

菜地土壤磷素淋失及其影响因素

王新军, 廖文华, 刘建玲

(河北农业大学 资源与环境学院, 河北 保定 071001)

摘要:以菜地为供试土壤, 研究了 0~ 100 cm 菜地土壤 Olsen P 、 $\text{CaCl}_2\text{ P}$ 、 NaOH-P 的空间分布状况及其相关关系。结果表明, 0~ 20 cm 菜地 Olsen P 、 $\text{CaCl}_2\text{ P}$ 、 NaOH-P 含量分别为: 123. 8~ 399. 6 mg/kg, 9. 1~ 27. 2 mg/kg, 184. 9~ 608. 9 mg/kg。土壤 Olsen P 、 $\text{CaCl}_2\text{ P}$ 、 NaOH-P 主要积累在 0~ 20 cm 土层, 随着土壤深度的增加土壤磷的积累量逐渐降低; 土壤 Olsen P 与 $\text{CaCl}_2\text{ P}$ 、 NaOH-P 呈显著正相关关系。土壤 Olsen P 含量高于 55. 6~ 63. 0 mg/kg 时, 土壤 $\text{CaCl}_2\text{ P}$ 显著增加, 此时的 Olsen P 含量为土壤磷渗漏淋失显著增加的“突变点”。

关键词: 菜地土壤; 磷素淋失; 影响因素

中图分类号: S153 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2006)04- 0067- 04

Phosphorus Leaching from Vegetable Fields and Impact Factors

WANG Xin jun, LIAO Wen hua, LIU Jia n ling

(College of Resource and Environmental Sciences, Hebei Agriculture University, Baoding 071001, China)

Abstract: The distribution and relationship of Olsen P , $\text{CaCl}_2\text{ P}$, NaOH-P were studied in the profile of 0- 100 cm vegetable fields. The results showed that the content of Olsen P , $\text{CaCl}_2\text{ P}$, NaOH-P was 123. 8- 399. 6 mg/kg, 9. 1- 27. 2 mg/kg and 184. 9- 608. 9 mg/kg respectively in the profile of 0- 20 cm layer. The most of phosphorus in the soils was accumulated in the profile of 0- 20 cm layer and the content of Olsen P , $\text{CaCl}_2\text{ P}$, NaOH-P was decreased gradually with the depth of soils. There was significant positive correlation between Olsen P , $\text{CaCl}_2\text{ P}$ and NaOH-P . The content of $\text{CaCl}_2\text{ P}$ was increased significantly when the content of Olsen P was more than 55. 6~ 63. 0 mg/kg. The content of Olsen P was the “Change Point” of indicating the risk of phosphorus leaching.

Key words: Vegetable fields; Phosphorus leaching; Impact factors

土壤磷素积累是菜地土壤的共同特征, 长期大量施用磷肥导致土壤磷素大量积累^[1, 2], 农田土壤磷素的大量积累对水体环境的威胁越来越大。已有资料表明: 太湖流域农田面源磷对水体磷的贡献率高达 19%^[3], 美国农田面源排放的磷约占各种污染源总排放磷量的 50%^[4]。农田土壤磷主要是通过地表径流和渗漏方式向地表或地下水体迁移^[5, 6], 土壤磷素的渗漏主要受土壤磷水平的影响, 鲁如坤认为: 土壤 Olsen P 50~ 70 mg/kg 可能是面源磷通过渗漏污染水源的一个大致临界指标^[7]; 洛桑试验站的结果也表明: 灌溉水中的全磷和水溶性磷与土壤 Olsen P 呈正相关, 并提出土壤 Olsen P 大于 57

mg/kg 时, 灌溉水中磷浓度与土壤水溶性磷显著增加, 说明土壤磷淋失风险显著增大^[8]; 土壤磷渗漏淋失在大量施用有机肥的土壤上表现尤为突出^[9, 10]。

近年来, 我国农田土壤磷以 11% 的速度增长, 土壤全磷和有效磷平均增加了 210 mg/kg 和 5. 7 mg/kg^[11]。目前经济类作物种植区土壤磷素平均盈余 150~ 600 kg/hm², 蔬菜保护地生产盲目大量施用磷肥的问题更为严重^[12]。如何确切评价农田土壤磷的流失风险、最大限度地降低农田面源磷对水体的污染已成为国内外亟待解决的问题。本研究以不同磷水平的菜地和相邻粮田为供试土壤, 研究 0~

收稿日期: 2006- 04- 10

基金项目: 河北省自然科学基金(300130)

