

南方红壤处理滇池水的初步试验

吴春艳^{1,2}, 庄舜尧¹, 杨浩¹, 严红²

(1. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008; 2. 东北农业大学, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 以含磷极低、富含铁铝氧化物、对磷具有较强的吸附和固定能力的南方红壤为材料, 用该土壤对滇池水进行了去磷效果的初步试验。结果表明, 该土壤对水体磷的去除效果较好, 但去除效果与土壤加入量、处理中的振荡时间、振荡强度及水体的理化性质相关。模拟结果表明, 有效处理土壤或选用理想的材料, 可以更好地去除水体磷。

关键词: 红壤; 滇池水; 除磷

中图分类号: X144 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672–2043(2003)06–0669–04

Preliminary Research on Treatment of Water from Lake Dianchi Treated by Red Soil

WU Chun-yan^{1,2}, ZHUANG Shun-yao¹, YANG Hao¹, YAN Hong²

(1. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. North – east Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: As excessive nitrogen and phosphorus may mainly be responsible for eutrophication of Lake Dianchi, it is one of the most effective methods to clean nitrogen and phosphorus from water in order to solve the problem. Red soil is characterized by its low phosphorus and abundance of iron and aluminum oxide. It is likely that the red soil is capable of adsorbing phosphorus in water and possible used as a material to remove phosphorus. Preliminary research on water treatment with red soil was conducted in a laboratory. The results showed that the efficiency of removal rate for phosphorus with red soil was attractive, but it was related closely to the amount of soil used and shake time and frequency. Further simulated results suggested that the ideal treated soil or material be much better to be used to remove phosphorus in water. This method may be regarded as a new approach in controlling eutrophication for lakes.

Keywords: red soil; Dianchi water; clean phosphorus

滇池是中国最大的高原淡水湖泊, 位于云南省昆明市西南部, 流域面积 2 920 km², 平均水深 4.4 m, 水面面积约 300 km², 库容 12.9 亿 m³[1]。滇池具有水资源利用、调节气候、水产养殖、航运、旅游等多方面重要功能^[1, 2], 是维系昆明市城市生态系统平衡的根基^[1]。自 20 世纪 70 年代后, 随着人口增长和经济发展, 用水量剧增, 水资源相对匮乏。与此同时, 产生的大量废污水未经任何处理直接或间接排放进入滇池, 恶化了滇池的水环境, 降低了供水水质, 进一步加剧了缺水矛盾。目前, 滇池的水质均超Ⅳ类, 草海中总氮(TN)为 2.7~22 mg·L⁻¹, 总磷(TP)为 0.2~2.4 mg·L⁻¹, 外海 TN 为 2.7~12 mg·L⁻¹, TP 为 0.2~3.6 mg·L⁻¹, 所有浓度大于发生富营养化时 TN 和

TP 临界浓度的数倍(临界浓度 TN 为 0.2 mg·L⁻¹, TP 为 0.02 mg·L⁻¹)^[3]。来自点源和面源的大量 N、P 和 C 是导致滇池污染的直接原因。同时, 滇池湖盆较浅, 底泥中释放的大量 N 和 P 成了另一重要污染源(又称内源污染)^[3]。水体的富营养化严重威胁着滇池的水质及功能。

为了治理日益恶化的滇池, 已经投入了大量的物力和财力, 但效果一直不理想。目前提出的综合治理方法包括完善排水系统、底泥疏浚、废弃物管理、工业污染控制及农村环境卫生管理等^[4]。具体针对滇池水处理的技术包括微生物净化技术^[5]、投药杀藻技术^[6]、恢复水生植物^[7]、养殖特种鱼类等。就源的控制来说, 更重要的是管理而非技术问题。另一重要的问题是如何治理已经受到污染的水体。对于滇池和其他湖泊来说, 高效、低价、环境友好的治理技术同样极为重要。

已有研究表明, 过量的 C、N、P 是导致水体富营

收稿日期: 2002–12–08

基金项目: 中国科学院开放实验室重点项目“滇池流域水土资源和生态环境的综合调查研究”

作者简介: 吴春艳(1976—), 女, 在读硕士研究生。

E-mail: chywu_l@163.com

养化的主要原因,尤其是 P,往往是淡水湖泊富营养化的主要限制因素。清除过量的 P 是治理水体富营养化的重要途径之一。

南方红壤具有较高的粘粒含量,富含铁铝氧化物,且含 P 量极低,对 P 的吸附能力很强,同时此类红壤在我国有很广的分布^[8],进行技术处理后具有一定的应用前景。本研究的出发点与以往有本质的差异,以前将土壤或同类材料用于废水或污水时,往往是让水经过土壤,达到去污的效果,这类方法适合于小规模污水处理,并有成功的范例^[9],但难以胜任大面积湖水的处理。同时,对于富营养化的湖泊如滇池,一次的换水(如果可能)是不可能达到治理目的的,因为沉积物中大量的磷还会释放。也正因为如此,我们希望能将处理过的土壤或相似材料能直接施入湖泊,一方面能去除水体中的磷,同时能在沉积物表面形成一薄层,以阻挡沉积物中磷的释放,从而达到治理的目的。本文对红壤处理滇池水的去磷效果进行了初步研究,也是我们系列研究的初步工作。

