

有机无机磷肥配施对蔬菜地土壤磷素淋失的影响^①

庄远红^{1,2}, 吴一群², 李 延^{2*}

(1 漳州师范学院生物科学与技术系, 福建漳州 363000; 2 福建农林大学资源与环境学院, 福州 350002)

摘 要: 利用土柱淋溶模拟实验研究化肥、有机肥以及有机无机 P 肥配施对蔬菜地土壤 P 素淋失的影响, 结果表明, 有机肥可明显提高土壤的有机 P 含量, 促进土壤 P 素的淋失; 在施 P 量相同的情况下, 有机 P 肥所占的比例越大, 淋出液总 P、溶解总 P、溶解有机 P 的浓度和累积淋失量就越高。在评价蔬菜地土壤 P 对水环境影响时, 应把有机 P 作为评价指标。

关键词: 蔬菜土壤; 有机无机肥配施; 磷淋溶
中图分类号: S147.2

富营养化是水污染的主要问题^[1]。土壤 P 富集对水体富营养化有着十分显著的贡献^[2-4]。据调查, 太湖流域来源于农田的总 P 占入湖总 P 的 20%, 其贡献率已超过工业和城市生活的点源污染^[5]。目前有关地表径流和土壤侵蚀造成农田 P 素流失及其与水体富营养化关系的研究较多^[6-9], 而关于农田 P 素垂直渗漏的研究还很少。蔬菜生产具有较高的经济效益, 生产者为了追求高产、高利润, 往往不惜成本, 实行多肥栽培, 造成土壤 P 素的富集^[10-12]。本文通过室内土柱淋洗模拟试验, 研究有机、无机 P 肥配施对蔬菜地土壤 P 素垂直渗漏的影响, 以期为合理施用 P 肥、保护农业生态环境提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验方法

供试土壤为福建农林大学实验农场已有 5 年种植蔬菜历史的菜园土, 土壤母质为乌龙江河流冲积物, 地下水位 30 cm, 土壤的基本性状见表 1。土样按表土层 (0~20 cm) 和心土层 (20~30 cm) 分层采集, 风

干后过 2 mm 土筛, 各层土壤均匀混合后备用。土柱为 PVC (polyvinyl chloride) 材料的圆柱体 (高 40 cm, 内径 10 cm), 将风干过筛的不同土层土壤分两层即 20~30 cm 为一层 (体积质量 (容重) 1.14 g/cm³, 装土 1010 g), 0~20 cm 为一层 (体积质量 1.07 g/cm³, 装土 1890 g) 填充于土柱中, PVC 管下端用塑料板支撑, 中间留有淋洗液出口, 出口处用纱网隔开以防止土壤下移。各处理土柱肥料的加入方法是将无机肥溶解后与 0~20 cm 土层的土壤混合均匀, 有机肥直接与土壤拌匀, 填充于土柱表面。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理: ①单施无机 P 肥 (磷酸二氢钙), ②有机 P (腐熟猪粪, 含 P 17.5 g/kg): 无机 P = 1:1, ③有机 P : 无机 P = 1:2, ④有机 P : 无机 P = 2:1, 分别用 T_{0:1}、T_{1:1}、T_{1:2} 和 T_{2:1} 表示。各处理施 P 量均为 P 252 mg/土柱。所有处理施用的 N 肥 (尿素, 含 N 466 g/kg)、K 肥 (硫酸钾, 含 K 448 g/kg) 用量一致, 分别为 N 252 mg/土柱、K₂O 126 mg/土柱。每个处理 3 次重复。处理后的土柱, 用去离子水调节土壤含水量

表 1 供试土壤基本性状
Table 1 Basic properties of experimental soil

土壤 (cm)	pH	碱解 N (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	全 P (g/kg)	Olsen-P (mg/kg)	有机 P (mg/kg)	有机质 (g/kg)
0~20	5.41	146.0	142.1	1.26	72.3	167.8	20.4
20~30	6.45	86.0	91.3	0.74	29.3	147.0	12.4

注: 表中 P、K 含量以元素态计, P 含量以烘干基计 (下同)。

①基金项目: 福建省科技厅重大专项(2005YZ1001)前期研究项目“农业面源污染控制与废物循环利用关键技术研究”和漳州师范学院科研启动经费资助。

* 通讯作者 (liyan1@pub3.fz.fj.cn)

