

砂土供磷特性及磷肥效应研究

王秋杰 寇长林 王永歧

祝秀花 王恒玉

(河南省农科院土肥所, 郑州 450002)

摘 要

砂土供磷特性及磷肥效应的研究表明,砂土磷素形态以无机磷为主,有机磷甚少,仅占全磷含量的8.84%。无机磷占91.15%,无机磷形态组成以磷酸钙为主,Ca-P平均为无机磷总量的86.1%,O-P占9.6%,Al-P占3%,Fe-P占1.3%。各种形态无机磷与速效磷的关系为: y (速效磷) = $49.30x_{1(Al-P)} + 21.8547x_{2(Ca-P)} - 3.4209$,表明Al-P、Ca-P对砂土速效磷的贡献具有一定的意义,磷酸铁铝和磷酸钙盐均可以作为砂土磷素的给源。磷肥的作用主要在作物生育前期,而在中、后期则更多的吸收利用土壤中的磷素。粗、细砂潮土小麦磷肥的肥效分别比轻砂潮土高41.1%和17.7%。

关键词 砂土,无机磷形态,磷素平衡,磷肥效应

磷肥的肥效和作物需磷程度主要决定于土壤的供磷特性^[1],土壤供磷特性是合理施用磷肥的基础^[2]。但由于其受作物、土壤、磷肥性质、气候条件等多种因素的影响,即使同一类型的土壤,由于地形、耕作条件的差异,土壤供磷特性也会有很大的变化。因此,在农业生产中合理施用磷肥的问题尚未完满解决。从1988年开始,我们对开封砂区几种主要砂土的供磷特性与磷肥效应进行了研究,为及时了解土壤供磷水平的变化,合理使用磷肥提供了科学依据。

1 材料与方 法

供试土样采自开封砂土试验区,按照土壤分层剖面和不同肥力水平等级,选取有代表性的粗、细、轻砂潮土,共106个土样进行研究。同时结合坑栽长期定位试验和田间试验及室内模拟试验,探讨土壤磷素在利用过程中的消耗与积累,以及磷肥效应。分析项目有:有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾、机械组成等。全磷用高氯酸、硫酸硝化、钼锑抗比色;速效磷用碳酸氢钠,土:水=1:20,钼锑抗比色。无机磷分级按照张守敬-Jackson方法^[5]。供试土壤的基本性质见表1。

表 1 砂土基本性质与土壤磷素状况

Table 1 Some basic properties and phosphorus status of the sandy soil

土壤名称	肥力*	机械组成		有	全	全	磷素状况	
		Mechanical composition (%)		机	氮	钾	Phosphorus status	
Soil name	Fertility	物理性粘粒	物理性砂粒	O. M.	Total N	Total K	全磷	速效磷
		Clay	Sand	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	Total P (g/kg)	Rapidly available phosphorus ($\mu\text{g/g}$)
粗砂潮土	高	93.8	6.2	5.34	0.48	24.2	0.36	3.45
	中	94.6	5.4	4.02	0.36	23.1	0.32	2.76
	低	96.3	3.7	3.15	0.27	23.1	0.30	1.93
细砂潮土	高	88.4	11.6	6.38	0.62	23.1	0.51	6.68
	中	92.6	7.4	5.22	0.44	22.7	0.43	4.46
	低	93.6	6.4	3.88	0.33	19.8	0.34	3.05
轻砂潮土	高	84.6	15.4	2.86	0.72	22.7	0.56	7.77
	中	86.7	13.3	6.42	0.62	20.5	0.54	6.33
	低	88.1	11.9	4.81	0.41	18.8	0.49	5.44

* 根据粗、细、轻砂潮土常年作物产量状况将其划分为高、中、低产田(表 2 同)。

2 结果与讨论

2.1 砂土的磷素状况

据开封砂区 106 个土样的分析结果(表 1)表明,砂土全磷含量平均为 0.43g/kg (P 计,下同),速效磷 $4.65\mu\text{g/g}$ 。其中轻砂潮土含量较高,分别分为 0.53g/kg 和 $6.51\mu\text{g/g}$;细砂潮土次之,分别为 0.43g/kg 和 $4.73\mu\text{g/g}$;粗砂潮土含量最低分别为 0.33g/kg 和 $2.71\mu\text{g/g}$ 。根据常年作物产量状况将粗、细、轻砂潮土分别划分为高、中、低产田三个肥力水平等级,比较其土壤磷素状况,高产田比中产田高出 3.7—39.6%。中产田又比低产田高出 6.7—46.0%,土壤磷素状况与土壤肥力呈相应的变化,说明开封砂区土壤磷状况对土壤肥力有一定的意义。

