

Doi:10.3969/j.issn.1003-5060.2010.08.025

瓦埠湖沉积物内源磷的稳定性及其控制研究

潘成荣¹, 丁凡², 郑志侠¹, 汪家权²

(1. 安徽省环境科学研究院, 安徽 合肥 230061; 2. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要:文章主要分析了瓦埠湖沉积物中不同赋存形态的磷的稳定性和铝盐、铁盐控制瓦埠湖底泥释磷的效果。结果表明:底泥释磷总量在碱性条件下最大,中性条件下最小;铁磷、铝磷溶解量随pH值的升高均增加;钙磷溶解量随pH值的升高而降低。氯化铝、氯化铁对瓦埠湖底泥释磷的控制规律为:在酸性环境条件下控制的效果不明显,在中性环境条件下控制的效果较为显著,在碱性环境条件下控制的效果极为显著。

关键词:瓦埠湖;底泥;磷稳定性;释磷控制

中图分类号:X524 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-5060(2010)08-1226-04

Stability of endogenous phosphorus in sediments of Wabuhu Lake and its control measures

PAN Cheng-rong¹, DING Fan², ZHENG Zhi-xia¹, WANG Jia-quan²

(1. Anhui Institute of Environmental Science, Hefei 230061, China; 2. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The stability of different forms of phosphorus in sediments of Wabuhu Lake and the effects of P release control by using aluminum salt and iron salt are discussed in this paper. The results indicate that the total amount of the P release in the sediments of Wabuhu Lake is largest under alkaline conditions, while it is smallest under neutral conditions. The dissolved Fe-P and Al-P will increase with increasing pH, while the dissolved Ca-P will decrease under the same condition. The results of P release control by using aluminum chloride and ferric chloride are as follows: the effect is not obvious under the acidic conditions, but obvious under the neutral conditions, while the effect is extremely notable under the alkaline conditions.

Key words: Wabuhu Lake; sediment; stability of phosphorus; phosphorus release control

0 引言

瓦埠湖位于安徽省中部江淮丘陵区,为河流型湖泊,由濉河、东淝河汇水而成。它是安徽省境内淮河流域最大的湖泊,为周边城镇居民的饮用水源,而且它在安徽省拟议的“引江济淮”调水工程中作为重要水体。但是关于该湖的研究却很少,特别是对该湖底泥磷的研究就更少,仅有文献[1,2]对其进行了一些报道;而对于该湖底泥中各

种形态的磷的稳定性的研究极少。磷作为湖泊富营养化的限制性因子,对其进行研究具有重要的意义。

为了解瓦埠湖底泥中各种形态的磷对该湖泊富营养化的贡献,本文采集了该湖的表层底泥样品,通过实验室模拟实验研究了铁结合态磷、铝结合态磷、钙结合态磷3种主要的内源磷在pH值为4.0、7.0、10.0以及好氧、厌氧条件下的稳定性,并在此基础上采用铝盐、铁盐作为混凝剂对内

收稿日期:2009-08-04;修回日期:2009-10-23

基金项目:安徽省自然科学基金资助项目(01045201);安徽省优秀青年基金资助项目(200137)

作者简介:潘成荣(1966—),男,安徽合肥人,博士,安徽省环境科学研究院正高级工程师,硕士生导师;
汪家权(1957—),男,安徽安庆人,博士,合肥工业大学教授,博士生导师。

源磷的释放进行控制,为面源型湖泊的富营养化的控制提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

沉积物:利用自制的直径为 20 cm 的柱状采样器采集瓦埠湖北半湖湖滩的底泥,采样深度为 15 cm。样品采集后去除其中的碎石、杂物,混合均匀后风干、研磨,过 200 目筛,备用。

氯化铝溶液:配制质量浓度为 0~50 mg/L 的氯化铝溶液,间隔为 5 mg/L。

氯化铁溶液:配制质量浓度为 0~30 mg/L 的氯化铁溶液,间隔为 2.5 mg/L。

1.2 方法

1.2.1 底泥释磷平衡时间与最大释放量

称取 0.3 g 沉积物于 250 mL 具塞锥形瓶中,分别加入 100 mL pH 值为 4.0、7.0、10.0 的上覆水体(取蒸馏水,用 1 mol/L 的 HCl 或 NaOH 调节 pH 值至 4.0、7.0、10.0),在 20 ℃ 恒温振荡器上以 160 r/min 速度振荡;定时取出用 0.45 μm 滤膜过滤的上清液 25 mL,酸消煮定容到 25 mL 容量瓶中,再用钼蓝比色法测定液相中的磷酸盐浓度,取样后补充上层水至 100 mL,直至释放平衡。沉积物磷的释放量的计算方法参照文献[3]。

