

淹水落干对巢湖圩堤消落区土壤营养成分的影响

匡武¹, 吴添天², 张彦辉¹, 严云志², 芮明²

(1. 安徽省环境科学研究院, 安徽省污水处理技术研究重点实验室, 安徽合肥 230022; 2. 安徽师范大学生命科学学院, 安徽芜湖 241000)

摘要 通过多次采样, 分析巢湖西北部圩堤消落区土壤中有机质及氮磷在自然区域和人工修复区域的含量特征, 研究巢湖西北部不同区域消落区土壤中有机质及氮磷的分布规律, 探索人工修复措施对消落区生态环境改善的效果。结果表明: 淹水落干过程有利于消落区土壤有机质的积累和对氮素的吸附, 同时增强消落区土壤中有机质、全氮、有机磷的空间异质性, 并且减小消落区内不同样点之间土壤全磷含量差异。在自然区域中, 氮素较高的农业耕作区土壤在淹水条件下会向上覆水释氮, 无植被覆盖的天然崩岸区土壤磷素会富集, 在下次淹水时可能会向上覆水释磷; 在人工修复区域, 挺水植物能够有效拦截由于湖水冲刷引起的消落区土壤有机质流失, 并且改善消落区底质。此外, 不同人工修复区域的多种类型植被增强了消落区空间异质性, 有利于保护消落区的生物多样性, 并且提高环湖景观的观赏性。

关键词 淹水落干; 巢湖消落区; 有机质; 氮; 磷

中图分类号 S15; X53 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)11-070-04

Effect of Flooding and Air-drying on Nutrition Content of Soil in WLFZ of Lake Chaohu

KUANG Wu¹, WU Tian-tian², ZHANG Yan-hui¹ et al (1. Provincial Key Lab of Research on Wastewater Treatment Technology, Anhui Research Academy for Environmental Science, Hefei, Anhui 230022; 2. College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000)

Abstract Organic matter(OM), total nitrogen(TN), ognic phosphorous(OP) and total phosphorous(TP) content of soil in northwest WLFZ of Lake Chaohu under natural and different artificial conditions were analyzed to study the variation of OM, TN, OP and TP. It showed: Flooding and air-drying help to increase soil OM content in study area. Process of flooding and air-drying is conducive to soil adsorption of nitrogen and it can enhance spatial heterogeneity of soil OM, TN, OP, process of flooding and air-drying also can reduce the difference of TP contents among different points. Riprap embankment is not conducive to maintaining soil organic matter under flooded conditions, emergent plants are conducive to maintaining soil organic matter under flooded conditions. Soil with high nitrogen content will release nitrogen to overlying water under flooded conditions. Under drying after flooding conditions, demand for phosphorus of vegetation growth will reduce TP content in soil, bare area will enrich phosphorus, when the next flood cover up a greater release of phosphorus will happen.

Key words Flooding and air-drying; WLFZ; Organic matter; Nitrogen; Phosphorous

消落区作为湖泊水体的最后一道生态屏障, 对湖泊水质安全起着重要的作用。Svensson 等^[1-2] 早已研究表明, 湿地土壤中的磷会向上覆水中释放, 而土壤氮素流失的多少取决于土壤的抗侵蚀能力^[3]。由于消落区土壤在生态系统中的重要性, 近年来也受到越来越多的关注。在国内, 对消落区的研究多以三峡库区消落区为研究对象。程瑞梅等^[4] 对三峡库区消落区土壤的理化性质进行了调查研究, 结果表明季节性水淹导致土壤结构被破坏, 土壤质量逐渐变差。詹艳慧等^[5] 研究了淹水-落干对三峡消落区土壤氮素和磷素等温吸附、解吸特性的影响, 结果表明吸附一定量氨氮、磷的消落区土壤再淹后水中磷、氨氮均会再次逐渐释放到上覆水中, 且土壤吸附外源氮磷越多, 淹水释放强度越大。消落区作为水陆结合带, 与水体的关系必然十分紧密。在降雨过程中, 消落区丰富的植被可减少雨水在地表的流失和对表土的冲刷, 从而减少对水体的污染^[6]。经历水位涨、落后, 消落区土壤的物理性状态会发生很大改变, 消落区土壤养分含量总体呈下降趋势, 植物种类数量可能会急剧减少^[7]。为保护水体的健康, 对相应消落区环境的改善尤为必要。范小华等^[8] 提出利用生物缓冲带、复合生态、坡地农业、流域生态学、人工

