

长期施用不同肥料对栗褐土有机磷组分的影响^①

杨艳菊¹, 王改兰^{1*}, 张海鹏¹, 赵旭¹, 熊静¹, 黄学芳²

(1 湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128; 2 山西农业科学院旱地农业研究中心, 太原 030031)

摘要: 采用 Bowman-Cole 提出的土壤有机磷分级体系对长期定位试验耕层土壤有机磷的形态进行测定。结果表明, 除单施氮肥处理(N)外, 各处理磷的有效率与对照相比均有所增加, 高量有机肥与氮磷肥配合施用处理(M₂NP)增加最多, 增加了 5.59%; 氮磷肥合施(NP)、单施低量有机肥(M₁)、低量有机肥与氮肥配合施用(M₁N)、低量有机肥与氮磷肥配合施用(M₁NP)、高量有机肥与氮肥配合施用(M₂N)和 M₂NP 处理有机磷总量分别比对照增加了 92.7%、133.8%、133.9%、191.3%、172.1% 和 201.5%, 差异达到显著水平; 除 N 处理外, 各处理有机磷组分中以活性有机磷增加地最为明显, 较对照增加了 205.1% ~ 420.5%, 其中以 M₂NP 增加最为显著增加了 420.5%; 中活性有机磷与中稳性有机磷是栗褐土有机磷的主体, 约占有有机磷总量的 70%; 相关分析与回归分析表明, 活性有机磷、中稳性有机磷对速效磷的贡献最大。

关键词: 长期施肥; 栗褐土; 有机磷总量; 有机磷组分

中图分类号: S158.2

土壤中的有机磷作为植物可吸收利用的重要磷源, 在农业生态系统的物质循环中起着重要作用^[1-2]。有机磷经矿化后变为无机磷, 或通过土壤磷酸酶的作用转化为无机磷被作物吸收利用^[3-4]。所以, 有机磷在磷的生物循环中起着重要的作用^[5-6], 农业上对有机磷的研究已越来越受到研究者的重视。栗褐土是黄土丘陵地区典型地带性土壤, 全磷含量虽较高, 但因属石灰性土壤, 磷很容易被固定, 速效磷含量并不高, 磷肥的利用率也不高^[7]。因此, 本研究以砖窑沟流域试验区 21 年的长期定位试验为依据, 探讨栗褐土长期施用不同肥料对土壤有机磷组分的影响, 旨在为当地合理利用土壤和肥料磷资源提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

试验于 1988 年布置在山西省河曲县砖窑沟流域的沙坪村窑家嘴梁顶平地上, 供试土壤按山西省第二次土壤普查分类为轻壤黄土质淡栗褐土(土种), 以中国土壤系统分类为黄土正常新成土(土类), 1988 年作物播种前测得试验地耕层(0 ~ 20 cm)土壤基本理化性状: 有机质、全氮、全磷含量分别为 5.64、0.445、1.23 g/kg, 碱解氮、速效磷含量分别为 13.95、

2.85 mg/kg, pH 值为 8.06, CaCO₃ 含量为 13.55%。

1.2 试验设计

试验设 8 个处理: ①不施肥(CK); ②单施氮肥(N); ③氮磷肥合施(NP); ④单施低量有机肥(M₁); ⑤低量有机肥与氮肥配合施用(M₁N); ⑥低量有机肥与氮磷肥配合施用(M₁NP); ⑦高量有机肥与氮肥配合施用(M₂N); ⑧高量有机肥与氮磷肥配合施用(M₂NP)。所有肥料均作基肥一次性施用, 各处理施肥量见表 1。试验设 3 次重复, 随机区组排列, 小区面积 4 m×6 m, 每年试验小区的处理不变。氮肥用含氮 460 g/kg 的尿素, 磷肥用含 P₂O₅ 140 g/kg 的过磷酸钙, 有机肥使用当地圈肥, 氮含量 3.64 g/kg, P₂O₅ 含量平均为 2.46 g/kg(多年平均值), 本试验施有机肥的两种水平下, 有机肥料带入的氮元素分别为 81.9 kg/hm² 和 163.8 kg/hm², 有机肥带入的磷元素分别为 55.38 kg/hm² 和 110.77 kg/hm²。种植制度为一年一熟制, 玉米单作, 耕作管理措施与大田相同。

