

长期施肥条件下潮土耕层有机磷含量与组分的变化研究*

陈军平 汪金舫**

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 以 15 年肥料长期定位试验为基础,采用 Bowman—Cole 有机磷分组方法,研究长期施肥对潮土耕层有机磷组分及其变化的影响。结果表明:耕层有机磷含量相对较低,有机磷总量为 $22.35 \sim 66.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,占土壤全磷的 $4.47\% \sim 9.86\%$ 。各组分中以中度活性有机磷为主要部分,占有机磷 $58.93\% \sim 82.40\%$ 。长期施肥对土壤各组分有机磷含量产生明显影响,与对照 CK 相比,PK 处理活性有机磷和中度活性有机磷增加,NP 处理活性有机磷和中度活性有机磷减少,两处理间差异显著。施用有机肥显著增加耕层土壤中稳定性有机磷含量。耕层土壤碱性磷酸酶与中稳定性有机磷呈显著正相关。

关键词 潮土 长期定位试验 有机磷 活性有机磷

中图分类号:S158.3 文献标识码:A 文章编号:1671-3990(2008)02-0331-04

Changes in organic phosphorus content and forms under long-term fertilization in plowed layers of fluvo-aquic soils

CHEN Jun-Ping, WANG Jin-Fang

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract Based on long-term fertilization experiment (15 years), the Bowman-Cole phosphorus-grouping method was used to study the effect of long-term fertilization on the forms and content of organic phosphorus in calcareous fluvo-aquic soils. The results indicate that organic phosphorus content ranges $22.35 \sim 66.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ in surface soils, accounting for $4.47\% \sim 9.86\%$ of total organic-P in the soil. Among the various forms of organic P in fluvo-aquic soils, moderately labile organic phosphorus is most predominant, accounting for $58.93\% \sim 82.40\%$ of total organic-P content. Long-term fertilization significantly affects organic phosphorus content and forms. Labile organic phosphorus and moderately labile organic phosphorus increase in PK treatment but decrease in NP treatment, with a significant difference between the two. Application of organic manure increases moderately resistant organic phosphorus content in the soil. Significant correlation exists between alkaline phosphatase activity and moderately resistant organic phosphorus ($R^2 = 0.772$, $P < 0.01$).

Key words Fluvo-aquic soil, Long-term experiment, Organic phosphorus, Labile organic phosphorus

(Received April 18, 2007; Accepted July 27, 2007)

有机磷是土壤磷库的重要组成部分。随着有机农业和生态持续农业的发展,土壤有机磷在植物营养中的地位和作用日益受到重视。我国 20 世纪 80 年代后期开始重视土壤有机磷方面的研究^[1-7],认为有机磷与有效磷之间存在极显著正相关关系,且各种形态的有机磷可以相互转化。而对于长期施肥条件下潮土有机磷的变化,磷酸酶活性与各组分有机磷的相关性等尚缺少系统研究资料。为此,本研究以潮土长期定位施肥条件下土壤中有机磷的含量和组分变化为研究对象,探讨不同施肥处理

下土壤有机磷的状况以及磷酸酶活性高低与各组分有机磷相关性的影响,为合理施用肥料,优化土壤生态环境提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

肥料长期定位试验设在中国科学院封丘农业生态实验站内。供试土壤为轻壤质黄潮土。试验起始于 1989 年秋,采用小麦—玉米一年 2 熟轮作制。试验开始前耕层土壤(0~20 cm)理化性质为

* 国家重点基础研究(973)发展计划项目(2002CB4123-02)资助

** 通讯作者:汪金舫(1962~),男,汉族,研究员,从事农田土壤养分利用与管理方面的研究。E-mail:jfwang@issas.ac.cn

陈军平(1979~),男,汉族,植物营养专业硕士生,主要从事土壤有机磷方面的研究。E-mail:chenjp7758@sina.com.cn

收稿日期:2007-04-18 接受日期:2007-07-27

全氮 $0.445 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全磷 $0.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有机磷 $22.35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH8.65。

