

稻田层间流活性磷素的动态变化

张志剑¹, 阮俊华^{1*}, 朱荫湄¹, 沈建国² (1. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029; 2. 浙江杭州市余杭区农业科学研究所, 杭州 311113)

摘要:采用特氟纶管采样法, 原位、动态、实时地研究了水田 15 ~ 20 cm 层间流活性磷(钼酸盐反应磷, MRP) 的流失浓度及潜能。研究表明, 早稻生长期间水田层间流 MRP 浓度为 0.110 ~ 0.273 mg/L, 晚稻生长期的 MRP 浓度为 0.085 ~ 0.285 mg/L; 水田 15 ~ 20 cm 层间流磷素浓度差异与施用磷肥造成的土壤含磷水平大小直接相关, 且随着土壤磷素的提高其流失潜能随之增加; 配施有机肥不影响水田层间流磷素的流失潜能。

关键词: 磷素; 稻田层间流; 流失浓度; 流失潜能; 动态变化

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)02-04-0046

Dynamics Characteristic of Phosphorus Loss Potential in Subsurface Runoff from Rice Field

Zhang Zhijian¹, Ruan Junhua¹, Zhu Yinmei¹, Shen Jianguo² (1. College of Natural Resources and Environmental Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 2. Yuhang Institute of Agricultural Science, Hangzhou, 311113)

Abstract: A special rice field experiment was conducted to investigate the characteristic and mechanism of phosphorus (P) loss potential in subsurface runoff from rice field. Teflon Suction Cups (TSC) were inserted into tested plots in 15 ~ 20 cm in the rice field for water sampling dynamically. The range of molybdate reactive phosphorus (MRP) in subsurface runoff were 0.110 ~ 0.273 mg/L, 0.085 ~ 0.285 mg/L during growth seasons of early rice and later rice, respectively. The magnitude of MRP concentrations in subsurface runoff in 15 ~ 20 cm from rice field was more consistent with trend of soil P accumulation (expressed as Olsen-P) due to P application. P concentration and its expected loss loading in the subsurface runoff in 15 ~ 20 cm in the rice field were not affected by P application combined with manure.

Key words: phosphorus; subsurface runoff of rice field; loss concentration; loss potential; dynamic characteristic

土壤层间流(Subsurface Runoff)是相对于地表径流(Surface Runoff)而言的一种水分运动。它可以是整个耕作层的土壤排水,也可以是自地下水位至地表间的土壤排水^[1,2]。研究发现:草地层间流活性磷(Molybdate Reactive Phosphorus, MRP)的年均流失量可以达到 1.68 ~ 2.03 kg/hm²^[3](以 P 计,下同),通过层间流流失的土壤磷素可与流域内地表径流年均流失总磷量相当^[4]。为此,研究者日益重视与土壤层间流相关的磷素流失的研究。目前,至少有 2 种采样方法成功地胜任了旱地土壤层间流的研究。一种是砾石填充渠采样法(Gravel Filled Ditches, GFD),该方法可以收集顺坡度方向而下的土壤层间流^[5]。另一种是特氟纶管采样法(Toflen Suction Cup, TSC),该方法可以原位、

动态、实时地采集不同剖面处的土壤层间流^[6,7]。

水田烤田时的耕层土壤排水可以称之为稻田层间流。但是,由于很难收集水田层间流及进一步量化表征这种层间流导致的磷素流失负荷,因而国内外有关水田层间流磷素流失的研究鲜有报道。另外,水田层间流可以随地下水位的变化而向下渗漏,无疑,水田层间流磷素的浓度及潜在负荷就可能影响水田土壤磷素淋溶流失。因此,笔者在浙江省余杭水田磷素流失潜能长期定位试验 2000 年度中增设了层间流磷素

基金项目:国家自然科学基金项目(49973031);浙江省科技计划项目(99-2-030)

作者简介:张志剑(1973~),男,博士,主要从事农业面源污染控制与水资源保护的研究。zjzhangox@yahoo.com。

收稿日期:2001-11-21;修订日期:2002-04-01

* 联系人

流失的研究方案,采用 TSC 法动态采取水田层间流水样,以此了解水田层间流磷素流失潜能的特征及规律.

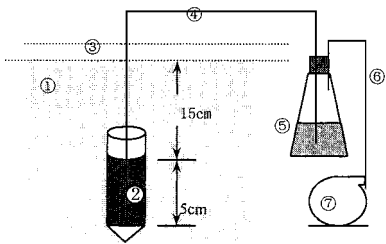
1 材料与方法

1.1 田间试验设计

水田磷素流失潜能长期定位试验供试土壤的基本性质、试验小区布置及施磷方案详见文献^[8],简述如下:1997 年为定位试验的基准年;每季水稻试验均采用一套施磷方案,即对照(P-0),基施过磷酸钙磷(以有效磷计)53 kg/hm²(P-53),基施过磷酸钙磷 106 kg/hm²(P-106),按基施过磷酸钙磷时配施猪粪肥(以全磷计)各占 50%的比例合计 53 kg/hm²(P-53(M)). 2000 年度定位试验连续进行 2 季早、晚稻:5 月 9 日至 7 月 25 日期间为早稻试验,7 月 29 日至 10 月 23 日期间为晚稻试验,2 季水稻施磷时间分别为 5 月 9 日与 7 月 29 日,面施磷肥后当天移栽水稻.

