

滇池流域土壤磷累积特征与释放风险研究

张乃明, 李成学, 李阳红

(云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201)

Accumulation and Releasing Risk of Phosphorus in Soils in Dianchi Watershed

ZHANG Nai-ming, LI Cheng-xue, LI Yang-hong

(College of Resource and Environmental Science of Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

摘要: 通过对滇池流域土壤进行采样测定与模拟试验,研究了流域表层土壤有效 P、全 P 的累积特征和释放风险。研究表明,滇池流域表层土壤 P 素累积明显,其中全 P 含量范围在 0.5~7.0 g/kg,平均值为 2.15 g/kg,有效 P 含量范围在 26.7~598.3 mg/kg,平均值为 151.04 mg/kg,全 P 和有效 P 均高于全国土壤平均值。土壤 P 累积与 P 肥施用量密切相关,模拟试验表明土壤 P 释放风险临界值为 57 mg/kg,按此标准,滇池流域有 69% 的土壤已对滇池水体构成不同程度的环境风险,其中 51% 的土壤 P 释放的环境风险较高、流失严重,并已成为滇池水体富营养化的主要污染源之一。

关键词: 富营养化;磷;环境风险;滇池

中图分类号: X524

磷 (P) 是植物生长所必需的重要营养元素之一,但同时又是水体产生富营养化的限制因子,如果水体中 P 素未达到一定含量,仅有 N、C 等元素不会引起水体富营养化^[1-4]。

长期以来,为获得更高的农业产量,满足不断增加的粮食需要,P 肥的生产与施用量连续不断增大,不仅造成表层土壤 P 累积,而且对水环境带来巨大威胁。已有研究表明,在许多地区,以农田排 P 为主的农业非点源污染已成为水体中 P 的最主要来源,而且所占份额仍在不断增加^[5-7]。P 随着农田径流以及侧渗和垂直下渗等多种途径输入滇池,是滇池水体富营养化的重要原因之一^[9-14]。近年来随着农业产业结构的调整和种植方式的改变,滇池流域特别是在湖滨带,以塑料大棚为主的蔬菜花卉种植面积迅速扩大,单位面积化肥施用量成倍提高,流域土壤 P 累积显著增高,向水体释放的风险也日益增大,而有关滇池流域土壤 P 累积状况与环境风险尚未见报道,本项研究工作正是为填补这一空白,同时也为滇池流域农业面源污染控制和水体富营养化治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

滇池流域位于云南红土高原中部,有“高原明珠”之称。滇池是中国西南地区最大的湖泊,地处长江、珠江、红河大三水系分水岭地带,流域面积 2920 km²。滇池具有工、农业生产用水,调蓄,防洪,旅游,航运,水产养殖,调节气候等多种功能,对昆明市乃至云南省的国民经济和社会发展起着至关重要的作用。

滇池流域在行政区划上包括昆明市五华、盘龙、官渡、西山、呈贡、晋宁、嵩明 7 个区(县)的 38 个乡镇,总人口 246.7 万,是云南省人口最密集、人类活动最频繁、经济最发达的地区之一,经济总量占昆明市的 80%。

1.2 野外调查与布点采样

在滇池流域农田集中分布的官渡区、西山区、呈贡县以及晋宁县 4 个调查区内共采集了 45 个样点。采样深度 0~20 cm,每个样点均采 8~10 个分点,多点混合样约 1 kg。采样点的分布既包括了旱地、水田、菜地、花卉地等不同土地利用类型,又包含了水稻土、

基金项目:云南省自然科学基金重点项目(2003C0006)资助。

作者简介:张乃明(1963—),男,山西武乡人,博士,教授,主要从事农业面源污染与土壤环境保护方面的教学与科研工作。E-mail: zhangnaiming@sina.com

红壤、菜园土等流域分布的主要土壤类型。

土样置于通风阴凉处自然风干,磨细,过 1 mm 筛备用。

1.3 分析方法

土壤全 P 指有效 P 和柠檬酸不溶性 P 的总和。土壤全 P 测定分两个步骤: 用硫酸-高氯酸消煮法把有机 P 氧化成无机 P, 并进一步溶解; 采用钼锑抗比色法测定溶液中的 P。