1.2.2 底泥稳定性研究

称取 5 g 沉积物于 250 mL 具塞锥形瓶中,加入 100 mL 蒸馏水为上覆水体,改变 pH 值和溶解氧质量浓度来进行实验。当磷释放平衡时,用 0.45 μm 的膜抽滤出沉积物,然后把沉积物放入 600 ℃ 的烘箱中烘干。用研钵研碎,分别取 0.3 g 测定各沉积物的总磷以及铁磷、铝磷、钙磷的含量。按照文献[4]的方法测定底质总磷;参照文献[5,6]采用“连续的化学提取”方法提取并测定铁磷、铝磷、钙磷的含量。

1.2.3 内源负荷控制方法研究

在 1.2.1 的实验中,在加入 100 mL 上覆水的同时加入不同计量的氯化铝溶液或氯化铁溶液。然后将锥形瓶放在 20 ℃ 的恒温振荡器上以 160 r/min 的速度振荡,振荡时间分别取第 2 节的平衡时间,上覆水中总磷测定方法用国标法,参见文献[3]。

2 平衡时间与最大释放量的确定

不同 pH 值条件下瓦埠湖底泥释磷主要实验参数见表 1 所列。

表 1 不同 pH 值下瓦埠湖底泥释磷主要实验参数

pH	4.0	7.0	10.0
最大释放量/(mg·kg ⁻¹)	53.33	15.46	62.33
最大质量浓度/(mg·L ⁻¹)	0.160	0.046	0.187
平衡时间/h	14	10	20

由表 1 可以看出当 pH 值为 10.0 时瓦埠湖底泥的释放量最大,为 62.3 mg/kg,此时水体的最大质量浓度为 0.187 mg/L;而当 pH 值为 7.0 时瓦埠湖底泥释磷的平衡时间最短,为 10 h。这种现象主要是由底泥活性磷含量的差别导致,由文献[7]可知酸性条件下进入水体的磷主要为易溶性磷、钙磷,其分别占总磷的 1.2% 和 18.6%;在中性条件下进入水体的磷主要为易溶性磷,其占总磷的 1.2%;在碱性条件下进入水体的磷主要为铁磷、铝磷、易溶性磷,其分别占总磷的 27.4%、5.0% 和 1.2%。因此在 pH 值为 10.0 时,底泥最大释磷量会比 pH 值为 4.0、7.0 时大。

3 瓦埠湖沉积物中磷的稳定性研究

3.1 底泥总磷变化特征

原始底泥中, $w_{TP} = 442.7$ mg/kg, $w_{铁磷} = 146.6$ mg/kg, $w_{铝磷} = 25.07$ mg/kg, $w_{钙磷} = 98.75$ mg/kg。瓦埠湖底泥各结合态磷稳定性实验参数见表 2 所列。

由表 2 可知,在 pH 值相同时,瓦埠湖底泥在厌氧环境中的释磷量远大于好氧环境。好氧环境下,最大的总磷释放量为 41.8 mg/kg,小于厌氧环境下最小的总磷释放量 45.1 mg/kg。因此,沉积物释磷量的多少并不与沉积物中总磷量成比例关系,释放进入间隙水中的磷大部分是无机可溶性磷^[8,9]。

3.2 铁磷稳定性

铁磷的变化特征,由表 2 可以看出,pH 值相同时,厌氧条件下的释放量明显高于好氧条件;并且在相同的溶解氧量的条件下,瓦埠湖铁结合态磷释放量随 pH 值的升高而增加。故在还原环境中铁磷易发生 $Fe^{3+} - Fe^{2+}$ 还原反应,铁磷溶解而释放到上覆水体中^[10]。

表 2 中在酸性条件下铁磷的溶解量较低,仅相当于碱性条件下溶解量的 5% 左右。

3.3 铝磷稳定性

由表 2 可以看出,瓦埠湖底泥中铝磷的变化特征与铁磷一致,很明显这与文献[11]的结论是一致的,即 pH 值增大,厌氧条件更有利于铝磷的

释放。

表 2 中,底泥铝磷在碱性条件下溶解量最大,好氧、厌氧状态下分别为 12.57、15.04 mg/kg;在酸性条件下铝磷溶解量最小,好氧、厌氧状态下分别为 0.57、1.51 mg/kg。

