 5t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	7,6	5,8	2,0	5,0	9,9	27,0	5,5	86,4	66,6	51,0
Kozlíček																			
1. Kontrola	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	7,3	5,3	2,0	5,0	7,3	31,4	4,5	86,4	67,0	52,5
2. Rošťák 1 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	7,5	4,7	2,0	5,0	8,8	30,4	5,2	87,1	68,3	53,1
2a. Rošťák 1 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	8,7	5,7	2,0	5,0	2,5	34,6	7,1	89,1	69,4	52,3
3. Rošťák 2 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	8,9	5,1	2,0	5,0	6,0	37,0	6,0	93,4	74,3	58,4
3a. Rošťák 2 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	8,5	2,0	2,0	5,0	6,5	32,3	6,3	86,1	70,1	53,8
4. Rošťák 5 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	8,3	6,3	2,0	5,0	8,8	33,3	6,1	93,1	72,9	56,8
4a. Rošťák 5 t/ha	2,5	1,0	10,0	2,0	1,5	1,5	1,0	2,5	1,5	6,8	7,8	2,0	5,0	5,8	29,6	6,0	86,5	64,6	48,7

Vysvětlivky:

2., 3., 4. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu v dávce 1, 2, 5 t/ha

2a., 3a., 4a. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák ve druhém a ve třetím roce pokusu v dávce 1, 2, 5 t/ha

3.5 Výpočet toxického ekvivalentu PAH v rostlinách

Jako relativní měřítko toxického potenciálu látky byl zaveden faktor toxického ekvivalentu (Toxicity Equivalent Factor, TEF), který vztahuje relativní potenci látky na referenční hodnotu, kterou je toxický potenciál BAP jehož TEF je roven 1 (tab. 3.10), (Nisbet et LaCoy, 1992; Larsen et Larsen, 1998).

Celkový toxický ekvivalent směsi PAH se vyjadřuje pomocí hodnoty TTEC (Total Toxicity Equivalent Concentration) (Nielsen 1996). TTEC je vypočítán jako suma součinu koncentrací jednotlivých složek směsi a příslušného TEF. Lze tedy predikovat, která z látek ve směsi se na celkové karcinogenitě podílí významně a které jsou zanedbatelné.

Tab.3.10: Vybrané deriváty PAH, faktor toxického ekvivalentu TEF

Analyt	ANT	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	CHR	IPY	PHE	PYR
TEF	0,01	0,1	1	0,1	0,1	0,01	1	0,001	0,01	0,1	0,001	0,001

Tab.3.11: Vybrané PAH, výpočet sumy TTEC v rostlinách (svazenka) v roce 2014

Pokusné plodiny	Suma TTEC ($\mu\text{g}/\text{kg}$)						
	1.Kontrola	2.R 1	2a.R 1	3.R 2	3a.R 2	4.R 5	4a.R 5
A	3,557	6,658	-	7,157	-	5,844	-
B	4,064	4,064	-	4,051	-	7,087	-
C	4,053	4,056	4,055	7,690	5,932	4,053	4,050
D	18,396	7,175	4,077	5,824	4,089	4,294	5,714

Vysvětlivky:

2.R1, 3.R2, 4.R5 ... 2., 3., 4.Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha - aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu

2a.R1, 3a.R2, 4a.R5 ... 2a., 3a., 4a.Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha - aplikace hnojiva Rošťák **ve druhém i ve třetím roce** pokusu