湿地及生态河堤等技术对消落区生态环境进行保护与调控的措施。巢湖作为受污染严重的“三湖”之一, 其治理状况一直受到地区乃至全国的关注。为全面、切实、有效地开展治理巢湖的工作, 进行巢湖圩堤消落区的植被恢复及生态系统重建, 发挥消落区植被在防治水土流失和土地退化^[9]、提高土壤肥力、降低水体污染等方面的重要作用, 就显得十分必要^[10]。有研究表明, 巢湖流域的土地利用方式与地表径流中营养盐的输入之间存在明显的对应关系^[11]。在不同的土地利用类型下, 水相中磷素迁移通量(指随地表径流迁移的单位面积磷素流失量)也存在显著差异^[12]。通过分析巢湖西北部圩堤消落区土壤中有机质及氮磷在不同自然区域与人工修复区域的含量特征, 笔者研究了淹水前后各种条件下消落区土壤中有机质及氮磷的变化规律, 力图为巢湖圩堤消落区重建与生态功能恢复提供可靠的数据支撑和科学支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况 研究区域位于巢湖西北部圩堤。土壤类型以黄褐土与水稻土为主, 土壤母质以黄土母质与流水冲积、沉积母质为主。气候属暖温带过渡性的副热带季风气候区温和湿润, 年平均温度 15~16℃; 流域内降水量年际变化较大, 多年平均降水量为 1 100 mm, 夏季 6~8 月占年降水量的 39%; 流域主导风向, 夏季为东南风, 冬季为东北风; 多年平均湿度 77%, 最大湿度 81%。

1.2 样点设置与样品采集、分析 样点设置充分考虑巢湖目前的水位波动情况。2008 年巢湖最低水位 8.30 m, 最高

基金项目 国家“水体污染控制与治理”科技重大专项项目(2011ZX07103-004; 2012ZX07103-003-03)课题资助。

作者简介 匡武(1972-), 男, 安徽六安人, 高级工程师, 硕士, 从事环境科学方面的研究。

收稿日期 2015-03-10

水位 9.53 m。根据气象资料,合肥市降雨多集中在 5~8 月;5~12 月水位较低,消落区大部分露出;8 月由于大量雨水的缘故,水位升高,消落区被淹没;12 月消落区已落干。因此,选择 5、8 和 12 月在巢湖西北部圩堤消落区进行土壤调查,并且采集样品。

1.2.1 样点设置。研究采样位置位于巢湖西北部消落区。样点分布及基本信息见图 1、表 1。土壤样点按照自然条件与人工修复区域布置。

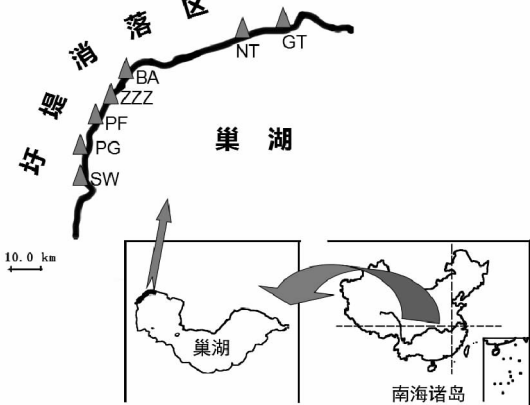


图 1 样点分布

①自然区域。天然崩岸区(BA),是巢湖西北岸天然形成的崩岸的一段,在该研究前还没有采取人工修复措施;农田挺水植被区(NT),湖向带以芦苇为主,陆向带为大片农田,主要种植有油菜、花生、棉花、红薯等多种经济作物。

②人工修复区域。根据不同的修复方案,人工修复区域包括灌草挺水植被区(GT)、自组织湿地恢复区(ZZZ)、抛石防护林区(PF)、抛石灌草区(PG)。消落区上方超过巢湖水

位上限处作为对照组,同步取样为参照。

1.2.2 样品采集与分析。按照《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166)的有关规定进行采样。在陆地部分,使用工兵铲挖掘 0~10 cm 土壤;在消落区被水淹后,使用彼得逊采泥器采集土壤。

①土壤预处理。在土样风干后,剔除石块、根系、动植物残体等明显杂物后倒入陶瓷研钵中研细,过 100 目筛,充分混匀后放入聚乙烯自封袋内,待测。

②分析方法。将干燥样品于 550 ℃灼烧 3 h,计算失重,得有机质含量^[13-14];全磷采用碱融-钼锑抗比色法测定^[15];全氮采用半微量凯氏法测定^[15];磷分级方法为 Goltman 改进法^[16]。数据分析应用 SPSS 21.0 和 Excel 2003、Origin 8.0 完成。