3.4 钙磷稳定性

由表 2 可看出瓦埠湖底泥中的钙磷质量比变化趋势:当 pH 值相同时,厌氧条件下的释放量大

于好氧条件;在溶解氧量相同的条件下,钙磷的释放量随 pH 值的升高而降低。表 2 中瓦埠湖底泥钙磷在酸性条件下溶解量最大,好氧、厌氧状态下溶解量分别为 16.99、19.56 mg/kg;而在碱性条件下溶解量最小,好氧、厌氧状态下溶解量分别为 1.01、2.33 mg/kg。在碱性条件下,钙磷化合物能生成磷酸三钙、磷酸四钙等溶解度很小的化合物,使其不易溶解^[12]。

表 2 瓦埠湖底泥各结合态磷稳定性实验参数

实验条件	总 磷		铁 磷			铝 磷			钙 磷			
	w_{TP}	ΔTP	$w_{铁磷}$	ΔTP_{Fe}	$\frac{\Delta TP_{Fe}}{\Delta TP}$	$w_{铝磷}$	ΔTP_{Al}	$\frac{\Delta TP_{Al}}{\Delta TP}$	$w_{钙磷}$	ΔTP_{Ca}	$\frac{\Delta TP_{Ca}}{\Delta TP}$	
pH=4.0	好氧	420.65	22.13	145.64	1.01	4.56	24.50	0.57	2.58	81.76	16.99	76.77
	厌氧	391.87	50.91	141.61	5.04	9.90	23.56	1.51	2.97	79.19	19.56	38.42
pH=7.0	好氧	431.97	10.81	142.33	4.32	39.96	23.54	1.53	14.15	96.31	2.43	22.48
	厌氧	397.66	45.12	113.11	33.54	74.34	21.94	3.13	6.94	95.28	3.47	7.69
pH=10.0	好氧	400.99	41.97	125.15	21.50	51.45	12.50	12.57	30.08	97.73	1.01	2.42
	厌氧	254.02	188.76	35.75	110.91	58.76	10.03	15.04	7.97	96.41	2.33	1.23

注: $\frac{\Delta TP_{Fe}}{\Delta TP}$ 、 $\frac{\Delta TP_{Al}}{\Delta TP}$ 、 $\frac{\Delta TP_{Ca}}{\Delta TP}$ 3 项的单位为%。

4 内源负荷控制方法的研究

4.1 铝盐控制底泥释磷的效果

不同 pH 值下的氯化铝投加效果,如图 1 所示。由图 1 可见,瓦埠湖底泥受铝盐控制的释磷特征如下:在 pH 值为 4.0、7.0、10.0 时,投加的氯化铝质量浓度分别为 10、25、45 mg/L 时,实验系统达到了平衡。平衡时实验系统上覆水的总磷质量浓度分别为 0.138、0.010、0.012 mg/L。

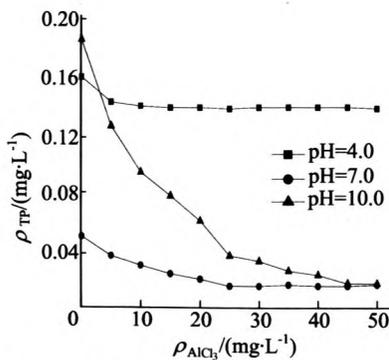


图 1 不同 pH 值下的氯化铝投加效果

由图 1 可知,对于瓦埠湖而言,在酸性条件下,氯化铝的最佳投加量为 10 mg/L,此时瓦埠湖底泥释磷量减少了 13.8%,总体上铝盐控制底泥释磷效果不明显;在中性条件下,氯化铝的最佳投加量为 25 mg/L,此时瓦埠湖底泥释磷量减少了

78.3%,总体上铝盐控制底泥释磷效果较明显;在碱性条件下,氯化铝的最佳投加量为 45 mg/L,此时瓦埠湖底泥释磷量减少了 93.6%,总体上铝盐控制底泥释磷效果极为明显。

4.2 铁盐控制底泥释磷的效果

不同 pH 值下氯化铁的投加效果如图 2 所示。

由图 2 可见,瓦埠湖底泥受铁盐控制的释磷特征如下:在 pH 值为 4.0、7.0、10.0 时,实验系统达到平衡所投加的氯化铁的质量浓度分别为 7.5、12.5、22.5 mg/L。

