

# 渗育性水稻土渗滤液中的磷组分研究\*

王小治<sup>1,2</sup> 盛海君<sup>1</sup> 栾书荣<sup>1</sup> 赵海涛<sup>1</sup> 封克<sup>1</sup> 曹志洪<sup>2</sup>

(1 扬州大学环境科学与工程学院, 江苏扬州 225009)

(2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要** 本试验在太湖地区长江岸边砂质渗育性(漏水型)水稻土上进行, 研究在麦稻轮作条件下连续两年施用不同磷肥(每季 P 0、30、70、150 和 300 kg hm<sup>-2</sup>), 稻季各层次土壤溶液中(30、60 和 90 cm)磷的组分, 以探讨磷素在剖面中垂直纵向移动的规律。结果表明: 施肥处理在施肥初期提高了 30 cm 处土壤溶液中溶解磷浓度, 对 60 cm 处溶解磷浓度影响不大, 对 90 cm 处溶解磷浓度没有影响。各处理 60 cm 和 90 cm 处土壤溶液中溶解磷的浓度几乎全部超过水体富营养化磷的阈值, 故在研究该地区水体富营养化时, 要注意渗漏磷排放可能的贡献。特别应指出的是, 除 6 月 13 日对照处理外, 各处理 90 cm 处土壤溶液中的磷均以溶解有机磷为主, 占总溶解磷的 56%~100%, 表明有机磷(外源加入或内源残留的)比无机磷对环境的潜在威胁将更大。

**关键词** 渗育性水稻土; 淋溶; 磷组分; 溶解有机磷; 富营养化

**中图分类号** S143.2 **文献标识码** A

磷元素是湖泊水体富营养化的关键因子之一<sup>[1]</sup>。我国太湖水体的富营养化磷素富集也是主要的贡献者<sup>[2]</sup>。有人认为农业非点源污染物的大量输出可导致接纳水体的富营养化<sup>[3,4]</sup>, 因此对农业非点源磷污染的研究已日益受到人们的重视<sup>[5,6,7]</sup>。农田水可经过径流和渗漏淋溶进入水体。进入水体的溶解磷(Dissolved phosphorus, DP)包括溶解无机磷(Dissolved inorganic phosphorus, DIP)和溶解有机磷(Dissolved organic phosphorus, DOP)。已有研究表明, 溶解有机磷与溶解无机磷具有相似的营养效应<sup>[8]</sup>。太湖地区的渗育性水稻土(又称为漏水型水稻土<sup>[9]</sup>)位于长江两岸质地较轻的砂质壤土地带, 稻田水的渗漏较多, 而径流损失较少。研究结果表明<sup>[10]</sup>: 随径流进入水体的磷很少, 一般仅占施磷量的 0.2% 左右, 且 DOP 在 DP 中占有相当比例。由于土壤中无机磷易发生各种固定作用, 一般认为磷很难向下迁移<sup>[11,12]</sup>, 对土壤中磷素淋溶过程研究相对较少。但由于漏水型水稻土水分向下垂直迁移强度较大, 溶解磷有可能随水向下迁移。为准确评价漏水型水稻土上磷肥施用对水体的影响, 有必要研究磷的垂直淋溶状况。为此, 对太湖地区渗育性水稻土(稻麦轮作)布置的磷肥试验中, 在水稻不

同生育期研究测定了剖面中不同层次土壤溶液中的溶解磷浓度及其组分。这将有助于评估渗育型水稻土不同施磷水平和不同磷素形态可能对水体环境造成的压力。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点及试验处理

田间试验自 2002 年 2 月起在江苏张家港市鹿苑镇鹿北村砂壤质渗育性水稻土上进行。小区采用随机排列。供试土壤的基本性状为: 有机质 15.2 g kg<sup>-1</sup>、全氮 1.26 g kg<sup>-1</sup>、全磷 0.69 g kg<sup>-1</sup>、速效磷 7.27 mg kg<sup>-1</sup>、砂粒含量 64.4%、粉砂粒含量 18.9%、粘粒含量 16.7%。在小麦生长季设 P 0、30、70、150、300 kg hm<sup>-2</sup> 5 个不同施磷肥处理(分别用 P0、P30、P70、P150、P300 表示), 磷肥(过磷酸钙)撒施于地表, 生长期间不再施用磷肥。所有处理的氮、钾肥用量一致, 分别为 N 300 kg hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O 60 kg hm<sup>-2</sup>。稻季施肥量同麦季(本试验稻季施磷时间为 2003 年 6 月 12 日)。每处理设 4 个重复小区, 小区面积 30 m<sup>2</sup> (5 m × 6 m)。小区间田埂宽 30 cm, 两侧覆以塑料布, 埋深 60 cm 以防止串水串肥, 每小区单独排灌(麦季