1.2 水田层间流采样设计

选取直径为 1.5cm、有效工作长度为 5.0cm 的特氟纶管,埋入小区前,预先将特氟纶管放入稀 HCl 溶液中浸泡 48h,再用去离子水反复洗净后,于 2000 年 4 月按图 1 埋入特氟纶管,设计有效深度为 15~20cm,此法可得特氟纶管法水田 15~20cm 层间流水样.



①水田耕层土壤 ②特氟纶管 ③田表水 ④导水管
⑤贮水三角瓶 ⑥真空导管 ⑦便携式真空泵

图 1 水田 15~20cm 层间流水样
TSC 法采样装置示意图

Fig.1 Diagram of apparatus for sampling of subsurface runoff in 15~20 cm from rice field

1.3 水田层间流采样与分析

为防止因氧化还原条件改变引起水样沉

淀,动态采取层间流水样前,在地面贮水三角瓶中预先加入 2.0 mol/L 盐酸 0.5 mL(设计每次采样量不超过 150 mL).每批采样时,逐个打开真空导管,用便携式真空泵对地面贮水三角瓶进行负压(-0.6×10^5 Pa)取水.分取层间流水样 10 mL,于 -4°C 条件下冻存供水样总有机碳 TOC 分析,供磷素测定的水样须分析在一周内完成.

TSC 法获得的层间流水样不进行预处理,直接用钼锑抗法测定磷素浓度,得钼酸盐活性磷 MRP^[9,10].总有机碳分析仪(TOC-500 Shimadzu)测定层间流水样总 TOC 浓度.

1.4 土样采取与分析

在早稻及晚稻试验期间内,动态采取 0~5cm 表层土样.通过测定土壤 Olse_{er}P 浓度以反映施磷引起的土壤磷素动态变化.土壤 Olse_{er}P 测定:水土比为 20℃,25℃,0.5 mol/L, pH8.5 NaHCO₃ 浸提,钼锑抗法测定浸提过滤液磷素浓度.

2 结果与讨论

2.1 层间流 MRP 浓度及其动态变化特征

2000 年度 TSC 法水田 15~20cm 层间流 MRP 浓度均值及其变幅列于表 1.早稻生长期间水田层间流 MRP 浓度为 0.110~0.273 mg/L,晚稻生长期 MRP 浓度大小为 0.085~0.285 mg/L.经 Daucan (0.05) 检验,2 季水稻层间流 MRP 浓度均值在不同的施磷水平处理间具有显著差异,表现为 P-106 > P-53 > P-0,但与单施化肥磷比较,配施有机肥处理没有显著性地影响层间流 MRP 浓度.

由于 TSC 法可以原位、动态地采取水田层间流水样,因而考察此法采取的层间流 MRP 浓度的动态行为有利了解 2 季水稻生长期间水田层间流磷素的流失潜能.从图 2 可知,在早稻期间,约在 6 月初出现了一个层间流 MRP 浓度的相对峰值,峰值之前约在 5 月中、6 月下旬出现了 2 个相对谷值.在晚稻期间,约在 8 月中出现一个峰值,约在 8 月初出现一个相对的谷值,见图 2.

表 1 TSC 法采取的水田 15 ~ 20cm
层间流 MRP 浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

处理	早稻期(采样数 $n=9$)		晚稻期(采样数 $n=7$)	
	均值	变幅	均值	变幅
P-0	0.110c	0.032 ~ 0.219	0.085c	0.030 ~ 0.146
P-53	0.219b	0.050 ~ 0.551	0.181b	0.051 ~ 0.439
P-106	0.273a	0.044 ~ 0.715	0.285a	0.118 ~ 0.544
P-53(M)	0.187b	0.041 ~ 0.402	0.161bc	0.060 ~ 0.250

