

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



Porovnání různých dávek hnojiva Rošťák

Výroční zpráva o výsledcích vegetační nádobové zkoušky za rok 2012

Zpracoval: Ing. Michaela Smatanová, Ph.D.
Markéta Kučerová
Ing. Dušan Reiniger, Ph.D.
Ing. Lenka Prášková, Ph.D.

Schválil: **Ing. Vladimír Klement, CSc.**
Vedoucí oddělení biologických testací

Předkládá: **Ing. Miroslav Florián, Ph.D.**
ředitel Sekce úřední kontroly

Obsah

1 ÚVOD	2
2 MATERIÁL A METODY	4
2.1 Materiální zabezpečení.....	4
2.2 Půdní podmínky	4
2.3 Rozsah a způsob použití zkoušeného hnojiva	4
2.4 Chemické složení zkoušeného hnojiva	4
2.5 Aplikace základních živin a ověřovaného hnojiva v roce 2012.....	5
2.6 Technika provedení zkoušky:.....	6
2.7 Ochrana rostlin	6
2.8 Hodnocené parametry	6
2.9 Analýza hlavních komponent.....	7
3 VÝSLEDKY	8
3.1 Výnosy jednotlivých plodin	8
3.2 Anorganické rozborů rostlin.....	9
3.3 Analýza hlavních komponent – anorganické rozborů rostlin.....	10
3.4 Zhodnocení obsahu PAH v rostlinách.....	11
3.5 Analýza hlavních komponent PAH v rostlinách	12
3.6 Výpočet toxického ekvivalentu PAH v rostlinách	13
3.7 Zhodnocení agrochemických rozborů půdních vzorků.....	14
3.8 Analýza hlavních komponent – anorganické rozborů půdy.....	15
3.9 Zhodnocení obsahu PAH v půdě.....	17
3.10 Analýza hlavních komponent PAH v půdě	17
3.11 Výpočet toxického ekvivalentu PAH v půdě	18
6 ZÁVĚR	19
7 POUŽITÁ LITERATURA	20

1 ÚVOD

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH) jsou sloučeniny složené z uhlovodíkových cyklů bez heterogenních atomů a substituentů. Vyskytují se především jako produkt nedokonalého spalování uhlíkatých paliv.

Legislativně je v České republice problematika perzistentních organických polutantů (POPs) v zemědělských půdách zapracována do vyhlášky č. 13/1994 Sb. Protože hodnoty koncentrací POPs ve vyhlášce nebyly odvozeny z hodnot relevantních pro půdy ČR, nýbrž vznikly korekcí převzatých zahraničních hodnot, neprokázaly aktuální limitní hodnoty využitelnost pro hodnocení zátěže zemědělských půd. Z tohoto důvodu byly předloženy vědecky zdůvodnitelné limitní hodnoty obsahů POPs v podobě tzv. preventivního limitu, který byl odvozen z vrchní hranice požadovaných hodnot koncentrací POPs v našich zemědělských půdách (NĚMEČEK et al 1996). Tento návrh byl předložen k účelu novelizace vyhlášky č.13/1994 Sb. Vyšší úroveň limitních hodnot, zaměřená na přestup POPs ze zemědělských půd do potravního řetězce, není v současné době obecně k dispozici. K hodnocení vysokých zátěží se přistupuje prostřednictvím analýzy rizik, která je však odborně, časově a finančně náročná. Vyhláška č. 13/1994 Sb. pro PAH udává hodnotu přípustného znečištění půdy $1,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ suš. (suma 7 PAH).

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 součinnů těchto ekvivalentů v oblasti zátěže PAHs jednotlivých sloučenin je získána výsledná sumární hodnota. Nejtoxičtějšími sloučeninami (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.

PAH se řadí mezi POPs. Doba setrvání různých skupin POPs v prostředí se může výrazně lišit, a to i v rámci PAH. Mnohé sloučeniny se v půdě samovolně rozkládají v rámci několika roků (naftalen, antracen), jiné sloučeniny, jako je např. BAP, jsou i v půdě relativně špatně rozložitelné, a to navzdory procesům degradace v půdním prostředí (mikrobiální činnost, fotolýza, hydrolýza atd.). Organické polutanty mohou vstupovat do rostlin několika způsoby. 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),
- absorpcí PAH na povrch kořene,
- foliární příjem látek odpařených z půdního povrchu,
- absorpcí PAH na listovou plochu,
- některé PAH jsou syntetizovány přímo rostlinami.

Hodnocení obsahu PAH ve vzorcích plodin je vzhledem k hygienickým normám problematické, a to z důvodu absence limitních hodnot pro PAH v české legislativě. V rámci EU byl zaveden limit pro obsah benzo(a)pyrenu v některých potravinách (nařízení 208/2005/ES).

Účelem pokusu bylo posoudit, do jaké míry se případná zvýšená zátěž PAH a těžkých kovů z hnojiva Rošťák může projevit na zátěži pěstovaných rostlin.

Účel zkoušky: účelem postregistrační nádobové zkoušky je porovnání stupňovaných dávek hnojiva ROŠŤÁK na růst, výnos a kvalitativní vlastnosti plodin.

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

Trvání zkoušky: vegetační rok 2011 - 2012

Kombinace hnojení:

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

Zkoušené plodiny v roce 2012

Zkoušené plodiny:

- A. Řepka jarní:** odrůda Blanice
- B. Ječmen jarní:** odrůda Sladar
- C. Pšenice jarní:** odrůda Tercie
- D. Kozlíček polníček:** odrůda Larged Leaved

Rozsah zkoušky: 152 nádob

- A. Řepka jarní:** opakování 12 x tj. $12 \times 4 = 48$
- B. Ječmen jarní:** opakování 10 x tj. $10 \times 4 = 40$
- C. Pšenice jarní:** opakování 8 x tj. $8 \times 4 = 32$
- D. Kozlíček polníček:** opakování 8 x tj. $8 \times 4 = 32$

2 MATERIÁL A METODY

2.1 Materiální zabezpečení

Vegetační nádobová zkouška byla založena na jaře 2011 jako přesná ve vegetační hale ÚKZÚZ, Odboru bezpečnosti krmiv a půdy v Brně.

2.2 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 ⁻¹] a kritéria hodnocení			
	P	K	Mg	Ca
7,4	11	130	346	5030
neutrální	nízký	vyhovující	velmi vysoký	velmi vysoký

2.3 Rozsah a způsob použití zkoušeného hnojiva

ROŠŤÁK je hnojivo na bázi rostlinného popele, 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 popele ze spalování biomasy a z popílku zachyceného při spalování biomasy ve filtrech.

Hnojivo vyrobené na bázi rostlinného popele 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.

2.4 Chemické složení zkoušeného hnojiva

Chemické složení hnojiva ROŠŤÁK (hnojivo na bázi rostlinného popele)

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

Chemické a fyzikální vlastnosti:

Vlastnost:	Hodnota:
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⁾ ve vysušeném vzorku

Obsah těžkých kovů v hnojivu podle nového návrhu vyhlášky 474/2000 Sb. **splňuje** zákonem stanovené limity v mg.kg⁻¹ sušiny popele 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, chrysenu, indeno (1,2,3-cd)pyrenu, naftalenu a pyrenu) **byl překročen o 173,5 mg/kg**. Limitní hodnota je 100 mg/kg.

Tab.2.2: Analýzy PAH v hnojivu Rošťák [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]

Analyt	Hodnota	Analyt	Hodnota
SUSINPRP	92,5 %	CHR UG Q	5710
NAP UG Q	48400	CHR UG P	5280
NAP UG P	44800	BBF UG Q	6680
ANY UG Q	36800	BBF UG P	6180
ANY UG P	34000	BKF UG Q	2530
ANA UG Q	402	BKF UG P	2340
ANA UG P	372	BAP UG Q	9700
FLU UG Q	500	BAP UG P	8970
FLU UG P	462	DBA UG Q	168
PHE UG Q	46800	DBA UG P	155
PHE UG P	43300	BPE UG Q	15800
ANT UG Q	6220	BPE UG P	14600
ANT UG P	5750	IPY UG Q	6700
FLT UG Q	59100	IPY UG P	6200
FLT UG P	54700	Σ dle vyhl. č. 13/1994 Sb.	179 920 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
PYR UG Q	61900	Σ zbývajících	419 579 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
PYR UG P	57300	Σ všech PAH	599 499 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
BAA UG Q	3990	Σ dle návrhu vyhl. č. 474/2000 Sb.	273 530 $\mu\text{g.kg}^{-1}$
BAA UG P	3690		

Analýzy provedla NRL Opava v červnu 2011.