2.2 砂土磷的形态及其可给性

开封砂区土壤的磷素主要分为有机态和无机态两大类,据 106 个土样的分析结果(表 2)表明,砂土有机磷的含量很低,仅为 0.038g/kg ,占全磷含量的 8.87%。无机磷含量高达 0.39g/kg ,占全磷含量的 91.12%,说明无机磷盐是开封砂区作物所能利用的土壤磷素的主要给源。有机磷与土壤基本性质的相关分析结果表明,有机磷与土壤物理性粘粒和有机质含量呈显著的正相关,相关系数分别为 0.8842^{**} 和 0.9229^{**} 。说明土壤有机磷含量的高低受土壤质地和有机质含量所支配,开封砂区有机磷含量高低的排序为轻砂潮土 > 细砂潮土 > 粗砂潮土。

表 2 开封砂区土壤磷的形态组成

Table 2 Composition of phosphorus forms in soils of Kaifeng region

土壤名称 Soil name	肥力 Fertility	全磷 Total P (g/kg)	速效磷 Rapidly available phosphorus (μg/g)	有机磷 Organic phosphorus (g/kg)	无机磷(P: g/kg, 占无机磷的百分比)									
					Inorganic-P forms								合计 Sun	
					Al-P		Fe-P		O-P		Ca-P			
g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%							
粗砂	高	0.36	3.45	0.029	0.0136	4.10	0.0660	1.99	0.0380	11.48	0.2729	82.42	0.3311	100
潮土	中	0.32	2.76	0.025	0.0097	3.30	0.0040	1.36	0.0276	9.36	0.2537	86.00	0.2950	100
	低	0.30	1.93	0.023	0.0065	2.35	0.0039	1.41	0.0113	4.08	0.2553	92.16	0.2770	100
细砂	高	0.51	6.68	0.044	0.0074	1.59	0.0044	0.94	0.0602	12.92	0.3941	84.55	0.4661	100
潮土	中	0.43	4.46	0.039	0.0169	4.32	0.0044	1.13	0.0439	11.23	0.3258	83.32	0.3910	100
	低	0.34	3.06	0.027	0.0113	3.61	0.0053	1.69	0.0309	9.87	0.2655	84.82	0.3130	100
轻砂	高	0.56	7.77	0.068	0.0140	2.84	0.0053	1.08	0.0521	10.59	0.4207	85.49	0.4921	100
潮土	中	0.54	6.33	0.044	0.0062	1.25	0.0040	0.81	0.0417	8.41	0.4439	89.53	0.4958	100
	低	0.49	5.44	0.040	0.0181	4.02	0.0062	1.38	0.0366	8.13	0.3892	86.47	0.4501	100
平均		0.43	4.65	0.038	0.0115	3.0	0.0049	1.30	0.0380	9.60	0.3357	86.10	0.3901	100

开封砂区土壤中无机磷形态组成是以磷酸钙为主的类型。Ca-P 所占的比例最大, 平均为无机磷总量的 86.1%, 土壤中的绝对含量一般达 0.3367g/kg; O-P 次之, 平均占无机磷总量的 9.6%, 土壤中的绝对含量为 0.038g/kg; Al-P 占无机磷总量的 3%, 土壤中的绝对含量为 0.012g/kg; Fe-P 最少, 仅占无机磷总量的 1.3%, 土壤中的绝对含量仅为 0.0045g/kg。对 Al-P(x_1)、Fe-P(x_2)、O-P(x_3)、Ca-P(x_4)与速效磷(y)进行逐步回归分析可得:

$$y = 49.30x_1 + 21.8547x_4 - 3.4209 \quad (1)$$

表明 Al-P 与 Ca-P 这两级无机磷素与速效磷呈显著的正相关, 其复相关系数 R 为 0.9830^{**} ($n=106$)。室内连续浸提土壤速效磷的结果表明: 连续浸提同一土样 8 次, 萃出速效磷的总量比 Al-P、Fe-P 之和高出 1.8—4.7 倍, 说明速效磷不但包含了 Al-P、Fe-P, 而且 Ca-P 也可以逐步溶出而成为速效磷。由此可见, Al-P 和 Fe-P 含量较低的开封砂区, Ca-P 对速效磷的贡献具有一定的意义。磷酸铁铝和磷酸钙盐均可以做为砂土磷素的给源。