作者简介: 庄远红(1981—), 女, 福建惠安人, 硕士研究生, 主要从事土壤环境与植物营养的研究。E-mail: yuanhongzhuang@yahoo.com.cn

至饱和持水量的 80%，静置培养 14 天后，每天从土柱顶端由滴瓶加入去离子水 190 ml (约 21.5 mm)，持续 65 天，共加水 1400 mm，相当于福州市年均最大降水量的 80%。每 5 天收集 1 次淋出液，量取其体积，样品用作总 P (TP)、溶解总 P (DTP) 和溶解有机 P (DOP) 的测定，根据淋出液体积和淋出液 P 浓度计算 P 素的淋失量。淋洗结束后，依土柱自上而下按 0~5、5~10、10~20、20~30 cm 土层采样，测定土壤的 Olsen-P、有机 P 含量。

1.3 测定方法

土样测定参照土壤农化常规分析方法^[13]，其中土壤 pH 用电位法 (水土比 2.5:1)；碱解 N 用扩散法；速效 K 用乙酸铵提取，火焰光度计法；有机质用高温外加热重铬酸钾氧化-容量法；Olsen-P、全 P 分别采用 NaHCO₃ 提取 (液土比 25:1)，硫酸-高氯酸消煮，钼蓝比色法；有机 P 用灼烧法测定。淋出液经 0.45 μm 的滤膜过滤，TP、DTP、DOP 均采用过硫酸钾氧化-孔雀绿-磷钼杂多酸分光光度法测定^[14]。

2 结果与分析

2.1 淋出液 TP、DTP、DOP 的浓度变化特征

不同处理土柱淋出液 TP、DTP、DOP 浓度随淋洗时间的变化规律基本一致 (图 1~图 3)。TP、DTP、DOP 在第 5 天出现一个小高峰，第 10 天降到最低，之后随着淋洗的继续进行，TP、DTP、DOP 值开始回升，第 25 天和 30 天出现峰值达到最高，尔后开始下降并在第 50 天以后趋于平稳。处理间前 15 天的 TP、DTP、DOP 测定值差异均不明显，说明此阶段淋溶出来的 P 为原先存在于土壤的可溶性 P，施在表层中的 P 肥还没有被淋洗出来，第 20 天开始各处理间 TP、DTP、DOP 差异逐渐增大，并在第 25 天和 35 天达到

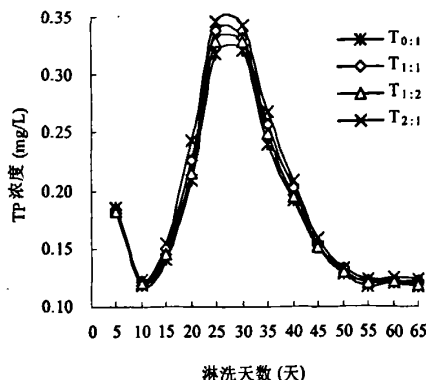


图 1 土柱淋出液 TP 浓度变化

Fig. 1 Concentration of TP in soil column leachate

最高。这种变化规律与 P 在土壤中的转化和迁移特性有关，酸性土壤中含有大量的三氧化物 (如氧化铁、氧化铝等)，可溶态 P 在向下运移过程中，一部分被土壤吸附，一部分则以 Fe-P、Al-P 的形态沉淀下来，而只有当土壤吸附固定 P 达到饱和后，多余的 P 肥才以可溶态继续向下运动，淋出液 TP、DTP、DOP 测定值才不断增加^[15-17]，施肥后 25 天至 35 天是 P 肥淋失的高峰期。