2.5 Aplikace základních živin a ověřovaného hnojiva v roce 2012

Tab.2.3: Dávky základních živin a hnojiva Rošťák v roce 2012

Kombinace hnojení	Počet opakování	Dávky základních živin (g)			Rošťákem dodáno K_2O g	ROŠŤÁK g
		N/MO	$\text{P}_2\text{O}_5/\text{SP}$	$\text{K}_2\text{O}/\text{KCl}$		
A. Řepka jarní						
1. Kontrola	12	1	1	1	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	12	1	1	1	0	0
3. Rošťák 2 t/ha	12	1	1	1	0	0
4. Rošťák 5 t/ha	12	1	1	1	0	0
B. Ječmen jarní						
1. Kontrola	10	1,2	1	1	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	10	1,2	1	1	0	0
3. Rošťák 2 t/ha	10	1,2	1	1	0	0
4. Rošťák 5 t/ha	10	1,2	1	1	0	0
C. Pšenice jarní						
1. Kontrola	8	1,2	1	1	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	4	1,2	1	1	0	0
2a. Rošťák 1 t/ha	4	1,2	1	1	0,31	3,46
3. Rošťák 2 t/ha	4	1,2	1	1	0	0
3a. Rošťák 2 t/ha	4	1,2	1	1	0,62	6,92
4. Rošťák 5 t/ha	4	1,2	1	1	0	0
4a. Rošťák 5 t/ha	4	1,2	1	1	1,30	17,3
D. Kozlíček polníček						
1. Kontrola	8	0,3	0,4	0,4	0	0
2. Rošťák 1 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	0	0
2a. Rošťák 1 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	0,28	3,14
3. Rošťák 2 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	0	0
3a. Rošťák 2 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	0,56	6,28
4. Rošťák 5 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	0	0
4a. Rošťák 5 t/ha	4	0,3	0,4	0,4	1,43	15,7

Základní hnojení NPK bylo provedeno před výsevem s dostatečným časovým předstihem. Dusík byl aplikován ve formě močoviny, fosfor byl aplikován ve trojitěm superfosfátu, dohnojení draslíkem bylo v KCl.

Podle obsahu živin je Rošťák draselné hnojivo s 10 % K₂O. Obsah draslíku je kritériem pro výpočet dávky hnojiva. Minerální hnojení K je u kontroly navrženo jako optimální dávka (liší se nároky plodiny). U dalších kombinací (2-4) je odpočteno množství draslíku dodané hnojivem Rošťák.

Aplikace hnojiva Rošťák byla provedena před výsevem plodin v 1. pokusném roce. Ve 2. 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 simulována zátěž jeho každoroční aplikace.

2.6 Technika provedení zkoušky:

a) založení: pro řepku byly použity plastové nádoby (ø 25 cm) s navázkou 10 kg zeminy, pro pšenici a ječmen plastové nádoby (ø 21 cm) s navázkou 5 kg zeminy, pro kozlíček klasické Mitscherlichovy nádoby s náplní zeminy 6 kg (ø 20 cm).

b) aplikace: hnojivo Rošťák bylo naaplikováno dne 23.3.2012 podle výše uvedeného schématu zapravením do 2/3 zemin v nádobě a důkladně promícháno se zeminou.

c) výsev: do každé nádoby bylo vyseto dne 23.3. 28 semen řepky, 28 zrn ječmene a pšenice, 28.3. 18 semen polníčku do nádoby.

d) jednocení: řepka byla vyjednocena 12.4. na 15 stejných rostlin v každé nádobě, u ječmene a pšenice 12.4. na 21 rostlin, u polníčku 11.5. na 10 rostlin v nádobě.

e) sklizeň řepky proběhla dne 11.7., ječmene 13.7., pšenice 16.7. a kozlíčku 13.6.

f) zálivka: 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).

2.7 Ochrana rostlin

V průběhu vegetace bylo provedeno ošetření povolenými přípravky na ochranu rostlin

Tab.2.5: Přehled použitých přípravků na ochranu rostlin

Plodina	datum	přípravek	koncentrace	škůdce, choroba
A. Řepka jarní	3.5.	Horizon 250 EW	0,07%	prevence
	9.5.	Mospilan 20 SP	0,04%	prevence
B.+ C. Ječmen jarní, Pšenice jarní	18.4.	Falcon 460 EC	0,7%	prevence
	30.5.	Chess 50 WG	0,04%	molice
D. Kozlíček polníček	30.5.	Chess 50WG	0,04%	molice

2.8 Hodnocené parametry

V ověřovaném hnojivu bylo stanoveno:

As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Hg lučavka královská, PAH (laboratoř ÚKZÚZ). Obsahy daných těžkých kovů a perzistentních organických látek (POPs) byly stanovovány v hnojivu před založením zkoušky v roce 2011 a jsou uvedeny v kap. 2.4 Chemické složení zkoušeného hnojiva.

Agrochemické vlastnosti půdy:

Po sklizni plodin byl odebrán průměrný vzorek z každé kombinace hnojení na stanovení: pH/CaCl₂, zásoba přístupného P, K, Ca, Mg (Mehlich III) + As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Hg v lučavce královské, PAH.

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.

Anorganické rozborů rostlin: sušina, N, P, K, Ca, Mg, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Hg.

2.9 Analýza hlavních komponent

Analýza hlavních komponent (PCA) Principal component analysis se zabývá možností redukce počtu proměnných pomocí tzv. hlavních komponent, kterými se popisuje variabilita všech proměnných a vztahy mezi nimi. Všechny proměnné mají stejný status. Hlavní komponenty vznikají jako lineární kombinace původních proměnných. Zkoumání hodnot nových proměnných (hlavních komponent) místo původních hodnot nám mnohdy umožňuje snadněji porozumět posuzovaným datům. Při analýze hlavních komponent, doufáme, že pouze několik z nich má nezanedbatelný rozptyl. Ostatní pak můžeme při analýze zanedbat. Tím dosáhneme úspornější popis chování původních proměnných pomocí menšího počtu nových proměnných. V datech však musí být pro tuto redukci předpoklady, tedy, že musí být mezi sebou silně korelované (Hendl, 2004).

Před vlastní analýzou hlavních komponent jsou data předupraveny standardizací. Standardizace znamená odstranění závislosti na jednotkách a na parametru polohy respektive i rozptýlení. Po provedené standardizaci můžeme pomocí vah přiřadit znakům různou důležitost (Meloun, 2011).

Vedení nádobové zkoušky a zpracování výsledků bylo prováděno v souladu s Metodickým pokynem č. 5/OBKP Základní metodika přesných polních a nádobových zkoušek.

3 VÝSLEDKY

3.1 Výnosy jednotlivých plodin

Tab.3.1: Hmotnost řepky, ječmene, pšenice a kozlíčku na nádobu

Kombinace hnojení	Hmotnost v suché hmotě		
	Průměrný výnos [g]	Pořadí výnosů	Relativní srovnání [%]
Řepka - semeno			
1.Kontrola	19,88	4	100
2.Rošťák 1t/ha	23,22	1	117
3.Rošťák 2t/ha	22,05	2	111
4.Rošťák 5t/ha	20,98	3	106
Řepka - sláma			
1.Kontrola	51,70	3	100
2.Rošťák 1t/ha	58,93	1	114
3.Rošťák 2t/ha	52,64	2	102
4.Rošťák 5t/ha	51,43	4	99
Ječmen - zrno			
1.Kontrola	35,28	3	100
2.Rošťák 1t/ha	37,42	1	106
3.Rošťák 2t/ha	35,20	4	100
4.Rošťák 5t/ha	37,21	2	105
Ječmen - sláma			
1.Kontrola	35,52	2	100
2.Rošťák 1t/ha	38,38	1	108
3.Rošťák 2t/ha	34,16	4	96
4.Rošťák 5t/ha	34,91	3	98
Pšenice zrno			
1. Kontrola	24,40	6	100
2. Rošťák 1 t/ha	25,53	4	105
2a. Rošťák 1 t/ha	26,75	2	110
3. Rošťák 2 t/ha	24,20	7	99
3a. Rošťák 2 t/ha	27,85	1	114
4. Rošťák 5 t/ha	25,71	3	105
4a. Rošťák 5 t/ha	25,01	5	103
Pšenice sláma			
1. Kontrola	28,01	6	100
2. Rošťák 1 t/ha	27,11	7	97
2a. Rošťák 1 t/ha	29,65	3	106
3. Rošťák 2 t/ha	28,38	5	101
3a. Rošťák 2 t/ha	31,67	2	113
4. Rošťák 5 t/ha	28,44	4	102
4a. Rošťák 5 t/ha	32,83	1	117
Kozlíček polníček			
1. Kontrola	9,35	4	100
2. Rošťák 1 t/ha	8,88	7	95
2a. Rošťák 1 t/ha	9,82	2	105
3. Rošťák 2 t/ha	9,25	6	99
3a. Rošťák 2 t/ha	9,32	5	100
4. Rošťák 5 t/ha	9,60	3	103
4a. Rošťák 5 t/ha	9,97	1	107

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 **i v druhém roce** pokusu v dávkce 1, 2, 5 t/ha

Aplikace hnojiva Rošťák se pozitivně projevila na vyšším výnosu pěstovaných plodin. Dávka 1 t/ha zvýšila výnos u semene řepky o 17 % a u zrna ječmene o 6 %. Rovněž tato dávka navýšila

výnos slámy řepky (o 14 %) i slámy ječmene (o 8 %). Opakovaná aplikace hnojiva Rošťák ve 2. pokusném roce (kombinace hnojení 2a, 3a, 4a) podpořila výnos zrna pšenice. Došlo ke zvýšení o 10 % (dávka 1 t/ha) a o 14 % (dávka 2 t/ha). Dávka 5 t/ha navýšila výnos slámy pšenice (o 17 %) a také výnos kozlíčku (o 7%).

3.2 Anorganické rozborů rostlin

Pro analýzu rostlin byly odebrány reprezentativní vzorky z každé kombinace hnojení.

