

紫色土无机磷形态转化及其有效性的定位研究

熊俊芬

石孝均 毛知耘

(云南农业大学土化系 昆明 650201) (西南农业大学资源环境学院)

摘 要 通过六年田间定位试验, 结果表明, 中性紫色土以无机磷为主占全磷 83. 7±3. 6%, 其中 $Ca_{10}-P$ 54. 2%, $O-P$ 27. 0%, $Al-P$ 6. 4%, $Fe-P$ 5. 7%, Ca_8-P 4. 2%, Ca_2-P 1. 5%。每年施用 150kg/hm² 化学磷肥(P_2O_5), 各级无机磷均有积累, 增加: Ca_2-P 145. 9%, $O-P$ 67. 2%, $Al-P$ 49. 8%, $Fe-P$ 42. 6%, Ca_8-P 30. 1%, $Ca_{10}-P$ 5%, 且以化学磷肥的作用显著。中性紫色土不能仅施氮肥或单施有机肥, 必须加施化学磷肥。 Ca_2-P 有效性最高, $Ca_{10}-P$ 最低, 有效性大小: $Ca_2-P > Al-P > Fe-P, Ca_8-P > O-P > Ca_{10}-P$ 。

关键词 定位试验; 中性紫色土; 磷素形态转化; 有效性

紫色土由于速效磷含量低, 缺磷常成为农作物增产的限制因素。关于紫色土磷素形态组成及其有效性过去使用张守敬等土壤无机磷分级方法进行过研究, 据研究中性和钙质紫色土 $Ca-P$ 约占无机磷的 50% 以上^[1, 2]。该分级体系将化学性质和有效性差异很大的磷酸钙盐归为一级, 这对 $Ca-P$ 含量高的土壤很难深入研究磷素营养问题。1990 年国家于重庆市郊设置了紫色土肥力及肥料效益监测基地。本文在此长期定位试验的基础上采用新的土壤无机磷分级方法^[3]进行土壤无机磷形态转化及其有效性研究, 以期为提高土壤磷和肥料磷的有效性和利用率提供依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

试验在西南农业大学国家紫色土肥力与肥料效益监测基地进行。始于 1991 年。供试土壤为沙溪庙组紫色泥页岩发育的中性紫色土灰棕紫泥。其土壤农化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本农化性质

pH	CaCO ₃ (g/kg)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	有效钾 (mg/kg)	缓效钾 (mg/kg)
7.7	0.59	23.9	0.76	93.0	4.5	88.2	562.0

1.2 试验设计

试验小区面积为 120m², 共设 13 个处理, 本文分析其中 10 个处理: CK(只种作物不施肥)N、NP、NK、PK、NPK、M₁、M₁NPK、M₂NPK 和 M₁(NPK)h。氮肥用尿素, 磷肥用普通过磷酸钙, 钾肥用硫酸钾, 每季每公顷用量: 150kgN、75kgP₂O₅、75kgK₂O、7500kg 秸秆(M₂)、22500kg 猪粪(M₁)。M₁(NPK)h 为化肥增量处理每季每公顷用量为 225kgN、112.5kg P₂O₅、112.5kg K₂O。实行一年两季稻—麦轮作, 作物收获后取样品进行分析。

1.3 盆栽试验

1997年10月在各个田间定位试验处理的基础上,盆栽试验设3个处理:不施肥(对照,与田间处理小区相同)、NK和NPK,重复4次。每钵用土1kg。肥料用量:尿素0.2g/kg土、普钙1.0g/kg土、硫酸钾0.2g/kg土。油菜品种为渝杂09,幼苗收获后烘干称重并测定植物吸磷量。

1.4 分析方法

土壤无机磷用顾益初、蒋柏藩的分级方法^[3],土壤速效磷用Olsen法,植物全磷用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消化,钒钼黄比色法,其它各项测定用常规分析法。