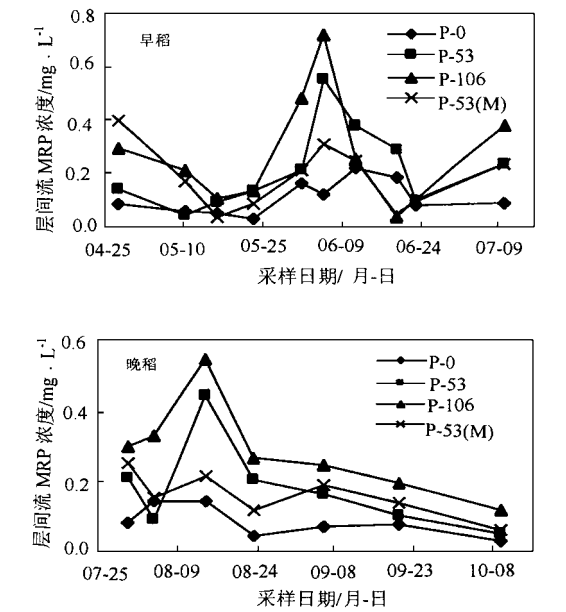


图 2 早、晚稻期间 TSC 法水田 15 ~ 20cm
层间流 MRP 浓度的动态变化(2000 年)

Fig.2 The curve of MRP concentrations in
subsurface runoff during the two periods
of rice growth (2000)

分析可知,2 个峰值出现的时间均在水田完全淹水大于 30d 后,此时田间土壤还原条件已形成^[11,12],土壤磷素的溶解活性增强;另外,这 2 个层间流 MRP 峰值出现所处的时间为水稻拔节期,相对而言,此时水稻的需磷量不大,显然,在这个时期内,水田层间流磷素流失的浓度及潜在的负荷有所提高.而在 5 月中至 6 月初、8 月初这 2 个时期是早稻、晚稻的立苗期与分蘖期,此时恰是水稻的主要需磷期,因而在 5

月中(早稻)和 8 月初(晚稻)出现了层间流 MRP 浓度的相对谷值.峰值之后,田间水分管理主要以自然落干与薄层灌水交替为主,层间流 MRP 浓度呈下降趋势.

本研究 TSC 法水田 15 ~ 20cm 层间流 MRP 浓度随时间推移出现的“先谷后峰”的动态特征与拌施磷肥后田表水磷素浓度随时间推移而迅速下降的特征^[8]有本质区别.在基施磷肥后的 1 个月内,机耕后仍处于水饱和状态的水田明显地不具备形成土壤优势流^[13]的条件.因而可以推论,水田 15 ~ 20cm 层间流 MRP 可能不直接来源于施磷后的田表水及与施磷密切相关的表层土壤的磷素,但很可能与按同一方案连续 4 年施磷造成的土壤磷素水平有关.

2.2 土壤磷素对水田层间流磷素浓度的影响

前述 2 个水稻生长期间,水田 TSC 法层间流 MRP 浓度与施磷水平大小趋势一致.比较分析可知,水田 15 ~ 20cm 间层流 MRP 浓度动态变化趋势也与土壤 Olsen-P 浓度的动态变化趋势相一致,见图 3.显然,水田层间流 MRP 浓度与施磷水平的大小趋势相一致的特征其本质原因是因施磷造成土壤磷素积累,随着土壤磷素水平的提高,水田层间流磷素流失的潜能、负荷也随之提高.

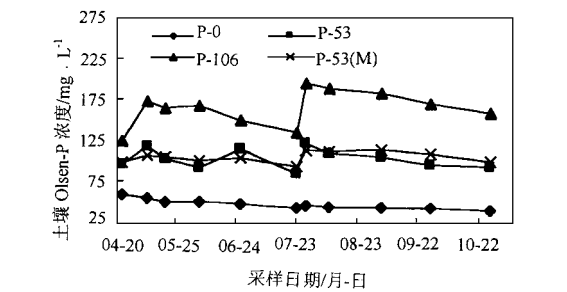


图 3 土壤 Olsen-P 浓度的动态变化(2000 年)

Fig.3 The curve of soil Olsen-P concentration (2000)

2.3 TOC 对水田层间流磷素浓度的影响

从 2000 年度田间水样的分析来看,配施有机肥处理的水田层间流 TOC 浓度基本上不同程度地高于不施有机肥处理(图 4).从 2 季水稻期内获得的层间流 MRP 浓度均值(表 1)及随时间的动态变化特征(图 2)上看,其与施用化

肥时配施有机肥的差异不明显.另外,各施磷处理下层间流 TOC 动态浓度增加时,没有相应地增加 MRP 水平.由于配施有机肥处理的土壤 Olser P 浓度动态变化特征与单施磷肥处理之间的差异也不明显(图 3).