2 结果与分析

2.1 消落区土壤有机质及氮磷空间分布特征 由表 2 可知,研究区域消落区和对照组土壤有机质含量均值分别为(41.54±18.87)和(36.86±18.44) g/kg,分布范围分别在 10.34~93.83 和 6.64~89.72 g/kg 之间。正态检验结果表明,消落区及对照组土样中的有机质含量均服从正态分布,消落区土壤有机质均值在置信度 0.95 下的置信区间为(32.52,41.19),对照组土壤有机质均值在置信度 0.95 下的置信区间为(37.60,45.72),消落区土壤样品有机质含量的变异系数(50.0%)比其上方土壤样品(45.4%)大。这说明消落区土壤有机质含量离散程度较高,淹水落干的过程对土壤有机质含量的影响形式较复杂。这与各个样点的自然环境、受到污染的方式种类等因素有关。总体上,消落区土壤有机质均值大于未淹水土壤中有有机质均值,表明干湿交替(淹水落干)使得消落区土壤中有有机质含量增加。

表 1 样点信息

样点	经纬度	样点地理位置	土地覆盖概况	
			对照组	消落区
灌草挺水植被区(GT)	N 31°42'58.80",E 117°22'30.79"	李荣村附近	灌草地	芦苇地
农田挺水植被区(NT)	N 31°43'7.32",E 117°22'2.28"	麦小郢以南	农田,伴有杂草	芦苇地
天然崩岸区(BA)	N 31°41'55.14",E 117°18'25.28"	卫王村东北方向	杂草地,接近生活区	裸地
自组织恢复区(ZZZ)	N 31°41'50.18",E 117°18'21.73"	巢湖“水专项试验基地”附近	灌草地,以香根草为主	芦苇地,伴有水花生、扛板归等植物生长
抛石防护林区(PF)	N 31°41'32.73",E 117°18'4.81"	万达城“中国鼓”以南	林区,伴有大量灌草	抛石
抛石灌草区(PG)	N 31°41'6.22",E 117°17'48.53"	水街桥以东	灌草地	抛石,芦苇地
水网开发区(SW)	N 31°40'18.96",E 117°17'29.07"	水街桥以西派河口以东	灌草地,偶有乔木,多沟塘	苔草地,芦苇地

表 2 研究区域有机质及氮磷含量的统计分析

项目	采样区域	变化范围	均值	标准差	变异系数//%	偏度	峰度
有机质	消落区(N=72)	6.64~89.72	36.86	18.44	50.0	0.465	-0.641
	对照组(N=87)	10.34~93.83	41.54	18.87	45.4	0.339	-0.554
全氮	消落区(N=72)	84.76~2 130.04	420.05	323.54	77.0	3.650	15.964
	对照组(N=87)	78.31~1 360.04	417.99	232.42	55.6	1.762	4.858
有机磷	消落区(N=72)	16.28~757.09	114.62	137.35	119.8	2.976	9.348
	对照组(N=87)	17.35~544.06	99.67	99.56	99.9	2.757	7.973
全磷	消落区(N=72)	83.13~1 144.11	330.38	223.69	67.7	1.573	2.676
	对照组(N=87)	49.85~1 068.97	288.42	201.90	70.0	1.820	3.179

注:有机质的变化范围、均值和标准差的单位均为 g/kg;全氮、有机磷和全磷指标的单位均为 mg/kg;偏度和峰度没有单位。

研究区域消落区和对照组土壤全氮含量均值分别为 (420.05 ± 323.54) 和 (417.99 ± 232.42) mg/kg, 分布范围分别在 $84.76 \sim 2\,130.04$ 和 $78.31 \sim 1\,360.04$ mg/kg 之间。经过 $k-s$ 检验, 对照组土壤中全氮含量服从正态分布, 其均值在置信度 0.95 下的置信区间为 $(368.46, 467.53)$, 消落区土壤中全氮含量不服从正态分布。消落区土壤样品全氮含量的变异系数 (77.0%) 明显比对照组土壤样品 (55.6%) 大, 两者都大于有机质的变异系数。可见, 全氮在研究区域内的分布相对有机质更不均衡, 其中消落区土壤表现更明显。这说明长期反复落干-淹水-落干的过程对土壤中全氮含量的影响较显著; 落干-淹水-落干的过程使得消落区不同样点土壤中全氮含量差异增大, 空间异质性得到增强。