\* 国家重点基础研究发展规划“973”项目(G1999011806)和中国科学院南京土壤研究所土壤圈物质循环开放课题(025103)资助

作者简介: 王小治(1975~), 男, 讲师, 现为中国科学院南京土壤研究所在职博士生

收稿日期: 2004-03-03; 收到修改稿日期: 2004-07-22

无灌溉), 灌溉量及其余管理措施同大田。

在每个小区中将抽滤管分别埋设到 30、60 和 90 cm 土层处。抽滤管用直径为 3 cm 的塑料离心管制作。在管壁上等距离(1 cm)打直径约 2 mm 的小孔, 外部用 300 目的尼龙布缠裹 3 层后扎紧, 防止土壤颗粒进入, 离心管上部用橡皮塞封口, 将硬质塑料细管(直径 3 mm)一端穿过橡皮塞插入离心管底部, 另一端露出地表供抽取滤液。取样时将塑料细管连接至三角抽滤瓶, 通过造成负压使渗滤液进入抽滤瓶。

### 1.2 取样及测定

在 2003 年稻季不同生育期采用负压法收集不同层次渗滤水, 样品放在聚乙烯瓶内于 4℃ 冷藏保存, 样品在 1 周内测定。

渗滤水样直接用钼锑抗比色法测定溶解无机磷(DIP); 水样中溶解磷(DP)用过硫酸钾消化(120℃, 200 kPa 消化 30 min)钼锑抗比色法。水样中溶解磷(DP)扣除溶解无机磷(DIP)即得到溶解有机磷(DOP)含量: (DOP= DP- DIP)<sup>[12]</sup>。

### 1.3 数据统计分析

所得结果用 Excel 2000、SPSS 10.0 进行统计分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同层次土壤溶液中溶解磷浓度

在水稻生长期间共 7 次抽取渗滤液, 分别间隔约半个月一次。不同层次渗滤液中溶解磷浓度见图 1。对上一麦季结束后的土样(6月4日)分析表明: 15~30 cm 和 30~45 cm 土层的土壤速效磷在各处理间均无显著差异(数据未列出)。从图 1a 可以看出, 在施肥后第二天(6月13日)施肥处理 30 cm 土层处的溶解磷浓度均高于对照处理。在 6月13日, P300 和 P150 处理在 30 cm 土层处溶解磷浓度分别为 P 1.06 和 0.86 mg L<sup>-1</sup>, 而到 6月30日时, P300 和 P150 处理溶解磷浓度便急剧下降, 分别只为 P 0.35 mg L<sup>-1</sup> 和 0.15 mg L<sup>-1</sup>。除 9月26日(最后一次采样)各处理的 30 cm 处溶液中溶解磷浓度无显著差异( $p < 0.05$ , 下同)外, 其余各次采样 P300 和 P150 处理均显著高于其他处理。前期(6月13日和 6月30日)P300 处理显著高于 P150 处理, 而在后来的 5 次取样中两处理间也已无显著差异。P70 和 P30 处理 30 cm 土层处溶液中溶解磷浓度只在前两次取样时略高于对照, 以后五次与对照均无明显差异。说

