

Č.j.: UKZUZ 159546/2025

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

Oddělení výživy rostlin



Zvyšování výnosu a obsahu P v půdě rostoucí dávkou P

Zpráva o výsledcích dlouhodobé polní zkoušky „Sledování vlivu stupňované intenzity hnojení na výnosy plodin, na agrochemické vlastnosti půd a na bilanci živin“

Zpracoval: Ing. Jaroslav Hynšt, Ph.D.
Markéta Vodáková

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

Předkládá: Ing. Josef Svoboda, Ph.D.
ředitel Sekce zemědělských vstupů

Brno, září 2025

1. Úvod

Název zkoušky: Vliv rostoucí dávky fosforu na jeho obsah v půdě a odběr výnosem

Účel zkoušky: Fosfor je jednou ze základních živin a je považován za prvek limitující výnos. V dlouhodobém stacionárním pokusu je sledován vliv dlouhodobé aplikace hnojiv v půdě na obsah živin v půdě, výnos plodin a odběr výnosem. Data z vybraných variant pokus byla použita ke stanovení vlivu dávky P na výnos, odběr P a obsah P v půdě.

Cíle zkoušky: zjistit, jak rostoucí vstupy fosforu do půdy v hnojivech ovlivní výnos pěstovaných plodin a následně jeho obsah v půdě.

Hypotézy a očekávané výsledky:

- S rostoucí dávkou P roste obsah P v půdě, výnos plodin a odběr P výnosem.

Druh zkoušky: dlouhodobá polní zkouška

Období předkládání zpracování dat: 1977 - 2018

2. Materiál a metody

2.1 Osevní postup a varianty hnojení dlouhodobé polní zkoušky

Dlouhodobá polní zkouška sleduje závislost mezi stupňovanou intenzitou hnojení, dosahovanou výrobností osevního sledu a změnami základních agrochemických vlastností půd. Na základě dodaných a odčerpaných živin je vypočítána bilance živin a hodnocen vliv použitých hnojiv na kvalitu produkce.

Zkouška byla založena na 10 stanicích ÚKZÚZ (tab. 1). Zakládání bylo postupné, první sledování bylo započato v roce 1972 v Uherském Ostrohu a Žatci, poslední zkouška byla založena v roce 1990 ve Věrovanech. První dva osevní sledy byly devítihonné, další osmihonné. V tab. 2 je uveden osevní sled dlouhodobé zkoušky.

Tab. 1 Půdní a klimatická charakteristika jednotlivých pokusných stanic

zkušební stanice	zkratka	výrobní oblast	rok založení zkoušky	nadmořská výška (m)	Průměrné srážky (mm)	Průměrná teplota (°C)	půdní typ	půdní druh
Horažďovice	HOR	BVO	1978	472	585	7,8	KA	HP
Hradec n. S.	HRA	BVO	1981	460	599	7,5	HN	H
Chrastava	CHT	BVO	1977	345	738	8,0	HN	H
Jaroměřice	JAR	BVO	1975	425	481	8,0	HN	JH
Lípa	LIP	BVO	1974	505	594	7,5	KA	PH
P. Jakartice	PJA	ŘVO	1979	290	548	8,3	LU	H
Staňkov	STV	BVO	1981	370	537	8,1	HN	H
Uh. Ostroh	UHO	ŘVO	1972	196	521	9,2	KM	H
Věrovary	VER	ŘVO	1990	207	502	8,7	CE	H
Vysoká	VYS	BVO	1983	595	611	7,1	KA	H
Žatec	ZAT	ŘVO	1972	247	451	8,3	CE	H

BVO – bramborářská výrobní oblast

ŘVO – řepářská výrobní oblast

Tab. 2 Osevní sled dlouhodobé polní zkoušky

Pokusné roky	výrobní oblast řepařská (ŘVO)	výrobní oblast bramborářská (BVO)
1	vojtěška	jetel
2	vojtěška	jetel
3	pšenice ozimá	pšenice ozimá
4	brambory rané	brambory rané
5	pšenice ozimá	pšenice ozimá
6	ječmen jarní	ječmen jarní
7	cukrovka	brambory
8	ječmen jarní	ječmen jarní