Tab.3.2: Zhodnocení obsahu makroelementů a těžkých kovů (TK) v rostlinné hmotě

Kombinace hnojení		sušina [%]	Makroelementy v sušině [%]					TK v sušině [mg.kg ⁻¹]			
			N	P	K	Mg	Ca	Cd	Cu	Pb	Zn
Řepka - semeno											
1.Kontrola	Ř-se-K	95,0	3,59	0,96	1,38	0,33	0,31	0,05	3,52	<0,10	47,5
2.Rošťák 1t/ha	Ř-se-1	95,3	3,58	0,95	1,35	0,34	0,32	0,05	3,53	<0,10	47,4
3.Rošťák 2t/ha	Ř-se-2	95,2	3,37	0,95	1,29	0,35	0,36	0,05	3,73	<0,10	50,7
4.Rošťák 5t/ha	Ř-se-5	95,8	3,52	0,93	1,40	0,33	0,33	0,03	3,27	<0,10	42,2
Řepka - sláma											
1.Kontrola	Ř-sl-K	92,4	0,36	0,09	2,85	0,07	0,82	0,22	2,52	0,67	7,30
2.Rošťák 1t/ha	Ř-sl-1	92,2	0,37	0,12	3,24	0,09	0,93	0,21	2,65	0,73	6,37
3.Rošťák 2t/ha	Ř-sl-2	92,7	0,42	0,13	3,18	0,08	0,93	0,22	2,66	0,79	8,15
4.Rošťák 5t/ha	Ř-sl-5	92,8	0,41	0,14	3,39	0,08	0,88	0,21	3,08	0,77	6,04
Ječmen - zrno											
1.Kontrola	J-zr-K	93,5	2,46	0,42	0,55	0,12	<0,05	0,13	6,51	0,12	33,1
2.Rošťák 1t/ha	J-zr-1	98,9	2,41	0,38	0,54	0,11	<0,05	0,14	6,63	0,10	31,3
3.Rošťák 2t/ha	J-zr-2	93,4	2,40	0,44	0,50	0,12	<0,05	0,08	6,11	0,15	31,1
4.Rošťák 5t/ha	J-zr-5	93,4	2,58	0,47	0,53	0,12	<0,05	0,08	5,88	<0,10	32,0
Ječmen - sláma											
1.Kontrola	J-sl-K	93,0	1,05	0,08	2,39	0,22	1,08	0,65	4,22	3,17	10,7
2.Rošťák 1t/ha	J-sl-1	93,6	1,15	0,07	2,55	0,23	1,12	0,62	4,84	5,82	11,1
3.Rošťák 2t/ha	J-sl-2	93,3	0,89	0,07	0,89	0,37	1,42	0,34	7,15	3,05	9,49
4.Rošťák 5t/ha	J-sl-5	93,5	1,10	0,11	1,12	0,32	1,19	0,31	4,10	1,02	10,4
Pšenice - zrno											
1. Kontrola	P-zr-K	90,1	3,30	0,42	0,55	0,11	0,07	0,18	4,82	<0,10	37,7
2. Rošťák 1 t/ha	P-zr-1	90,8	3,03	0,38	0,56	0,10	<0,05	0,16	3,97	<0,10	30,6
2a. Rošťák 1 t/ha	P-zr-1a	90,6	3,15	0,43	0,64	0,11	<0,05	0,15	4,68	<0,10	34,7
3. Rošťák 2 t/ha	P-zr-2	90,3	3,10	0,39	0,55	0,11	0,05	0,15	4,75	<0,10	37,0
3a. Rošťák 2 t/ha	P-zr-2a	90,6	3,14	0,39	0,58	0,11	<0,05	0,20	4,81	<0,10	34,5
4. Rošťák 5 t/ha	P-zr-5	89,9	2,69	0,35	0,50	0,10	<0,05	0,15	4,09	<0,10	29,3
4a. Rošťák 5 t/ha	P-zr-5a	90,1	3,17	0,42	0,57	0,11	<0,05	0,15	4,63	<0,10	35,0
Pšenice - sláma											
1. Kontrola	P-sl-K	93,8	0,92	0,12	2,74	0,20	0,98	0,57	4,56	2,74	10,8
2. Rošťák 1 t/ha	P-sl-1	93,5	0,86	0,18	3,05	0,19	0,96	0,59	4,59	1,61	9,37
2a. Rošťák 1 t/ha	P-sl-1a	93,8	0,93	0,09	3,36	0,18	1,09	0,57	4,90	2,73	7,99
3. Rošťák 2 t/ha	P-sl-2	91,6	0,88	0,08	2,97	0,18	1,02	0,50	4,74	4,40	7,89
3a. Rošťák 2 t/ha	P-sl-2a	91,6	0,87	0,07	3,01	0,18	1,01	0,63	4,68	1,56	10,6
4. Rošťák 5 t/ha	P-sl-5	91,2	0,80	0,07	3,10	0,18	0,99	0,52	4,51	1,13	7,24
4a. Rošťák 5 t/ha	P-sl-5a	91,1	1,09	0,11	3,63	0,16	0,78	0,59	5,27	1,79	11,4
Kozlíček polníček											
1. Kontrola	Ko-K	88,9	2,26	0,56	3,75	0,61	1,61	0,06	9,22	0,32	39,7
2. Rošťák 1 t/ha	Ko-1	87,6	2,47	0,53	3,60	0,69	1,74	0,05	9,31	0,29	44,0
2a. Rošťák 1 t/ha	Ko-1a	88,3	2,05	0,51	3,30	0,63	1,67	0,05	9,13	0,31	34,2
3. Rošťák 2 t/ha	Ko-2	88,5	2,43	0,55	3,44	0,68	1,70	0,07	10,7	0,40	40,8
3a. Rošťák 2 t/ha	Ko-2a	88,9	2,73	0,49	3,89	0,53	1,76	0,06	9,42	0,33	37,0
4. Rošťák 5 t/ha	Ko-5	89,1	2,41	0,49	3,78	0,57	1,67	0,05	10,0	0,36	42,9
4a. Rošťák 5 t/ha	Ko-5a	89,2	2,30	0,46	4,24	0,50	1,77	0,07	8,65	0,40	43,7

Vysvětlivky: viz. Tab.3.1

3.3 Analýza hlavních komponent – anorganické rozborů rostlin

Tab.3.3: Faktorové souřadnice proměnných podle korelací

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Faktor 7	Faktor 8	Faktor 9
N	0,932	0,148	-0,270	0,027	0,127	-0,004	0,127	0,066	-0,004
P	0,913	-0,061	-0,091	0,366	-0,024	0,010	-0,138	0,016	-0,032
K	-0,413	-0,781	0,277	0,271	0,223	-0,140	0,006	0,016	0,018
Cu	0,349	-0,901	-0,133	0,081	-0,119	0,158	-0,006	0,008	0,053
Zn	-0,324	-0,927	0,063	0,055	-0,109	0,067	0,092	-0,009	-0,057
Mg	-0,886	0,100	-0,312	0,076	0,262	0,179	-0,027	-0,014	-0,009
Ca	0,312	-0,800	-0,163	-0,463	0,103	-0,063	-0,085	0,013	-0,013
Cd	-0,787	-0,122	-0,550	0,128	-0,136	-0,169	0,003	0,000	0,005
Pb	0,963	-0,155	-0,148	0,057	0,098	-0,053	0,049	-0,095	0,004

Vysvětlivky:

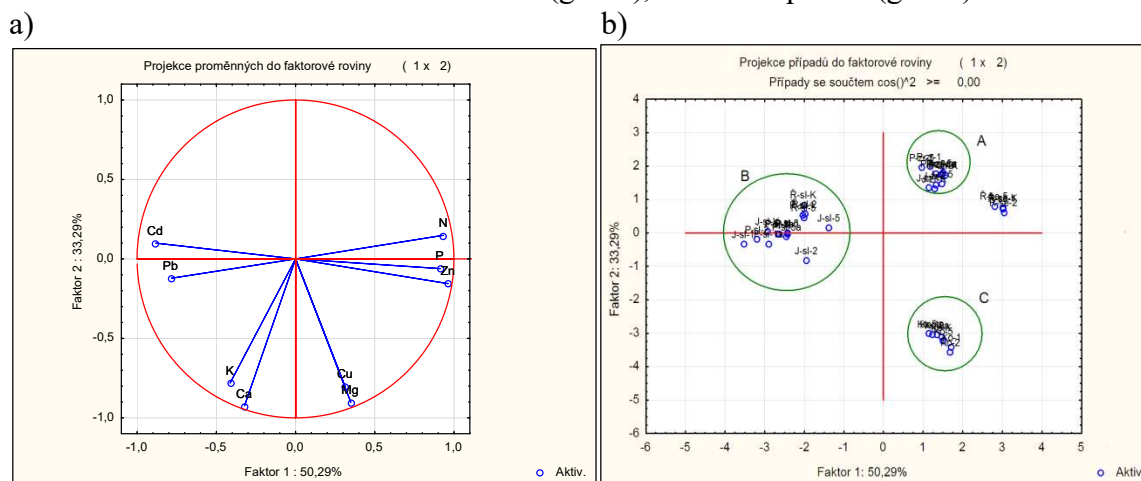
Faktor1 ... první hlavní komponenta

Faktor2, Faktor3, druhá hlavní komponenta, třetí, ...