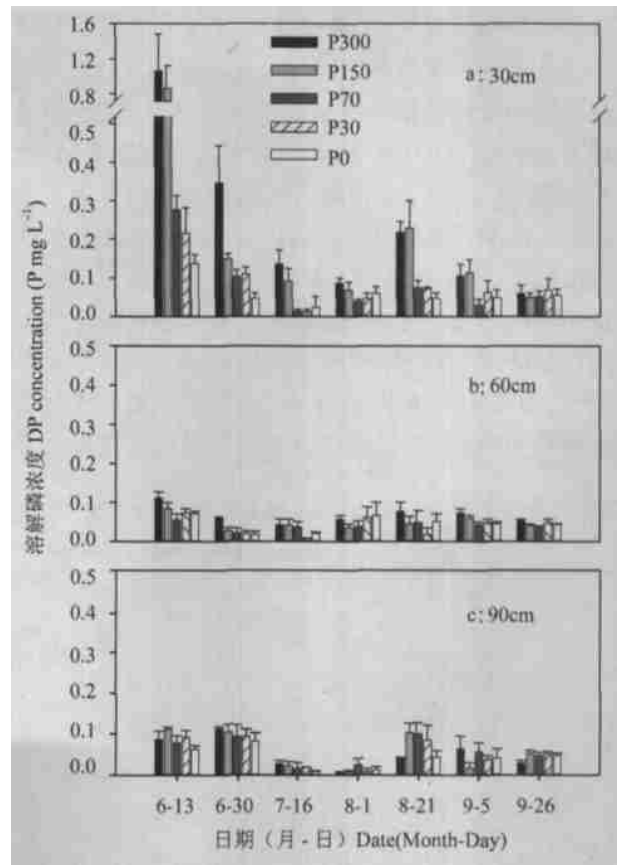


图 1 施肥对不同时期土壤溶液中溶解磷浓度的影响

Fig. 1 Effect of P application rate on DP concentration in soil solution at different depth

明在常规施磷水平下, 甚至在提高 1 倍的施磷处理下, 也不会显著提高渗滤液中溶解磷浓度。只有当施肥量达到 150 kg hm<sup>-2</sup>, 即 5 倍于常规施磷时, 才显著提高了 30 cm 土壤溶液中溶解磷浓度。这与土壤对磷的固定能力强有关, 施入的可溶性磷肥中绝大部分很快被化学、吸附及生物固定等方式转为非溶解态磷, 只有当施肥量达到或超过该土壤对磷的最大吸持量时, 土壤 OlserrP 浓度才会达到一定的“阈值”- (“Breakpoint”)<sup>[14]</sup>, 并将显著地提高 30 cm 土壤溶液中溶解磷的浓度。

从图 1b 可以看出, 在 7 次取样中, P 0~150 处理之间无规律性显著差异, 即在施肥量低于 P 150 kg hm<sup>-2</sup> 时, 各处理 60 cm 处的土壤溶液的溶解磷浓度无显著差异; 而当施肥量达到 300 kg hm<sup>-2</sup> 时, 在前 2 次取样中, 土壤溶液溶解磷浓度高于其他处理, 并达到  $p < 0.05$  的显著水平, 后期差异不显著。但 60 cm 土壤溶液中溶解磷浓度很低, 最高浓度(6月13日)为 P 0.11 mg L<sup>-1</sup>, 仅为 30 cm 溶解磷浓度的 1/10。可见该种土壤 30~60 cm 土层对磷仍具有较

强的吸持和固定容量,使得磷难以进一步向下层移动。这可进一步由图 1c 看到,各处理间 90 cm 处土壤溶液的溶解磷浓度所有处理间均无显著差异,且绝大多数低于  $P 0.10 \text{ mg L}^{-1}$ 。而且还可以看出,所有处理 90 cm 土层处溶解磷浓度都表现出在第一次和第二次取样时较高,但 7 月 16 日和 8 月 1 日两次浓度较低,后三次又升高的特点。这可能与 7 月中下旬的降雨较多有关,雨水使田面水溶解磷浓度下降,以致中间两次渗漏水中溶解磷浓度较低。8 月下旬,雨水减少,同时也有烤田导致的大裂缝和优势流使在 90 cm 处后三次渗滤液中的磷浓度有较大提

高,甚至部分比同期 60 cm 处的还高,但大多未达统计上的显著。

## 2.2 土壤渗滤液中磷组分

### 2.2.1 溶解无机磷(DIP)和溶解有机磷(DOP)的浓度

不同时间土壤溶液中 DIP 和 DOP 浓度列于表 1。从中可见,6 月 13 日 P300 和 P150 处理 30 cm 土层处 DIP 浓度显著高于其他处理,分别达到  $P 0.84$  和  $0.78 \text{ mg L}^{-1}$ ,是当日 P300 和 P150 处理 60 cm 处 DIP 的 17 和 26 倍。随着时间的推移, P300 和 P150 处理 30 cm 处 DIP 浓度迅速下降,至 6 月 30 日已降至  $0.16$  和  $0.03 \text{ mg L}^{-1}$ 。