2 结果与讨论

2.1 不同形态磷在土壤磷中的分布

从表2资料看,无论是试验前或试验后的各处理,中性紫色土的磷素组成均以无机磷为主。试验前占土壤全磷的 $83.7 \pm 3.6\%$,试验6年后占 $82.7 \pm 3.7\%$ 。在无机磷中各级形态磷含量高低试验前为: $Ca_{10}-P(54.2\%) > O-P(27.3\%) > Al-P(6.4\%) > Fe-P(5.7\%) > Ca_8-P(4.2\%) > Ca_2-P(1.5\%)$,磷酸钙盐 Ca_2-P 、 Ca_8-P 和 $Ca_{10}-P$ 之和占土壤无机磷的 59.9% 。试验后平均占 56.9% 。由此看出,尽管供试土壤为中性紫色土,但由于 $Ca-P$ 含量高,因此采用顾益初、蒋柏藩石灰性土壤无机磷分级方法研究分析中性紫色土磷素形态是可靠的。

表2 试验六年土壤无机磷组成的变化(P, mg/kg)

处理	项目	Ca_2-P	Ca_8-P	$Al-P$	$Fe-P$	$O-P$	$Ca_{10}-P$	合计	占全磷%
CK	A	6.8	11.1	21.8	24.6	110.8	209.4	386.1	90.6
	B	3.2	11.9	17.5	19.2	96.4	215.5	363.9	87.9
N	A	6.8	18.6	27.5	28.1	136.4	202.5	421.9	84.1
	B	3.4	9.2	11.2	11.1	97.8	203.3	336.7	77.1
NP	A	5.7	14.8	21.4	20.2	113.1	202.5	378.9	77.5
	B	13.2	17.8	34.0	31.1	161.4	215.6	475.9	79.4
NK	A	5.0	18.9	26.0	25.4	119.7	214.4	410.5	81.9
	B	2.9	9.4	13.6	14.0	107.9	213.3	362.3	77.0
PK	A	5.3	17.8	27.6	25.9	105.8	228.8	412.3	85.3
	B	16.9	24.5	41.2	36.6	177.4	239.4	540.2	86.7
NPK	A	5.5	16.3	26.3	18.2	83.8	211.6	362.9	80.1
	B	10.4	21.4	37.1	24.1	160.2	219.8	475.2	84.2
M_1	A	5.9	17.6	30.3	24.8	109.4	206.9	395.9	83.2
	B	3.9	14.4	22.5	24.6	111.8	210.2	388.3	83.7
M_1NPK	A	6.7	15.9	21.0	15.5	121.8	220.7	416.1	85.4
	B	14.9	26.4	33.1	29.9	186.3	248.6	553.8	84.3
M_2NPK	A	5.6	16.8	25.5	17.8	83.1	220.0	370.0	82.2
	B	12.7	20.3	39.4	28.9	168.8	241.1	513.9	83.5
$M_1(NPK)h$	A	7.5	17.5	25.1	25.5	97.8	223.1	398.1	86.5
	B	21.2	28.9	49.7	37.4	178.5	256.0	576.0	83.6
平均值	A	6.1	16.5	25.3	22.6	108.1	214.0	395.3	83.7
	B	10.3	18.4	29.9	25.7	144.7	226.3	458.6	82.7
变异系数 C. V%	A	13.3	13.8	12.0	18.9	15.4	4.2	5.1	
	B	64.0	38.3	43.4	34.5	25.2	8.1	19.4	

A: 1991年基础值。B: 1997年测定值。

2.2 多年定位施肥对土壤无机磷形态的影响

长期定位施肥对各级形态无机磷均有不同程度的影响,见表2。

2.2.1 Ca₂-P 定位试验 6 年后, 只种作物不施肥的 CK 区、施氮不施磷的 N、NK 区, 平均下降 48.3%, 单施猪粪区 (M₁) 下降 33.9%, 其余小区增加非常明显, 施化学磷肥 (NP、PK、NPK 区) 平均增加 145.9%, 有机肥与化学磷肥配施 (M₁NPK、M₂NPK 区) 平均增加 124.6%; 而化肥增量区 M₁(NPK)h 增加 184.0%。长期定位试验对 Ca₂-P 影响最大, 6 年后变异系数达 64.0%, 居各形态无机磷的首位。且以化学磷肥的作用显著。