1.3 土壤样品的采集与测定

试验于 2009 年作物播种前采集耕层(0 ~ 20 cm)土壤样品, 风干后过筛, 测定全磷、速效磷、有机质、有机磷总量及其各组分(均为 3 次重复取平均值)。土壤有机磷总量采用灼烧法测定; 土壤有机质、全磷、

基金项目: 国家自然科学基金项目(49971040)和湖南农业大学人才引进资金项目资助。

* 通讯作者(gailanwang@hotmail.com)

作者简介: 杨艳菊(1986—), 女, 河北唐山人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与施肥研究。E-mail: tsyangyanju@126.com

表 1 各处理的施肥量(kg/hm²)

Table 1 Fertilization of treatments

处理	有机肥	氮肥(N)	磷肥(P ₂ O ₅)
CK	0	0	0
N	0	120	0
NP	0	120	75
M ₁	22 500	0	0
M ₁ N	22 500	120	0
M ₁ NP	22 500	120	75
M ₂ N	45 000	120	0
M ₂ NP	45 000	120	75

速效磷均采用常规方法测定^[8]。有机磷分组用 Bowman-Cole 法^[9]。磷的有效率=(土壤速效磷含量/土壤全磷含量)×100%^[10]。数据使用 Excel 2003 及 DPS 7.05 进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对栗褐土有机磷形态含量的影响

2.1.1 不同施肥处理对栗褐土磷的有效率的影响

土壤速效磷的含量能较好地反映土壤的供磷能力,但不能很好地反映土壤磷的植物有效性^[10]。本文以磷的有效率来表示磷的有效性。由表 2 可知,不同处理栗褐土磷的有效率分别为 1.63%、0.78%、2.42%、3.37%、3.56%、3.66%、3.71% 和 7.22%。方差分析表明,有外源磷肥施入的处理磷的有效率均显著高于无磷肥施入的处理(CK、N),其中,M₂NP 处理显著高于其他处理,M₁NP 处理显著高于 NP 处理,说明施用化学磷肥,特别是与有机肥配合施用时可以显著提高土壤磷的有效性,这与龚伟等^[11]、王艳玲等^[12]的研究结果一致。

2.1.2 不同施肥处理对栗褐土有机磷总量的影响

由表 2 可知,由于在本试验处理中,外源磷加

入的种类、数量、方式有不同,因此,各处理土壤有机磷总量间差异较大。与对照相比,除 N 处理有机磷总量略有降低外,其余处理均高于对照。其中施用无机磷肥的 3 个处理(NP、M₁NP、M₂NP)中,除 NP 处理外,有机磷含量均高于施用有机肥而未施用磷肥的 3 个处理(M₁、M₁N、M₂N)。在施用无机磷肥的 3 个处理中,有机磷总量以 M₂NP 含量最高,M₁NP 次之,NP 含量最少,依次较对照增加 201.5%、191.3% 和 92.7%,差异均达到极显著水平。M₂N、M₁N、M₁ 3 个处理中以 M₂N 高于 M₁N 和 M₁,依次较对照增加 172.1%、133.9% 和 133.8%。这是由于有机肥本身含有丰富的有机磷和有机质,施用有机肥增加土壤有机磷含量的同时也有利于有机磷的形成。显然长期施用磷肥或有机肥都有利于栗褐土有机磷总量的积累,有机肥与无机磷肥配合施用效果更加明显。

