

## 施用土壤改良剂对磷素流失的影响研究<sup>①</sup>

姬红利<sup>1,2</sup>, 颜蓉<sup>1,2</sup>, 李运东<sup>2</sup>, 方炎明<sup>1</sup>, 杨林章<sup>2</sup>, 吴永红<sup>2\*</sup>

(1 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037; 2 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要:** 以滇池设施农业土壤和坡耕地土壤为研究对象, 采用外源施用土壤改良剂(硫酸亚铁 FES, 硫酸铝 ALS, 聚丙烯酰胺 PAM)和土壤消毒剂(五氯硝基苯 PCNB)的办法, 在不同解吸时间和解吸类型的条件下, 研究了土壤改良剂对土壤解吸过滤液中总磷(TP)和可溶性总磷(TDP)的浓度变化影响。研究显示: 无论是在连续解吸(2~10 h)的长时间情况下, 还是在两种解吸类型(2 h 强度解吸和 6 h 连续解吸)的情况下, 除 PCNB 外, FES, ALS 和 PAM 都可以显著降低两种土壤过滤液中 TP 浓度( $p < 0.05$ )。并且发现 FES 和 PAM 在连续解吸情况下, 对设施农业土壤过滤液中 TDP 浓度变化具有显著影响, 且在两种解吸类型下, 还可以均显著降低两种类型土壤中的 TDP 浓度。野外田间试验表明: 施加改良剂后, 径流雨水中 TP 和 TDP 值也得到明显降低, FES, ALS 和 PAM 的施用对降低 P 素流失具有明显的效果。可见, 无论从解吸持续时间、解吸类型还是土壤类型方面看, FES 和 PAM 都具有显著的防控 P 素流失的效果, 适宜在滇池流域设施农业和坡耕地等土壤中应用。

**关键词:** 土壤改良剂; 设施农业土壤; 坡耕地土壤; 磷素流失

**中图分类号:** S156.2

当前, 农业面源污染已经成为世界环保学者和管理者面临的最为棘手问题之一, 其中, 过量的 N、P 物质输入是构成农业面源污染的主要原因之一<sup>[1-2]</sup>。N、P 养分形成农业面源污染的主要源头分为两种, 一是由于土壤本身含 N、P 等养分物质较高, 二是由于人口压力大, 过量化肥、农药输入农业生态系统, 造成大量 N、P 蓄积在土壤中。这些含高 N、P 养分的土壤, 在径流的溶解和冲刷下, 养分随之流失, 尤其是植被覆盖低下的坡耕地, N、P 等养分极易被径流洗脱而夹带进入受纳水体, 加之农村经济的发展, 含高 N、P 物质的畜禽养殖污水和大量生活垃圾排入水源, 造成地表和地下水污染, 最终导致水体富营养化, 甚至发生有害藻类“水华”等生态灾害<sup>[3-6]</sup>。

针对 N、P 等养分随径流进入水体而造成水环境污染的问题, 一般采取“源头减污控制、过程生态拦截与生物处理、末端治理与总量控制”三级防控措施对养分进行拦截、吸收(净化)和再利用<sup>[7]</sup>。研究表明<sup>[8]</sup>, 从源头上控制污染物的输入、迁移、转化是最有效的措施, 包括: 源头减少农业区的化肥、农药投入量, 提高作物高效的养分利用率, 降低农区径流强度和频度以及原位固持养分于土壤中。其中, 在养分

原位固持措施中, 土壤改良剂是有效的养分迁移防控材料<sup>[9]</sup>, 土壤改良剂的施用不但可以优化土壤质地, 提高污染物截留能力, 增加土壤农学价值, 还可以增加农民经济收入, 减少环境污染和降低水环境富营养风险。

目前, 土壤改良剂作为养分固持材料在农业面源污染防控方面具有较多的研究。其中, 硫酸亚铁作为防病又肥田的土壤改良剂, 能有效地改良土壤的酸碱度, 提高水稻产量<sup>[10]</sup>, 并且对土壤污染修复提供了理论依据<sup>[11]</sup>; 硫酸铝也是较为常用于盐碱地旱田的土壤改良剂, 通过改变土壤可溶性盐分及平衡溶液 pH 值, 来有效改良土壤, 可明显提高玉米出苗率<sup>[12]</sup>; 聚丙烯酰胺是一种新型的高效土壤结构改良剂, 利用其很强的絮凝性, 来维系良好的土壤结构, 减少径流, 防止土壤 N、P 养分过多流失<sup>[13]</sup>。这 3 种材料都是研究利用较多也是较为有效的土壤改良剂。但是针对设施农业土和坡耕地土 P 素防控的研究尚未见报道, 针对不同的径流雨水冲刷时间, 不同强度的径流冲刷, 不同的土壤类型有选择性地施用不同种土壤改良剂的研究也很少, 就滇池流域红壤而开展的土壤改良剂研究更少, 这在一定程度上影响了滇池流域面源污染防控数