V tab. 3 je uvedeno schéma aplikace hnojiv v jednotlivých variantách. Kromě nehnojené kontroly je ke všem dalším variantám dvakrát za osevní postup aplikován hnůj, vždy k okopanině, kterou zastupují v BVO brambory, v ŘVO cukrová řepa a v obou oblastech dále rané brambory. Minerální formy N, P a K jsou aplikovány v různých kombinacích několika úrovní hnojení jednotlivými prvky. Hnojení na úrovni 0 (N0, P0, K0) znamená nulovou dávku daného prvku. Hnojení na úrovni 1, 2 a 3 znamená stupňování dávek, kdy úroveň 1 představuje nejnižší a úroveň 3 nejvyšší dávku (tab. 3). Dávky živin pro příslušné hladiny hnojení jednotlivými prvky jsou uvedeny v tab. 4. Dusík byl aplikován formou síranu amonného nebo ledku, fosfor ve formě superfosfátu a draslík formou draselné soli. Všechny varianty kromě nehnojené kontroly a varianty 12 v BVO byly vápněny v pravidelných intervalech dle hodnoty pH.

Tab. 3 Varianty hnojení

varianty	minerální hnojení			organické hnojení	vápnění
	N	P	K		
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	chlévký hnůj	dle potřeby
3	2	2	0		
4	2	2	1		
5	2	2	2		
6	2	2	3		
7	2	0	2		
8	2	1	2		
9	2	3	2		
10	1	1	1		
11	3	3	3		
12 ¹⁾	2	2	2		
12 ²⁾	3	3	3		0

12¹⁾ v řepařské oblasti na rozdíl od varianty 5 hnojeno každoročně

12²⁾ v bramborářské oblasti na rozdíl od varianty 11 bez vápnění

Tab. 4 Dávky živin pro jednotlivé úrovně hnojení (kg ha⁻¹)

Úroveň hnojení	Dávka		
	N	P	K
0	0	0	0
1	60	13	33
2	90	26	66
3	120	52	133

2.2. Sledované parametry

K vyhodnocení byla vybrána data o výnosu pšenice ozimé, ječmene, cukrovky a brambor, odběru P výnosem všech plodin, a obsahu P v půdě stanoveném postupem dle Mehliche III. Byla použita data za celý průběh pokusu od založení po rok 2018. Byly vyhodnocovány pouze vybrané varianty pokusu v rozsahu aplikovaných dávek fosforu od 0 do 30 kg P ha⁻¹: nehnojená kontrola, hnůj, N2P0K2, N2P1K2, N2P2K2 a N2P3K2. Pro zjednodušení je dále varianta N2P0K2 označována jako P0 a varianty N2P1K2, N2P2K2 a N2P3K2 jako P1, P2 P3.

2.2 Statistické zpracování

Hodnoty sledovaných parametrů z vybraných variant na jednotlivých stanicích byly porovnány s využitím analýzy variance a Tukeyova testu. Byly vždy použity hodnoty za celou dobu trvání pokusu. Ke statistické analýze byl využit program Statistica 12.

3. Výsledky

3.1 Vliv hnojení na výnos

Výnos pšenice ozimé při různé úrovni hnojení fosforem během dlouhodobé zkoušky

Na stanicích Uherský Ostroh a Věrovany nemělo hnojení průkazný vliv na výnos (tab. 5). Na zbývajících stanicích byl výnos pšenice neprůkazně vyšší u varianty hnojené hnojem a byl dále průkazně zvyšován současnou aplikací NPK na úrovni P0 (tab. 5). Při aplikaci NPK na úrovni P1 – P3 se výnos průkazně nelišil od varianty P0.

Tab. 5 Výnos pšenice ozimé (t ha⁻¹) na jednotlivých stanicích při různých úrovních hnojení