Tab.3.12: Vybrané PAH, výpočet sumy TTEC v rostlinách (kozlíček) v roce 2015

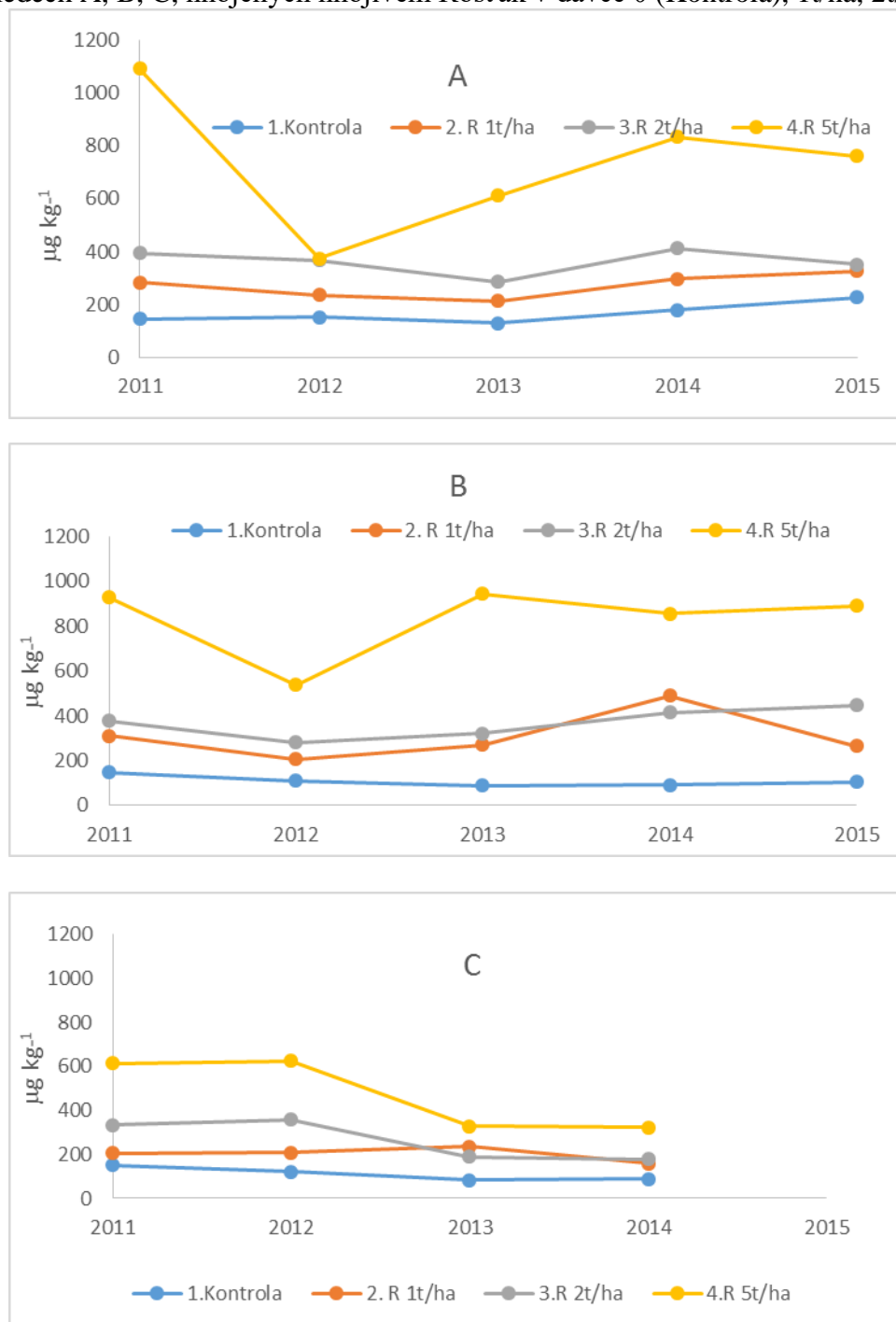
Pokusné plodiny	Suma TTEC ($\mu\text{g}/\text{kg}$)						
	1.Kontrola	2.R 1	2a.R 1	3.R 2	3a.R 2	4.R 5	4a.R 5
A	4,052	4,045	-	4,040	-	10,479	-
B	4,056	4,053	-	4,048	-	4,045	-
C	-	-	-	-	-	-	-
D	4,048	4,048	4,055	4,057	4,052	4,053	4,047

Suma TTEC (tab.3.11; 3.12) byla vypočítána za pomoci toxického ekvivalentu TEF (tab 3.10) a hodnot jednotlivých PAH (tab. 3.8). V roce 2014 se suma TTEC pohybovala v rozmezí 3,557 - 7,690 $\mu\text{g}/\text{kg}$. U kontroly na sledu D byla zaznamenána hodnota 18,396 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Nebyl zaznamenán konzistentní vliv hnojení na obsah PAH v rostlinách, ani vztah mezi PAH v půdě a v rostlinných produktech.