2.3 砂土磷素的消耗与积累

砂土在开发利用过程中, 已经出现了原来缺磷的土壤变得不缺磷, 而原来不缺磷土壤变得缺磷的情况, 说明土壤磷素在利用过程中存在着消耗与积累。为了探明砂土利用过程中, 这种消耗与积累的关系, 结合坑栽长期定位试验, 探讨了小麦—玉米轮作制条件下的磷素利用状况。试验处理为对照两季均不施磷肥; 两季中麦季施磷肥, 分别为 450kg/hm²、900kg/hm²; 两季中均施磷肥, 分别为 900kg/hm²、1800kg/hm², 共 5 个

处理。经过 6 年种植 12 季作物后分析了土壤全磷和有效磷, 并根据作物取走磷量和施磷量计算出磷素平衡情况如表 3。

表 3 6 年连续种植后土壤磷素的消长

Table 3 Growth and decline of soil P after 6-year continued plantation

处理 Treatment	总施磷量 P applied (P_2O_5 , kg / hm^2)	作物取走磷量 P removed by crop (P_2O_5 , kg / hm^2)	磷素平衡 P balance (P_2O_5 , kg / hm^2)	全磷消长 Growth and decline of Total P (P · g / kg)	有效磷消长 Growth and decline of available phosphorus (P · μ g / g)
对照	0	-376.8	-376.8	-0.132	-3.86
小麦	450	-640.2	-190.2	-0.075	-1.98
	900	-792.9	+107.1	+0.038	+1.84
玉米+小麦	900	-804.6	+95.4	+0.038	+1.67
	1800	-1483.7	+316.3	+0.102	+5.21

由表 3 可知, 试验条件下 (6 年平均小麦-玉米平均产量 $5022\text{kg} / \text{hm}^2$) 每年施用一季磷肥, 用量不足时, 不能维持土壤原有磷素水平, 6 年后土壤平均损失 $P_2O_5 190.2\text{kg} / \text{hm}^2$, 在这种情况下全磷平均下降 $0.075\text{g} / \text{kg}$, 有效磷平均下降 $1.98\mu\text{g} / \text{g}$ 。在每年一季磷肥用量合理或两季均施用磷肥的情况下, 磷素平均有所增加, 均增加 $172.95\text{kg} / \text{hm}^2$, 土壤全磷平均增加 $0.06\text{g} / \text{kg}$ 。有效磷增加 $2.91\mu\text{g} / \text{g}$ 。表明磷素总收支与全磷和有效磷的消长非常一致。全磷和有效磷的消长与磷素收支量均呈极显著正相关, 对全磷其回归方程为:

$$y_1 = -0.0025 + 0.00035x_1 (r = 0.9981^{**}) \quad (2)$$

y_1 : 土壤全磷消长 (P g / kg)

x_1 : 磷素的纯收支量 (P_2O_5 kg / hm^2)

对有效磷其回归方程为:

$$y_a = 0.7007 + 0.01128x_1 (r = 0.9955^{**}) \quad (3)$$

y_a : 土壤有效磷消长 (P μ g / g)

x_1 : 磷素纯收支量 (P_2O_5 kg / hm^2)

由此可见, 砂土全磷和有效磷的消长主要决定于磷素的收支平衡, 从而也可根据磷素的收支预测土壤全磷和有效磷的消长^[3]。

由表 4 可以看出, 在砂土开发利用过程中, 施用磷肥的各处理与对照相比, 不但砂土耕层 (0—20cm) 各级磷形态的绝对含量有所增加, 而且土壤耕层以下 (20—40cm) 也有不同程度的增加趋势, 这是由于砂土漏水漏肥, 磷肥施入砂土后造成一定程度的淋洗, 施入的磷下渗到底土层所致。由表 4 进一步可见, 施入的肥料磷在土壤中的转化及其在各级形态磷的分布与原始土壤磷的分布大体相近。由此可见, 磷的分布主要受土壤本身性质的制约, 施入磷的形态转化和原始土壤一致, 这就可以根据土壤本身磷的形态分布来判断施入磷的形态转化^[3]。