①基金项目: 中国科学院重要方向青年人才类项目(KZCX2-EW-QN40)、国家自然科学基金重点项目(41030640)和国家科技支撑计划项目(2007BAD87B12)资助。

\* 通讯作者(yhwu@issas.ac.cn)

作者简介: 姬红利(1985—), 女, 陕西渭南人, 硕士研究生, 主要从事农业面源污染控制研究。E-mail: jhl8758@163.com

据库和技术体系的全面构建。

由于 P 是滇池富营养化过程的限制性因子之一, 因此本研究选择 P 为研究目标, 通过施用硫酸亚铁、硫酸铝和聚丙烯酰胺这 3 种土壤改良剂, 同时以空白和目前农田较为常用的土壤杀菌剂五氯硝基苯<sup>[14]</sup>作为对照, 开展对滇池流域红壤中 P 素流失研究, 旨在为滇池流域设施农业和坡耕地土壤原位 P 素固持提供技术支持, 以及为完善本区农业面源污染防治技术体系提供基本数据资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

室内模拟试验土壤样品为两种类型的滇池流域红壤土样: 设施农业土壤 (facilities agricultural soil) 和坡耕地土壤 (sloping farmland soil), 土壤样品采集深度为 30 cm, 手工剥离其枯枝、石块等杂质, 取少量土壤用于初始土壤性质分析, 土壤经风干、磨细和过 20 目筛, 装入封口袋中备用。田间试验在滇池流域上蒜乡的坡耕地红壤中进行。试验土壤的基本理化性质见表 1。

表 1 试验土壤的理化性质

Table 1 Physicochemical properties of experimental soils

指标	设施农业土壤	坡耕地土壤	田间土壤
pH	7.25	7.49	4.48
有机质 (g/kg)	37.1	19.7	32.4
全 P (g/kg)	1.10	0.86	0.10
有效 P (mg/kg)	53.0	10.9	60.8
全 N (g/kg)	1.51	0.79	0.60
速效 N (mg/kg)	126.0	45.5	91.7
全 K (g/kg)	5.7	13.8	12.7
速效 K (mg/kg)	198	260	172

土壤添加材料为: 硫酸亚铁 (FES), 硫酸铝 (ALS), 聚丙烯酰胺 (PAM), 五氯硝基苯 (PCNB), 由云南昆明杰士达化学试剂有限公司和江苏南京佳实农资公司提供。

### 1.2 试验方法

1.2.1 模拟试验 从径流雨水冲刷的时间来研究, 将采集备用的土壤样品, 设施农业土壤和坡耕地土壤分别取 30 g 做连续解吸试验研究。根据赵岩等<sup>[10]</sup>、李月芬等<sup>[15]</sup>和杨雪芹等<sup>[16]</sup>分别对硫酸亚铁、硫酸铝和聚丙烯酰胺这 3 种土壤改良剂的研究表明, 从社会效益, 经济效益和生态效益来看, 0.3% 的施用量对土壤改良

具有较显著的效果, 为了比较土壤改良剂和杀菌剂对土壤 P 素流失控释的不同影响, 同时选择同等用量的五氯硝基苯作对比研究。因此本试验分别添加 0.3% 的 4 种材料 (FES、ALS、PAM、PCNB) 各 0.09 g 于 150 ml 三角瓶中, 再以土:水=1:1.5 加蒸馏水 (45 ml) 混匀静置, 隔 2 h 取过滤液, 后继续加 1.5 倍蒸馏水摇匀静置 2 h, 再取过滤液, 依此连续取 5 次过滤液。每个处理 3 个重复, 同时做 3 个空白对照 (CK)。

从径流雨水冲刷的强度来研究, 分别取装袋备用的两种土样, 设施农业土壤和坡耕地土壤各 30 g, 分别加 0.3% 即 0.09 g 的 4 种材料 (FES、ALS、PAM、PCNB) 于 150 ml 三角瓶中, 再以土:水=1:4.5 加蒸馏水 (135 ml) 混匀静置, 2 h 后取过滤液, 做与连续解吸 3 次时的对比研究 (模拟总水量相同, 时间不同)。每个处理 3 个重复, 同时做 3 个空白对照 (CK)。