2.2.2 Ca₈-P CK 区变化不大, N、NK 区平均下降 52.9%, 单施猪粪区 M₁ 下降 18.2%, 施化学磷肥增加 30.1%, 有机无机磷配施增加 43.4%, 化肥增量区 M₁(NPK)h 增加 65.1%。

2.2.3 Al-P Al-P 含量接近 Fe-P, 甚至略高于 Fe-P。6 年后, CK 区下降 19.3%, N 和 NK 区下降 52.9%, M₁ 区下降 24.8%。施化学磷肥区平均增加 49.8%, 有机无机磷配施增加 56.1%, 化肥增量区 M₁(NPK)h 增加 98.0%。

2.2.4 Fe-P 6 年后, CK 区下降 22.0%, N 和 NK 区下降 52.9%, M₁ 区没有变化, 施化学磷区增加 42.6%, 有机无机磷配施平均增加 77.7%, M₁(NPK)h 区增加 46.7%, 可见施用有机肥有利于 Fe-P 的积累。

2.2.5 O-P CK 区下降 13.0%, N 和 NK 区平均下降 19.1%, M₁ 区 O-P 没有下降相反有增加的趋势 (增加 2.2%), 化学磷肥区平均增加 67.2%, 有机无机配施平均增加 78.1%, 化肥增量区增加 82.5%, 有机无机磷配施对 O-P 积累作用明显。6 年试验各处理平均增加幅度仅低于 Ca₂-P。

2.2.6 Ca₁₀-P CK、N、NK、包括 M₁ 区基本没有变化, 不施磷肥 Ca₁₀-P 几乎没有减少, 化学磷肥区仅增加 5%, 有机无机肥配施增加 11.1%, M₁(NPK)h 区也仅仅增加 14.8%, 可见 6 年试验后 Ca₁₀-P 施肥与否变化都不大, 各级无机磷中 Ca₁₀-P 变异系数最小, 仅 8.1%。不施磷处理 Ca₁₀-P 几乎没有减少, 说明中性紫色土本身有一定的缓效性磷储备, 可转化为速效磷供作物吸收利用。施入土壤中的磷肥在紫色土中不会很快被固定为无效磷。大部分以有效性较 Ca₁₀-P 高的其它形态磷存在。

从以上分析可知, 不施磷肥的 N、NK 小区 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P 和 Fe-P 均比试验前降低约 50%, O-P 下降 19%, 而 Ca₁₀-P 试验前后基本平衡, 从测定值看有机磷也未降低。因而稻—麦 12 季轮作吸收的磷主要来自 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P、Fe-P; 同时也说明不能单施氮肥, 需要配合施用化学磷肥。单施猪粪各级形态磷中的 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P 也下降, 说明每季施猪粪 22500kg/hm², 会消耗土壤速效磷, 必须加施化学磷肥。

施用化学磷肥的各处理, 各级形态磷或多或少均有增加, 从增加的相对量看, Ca₂-P > O-P > Al-P > Ca₈-P >, Fe-P > Ca₁₀-P。O-P、Al-P 和 Fe-P 均有相当增加, 也形成相当数量的 Ca₂-P、Ca₈-P 和 Ca₁₀-P, 说明施用速效磷肥和有机肥料后中性紫色土进行着 Ca-P 体系和 Fe、Al-P 体系的转化。

2.3 不同形态无机磷对作物的有效性

计算 1997 年田间处理小区各级无机磷的含量与不施肥油菜幼苗吸磷量 (表 3) 和 97 年田间稻麦 (籽粒、茎秆) 吸磷量之间的相关系数 (见表 4)。结果表明, Ca₂-P 与盆栽油菜吸磷量呈极显著正相关, 与 Al-P、Fe-P、Ca₈-P 呈显著相关, 而 O-P 和 Ca₁₀-P 相关性低于 0.05 水准, 与田间稻麦总吸磷量进行相关性比较, Ca₂-P、Al-P 达极显著相关, Ca₈-P、Fe-P 和 O-P 达显著相关水准, 与 Ca₁₀-P 的相关性很差。从过去用张守敬无机磷分级法的研究看^[1,2], Fe-P、Al-P 为中性紫色土的有效磷源, 而 Ca-P、O-P 的有效性很低。而本