研究区域消落区和对照组土壤有机磷含量均值分别为 (114.62 ± 137.35) 和 (99.67 ± 99.56) mg/kg, 分布范围分别在 $16.28 \sim 757.09$ 和 $17.35 \sim 544.06$ mg/kg 之间。消落区和对照组土壤全磷含量均值分别为 (330.38 ± 223.69) 和 (288.42 ± 201.90) mg/kg, 分布范围分别在 $(83.13 \sim 1\,144.11)$ 和 $(49.85 \sim 1\,068.97)$ mg/kg 之间。通过 $k-s$ 正态性检验, 发现消落区土壤中的全磷含量服从正态分布, 而消落区土壤中的有机磷和对照组土壤中的有机磷、全磷含量都不服从正态分布。消落区土壤全磷均值在置信度 0.95 下的置信区间为 $(277.82, 382.95)$ 。消落区土壤中有机磷含量的变异系数为 119.8%, 属于强变异程度; 对照组土壤中有机磷含量为 99.9%, 属于中等变异强度, 已较接近强变异程度。这说明有机磷在研究区域内的分布相当不均衡。这与研究区域受湖水涨落、植被覆盖、人为干扰等因素密切相关, 消落区土壤有机磷的分布尤为如此。消落区土壤中全磷含量的变异系数 (67.7%) 小于对照组土壤中全磷含量变异系数 (70.0%), 说明消落区由于湖水涨落引起的干湿交替可减小不同采样点之间土壤全磷含量差异。

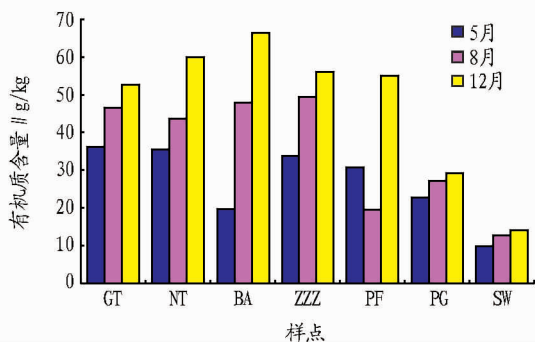


图2 淹水前后消落区土壤有机质含量变化

2.2 淹水前后消落区土壤有机质含量变化 由图2可知, 在夏季水位上涨后, 抛石防护林区的抛石堤岸易于受到湖水的拍打冲击, 使得该处局部水体运动剧烈, 有机质随表层土壤被上覆水冲刷携带入湖, 使得8月淹水期间的有机质含量较5月有所降低。丰富的有机质可以促进土壤结构形成, 改善土壤物理性质, 可见与抛石堤岸相比, 以挺水植物作为消落区水陆“屏障”更有利于消落区的水土保持和有机质的积累, 从而改善消落区底质。在淹水条件下天然崩岸区土壤有

机质增加比其他样点明显, 该样点附近有居民居住和施工工地, 由此可推测该样点夏季有机质含量的明显增加与周边区域产生的生产、生活污染有关。可见, 人为因素是土壤有机质含量增加的一个重要因素。

淹水落干后土壤有机质含量比淹水前都有所增加。在研究期间, 各个样点的土壤有机质基本都处于积累状态。这说明淹水落干的过程有利于消落区土壤有机质含量的增加, 增幅为 27.7% ~ 236.0%。

2.3 淹水前后消落区土壤全氮含量变化 由图3可知, 除农田挺水植被区外, 淹水条件下土壤全氮含量比之前未淹水条件下的有所增加。分析认为, 巢湖水体夏季富营养化状况严重, 在淹水状态下上覆水中的氮必然会影响被淹没的土壤氮含量; 另一方面, 该次研究区域都或多或少受到人为干扰, 所以全氮含量受到人为因素和自然因素的双重影响, 夏季暴雨频繁, 大量的硝态氮、亚硝态氮、氨及铵根离子会随着暴雨径流迁移到消落区的上覆水中。在农田挺水植被区中, 淹水条件下全氮含量显著减小。该样点附近为大片农田, 故该处受农业耕作的影响尤为严重。土壤吸附的氨氮越多, 淹水释放总氮亦越多^[5]。在淹水条件下, 该样点土壤中的全氮含量显著减小, 土壤向上覆水中释放大量的氮, 增大巢湖水体富营养化的风险。