作者简介: 王新军(1981-), 男, 河北滦南人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与环境方面的研究; 刘建玲为通讯作者。

100 cm 菜地土壤 Olser P、CaCl₂-P、NaOH-P 的空间分布状况及其相关关系,旨在为土壤积累磷素的安全管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试土壤

供试土壤分别取自石家庄地区藁城和保定河北农业大学教学基地。藁城为日光温室土壤和相邻粮田,土壤类型为褐土,日光温室土壤种菜 4~ 18 年,每个大棚按“之”字形选 9 点,分别采集 0~ 20、20~ 40、40~ 60、60~ 80、80~ 100 cm 土层的土壤,每 3 个样品混合为一个样品,每个棚取 3 个重复。

保定河北农业大学教学基地土壤为田间微区桶定位试验的土壤,土壤为潮褐土,土壤磷水平反映土壤 Olser P 高、中、低 3 种情况。采集 0~ 20 cm 的土样,每个桶 3 个重复,共 105 个样品。土壤样品风干过筛后供土壤分析用。

1.2 分析项目及方法

Olser P 采用农业常规分析方法,水溶性磷(CaCl₂-P)采用 0.01 mol/L CaCl₂溶液浸提(液土比为 10 1,振荡 30 min)^[13],生物有效磷(NaOH-P)采用 0.1 mol/L NaOH 溶液浸提(液土比为 500 1,振荡 24 h)^[14]。

2 结果与分析

2.1 菜地与粮田土壤磷状况

0~ 100 cm 菜地与粮田土壤各形态磷状况如表 1 所示。研究表明:土壤 Olser P、水溶性磷、生物有效磷均呈现 0~ 20 cm 含量较高,20~ 40 cm 含量降低,40 cm 以下各土层逐渐下降的规律。0~ 20 cm 菜地 Olser P 为 123.8~ 399.6 mg/kg,平均为 267.4 mg/kg,比相邻粮田平均增加了 15.5 倍,差异达到极显著水平。这是由于蔬菜保护地每年大量施用磷肥和有机肥,而施入的磷肥和有机肥主要集中在耕层土壤,造成 0~ 20 cm 土层土壤磷养分大量积累。

表 1 菜地、粮田土壤各形态磷的空间分布

Tab 1 The distribution of different phosphorus fractions in vegetable and crop fields		mg/kg					
项目	类型	土层	0~ 20	20~ 40	40~ 60	60~ 80	80~ 100
Items	Types	Layer					
速效磷 Olser P	菜地	幅度	123.8~ 399.6	20.4~ 282.2	5.5~ 104.7	3.4~ 87.7	2.0~ 53.4
		平均	267.4	132.2	58.0	33.9	23.7
		S.D	78.3	82.1	33.4	21.4	15.0
	粮田	C.V%	29.3	62.1	57.5	63.2	64.1
		幅度	16.3~ 18.8	3.4~ 10.9	2.5~ 6.8	2.1~ 5.7	1.2~ 5.1
		平均	17.3	7.8	5.7	4.4	3.7
水溶性磷 CaCl ₂ -P	菜地	幅度	9.1~ 27.2	1.0~ 16.2	0.5~ 8.5	0.2~ 2.5	0.1~ 1.2
		平均	18.9	8.3	2.7	0.9	0.7
		S.D	6.1	5.0	2.3	0.7	0.3
	粮田	C.V%	32.1	61.1	83.7	73.4	52.5
		幅度	1.2~ 2.8	0.35~ 0.38	0.3~ 0.4	0.2~ 0.3	0.1~ 0.3
		平均	2.0	0.4	0.3	0.3	0.2
生物有效磷 NaOH-P	菜地	幅度	184.9~ 608.9	43.7~ 374.5	27.0~ 192.7	14.6~ 173.5	12.6~ 140.0
		平均	414.2	212.2	98.6	64.7	50.0
		S.D	135.4	110.1	48.3	39.8	29.1
	粮田	C.V%	32.7	51.9	49.0	61.5	58.2
		幅度	55.7~ 101.8	34.1~ 36.5	12.6~ 19.8	10.2~ 17.4	7.8~ 10.2
		平均	78.7	35.3	16.8	13.8	9.0

注:样品总数为 23 个 Note:

0~ 20 cm 菜地土壤水溶性磷平均为 18.9 mg/kg,是相邻粮田的 9.3 倍,20~ 40、40~ 60、60~ 80、80~ 100 cm 土层土壤水溶性磷分别比相邻粮田平均增加了 21.0、7.3、2.6、1.6 倍,说明土壤磷在 0~ 100 cm 土层均显著积累。