Stanice	Varianta					
	kontrola	hnůj	P0	P1	P2	P3
HOR, n=10	5.6±1.6a	5.9±1.6a	7.4±1.9b	7.4±1.9b	7.3±1.9b	7.4±1.9b
CHR, n=11	4.1±1.2a	4.7±1.3a	6.4±1.7b	6.5±1.8b	6.6±1.8b	6.5±1.9b
JAR, n=11	4.7±1.2a	4.8±1.2a	5.5±1.6b	5.6±1.6b	5.6±1.7b	5.6±1.7b
LIP, n=11	3.5±1.0a	3.7±1.2a	5.7±1.5b	5.8±1.6b	5.9±1.6b	5.7±1.4b
PJA, n=10	5.9±1.9a	6.5±1.8ab	7.3±2.1c	7.3±2.1c	7.2±2.0bc	7.3±2.1c
STV, n=10	5.5±1.6a	5.7±1.5ab	6.6±1.8bc	6.6±1.8bc	6.8±1.5c	6.9±1.5c
HRA, n=10	4.9±1.1a	4.9±1.2a	7.1±1.5b	7.1±1.5b	7.2±1.4b	7.2±1.4b
UHO, n=13	5.8±1.3a	6.2±1.3a	6.2±1.6a	6.3±1.5a	6.2±1.5a	6.4±1.5a
VER, n=8	7.4±1.9a	7.6±1.9a	7.5±2.2a	7.4±2.2a	7.5±2.0a	7.4±2.0a
VYS, n=9	4.3±1.4a	4.6±1.3a	6.6±1.5b	6.6±1.5b	6.4±1.5b	6.6±1.5b
ZAT, n=12	6.5±1.4a	6.6±1.6ab	7.0±1.8b	7.0±1.8b	7.0±1.7b	7.1±1.8b

Odlišná písmena označují statisticky průkazné rozdíly mezi variantami na hladině významnosti $p < 0,05$.

Výnos jarního ječmene při různé úrovni hnojení fosforem během dlouhodobé zkoušky

V kontrolní variantě a ve variantě hnojené hnojem byl výnos ječmene na většině stanic srovnatelný (tab. 6). Varianty P0 - P3 dosahovaly průkazně vyššího výnosu než kontrola a hnojem hnojená varianta a navzájem se nelišily. Na stanicích Věrovany a Žatec byl vliv hnojení na výnos neprůkazný.

Tab. 6 Výnos jarního ječmene (t ha⁻¹) při různých úrovních hnojení

Stanice	Varianta					
	kontrola	hnůj	P0	P1	P2	P3
HOR, n=11	2.8±0.7a	3.3±0.8a	4.7±0.9b	4.9±1.0b	4.9±0.9b	4.9±0.9b
CHT, n=10	2.1±0.7a	2.9±1.0a	4.3±0.9b	4.4±1.0b	4.7±0.9b	4.7±1.0b
JAR, n=12	3.3±0.9a	3.6±0.9a	4.8±0.9b	4.9±0.9b	4.9±0.9b	4.9±0.9b
LIP, n=12	2.2±0.7a	2.2±0.9a	4.6±0.9b	4.6±0.8b	4.8±0.8b	4.8±0.9b
PJA, n=11	3.7±1.3a	4.6±0.9a	6.1±1.1b	6.1±1.1b	6.1±1.1b	6.3±1.1b
STV, n=10	2.8±0.9a	3.3±1.0ab	4.3±1.3b	4.5±1.3b	4.5±1.3b	4.5±1.3b
HRA, n=10	2.8±0.7a	3.0±0.7a	4.9±0.8b	5.1±1.0b	5.0±1.0b	5.0±1.0b
UHO, n=11	3.7±0.8a	4.3±0.7a	5.5±0.7b	5.5±0.7b	5.5±0.9b	5.7±0.7b
VER, n=7	4.8±1.5a	5.3±1.6a	6.1±1.5b	6.2±1.6b	6.6±1.4b	6.5±1.4b
VYS, n=10	2.1±0.9a	2.3±0.9a	3.6±1.3b	3.6±1.2b	3.6±1.2b	3.7±1.3b
ZAT, n=11	4.2±0.7a	4.5±0.6ab	5.1±1.2bc	5.3±1.2c	5.2±1.3bc	5.4±1.4bc

Odlišná písmena označují statisticky průkazné rozdíly mezi variantami na hladině významnosti $p < 0,05$.

Výnos cukrovky při různé úrovni hnojení fosforem během dlouhodobé zkoušky

Na stanicích Uherský Ostroh a Věrovany nemělo hnojení průkazný vliv na výnos cukrovky (tab. 7). Na ostatních stanicích se průkazně nelišil výnos hnojem hnojené varianty od nehnojené kontroly a výnos varianty P0 se průkazně nelišil od výnosu variant P1 – P3.