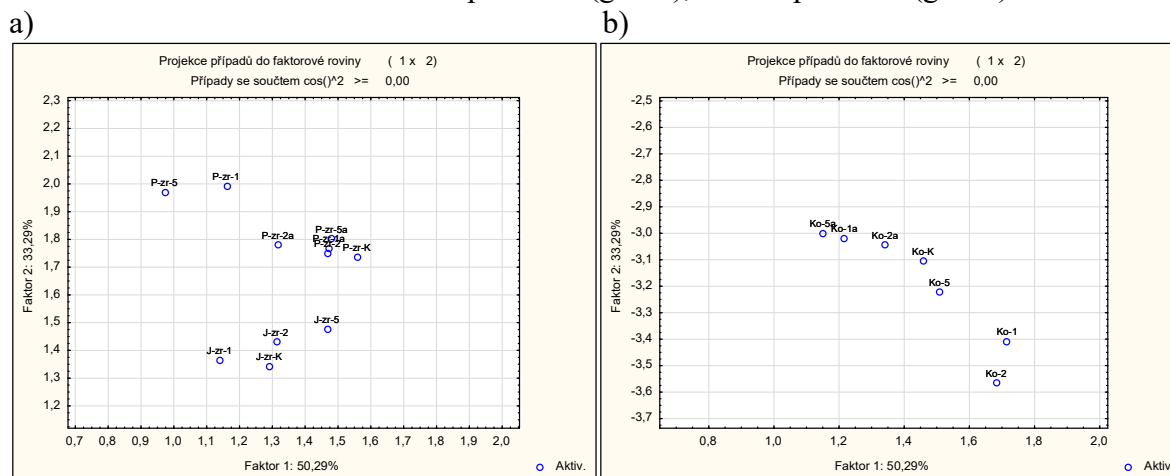
Žlutě podbarvené hodnoty jsou statisticky významné na hladině $p < 0,05$

První hlavní komponenta (Faktor 1) vysvětluje asi 50 % celkové variability v datech. Pozitivně s ní koreluje obsah N, P a Zn v rostlině, tzn., že s narůstající dávkou hnojiva se zvyšuje obsah N, P a Zn v rostlinách a snižuje obsah Cd a Pb. Negativně s ní koreluje obsah Cd a Pb. Mezi těmito skupinami prvků je vysoce negativní korelace. Druhá hlavní komponenta (Faktor 2) vysvětluje asi 33 % celkové variability v datech. Negativně s touto komponentou koreluje obsah K, Ca, Mg a Cu.

Graf 3.1 Rozložení makroelementů a TK (graf a), rozložení plodin (graf b)



Graf 3.2 Detailní zobrazení shluku plodin A (graf a), shluku plodin C (graf b)



Z projekce případů do faktorové roviny (Graf 3.2) vyplynulo, že jednotlivé „plodiny“ byly

rozděleny do tří skupin: zrno (pozitivní korelace s první komponentou) – **shluk A**, sláma (negativní korelace s první komponentou) – **shluk B**, kozlíček (negativní korelace s druhou komponentou) – **shluk C**. V případě slámy se hnojení projevilo pouze u řepky zvýšením obsahu K, Ca, Cu a Mg (korelace s druhou komponentou). U zrna se hnojení projevilo rozdílně u pšenice - poklesem obsahu N, P a u ječmene – nárůstem těchto prvků (Graf 3.2a). U kozlíčku se jinak projevuje hnojení v „a“ kombinaci a jinak v neindexované kombinaci, která se vyznačuje výraznějším rozdílem mezi jednotlivými dávkami Rošťáku (Graf 3.2b). U obou kombinací u kozlíčku je však možno tvrdit, že se zvyšující dávkou hnojiva, se zvyšoval obsah K a snižoval obsah Mg. Obsahy TK jsou mezi kombinacemi vyrovnané.

3.4 Zhodnocení obsahu PAH v rostlinách

Tab.3.4: Obsah PAH v suché hmotě rostlin [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]

Komb.	PAH v suché hmotě [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]																suma	suma	suma
	ANA	ANT	ANY	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	FLU	CHR	IPY	NAP	PHE	PYR	16	12	7
Řepka - semeno																			
Ř-seK	<5	<2	<20	<4	5,45	4,04	4,42	<5	<3	4,46	6,89	<4	<10	5,43	14,0	<2	72,2	51,3	34,3
Ř-se-1	<5	<2	<20	<4	5,71	4,73	4,77	<5	<3	2,50	8,40	<4	<10	6,08	17,1	<2	76,8	54,4	36,4
Ř-se-2	<5	2,22	<20	<4	8,24	6,59	7,36	<5	<3	7,22	15,2	<4	<10	7,30	18,5	4,81	103	73,7	47,5
Ř-se-5	<5	<2	<20	<4	6,45	4,22	7,45	<5	<3	4,82	16,0	<4	<10	9,64	18,1	3,47	96,7	66,7	44,0
Řepka - sláma																			
Ř-sl-K	<5	3,89	<20	<4	4,16	9,65	6,66	<5	<3	18,3	25,1	<4	<10	19,4	49,0	13,0	175	136	98,8
Ř-sl-1	<5	<2	<20	<4	<3	8,14	3,38	<5	<3	14,1	9,28	<4	<10	15,1	27,4	9,38	115	91,5	63,1
Ř-sl-2	<5	2,11	<20	<4	<3	8,39	3,58	<5	<3	19,2	15,2	<4	<10	24,7	38,7	11,9	151	122	90,2
Ř-sl-5	<5	5,20	<20	10,0	7,12	10,7	14,2	<5	<3	31,5	28,5	6,96	<10	64,7	113	21,7	335	293	239
Ječmen - zrno																			
J-zr-K	<5	3,64	<20	<4	<3	8,45	3,16	<5	<3	9,99	21,5	<4	<10	42,3	90,6	7,73	214	179	152
J-zr-1	<5	4,07	<20	4,00	7,45	14,0	2,91	6,73	<3	12,0	24,6	4,82	<10	52,5	117	7,37	277	238	202
J-zr-2	<5	3,01	<20	<4	<3	7,82	<2	<5	<3	8,73	23,9	<4	<10	49,1	111	5,63	237	199	177
J-zr-5	<5	<2	<20	<4	<3	6,61	<2	<5	<3	8,51	17,9	<4	<10	41,1	97,1	5,37	206	174	153
Ječmen - sláma																			
J-sl-K	<5	5,21	<20	5,84	3,56	13,5	3,81	<5	<3	34,6	20,5	5,47	<10	63,1	80,8	19,7	278	243	199
J-sl-1	<5	2,93	<20	7,39	<3	8,58	3,96	<5	<3	42,8	30,2	6,78	<10	68,4	119	21,0	334	290	249
J-sl-2	<5	9,18	<20	12,2	4,19	9,49	13,8	5,97	<3	39,3	40,5	6,57	<10	45,1	168	24,4	398	343	285
J-sl-5	<5	3,21	<20	15,2	3,71	4,50	5,02	<5	<3	33,2	33,2	5,38	<10	50,6	118	20,2	314	267	229
Pšenice - zrno																			
P-zr-K	<5	3,20	<20	<4	<3	6,15	<2	<5	<3	7,45	19,8	<4	<10	41,1	96,5	4,19	206	173	154
P-zr-1	<5	3,66	<20	<4	<3	4,28	<2	<5	<3	6,61	20,2	<4	<10	43,8	101	3,39	211	177	161
P-zr1a	<5	2,14	<20	<4	<3	3,09	2,83	<5	<3	7,69	17,4	<4	<10	45,8	64,5	5,18	176	144	126
P-zr-2	<5	3,51	<20	<4	<3	6,14	<2	<5	<3	8,32	20,1	<4	<10	41,1	98,7	4,29	210	176	157
P-zr2a	<5	4,08	<20	<4	<3	5,51	<2	<5	<3	7,10	20,2	<4	<10	41,2	99,5	4,40	210	176	157
P-zr-5	<5	3,79	<20	<4	<3	5,05	<2	<5	<3	7,41	22,0	<4	<10	44,4	105	4,51	220	184	166
P-zr5a	<5	2,68	<20	<4	<3	6,24	2,14	<5	<3	9,14	22,0	<4	<10	45,6	110	5,64	230	194	173
Pšenice - sláma																			
P-sl-K	<5	10,7	<20	8,01	3,75	11,2	2,37	<5	<3	35,6	38,9	4,21	<10	65,2	155	23,2	380	327	283
P-sl-1	<5	4,38	<20	12,9	3,42	9,32	5,99	9,37	<3	33,2	27,8	5,68	<10	35,9	112	20,6	300	258	208
P-sl1a	<5	12,3	<20	5,50	<3	10,5	<2	<5	<3	45,7	51,0	5,08	<10	89,5	114	26,3	384	319	274
P-sl-2	<5	12,7	<20	<4	3,66	11,4	4,17	<5	<3	42,6	57,0	6,15	<10	98,7	125	27,8	413	342	291
P-sl2a	5,21	11,1	<20	<4	3,84	10,5	2,76	<5	<3	36,2	55,5	5,43	<10	93,6	175	21,0	441	369	327
P-sl-5	6,88	11,8	<20	4,34	3,48	9,41	4,44	<5	<3	41,1	53,2	5,00	<10	99,2	180	22,0	460	388	345
P-sl5a	5,61	11,8	<20	4,11	<3	7,68	4,08	<5	<3	35,8	51,6	5,73	<10	92,5	210	21,1	471	402	361
Kozlíček polníček																			
Ko-K	<5	<2	<20	<4	5,71	4,43	10,7	6,81	<3	25,7	18,3	4,42	<10	13,8	88,7	15,4	216	184	141
Ko-1	<5	9,42	<20	6,55	10,8	12,6	14,2	11,1	3,05	27,1	20,0	7,74	<10	20,8	95,5	20,0	276	241	178
Ko-1a	<5	5,66	<20	<4	3,15	3,42	9,73	5,64	<3	29,1	21,8	4,29	<10	14,3	96,1	16,8	231	195	155
Ko-2	<5	3,92	<20	<4	5,55	<3	4,96	9,30	<3	26,1	11,0	4,96	<10	16,9	87,7	16,5	209	184	147
Ko-2a	<5	4,65	<20	<4	7,03	8,27	11,2	10,1	<3	32,2	29,1	5,94	<10	15,1	89,6	17,8	252	209	157
Ko-5	5,73	5,09	<20	6,74	8,31	9,84	11,1	8,09	<3	42,1	37,4	10,3	<10	14,9	110	26,9	313	258	197
Ko-5a	<5	4,16	<20	<4	4,02	3,95	2,32	8,97	<3	38,7	24,6	5,56	<10	14,0	104	21,8	253	215	172

Vysvětlivky: viz. Tab.3.2 a Tab.3.1

3.5 Analýza hlavních komponent PAH v rostlinách

Proměnné ANY, IPY nevykazují žádný rozptyl, proto byly z analýzy vypuštěny.