2.1.3 不同施肥处理对栗褐土有机磷各组分的影响

从表 2 可以看出,N 处理有机磷各组分含量均低于对照,尤其是活性有机磷与高稳性有机磷下降幅度较大,分别较对照降低了 12.8% 和 19.8%。这是由于土壤长期处于耗竭条件下,作物对土壤磷吸收利用的结果^[13]。表明栗褐土中活性有机磷的有效性比较高,较易被作物吸收利用;在长期耗竭状态下,高稳性有机磷也可以转化为活性较强的磷组分;其余 6 个处理有机磷各组分含量均较对照有所增加,差异均达到显著水平。活性有机磷增加得最为明显,较对照中增加了 205.1%~420.5%;其中又以 M₂NP 处理增加最为显著。说明有机肥与化学磷肥配施可以明显增加土壤活性有机磷含量。施用外源磷肥的 6 个处理与对照相比中等活性有机磷与中稳性有机磷含量均有所增加,分别增加了 115.0%~153.7% 和 11.9%~43.0%,但差异均不显著。施用外源磷肥的 6 个处理的高稳性有机磷与对照相比增加 26.3%~166.4%,差异达到显著水平。

表 2 长期不同施肥处理土壤有机质、全磷、有机磷总量及各组分含量变化

Table 2 Changes of soil organic matter, total P, total organic P and organic P fractions under long-term different fertilization

处理	有机质 (g/kg)	全磷 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	活性有机磷 (mg/kg)	中活性有机磷 (mg/kg)	中稳性有机磷 (mg/kg)	高稳性有机磷 (mg/kg)	有机磷 (mg/kg)
CK	7.17 d	1.12 cd	18.29 de	0.39 bc	8.45 a	8.34 a	3.99 c	21.91 c
N	7.13 d	1.08 d	8.46 e	0.34 c	8.06 a	8.26 a	3.20 c	20.48 c
NP	7.72 d	1.34 abcd	32.48 cd	1.40 ab	20.45 a	9.93 a	5.04 bc	42.21 b
M ₁	9.43 c	1.39 abc	46.80 bc	1.81 a	21.44 a	9.33 a	6.11 abc	51.24 ab
M ₁ N	10.97 b	1.32 bcd	46.93 bc	1.54 a	18.17 a	11.78 a	10.63 a	51.23 ab
M ₁ NP	11.01 b	1.57 ab	57.46 b	1.78 a	19.19 a	10.06 a	9.37 ab	63.83 a
M ₂ N	13.74 a	1.42 ab	52.71 b	1.19 abc	20.52 a	11.93 a	8.87 ab	59.62 a
M ₂ NP	14.46 a	1.62 a	116.92 a	2.03 a	19.90 a	10.93 a	10.18 a	66.06 a

注:同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P<0.05$ 显著水平。

2.2 不同施肥处理对栗褐土有机磷组分比例的影响

由图 1 可知, 栗褐土中活性有机磷占有有机磷总量的 1.66% ~ 3.07%, 平均为 2.37%; 中活性有机磷的比例为 30.07% ~ 48.44%, 平均为 39.26%; 中稳性有机磷为 15.57% ~ 40.31%, 平均为 27.94%; 高稳性有机磷为 11.93% ~ 20.76%, 平均为 16.35%。说明栗褐土中中等活性有机磷与中稳性有机磷是有机磷的主体, 活性有机磷所占的比例较小。

除 N 处理外, 其余各处理活性有机磷的比例均比对照有所提高, 但在有机磷中所占比例较低, 有机肥与化学磷肥配施的处理也是如此。这与王旭东等^[14]、李和生和李昌纬^[15]的研究结果相似。NP 处理中活性有机磷所占比例最大, M₁NP 处理中所占比例最小。中、高稳性有机磷占土壤总有机磷的比例均有下降的趋势。原因可能与有机磷相对含量的差异有关。

2.3 各形态有机磷与速效磷的相关性

研究表明土壤有机磷各形态与土壤速效磷之间存在着一定的相关关系, 利用相关分析可以比较有机磷各组分有效性的高低。一般认为有机磷各组分与速效磷相关系数愈大, 相关关系愈显著, 其有效性也就愈高。