Tab. 7 Výnos cukrovky (t ha⁻¹) při různých úrovních hnojení

Stanice	Varianta					
	kontrola	hnůj	P0	P1	P2	P3
PJA, n=6	41.5±10.8a	53.1±9.0a	61.9±9.6b	62.4±11.1b	64.2±11.2b	65.6±9.9b
UHO, n=6	60.5±12.0a	68.6±16.9b	74.7±17.1b	71.9±14.0b	72.1±16.0b	72.2±14.3b
Ver, n=3	64.9±6.0a	66.9±4.6ab	70.6±6.0abc	73.4±1.7c	71.4±4.5bc	68.9±6.7abc
Zat, n=6	56.4±8.1a	61.6±8.5ab	67.7±5.3bc	69.2±6.8bc	74.2±18.4c	73.1±13.0c

Odlišná písmena označují statisticky průkazné rozdíly mezi variantami na hladině významnosti $p < 0,05$.

Výnos brambor při různé úrovni hnojení fosforem během dlouhodobé zkoušky

Na stanicích Horažďovice a Staňkov nemělo hnojení průkazný vliv na výnos. Na ostatních stanicích byl výnos hnojem hnojené varianty neprůkazně vyšší než výnos kontroly. Výnos varianty P0 převyšoval výnos kontroly průkazně a nelišil se od výnosu variant P1 – P3.

Tab. 8 Výnos brambor (t ha⁻¹) při různých úrovních hnojení

Stanice	Varianta					
	kontrola	hnůj	P0	P1	P2	P3
HOR, n=10	20.3±8.8a	29.3±12.1ab	38.6±16.5b	41.9±17.7b	39.7±15.7b	42.3±17.4b
CHT, n=10	28.9±7.9a	34.4±7.5a	43.5±9.9b	45.5±10.6b	46.7±8.6b	47.2±10.6b
JAR, n=10	21.8±7.6a	25.0±9.1a	32.4±13.4b	33.5±13.4b	34.1±13.6b	33.9±13.4b
LIP, n=11	28.4±7.5a	29.3±9.0a	47.4±11.0b	48.9±11.9b	50.3±10.2b	51.3±10.7b
STV, n=11	20.7±11.6a	23.6±12.9a	33.1±16.8b	35.0±17.6b	34.6±19.5b	35.9±18.2b
HRA, n=8	25.2±6.4a	29.2±5.6a	42.1±7.7b	42.3±8.6b	42.9±8.6b	42.9±7.8b
VYR, n=8	25.5±11.9a	28.2±11.3a	49.2±20.2b	47.9±19.4b	48.8±20.0b	49.5±19.5b

Odlišná písmena označují statisticky průkazné rozdíly mezi variantami na hladině významnosti $p < 0,05$.

3.2 Odběr fosforu plodinami

Odběr fosforu výnosem všech plodin

Hnojení hnojem zvýšilo odběr P ve srovnání s kontrolou (tab. 9). NPK hnojení na úrovni P0 – P3 hodnoty odběru dále zvyšovalo. I když vyšší dávky zvyšují ještě odběr P výnosem, nárůst je omezený a značně neefektivní – zvýšení dávky P ze 13 kg/ha na 52 kg ha⁻¹ zvýší odběr P výnosem jen zhruba o 3 kg P ha⁻¹.

Tab. 9 Průměrný odběr P (kg ha⁻¹) výnosem na jednotlivých stanicích

Stanice	Varianta					
	kontrola	hnůj	P0	P1	P2	P3
HOR, n=42	15.3±7.4a	17.8±7.5b	21.5±8.3c	23.3±8.2c	23.4±8.3c	25.4±9.6d
CHT, n=43	16.7±19.2a	20.8±22.9b	24.5±26.8c	26.0±27.8cd	26.5±28.4de	27.3±25.7e
JAR, n=45	14.9±6.2a	16.2±6.5a	19.2±8.0b	20.7±8.1c	21.7±8.6c	22.7±8.9c
LIP, n=46	14.1±6.5a	15.0±7.4a	21.7±8.3b	22.5±8.4b	23.5±8.0c	24.6±9.5c
PJA, n=41	18.8±10.0a	23.1±10.6ab	26.7±10.7bc	27.4±11.1bc	32.0±26.3c	30.0±12.3c
STV, n=39	15.7±8.7a	16.8±8.3a	19.8±9.3b	21.1±10.1bc	21.6±10.3c	22.4±10.3c
HRA, n=39	15.9±7.4a	17.9±8.1a	22.1±8.2b	22.6±8.1b	23.6±8.4b	23.7±8.3b
UHO, n=48	18.5±8.2a	20.6±7.8a	23.3±9.2b	23.8±9.2b	24.6±10.0bc	25.6±10.2c
VER, n=30	24.7±9.2a	26.0±8.7a	28.3±9.6b	29.7±9.8bc	30.4±9.9bc	30.7±10.7c
VYS, n=37	12.0±5.9a	13.2±5.5a	17.7±7.6b	18.8±7.9bc	19.2±8.7bc	20.2±9.4c
ZAT, n=47	18.0±8.2a	20.4±14.9ab	21.0±8.8b	22.3±9.3bc	23.2±9.8bc	24.8±10.7c