试验的结果表明 Ca_2-P 、 $Al-P$ 为最有效磷源、 Ca_8-P 、 $Fe-P$ 为缓效性磷源, $O-P$ 、 $Ca_{10}-P$ 有的有效性最差。尤其 $Ca_{10}-P$ 只能作为潜在性磷源。显然顾、蒋无机磷分级方法更有利于研究中性紫色土磷素营养问题。

表3 盆栽试验油菜幼苗吸磷量(mg/钵)

小区	CK	N	NP	NK	PK	NPK	M_1	M_1NPK	$M_1P(NK)_{Cl}$	$M_1(NPK)_h$	M_2NPK
CK	5.83	5.12	11.92	3.90	8.11	9.05	5.25	10.92	9.65	13.10	13.81
NK	6.25	8.22	23.43	5.72	18.79	14.07	12.78	28.70	20.86	30.77	20.91
NPK	31.16	30.89	37.88	26.22	32.24	34.75	39.48	49.22	48.66	45.12	36.04

* $M_1P(NK)_{Cl}$ 为长期定位试验设计中的含氯化肥处理, 氮肥用氯化铵、钾肥用氯化钾、磷肥用普通过磷酸钙。

表4 各级无机磷与盆栽油菜吸磷量和田间稻麦吸磷量之间的相关比较

磷素形态	Ca_2-P	Ca_8-P	$Al-P$	$Fe-P$	$O-P$	$Ca_{10}-P$	
油菜幼苗 吸磷量	0.767**	0.607*	0.672*	0.611*	0.555	0.561	n=11
田间稻麦 吸磷量	0.756**	0.649*	0.786*	0.639*	0.627*	0.388	n=11

3 结论

1. 中性紫色土磷素组成以无机磷为主, 占土壤全磷的 77.0~90.6%, 无机磷中 Ca_2-P 、 Ca_8-P 和 $Ca_{10}-P$ 之和可达 44.3~60.4%, $Ca-P$ 含量高。

2. 6年试验后, Ca_2-P 变化最大, $Ca_{10}-P$ 变化最小。不施磷肥的小区(N、NK)、平均 Ca_2-P 、 $Al-P$ 、 Ca_8-P 和 $Fe-P$ 下降约 50%, $O-P$ 下降 19%, $Ca_{10}-P$ 试验前后基本平衡; 每年施 $150\text{kg}/\text{hm}^2\text{P}_2\text{O}_5$ 的小区, 各级无机磷分别增加: Ca_2-P 145.9%、 $O-P$ 67.2%、 $Al-P$ 49.8%、 $Fe-P$ 42.6%、 Ca_8-P 30.1%、 $Ca_{10}-P$ 5%。试验说明不能仅施氮肥或单施有机肥, 必须配合施用化学磷肥, 否则造成土壤有效磷亏缺。

3. Ca_2-P 是作物最有效的磷源, $Al-P$ 的有效性也很高, 其次为 Ca_8-P 和 $Fe-P$, $Ca_{10}-P$ 有效性最差。有效性大小: $Ca_2-P > Al-P > Ca_8-P > Fe-P > O-P > Ca_{10}-P$ 。

参 考 文 献

- 1 傅绍清, 宋金玉. 土壤有效磷的测定方法及其与磷素形态关系的研究. 土壤学报, 1982, 8: 305~310
- 2 吴德意, 青长乐. 紫色土磷的形态、有效性及有效磷测定方法的研究. 土壤, 1989, 20(5): 215~218
- 3 顾益初, 蒋柏藩. 石灰性土壤无机磷分级的测定方法. 土壤, 1990, 22(2): 101~102
- 4 史吉平, 张夫道, 林葆. 长期施用氮、磷、钾化肥和有机肥对土壤氮磷钾养分的影响. 土壤肥料, 1998(1): 7~10
- 5 姚炳贵, 姚丽竹, 王萍等. 津郊潮土磷素组成及其演变规律的定位研究. 土壤学报, 1997, 34(3), 8: 286~294