1 材料和方法

滇池水样于 2002 年 10 月自外海(24°56'N, 102°39'E)处采集。供试红壤 2002 年 10 月采自云南省昆明市(25°07'N, 102°39'E),土壤风干后过 20 目筛(含水量为 3.5%),备用。在进行模拟试验前,为表征土壤的吸附容量,首先对土壤磷的等温吸附曲线进行了初步的测定。

模拟试验是在不同土壤加用量和混合情况下,对红壤去除滇池水样中磷的效果进行了初步实验。所有样品经前处理后,采用钼蓝比色法测定水体中可溶性磷的含量。

磷等温吸附曲线的测定:用 pH7.0, 0.02 mol · L⁻¹ KCl 溶液配制含磷量分别为 0、5、10、20、40 和 80 mg · L⁻¹ 的系列溶液。准确称取土壤 2.500 g 6 份,放入 100 mL 塑料离心管中。准确加入上述磷系列溶液各 50.0 mL,使液土比为 20:1,同时加入 3 滴甲苯以抑制微生物的活动。设置 3 次重复,于 25 °C 恒温条件下,每 8 h 振荡一次,每次 30 min,24 h 后取出离心 15 min(3 000 r · min⁻¹),吸取上清液用钼锑抗法测定平衡溶液中的磷浓度。根据溶液平衡前后磷浓度差计算吸附量^[10]。以平衡溶液的磷浓度为横坐标,以土壤吸附量为纵坐标绘制等温吸附曲线,根据实验结果,可以确定 Langmuir 等温吸附曲线方程(1)的参数 k 和 Q_m :

$$\frac{C}{q} = \frac{1}{kQ_m} + \frac{C}{Q_m} \quad (1)$$

式中: q 为土壤吸磷量; C 为溶液中磷的平衡浓度; k 为与吸附能力有关的常数; Q_m 为土壤最大吸磷量^[11]。

2 结果与讨论

2.1 供试红壤性质

供试土壤为二叠纪峨嵋山玄武岩发育的红壤,采自云南昆明,土壤 pH(H₂O)为 4.98,有机质含量 7.02 g · kg⁻¹,总氮 0.47 g · kg⁻¹,总磷 0.27 g · kg⁻¹,速效磷 0.03 mg · kg⁻¹,阳离子交换量 69.19 mmol · kg⁻¹,全铁含量 57.3 g · kg⁻¹,交换性铝含量 2.60 cmol(+) · kg⁻¹, <2 μm 粘粒含量为 42.2%。

土壤磷的吸附容量很大程度决定了其对水体磷的去除效果。通常,可用土壤磷的吸附等温曲线表示土壤对磷的吸附能力。图 1 为 Langmuir 方程拟合的供试土壤对磷的等温吸附曲线。在 Langmuir 等温吸附方程中, k 值表征了土壤对磷的亲合力, k 值越大,表明磷与土壤结合得越牢固。通过吸附方程得到 k 值为 1.39,其最大吸附量可达 312 mg · kg⁻¹,表明供试红壤具有较好的磷吸附性能。

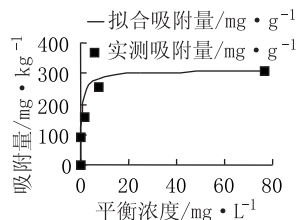


图 1 供试红壤对磷的等温吸附曲线

Figure 1 Adsorption isotherms of phosphorus on red soil

2.2 土壤加入量的影响

在不同的水土比下,水体中磷的含量与土壤加入量间的关系如图 2 所示。从中可知,水体中磷的浓度与土壤加入量有一定的相关性。在水土比小于 400:1 时,溶液中可溶态磷浓度降低较多。当土壤加入量为 0.5 g,溶液中可溶态磷趋于零;随着土壤加入量的增加,水体的含磷量降低趋于缓慢。表明随着土壤用量的增加,土壤对磷的吸附量随之增加,从而降低了溶液中可溶态磷的浓度。而在不同磷浓度下,红土对磷的吸附能力与之具明显相关性(图 3、4)。随着磷含量的增加,红土的吸磷能力有所提高,但当磷达一定含量时,其吸磷量增加缓慢,说明已接近红壤的吸磷饱和度。