Odlišná písmena označují statisticky průkazné rozdíly mezi variantami na hladině významnosti $p < 0,05$.

3.3 Obsah P v půdě

Obsah P v půdě byl vyšší při pravidelném hnojení hnojem než v kontrole. Varianty hnůj a P0 měly obsah P na srovnatelné úrovni. Obsah se dále průkazně zvyšoval s rostoucí dávkou P (tab. 10). Na obr. 1 je znázorněn obecný model vztahu mezi dávkou P, výnosem a obsahem v půdě. Pokud je v půdě nedostatek P, jeho obsah je nízký. S rostoucí dávkou P hnojiva roste nejdříve výnos, který spotřebuje většinu P a jeho obsah v půdě zůstává dále nízký. Nároky rostlin na fosfor jsou však omezené a při dalším zvyšování dávky se postupně zpomaluje nárůst výnosu. Rostlina nestačí přidaný P plně využít, a proto postupně narůstá obsah P v půdě. Půdy pokusných ploch jsou poměrně dobře zásobeny fosforem, a proto se pozorovaný vliv dávky P blíží spíše pravé polovině závislosti, s malým nárůstem výnosu a rychlým zvyšováním obsahu P v půdě.

Na obr. 2 je znázorněn nárůst vstupů a odběru P variantami P0 – P2. V podmínkách pokusu dokáže půda zpřístupňovat rostlinám významné množství P a pro dosažení maximální úrovně výnosu stačí relativně nízká dávka. Při hnojení na úrovni P0 je zdrojem P jen pravidelná aplikace hnoje, která představuje roční vstup asi 14 kg P ha⁻¹. Odběr sklizní je však výrazně vyšší a dosahuje až 25 kg P ha⁻¹. Když hodnota vstupů dosahuje 23 kg P ha⁻¹ je bilance P vyrovnaná a vstupy se rovnají výstupům (obr. 2). Při vyrovnané bilanci by měl být veškerý P přidaný hnojením spotřebován a hnojení by proto nemělo zvyšovat jeho obsah v půdě. Přesto už při této úrovni hnojení obsah P v půdě poměrně výrazně narůstá na zhruba 80 mg P kg⁻¹ (průměr ze všech stanic, obr. 3).

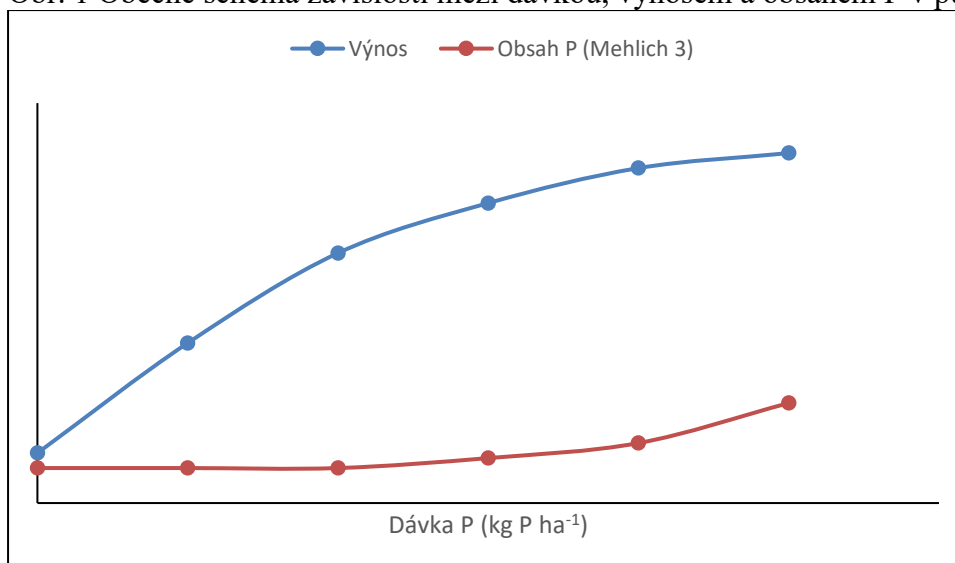
Chybějící fosfor při negativní bilanci je pravděpodobně doplňován zpřístupňováním P z půdních zásob, z hlubších vrstev nebo z dalších nezapočítaných zdrojů. Fosfor může být mobilizován činností kořenů plodin, zejména jetelovin a také biologickou aktivitou v půdě. To může přispívat k udržování nebo i zvyšování obsahu P v půdě i při omezených vstupech P. Uvádí se, že v podmínkách evropského zemědělství vstupy dlouhodobě převyšovaly odběr, a proto jsou v půdách značné rezervy P (Sattari a kol., 2012). I když toto tvrzení nelze ve sledovaných půdách přímo doložit, zásoby fosforu v půdě by mohly významně přispívat k udržování dostupnosti P v půdě. Využití P z půdních zásob jako zdroj P uvádějí např. Withers a kol. (2014).