1.2.2 田间试验 田间试验选择在滇池流域上蒜乡的坡耕地中开展。实验区规格为 15.0 m × 27.0 m, 平分为 4 个处理小区, 3 个重复, 另外, 选取 3 个同样大小规格的样地作为空白对照, 四周利用防水材料围隔, 其中地下隔离深度 50 cm, 地上隔离材料高出地面 50 cm, 小区外周设有径流收集池。按照不超过模拟实验剂量以及综合考虑当地村民经济承受能力和易于农作施用的情况下, 采用面施的办法施用 4 种材料, 施用方法为撒施, 撒施配比为: 改良剂:水=1:500, 单位面积改良剂施用量为 0.30 g/m<sup>2</sup>。在主要的雨天 (一般为降雨量 ≥ 10 mm, 即在施加后第 15 天和 25 天), 分别收集径流雨水, 并测试分析径流雨水中的总磷 (TP) 和可溶性总磷 (TDP) 浓度。

1.2.3 测试方法与统计 土样过滤液和径流雨水中 TP 和 TDP 的测试方法为过硫酸钾消解法和钼锑抗分光光度法<sup>[17]</sup>。各试验结果均为 3 组平行试验数据的平均结果, 各处理与 CK 之间的统计性差异利用成对 T-TEST 检验方法验证, p < 0.05 为显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤改良剂对解吸过滤液总磷的影响变化

#### 2.1.1 不同解吸时间对土样过滤液 TP 的影响变化

在连续解吸 2 ~ 10 h 的情况下, CK 处理和 4 种不同添加材料 (硫酸亚铁 (FES), 硫酸铝 (ALS), 聚丙烯酰胺 (PAM), 五氯硝基苯 (PCNB)) 对坡耕地土和设施农业土解吸过滤液中 TP 的含量动态变化曲线见图 1。

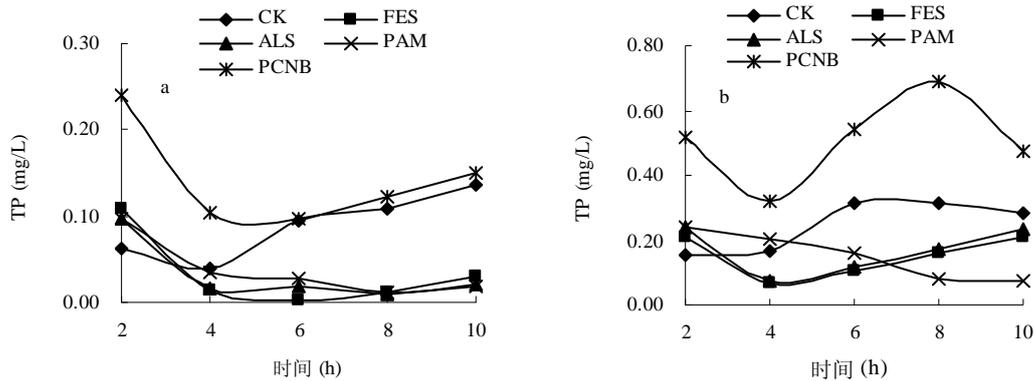


图1 坡耕地土壤 (a) 和设施农业土壤 (b) 解吸过滤液中 TP 含量变化

Fig. 1 Changes in TP contents in leaching solutions of sloping farmland (a) and facilities agricultural (b) soils

由于采集的土壤样品为原状土壤,造成了试验 TP 的初始浓度差异比较大,但从处理效率而言,CK 和各处理之间具有一定的可比性。从图 1 可以看出,CK 和经过处理的土样过滤液中 TP 含量随着解吸时间的延长,解吸水量的增加,均呈现出先降低后升高的趋势,但是处理样过滤液 TP 含量降低幅度大,升高幅度小。其中, PAM 的变化幅度最小,总体呈现降低的趋势; FES 和 ALS 的变化趋势一致,具有最低点;而 PCNB 始终保持最高点。从总体上看,无论对坡耕地土还是设施农业土,在连续解吸的情况下, PCNB 不具有改良效果,且增加了土壤 P 素的流失,而 FES、ALS 和 PAM 都具有较好的改良效果。