Tab.3.5: Faktorové souřadnice proměnných podle korelací

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Faktor 7	Faktor 8
ANA	-0,563	-0,145	-0,170	0,641	0,263	0,257	0,126	0,252
ANT	-0,876	-0,094	-0,287	0,035	-0,051	-0,127	-0,231	-0,066
BAA	-0,529	0,306	0,416	-0,487	0,061	0,404	0,051	0,121
BAP	-0,059	0,855	-0,222	0,132	0,271	0,060	0,040	-0,182
BBF	-0,591	0,137	-0,416	-0,429	0,335	-0,194	0,320	0,001
BKF	-0,214	0,832	0,078	0,053	0,220	0,168	-0,248	-0,202
BPE	-0,163	0,784	0,086	0,217	-0,424	-0,159	0,267	-0,074
DBA	-0,106	0,574	-0,621	-0,186	-0,364	0,167	-0,158	0,221
FLT	-0,873	0,222	0,267	0,026	0,023	-0,259	-0,098	0,170
FLU	-0,915	-0,239	-0,045	0,099	0,113	-0,070	-0,110	-0,074
CHR	-0,773	0,542	0,145	0,066	0,031	-0,042	0,095	0,095
NAP	-0,755	-0,565	-0,158	-0,162	0,044	0,025	-0,025	-0,037
PHE	-0,868	-0,255	0,019	0,095	-0,263	0,205	0,119	-0,171
PYR	-0,874	0,288	0,218	-0,020	0,030	-0,245	-0,122	0,138
S16	-0,984	-0,142	0,006	0,004	-0,066	0,041	0,013	-0,066
S12	-0,981	-0,128	0,018	-0,017	-0,094	0,053	0,029	-0,068
S7	-0,954	-0,240	0,006	-0,011	-0,116	0,088	0,036	-0,077

Vysvětlivky:

Faktor1...první hlavní komponenta

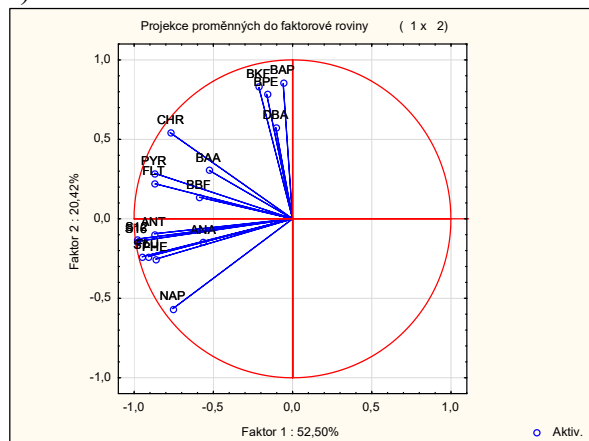
Faktor2, Faktor3, druhá hlavní komponenta, třetí, ...

Žlutě podbarvené hodnoty jsou statisticky významné na hladině $p < 0,05$

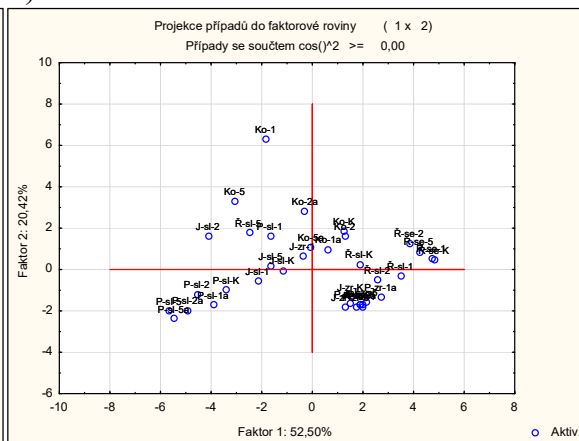
S16, S12, S7 ... Suma 16 PAH, suma 12 PAH, suma 7 PAH

Graf 3.3 Rozložení jednotlivých PAH (graf a), rozložení plodin (graf b)

a)



b)

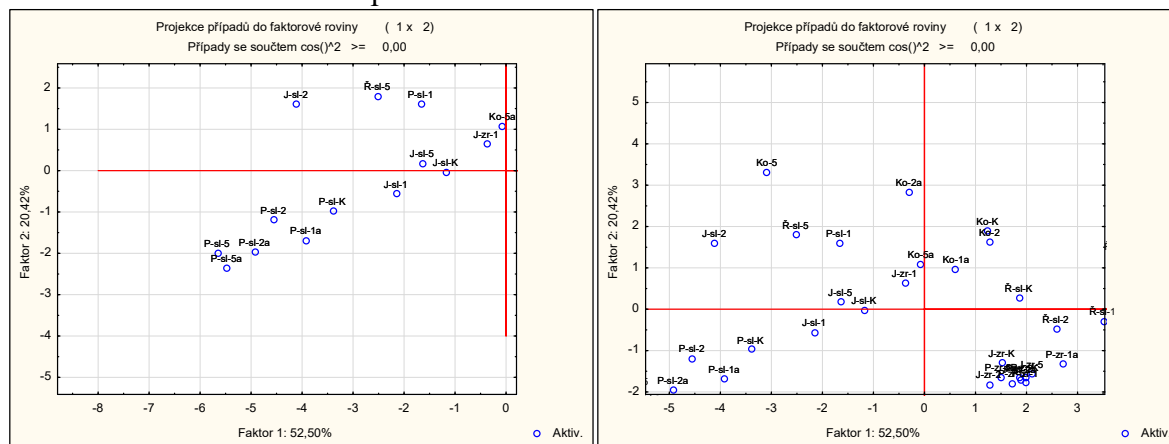


První komponenta (Faktor 1) vysvětluje asi 53 % celkové variability v datech. Negativně s ní korelují proměnné ANT, BAA, BBF, FLT, FLU, CHR, NAP, PHE, PYR, S16, S12 a S7. Druhá hlavní komponenta (Faktor 2) vysvětluje asi 20 % celkové variability v datech. Pozitivně s ní korelují proměnné BAP, BKF, BPE. Z projekce případů do faktorové roviny vyplynulo rozdělení plodin na slámu (negativní korelace s první hlavní komponentou) a zrna (pozitivní korelace s první komponentou). Ve slámě jsou tedy zjištěny vyšší hodnoty parametrů ANT, BAA, BBF, FLT, FLU, CHR, NAP, PHE, PYR, S16, S12 a S7 než v zrna. U pšeničné slámy hnojení zvýšilo hodnoty parametrů ANT, FLU, PHE a NAP. U pšeničného zrna pak hodnoty parametrů ANT, FLU a PHE. V ječné slámě se zvýšily hodnoty CHR, PYR a FLT. V zrna ječmene nejsou zjištěny výrazně odlišné hodnoty parametrů po různých dávkách hnojení, kromě dávky 1 t/ha, kde jsou vyšší hodnoty BAP, BBF, BPE, FLT a CHR. V semenu řepky došlo v důsledku hnojení ke zvýšení hodnot zejména BKF, FLU, NAP, PHE a PYR. U kozlíčku se hnojení projevilo

zvýšením hodnoty zejména FLT, FLU a PHE.

Nejvíce se z individuálních PAH na toxicitě podílí BAP a DBA. Nejvyšší množství BAP vykázala semena řepky a kozlíček. Možnou příčinou je, že jsou tyto látky vázány na složky obsahující lipidy – což je tuk v semeni a lipidová vrstva chránící kutikulu.

Graf 3.4 Detailní zobrazení plodin



Jaký vliv na obsah PAH v rostlinách mělo opakované hnojení Rošťákem v 2. roce v porovnání s kombinacemi hnojenými jen v 1. roce?

Vliv na zrno pšenice:

Opakované hnojení snížilo obsah sumy 16 PAH o 16,6 % v případě dávky 1 t/ha, dávka 2 t/ha vykázala stejnou hodnotu, dávka 5 t/ha zvýšila obsah o 4,6 %.

Vysvětlení těchto hodnot může být dáno faktem, že velké molekuly PAH nejsou tolik transportovatelné rostlinou, takže se zvýšení obsahu v půdě výrazněji neprojeví na obsahu v konzumní části.

Vliv na slámu pšenice:

Opakované hnojení zvýšilo obsah sumy 16 PAH u všech tří dávek a to o 28 % v případě dávky 1 t/ha, o 6,8 % u dávky 2 t/ha a o 2,4 % u dávky 5 t/ha.

Možnou příčinou zvýšení hodnot u opakované aplikace hnojiva ve 2. roce je volatilizace PAH z půdy na nadzemní části rostlin. Další možností je bohatý kořenový systém čeledi Poaceae, do které patří obiloviny, díky kterému tyto rostliny z půdy získají více látek než ostatní plodiny.

