

黄土旱塬施肥对土壤颗粒组成及其有效磷富集的影响研究

陈璐¹, 党廷辉^{1,2}, 杨绍琼², 戚瑞生¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过田间试验与室内分析相结合的方法研究长期不同施肥处理下土壤颗粒组成及其有效磷富集。结果表明, 各施肥处理土壤颗粒组成都呈现颗粒愈小比例愈高的规律, 而不同施肥处理对同一粒径颗粒含量又有一定的影响。在单施磷肥(P)的基础上, 配施氮肥、有机肥(NP、PM、NPM)有利于增加<0.25 mm 颗粒的比例, 以 NPM 处理最为明显。长期施用有机肥改善了土壤颗粒中有效磷水平, 但也提高了土壤颗粒有效磷中水溶性磷的比例。土壤中的有效磷(包括速效磷、水溶性磷)主要富集在<2 mm 粒径的土壤颗粒中, <0.25 mm 的土壤颗粒中有效磷富集率最高。氮磷配施(NP)、氮磷有机肥配施(NPM)有利于增加<0.25 mm 颗粒中土壤有效磷的富集, PM 处理更促进土壤有效磷在 0.25~2 mm 粒径中富集。

关键词: 土壤颗粒组成; 有效磷; 水溶性磷

中图分类号: S152.3 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2011)03-0151-03

Effects of Fertilization on Soil Particle Composition and Phosphorus Enrichment in Dry Highland of Loess Plateau

CHEN Lu¹, DANG Ting-hui^{1,2}, YANG Shao-qiong², QI Rui-sheng¹

(1. College of Resource and Environment Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: The study on soil particle composition and enrichment of available phosphorus was conducted with a long-term fertilization field experiment and laboratory analysis methods. The results showed the smaller soil particle was, the higher the proportion of soil particles was in four fertilization treatments, but the different fertilizer treatments would influence the proportion of the same particle size. The combined application of nitrogen fertilizer, organic fertilizer on the basis of a single P application (NP, PM, NPM), would help to increase the <0.25 mm proportion of particles, the NPM was the most obvious. The long-term application of organic fertilizer could improve available phosphorus in soil particles, in same time the proportion of the water-soluble phosphorus in available phosphorus of the soil particles may be increased. Available phosphorus in the soil (including Olsen-P, water-soluble phosphorus) mainly enriched in the <2 mm soil particles, the highest enrichment rate of available phosphorus was in <0.25 mm soil particles. The combined application of nitrogen and phosphorus fertilizer(NP) or nitrogen, phosphorus and organic fertilizer(NPM) could significantly improve enrichment rate of available phosphorus in <0.25 mm soil particles, but the application of phosphorus and organic fertilizer(PM) could increase enrichment rate of available phosphorus in 0.25~2 mm soil particles.

Key words: soil particle composition; available phosphorus; water-soluble phosphorus

土壤是作物生长的载体, 要保证作物正常生长, 土壤必须贮存和供应足够的水分及养料。理想的土壤颗粒组成, 有利于土壤养分和水分的保持与供给。农田土壤在保证土壤的通气、保水和供养的状况下, 颗粒组成越小, 养分含量越高, 越容易被植物吸收利用^[1,2]。土壤颗粒组成强烈地受气候、生物活动以及土壤管理的影响, 也易遭到机械的和物理化学性质破坏力的作用^[7]。国内外在土壤肥力与土壤团聚体及微团聚体的研究方面做了大量工作^[3], 但长期轮作一肥料试验对土壤颗粒组成的影响研究较少。

磷素施用效应研究对农业生产有重要意义^[4], 国内外大量研究表明: 合理施用磷肥可以提高作物产量, 改善作物品质, 提高肥料利用率, 增强土壤肥力^[5-9]。土壤磷素在土壤中的存在状态直接影响作物的有效性, 速效

收稿日期: 2011-01-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2005CB121102)

作者简介: 陈璐(1984—), 女, 山西太原人, 硕士生, 主要从事土壤学研究。E-mail: clcc_006@163.com

通讯作者: 党廷辉(1964—), 男, 陕西户县人, 博士, 研究员, 主要从事土壤学研究。E-mail: dangth@ms.iswc.ac.cn

磷与水溶性磷被认为与作物有效性和环境效应密切相关。土壤颗粒作为土壤的基本单位之一,直接与施入土壤中的磷肥发生作用,由于不同粒径土壤颗粒比表面面积存在差异,所以土壤颗粒比例的变化将影响土壤对磷素的作用。因此研究土壤有效磷(包括速效磷、水溶性磷)在土壤颗粒中富集情况对农业生产和环境评价有重要意义。本试验通过长期定位轮作—施肥试验,分析研究不同施肥处理对土壤颗粒组成影响及其有效磷富集效应,以便为科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