连续解吸时间的不同,会引起改良效果变化幅度的不同,在解吸 2 h 后,无论哪种类型的土样,CK 保持较低点;4 h 后,与 CK 相比, PAM 处于同一点, FES 和 ALS 保持较低点;6 h 后, PAM 处理,两种土样过滤液 TP 值仍保持下降趋势,分别下降 20% 和 22%, FES 和 ALS 缓慢升高,而 CK 组中,坡耕地土和设施农业土过滤液 TP 值分别骤然上升 146% 和 90%;10 h 后,虽然 FES、ALS 和 PAM 仍处于缓慢的升高,但是仍然低于 CK。这说明在 2 h 的短时间连续解吸情况下,改良剂对土壤并无明显效果,原因有可能是土壤吸收了大量的水分,导致过滤液较少、较浑浊,且改良剂与土壤刚结合,分子之间的交换反应速度缓慢,土壤的理化性质并未改变,没有表现出效果。而在 4 h 的短时间连续解吸下, FES 和 ALS 改良效果较显著,随时间的继续延长, PAM 的改良效果显著。

图 1 显示,两种类型的土样,CK 和处理样,在持续解吸时间内 (2 ~ 10 h),都是设施农业土淋溶液中

的 TP 比坡耕地土的高,且变化幅度也较大,这主要是由于设施农业土壤中的 P 累积量多,在雨水的冲刷下,发生迁移的 P 浓度相应较高。在较长时间 (4 h 以后) 的解吸下, FES 和 ALS 对坡耕地土壤的改良效果显著,而 PAM 对设施农业土壤的改良效果显著。

#### 2.1.2 不同解吸类型对土样过滤液 TP 的影响变化

图 2 显示了在水量相等的不同解吸类型下,即 6 h 持续解吸 (CD) 和 2 h 同水量强度解吸 (SD),两种土样过滤液的 TP 变化。在水量相等的情况下,CK 组中强度解吸比持续解吸 TP 值高,说明强度解吸试验引起水土流失的 P 素流失比持续解吸严重。对于坡耕地土,水量相同时,经土壤改良剂处理后, FES 和 ALS 对持续解吸引起的 P 素流失改良效果显著, FES > ALS, PAM 对强度解吸引起的控 P 流失效果显著。对于设施农业土,水量相同时, FES、ALS 和 PAM 对强度解吸比对持续解吸引起的固 P 效果明显, FES > ALS > PAM,而 PCNB 无改良效果。FES 和 ALS 对两种土壤类型的 TP 影响作用相反,主要原因是两种土壤类型所含养分不同,坡耕地土壤养分不高,并且在强度解吸下,更易引起 P 素流失,而设施农业土壤富含 N、P、有机质,设施农业土壤中的磷酸盐较坡耕地土壤多,这时 Fe 和 Al 易与设施农业土壤中的磷酸盐结合为聚合态磷酸盐。

在水量相等的情况下,无论哪种解吸类型,哪种土壤类型, FES、ALS 和 PAM 均具有较好的改良效果,效果大小依次为 FES > ALS > PAM,而 PCNB 则无改良效果。从化学角度而言, FES 和 ALS 具有 Fe 和 Al 离子,进入土壤发生水解,生成铁、铝氧化物,其表面的 OH<sup>-</sup> 和 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 发生配位体交换反应,从而达到在

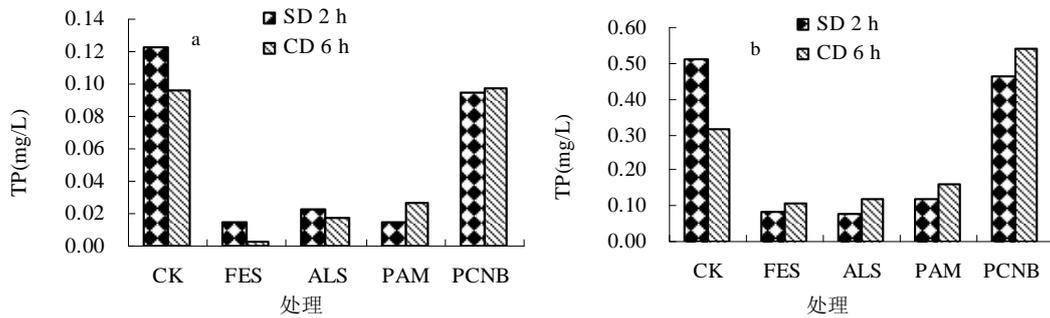


图 2 不同解吸类型对坡耕地土壤 (a) 和设施农业土壤 (b) 过滤液中 TP 浓度的影响

Fig. 2 Effects of desorption types on TP contents in leaching solutions of sloping farmland (a) and facilities agricultural (b) soils