0~ 20 cm 菜地土壤生物有效磷为 184.9~ 608.9 mg/kg,平均为 414.2 mg/kg,是相邻粮田的 5.3 倍。土壤剖面中各土层土壤生物有效磷占 Olser P 的比例分别为 154.9%、160.5%、170.0%、190.9%、213.7%,而水溶性磷占 Olser P 的比例分别为

7.1%、6.2%、4.7%、2.8%、2.7%。可见,随土壤深度增加,生物有效磷占 Olser P 的比例逐渐增加,水溶性磷占 Olser P 的比例逐渐降低。生物有效磷的空间变化特征与 Olser P、水溶性磷趋于一致。因此,随着土壤磷积累量的不断增加,生物有效磷(NaOH-P)也不断积累,这部分磷对附近水域的环境胁迫的潜能也明显增加。

2.2 Olser P 与水溶性磷的相关关系

Olser P 与水溶性磷(CaCl₂-P)的相关关系如图 1 所示,结果表明,随 Olser P 的增加土壤水溶性磷显

著增加, 呈现出极显著正相关关系, 但不是一条直线关系, 而是两条斜率明显不同的直线。以藁城为例, 水溶性磷与 Olsen P 的相关方程为:

$$y_1 = 0.0234x + 0.2615 (R^2 = 0.4081^{**}, \text{Olsen P} \leq 55.6)$$

$$y_2 = 0.0787x - 2.8146 (R^2 = 0.9148^{**}, \text{Olsen P} > 55.6)$$

x 为 Olsen P (mg/kg), y 为水溶性磷 (mg/kg)。

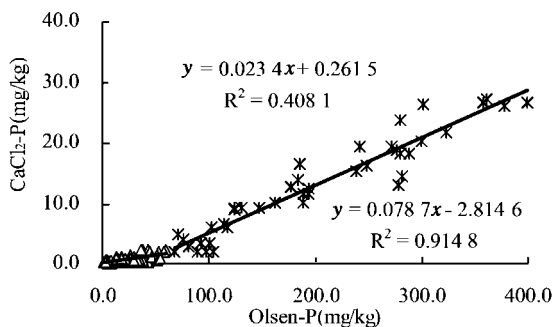


图1 土壤 Olsen P 与 CaCl_2 P 的相关关系(藁城)

Fig. 1 The correlation of Olsen P and CaCl_2 P

当 Olsen P 超过某一值时, 水溶性磷迅速增加, 这可能是所谓的“Olsen P 突变点”, 即土壤磷素淋失临界值, 该点土壤 Olsen P 含量为 55.6 mg/kg。有资料报道, 用土壤 Olsen P 来预测土壤磷渗漏淋失的突变点, 当 Olsen P 大于 57 mg/kg 时, 灌溉水中有少量磷素, 灌溉水中磷浓度与 0.01 mol/L CaCl_2 P 浸提的磷浓度呈显著正相关, 土壤磷淋溶量增加, 此 Olsen P 称为“Change Point”, 即 Olsen P 大于 57 mg/kg, 土壤磷素发生渗漏^[8]。

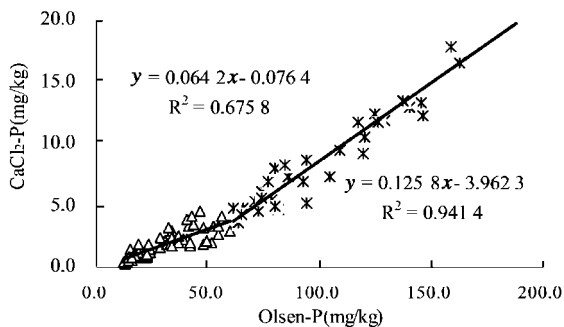


图2 土壤 Olsen P 与 CaCl_2 P 的相关关系(保定)

Fig. 2 The correlation of Olsen P and CaCl_2 P

保定地区试验结果呈现同样趋势(图2), Olsen P 与水溶性磷的相关方程为:

$$y_1 = 0.0642x - 0.0764 (R^2 = 0.6758^{**}, \text{Olsen P} \leq 63.0)$$

$$y_2 = 0.1258x - 3.9623 (R^2 = 0.9414^{**}, \text{Olsen P} > 63.0)$$

$P \geq 0.05$

x 为 Olsen P (mg/kg), y 为水溶性磷 (mg/kg)。

2.3 Olsen P 与生物有效磷的相关关系

Olsen P 与生物有效磷 (NaOH-P) 的相关关系如图3所示。结果表明: 土壤生物有效磷随 Olsen P 的增加而显著增加, 二者表现出极显著的正相关关系。