有效 P 是指水溶性 P 和柠檬酸可溶性 P 的总和。有效 P 的测定采用 Olsen-p 法^[15]。

2 结果与讨论

2.1 滇池流域土壤全 P 累积状况

从表 1 中的测定结果看, 整个滇池流域表层土壤全 P 累积量在 0.5~7.0 g/kg 之间, 平均值为 2.15 g/kg, 超过全国平均值。在所有调查地区, 全 P 含量超过 2.0 g/kg 的样点占 38%, 其中晋宁县土壤全 P > 2.0 g/kg 的占 40%, 呈贡县占 60%, 官渡、西山两区的样点土壤全 P 含量都未超过 2.0 g/kg。与 20 世纪 80 年代土壤普查资料相比, 总体上全 P 含量有增加的趋势, 这与长期大量使用 P 肥密切相关。为研究施 P 肥与土壤 P 累积的关系, 在滇池流域选择 15 个采样区, 使用 P 肥 20 年, 调查了研究区 P 肥使用水平, 并分析了相应土壤 P 的累积量, 结果表明 P 肥的施用量与土壤有效 P 累积量具有极显著的相关性 ($R^2 = 0.549$) (图 1)。但随

表 1 滇池流域表层土壤全 P 累积量 (g/kg)

区域	范围	平均值	样点数
官渡区	0.5 ~ 1.5	1.03	6
西山区	1.2 ~ 2.0	1.50	3
呈贡县	1.2 ~ 5.4	4.34	15
晋宁县	0.5 ~ 7.0	1.75	21
全流域	0.5 ~ 7.0	2.15	45
土壤普查值	0.5 ~ 2.5	1.90	120

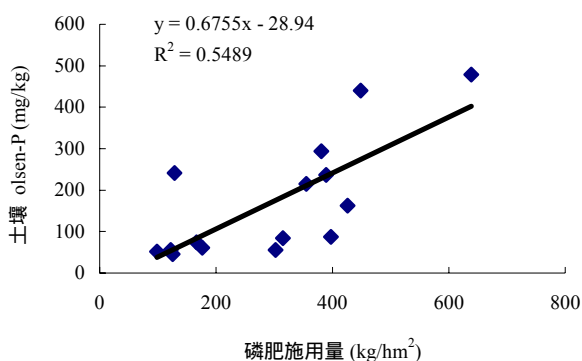


图1 P 肥施用量和 Olsen-p 的相关性

着种植作物种类、地域、耕作制度等的不同, 存在着明显的差异。在几种土地利用类型中, 化肥投入量依次是花卉地 > 蔬菜地 > 旱地 > 水田。这与所测得的土壤总 P 含量与土地利用类型的关系十分相似。土壤全 P 累积量仍为花卉地 > 蔬菜地 > 旱地 > 水田。

2.2 滇池流域土壤有效 P 累积状况

由表 2 中的测定数据可看出, 整个流域土壤有效 P 含量在 26.7~598.3 mg/kg, 平均值为 151.04 mg/kg, 远高于全国土壤有效 P 的平均值。而且在这 4 个行政区域, 土壤有效 P 含量都明显高于国家土壤肥力标准的高水平 (20 mg/kg)。就区域而言, 呈贡区和晋宁区土壤中有有效 P 的含量比官渡区和西山区明显偏高, 分别比官渡区高出 451.78% 和 241.59%, 分别比西山区高出 176.95% 和 70.52%。这从土壤利用作物布局与养分平衡方面分析可以解释这一现象, 主要是因为呈贡区和晋宁区是以种植花卉、蔬菜为主, 而花卉、蔬菜都是以高投入、高产出为特征, 盲目过量施肥现象普遍。土壤有效 P 含量与 P 肥施用量呈显著的正相关 (图 1), 相关方程为 $y = 0.6755x - 28.94$ 。

表 2 滇池流域表层土壤有效 P 含量 (mg/kg)

区域	范围	平均值	样点数
官渡区	7.2 ~ 66.7	50.47	6
西山区	53.0 ~ 181.1	101.10	3
呈贡县	54.1 ~ 549.7	280.00	15
晋宁县	26.7 ~ 598.3	172.40	21
全流域	26.7 ~ 598.3	151.04	45

2.3 流域土壤 P 累积释放风险

农业用地特别是集约化农田普遍存在的 P 素投入量远高于其带出量, 导致 P 在土壤中不断累积, 随着累积量的增加, 释放到环境中的风险也逐渐增大。在研究区采集土壤有效 P 含量水平不同的 4 个原状土, 在室内进行模拟试验, 通过测定径流液中总 P 的浓度对土壤 P 释放对水环境的污染风险进行判断。模拟试验结果见表 3。