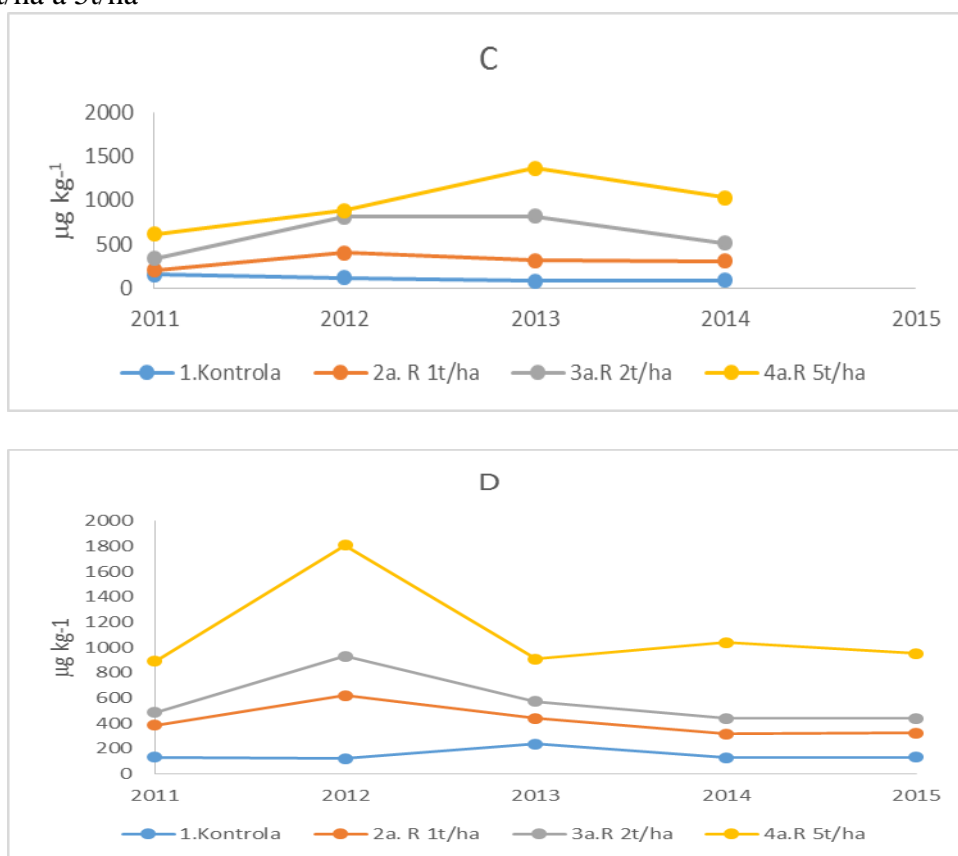
3.6 Zhodnocení obsahu PAH v půdě

Obsah PAH v půdě se zvyšoval s rostoucí dávkou hnojiva (Obr. 1, 2). Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány v půdě po opakované aplikaci. Po 1. aplikaci v roce 2011 byla mezi dávkou hnojiva a součtem obsahu 12 PAH nalezena lineární závislost, ze které vyplývá, že aplikace 1 t/ha hnojiva odpovídá zvýšení obsahu 12 PAH v půdě o 93 - 194 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Vliv opakované aplikace a změny koncentrace během sledovaného období nebyly úplně jednoznačné. U některých kombinací byl v průběhu sledovaného období zaznamenán pokles obsahu PAH (Obr. 1, 2).

Obr. 1: Změny obsahu PAH v půdě v průběhu zkoušky, vyjádřené jako součet 12 PAH, ve sledech A, B, C, hnojených hnojivem Rošťák v dávkce 0 (Kontrola), 1t/ha, 2t/ha a 5t/ha



Obr. 2: Změny obsahu PAH v půdě v průběhu zkoušky, vyjádřené jako součet PAH 12, ve sledech C a D, hnojených hnojivem Rošťák každoročně v dávce 0 (Kontrola), 1t/ha, 2t/ha a 5t/ha