Olsen P 与生物有效磷的相关方程为:

$$y = 1.4066x + 23.745 (R^2 = 0.9112^{**})$$

x 为 Olsen P (mg/kg), y 为生物有效磷 (mg/kg)。

土壤生物有效磷是指可被藻类所吸收利用的磷, 也就是与水体富营养化的发生关系最密切的那部分磷, 包括可溶性的无机磷和相当一部分被固体颗粒所吸附的磷^[15]。可见, 随着土壤磷水平的提高, 生物有效磷也不断增加, 这部分磷对附近水域影响的潜能也随之增加。

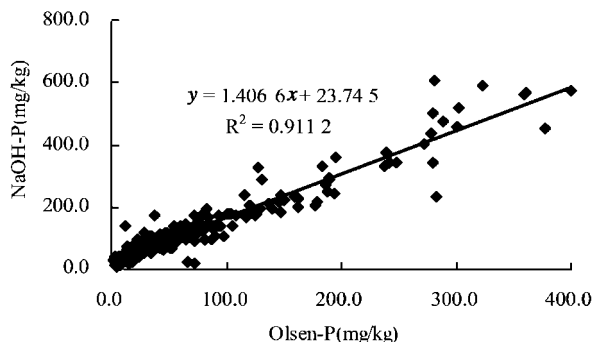


图3 土壤 Olsen P 与 NaOH P 的相关关系

Fig. 3 The correlation of Olsen P and NaOH P

3 讨论

3.1 土壤磷素积累状况及环境风险评价

已有资料表明: 我国农田磷养分平衡处于盈余状态, 土壤磷素不断积累^[1, 11, 16]。土壤大量积累的磷素势必通过地表径流或水土流失进入河流和湖泊, 导致地表水体的富营养化。据报道, 我国太湖水系农业非点源污染源占湖泊营养物质负荷总量的 50%~60%^[17], 滇池入湖总磷中农业非点源磷占 28%^[18], 而在南四湖则高达 68%^[19]。可见, 如何安全管理农田磷养分、合理利用磷肥和有机肥、控制农田面源磷对水体的污染已成为国内外亟待解决的问题。

张志剑^[20]等人对浙北水稻主产区水稻土的研究表明, 稻区高水平磷肥投入促进了土壤富磷化, 土壤 Olsen P 增加的同时, 相应地提高了土壤生物速效磷、水溶性磷, 并提高了土壤磷素的流失潜能, 稻区土壤在富磷化过程中, 存在着土壤磷素的农学意义

向环境意义方向演变的趋势; 刘方^[21]等人对贵州中部黄壤旱坡地的研究表明, 长期施肥下黄壤旱地的磷素水平不断提高, CaCl_2 浸提水溶性磷和 NaOH 浸提生物有效磷与土壤全磷或速效磷 (Olsen P) 之间存在显著的相关性, 土壤富磷化的同时, 旱地磷对水环境影响的潜能明显提高。因此, 许多资料提出: 用 0.01 mol/L CaCl_2 浸提磷或水浸提的土壤磷作为磷素流失风险评价指标^[22]。

土壤磷向水体的迁移除受土壤磷素水平的影响外, 还与土壤的理化性质密切相关; 由于不同性质的土壤对磷的吸附和解吸能力是不相同的, 因而在相同的磷素水平下土壤向水体释放的磷量出现差异。由于径流、土壤侵蚀以及排水流失的整个过程涉及的因素很多, 仅从土壤磷素水平不足以说明问题, 土壤磷的测定值仅代表土壤磷的浓度大小, 难于反映磷迁移的潜在性, 还需综合考查其他因子, 才能作出磷素非点源污染可能性的判断。尽管常规土壤磷素测定值难于完全反映磷流失的潜在性, 关于农田土壤磷的环境风险尚需探讨, 但大量资料表明, 土壤磷测定值仍是反映土壤磷环境风险的重要指标。

3.2 土壤积累磷的安全管理

磷是造成水体富营养化的关键限制性因素之一, 蔬菜保护地长期大量施用有机肥可以降低土壤对磷素的吸附量, 当土壤磷素处于过饱和状态, 就会增加土壤磷素的渗漏率。北方地区, 虽然雨量较少, 渗漏水量不大, 但在灌溉条件下, 特别是大水漫灌时, 渗漏水中将会有一定量的磷进入地下水^[16]。