长期施肥定位试验设在陕西省长武县十里铺村无灌溉条件的旱地上,该区属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温为 9.1℃,年均降雨量 584.1 mm,≥10℃活动积温 3 029℃,无霜期 171 d。土壤为粘盖黑垆土,1984 年试验开始时耕层(0—20 cm)土壤的基本理化性状为:pH 8.1,有机质 10.5 g/kg,全氮 0.8 g/kg,全磷 1.26 g/kg,速效磷 3 mg/kg。试验选取冬小麦连作系统 4 个施磷处理,包括 P、NP、PM、NPM。其中 P 指 1 hm² P₂O₅ 施用量为 60 kg, M 指 1 hm² 使用 75 000 kg 有机肥, N 指 1 hm² 纯 N 施用量为 120 kg。试验中 N 肥用尿素, P 肥用过磷酸钙, 有机肥用纯牛粪(平均含有机质 18.1 g/kg, 全氮 1.164 g/kg, 全磷 2.4 g/kg), 肥料在播种前撒施并翻入土中, 田间管理同大田。2010 年小麦收获后采集耕层土壤(0—20 cm)样品, 测定土壤颗粒组成, 以及各颗粒组分中土壤速效磷和水溶性磷。

1.2 测定方法

对风干原状土进行干筛, 分别得到粒径在 0~0.25 mm, 0.25~1 mm, 1~2 mm, 2~5 mm 和 >5 mm 的 5 组土壤颗粒组成并称量, 将各组土壤研磨过筛(0.25 mm), 测定土壤中速效 P, 水溶性 P。速效 P 用 NaHCO₃ 法测定^[10], 水溶性 P 采用 0.02 mol/L KCl 浸提过滤, 孔雀石绿法^[11,12]测定。

某一颗粒土壤磷素富集率(ER) = 某一颗粒土壤磷素含量(mg)/土壤磷素总含量(mg)。

2 结果与讨论

2.1 长期施肥对土壤颗粒组成的影响

各施肥处理土壤颗粒组成都呈现颗粒愈小比例愈高规律, 而不同施肥处理可以不同程度地影响土壤颗粒组成。由表 1 可以看出, 各处理的土壤颗粒比例均以粒径<0.25 mm 含量最多, 随着粒径的增大颗粒

表 1 不同施肥处理对土壤不同粒径颗粒比例的影响

处理	<0.25 mm	0.25~1 mm	1~2 mm	2~5 mm	>5 mm
P	0.36c	0.25b	0.20b	0.10a	0.09a
NP	0.40c	0.25b	0.21b	0.08a	0.06a
PM	0.37c	0.28b	0.21b	0.07a	0.07a
NPM	0.44c	0.26b	0.18b	0.07a	0.05a

注: 同列数据后不同小写字母表示 5% 显著水平。下同。

含量逐渐降低, 以>5 mm 颗粒含量最少。不同施肥处理对同一粒级颗粒含量又有一定影响, 在单施磷肥(P)的基础上, 配施氮肥(NP)、有机肥(PM、NPM)有利于增加<0.25 mm 颗粒的比例, 以 NPM 处理最为明显, <0.25 mm 颗粒的比例达到 0.44; 单施磷肥处理(P)含量最低为 0.36, 其他粒级颗粒含量不同处理间差异不显著。增施氮肥、有机肥有利于增加<0.25 mm 颗粒组成, 为土壤养分和水分保持提供了物质基础。

2.2 土壤颗粒组成与土壤有效磷含量的关系

2.2.1 土壤颗粒组成与土壤速效磷的关系 不同处理土壤颗粒组成中速效磷含量显示(表 2), 各处理土壤速效磷含量总体趋势表现为: PM>NPM>P>NP, 但 4 种处理土壤不同粒径中速效磷含量又有明显差异。单施磷肥处理(P)土壤速效磷在>5 mm 的颗粒中含量显著高于<5 mm 的各级颗粒; 处理 NP 不同粒径颗粒的速效磷含量都很低, <0.25 mm 含量相对较高; 配施有机肥处理 PM、NPM 不同粒径颗粒的速效磷含量都比较高, 且<2 mm 的颗粒土壤速效磷含量显著提高, 说明磷肥配施有机肥有利于改善土壤速效磷水平, 其中细小颗粒中土壤速效磷的提高更加明显。磷肥配施氮肥, 加速土壤速效磷的消耗, 其中土壤颗粒越粗, 消耗越多。