Tab. 3.13: Zhodnocení obsahu PAH v půdě - rok 2014

Kombinace	PAH v sušině (µg/kg)																		
	ANA	ANT	ANY	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	FLU	CHR	IPY	NAP	PHE	PYR	Σ16	Σ12	Σ7
Po svazence, paprice																			
1.Kontrola	2,5	1,0	10,0	7,3	17,8	12,9	8,0	15,4	21,4	26,7	2,0	38,4	12,2	3,0	16,4	22,1	216,5	180,6	110,0
2.Rošťák 1 t/ha	2,5	2,2	10,0	9,3	27,9	22,1	11,7	27,9	11,4	48,7	2,0	41,8	26,3	8,2	25,2	46,4	323,6	297,7	163,3
3.Rošťák 2 t/ha	2,5	3,0	10,0	9,6	37,7	29,4	14,4	46,3	16,3	66,3	2,0	38,6	44,3	16,2	35,0	70,9	442,4	411,6	206,3
4.Rošťák 5 t/ha	2,5	7,2	10,0	22,6	79,0	53,2	27,4	117,0	13,5	129	2,0	68,8	86,2	30,8	62,2	149,0	860,4	832,4	399,6
Po svazence, ječmeni																			
1.Kontrola	2,5	1,0	10,0	4,8	8,1	8,8	4,1	7,0	1,5	17,1	2,0	9,4	5,0	2,5	10,4	13,9	108,1	92,1	53,3
2.Rošťák 1 t/ha	2,5	11,5	10,0	34,6	37,2	32,1	15,0	46,1	3,6	88,3	5,1	37,6	29,9	12,1	62,8	82,0	510,4	489,2	284,1
3.Rošťák 2 t/ha	2,5	4,1	10,0	12,3	30,4	26,7	12,0	74,0	1,5	67,5	2,0	18,6	38,7	18,7	33,3	79,3	431,6	415,6	184,9
4.Rošťák 5 t/ha	2,5	8,7	10,0	20,9	50,5	48,2	20,5	140,0	1,5	154,0	2,0	29,6	64,3	48,5	80,9	189,0	871,1	855,1	393,1
Po svazence, pšenici																			
1. Kontrola	2,5	1,0	10,0	5,0	7,7	7,7	3,3	7,0	1,5	16,7	2,0	8,0	5,0	2,5	11,2	14,7	105,9	89,9	52,1
2. Rošťák 1	2,5	1,0	10,0	7,7	14,7	13,4	7,2	15,3	1,5	26,3	2,0	11,2	16,9	6,4	13,6	25,9	175,6	159,6	80,9
2a. Rošťák 1 t/ha	2,5	3,5	10,0	9,0	27,0	21,2	10,0	49,4	1,5	49,3	2,0	16,3	29,8	10,8	24,9	52,3	319,5	303,5	140,8
3. Rošťák 2 t/ha	2,5	1,0	10,0	6,8	15,7	12,9	6,0	25,1	1,5	31,5	2,0	10,9	13,8	6,3	16,0	31,7	193,7	177,7	88,2
3a. Rošťák 2 t/ha	2,5	4,3	10,0	18,4	39,3	34,8	15,7	84,1	1,5	88,1	2,0	25,0	45,8	20,5	40,6	95,6	528,3	512,3	236,2
4. Rošťák 5 t/ha	2,5	1,0	10,0	10,7	27,6	22,3	10,4	60,3	1,5	51,3	2,0	15,5	34,6	9,4	21,6	57,1	337,8	321,8	137,1
4a. Rošťák 5 t/ha	2,5	9,5	10,0	24,2	76,2	60,5	27,8	201,0	1,5	168,0	2,0	34,8	99,3	44,9	77,6	203,0	1042,7	1026,7	435,2
Po svazence, kozlíčku polníčku																			
1. Kontrola	2,5	1,0	10,0	7,2	12,5	10,6	4,8	6,9	1,5	26,6	2,0	16,3	5,0	2,5	15,1	21,0	145,5	129,5	81,2
2. Rošťák 1 t/ha	2,5	1,0	10,0	7,6	14,2	12,4	5,7	16,6	1,5	25,5	2,0	14,9	11,1	5,6	14,0	23,5	168,1	152,1	82,8
2a. Rošťák 1 t/ha	2,5	3,1	10,0	12,2	31,8	21,7	10,2	47,6	1,5	49,8	2,0	20,6	30,0	12,2	24,4	54,2	333,8	317,8	154,1
3. Rošťák 2 t/ha	2,5	1,0	10,0	8,0	20,3	15,5	7,5	26,9	1,5	33,7	2,0	16,8	20,9	5,5	17,1	32,6	221,8	205,8	102,4
3a. Rošťák 2 t/ha	2,5	3,4	10,0	13,7	37,0	27,2	12,8	72,9	1,5	71,1	2,0	22,2	42,5	17,8	36,7	81,2	454,5	438,5	201,9
4. Rošťák 5 t/ha	2,5	2,2	10,0	10,8	22,9	20,4	9,6	47,4	1,5	43,5	2,0	16,7	30,4	8,8	20,0	47,1	295,8	279,8	124,9
4a. Rošťák 5 t/ha	2,5	10,2	21,8	27,9	76,9	60,8	28,2	170,0	1,5	181,0	4,2	44,5	85,8	47,9	97,5	207,0	1067,7	1037,7	485,9