Vliv na kozlíček:

Opakované hnojení nezvýšilo obsah sumy 16 PAH u první a třetí dávky (1 a 5 t/ha). K navýšení došlo pouze u dávky druhé – 2 t/ha a to o 21 %. Příčinou může být krátká vegetační doba a tím kratší působení PAH v půdě a PAH z půdy vypařované. Sklizeň se prováděla zhruba o měsíc dříve než u ostatních plodin.

3.6 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 (NISBET, 1992; LARSEN et LARSEN, 1998).

Celkový toxický ekvivalent směsi PAH se vyjadřuje pomocí hodnoty TTEC (Total Toxicity Equivalent Concentration) (NIELSEN 1996; YUO et al 2007). TTEC je vypočítán jako suma součinu koncentrací jednotlivých složek směsi a příslušného TEF. Lze tedy stanovit, která z látek ve směsi se na celkové karcinogenitě podílí významně a které jsou zanedbatelné.

Tab.3.6: Vybrané deriváty PAH, faktor toxického ekvivalentu TEF

Analyt	PHE	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	IPY
TEF	0,001	0,010	0,001	0,001	0,100	0,010	0,100	0,100	1,000	1,000	0,010	0,100

Tab.3.7: Vybrané PAH, výpočet sumy TTEC v plodinách

Pokusné plodiny	Suma TTEC						
	1.Kontrola	2.R 1	2a.R 1	3.R 2	3a.R 2	4.R 5	4a.R 5
Řepka-semeno	8,57	8,94	-	11,9	-	9,90	-
Řepka-sláma	8,16	4,96	-	5,03	-	12,9	-
Ječmen-zrno	5,05	11,8	-	4,78	-	4,63	-
Ječmen-sláma	8,14	5,80	-	10,2	-	8,46	-
Pšenice-zrno	4,60	4,42	4,44	4,61	4,55	4,51	4,74
Pšenice-sláma	8,30	8,60	5,59	7,83	7,79	7,74	4,55
Kozlíček	9,68	18,1	6,96	8,71	11,5	13,5	7,20

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 i v druhém roce pokusu

Suma TTEC (tab.3.7) byla vypočítána za pomoci toxického ekvivalentu TEF (tab 3.6) a hodnot individuálních PAH (tab.3.4). Suma TTEC dosáhla nejnižších hodnot u zrna ječmene bez rozdílů mezi kombinacemi. Nejvyšší toxicita byla zjištěna u kozlíčku a to v kombinaci, která byla Rošťákem hnojená pouze v prvním roce v dávce hnojiva 1 t/ha. Druhou nejvyšší hodnotu vykázalo také hnojení u kozlíčku a to také v prvním roce, dávkou 5 t/ha.

Jako nejpravděpodobnější cesta vstupu PAH do pěstovaných plodin se jeví vstup prostřednictvím atmosféry. PAH jsou samozřejmou součástí „běžné“ atmosféry, navíc dochází k těkání PAH obsažených v hnojivu z půdy do přízemních vrstev atmosféry a odtud k jejich vazbě do rostlinných pletiv. Toto je podporováno výsledky analýzy slámy a zrna ječmene.

3.7 Zhodnocení agrochemických rozborů půdních vzorků

V průměrných vzorcích půdy odebraných po sklizni plodin z každé varianty hnojení bylo stanoveno pH/CaCl₂, přístupné živiny P, K, Ca, Mg metodou Mehlich III, těžké kovy (TK) v 2M HNO₃ a PAH.

Analýzy byly provedeny v NRL ÚKZÚZ Brno v období srpen - prosinec 2012 podle Jednotných pracovních postupů Analýza půd I. a II.: ÚKZÚZ, J. ZBÍRAL 1995.

Tab.3.8: Obsah přístupných živin a těžkých kovů (TK) ve vzorcích půdy s udáním limitního obsahu TK podle platné vyhlášky (údaj napsaný v závorce)

Kombinace hnojení	Obsah přístupných živin Mehlich III [mg.kg ⁻¹]					Obsah TK stanovený v 2M HNO ₃ [mg.kg ⁻¹]			
	pH/ CaCl ₂	P	K	Mg	Ca	Cd (2)	Cu (150)	Pb (100)	Zn (600)
Po řepce									
1.Kontrola	6,2	92,8	175	333	3610	0,18	9,74	15,2	17,1
2.Rošťák 1t/ha	6,5	98,6	186	331	3740	0,20	10,9	15,6	19,4
3.Rošťák 2t/ha	6,3	107	150	333	3440	0,18	10,2	15,6	17,4
4.Rošťák 5t/ha	6,6	105	188	349	3730	0,21	10,6	15,3	19,3
Po ječmeni									
1.Kontrola	6,0	103	151	282	3100	0,18	10,2	17,3	17,1
2.Rošťák 1t/ha	6,0	108	146	275	3080	0,18	9,78	16,6	16,0
3.Rošťák 2t/ha	5,8	99,7	121	272	3080	0,18	10,2	16,0	17,3
4.Rošťák 5t/ha	5,8	97,6	133	288	3280	0,19	10,2	16,8	16,8
Po pšenici									
1. Kontrola	5,9	133	203	289	3440	0,18	10,2	18,3	16,7
2. Rošťák 1 t/ha	6,1	149	190	284	3210	0,19	10,1	20,3	18,6
2a. Rošťák 1 t/ha	6,0	115	192	271	3020	0,19	10,2	16,8	17,4
3. Rošťák 2 t/ha	6,1	154	176	283	3160	0,19	10,6	18,9	19,3
3a. Rošťák 2 t/ha	6,2	189	210	290	3240	0,19	10,4	17,2	16,7
4. Rošťák 5 t/ha	6,1	156	199	291	3190	0,19	10,4	17,0	17,1
4a. Rošťák 5 t/ha	6,2	138	309	299	3150	0,20	10,5	17,1	18,6
Po kozlíčku									
1. Kontrola	5,9	74,2	178	268	3020	0,19	9,57	14,9	17,3
2. Rošťák 1 t/ha	5,9	81,4	182	265	3010	0,18	9,12	14,4	20,8
2a. Rošťák 1 t/ha	5,9	124	205	266	3060	0,19	9,10	14,5	17,8
3. Rošťák 2 t/ha	5,9	82,8	175	271	3020	0,18	9,66	15,0	17,3
3a. Rošťák 2 t/ha	6,0	114	235	274	3050	0,21	9,97	15,3	18,7
4. Rošťák 5 t/ha	6,1	86,1	196	285	3130	0,18	9,37	14,9	20,8
4a. Rošťák 5 t/ha	6,3	160	326	289	3130	0,20	9,81	15,0	24,1
Výchozí obsah	7,4	10,6	130	346	5030	0,17	8,53	13,5	14,5

3.8 Analýza hlavních komponent – anorganické rozbory půdy

Do analýz byly zařazeny pouze vzorky půdy s aplikovaným hnojivem Rošťák

Tab.3.9: Faktorové souřadnice proměnných podle korelací

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Faktor 7	Faktor 8	Faktor 9
pH _{CaCl2}	0,920	0,038	0,227	0,136	-0,011	0,155	-0,031	0,228	0,076
P _{MIII}	0,398	0,254	-0,774	0,219	-0,253	0,201	0,130	-0,089	-0,018
K _{MIII}	0,398	0,816	-0,166	0,050	-0,227	-0,235	-0,195	-0,004	0,016
Mg _{MIII}	0,825	-0,365	0,364	0,136	-0,097	-0,048	-0,023	0,028	-0,146
Ca _{MIII}	0,770	-0,465	0,309	0,121	-0,056	-0,161	0,137	-0,162	0,086
Cd _{HNO3}	0,657	0,438	-0,043	-0,580	0,043	-0,032	0,187	0,030	-0,020
Cu _{HNO3}	0,712	-0,382	-0,413	-0,233	0,190	0,106	-0,249	-0,117	0,009
Pb _{HNO3}	0,149	-0,315	-0,856	0,156	0,238	-0,211	0,073	0,125	-0,008
Zn _{HNO3}	0,302	0,759	0,252	0,288	0,418	0,040	0,038	-0,086	-0,020

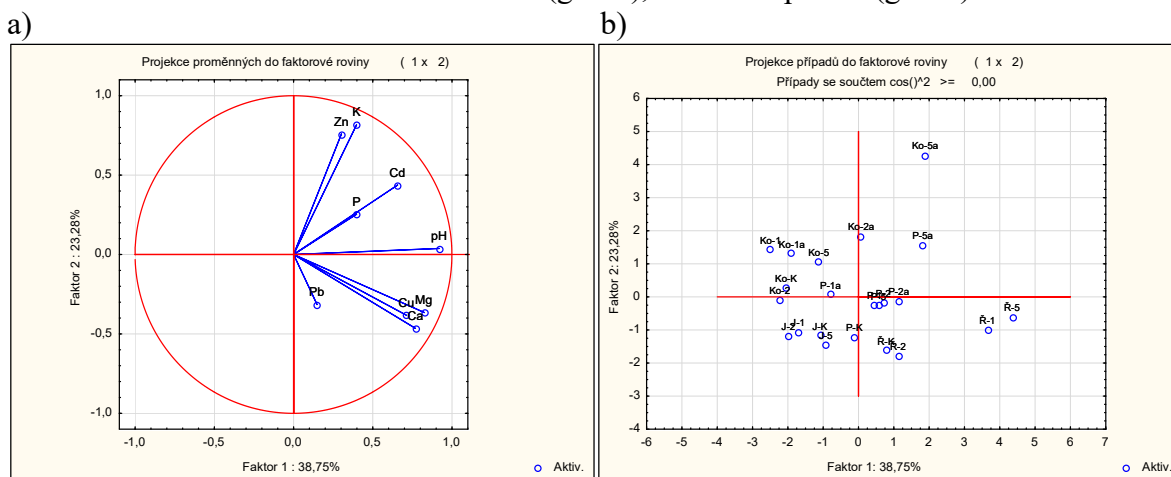
Vysvětlivky:

Faktor1...první hlavní komponenta

Faktor2, Faktor3, ... druhá hlavní komponenta, třetí, ...