Tab. 10 Průměrný obsah P (výluh Mehlich III) v půdě rozdílně hnojených variant (mg P kg⁻¹)

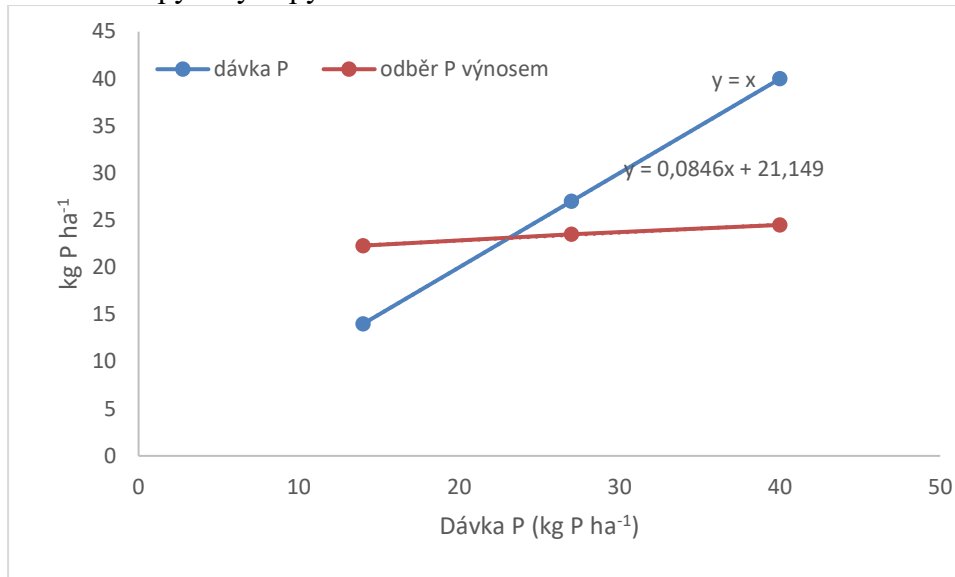
Stanice	Varianta					
	kontrola	hnůj	P0	P1	P2	P3
HOR, n=22	38±10a	62±9b	53±12b	84±17c	93±15c	116±21d
CHT, n=22	60±13a	67±15ab	70±20b	87±21c	103±22d	114±22e
JAR, n=22	63±12a	76±23a	76±29a	101±28b	122±26c	150±47d
LIP, n=22	61±15a	57±11a	61±10a	76±13b	104±14c	131±22d
PJA, n=24	61±13a	67±17a	66±15a	86±17b	101±16c	127±25d
STV, n=22	62±18a	59±13a	60±14a	77±18b	81±18b	114±25c
HRA, n=22	74±17a	75±17a	75±16a	94±16b	102±17	128±23
UHO, n=22	51±6a	67±11b	62±10b	82±12c	115±14d	131±17e
VER, n=22	74±13a	83±9a	90±14ab	102±17c	97±15bc	117±21d
VYS, n=22	41±11a	54±8b	63±12c	92±14d	90±13d	117±19e
ZAT, n=21	33±11a	46±12a	70±12b	106±27c	117±21c	152±30d

Odlišná písmena označují statisticky průkazné rozdíly mezi variantami na hladině významnosti $p < 0,05$.