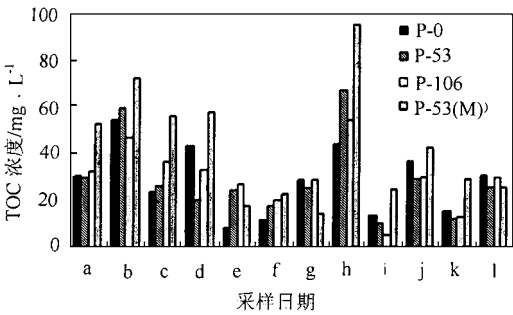


图 4 2 季水稻期间水田 TSC 法 15 ~ 20cm 层间流 TOC 浓度的动态变化(2000 年)

Fig. 4 The curve of TOC concentrations in subsurface runoff during the two periods of rice growth (2000)

有机质对土壤磷素迁移能力影响的研究,有研究者认为,有机质可以通过与磷素竞争土壤矿物固磷点位而提高土壤磷素的溶解活性,或通过与 Fe、Al 等固磷物质的化学作用,降低了 Fe、Al 的化学活性,间接地达到提高土壤磷素的溶解能力^[1,6,9].但也有人认为,分子结构较大的有机质可以通过其功能团(如羟基、羧基等)与磷素发生螯合作用,降低了磷素在土壤溶液中的迁移能力^[2].研究发现,施入土壤的有机质在其矿化的过程中,可以使土壤氧化还原电位下降幅度更大^[14],当 Fe^{3+} 还原为 Fe^{2+} 后,可能会形成比表面更大的无定型含铁固磷介质从而增加磷素的固定^[15].

可以认为,在当年田间环境下,配施有机肥与否没有显著性地影响层间流 MRP 浓度的本质在于此时的土壤溶液有机质对磷素的促进与抑制作用达到了新的平衡,而这种新平衡的净结果对水田层间流磷素的流失潜能影响不明显.

3 小结

采用 TSC 法研究了水田 15 ~ 20cm 层间流磷素流失浓度及潜能,研究表明:①早稻生长期间水田层间流 MRP 浓度为 0.110 ~ 0.273

mg/L,晚稻生长期的 MRP 浓度为 0.085 ~ 0.285 mg/L.②水田层间流磷素浓度差异与施用磷肥造成的土壤含磷水平大小直接相关,且随着土壤磷素的提高其流失潜能随之增加.③配施有机肥的这种促进与抑制磷素活性的结果不影响水田层间流磷素的流失.

参考文献:

1 Nash D M, Halliwell D J. Fertilizers and Phosphorus loss from agricultural grazing systems. *Aust. J. Soil Res.*, 1999, **37**: 4034 ~ 429.

2 Philip M H, Stephen C J. Transfer of phosphorus from agricultural soils. *Advances in Agronomy*, 1999, **66**: 195 ~ 249.

3 Hooda P S, Moynagh M, Svoboda I F et al. Phosphorus loss in drainflow from intensively managed grassland soils. *J. Environ. Qual.*, 1999, **28**: 1235 ~ 1242.

4 Catt J A, Howse K R, Farina R et al. Phosphorus losses from arable land in England. *Soil Use and Management*. 1998, **14**: 168 ~ 174.

5 Haygarth P M, Hepworth L Jarvis S C. Forms of phosphorus transfer in hydrological pathways from soil under grazed grassland. *Euro. J. Soil Sci.*, 1998, **49**: 65 ~ 72.

6 Smith K A, Chalmers A G, Chambers B J et al. Organic manure phosphorus accumulation, mobility and management. *Soil Use and Management (Supplement)*, 1998, **14**: 168 ~ 174.

7 王维君,蔡祖聪,任立涛.介绍一种原位采集土壤溶液方法. *土壤学报*, 1995, **32**(增刊): 232 ~ 235.

8 张志剑,朱荫湄,王珂等.水稻田土-水系统中磷素行为及其环境影响研究. *应用生态学报*, 2001, **12**(4): 299 ~ 232.

9 Sims J T, Simard R R, Joern B C. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *J. Environ. Qual.*, 1998, **27**: 277 ~ 293.

10 Haygarth P M, Jarvis S C. Soil derived phosphorus in surface runoff from grazed grassland lysimeters. *Water Research*, 1996, **13**: 140 ~ 148.

11 Vadas P A, Sims J T. Redox, poultry litter, and phosphorus solubility in Atlantic Coastal Plain soils. *J. Environ. Qual.*, 1998, **27**: 1025 ~ 1034.

12 Vadas P A, Sims J T. Phosphorus sorption in manured Atlantic Coastal Plain soils under flooded and drained conditions. *J. Environ. Qual.*, 1999, **28**: 1870 ~ 1877.

13 Stamm C H, Flüthler Gächer R, Leuenberger L et al. Preferential Transport of phosphorus in drained grassland soils. *J. Environ. Qual.*, 1998, **27**: 515 ~ 522.

14 De Mello J W V, Barrón V, Torrent J. Phosphorus and iron mobilization in flooded soils from Brazil. *Soil Sci.*, 1998, **163**(2): 121 ~ 132.

15 Axt J R, Walbridge M R. Phosphorus removal capacity of palustrine forested wetlands and adjacent uplands in Virginia. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1999, **63**: 1019 ~ 103.