表 1 不同层次土壤渗滤液中溶解无机磷和溶解有机磷浓度

Table 1 Concentration of DIP and DOP in soil solution at different depth ( $\text{P mg L}^{-1}$ )

处理 Treatments	溶解无机磷(DIP)			溶解有机磷(DOP)		
	30 cm	60 cm	90 cm	30 cm	60 cm	90 cm
6月13日 P300	$0.84 \pm 0.73^*$	$0.05 \pm 0.03$	$0.02 \pm 0.01$	$0.23 \pm 0.11$	$0.07 \pm 0.01$	$0.07 \pm 0.03$
13 <sup>h</sup> June P150	$0.78 \pm 0.59$	$0.03 \pm 0.00$	$0.03 \pm 0.02$	$0.09 \pm 0.06$	$0.06 \pm 0.00$	$0.08 \pm 0.01$
P70	$0.13 \pm 0.08$	$0.03 \pm 0.03$	$0.01 \pm 0.00$	$0.15 \pm 0.05$	$0.02 \pm 0.01$	$0.07 \pm 0.03$
P30	$0.13 \pm 0.08$	$0.06 \pm 0.03$	$0.02 \pm 0.01$	$0.08 \pm 0.06$	$0.02 \pm 0.01$	$0.07 \pm 0.03$
P0	$0.05 \pm 0.03$	$0.03 \pm 0.02$	$0.03 \pm 0.01$	$0.09 \pm 0.03$	$0.04 \pm 0.02$	$0.03 \pm 0.02$
6月30日 P300	$0.16 \pm 0.14$	$0.05 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.01$	$0.19 \pm 0.05$	$0.01 \pm 0.00$	$0.11 \pm 0.01$
30 <sup>h</sup> June P150	$0.03 \pm 0.02$	$0.02 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.00$	$0.12 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.00$	$0.11 \pm 0.04$
P70	$0.01 \pm 0.01$	$0.01 \pm 0.02$	$0.00 \pm 0.01$	$0.09 \pm 0.04$	$0.01 \pm 0.01$	$0.09 \pm 0.06$
P30	$0.02 \pm 0.01$	$0.01 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.10 \pm 0.04$	$0.01 \pm 0.01$	$0.09 \pm 0.04$
P0	$0.01 \pm 0.00$	$0.01 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.00$	$0.04 \pm 0.03$	$0.01 \pm 0.01$	$0.08 \pm 0.04$
7月16日 P300	$0.09 \pm 0.05$	$0.02 \pm 0.02$	$0.01 \pm 0.01$	$0.05 \pm 0.02$	$0.02 \pm 0.01$	$0.02 \pm 0.01$
16 <sup>h</sup> July P150	$0.05 \pm 0.06$	$0.03 \pm 0.02$	$0.01 \pm 0.01$	$0.04 \pm 0.01$	$0.02 \pm 0.01$	$0.01 \pm 0.02$
P70	$0.01 \pm 0.00$	$0.01 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.01$	$0.01 \pm 0.01$	$0.02 \pm 0.02$	$0.02 \pm 0.02$
P30	$0.01 \pm 0.00$	$0.01 \pm 0.00$	$0.01 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.00$	$0.01 \pm 0.00$
P0	$0.01 \pm 0.04$	$0.01 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.00$	$0.01 \pm 0.02$	$0.01 \pm 0.00$	$0.01 \pm 0.00$
8月1日 P300	$0.02 \pm 0.03$	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.07 \pm 0.02$	$0.06 \pm 0.02$	$0.01 \pm 0.00$
1 <sup>st</sup> August P150	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.07 \pm 0.04$	$0.04 \pm 0.02$	$0.01 \pm 0.01$
P70	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.04 \pm 0.01$	$0.04 \pm 0.03$	$0.02 \pm 0.03$
P30	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.05 \pm 0.03$	$0.06 \pm 0.05$	$0.01 \pm 0.02$
P0	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.06 \pm 0.04$	$0.07 \pm 0.07$	$0.01 \pm 0.02$
8月21日 P300	$0.01 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.21 \pm 0.05$	$0.07 \pm 0.05$	$0.04 \pm 0.01$
21 <sup>st</sup> August P150	$0.01 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.22 \pm 0.14$	$0.04 \pm 0.04$	$0.10 \pm 0.05$
P70	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.01$	$0.08 \pm 0.04$	$0.05 \pm 0.06$	$0.10 \pm 0.05$
P30	$0.01 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.00$	$0.01 \pm 0.01$	$0.07 \pm 0.02$	$0.02 \pm 0.03$	$0.08 \pm 0.07$
P0	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.00 \pm 0.00$	$0.05 \pm 0.03$	$0.05 \pm 0.04$	$0.04 \pm 0.03$
9月5日 P300	$0.05 \pm 0.02$	$0.01 \pm 0.01$	$0.00 \pm 0.00$	$0.03 \pm 0.03$	$0.06 \pm 0.01$	$0.06 \pm 0.06$