土壤中锁定 P 的目的。PAM 在溶液状态，能够通过凝聚作用和离子交换的反应形式，转变土壤溶液中的 P 形态，达到固 P 的目的<sup>[18]</sup>。相对以上 3 种土壤改良剂而言，PCNB 效果不明显的原因可能在于，其本身为一种土壤杀毒剂，水溶性差，不具有与 P 结合的基团和化学反应位点，不能改变土壤的物理化学结构，并在铲除土壤病原菌的同时，改变了土壤的微生物组成及解磷菌的生物活性，从而影响了土壤 P 元素的形态变化。

## 2.2 土壤改良剂对土样解吸过滤液可溶性总磷的变化影响

### 2.2.1 不同解吸时间对土样过滤液 TDP 的影响变化

同图 1，由于采集的土壤样品为原状土壤，造成了试验 TDP 的初始浓度差异也比较大，但从处理效率而言，CK 和各处理之间仍具有可比性。图 3 显示了连续解吸 2~10 h 的情况下，CK 和 4 种不同土壤添加材料对坡耕地土和设施农业土过滤液中 TDP 的含量动态变化。在不同时间段的连续解吸，土壤改良剂对土壤过滤液 TDP 的影响总体趋势同 TP，也是先降低后缓慢升高至稳定，动态变化曲线呈“L”型，而 CK 呈“S”型。其中，FES 与其他 3 种材料相比，6 h 后始终处于最低点，尤其对设施农业土壤的控 P 效果明显。

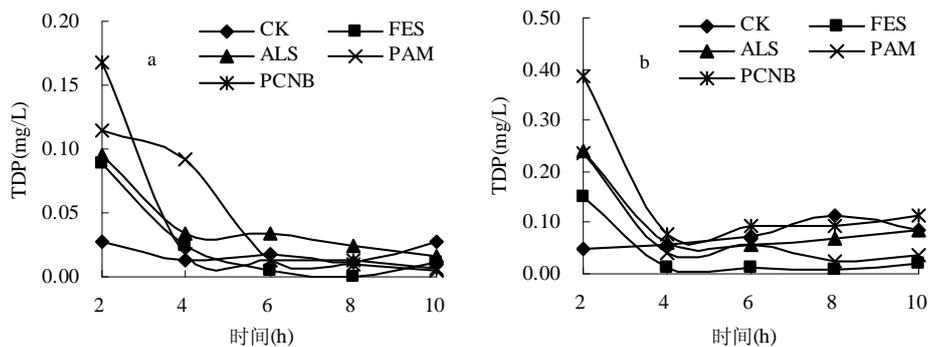


图 3 坡耕地土壤 (a) 和设施农业土壤 (b) 中过滤液 TDP 含量的变化

Fig. 3 Changes in TDP contents in leaching solutions of sloping farmland (a) and facilities agricultural (b) soils

在不同的连续解吸时间内，各种添加材料对过滤液 TDP 的影响也会呈现不同幅度的变化。当解吸时间段为 2 h 时，4 种材料对两种土样 TDP 均无改良效果，而 4 h 后，除 PCNB 外，其他 3 种改良剂对设施农业土过滤液中的 TDP 浓度均低于 CK，6 h 后，PAM 和 FES 开始对坡耕地土壤表现出改良效果，8~10 h 后，CK

和处理样的过滤液中 TDP 值均呈现缓慢升高的趋势，说明随着时间的延长，改良剂的改良效果会逐渐减弱。

结合图 1、3，总体看 4 种材料对两种类型的土壤过滤液 TDP 的影响同 TP 的影响变化，在连续解吸的情况下，改良剂对坡耕地土壤比对设施农业土壤的控 P 效果稳定。