由表 3 试验结果可见, 当土壤中 Olsen-P 为 57.1 mg/kg 时, 降雨 1 h 径流中总 P 浓度已达 0.210 mg/L。在水土界面迁移过程中, 径流中总 P 的浓度会降低, 即使在流入滇池时 P 的浓度降为农田径流浓度的 1/10, 入湖水中 P 浓度也超过了蓝藻产生的临界值 0.05 mg/L。在滇池流域所有样点土壤中, 有 51% 土壤的 P 释放具有较高的环境风险, 且对滇池水体富营养化有很大的影响。当 Olsen-p 超过 60 mg/kg 时, 土壤对施 P 非常敏感, P 流失量将随施 P 量的增加而呈上升趋势。这不仅增加了农业生产投入, 降低了施用 P 肥的产出,

表 3 土壤 P 释放风险模拟试验

土壤编号	Olsen-P (mg/kg)	降雨强度 (mm/min)	降雨时间 (min)	径流中总 P (mg/L)
1	26.7	50	60	0.131
2	57.1	50	60	0.210
3	110.3	50	60	0.452
4	208.4	50	60	0.564

同时也加大了水体富营养化的风险。

3 结论

(1) 滇池流域土壤全 P 累积较多,在所测土壤样点中,土壤全 P 累积含量范围在 0.5 ~ 7.0 g/kg 之间,平均值为 2.15 g/kg,流域内不同区县之间以呈贡县为最高,晋宁县次之,西山区与官渡区则较低。

(2) 流域土壤有效 P 累积更加明显,土壤有效 P 含量范围为 26.7 ~ 598.3 mg/kg,平均值为 151.04 mg/kg,远高于全国土壤平均水平,就 P 的肥力水平和 P 素养分供应而言已属严重过量失衡。

(3) 在滇池流域有 51% 的样点土壤 P 释放已具有较大的环境风险,18% 的样点土壤 P 释放具有一定环境风险,仅有 31% 的样点土壤 P 释放暂时没有风险。但在流域内,特别是呈贡县作为重要的蔬菜花卉生产基地,已有 80% 的土壤 P 具有较大的环境风险,另外 20% 的土壤也是具有一定风险,应当引起高度重视。

参考文献：

- [1] 鲁如坤. 植物营养与施肥原理. 北京: 农业出版社, 2000: 201-202
- [2] Van der Molen DT, Breenwsma A, Boers PCM. Agricultural nutrient losses to surface water in the Netherlands: Impacts, strategies, and perspectives. J. Environ. Qual., 1998, 27: 4-11
- [3] Lv, JJ, Yang H, Gao L, Yu TY. Spatial variation of P and N in water and sediments of Dianchi Lake, China. Pedosphere, 2005, 15(1): 78-83
- [4] 单保庆, 尹澄清, 于静, 白颖. 小流域磷污染非点源输出的人工降雨模拟研究. 环境科学学报, 2000, 20(1): 33-37
- [5] Li ST, Zhou JM, Wang HY, Du CW, Chen XQ. Kinetics of phosphate release from three phosphate-treated soils. Pedosphere, 2005, 15(4): 518-525
- [6] 单红艳, 杨林章, 王建国. 土壤磷素流失的途经、环境影响及对策. 土壤, 2004, 36 (6): 602-608
- [7] Zhang NM, Yu Y, Hong B, Chen JJ, Zhang YJ. Factors influencing run off P losses from farmlands of the Dianchi Lake Watershed in Yunnan, China. Pedosphere, 2004, 14(2): 259-262
- [8] 段永蕙, 张乃明. 滇池流域农村面源污染状况分析. 环境保护, 2003 (7): 270-275
- [9] Cox FR, Hendricks SE. Soil test phosphorus and clay content effects on runoff water quality. J. Environ. Qual., 2000, 29 (5): 1582-1586
- [10] 司友斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化. 土壤, 2000, 32(4): 188-193
- [11] 张志剑, 王光火, 王珂, 朱荫湄. 模拟水田的磷素溶解特征及其流失机制. 土壤学报, 2001, 38 (1): 141-143
- [12] 鲁如坤. 土壤磷素水平和水体环境保护. 磷肥与复肥, 2003(1): 4-8
- [13] 鲁如坤, 刘鸿翔, 闻大中, 钦绳武, 郑剑英, 王周琼. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究: 全国典型地区养分循环和平衡现状. 土壤通报, 1996, 27(5): 193-196
- [14] 张乃明, 洪波, 张玉娟. 磷素农业非点源研究进展. 云南农业大学学报, 2004, 14 (3): 1-4
- [15] 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983: 99-102