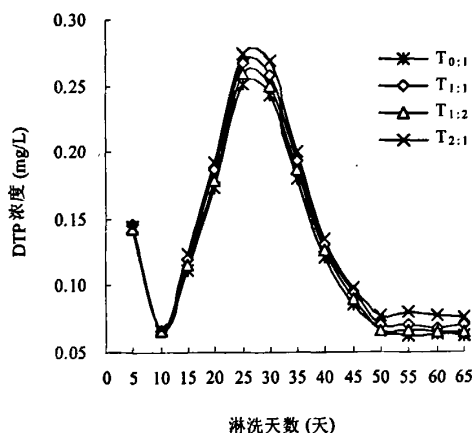


图 2 土柱淋出液 DTP 浓度变化

Fig. 2 Concentration of DTP in soil column leachate

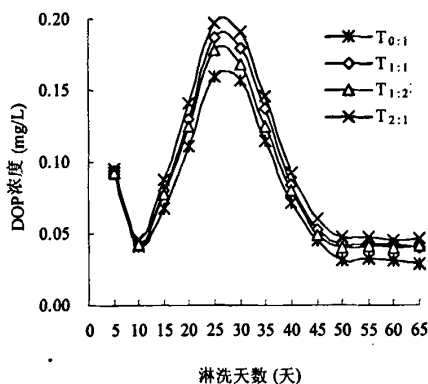


图 3 土柱淋出液 DOP 浓度变化

Fig. 3 Concentration of DOP in soil column leachate

在施 P 量相同的情况下，不同处理土柱淋出液 TP、DTP、DOP 浓度大小均表现为 $T_{2:1} > T_{1:1} > T_{1:2} > T_{0:1}$ ，即有机肥用量越大，淋失量越高 (图 1~图 3)。研究表明，施用有机肥可增加土壤中草酸、乳酸、柠檬酸等有机酸以及腐殖酸的含量，它们一方面对土壤中难溶性磷酸盐的溶解有促进作用，另一方面又可络合

或整合土壤中 Ca、Mg、Fe、Al 等离子，减少 P 的固定，促进可溶性磷酸根向土壤深层移动^[18-19]。如果以水体富营养化的 P 临界值（DTP 0.05 mg/L，TP 0.1 mg/L）^[20]为标准来衡量所有测定值，则几乎所有的测定值都高于这一临界值，说明蔬菜地土壤 P 富集会致 P 的淋失，污染地下水。本研究供试土壤的 Olsen-P 含量为 72.3 mg/kg，Heckrath 等^[21]研究表明，当土壤 Olsen-P>60 mg/kg 时，渗漏水 P 浓度将大大增加。

增施有机肥提高了淋洗液 DOP 占 DTP 的比例，T_{0:1}、T_{1:1}、T_{1:2}、T_{2:1}处理 DOP 占 DTP 的百分比分别达到 60.8%、66.4%、65.9%、67.9%。有机肥用量越大，DOP 的来源就越多，而 DOP 由于不易被土壤吸附，其随水迁移的比例增加^[22]。所以，施用有机肥增加了以 DOP 形式渗漏进入水体的 P 的数量，促进土壤 P 素的淋失。

2.2 TP、DTP、DOP 的累积淋失量

TP、DTP、DOP 累积淋失量均表现为 T_{2:1}> T_{1:1}> T_{1:2}> T_{0:1}（图 4），T_{0:1}、T_{1:1}、T_{1:2}、T_{2:1}的 TP 累积淋失量分别为 1.956、2.063、1.991、2.123 mg，净损失量（净损失量 = 施 P 处理淋失总量 - 对照淋失总量）分别占施 P 量的 0.120%、0.162%、0.134%、0.186%；DTP 累积淋失量分别为 1.346、1.457、1.383、1.517 mg，净损失量分别占施 P 量的 0.117%、0.161%、0.131%、0.185%；DOP 累积淋失量分别为 0.811、0.968、0.907、1.037 mg，净损失量分别占施 P 量的 0.087%、0.149%、0.125%、0.177%。即有机肥用量越多，P 素的淋失量越大。相关性分析表明，TP、DTP、DOP 累积淋失量与有机肥施用量之间的相关性达到极显著水平（r 分别为 0.952**、0.953**、0.996**）。