### 2.2.2 不同解吸类型对土样过滤液 TDP 的影响变化 在添加水量相等的不同解吸类型下，即 6 h 连续

解吸 (CD) 和 2 h 强度解吸 (SD)，两种土样过滤液的 TDP 变化见图 4。

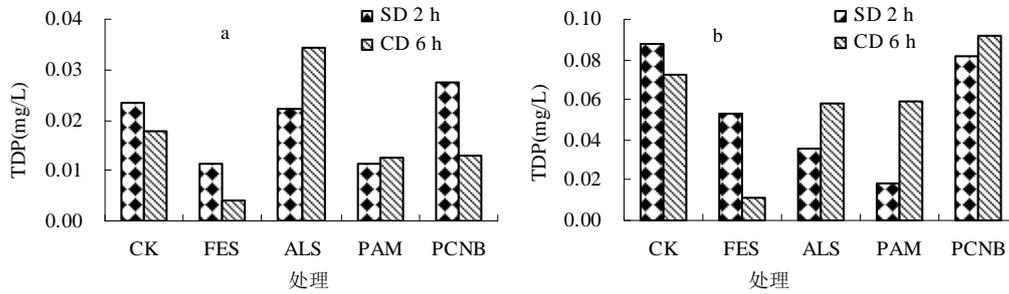


图 4 不同解吸类型对坡耕地土壤 (a) 和设施农业土壤 (b) 过滤液中 TDP 浓度的影响

Fig. 4 Effects of desorption types on TDP contents in leaching solutions of sloping farmland (a) and facilities agricultural (b) soils

图 4 显示，对坡耕地土而言，在添加水量相等的情况下，FES 和 PCNB 对连续解吸引起的 TDP 变化显著，FES>PCNB，而 ALS 和 PAM 对强度解吸引起的 TDP 变化影响较大，PAM>ALS，但是 ALS 却引起连续解吸过滤液中 TDP 值升高，PCNB 也引起强度解吸过滤液中的 TDP 值升高，说明 FES 和 PAM 对两种解吸类型引起的 TDP 减小均有显著作用，而 ALS 和 PCNB 的改良效果对解吸类型引起的 TDP 变化则具有选择性。

和 PAM 在不同的解吸类型下，对两种类型的土壤过滤液 TDP 浓度变化影响一致。

对设施农业土来说，FES 对连续解吸引起的 TDP 浓度变化显著，而 ALS 和 PAM 则对强度解吸引起的 TDP 浓度变化影响大，PAM>ALS，PCNB 虽对强度解吸 TDP 值有较小的减弱作用，却相反引起了连续解吸的 TDP 浓度升高。说明除 PCNB 之外，FES，ALS

从改良剂对两种类型土样过滤液 TDP 浓度的综合影响变化看，在 6 h 连续解吸的情况下，FES、ALS、PAM 和 PCNB 4 种材料和 CK 相比，其变化幅度分别为：降低 83.2%，升高 2.7%，降低 20.6%，升高 17.2%，FES 具有较好的改良效果。在 2 h 强度解吸情况下，4 种材料的变化幅度为：FES 降低 42.0%，ALS 降低 48.1%，PAM 降低 73.6%，PCNB 降低 2.1%，PAM 具有较好的改良效果。

### 2.3 田间试验

在降雨强度大于 10 mm/d 的情况下，于改良剂施入大田后的第 15 天和第 25 天分别采集了径流雨水，CK 和处理的 TP 和 TDP 值见图 5。

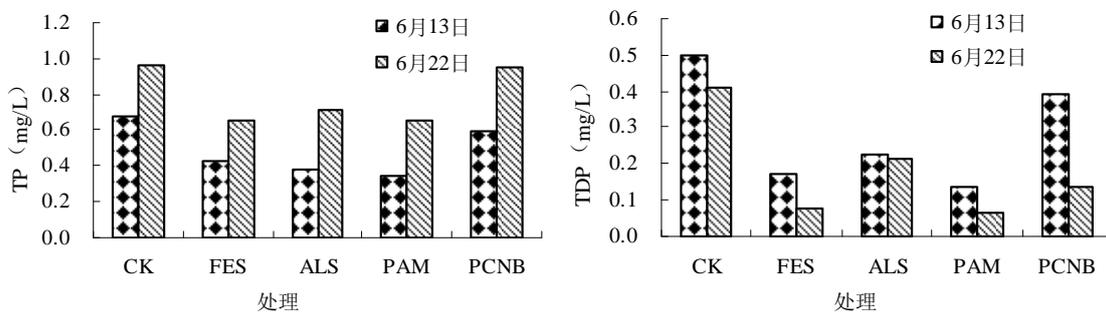


图 5 野外试验中施用土壤改良剂对径流雨水中 TP 和 TDP 流失的影响

Fig. 5 Effects of soil ameliorants on TP and TDP losses in runoff in field experiments

从室内模拟试验结果得知，TP 与 TDP 变化趋势基本相似，而图 5 则表示，第二次径流雨水中 TP 值高于第一次（原因主要是两次降雨量的不同，导致径流

雨水中含 P 量的不同），而 TDP 值的变化与 TP 相反，两者变化趋势与室内模拟试验不一致。其原因可能是，因为总 P 由可溶性总 P 和总颗粒态 P 组成，室内模拟