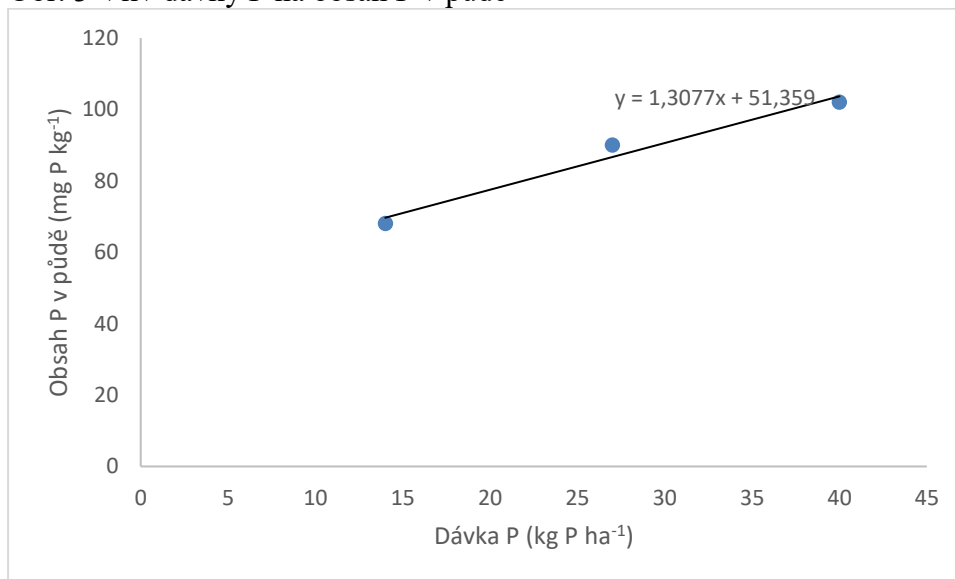
Obr. 1 Obecné schéma závislosti mezi dávkou, výnosem a obsahem P v půdě.



Obr. 2 Vstupy a výstupy variant P0 – P3



Obr. 3 Vliv dávky P na obsah P v půdě



4. Závěry

V podmínkách pokusu dokáže půda zpřístupňovat rostlinám významné množství P a pro dosažení maximální úrovně výnosu stačí relativně nízká dávka. Při hnojení na úrovni P0 je zdrojem P jen pravidelná aplikace hnoje, která představuje roční vstup asi 14 kg P ha⁻¹. Odběr sklizní je však výrazně vyšší a dosahuje až 25 kg P ha⁻¹. Výnos varianty P0 je na vrcholu závislosti mezi dávkou P a výnosem, proto další zvyšování má omezený přínos. Pokud dávka P překročí P0, výnos už dále neroste. Vyšší dávky zvyšují ještě odběr P výnosem, ale nárůst je omezený a značně neefektivní – zvýšení dávky P ze 13 kg ha⁻¹ na 52 kg/ha zvýší odběr P výnosem jen zhruba o 3 kg P ha⁻¹. Spolu s klesajícím nárůstem výnosu se v půdě začíná zvyšovat obsah dostupného P. A i když je při vyrovnané bilanci veškerý P přidáný hnojením odčerpán výnosem, hnojení není jediným zdrojem P a další P je doplňován z půdních zásob. Z výsledků vyplývá, že zvyšování dávky P má smysl, dokud rostoucí dávka zvyšuje výnos, případně vyrovnává bilanci. Dávka, při které je dosaženo nejvyššího výnosu pomáhá udržovat

obsah v půdě. Pokud dávka P vyrovná bilanci, obsah P v půdě to zvyšuje. V podmínkách pokusu už další zvyšování vstupů P nemá smysl a představuje spíše hromadění nevyužitého P než zvyšování úrodnosti.

5. Použitá literatura

- Hopkins, B. G., Hansen, N. C., 2019. Phosphorus management in high-yield systems. *Journal of Environmental Quality* 48, 1265-1280.
- Sattari, S. Z., Bouwman, A. F., Giller, K. E., van Ittersum, M. K., 2012. Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle. *PNAS* 109, 6348-6353.
- Withers, P. J. A., Sylvester-Bradley, R., Jones, D. L., Healey, J. R., Talboys, P. J., 2014. Feed the crop not the soil: Rethinking phosphorus management in the food chain. *Environmental Science and Technology* 48, 6523-6530.