试验设 CK(对照, 不施肥)、NK、PK、NP、1/2OM(有机肥) + 1/2NPK、OM 和 NPK 7 个处理, 4 次重复。小区面积为 47.5 m^2 。试验分 4 个区组, 随机排列。肥料品种氮肥为尿素, 磷肥为过磷酸钙, 钾肥为硫酸钾。其中 NK、NP、1/2OM(有机肥) + 1/2NPK 和 NPK 处理小麦、玉米都施基肥和追肥, PK 处理小

麦玉米磷、钾肥只作基肥, 不施追肥。OM 处理全季肥料都作基肥一次施入, 不施追肥。肥料用量见表 1^[8]。施肥处理从 1989 年开始进行, 有机肥(OM)以粉碎的麦秆为主, 每季施用量约 $4\,500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (以鲜重计), 加上适量的大豆饼和棉仁饼, 以提高有机肥含氮量。有机肥经过堆制发酵后施用, 施用前先分析 N、P、K 养分含量。以等 N 量为标准, 有机肥中的 P、K 不足部分用 P、K 化肥补足。

表 1 试验田肥料用量

Tab. 1 Fertilizer rates of experiment plots

$\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

作物 Crop	施肥时期 Fertilization time	氮肥(N) N fertilizer	磷肥(P_2O_5) P fertilizer	钾肥(K_2O) K fertilizer
小麦 Wheat	基肥 Base fertilizer	90	75	150
	追肥 Dressing fertilizer	60	0	0
玉米 Maize	基肥 Base fertilizer	60	60	150
	追肥 Dressing fertilizer	90	0	0

1.2 分析方法

土壤全磷测定采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_3$ 消化法, 土壤速效磷测定采用 Olsen 法^[9], 土壤有机磷分组采用 Bowman—Cole 分组方法^[10], 土壤磷酸酶采用磷酸苯二钠测定法^[11]。数据处理采用 SPSS 11.5 统计软件。

2 结果与分析

2.1 长期施肥对耕层土壤有机磷总量的影响

表 2 表明, 试验进行 15 年(2004)后, NP、NK、NPK、1/2OM + 1/2NPK 4 个处理耕层土壤中有机磷总量比对照 CK 低, 其中 NP 处理的有机磷总量最低, 为 $31.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, OM 和 PK 2 个处理较对照 CK 高, 其中 PK 处理的有机磷总量最高, 为 $66.95 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 分别占土壤全磷的 4.47% ~ 9.86%, 各处理与对照 CK 之间未达到显著差异水平。这可能是由于施用氮磷充足的处理(如 NP), 作物生长较好, 从土壤中带走的有机磷也多; 而磷钾配施处理(PK)因作物生长很差, 从而施入的磷大部分残留在土壤中, 促进了有机磷的积累。所有处理耕层土壤有机磷总量都比实验前有所增加, 且在试验的前 5 年增加幅度较大, 随着试验继续进行, 有机磷总量有下降的趋势。说明在长期定位试验条件下, 施用无机磷肥和有机磷肥对增加耕层土壤有机磷含量虽然有一定的效果, 但均未达到显著影响水平。