平衡时实验系统上覆水的总磷质量浓度分别为 0.136、0.011、0.011 mg/L。

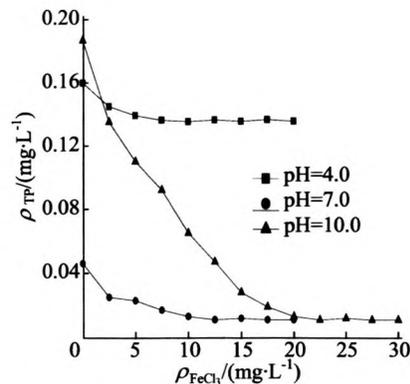


图 2 不同 pH 值下氯化铁的投加效果

由图2可知,对于瓦埠湖而言,在酸性条件下,氯化铁的最佳投加量为7.5 mg/L,此时瓦埠湖底泥释磷量减少了15.0%,总体上铁盐控制底泥释磷效果不明显;在中性条件下,氯化铁的最佳投加量为12.5 mg/L,此时瓦埠湖底泥释磷量减少了76.1%,总体上铁盐控制底泥释磷效果较明显;在碱性条件下,氯化铁的最佳投加量为22.5 mg/L,此时瓦埠湖底泥释磷量减少了94.1%,总体上铁盐控制底泥释磷效果极为显著。

5 结 论

(1) 瓦埠湖内源磷的平衡时间及其最大释放量,与溶液的酸碱度和溶液的溶解氧量有关。当溶液呈碱性时,其平衡时间最长,但其最大释放量最大;当溶液呈中性时,其平衡时间最短,但其最大释放量最小。总体上,瓦埠湖底泥在厌氧环境条件下的释磷量远大于好氧环境条件下。

(2) 瓦埠湖底泥中易释放进入水体中磷的形态主要为活性磷,底泥中磷的稳定性实验结果表明:铁磷、铝磷溶解量均随着pH值的升高而增加,但钙磷情况相反,其溶解量随pH值的升高而降低。酸性条件下底泥溶解磷主要源于钙磷;碱性条件下铁磷为主要的溶解矿物;铝磷在碱性、好氧状态下溶解的比例也较大;瓦埠湖内源磷的主要来源比较复杂,取决于底泥所处的外界的酸碱和氧化还原环境。

(3) 采用投加氯化铝、氯化铁等化学方法控制内源磷释放的实验结果表明:在酸性条件下对底泥的释磷能力控制的效果不明显;在中性条件下较为显著,可以减少底泥释磷总量接近80%;在碱性条件下,可以减少底泥释磷总量超过90%,控制内源磷释放效果极为显著。控制内源负荷的原理在于投加的铝、铁等金属阳离子与水体中各类磷酸根离子结合,形成矿物沉淀;铝、铁

离子在碱性环境中会形成氢氧化物,具有良好的絮凝、吸附效果,可除去部分磷;絮凝物、矿物等沉积,覆盖在底泥表层,对扩散、迁移进入水体的磷亦有阻滞作用。

[参 考 文 献]

- [1] 潘成荣,张之源,叶琳琳,等. 环境条件变化对瓦埠湖沉积物磷释放的影响[J]. 水土保持学报,2006,20(6):148-152.
- [2] 潘成荣,李 凌,叶琳琳,等. 瓦埠湖沉积物中氮与磷赋存形态分析[J]. 水资源保护,2007,23(4):10-14.
- [3] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社,2002:243-250.
- [4] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990:230-233.
- [5] 李 悦,乌大年,薛永顺. 沉积物中不同形态磷提取方法的改进及其环境地球化学意义[J]. 海洋环境科学,1998,17(1):15-20.
- [6] 蒋柏藩,沈仁芳. 土壤无机磷分级的研究[J]. 土壤学进展,1990,18(1):1-8.
- [7] 潘成荣,姚风云,汪新民. “引江济淮”输水干线浮游藻类与水体质量研究[J]. 合肥工业大学学报:自然科学版,2003,26(4):520-524.
- [8] Rydin E. Potentially mobile phosphorus in Lake Erken sediment[J]. Water Research,2000,34(7):2037-2042.
- [9] Noges P, Kisand A. Forms and mobility of sediment phosphorus in shallow eutrophic Lake Vortsjaerv(Estonia)[J]. Int Rev Hydrobiol,1999,84(1):255-270.
- [10] 高 丽,杨 浩,周建民,等. 滇池沉积物磷的释放以及不同形态磷的贡献[J]. 农业环境科学学报,2004,23(4):731-734.
- [11] 傅庆红,蒋 新. 湖泊沉积物中磷的形态分析及其释放研究[J]. 四川环境,1994,13(4):21-24.
- [12] 华凤林. 湖泊富营养化与底泥磷释放[J]. 环境管理监测与技术,1993,5(4):18-20.

(责任编辑 张淑艳)