Vysvětlivky:

2., 3., 4. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu v dávkce 1, 2, 5 t/ha2a., 3a., 4a. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák **ve druhém a ve třetím roce** pokusu v dávkce 1, 2, 5 t/ha

Tab.3.14: Zhodnocení obsahu PAH v půdě - rok 2015

Kombinace	PAH v sušiné půdy (µg/kg)																		
	ANA	ANT	ANY	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	FLU	CHR	IPY	NAP	PHE	PYR	Σ16	Σ12	Σ7
Po kozlíčku, paprice																			
1.Kontrola	2,5	2,4	10,0	13,1	13,6	17,6	9,4	6,0	25,3	33,9	2,0	68,5	14,1	7,0	13,6	28,4	267,5	227,7	152,2
2.Rošťák 1t/ha	2,5	3,0	10,0	13,9	21,7	24,1	13,3	29,6	25,9	46,2	6,3	64,4	30,8	9,7	21,5	47,7	370,6	325,9	180,4
3.Rošťák 2t/ha	2,5	2,2	10,0	12,1	22,3	24,6	12,5	46,3	24,4	51,3	5,3	55,4	36,9	12,2	23,2	53,0	394,2	352,0	178,7
4.Rošťák 5t/ha	2,5	7,8	10,0	25,8	53,8	57,4	27,7	126,0	31,8	116,0	2,0	64,6	91,1	21,9	45,7	123,0	807,1	760,8	335,6
Po kozlíčku, ječmeni																			
1.Kontrola	2,5	1,0	10,0	7,5	11,6	10,7	5,5	6,2	1,5	19,4	2,0	10,7	5,0	2,5	7,2	16,6	119,9	103,9	59,9
2.Rošťák 1t/ha	2,5	2,6	10,0	12,3	23,0	20,2	9,6	50,0	15,5	39,8	2,0	15,8	21,1	10,5	17,2	43,4	295,5	265,5	121,2
3.Rošťák 2t/ha	2,5	4,0	10,0	14,3	36,1	31,7	15,1	85,5	4,1	66,6	2,0	22,0	49,7	16,9	27,0	77,2	464,7	446,1	186,9
4.Rošťák 5t/ha	2,5	6,8	10,0	24,9	57,9	60,6	27,0	174,0	4,0	145,0	2,0	36,7	91,6	31,5	62,5	172,0	908,9	890,5	365,3
Po kozlíčku, kozlíčku polníčku																			
1. Kontrola	2,5	1,0	10,0	9,5	13,4	12,6	6,2	8,6	6,1	22,6	2,0	15,3	5,0	6,5	11,2	20,2	152,8	132,2	79,5
2. Rošťák 1 t/ha	2,5	3,3	10,0	12,5	17,6	16,2	8,0	18,7	1,5	31,3	2,0	19,8	16,1	7,3	15,6	31,5	213,9	197,8	107,4
2a. Rošťák 1 t/ha	2,5	3,5	10,0	12,9	29,1	23,9	11,6	51,7	1,5	48,9	2,0	21,7	34,1	10,6	22,6	51,6	338,2	322,2	149,3
3. Rošťák 2 t/ha	2,5	2,4	10,0	10,0	20,6	17,6	8,6	31,3	1,5	30,3	2,0	19,1	23,6	6,6	12,3	32,9	231,2	215,2	101,2
3a. Rošťák 2 t/ha	2,5	3,8	10,0	17,7	43,4	31,2	14,3	76,6	18,1	66,0	2,0	24,5	41,8	14,3	26,1	77,4	469,7	437,1	195,8
4. Rošťák 5 t/ha	2,5	4,1	10,0	16,6	30,7	28,1	15,0	59,8	7,1	53,4	2,0	22,6	37,4	8,8	21,8	57,2	377,1	355,5	158,0
4a. Rošťák 5 t/ha	2,5	9,0	10,0	27,9	71,8	63,8	29,0	183,0	5,2	148,0	2,0	40,0	109,0	29,7	64,3	177,0	972,2	952,5	390,7

Vysvětlivky:

2., 3., 4. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu v dávkce 1, 2, 5 t/ha

2a., 3a., 4a. Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha ... aplikace hnojiva Rošťák ve druhém a ve třetím roce pokusu v dávkce 1, 2, 5 t/ha

3.7 Výpočet toxického ekvivalentu PAH v půdě

Celkový toxický ekvivalent směsi TTEC byl stejně jako v případě rostlin počítán jako suma součinu koncentrací jednotlivých složek směsi a příslušného TEF. Lze tedy rovněž jako u rostlin stanovit, do jaké míry se jednotlivé látky ve směsi podílejí na celkové karcinogenitě (tab. 3.14).