长期以来, 农业生产上多采用养分平衡法计算目标产量的施肥量或是用肥料效应函数法计算经济合理(或最佳)施肥量的经济施肥方法^[23], 经济施肥是以获得最大经济效益为原则, 难于考虑土壤积累养分对生态环境的威胁。土壤磷素的不断积累, 在保护环境前提下, 安全施用磷肥是我们需要探讨新问题。而关于如何用土壤磷测试值科学的评价农田磷的环境风险并推荐磷肥的安全用量则为有待于研究问题的关键内容。

参考文献:

- [1] 刘建玲, 李仁岗, 廖文华, 等. 白菜-辣椒轮作中磷肥的产量效应及土壤磷积累研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(8): 1616-1620.
- [2] 史春余, 张夫道, 张俊清, 等. 长期施肥条件下设施蔬菜地土壤养分变化研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 437-441.

- [3] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形式估计[J]. 中国农业科学, 2004, 34(7): 1008-1017.
- [4] Sharpley A N, Gburek W J, Folmar G J, *et al.* Sources of phosphorus exported from an agricultural watershed in Pennsylvania[J]. Agric Water Managt, 1999t, 41: 77-89.
- [5] Sharpley A N. Identifying sites vulnerable to phosphorus loss in agricultural runoff[J]. Journal of Environmental Quality, 1995, 24: 947-951.
- [6] 刘方, 黄昌勇, 何腾兵, 等. 长期施肥对黄壤旱地磷库变化及地表径流中磷浓度的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(2): 196-200.
- [7] 鲁如坤. 土壤磷素水平和水体环境保护[J]. 磷肥与复肥, 2003, 18(1): 4-8.
- [8] Hesketh N, Brookes P C. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching[J]. Journal of Environmental Quality, 2000, 29: 105-110.
- [9] Sims J T, Simard R R, Joem B C. Phosphorus loss in agricultural drainage: historical perspective and current research[J]. Journal of Environmental Quality, 1998, 27: 277-293.
- [10] Jager P C de, Claassens A S. Long-term phosphorus desorption kinetics of an acid sand clay soil from Mpumalanga south Africa[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2005, 36: 309-319.
- [11] 鲁如坤, 时正元, 施建平. 我国南方六省农田养分平衡现状评价和动态变化研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(2): 63-67.
- [12] 刘建玲, 廖文华, 高志岭, 等. 河北省蔬菜保护地土壤养分的积累状况及影响因素[J]. 河北农业大学学报, 2004, 27(1): 19-24.
- [13] Houba E L. Applicability of the 0.01M CaCl_2 as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils[J]. Commun Soil Sci Plant Anal, 1990, 21: 2281-2287.
- [14] Wolf A M, Baker H B. Soil tests for estimating labile, soluble and algae available phosphorus in agricultural soils[J]. Journal of Environmental Quality, 1985, 14(3): 341-348.
- [15] Sharpley A N. Assessing phosphorus bioavailability in agricultural soils and run off[J]. Fertilizer Research, 1993, 36: 259-272.
- [16] 鲁如坤, 时正元. 退化土壤肥力障碍特征及重建措施 III. 典型地区红壤磷素积累及其环境意义[J]. 土壤, 2001, 33(5): 227-231.
- [17] 马立珊, 汪祖强, 张水铭, 等. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究[J]. 环境科学学报, 1997, 17(1): 39-47.
- [18] 杨文龙, 杨树华. 滇池流域非点源控制区划研究[J]. 湖泊科学, 1998, 10(3): 55-60.
- [19] 全为民, 严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防止措施[J]. 生态学报, 2002, 22(3): 291-299.
- [20] 张志剑, 王珂, 朱荫湄, 等. 浙北水稻主产区田间土-水磷素流失潜能[J]. 环境科学, 2001, 22(1): 98-101.
- [21] 刘方, 何腾兵, 钱晓刚, 等. 不同利用方式下黄壤旱坡地磷素状况及环境影响分析[J]. 土壤与环境, 2002, 11(3): 232-236.
- [22] Sharpley A N, Daniel T C, Sims J T, *et al.* Determining environmentally sound soil phosphorus levels[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1996, 51(2): 160-166.
- [23] 陈伦寿, 李仁岗. 农田施肥原理与实践[M]. 北京: 农业出版社, 1984: 88-110.