2.2.2 土壤颗粒组成与土壤水溶性磷含量的关系 对不同土壤颗粒组成水溶性磷含量的影响分析, 结果表明(表 2), 各处理土壤水溶性磷含量总体趋势与速效磷类似, 即: PM>NPM>P>NP, 但各处理土壤不同粒径中水溶性磷含量又有一定差异。单施磷肥处理(P), 除 2~5 mm 粒径水溶性磷较高外, 其他粒径之间无明显差异; 磷肥有机肥配施处理(PM), 除>5 mm 粒径较低外, 其他粒径间无显著差异; 处理 NPM 土壤颗粒<0.25 mm 的水溶性磷含量最高, 0.25~5 mm 的水溶性磷含量次之, 平均约为 2.5 mg/kg, >5 mm 含量最少, 仅 1.876 mg/kg; 处理 NP, <0.25 mm 土壤颗粒水溶性磷含量最高, >2 mm 土壤颗粒中水溶性磷含量为最低水平, 仅 0.172 mg/kg 和 0.186 mg/kg, 与其他粒径之间差异显著。

由表 2 可以看出, 土壤水溶性磷与速效磷具有明显的正相关性, 即速效磷含量越高, 水溶性磷含量越高。

配施有机肥处理(PM、NPM)土壤水溶性磷与速效磷的比值明显提高,达到0.05左右,是不施有机肥处理(P、NP)的1倍以上,说明长期施用有机肥在提高土壤颗粒有效磷中水溶性磷的含量比例的同时,也增加了土壤磷素淋溶的风险,这与之前的研究^[3]一致。

表2 不同土壤颗粒组成有效磷含量分析

处理	粒径/ mm	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	水溶性磷/ (mg·kg ⁻¹)	水溶性磷/ 速效磷	处理	粒径/ mm	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	水溶性磷/ (mg·kg ⁻¹)	水溶性磷/ 速效磷	
P	<0.25	27.66b	0.841a	0.030	NPM	<0.25	56.48c	2.878c	0.051	
	0.25~1	28.76b	0.769a	0.027		0.25~1	53.98c	2.439b	0.045	
	1~2	25.01b	0.850a	0.034		1~2	56.18c	2.631b	0.047	
	2~5	22.88a	1.141b	0.050		2~5	51.10b	2.547b	0.050	
	>5	30.51c	0.706a	0.023		>5	45.67a	1.876a	0.041	
0.018	<0.25	67.41c	3.686b	0.055	0.055	<0.25	18.85b	0.418d	0.022	
	0.25~1	61.79b	3.488b	0.056		0.25~1	13.96a	0.333c	0.024	
	PM	1~2	65.58c	3.594b		NP	1~2	14.87a	0.265b	0.0265b
	2~5	49.81a	3.507b	0.070		2~5	12.81a	0.172a	0.013	
	>5	59.27b	3.266a	0.055		>5	11.24a	0.186a	0.017	

2.3 不同施肥处理土壤有效磷在不同颗粒中的富集关系

2.3.1 土壤速效磷在不同粒径颗粒中的富集 施肥不但影响土壤不同颗粒中有效磷的相对含量,也影响有效磷的绝对数量。由长期定位试验不同处理土壤速效磷在各颗粒组成中富集情况分析表明(表3),不同处理土壤速效磷主要富集在<2 mm的土壤颗粒中,而且土壤速效磷富集率随着土壤粒径的变小而增加。不同施肥处理均以粒径<0.25 mm土壤中速效磷富集率最高,粒径>2 mm土壤速效磷富集率明显减少;<2 mm粒径土壤中速效磷富集率以NPM处理最高,为0.90;NP处理次之,为0.89;单施磷肥P处理最低,仅为

表3 不同施肥处理土壤各粒径颗粒土壤速效磷富集率

处理	<0.25 mm	0.25~1 mm	1~2 mm	2~5 mm	>5 mm
P	0.36a	0.27a	0.19a	0.08a	0.10c
NP	0.47b	0.22a	0.20a	0.08a	0.03a
PM	0.39a	0.27a	0.22b	0.06a	0.06b
NPM	0.46b	0.25a	0.19a	0.07a	0.03a

表4 不同施肥处理土壤各粒径颗粒土壤水溶性磷富集率

处理	<0.25 mm	0.25~1 mm	1~2 mm	2~5 mm	>5 mm
P	0.36a	0.23a	0.20b	0.13c	0.08c
NP	0.51b	0.25a	0.17a	0.04a	0.03a
PM	0.39a	0.27b	0.22c	0.07b	0.06b
NPM	0.48b	0.24a	0.18a	0.07b	0.03a