表4 土壤中累积磷素的形态分布(1988—1993)

Table 4 Distribution of phosphorus forms accumulated in soil

处理 Treatment	6年施磷总量 P applied (P ₂ O ₅ kg/hm ²)	层次 Soil horizon (cm)	全磷 Total P (g/kg)	无机磷形态分布 Inorganic-P forms							
				Al-P		Fe-P		O-P		Ca-P	
				g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%
对照	0	0—20	0.32	0.0066	2.35	0.0044	1.56	0.0194	6.90	0.2508	89.19
		20—40	0.30	0.0066	2.47	0.0040	1.50	0.0163	6.09	0.2406	89.94
小麦	450	0—20	0.38	0.0101	3.09	0.0057	1.74	0.0382	11.68	0.2729	83.48
		20—40	0.32	0.0070	2.41	0.0041	1.38	0.0277	9.55	0.2514	86.66
	900	0—20	0.49	0.0132	2.92	0.0070	1.55	0.0426	9.43	0.0388	86.10
		20—40	0.32	0.0068	2.38	0.0041	1.40	0.0309	10.80	0.2443	85.42
玉米+小麦	900	0—20	0.49	0.0136	3.00	0.007	1.54	0.0426	9.40	0.3901	86.06
		20—40	0.33	0.0009	2.94	0.0048	1.57	0.0356	11.61	0.2653	86.53
	1800	0—20	0.55	0.0148	2.99	0.0081	1.64	0.0502	10.13	0.4223	85.24
		20—40	0.33	0.0105	3.38	0.0048	1.55	0.0356	11.47	0.2596	83.51
原始土壤		0—20	0.45	0.0123	2.92	0.0068	1.61	0.0040	9.50	0.3621	86.00
		20—40	0.33	0.0080	2.73	0.0046	1.57	0.0288	9.82	0.2518	85.88

2.4 作物自砂土和肥料中吸磷比例

用³²P标记过磷酸钙作为供试磷源,分别在小麦分蘖期、拔节期、孕穗期和成熟期取植株样品测定总磷量的结果(表5)表明,小麦生长初期磷的供应主要靠肥料,生长后期磷的供应主要来自土壤。粗砂潮土小麦分蘖期自肥料中吸收的磷素占82.3%,轻砂潮土占

表5 砂土小麦不同生育期对土壤磷和肥料磷的利用(盆栽)

Table 5 Puptake of wheat from soil or fertilizers during different growth stages (pot trial)

土壤 名称 Soil name	小麦 生育期 Growth stage	吸磷 总量 P uptake (P g/kg)	来自土壤磷 P from soil		来自肥料磷 P from fertilizer		磷肥利用率 Recovery of P-fertilizer (%)
			(P·g/pot)	%	(g/pot)	%	
粗砂	分蘖期	0.1286	0.0228	17.7	0.1058	82.2	2.02
潮土	拔节期	0.3824	0.1040	27.2	0.2784	72.8	5.30
	孕穗期	0.6162	0.2391	38.8	0.3771	61.2	7.18
	成熟期	1.2217	0.9578	78.4	0.2639	21.6	5.03
轻砂	分蘖期	0.1605	0.0061	3.8	0.1544	96.2	2.94
潮土	拔节期	0.4888	0.1017	20.8	0.3871	79.2	7.37
	孕穗期	0.6988	0.2732	39.1	0.4256	60.9	8.11
	成熟期	1.5865	1.2184	76.8	0.3681	23.2	7.01

96.2%, 拔节至孕穗期(生长中期)小麦自土壤中吸收磷的百分率逐渐增大,但在两种土壤上小麦自肥料中吸收磷的百分率仍占 60%以上。到成熟期小麦从肥料中吸收磷占 20—25%,而从土壤中吸收的磷却占 75%以上。从磷肥利用率来看,拔节至孕穗期利用率最高,成熟期次之,分蘖期最低。尽管如此,在两种土壤上小麦分蘖期吸收的磷 80%以上来自肥料。这就表明,磷肥的作用主要在前期,而在中后期小麦根系发达后,能更多的吸收利用土壤中的磷素。因此开封砂区小麦苗期施磷对保证小麦磷素临界营养期有足够的磷供应,有着极为重要的意义。