续表

处理 Treatments	溶解无机磷(DIP)			溶解有机磷(DOP)		
	30 cm	60 cm	90 cm	30 cm	60 cm	90 cm
5 <sup>h</sup> September P150	0.05±0.03	0.01±0.01	0.00±0.00	0.04±0.04	0.05±0.01	0.02±0.03
P70	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.01±0.01	0.04±0.02	0.05±0.05
P30	0.00±0.00	0.01±0.01	0.00±0.00	0.06±0.06	0.04±0.01	0.04±0.02
P0	0.01±0.01	0.01±0.01	0.00±0.00	0.02±0.02	0.04±0.01	0.04±0.04
9月26日 P300	0.02±0.01	0.01±0.00	0.01±0.01	0.02±0.02	0.04±0.01	0.02±0.01
26 <sup>h</sup> September P150	0.03±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.01±0.01	0.02±0.01	0.04±0.02
P70	0.02±0.00	0.02±0.01	0.02±0.01	0.01±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01
P30	0.01±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01	0.02±0.02	0.03±0.02	0.04±0.01
P0	0.03±0.00	0.01±0.01	0.02±0.01	0.01±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01

\* 平均值±标准差 Average±SD

由于7月中下旬雨量较大,8月1日几乎所有处理各土壤溶液中均未测出DIP,但仍有较高的DOP(在0.01~0.07 mg L<sup>-1</sup>之间)。各层次土壤溶液中DOP在各处理间无明显规律性变化。

值得注意的是,有77%样次测定的90cm处DIP的浓度为零或0.01 mg L<sup>-1</sup>,说明在90cm深处的土壤溶液中可溶性无机磷浓度极低;而约有69%样次测定的90cm处的DOP大于或等于60cm处的DOP值,且浓度大都在P0.02 mg L<sup>-1</sup>(水体富营养化磷的阈值)<sup>(1)</sup>以上,说明在90cm深的土层中有DOP的积累或可能有从地下水向上扩散的DOP存在。

2.2.2 DIP和DOP在溶解磷中的比例 土壤溶液中DIP占DP的比例随时间和土壤层次的变化而变化。表2显示,各施肥处理6月13日取样时,30cm土层处溶液的DP中以DIP为主,除P70处理为46.4%外,其余在61.3%~89.6%之间,而对照处理以DOP为主,DIP仅占33.3%。生长发育中期(8月1日~9月5日),无机溶解磷一方面被稻株吸收,另一方面由于降水稀释的作用DIP几乎为零或很低值。90cm处土壤溶液各处理DP中均以DOP为主,除对照处理在6月13日DIP占DP比例达52.4%外,其余所有时间DIP比例在0.0~44.4%之间。说

表2 不同层次土壤溶液中溶解无机磷占溶解磷的比例

Table 2 Percentage of DIP to DP in soil solution at different depth (%)