2.2 长期施肥对耕层土壤活性有机磷及中活性有机磷的影响

经过 15 年施肥试验后, 与对照 CK 相比(表

2), NP、NK、OM、1/2OM + 1/2NPK、NPK 5 个处理耕层土壤活性有机磷含量有所减少, 其中 NP 处理活性有机磷含量最低, 为 $1.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 比 CK 少 $2.35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 统计分析结果表明 NP 处理与 CK 之间差异达极显著水平。只有 PK 处理耕层土壤活性有机磷含量与对照 CK 相比有小幅增加, 但差异不显著, 其他处理与对照 CK 之间差异也不显著。中度活性有机磷含量表现出与活性有机磷相似的规律, 即 NP、NK、OM、1/2OM + 1/2NPK、NPK 5 个处理较对照 CK 低, PK 处理比对照 CK 高, 其中 NP 处理中活性有机磷含量最低, 为 $18.39 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。统计分析结果表明所有处理与对照 CK 之间差异都未达到显著水平。与实验前相比, PK、NPK、1/2OM + 1/2NPK、NP 4 个处理的活性有机磷和中活性有机磷都有所增加。说明在缺 N、缺 P、富 K 的石灰性潮土中, 施用无机磷肥能增加土壤活性有机磷和中度活性有机磷含量, 这与前人研究结果一致^[12,13]。

对于耕层土壤活性有机磷, 未施磷肥的 NK 和对照 CK 两个处理在试验过程中逐年增加, 只是在试验进行到 10 年后 NK 处理增幅减小而对照 CK 增幅增大; 对于中活性有机磷, NK 处理和对照 CK 也表现出相似的规律, 即前 5 年间增幅较大, 随着试验的继续进行增幅先降后升。这可能与两个处理耕层土壤每年有机质(根茬残留量)更新量大于作物带走的有机磷量有关。PK 处理的活性有机磷和中活性有机磷在整个试验过程中都保持较大幅度的增长, 主要原因是无机磷肥的积累促进了其向有机磷的转化。

表 2 潮土耕层土壤有机磷组分变化

Tab.2 The changes of the organic-P forms in plowed layer of fluvo-aquic soil

kg · m⁻²

处理 Treatment	年份 Year	活性有机磷 Labile organic-P		中度活性有机磷 Moderately labile organic-P		中度稳定性有机磷 Moderately resistant organic-P		高稳定性有机磷 Highly resistant organic-P		有机磷 总量 Total organic-P
		含量 Content (mg · kg ⁻¹)	%	含量 Content (mg · kg ⁻¹)	%	含量 Content (mg · kg ⁻¹)	%	含量 Content (mg · kg ⁻¹)	%	
实验前 Before experiment	1989	1.41	6.31	14.78	66.14	5.10	22.82	1.06	4.74	22.35
CK	1994	2.48	3.24	44.32	58.00	7.51	9.83	22.10	28.93	76.41
	1999	2.75	4.44	29.62	47.78	3.64	5.88	25.97	41.90	61.99
	2004	3.88b	7.02	45.10ab	81.60	6.29a	11.38	0.00	0.00	55.27ab
NK	1994	2.17	3.30	29.35	44.56	3.75	5.69	30.60	46.45	65.88
	1999	2.67	5.55	23.97	49.81	4.61	9.59	16.87	35.05	48.12
	2004	2.00ab	5.41	27.59ab	74.67	7.36a	19.92	0.00	0.00	36.95ab
PK	1994	1.59	2.61	32.14	52.75	3.23	5.30	23.97	39.34	60.93
	1999	2.30	3.64	52.07	82.52	6.01	9.52	2.72	4.31	63.10
	2004	4.02b	6.00	55.17b	82.40	5.75a	8.59	2.01b	3.00	66.95b
NP	1994	2.29	2.59	35.55	40.16	4.39	4.96	46.30	52.29	88.53
	1999	3.51	3.81	51.98	56.49	6.53	7.10	30.00	32.60	92.02
	2004	1.53a	4.90	18.39a	58.93	11.29b	36.17	0.00	0.00	31.21a
1/2OM + 1/2NPK	1994	2.20	2.42	35.39	38.84	2.84	3.12	50.67	55.62	91.09
	1999	3.83	5.36	36.20	50.63	9.04	12.65	22.43	31.36	71.51
	2004	2.47ab	5.22	32.26ab	68.13	12.62bc	26.65	0.00	0.00	47.36ab
OM	1994	2.19	2.90	39.33	52.09	3.19	4.22	30.79	40.79	75.49
	1999	3.38	4.29	45.33	57.63	11.49	14.60	18.46	23.47	78.66
	2004	2.25ab	3.64	44.97ab	72.69	14.65c	23.67	0.00	0.00	61.87ab
NPK	1994	1.77	2.31	34.69	45.20	4.03	5.25	36.25	47.24	76.74
	1999	3.88	7.69	28.18	55.85	8.98	17.80	9.42	18.66	50.46
	2004	3.29ab	6.72	34.86ab	71.16	10.35b	21.12	0.49a	1.01	48.98ab