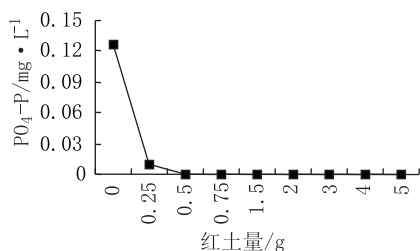


图 2 土壤加入量对水体总磷浓度的影响

Figure 2 Effect of added amount of the soil on total

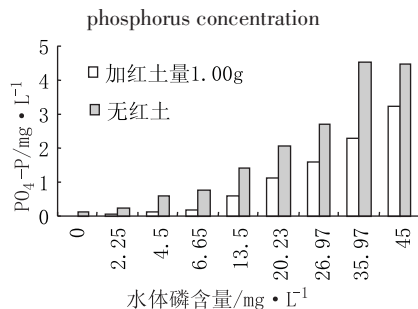


图 3 不同磷浓度下红土对水体磷含量的影响

Figure 3 Effect of red soil on phosphorus concentration at different concentrations in water

2.3 振荡的影响

扰动对于浅水湖泊来说,是影响沉积物-水界面物质交换的重要影响因素。本文以不同的振荡时间和强度模拟水体的扰动。在相同水土比、相同振荡时间下,溶液总磷量与振荡强度的关系如图 4 所示。由图可知,溶液中总磷的减少量与振荡强度存在一定的相关关系。当振荡强度为 $50 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,溶液中总磷的浓度下降了 50%; 当振荡强度达到 $200 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 时,溶液总磷浓度下降约为 80%。随着振荡强度的提高,溶液总磷缓慢减少。而在相同水土比、相同的振荡强度下,研究不同振荡时间对溶液总磷量的影响,同样发现溶液中总磷的浓度与振荡时间具有一定的相关性(见图 4)。这表明振荡可促进土壤对磷的吸附,从而降低溶液中总磷的浓度,其机理是振荡促使土壤再悬浮,使颗粒分散,增加了土壤与水体间的接触,提高

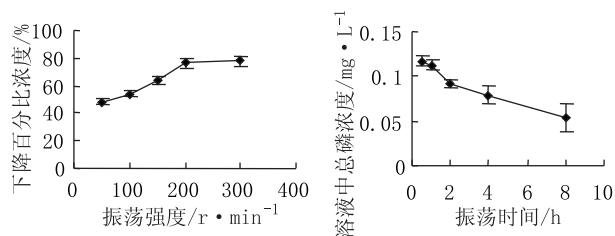


图 4 振荡强度和振荡时间对溶液总磷浓度的影响

Figure 4 Effect of oscillation intensity and oscillation time on concentration of total phosphorus

了土壤的吸附容量,从而有利于其对磷的吸附。

2.4 pH 的影响

pH 值是水质的重要指标,它对水体物理化学反应有重要影响,本文对其进行了初步的研究。图 5 为不同 pH 下,红壤对磷的吸附。从图 5 可以看出,在强酸条件下,土体对磷的吸附能力极弱,随着 pH 的升高,其吸附能力急剧上升;在近中性条件下,其吸磷能力最强;而当水溶液为强碱性 (pH = 10.00) 时,土体的吸磷能力又有所下降。究其原因是 pH 值影响了红壤对磷的吸附及离子间的交换作用。红壤中富含铁、铝化合物及粘粒,在 pH 值低时,铁、铝化合物对磷的吸附受到抑制;而 pH 高时,红壤中的化合物朝磷的吸附方向进行,从而促使水体中磷含量下降。