处理 Treatments	6月13日	6月30日	7月16日	8月1日	8月21日	9月5日	9月26日
	13 <sup>h</sup> June	30 <sup>h</sup> June	16 <sup>h</sup> July	1 <sup>st</sup> August	21 <sup>st</sup> August	5 <sup>h</sup> September	26 <sup>h</sup> September
30 cm	P300	78.8	46.4	65.7	23.9	3.7	63.5
	P150	89.6	21.1	52.7	2.9	3.9	51.1
	P70	46.4	8.7	40.0	0.0	0.0	0.0
	P30	61.3	14.3	83.3	0.0	9.6	5.2
	P0	33.3	12.2	44.0	0.0	8.2	31.0
60cm	P300	40.2	79.7	54.8	0.0	2.6	16.2
	P150	36.0	85.7	59.5	0.0	4.3	11.5
	P70	60.0	54.5	35.1	0.0	0.0	4.7
	P30	79.7	40.0	100	0.0	0.0	24.5
	P0	43.1	52.6	36.4	0.0	1.9	19.6
90cm	P300	20.5	3.5	17.9	14.3	9.8	1.6
	P150	30.4	0.0	40.9	0.0	1.0	5.6
	P70	11.3	0.0	0.0	8.0	3.9	3.6
	P30	20.7	0.0	44.4	22.2	5.9	2.6
	P0	52.4	4.8	22.2	25.0	2.3	0.0

(1) Foy R H, Withers P J A. The contribution of agricultural phosphorus to eutrophication. The Fertilizer Society Proceedings, 1995. 1~32

明施磷肥初期, 磷肥中有较多的可溶性无机磷进入土壤溶液。随着时间的推移, 这部分磷逐渐被土壤所固定, 可溶性的有机磷不易被土壤吸附, 其随水迁移的比例增加。因而, 可能进入地下水的渗滤液中应以溶解有机磷为主。一般认为溶解有机磷的来源有以下三方面: 1) 土壤中原有有机质的分解; 2) 施入有机肥中的低分子量有机磷; 3) 施入无机肥转化形成的低分子量有机磷或当季水稻根系分泌物中携带的有机磷。本试验结果尚不能精确估算出这三种来源的贡献之大小, 但可合理的推断当季较高有机磷的灌水或施用的有机肥(如人、畜粪便、秸秆还田、污泥等)很可能大大加以溶解有机磷形式渗漏进入水体的数量。正如施用有机肥通过径流排放对水体富营养化的贡献可能大于无机磷肥<sup>[8]</sup>一样, 施用有机肥通过渗漏对水体富营养化的贡献也很可能大于无机磷肥。

### 3 结 论

本试验已有的数据表明, 在稻麦轮作条件下, 稻季施肥处理在施肥初期提高了 30 cm 土层处土壤溶液中的总溶解磷浓度, 而对 60 cm 土层处总溶解磷浓度影响不大, 90 cm 土层处土壤溶液中的总溶解磷浓度则不受影响。正常磷肥用量对当季地下水体的污染贡献率不大。但考虑到各处理 60 cm 和 90 cm 处土壤溶液中溶解磷浓度几乎全部超过水体富营养化磷的阈值, 又因为是沿江质地较轻的水稻田, 有些田块的地下水位较高, 故在研究地区水体富营养化时, 也应考虑渗漏磷可能的贡献。