Tab.3.15: Vybrané deriváty PAH, faktor toxického ekvivalentu TEF

Analyt	ANT	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	CHR	IPY	PHE	PYR
TEF	0,01	0,1	1	0,1	0,1	0,01	1	0,001	0,01	0,1	0,001	0,001

Tab.3.16: Vybrané PAH, výpočet sumy TTEC v půdě po plodinách v roce 2014 (svazenka)

Půda po plodinách	Suma TTEC (µg/kg)						
	1.Kontrola	2.R 1	2a.R 1	3.R 2	3a.R 2	4.R 5	4a.R 5
Po paprice (A)	43,843	47,081	-	64,816	-	105,952	-
Po ječmeni (B)	12,131	53,135	-	42,017	-	69,597	-
Po pšenici (C)	11,496	21,062	36,319	21,598	53,629	37,798	101,781
Po kozlíčku (D)	17,064	19,767	41,552	27,516	49,294	30,132	101,403

Vysvětlivky:

2.R1, 3.R2, 4.R5 ... 2., 3., 4.Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha - aplikace hnojiva Rošťák **pouze v prvním roce** pokusu

2a.R1, 3a.R2, 4a.R5 ... 2a., 3a., 4a.Rošťák 1 t/ha, 2 t/ha, 5 t/ha - aplikace hnojiva Rošťák **ve druhém i ve třetím roce** pokusu

Tab.3.17: Vybrané PAH, výpočet sumy TTEC v půdě po plodinách v roce 2015 (kozlíček)

Půda po plodinách	Suma TTEC (µg/kg)						
	1.Kontrola	2.R 1	2a.R 1	3.R 2	3a.R 2	4.R 5	4a.R 5
Po paprice (A)	45,166	56,895	-	56,476	-	108,069	-
Po ječmeni (B)	16,195	46,334	-	52,605	-	84,844	-
Po pšenici (C)	-	-	-	-	-	-	-
Po kozlíčku (D)	23,135	24,874	39,742	28,679	73,219	48,497	102,640

Stupňování Rošťáku se projevilo postupným vzestupem sumy TTEC v půdě (tab.3.16, 3.17) u všech plodin. Nejvyšší nález tohoto ekvivalentu byl zjištěn při dávce 5 t/ha aplikované opakovaně. Nejvyšší TTEC byl pozorován u těch kombinací, které vykazaly nejvyšší obsahy PAH. U některých kombinací byl v průběhu sledovaného období zaznamenán pokles obsahu PAH.

3.8 Srovnání mezi množstvím PAH dodaného hnojivem a výsledným obsahem v půdě

Tab. 3.18: Srovnání mezi vstupem PAH během pokusu a koncentrací PAH v půdě na konci pokusu

Kombinace	PAH v sušině půdy ($\mu\text{g/kg}$)			
	PAH počátek r.2011	PAH 12 dodaný hnojením	Teoretický obsah PAH na konci pokusu	PAH 12 v r. 2015
Po kozlíčku, paprice				
1.Kontrola	148	0	147	228
2.Rošťák 1t/ha	148	176	323	326
3.Rošťák 2t/ha	148	353	499	352
4.Rošťák 5t/ha	148	882	1028	761
Po kozlíčku, ječmeni				
1.Kontrola	152	0	148	104
2.Rošťák 1t/ha	152	249	397	266
3.Rošťák 2t/ha	152	498	646	446
4.Rošťák 5t/ha	152	1245	1393	890
Po kozlíčku				
1. Kontrola	131	0	131	132
2. Rošťák 1 t/ha	131	94	225	198
2a. Rošťák 1 t/ha	131	282	413	322
3. Rošťák 2 t/ha	131	188	319	215
3a. Rošťák 2 t/ha	131	565	696	437
4. Rošťák 5 t/ha	131	471	602	356
4a. Rošťák 5 t/ha	131	1412	1543	953