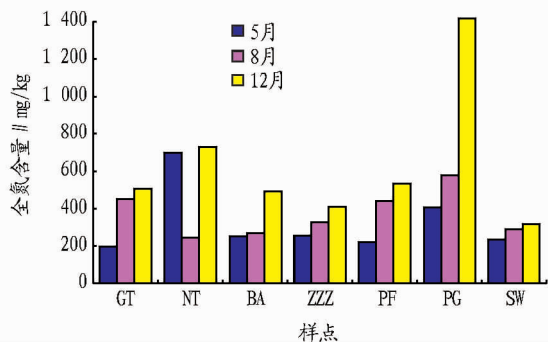


图3 淹水前后消落区土壤全氮含量变化

淹水后落干的土壤中全氮含量比淹水前高。经淹水-落干对氨氮的吸附能力得到增强^[5]; 另一方面, 陆生植物已死或凋落的生物残体在土壤中经微生物分解会有氮的产生, 从而增加土壤中全氮含量。

2.4 淹水前后消落区土壤有机磷含量变化 由图4可知, 消落区在淹水条件下的有机磷含量比之前未淹水条件下的有所增加。有研究表明, 有机磷在整个淹水期先降低后升高, 有机磷淹水前期以溶解为主, 后期以闭蓄为主, 淹水初期闭蓄态磷释放, 而淹水后期有机磷增加可能是一部分铁磷转化的结果^[17]。

除天然崩岸区外, 落干后土壤中有机磷含量比淹水状态下有所减少。消落区研究区域内除天然崩岸以外的样点, 均有大量自然生长或人工种植的芦苇及其他挺水植物。相关研究表明, 有机磷含量降低主要是由于芦苇根际间有大量微生物, 落干后良好的通气状况能促进微生物的活性, 大量微生物分解有机质的活动使有机磷矿化, 从而使得土壤中有机磷含量减少^[18]。天然崩岸区无挺水植物生长, 微生物对有机

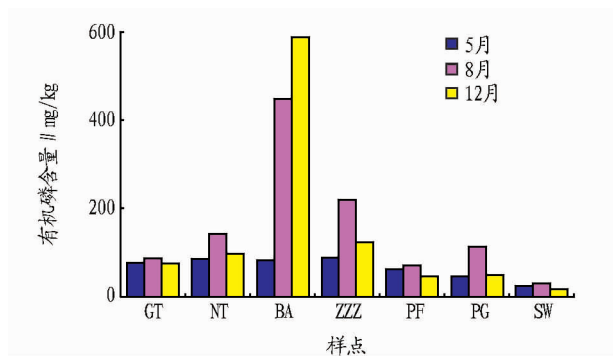


图4 淹水前后消落区土壤有机磷含量变化

磷的矿化作用较小,故随着土壤有机质的积累,有机磷含量也有所增加。

2.5 淹水前后消落区土壤全磷含量变化 由图5可知,淹水期间消落区内各样点土壤全磷含量比之前落干状态下均有所增加。夏季暴雨频繁,消落区上方表层土壤中的磷素随暴雨冲刷作用流入消落区。由于消落区土壤对磷的吸附作用,土壤中全磷含量有所增加。在淹水后落干的条件下,除天然崩岸区外,其他样点的土壤全磷含量都有所降低。这是由于消落区中植被生长对磷的需求使得土壤中全磷含量降低,而天然崩岸区没有人工种植的植被,土表为裸露状态,故外来的磷素只能富集在土壤中,当土壤中磷素积累到一定程度后,等到下一次淹水,土壤就有可能会上覆水释磷。

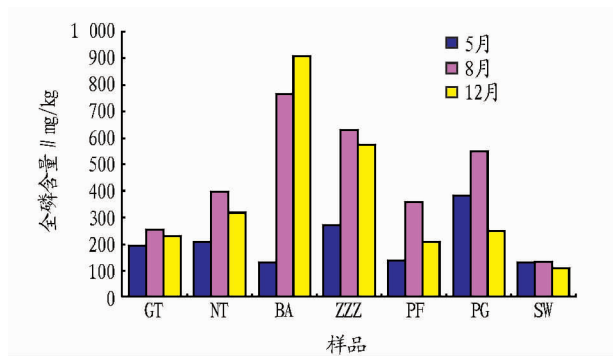


图5 淹水前后消落区土壤全磷含量变化

3 结论

(1) 研究区域消落区土壤有机质均值为(41.54 ± 18.87) g/kg,含量在10.34 ~ 93.83 g/kg之间;全氮含量均值为(420.05 ± 323.54) mg/kg,含量在84.76 ~ 2 130.04 mg/kg之间;有机磷含量均值为(114.62 ± 137.35) mg/kg,含量在16.28 ~ 757.09 mg/kg之间;全磷含量均值为(330.38 ± 223.69) mg/kg,含量在83.13 ~ 1 144.11 mg/kg之间。