试验采用的是蒸馏水, 不含任何杂质, 而田间试验可能是由于第二次降水中携带的总颗粒态 P 远远高于第一次, 因此, 室内模拟试验两者变化趋势一致, 而田间两次径流雨水中 TP 和 TDP 浓度变化趋势不一致。

从图 5 看出, 无论从取样时间还是测定指标来看, 经过施用土壤改良剂后, TP 和 TDP 两者浓度变化与 CK 相比较, 经处理后的径流雨水中 TP 和 TDP 值两次取样均低于 CK, 分别得到不同程度的降低。其中, FES、ALS 和 PAM 均有较好的效果, 而 PCNB 对 TP 几乎无效果, 对 TDP 效果也较小。

结合模拟试验数据可以看出, 向土壤中添加 PCNB 杀菌剂等农药, 对土壤没有较明显的改良效果, 依据不同的土壤性质, 甚至有时会严重影响到土壤的微生物多样性组成, 并持久残留于土壤中, 造成土壤污染。而 FES、ALS 和 PAM 通过改变土壤体积质量、孔隙度、酸碱度或者发生离子配位体交换等反应来达到改良土壤的目的。当土壤 pH 值降低时, 有利于无效 P 转变为速效 P<sup>[10]</sup>, 同时, 在同等 P 肥施用强度下, 施用一定量的改良剂, 相当于间接增加了 P 肥量, 随之的就是土壤有效 P 含量的升高<sup>[19]</sup>, 这将明显提高植物对 P 元素的吸收, 达到控制土壤多余 P 养分流失, 减少农业面源污染的风险。

### 3 结论

在长时间连续解吸情况下, 从不同土壤改良剂对坡耕地和设施农业土壤中 TP 和 TDP 的综合影响看, CK 的动态变化趋势呈“S”型, 施加 FES, ALS 和 PAM 3 种土壤改良剂后, 呈现“L”型, 说明经过改良处理后, 土壤的 P 素流失得到了明显的控制。

从不同的连续解吸时间看, 在较短时间 (4 h) 的连续解吸下, FES 具有良好的改良效果, 在较长时间 (6 h 以后) 的连续解吸下, PAM 则具有较好的改良效果。从不同的土壤类型看, 在较长时间 (6 ~ 8 h) 的连续解吸下, FES 对坡耕地土的改良效果显著, 而 PAM 对设施农业土的改良效果显著。从不同强度的解吸类型看, 在水量相等的情况下, 强度解吸 (2 h) 引起的土壤 P 素流失比连续解吸 (6 h) 引起的 P 素流失严重, FES 对 6 h 连续解吸引起的 P 素流失改良效果显著, PAM 对 2 h 强度解吸引起的 P 素流失改良效果显著。

田间试验的数据也清楚地表明, 施加 FES, ALS 和 PAM 3 种土壤改良剂, 经雨水冲刷后, 土壤 P 素的排放量明显减少, 可以有效地达到土壤控 P 流失效果。

虽然 ALS 与 FES 具有相似的改良效果, 但没有 FES 明显; 室内和野外试验都证明了 PCNB 不具有改良效果, 反而在一定程度上会增加土壤的 P 素流失。

因此, FES 和 PAM 具有很好的应用价值, 在土壤改良方面明显减少了土壤 P 素的流失, 并且建议农田减少杀菌剂等农药的施用量, 可以使得农业面源污染得到一定的控制, 从而降低受纳水体遭受污染的风险。