Z údajů o množství aplikovaného hnojiva a obsahu PAH v hnojivu byl vypočítán celkový vstup PAH do půdy v hnojivu Rošťák. Teoretický obsah PAH na konci pokusu byl vypočítán jako součet množství PAH dodaných hnojením a PAH v půdě v 1. roce pokusu. Obsah PAH na konci pokusu byl ve většině půd nižší, než by odpovídalo množství PAH, které bylo dodáno v aplikovaném hnojivu. Rozdíl byl patrný především při nejvyšší dávce hnojiva a mohl být způsoben volatilizací nebo biologickým rozkladem části PAH

4 ZÁVĚR

Vliv popela Rošťák na výnos:

Aplikace hnojiva Rošťák má pozitivní vliv na výnos především v roce aplikace pokud je aplikováno současně s dalšími živinami. Hnojivo může být zdrojem draslíku a při aplikaci výrobcem doporučeného množství (1 t/ha) může pokrýt významnou část spotřeby tohoto prvku. Nejlépe na hnojení reagovaly obilniny v roce 2013. U řepky, svazenky, papriky a kozlíčku byl v některých případech zaznamenán nárůst výnosu pouze při nižších dávkách hnojiva (1 t/ha), zatímco při vyšších dávkách ke zvýšení výnosu nedošlo.

V případě kozlíčku byl vliv hnojení nejvíce patrný v roce 2015 v půdě po kozlíčku, kdy rostoucí dávka hnojiva zvyšovala výnos, zatímco v ostatních sledech byl ve stejném roce vliv hnojiva průkazný, ale menší. Je možné, že aplikace ostatních živin umožnila využití živin z hnojiva Rošťák aplikovaného v předchozích letech.

U svazenky v roce 2014 klesal výnos s rostoucí dávkou v celém rozsahu. Tento pokles může být vyvolán vysokou koncentrací živin, zvýšením pH nebo toxicitou PAH obsažených v hnojivu. Je možné, že se pozitivní a negativní účinky překrývají a některé rostliny jsou tedy citlivější k případným negativním účinkům.

Na hnojení hnojivem Rošťák zřejmě nejlépe reagují pšenice a ječmen, o něco méně kozlíček, zatímco pozitivní vliv na výnos řepky, papriky a svazenky je omezený.

Obsahy rizikových látek v popelu Rošťák:

Obsah těžkých kovů v hnojivu podle nového návrhu vyhlášky č. 474/2000 Sb. **splňuje** zákonem stanovené limity v mg/kg sušiny popela ze samostatného spalování biomasy u Cd (5), Pb (50), Hg (0,5), Cr (50). Obsah sumy 12 PAH daných tímto návrhem vyhlášky **byl překročen o 253,5 mg/kg** Limitní hodnota je 20 mg/kg.

Vliv popela Rošťák na obsah PAH v půdě:

U všech pěstovaných plodin došlo k nárůstu obsahu PAH v půdě po aplikaci hnojiva.

Obsah PAH lineárně narůstal se zvyšující se dávkou hnojiva. Bezprostřední aplikace hnojiva v dávce 1 – 5t/ha odpovídá asi 93 -194 µg PAH 12 na 1 kg půdy. Tento trend byl patrný po celou dobu pokusu.

Nejvyšší hodnota TTEC, PAH 7, PAH 12 i PAH 16 byla zjištěna při dávce 5 t/ha aplikované opakovaně.

Koncentrace PAH v půdě po svazence překročila limit 1 mg PAH/kg (vyhláška č. 13/1994) po opakované aplikaci nejvyšší dávky. Po zhodnocení těchto obsahů podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. by došlo k překročení preventivní hodnoty. Z výsledků vyplývá, že při doporučené dávce hnojiva 1t/ha a rok dojde k mírnému zvýšení koncentrace PAH v půdě, ale pravděpodobně nedojde k překročení limitu 1 mg/kg. Pokles obsahu PAH v průběhu provádění zkoušky a omezený nárůst obsahu v půdě po opakované aplikaci hnojiva může být způsoben biodegradací v půdě nebo volatilizací PAH z půdy. Aplikace hnojiva nezvýšila obsah těžkých kovů v půdě.