2.5 讨论

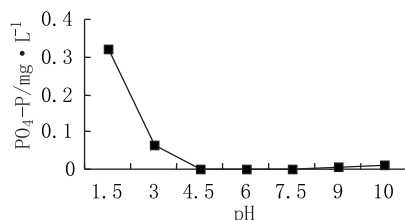


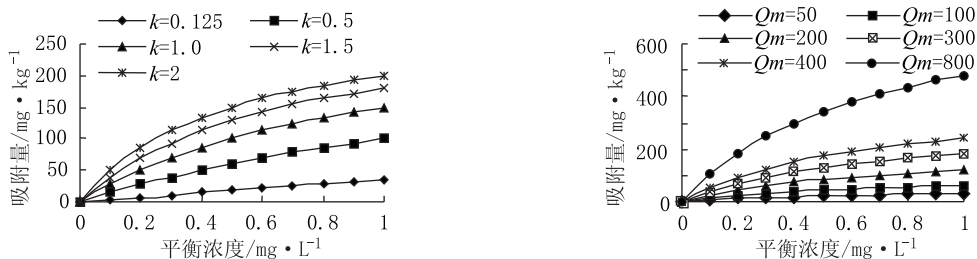
图 5 不同 pH 下红土对水体磷的吸附

Figure 5 Effect of red soil on the phosphorus concentration at various pH

从以上几个试验中可初步得知,红壤对去除水体中的磷具有一定的作用,然而在试验中发现,试验值与理论值间存在着较大的差距(参见图 6)。在 Q_m 与 k 分别为 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 及 1.5 时,对不同 k 及 Q_m 值下土壤吸磷量拟合中发现,当溶液达到平衡浓度,土壤吸磷量随着 k 和 Q_m 的增加而提高。试验土壤 k 值介于 1.0 与 1.5 之间, Q_m 略大于 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,具有较好的吸磷能力,而在试验中并未达到理论值,可能与其试验方法、过程及环境条件的变化有关,因此考虑对土壤进行适宜的技术处理,提高其 k 、 Q_m 值,使其能更接近于理论值,将有可能使其成为一种有效控制甚至治理水体富营养化的技术措施。

3 小结

本文以昆明红壤为例,初步研究了土壤对水体治理的效果,结果表明土壤能吸附水体中的磷,从而降低水体的含磷量,其降低值与土壤加入量、振荡时间、强度及水体的理化性质均有一定的相关性。溶液中可溶态磷的减少量随着土壤加入量的增加而增加,当土壤增至一定量时,总磷浓度降低缓慢,这说明少量的

图 6 不同 k 值和 Q_m 值下磷的吸附等温线Figure 6 Adsorption isotherm for values of k and values of Q_m

土壤即可达到减磷的目的;随着振荡时间和振荡强度的增加,溶液含磷量下降明显,在近中性条件下,红壤对磷的吸附能力最强,水体中的大部分磷即为土壤所吸附。南方红壤具有较高的吸磷能力,在适宜的技术处理后可被用于有效控制水体富营养化。

参考文献:

- [1] 张 明. 滇池及其流域综合治理[J]. 水资源保护, 1998, (3): 39 - 43.
- [2] 吴瑞金, 项 亮, 钱君龙, 等. 云南滇池近代环境恶化的沉积记录 [A]. 中国科学院南京地理与湖泊研究所集刊[C]. 1995. 13: 1 - 9.
- [3] 刘丽萍. 滇池水华特征及成因分析[J]. 环境科学研究, 1999, 12 (5): 36 - 37.
- [4] 黄永泰. 滇池污染状况及其综合治理[J]. 环境污染与防治, 1999,

21(4): 28 - 31.

- [5] 刘鸿亮. 治理滇池草海水环境的成套技术[J]. 环境科学研究, 1997, 10(1): 1 - 6.
- [6] 赵章元, 王 静. 用综合除藻法治理滇池蓝藻污染[J]. 工程与技术, 2000, 5: 12 - 14.
- [7] 尹魁浩, 徐保华, 关德华. 滇池流域水资源持续利用与保护[J]. 长江流域资源与环境, 1995, 4(4): 331 - 335.
- [8] Zhao qiguo, Gong zitong and Hou chuanqing, et al. Tropical soils[J]. *Soils of China*, 1990, 43 - 73.
- [9] 卢然超, 张晓健, 张 悦, 等. SBR 工艺污泥颗粒化对生物脱氮除磷特性的研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(5): 577 - 581.
- [10] 刘义新, 刘武定, 朱端卫, 等. 结晶有机肥对土壤磷吸附和解吸特性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2000, 19(1): 22 - 24.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 183 - 185.

中国科技期刊引证报告——《农业环境科学学报》

《农业环境科学学报》(原《农业环境保护》)自 1996 年开始被中国科学引文数据库列为来源期刊, 连续进入“被引频次最高的中国科技期刊 500 名排行表”内。据 2002 年统计,《农业环境科学学报》影响因子为 0.342, 总被引频次为 265 次, 在中国科技期刊总排序中按影响因子排在第 345 位。2001 年引用过本刊的科技期刊计 74 种, 除本刊自引外, 引用本刊频次较多的期刊有:《环境科学》、《环境科学学报》、《应用生态学报》、《土壤》、《农村生态环境》、《农药》、《城市环境与城市生态》、《农业现代化研究》、《中国沼气》、《浙江师大学报》等。本刊 2001 年共发稿 149 篇, 引用文献 1375 篇, 论文来自全国 25 个地区, 79 个研究机构, 各类基金论文所占比例为 66%, 国际论文比为 4%, 论文的平均发表周期为 9 个月。

在此我们对长期支持本刊的广大作者和读者深表谢意, 让我们携起手来, 共同办好刊物, 为农业环境科学的繁荣与发展做出更大的贡献!