### 参考文献:

- [1] Bennion H, Appleby P, Boyle J, Carvalho L, Luckes S, Henderson A. Water Quality Investigation of Loweswater, Cumbria. Final Report to the Environment Agency. London, UK: University College London, 2000: 2-4
- [2] Tafangenyasha C, Dube LT. An investigation of the impacts of agricultural runoff on the water quality and aquatic organisms in a Lowveld Sand River system in Southeast Zimbabwe. *Water Resources Management*, 2008, 22(1): 119-130
- [3] Yuan JZ. The effect of non-point source facilities agricultural pollution on water body and its control. *Inner Mongolia Facilities Agricultural Science and Technology*, 2009(1): 29-31
- [4] 唐克旺, 王研. 我国城市供水水源地水质状况分析. *水资源保护*, 2001(2): 30-31
- [5] Norse D. Non-point pollution from crop production: Global, regional and national issues. *Pedosphere*, 2005, 15(4): 499-508
- [6] Li DC, Hong JP, Bo JF, Jun Q, Shu RZ. Seasonal variation of nitrogen-concentration in the surface water and its relationship with land use in a catchment of northern China. *Journal of Environmental Sciences*, 2005, 17(2): 224-231
- [7] Wu YH, Hu ZY, Yang LZ. Integrated technology to control non-point pollution in resident-farmland area of Dianchi Lake watershed. *Ecological Science*, 2008, 27(5): 346-351
- [8] 朱兆良, David N, 孙波. 中国农业面源污染控制对策. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 13-18
- [9] 陈庆锋, 单保庆, 胡承孝. 土壤改良材料在非点源污染控制中的应用初探. *环境科学与技术*, 2007(1): 1-5
- [10] 赵岩, 林彦芝, 张秀双, 魏晓敏, 付立冬, 雷云翔. 滨海苏打盐渍型水稻土改良剂应用研究. *垦殖与稻作*, 2006(1): 51-53
- [11] 陈世宝, 朱永官, 陈保冬. 土壤改良剂对油菜富集 <sup>238</sup>U、<sup>266</sup>Ra 及 <sup>232</sup>Th 的影响. *环境污染治理技术与设备*, 2006, 7(11): 141-145
- [12] 赵兰坡, 王宁, 马晶, 李春林, 郑瑞抑, 韩兴. 吉林省西部苏打盐碱土改良研究. *土壤通报*, 2001, 32(S0): 91-96

- [13] 员学锋, 吴普特, 冯浩. 聚丙烯酰胺 (PAM) 在土壤改良中的应用进展. 水土保持研究, 2002, 9(2): 141-145
- [14] 樊宏娜, 袁星, 贾会娟, 王虹扬. 五氯硝基苯对蔬菜大棚土壤酶活性的影响. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 208-210
- [15] 李月芬, 杨有德, 赵兰坡. 不同硫酸铝用量对苏打盐碱土磷素形态及吸附特性的影响. 土壤通报, 2008, 39(5): 1120-1125
- [16] 杨雪芹, 胡田田, 王旭东, 王芳. 聚丙烯酰胺对磷素在土壤中吸附-解吸的影响. 水土保持学报, 2006, 20(1): 87-90
- [17] 王心芳, 魏复盛, 齐文启. 水和废水监测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 243-249
- [18] 李学坦. 土壤化学. 北京: 高等教育出版社, 2001: 167
- [19] 李月芬, 杨有德, 赵兰坡. 硫酸铝改良剂对苏打盐碱土磷素形态的影响. 水土保持学报, 2006, 20(4): 44-49

## Effects of Soil Ameliorants on Phosphorus Loss

Ji Hong-li<sup>1,2</sup>, YAN Rong<sup>1,2</sup>, LI Yun-dong<sup>2</sup>, FANG Yan-ming<sup>1</sup>, YANG Lin-zhang<sup>2</sup>, WU Yong-hong<sup>2</sup>

(1 College of Forestry Resource and Environment, Nanjing Forest University, Nanjing 210037, China;

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

**Abstract:** In this paper, under the conditions of different desorption times and types, the leaching kinetics of total phosphorus (TP) and soluble total phosphorus (TDP) in facilities agricultural and sloping farmland soils in Dianchi Lake Basin were studied by adding soil ameliorants including ferrous sulfate (FES), aluminum sulfate (ALS), polyacryl amide (PAM), and soil disinfectant (penta chloro nitro benzene (PCNB)). The results showed that TP content in the leaching of these two typical soils treated by FES, ALS and PAM rather than PCNB, was significantly reduced in the continuous desorption (2-10 h) cases and two kinds of desorption types (2h strength desorption and 6h continuous desorption) ( $p < 0.05$ ). The decreased TP content in the leaching increased with the increasing desorption time. Additionally, FES and PAM could significantly affect TDP leaching of facilities agricultural soils under continuous desorption and lower TDP leaching of two soil types under two desorption types. Field test showed that TP and TDP concentrations in runoff from the soils treated by FES, ALS and PAM were significantly decreased after adding soil ameliorants. This further suggested that the uses of FES, ALS and PAM have the positive effect on controlling phosphorus loss from soils. Considering the total effects of control phosphorus loss in terms of desorption time, desorption type and soil type, it is concluded that the uses of FES and PAM are more suitable in Dianchi Lake Basin.

**Key words:** Soil amender, Facilities agricultural soil, Sloping farmland soil, Phosphorus loss