Vliv hnojiva Rošťák na obsah PAH v plodinách:

Zvýšení obsahu PAH bylo pozorováno po aplikaci nejvyšší dávky popela. Příjem PAH rostlinou je pravděpodobně omezený, nárůst obsahu PAH v půdě neměl jednoznačný vliv na jeho obsah v rostlině. Obsah benzo(a)pyrenu v některých případech překročil hodnotu 2 mg/kg danou nařízením 208/2005/ES. Celkový obsah v rostlinách přibližně odpovídal rozmezí hodnot 0 - 0,2 mg/kg, uváděných v literatuře (Vácha a kol., 2008).

Výsledky zkoušky potvrzují, že aplikace hnojiva Rošťák může mít pozitivní vliv na výnos pěstovaných plodin, především ječmene a pšenice, u kterých je růst zvyšován i dávkami vyššími než doporučenými. U ostatních plodin byl vliv hnojiva méně patrný. Mírné zvýšení výnosu po aplikaci hnojiva v doporučeném rozsahu dávky do 1 t/ha bylo pozorováno u většiny plodin. I když lze doporučenou dávkou hnojiva dodat do půdy poměrně významné množství draslíku, zvýšení výnosu je poměrně omezené. Hnojivo Rošťák ale také obsahuje nadlimitní koncentraci PAH. A přestože významná kontaminace pěstovaných plodin nebyla pozorována je jeho využití spojeno s rizikem kumulace PAH v půdě, které je třeba při hnojení brát v úvahu a proto není hnojivo v současné době registrováno k použití.

5 POUŽITÁ LITERATURA

1. Alexander M. (1999): Biodegradation and bioremediation. Academic Press.
2. Holoubek I. (2005): Chemie životního prostředí IV. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs). Brno, 2005. <http://recetox.muni.cz/index.php?id=23>
3. Knicker H. (2007): How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. Biogeochemistry 85, 91-118.
4. Larsen, J.C., Larsen, P. B. (1998): Chemical carcinogens. In: Herster R.E, Harrison R.M. (eds.): Air Pollution and Health. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 33-56
5. Ministerstvo zemědělství 2012. Zpráva o výsledcích sledování a vyhodnocování cizorodých látek v potravních řetězcích v rezortu zemědělství v roce 2011. Online: http://eagri.cz/public/web/file/209387/Zprava_o_vysledcich_sledovani_a_vyhodnocovani_cizorodych_latek.PDF.
6. MZd ČR: Vyhláška MZd ČR č. 305/2004 Sb., kterou se stanoví druhy kontaminujících a toxikologicky významných látek a jejich přípustné množství v potravinách. Sbírka zákonů 2004.
7. Nařízení komise (ES) č.1181/2006 kterým se stanoví maximální limity kontaminujících látek v potravinách
8. City air pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagens: occurrence, sources and health effects. Nielsen T., Jørgensen H.E., Larsen J.C., Poulsen M. (1996): City air pollution of polycyclic aromatic hydrocarbons and other mutagens: occurrence, sources and health effects. Science of the Total Environment 189-190, 41-49.
9. Nisbet, I:C. LaCoy, P.K. (1992): Toxic equivalency factors(TEFs) for polycyclic aromatics hydrocarbons (PAHs). Regul. Toxicol. Pharmacol. 3, 290-300
10. Ohecová P., 2015. Popel z biomasy - významný zdroj živin. Biom.cz (online), dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/popel-z-biomasy-vyznamny-zdroj-zivin>.
11. Straka P., Havelcová M. (2012): Polycyclic aromatic hydrocarbons and other organic compounds in ashes from biomass combustion. Acta Geodynamic Geomaterials 9, 481-490.
12. Vácha R, Čechmánková J., Havelková M., Horváthová V. (2008): Transfer of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Soil into Selected Plants, The influence of polycyclic aromatic hydrocarbons. Chemické listy 102, 1003-1010.
13. Zbíral J. (2002): Analýza půd I. Jednotné pracovní postupy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, 197 s.
14. Zbíral J., Tieffová P., Fritsch, K., Srnková J., Urbánková E., Rychlý M., Keilová R. (2003): Analýza půd II. Jednotné pracovní postupy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, 224 s.
15. Zbíral J., Honsa I., Malý S., Čižmár D. (2004): Analýza půd III. Jednotné pracovní postupy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, 199 s.
16. Zbíral J. (2005): Analýza rostlinného materiálu. Jednotné pracovní postupy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno, 192 s.