Žlutě podbarvené hodnoty jsou statisticky významné na hladině p<0,05

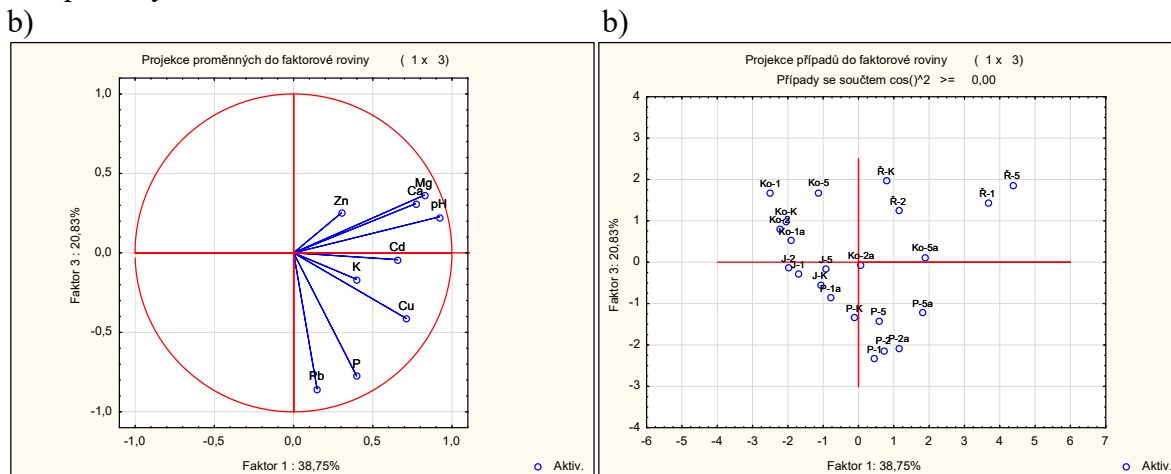
Graf 3.5 Rozložení makroelementů a TK (graf a), rozložení plodin (graf b)



První hlavní komponenta (Faktor 1) vysvětluje asi 39 % celkové variability v datech. S touto komponentou pozitivně koreluje hodnota pH a obsah Cd, Cu, Mg a Ca. Mezi obsahem Cu, Mg a Ca byla zjištěna vysoce pozitivní korelace. Druhá hlavní komponenta (Faktor 2) vysvětluje asi 23 % celkové variability v datech. S touto komponentou pozitivně koreluje obsah Zn a K (mezi těmito prvky je opět vysoce pozitivní korelace).

Projekce případů do faktorové roviny ukazuje, že vliv hnojiva se projevuje u kozlíčku (kombinace 2a a 5a), u pšenice (kombinace 5a) a u řepky (kombinace 1 a 5), kdy s vyšší dávkou hnojiva se zvyšuje pH půdy a obsah K, Zn a Cd v půdě.

Graf 3.6 Rozložení makroelementů a TK (graf a), rozložení plodin (graf b) podle třetí hlavní komponenty



Třetí hlavní komponenta (faktor 3) vysvětluje asi 21 % celkové variability v datech. Negativně s touto komponentou koreluje obsah Pb a P v půdě.

Z projekce proměnných do faktorové roviny není vliv hnojení na obsah Pb a P v půdě zcela zřejmý.

3.9 Zhodnocení obsahu PAH v půdě

Tab.3.9: PAH v půdě po sklizni plodin [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]

Komb.	PAH v suché hmotě [$\mu\text{g.kg}^{-1}$]																suma	suma	suma
	ANA	ANT	ANY	BAA	BAP	BBF	BKF	BPE	DBA	FLT	FLU	CHR	IPY	NAP	PHE	PYR	16	12	7
Po řepce																			
1.K	<5	<2	<20	13,8	13,0	13,7	7,34	6,04	8,71	26,3	<4	9,33	11,6	10,3	17,0	22,8	175	152	90,7
2.R1	<5	2,47	<20	20,2	20,1	17,7	9,13	20,7	8,27	37,3	<4	14,0	18,9	12,9	23,0	39,9	259	236	130
3.R2	<5	4,19	<20	23,4	33,1	22,3	12,6	53,4	5,18	66,2	<4	19,2	25,1	13,3	30,1	65,6	388	368	189
4.R5	<5	4,29	<20	18,2	32,3	24,1	11,6	54,2	4,00	58,2	<4	12,8	31,0	20,4	35,5	70,8	392	373	182
Po ječmeni																			
1.K	<5	<2	<20	8,10	10,2	10,6	5,20	7,10	<3	20,6	<4	10,0	<10	6,64	9,72	15,6	126	110	66,3
2.R1	<5	<2	<20	10,4	17,4	16,1	7,21	25,8	<3	35,9	<4	13,9	17,3	9,71	18,0	33,8	223	207	106
3.R2	<5	2,67	<20	11,6	22,3	20,0	9,09	40,7	<3	49,6	<4	15,3	24,5	12,2	23,6	50,7	298	282	137
4.R5	<5	5,33	<20	19,9	39,9	34,6	16,0	82,3	<3	96,2	<4	25,2	46,2	23,1	46,6	103	554	538	256
Po pšenici																			
1.K	<5	<2	<20	9,33	10,2	11,8	5,43	6,42	<3	21,5	<4	11,6	<10	10,2	10,8	17,2	136	120	74,6
2.R1	<5	<2	<20	10,7	15,9	15,2	6,75	23,2	<3	35,3	<4	13,1	19,3	14,0	17,8	35,3	224	208	108
2a.R1	<5	6,06	<20	19,3	30,7	25,7	12,2	49,7	<3	71,2	4,84	23,2	28,7	21,8	43,3	71,8	423	404	216
3.R2	<5	3,65	<20	15,5	27,9	23,5	10,8	50,9	<3	61,7	4,56	18,7	28,1	18,3	35,2	63,3	376	358	181
3a.R2	<5	7,72	<20	21,5	61,3	45,0	20,9	134	<3	138	<4	28,5	71,3	49,9	75,2	161	830	814	382
4.R5	<5	6,25	<20	19,4	49,4	37,5	17,5	104	<3	107	<4	25,2	55,0	29,6	53,8	122	642	626	291
4a.R5	<5	9,85	<20	23,2	69,1	47,1	21,9	145	<3	148	<4	30,5	74,8	52,5	83,7	180	902	886	417
Po kozlíčku																			
1.K	<5	<2	<20	11,4	10,4	11,6	5,50	5,54	<3	19,9	<4	8,93	<10	9,70	16,5	15,8	137	121	77,8
2.R1	<5	2,93	<20	19,6	32,0	28,5	13,4	60,3	<3	68,7	<4	21,8	36,6	19,5	35,0	75,5	430	414	200
2a.R1	<5	6,77	<20	20,7	47,6	34,2	15,7	88,6	<3	102	<4	24,1	49,4	47,8	62,1	121	636	620	311
3.R2	<5	<2	<20	11,4	17,9	16,3	7,32	28,3	<3	38,0	5,54	13,3	18,5	12,8	23,1	39,9	247	228	118
3a.R2	<5	8,42	<20	35,0	67,4	49,1	22,7	137	<3	155	4,98	35,1	71,5	70,2	94,4	186	963	932	466
4.R5	5,73	4,81	<20	22,7	44,1	40,6	18,7	102	<3	106	5,99	30,6	57,5	24,3	52,7	121	645	625	285
4a.R5	<5	20,7	<20	47,7	115	83,0	37,7	239	3,33	323	6,08	53,8	123	169	205	393	1908	1810	934

Vysvětlivky

1.K ... 1.Kontrola

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 i v druhém roce pokusu

3.10 Analýza hlavních komponent PAH v půdě

Tab.3.10: Faktorové souřadnice proměnných podle korelací

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5	Faktor 6	Faktor 7	Faktor 8
ANT	-0,982	-0,050	-0,051	0,055	0,011	0,129	0,106	-0,012
ANY	-0,823	-0,228	0,276	0,430	-0,025	-0,084	0,028	-0,037
BAA	-0,940	-0,196	0,063	-0,142	-0,227	0,027	-0,045	-0,023
BAP	-0,987	-0,021	-0,128	-0,071	0,019	0,041	-0,020	-0,024
BBF	-0,990	0,052	-0,075	-0,086	0,018	-0,047	0,005	-0,001
BKF	-0,987	0,008	-0,089	-0,118	-0,004	-0,037	0,019	-0,019
BPE	-0,977	0,099	-0,142	-0,107	0,048	-0,014	-0,016	-0,035
DBA	0,110	-0,971	0,075	-0,190	0,063	-0,009	0,009	0,010
FLT	-0,998	0,000	-0,033	0,027	0,019	-0,015	0,019	-0,002
FLU	-0,515	0,228	0,799	-0,203	0,049	0,018	-0,004	-0,005
CHR	-0,976	0,111	0,005	-0,118	-0,077	-0,067	0,076	0,070
IPY	-0,975	0,076	-0,136	-0,124	0,071	-0,047	-0,030	0,000
NAP	-0,964	-0,091	0,058	0,217	0,015	0,046	-0,076	0,058
PHE	-0,993	-0,043	0,026	0,090	0,021	0,040	-0,020	0,017
PYR	-0,998	-0,006	-0,039	0,032	0,032	-0,006	-0,010	-0,006
S16	-0,999	-0,006	-0,034	0,015	0,020	-0,004	-0,010	-0,002
S12	-0,998	0,008	-0,050	-0,001	0,021	-0,001	-0,011	0,000
S7	-0,998	-0,028	-0,010	0,048	0,002	0,018	-0,010	0,013