本试验土壤有机磷各组分与速效磷含量间的相关分析结果表明(表 3): 活性有机磷、中等活性有机磷、中稳性有机磷和高稳性有机磷与速效磷的相关性

均达到显著或极显著水平。这与冯跃华和张杨珠^[16]、马玲玲等^[17]的研究结果大致相同。

运用 DPS 分析软件对土壤有机磷各组分含量与速效磷之间进行回归分析, 可得方程: $Y = -95.7214 + 88.7431X_1 - 7.1414X_2 + 18.1365X_3 - 4.7528X_4$ ($R^2 = 0.8762$), 等式中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 分别表示活性有机磷、中活性有机磷、中稳性有机磷和高稳性有机磷。由此方程可以看出, 活性有机磷对速效磷的贡献最大, 其次为中稳性有机磷、高稳性有机磷和中活性有机磷。从而可知中稳性有机磷与活性有机磷是速效磷的主要来源。高稳性有机磷与速效磷虽然是正相关关系, 但对速效磷的影响是负向的。

3 结论

(1) 长期施用磷肥或有机肥可以显著提高栗褐土磷的有效率, 有机肥与化学磷肥配施效果更加明显, 这说明有机无机配施可以提高栗褐土磷的有效率, 在施肥制度中应考虑有机无机配施。

(2) 常年无磷肥施用单施氮肥的处理, 有机磷总量及各组分含量与对照相比均有不同程度的降低, 高稳性有机磷降低最多为 19.8%, 这说明在长期耗竭状态下, 高稳性有机磷也可以转化为活性较强的磷组分被作物吸收利用。

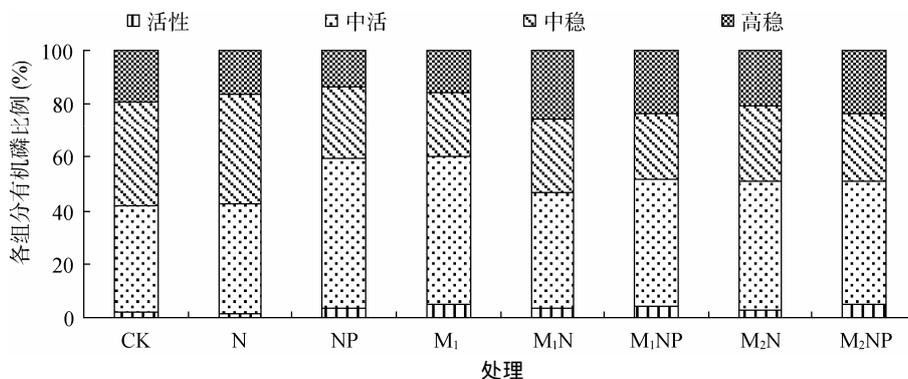


图 1 不同处理各组分有机磷的比例

Fig.1 Percentage of organic P fractions under different treatments

表 3 土壤速效磷与各形态有机磷的相关性

Table 3 Correlations among Olsen-P and different forms of organic P

	活性有机磷	中活性有机磷	中稳性有机磷	高稳性有机磷	速效磷
活性有机磷	1				
中活性有机磷	0.896 7**	1			
中稳性有机磷	0.593 6	0.703 8*	1		
高稳性有机磷	0.750 8**	0.657 0*	0.875 4**	1	
速效磷	0.797 4**	0.620 7*	0.603 2*	0.768 0**	1

注: $n = 9$, $r_{0.05} = 0.602$, $r_{0.01} = 0.735$ 。

(3) 有外源磷肥施用的6个处理, 有机磷总量、有机磷各组分与对照相比均有不同程度的增加, 有机磷总量以有机无机配施的M₁NP和M₂NP增加程度最大, 分别增加了191.3%和201.5%, 有机磷各组分中以活性有机磷增加最为显著。

(4) 施肥21年后, 栗褐土活性有机磷占总有机磷的2.37%, 中活性有机磷占总有机磷的39.26%, 中稳性有机磷占总有机磷的27.94%, 高稳性有机磷占总有机磷的16.35%。中活性有机磷和中稳性有机磷是栗褐土有机磷的主体, 约占有机磷总量的70%。

(5) 相关分析与逐步回归分析结果表明: 活性有机磷、中稳性有机磷对速效磷的贡献最大。

参考文献:

- [1] 海龙, 王平, 张仁陟, 王玲英, 张春红, 韩国军. 不同耕作方式对土壤有机磷形态的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2006, 10(5): 95-99
- [2] 宋春, 韩晓增. 长期施肥条件下土壤磷素研究进展[J]. 土壤, 2009, 41(1): 21-26
- [3] Danal RC. Soil organic phosphorus[J]. *Advances in Agronomy*, 1977, 29: 83-117
- [4] 吕家珑, 张一平, 陶国树, 韩新宁. 23年肥料定位试验0~100 cm土壤剖面中各形态磷关系的研究[J]. 水土保持学报, 2003, 3(17): 48-50
- [5] 孙波, 朱兆良, 牛栋. 农田长期生态过程的长期试验研究进展与展望[J]. 土壤, 2007, 39(6): 849-854
- [6] 化党领, 余长坤, 刘世亮, 刘芳, 介晓磊. 石灰性土壤不同土层磷形态研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(9): 277-282
- [7] 张亮, 王改兰, 段建南, 黄学芳. 长期施肥对栗褐土腐殖质组分的影响[J]. 山西农业大学学报, 2010, 30(1): 5-8
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-165
- [9] Bowman A, Cole CV. An exploratory method for fraction of organic phosphorus grassland[J]. *Soil Science*, 1978, 125(1): 49-54
- [10] 陈惟才, 谢小立, 王凯荣. 不同施肥模式下红壤性水稻土中磷的分布及其有效性[J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 87-90
- [11] 龚伟, 颜晓元, 王景燕. 长期施肥对土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2011, 43(3): 336-342
- [12] 王艳玲, 何园球, 李成亮, 刘晓利. 有机无机配施对红壤磷库重建质量的长期效应[J]. 土壤, 2008, 40(3): 399-402
- [13] 程艳丽, 程希雷, 邹德乙. 棕壤长期定位施肥十五年后磷素形态及其有效性[J]. 土壤通报, 2009, 40(6): 1362-1366
- [14] 王旭东, 张一平, 李祖荫. 有机磷在壤土中组成变异研究[J]. 土壤肥料, 1997(5): 16-18
- [15] 李和生, 李昌纬. 施肥对磷素在红油土中形态及分布的影响[J]. 西北农业学报, 1995, 4(3): 77-80
- [16] 冯跃华, 张杨珠. 土壤有机磷分级研究进展[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2002, 28(3): 259-264
- [17] 马玲玲, 韩晓日, 刘骏, 王焯青, 王玲莉, 李鑫. 长期施肥对棕壤有机磷形态及转化的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(18): 5487-5489

Effects of Long-term Different Fertilization on Organic Phosphorus Forms in Cinnamon Soil

YANG Yan-ju¹, WANG Gai-lan^{1*}, ZHANG Hai-peng¹, ZHAO Xu¹,
XIONG Jing¹, HUANG Xue-fang²

(1 College of Resources and Environment, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China;

2 Institute of Dryland Farming, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031, China)

Abstract: This paper studied the forms of organic phosphorus in topsoil by Bowman-Cole's method. The results showed that phosphorous efficiencies of all treatments were increased compared with the control except N treatment. Phosphorous efficiency of M₂NP treatment was the highest, increased by 5.59% compared with the control. The differences of total organic phosphorous of NP, M₁, M₁N, M₁NP, M₂N and M₂NP were significant and respectively increased by 92.7%, 133.8%, 133.9%, 191.3%, 172.1% and 201.5% respectively compared with the control. Labile organic phosphorus increased most in organic phosphorous of all treatments except N treatment, increased by 205.1% - 420.5% compared with the control. Labile organic phosphorus of M₂NP was increased by 420.5% compared with the control. Active organic phosphorus and moderately resistant organic phosphorus were the main components of Cinnamon organic phosphorus, accounting for 70% of the total organic phosphorus. Labile organic phosphorus and moderately resistant organic phosphorus contributed most to the available phosphorus.

Key words: Long-term fertilization, Cinnamon soil, Total organic phosphorous, Organic phosphorus forms