2.5 砂土磷肥效应

磷肥肥效与作物和土壤供磷能力有关^[4]。为了摸清粗、细、轻砂潮土的作物磷肥效应,进行了磷肥肥效的试验。试验设置五个磷处理水平,磷肥为普通过磷酸钙(含 P_2O_5 12%),同时在粗、细、轻砂潮土上布置试验,结果表明不同土壤施用磷肥后有不同的增产效果。各种土壤小麦的磷肥效应方程为:

$$y_1(\text{粗砂土}) = 83.5107 + 24.7348P - 1.7728P^2 \quad (4)$$

$$(r = 0.9840 \quad F = 45.8330)$$

$$y_2(\text{细砂土}) = 115.8428 + 20.6332P - 1.6888P^2 \quad (5)$$

$$(r = 0.9776 \quad F = 32.1842)$$

$$y_3(\text{轻砂土}) = 155.1846 + 17.5331P - 1.4386P^2 \quad (6)$$

$$(r = 0.9814 \quad F = 22.8738)$$

应用上述回归方程比较磷肥的肥效结果表明,粗砂潮土小麦磷肥的肥效分别比细砂和轻砂潮土提高 19.9%和 41.1%,细砂潮土比轻砂潮土高 17.7%。说明磷肥的肥效以粗砂潮土最高,细砂潮土次之,轻砂潮土最低。这是由于轻砂潮土较粗、细砂潮土有较高供磷能力,而细砂潮土又较粗砂潮土高。前面已讨论过 Al-P 和 Ca-P 两种形态无机磷与速效磷呈正相关,这两种磷在粗、细、轻砂潮土中占无机磷比例分别为 90.11%、87.4%和 89.87%,基本相差不大,但二者的绝对含量则相差较大,分别为 0.2706、0.3403 和 0.4307g/kg, Fe-P 含量在三者之间差异很小。这说明,轻砂土有更多的速效磷给源,土壤的供磷能力较高,而细砂潮土次之。因此,在生产实践中磷肥应优先供应和补给有效磷和供磷能力均较低的粗、细砂潮土区,其次为供磷能力较高的轻砂潮土区,以达到节肥,增产的目的。

参 考 文 献

1. 孙 羲, 1983, 土壤养分、植物营养与合理施肥, 45—65页, 农业出版社。
2. 鲁如坤, 1980, 土壤磷素(一)、(二), 土壤通报, 第1期, 43—47页; 第2期, 47—48页。
3. 鲁如坤、史陶钧, 1980, 土壤磷素在利用过程中的消耗和积累, 土壤通报, 第5期, 6—8页。
4. 王秋杰, 1992, 开封砂区土壤培肥措施研究, 土壤肥料, 第4期, 6—8页。
5. Chang, S. C. and Jackson, M. L, 1957: Fractionation of Soil Phosphorus. Soil Sci., 84: 133—144.

CHARACTERS OF PHOSPHORUS SUPPLY AND RESPONSE TO PHOSPHATIC FERTILIZER IN SANDY SOILS

Wang Qiujie Kou Changlin Wang Yongqi Zhu Xiuhua and Wang Hengyu

(Institute of Soil and Fertilizer, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002)

Summary

The study on characters of phosphorus supply and response to phosphatic fertilizer showed that inorganic P and organic P accounted for 91.12% and 8.87% respectively. In the former Ca-P, O-P, Al-P and Fe-P accounted for 86.1%, 9.6%, 3.0% and 1.3% respectively. The relation between inorganic-P forms and rapidly available phosphorus (RAP) could be described by $y(\text{RAP}) = 49.30x_{1(\text{Al-P})} + 21.8547x_{4(\text{Ca-P})} - 3.4209$, which indicated the significance of Al-P and Ca-P to RAP and the feasibility that iron and aluminum phosphates and calcium phosphates served as sources to soil P. The growth and decline of total P and available P depended on P balance in soils. The changes of P forms in fertilizers applied relied on soil properties. The great effect of fertilizer P occurred at the early growth stage of plants. At the middle and late stages, plant took up more soil P. P-fertilizer efficiency in coarse and fine sand soils was 41.1% and 17.7% respectively, higher, than that in light sand soil.

Key words Sandy soils, Inorganic-P Forms, Phosphorus balance, Response to phosphatic fertilizer.