表中同列或同一行不同字母表明差异达显著水平 ($P < 0.05$); % 代表各组分有机磷占总量的百分比。The difference between the figures followed by the same letter is not significant at 5% level. % stands percentage of different organic-P forms to the total organic-P.

2.3 长期施肥对耕层土壤中稳定性有机磷和高稳定性有机磷的影响

15 年长期定位试验结果表明,施用有机肥明显提高了耕层土壤中度稳定性有机磷的含量。1/2 OM + 1/2NPK 和 OM 两个处理中度稳定性有机磷含量分别为 12.62 mg · kg⁻¹ 和 14.65 mg · kg⁻¹, 分别比对照 CK 增加 6.33 mg · kg⁻¹ 和 8.36 mg · kg⁻¹, 统计分析结果达到极显著水平。说明在潮土中,施用有机肥主要增加有机磷中的中稳定性部分,这与周广业等研究结果不同^[14],众所周知,有机肥本身含有较高的有机磷和大量微生物,能通过“微生物固定作用”促进无机磷向有机磷的转化^[15],但增加的有机磷中哪一组分占主体与施用的有机肥种类和土壤性质等因素有关。对于高稳定性有机磷,所有施

肥处理在试验前 5 年都达到最大值,在随后的 10 年中急剧下降,到 2004 年几乎测定不到。说明在本试验施肥量条件下,高稳定性有机磷较易向其他活性较大的有机磷形态转化。

对照 CK 的中稳定性有机磷在 15 年间变化无明显一致规律。其他处理变化规律较为一致,在试验的前 5 年都略有下降,而在后 10 年中都明显上升。可能是高稳定性有机磷的急剧降低从而促进了中稳定性有机磷的累积。

2.4 耕层土壤中碱性磷酸酶与各组分有机磷的相关性

土壤有机磷在土壤微生物和土壤酶的作用下进行矿化,其矿化过程主要取决于微生物活性和磷酸酶的活性。其中,磷酸单酯酶与有机磷的矿化及

植物的磷素营养关系密切^[9],文献资料报道土壤样品的预处理仅改变某种酶活性的绝对值而不改变其相对大小^[16],试验结果(图 1)表明,施用有机肥土壤碱性磷酸酶活性显著升高,施用有机肥(OM、1/2OM+1/2NPK)2 个处理酶活性水平比其他处理都高,其中 OM 处理碱性磷酸酶活性最大,与其他处理都达到了极显著差异水平;NK 处理酶活性水平最低,但与对照 CK 和 PK 处理间差异不显著。

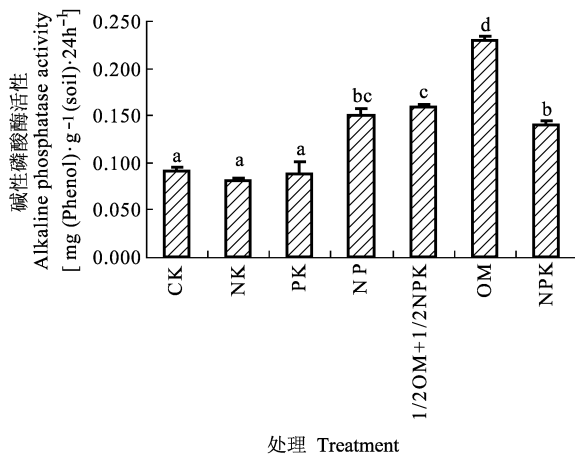


图 1 各处理耕层土壤中碱性磷酸酶的活性(2004)