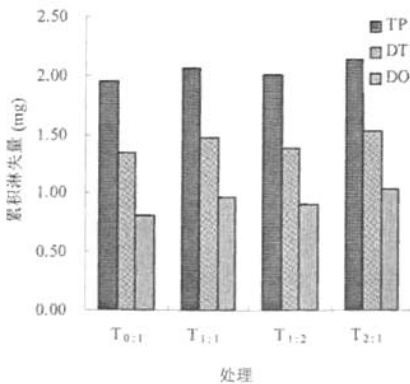


图 4 TP、DTP、DOP 累积淋失量

Fig. 4 The accumulative leaching amount of TP、DTP、DOP

2.3 土柱 Olsen-P、有机 P 含量和分布

与试验前土壤相比较，施用 P 肥明显提高土柱各土层土壤的 Olsen-P 含量^[23]。不同处理的 Olsen-P 含量高低顺序是 T_{0:1}>T_{1:2}>T_{1:1}>T_{2:1}（图 5），除不施有机肥的 T_{0:1} 处理外，施用有机肥的处理土柱各土层土壤的有机 P 含量均明显提高，不同处理有机 P 大小表现为 T_{2:1}>T_{1:1}>T_{1:2}>T_{0:1}（图 6）。相关分析表明，Olsen-P 含量与无机 P 肥用量、有机 P 含量与有机 P 肥用量呈极显著的正相关（r 值范围分别为 0.889**~0.999**和 0.974**~0.999**），说明施用无机 P 肥对提高土壤 Olsen-P 含量的作用明显大于有机肥，但土壤有机 P 含量的高低却主要取决于有机肥的施水平。由于有机 P 是土壤 P 淋失的主要种类^[24-25]，因

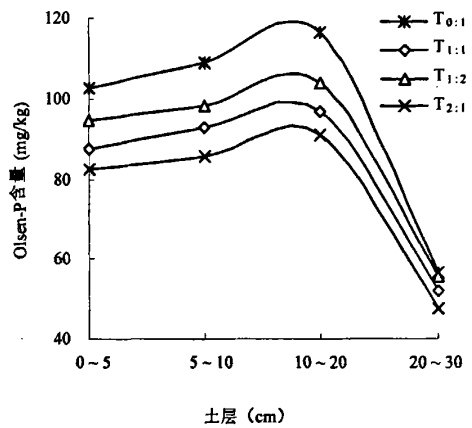


图 5 土柱淋洗后不同土层 Olsen-P 含量变化

Fig. 5 Olsen-P contents in layers of soil columns after leaching

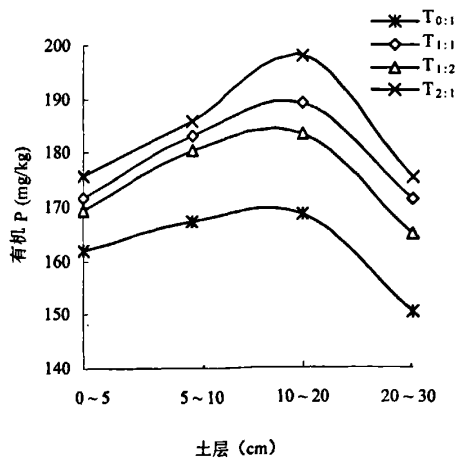


图 6 土柱淋洗后不同土层有机 P 含量变化

Fig. 6 Organic P contents in layers of soil columns after leaching

此,对于有机肥用量大的蔬菜地土壤,在评价土壤 P 对水环境污染影响时,应把有机 P 作为评价指标,而不能只考虑 Olsen-P 含量^[21]。

3 小结

(1) 土柱淋溶模拟试验表明,化肥、有机肥以及有机无机 P 肥配施处理,淋出液的 TP、DTP、DOP 浓度随淋洗时间的变化规律基本一致,施肥后 25 天至 35 天是 P 肥淋失的高峰期。

(2) 在施 P 量相同的情况下,不同处理土柱淋出液 TP、DTP、DOP 浓度和累积淋失量大小均表现为 $T_{2:1} > T_{1:1} > T_{1:2} > T_{0:1}$,即有机肥用量越大,P 的淋失量越高。

(3) 施用 P 肥明显提高土柱各土层土壤的 Olsen-P 含量,不同处理土柱各土层 Olsen-P 含量的高低顺序是 $T_{0:1} > T_{1:2} > T_{1:1} > T_{2:1}$,有机肥可明显提高土壤的有机 P 含量,土柱各土层有机 P 含量则表现为 $T_{2:1} > T_{1:1} > T_{1:2} > T_{0:1}$ 。

参考文献:

- [1] 潘根兴,焦少俊,李恋卿,徐向东,邱多生,徐晓波,储秋华,赵洪祥.低施磷水平下不同施肥对太湖地区黄泥土磷迁移性的影响.环境科学,2003,24(3):91-95
- [2] 高超,张桃林.农业非点源磷污染对水体富营养化的影响及对策.湖泊科学,1999,11(4):369-375
- [3] Vander Molen DT, Breeuwsma A, Boers PCM. Agricultural nutrient losses to surface water in the Netherlands: Impact, strategies and perspectives. J. Environ. Qual., 1998, 27: 4-11
- [4] Carpenter SR, Caraco NF, Correll DL, Howarth RW, Sharpley AN, Smith VH. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. Ecological Applications, 1998, 8: 559-568
- [5] 张维理,武淑霞,冀宏杰, Kolbe H. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计. 中国农业科学,2004,37(7):1008-1017
- [6] Haygarth PM, Sharpley AN. Terminology for phosphorus transfer. J. Environ. Qual., 2000, 9: 10-15
- [7] Sharpley AN, Smith SJ, Jones OR, Berg WA, Coleman GA. The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff. J. Environ. Qual., 1992, 21: 30-35
- [8] 黄满湘,周成虎,章申.农田暴雨径流侵蚀泥沙流失及其对氮磷的富集.水土保持学报,2002,16(4):13-16,33
- [9] 李裕元,邵明安.模拟降雨条件下施肥方法对坡面磷素流失的影响.应用生态学,2002,13(11):1421-1424
- [10] 朝辉,宗志强,李生秀.菜地和一般农田土壤主要养分累积的差异.应用生态学报,2002,13(9):1091-1094
- [11] 刘建玲,张福锁,杨奋翻.北方耕地和蔬菜保护地土壤磷素状况研究.植物营养与肥科学报,2000,6(2):179-186
- [12] 张学军,孙权,陈晓群,程淑华,张艳,王黎明.不同类型菜田和农田土壤磷素状况研究.土壤,2005,37(6):649-654
- [13] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法.北京:中国农业出版社,2000:133-186
- [14] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会编.水和废水监测分析方法.4 版.北京:中国环境科学出版社,2002,243-250
- [15] Campillo MC, Torrent SE. Modeling long-term phosphorus leaching and changes in phosphorus fertility in excessively fertilized acid sandy soils. European journal of Soil Science, 1999, 50: 391-399
- [16] 林清火,罗微,林钊沐,茶正早.磷肥在砖红壤中淋溶特征的研究初报.热带作物学报,2004,25(1):58-63
- [17] Wang XM, Hou YL. Effect of continuous vegetable cultivation on phosphorus levels of Fluvo-Aquic soils. Pedosphere, 2004, 14(2): 171-176
- [18] 赵晓齐,鲁如坤.有机肥对土壤磷素吸附的影响.土壤学报,1991,28(1):7-13
- [19] 北京农业大学主编.农业化学(总论).北京:中国农业出版社,2000,127-135
- [20] Sharpley AN, Chapra SC, Wedepohl R, Sims JT, Daniel TC, Reddy KR. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. J. Environ. Qual., 1994, 23: 437-451
- [21] Heckrath G, Brookes PC, Poulton PR, Goulding KWT. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment. J. Environ. Qual., 1995, 24: 904-910
- [22] 王小治,盛海君,栾书荣,赵海涛,封克,曹志洪.渗育性水稻土渗滤液中的磷组分研究.土壤学报,2005,42(1):79-83
- [23] Zhang GL, Burghardt W, Yang JL. Chemical criteria to assess risk of phosphorus leaching from urban soils. Pedosphere, 2005, 15(1): 72-77
- [24] 谢林花.长期不同施肥对石灰性土壤磷形态转化及剖面分布的影响.陕西:西北农林科技大学,2001,29-35
- [25] 王雪冲,陈伯华,许自安,刘金保.菜园土壤肥力特征的变化及其培肥措施.土壤通报,1985,16(4):180-183

Effect of Combined Application of Organic and Inorganic Fertilizers on Phosphorus Leaching in Vegetable Soils

ZHUANG Yuan-hong^{1,2}, WU Yi-qun², LI Yan²

(1 Department of Biology Science and Technology, Zhangzhou Normal University, Zhangzhou, Fujian 363000, China;

2 College of Resources and Environmental Sciences, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: An indoor simulating experiment was conducted with repacked soil columns to study the effect of the combined application of organic and inorganic fertilizers on phosphorus leaching in vegetable soils. Results showed that increasing organic fertilizer application obviously increased the content of soil organic P, thus caused phosphorus leaching. At the same applied amount of phosphate fertilizer, the more proportion of organic phosphate fertilizer, the higher concentration and accumulative leaching amount of TP, DTP and DOP in soil columns leacheate. The results suggested that soil organic P could be used as an index to evaluate the effect of soil-phosphorus-loss risk in water environment.

Key words: Vegetable soil, Combined application of organic and inorganic fertilizers, P leaching