0.82;单施磷肥(P)处理在土壤颗粒<2 mm的富集率均低于其他处理;>2 mm富集率则要高于其他处理。

2.3.2 土壤水溶性磷在不同粒径颗粒中的富集 不同施肥处理土壤水溶性磷在不同粒径土壤颗粒中的富集率结果与速效磷类似(表4)。土壤水溶性磷也主要富集在<2 mm的土壤颗粒中,而且随着土壤粒径的变小而增加。不同施肥处理均以粒径<0.25 mm土壤中水溶性磷富集率最高,粒径>2 mm土壤水溶性磷含量明显减少。<2 mm粒径土壤颗粒中水溶性磷的富集率以NP处理最高,为0.93;NPM次之,为0.90;PM再次之,为0.88;单施磷肥(P)处理最低,仅为0.79。粒径<0.25 mm土壤的水溶性磷富集率明显以氮磷配施(NP)、氮磷有机肥配施(NPM)较高。可以看出,土壤有效磷(速效磷、水溶性磷)主要在<2 mm的土壤颗粒中富集,尤以<0.25 mm的土壤颗粒中有效磷富集率最高。但不同的施肥处理间存在差异,NP或NPM处理与P处理对比,土壤粒径<0.25 mm的速效磷和水溶性磷富集率显著提高,分别是对照的1.3倍和1.4倍;PM处理促进了土壤有效磷在0.25~2 mm粒径中富集。当粒径>2 mm时,P处理的速效磷和水溶性磷富集率均为最高。氮磷配施(NP)、氮磷有机肥配施(NPM)有利于增加<0.25 mm颗粒中土壤有效磷的富集。

3 结论

(1)各施肥处理土壤颗粒组成都呈现颗粒愈小比例愈高的规律,而不同施肥处理对同一颗粒级含量又有一定的影响。在单施磷肥(P)的基础上,配施氮肥、有机肥(NP、PM、NPM)有利于增加<0.25 mm颗粒的比例,以NPM处理最为明显。

(2)长期施用有机肥处理(PM、NPM)不但可以提高不同粒径土壤颗粒中的速效磷与水溶性磷含量,而且可以增加土壤颗粒有效磷中水溶性磷的含量比例,说明长期施用有机肥在改善土壤磷素营养的同时,也增加了土壤磷素淋溶的风险。

(3)土壤中的有效磷(包括速效磷、水溶性磷)多在<2 mm粒径的土壤颗粒中富集,其中<0.25 mm的土壤颗粒中有效磷富集率最高。氮磷配施(NP)、氮磷有机肥配施(NPM)有利于增加<0.25 mm颗粒中土壤有效磷的富集,PM处理则促进土壤有效磷在0.25~2 mm粒径中富集。

下转第159页

被的共同影响,因此,在更大范围内深入研究不同植被和环境条件下土壤的分形特征,对于了解土壤的形成过程及其演化机制等都具有重要的理论和实践意义。

参考文献:

- [1] Burrough P A. Multiscale sources of spatial variability in soil variation[J]. *Journal of Soil Science*, 1983, 34: 577-597.
- [2] Tyler S W, Wheatcraft S W. Application of fractal mathematics to soil water retention estimation[J]. *Soil Science Society of American Journal*, 1989, 53: 987-996.
- [3] Tyler S W, Wheatcraft S W. Fractal scaling of soil particle size distributions: Analysis and limitations[J]. *Soil Science Society of American Journal*, 1992, 56: 362-369.
- [4] 黄冠华,詹卫华. 土壤颗粒的分形特征及其应用[J]. *土壤学报*, 2002, 39(4): 490-497.
- [5] Arya L M, Paris J F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data[J]. *Soil Science Society of American Journal*, 1981, 45: 1023-1031.
- [6] Turcotte D L. Fractal and fragmentation[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1986, 91: 1921-1926.
- [7] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. *科学通报*, 1993, 38(20): 1896-1899.
- [8] 李德成,张桃林. 中国土壤颗粒组成的分形特征研究[J]. *土壤与环境*, 2000, 9(4): 263-265.
- [9] 程冬冰,蔡崇法,彭艳平,等. 根据土壤粒径分形估计紫色土水分特征曲线[J]. *土壤学报*, 2009, 46(1): 30-36.
- [10] 吕文星,张洪江,王伟,等. 重庆四面山不同林地土壤团聚体特征[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(4): 192-197.
- [11] 蒋先军,李航,谢德体,等. 分形理论在土壤肥力研究中的应用与前景[J]. *土壤*, 2007, 39(5): 677-683.
- [12] 赵来,吕成文. 土壤分形特征与土壤肥力关系研究:以皖南地区水稻土为例[J]. *土壤肥料*, 2005(6): 7-11.
- [13] 林正雨. 川中丘陵区土壤颗粒分形维数特征及影响因素研究[D]. 成都:四川农业大学, 2008.
- [14] 缪驰远,汪亚峰,魏欣,等. 黑土表层土壤颗粒的分形特征[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(9): 1987-1993.
- [15] 刘金福,洪伟,吴承祯. 中亚热带几种珍贵树种林分土壤团粒结构的分维特征[J]. *生态学报*, 2002, 22(2): 197-205.
- [16] 周先容,陈劲松. 川西亚高山针叶林土壤颗粒的分形特征[J]. *生态学杂志*, 2006, 25(8): 891-894.
- [17] 高鹏,李增嘉,杨慧玲,等. 渗灌与漫灌果园土壤物理性质异质性及其分形特征[J]. *水土保持学报*, 2008, 22(2): 155-158.
- [18] 赵勇钢,赵世伟,华娟,等. 半干旱典型草原区封育草地土壤结构特征研究[J]. *草地学报*, 2009, 17(1): 106-112.
- [19] 刘国花,谢吉容. 重庆四面山风景区森林植被调查研究[J]. *渝西学院学报:自然科学版*, 2005, 4(1): 90-92.
- [20] 中国科学院南京土壤所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1978.
- [21] 张洪江,杜士才,程云,等. 重庆四面山森林植物群落及其土壤保持与水文生态功能[M]. 北京:科学出版社, 2010.
- [22] 梁士楚,王伯荪. 广西英罗港红树林区木榄群落土壤粒径分布的分形特征[J]. *热带海洋学报*, 2003, 22(1): 17-22.
- [23] 王云琦,王玉杰. 三峡库区林地土壤有机碳含量特征及效应[J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(12): 1448-1455.
- [24] 邓良基,林正雨,高雪松,等. 成都平原土壤颗粒分形特征及应用[J]. *土壤通报*, 2008, 39(1): 38-42.
- [25] 程先富,史学正,王洪杰. 红壤丘陵区耕层土壤颗粒的分形特征[J]. *地理科学*, 2003, 23(5): 617-621.

上接第 153 页

参考文献:

- [1] D·希尔勒. 土壤物理学概论[M]. 尉庆丰,荆家海,王益权,译. 陕西人民教育出版社, 1988: 27-35.
- [2] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京:中国农业出版社, 1997.
- [3] 来璐,郝明德,彭令发,等. 黄土高原旱地长期施肥条件下土壤有机磷的变化[J]. *土壤*, 2003, 35(5): 413-418.
- [4] 孙羲,郭鹏. 植物营养与肥料[M]. 北京:中国农业出版社, 1991: 74-99.
- [5] 吴梅菊,刘荣根. 磷肥对小麦分蘖动态和产量的影响[J]. *江苏农业科学*, 1998(1): 48-49.
- [6] 杜承林,祝斌,陈小琴,等. 高产小麦对磷的需求与磷肥合理施用研究[J]. *土壤*, 1998, 30(5): 239-242.
- [7] 张少民,郝明德,柳燕兰. 黄土区长期施用磷肥对冬小麦产量、吸氮特性及土壤肥力的影响[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2007, 35(7): 160-163.
- [8] 孙慧敏,于振文,颜红,等. 不同土壤肥力条件下施磷量对小麦产量、品质和磷肥利用率的影响[J]. *山东农业科学*, 2006(3): 45-47.
- [9] 王旭东,于振文. 施磷对小麦产量和品质的影响[J]. *山东农业科学*, 2003(6): 35-36.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第3版. 北京:中国农业出版社, 2000: 70-83.
- [11] 周志高,熊礼明. 用孔雀绿法测定石灰性土壤水溶性磷[J]. *土壤通报*, 1998, 29(5): 218-219.
- [12] Ohno T, Zibilske I M. Determination of low concentrations of phosphorus in soil extracts using malachite green[J]. *Soil Sci. Soc. J. Am.*, 1991, 55: 892-895.
- [13] 汪景宽,张继宏,王雷,等. 棕壤不同粒级微团聚体中磷素的保持与供应[J]. *土壤通报*, 2001, 32(3): 113-115.