除 6 月 13 日对照处理外, 各处理在整个稻季 90 cm 处土壤溶液中的磷均以溶解有机磷为主, 占溶解磷的比例在 56% ~ 100% 之间。说明在该类土壤上, 渗漏液携带的磷以有机磷为主。据此认为, 使用有机肥经渗漏造成的磷素垂直移动及因此而可能导致对水体环境的威胁也应引起人们的注意。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Daniel T C, Sharpley A N, Lemunyon J L. Agricultural phosphorus and eutrophication: A symposium overview. *J. Environ. Qual.*, 1998, 27: 251~ 257
- [ 2 ] 范成新. 太湖水体生态环境历史演变. *湖泊科学*, 1996, 8(4): 297~ 304. Fan C X. Historical evolution of water ecological setting in Taihu Lake (In Chinese). *J. Lake Sci.*, 1996, 8(4): 297~ 304
- [ 3 ] 吴炳方. 水田植物营养素的流失和控制措施. *环境科学*, 1991, 12(3): 88~ 91. Wu B F. Botanical nutrients running off from paddy fields and the suitable control measures (In Chinese). *Environmental Science*, 1991, 12(3): 88~ 91
- [ 4 ] Coote D R, MacDonald E M, Dickinson W T, *et al.* Agriculture and water quality in the Canadian Great Lakes Basin I. Representative agricultural watersheds. *J. Environ. Qual.*, 1982, 11: 473~ 481
- [ 5 ] Sharpley A N, Daniel T C, Sims J T, *et al.* Determining environmentally sound soil phosphorus levels. *J. Soil and Water Conservation*, 1996, 51(2): 160~ 166
- [ 6 ] Zhang H C, Cao Z H, Shen Q R, *et al.* Effect of phosphate fertilizer application on phosphorus (P) losses from paddy soils in Taihu Lake Region I. Effect of phosphate fertilizer rate on P losses from paddy soil. *Chemosphere*, 2003, 50: 695~ 701
- [ 7 ] Zhang H C, Cao Z H, Wang G P, *et al.* Winter runoff losses of phosphorus from paddy soils in the Taihu Lake Region of South China. *Chemosphere*, 2003, 52(9): 1461~ 1466
- [ 8 ] Conter J B, Wetzel R G. Uptake of dissolved inorganic and organic phosphorus compounds by phytoplankton and bacterioplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 1992, 37(2): 232~ 243
- [ 9 ] 徐琪, 陆彦禧, 刘元昌, 等著. 中国太湖地区水稻土. 上海: 上海科学技术出版社, 1980. 58. Xu Q, Lu Y C, Yiu Y C, *et al.* eds. *The Paddy Soil of Tai Hu Region in China* (In Chinese). Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 1980. 58
- [ 10 ] 王小治, 曹志洪, 盛海君, 等. 太湖地区渗育性水稻土径流中磷组分的研究. *土壤学报*, 2004, 41(2): 119~ 125. Wang X Z, Cao Z H, Sheng H J, *et al.* Study on the fractionation of phosphorus loaded by the runoff and drainage flows of Perogenic paddy soils in the Taihu Lake Region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(2): 119~ 125
- [ 11 ] Heckrath G, Brookes P C, Poulton P R, *et al.* Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk Experiment. *J. Environ. Qual.*, 1995, 24: 904~ 910
- [ 12 ] 吕家珑, 张一平, 张君常, 等. 土壤磷运移研究. *土壤学报*, 1999, 36(1): 75~ 82. Lu J L, Zhang Y P, Zhang J C, *et al.* Studies on phosphorus transport in soils (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1999, 36(1): 75~ 82.
- [ 13 ] 郭丰, 聂鑫, 周时强, 等. 同安湾潘涂对虾养殖区不同形态磷的含量与动态. *水产学报*, 2001, 25(5): 443~ 447. Guo F, Nie X, Zhou S Q, *et al.* The contents and dynamics of phosphorus in shrimp culture area of Pantu, Tong'an Bay, Xiamei (In Chinese). *Journal of Fisheries of China*, 2001, 25(5): 443~ 447
- [ 14 ] Hesketh N, Brookes P C. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching. *J. Environ. Qual.*, 2000, 29: 105~ 110

## FRACTIONATION OF PHOSPHORUS IN LEACHATE FROM PERCOGENIC PADDY SOILS IN THE TAIHU LAKE REGION

Wang Xiaozhi<sup>1,2</sup> Sheng Haijun<sup>1</sup> Luan Shurong<sup>1</sup> Zhao Haitao<sup>1</sup> Feng Ke<sup>1</sup> Cao Zhihong<sup>2</sup>

(1 *Environment Science and Engineering College, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China*)

(2 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

**Abstract** A field plot experiment with five P application rates and 4 replications each was conducted on Percogenic paddy soil in the Taihu Lake Region (TLR) in the years of 2002 and 2003 to monitor the concentration and fractionation of dissolved phosphorus (DP) in leachate at different depth. Results indicate that fertilization increases the concentration of DP in leachate at 30cm in depth at the initial stage, has a little effect in leachate at 60cm, and no effect in leachate at 90cm. However, the concentrations of dissolved P in leachates at 60 and 90 cm were higher than  $0.02 \text{ mg L}^{-1}$ , which suggests that the leaching may contribute to water eutrophication. Dissolved organic phosphorus (DOP) dominated in the leachate at 90 cm during the entire rice-growing season accounting for 56% ~ 100% of the dissolved phosphorus (DP) in all the treatments except the control on Jun 13. The concentration of DOP in the leachate did not increase along with the P application rates in this experiment, indicating that DOP comes mainly from dissolution of the existing soil organic P by leachate and/or from organic manure applied or with irrigation water.

**Key words** Percogenic paddy soils; Leaching; P loss; Dissolved Organic Phosphorus (DOP); Eutrophication