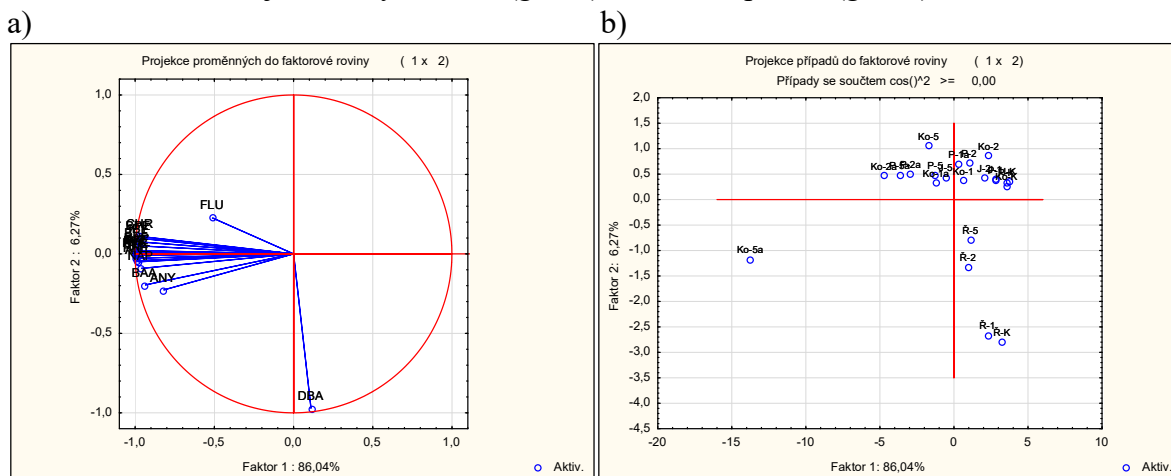
Vysvětlivky.

Faktor1...první hlavní komponenta

Faktor2...druhá hlavní komponenta

S16, S12, S7 ... Suma 16 PAH, suma 12 PAH, suma 7 PAH

Graf 3.7 Rozložení jednotlivých PAH (graf a), rozložení plodin (graf b)



První hlavní komponenta vysvětluje asi 86 % celkové variability v datech. Negativně s ní koreluje většina sledovaných parametrů (kromě FLU a DBA). Mezi těmito parametry je silně pozitivní korelace.

Druhá hlavní komponenta vysvětluje asi 6 % celkové variability v datech. Negativně s ní koreluje proměnná DBA.

Z projekce případů do faktorové roviny vyplynulo, že u ječmene, pšenice a kozlíčku měly zvyšující se dávky hnojiva vliv na zvýšení obsahu jak sumy PAH, tak většiny individuálních PAH v půdě. U řepky vedla aplikace hnojiva k poklesu obsahu DBA v půdě.

3.11 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 stanovit, která z látek ve směsi se na celkové karcinogenitě podílí významně a které jsou zanedbatelné.

Tab.5.5: Vybrané deriváty PAU, faktor toxického ekvivalentu TEF

Analyt	PHE	ANT	FLT	PYR	BAA	CHR	BBF	BKF	BAP	DBA	BPE	IPY
TEF	0,001	0,010	0,001	0,001	0,100	0,010	0,100	0,100	1,000	1,000	0,010	0,100

Tab.5.6: Vybrané PAH, výpočet sumy TTEC v půdě po zkoušených plodinách

Půda po plodinách	Suma TTEC						
	1.Kontrola	2.R 1	2a.R 1	3.R 2	3a.R 2	4.R 5	4a.R 5
Po řepce	26,6	35,4	-	47,6	-	45,7	-
Po ječmeni	14,8	24,5	-	31,0	-	54,4	-
Po pšenici	15,1	23,1	41,8	38,1	80,8	65,4	89,6
Po kozlíčku	15,5	44,3	62,6	25,3	89,0	61,2	151

Stupňování Rošťáku se projevilo postupným vzestupem sumy TTEC v půdě (tab.5.6) u všech plodin. Nejvyšší nález tohoto ekvivalentu byl zjištěn po kozlíčku při dávce 2 t/ha a 5 t/ha aplikované i v druhém roce. Z výsledků je zřejmé, že úmyslné překročení doporučené dávky hnojiva, které teoreticky simuluje tento pokus vede k vyšší karcinogenitě sloučenin PAH. Otázkou k diskusi zůstává i možnost každoroční aplikace hnojiva a šetření obsahu PAH v dalších pokusných letech.

6 ZÁVĚR

Vliv na výnos:

Dávka 1 t/ha zvýšila výnos u semene řepky o 17 % a u zrna ječmene o 6 %. Rovněž tato dávka navýšila výnos slámy řepky (o 14 %) i slámy ječmene (o 8 %). Opakovaná aplikace hnojiva Rošťák ve 2. pokusném roce podpořila výnos zrna pšenice. Došlo ke zvýšení o 10 % (dávka 1 t/ha) a o 14 % (dávka 2 t/ha). Dávka 5 t/ha měla vliv na výnos slámy pšenice a kozlíčku.

Vliv na obsah prvků v plodinách:

Prvky N, P a Zn pozitivně korelovaly s první hlavní komponentou. Jejich obsah se zvyšoval s narůstající dávkou hnojiva Rošťák. Negativně s touto komponentou koreloval obsah Cd a Pb, což znamenalo snižování těchto prvků v rostlinách s rostoucí dávkou hnojiva. U zrna se hnojení projevilo rozdílně. U pšenice poklesl obsah N i P a u ječmene narostl. Obsah Cd a Pb byl nižší v semeni, zrnu a kozlíčku než ve slámě. Obsahy Cu a Zn byly vyšší v semeni, zrnu a kozlíčku než ve slámě.

Vliv na obsah PAH v plodinách:

Nejvyšší množství BAP vykazala semena řepky a kozlíček. Suma TTEC dosáhla nejnižších hodnot u zrna ječmene. Nejvyšší toxicita byla zjištěna u kozlíčku hnojeného pouze v prvním roce dávkou hnojiva Rošťák 1 t/ha. Druhou nejvyšší hodnotu vykazalo také hnojení u kozlíčku a to také v prvním roce, dávkou 5 t/ha. Simulovaná zátěž opakované aplikace Rošťáku ve druhém pokusném roce nepotvrdila očekávaná zvýšený nárůst PAH v rostlinných produktech.

Vliv na obsah prvků a PAH v půdě:

Dávka hnojiva měla vliv na zvyšující se pH a obsah K, Zn a Cd.

Rovněž se zvyšoval obsah PAH. Po pšenici u kombinací hnojených jen v prvním roce bylo zjištěno 1,7x více sumy 16 PAH po hnojení 1 t/ha, 2,8x více po hnojení 2 t/ha a 4,7x více po hnojení 5 t/ha v půdě oproti kontrole. U kombinací opakovaně hnojených i v druhém roce bylo zjištěno další navýšení v půdě a to na 3,1x více po hnojení 1 t/ha, 6,1x více po hnojení 2 t/ha a 6,6x více po hnojení 5 t/ha oproti kontrole.

Nicméně při porovnání hodnot sumy 7 PAH s limitními obsahy, které udává vyhláška č. 13/1994 Sb., tyto většinou nedosahují ani poloviny limitní hodnoty. Limitní hodnota činí 1000 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ půdy.

Obsahy rizikových látek v hnojivu Rošťák:

Obsah těžkých kovů v hnojivu podle nového návrhu vyhlášky 474/2000 Sb. **splňuje** zákonem stanovené limity v $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny popele 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 **173,5** mg/kg. Limitní hodnota je 100 mg/kg.

7 POUŽITÁ LITERATURA

1. Hendl J. (2004): Přehled statistických metod zpracování dat. Portál, 583 s.
2. Holoubek I.: Chemie životního prostředí IV. Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs). Brno, 2005. <http://recetox.muni.cz/index.php?id=23>
3. Larsen, J.C., Larsen, P. B. (1998): Chemical carcinogens. Air Pollut. Health 1998.s.33-56
4. Meloun, M. (2011): Počítačová analýza vícerozměrných dat v oborech přírodních, technických a společenských věd. Učební texty ke kurzu.
5. 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.
6. Nařízení komise (ES) č.1181/2006 kterým se stanoví maximální limity kontaminujících látek v potravinách
7. Němeček J., Podlešáková E., Pastuszková M. (1996): Rostlinná Výroba 42, 49
8. NISBET, I.C. LaCoy, P.K.: Toxic equivalency factors(TEFs) for polycyclic aromatics hydrocarbons (PAHs). Regul. Toxicol. Prarmacol. 3,1992, s-290-300
9. Pryček J., Seifertová M., Paul T., Vyhnálek R., Černá M., Trojáková L., Trešl T. (2011): Výskyt polycyklických aromatických uhlovodíků a jejich derivátů v ovzduší vybraných lokalit České republiky. Ochrana ovzduší 5-6/2011
10. 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
11. Výskyt polycyklických aromatických uhlovodíků a jejich derivátů v ovzduší vybraných lokalit České republiky, Ochrana ovzduší 5-6/1011