Fig. 1 Alkaline phosphatase activity in the plowed layer under different treatments in 2004

各处理碱性磷酸酶活性高低与有机磷总量高低之间并不一致。碱性磷酸酶活性最高的 OM 处理,其有机磷总量并不是最高,而有机磷总量最高的 PK 处理其碱性磷酸酶活性却处于较低水平。说明潮土中碱性磷酸酶活性并不取决于土壤中有有机磷总量,而与土壤中有有机磷的某个组分有关。

回归分析发现,碱性磷酸酶活性与中度稳定性有机磷的关系可用对数关系式表示($y = -0.1420 + 0.1246 \ln x$),两者达到极显著相关($R^2 = 0.772$, $P < 0.01$),而与活性有机磷和中度活性有机磷的相关性均未达到显著水平。这可能与活性有机磷和中度活性有机磷容易矿化,而中度稳定性有机磷比较难矿化有关。

3 小结

封丘地区潮土耕层土壤有机磷含量较低,有机磷各组分中以中度活性有机磷为主要部分,占有有机磷的 58.93% ~ 82.40%; 不同施肥处理对耕层土壤

有机磷含量影响不同,磷肥和钾肥配施增加土壤中活性有机磷和中度活性有机磷含量,磷肥和氮肥配施土壤中活性有机磷和中度活性有机磷减少,且两处理间差异显著,施用有机肥显著增加耕层土壤中中度稳定性有机磷;潮土耕层土壤中碱性磷酸酶与中度稳定性有机磷显著相关,而与活性有机磷和中度活性有机磷相关性不强。

参考文献

- [1] 贺铁. 土壤有机磷研究的新进展[J]. 土壤通报, 1986, 3: 141-143
- [2] 贺铁, 李世俊. Bowman-Cole 土壤有机磷分组法的探讨[J]. 土壤学报, 1987, 24 (2): 152-159
- [3] 任怡. 土壤有机磷分组方法的探讨[J]. 吉林农业科学, 1989, 3: 69-75
- [4] 熊恒多, 李世俊, 范业宽. 酸性水稻土有机磷分组法的探讨[J]. 土壤学报, 1993, 30 (4): 390-399
- [5] 孙华, 熊德祥. 鲁南砂姜土及其有机无机复合体的有机磷研究[J]. 土壤通报, 1998, 29 (2): 61-64
- [6] 梁国庆. 长期施肥对石灰性潮土氮磷形态的影响及外源磷在土壤中的转化[D]. 北京: 中国农业科学院, 1998
- [7] 秦韧, 杨团结, 刘树堂, 等. 长期定位施肥对无石灰性潮土酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15 (1): 33-36
- [8] 顾益初, 钦绳武. 长期施用磷肥条件下潮土中磷素的积累、形态转化和有效性[J]. 土壤, 1997 (1): 13-17
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 172-175, 179-180
- [10] Bowman R. A., Cole C. V. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils[J]. Soil Sci., 1978, 125: 95-101
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986
- [12] 王伯仁, 徐明岗, 文石林. 长期施肥对红壤旱地磷素的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21 (9): 255-259
- [13] 黄庆海, 赖涛, 吴强, 等. 长期施肥对红壤性水稻土有机磷组分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9 (1): 63-66
- [14] 周广业, 阎龙翔. 长期施用不同肥料对土壤磷素形态转化的影响[J]. 土壤学报, 1993, 30 (4): 443-446
- [15] 蒋柏藩, 顾益初. 石灰性土壤无机磷分级体系的研究[J]. 中国农业科学, 1989, 22 (3): 58-66
- [16] Bandick A. K., Dick R. P. Field management effects on soil enzyme activities[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1999, 31: 1471-1479