(2) 总体来看,人类活动以及淹水落干过程有利于消落区土壤有机质含量的增加。淹水落干过程有利于土壤对氮素的吸附,使得土壤中全氮含量增加。

(3) 淹水落干过程能够增强消落区土壤中有机质、全氮、

有机磷的空间异质性,其中消落带土壤中有机磷含量的变异系数为119.8%,属于强变异程度。淹水落干过程可以减小消落区内不同样点之间土壤全磷含量差异。

(4) 在淹水期间,风浪使得湖水剧烈波动,从而冲刷消落区土壤,并且携带有机质进入湖体。挺水植物能够保护土壤,从而减少有机质的流失。此外,不同人工修复区域的不同类型植被客观上增强了消落区的空间异质性,有利于保护消落区的生物多样性,同时可形成优美的湖滨带景观。

(5) 在农业过程中,氮肥施用对消落区土壤中氮的增加影响显著。在淹水条件下,消落区土壤会向上覆水中释氮。

(6) 在淹水后落干的条件下,植被摄磷使得土壤中全磷含量降低,无植被覆盖的土地磷素会富集,在下次淹水时有可能会上覆水释磷。

参考文献

- [1] SVENSSON B H,ROSSWALL T. In site methane production from arid peat inplant communities with different moisture regime in subarctic mire[J]. Okios,1984,43:341-350.
- [2] ALDOUS A R, CRAFT C B, STEVENS C J, et al. Soil phosphorus release from a restoration wetland, Upper Klamath Lake, Oregon[J]. Wetlands, 2007, 27(4):1025-1035.
- [3] 张兴昌,邵明安. 坡地土壤氮素与降雨、径流的相互作用机理及模型[J]. 地理科学进展,2000,19(2):128-134.
- [4] 程瑞梅,王晓荣,肖文发,等. 三峡库区消落带水淹初期土壤物理性质及金属含量初探[J]. 水土保持学报,2009,23(5):156-161.
- [5] 詹艳慧,王里奥,焦艳静. 三峡库区消落带土壤氮素吸附释放规律[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2006,29(8):10-13.
- [6] 俞跃,宋玉梅,唐文浩. 模拟降雨条件下万泉河流域农田养分流失特征及面源污染源强研究[J]. 安徽农业科学,2010,38(17):9158-9160.
- [7] 康义,郭泉水,程瑞梅,等. 三峡库区消落带土壤物理性质变化[J]. 林业科学,2010,46(6):1-5.
- [8] 范小华,谢德体,魏朝富. 三峡水库消落区生态环境保护与调控对策研究[J]. 长江流域资源与环境,2006(4):495-501.
- [9] MUKHOPADHYAY S,JOY V C. Influence of leaf litter types on microbial functions and nutrient status of soil:ecological suitability of forest trees for afforestation in tropical laterite wastelands[J]. Soil Biology and Biochemistry,2010,42(12):2306-2315.
- [10] 邓红兵,王青春,王庆礼,等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报,2001,12(6):951-954.
- [11] 王宗志,金菊良,洪天求. 巢湖流域非点源污染物来源的模糊聚类对应分析方法[J]. 土壤学报,2006,43(2):328-331.
- [12] 徐爱兰,王鹏. 太湖流域典型圩区农田磷素随地表径流迁移特征[J]. 农业环境科学学报,2008(3):1106-1111.
- [13] HEIRI O,LOTTER A F,LEMCKE G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments:reproducibility and comparability of results[J]. Journal of Paleolimnology, 2001,25(1):101-110.
- [14] DEAN W E. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition comparison with other methods[J]. Journal of Sedimentary Petrology,1974,44(1):242-248.
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社,2000:147-150,166-168.
- [16] GOLTERMAN H L. Fractionation of sediment phosphate with chelating compounds: a simplification, and comparison with other methods[J]. Hydrobiologia, 1996, 335:87-95.
- [17] 田娟,刘凌,丁海山,等. 淹水土壤土-水界面磷素迁移转化研究[J]. 环境科学,2008,29(7):1818-1823.
- [18] 滑丽萍,华璐,高娟,等. 中国湖泊底泥的重金属污染评价研究[J]. 土壤,2006(4):366-373.