

文章编号: 1000-5013(2008)03-0407-04

福建泉州市东、西湖水体中磷的空间分布特征

李庆华, 郭沛涌, 李江淮, 陈 力

(华侨大学 材料科学与工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 对闽东南地区的泉州市东湖和西湖不同水域水体中各形态磷进行采样分析, 探讨城市湖泊水体中磷的空间分布特征. 研究结果表明: 东湖和西湖水体中总磷的平均质量浓度分别为 $0.470, 0.203 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 而溶解性总磷酸盐分别占总磷的 $60.2\% \sim 87.6\%$ 和 $38.1\% \sim 73.2\%$. 这表明东湖水体中磷的主要存在形态是溶解性总磷酸盐, 且主要以溶解性正磷酸盐的形式存在, 占溶解性总磷酸盐的 $60\% \sim 92\%$; 而西湖溶解性正磷酸盐占溶解性总磷酸盐的 $34.7\% \sim 68.5\%$. 东湖和西湖水体各采样点中, 溶解性总磷酸盐与溶解性正磷酸盐有相似的空间分布规律.

关键词: 磷素; 空间分布; 城市湖泊; 富营养化; 泉州市

中图分类号: X 524.08(257); TQ 126.3

文献标识码: A

福建省泉州市是福建省乃至全国经济发展比较迅猛的地区之一, 外来人口众多, 工业“三废”和其他人为因素对该地区城市湖泊水体富营养化构成了很大的威胁. 磷作为湖泊生产力的主要限制性营养元素^[1-5], 已经成为湖泊富营养化的一个重要指标, 对水体磷素空间分布特征的研究, 将有助于了解该地区水体富营养化状况^[6-9]. 泉州市的东湖和西湖作为市民的休闲场所, 湖体状况的好坏与市民的健康休戚相关, 且西湖是西北洋滞洪排涝工程的重要组成部分, 有必要对其进行调查研究. 本文对泉州市东湖和西湖水体共 22 个采样点磷素的空间分布进行了初步的研究.

1 材料与方法

泉州东湖位于泉州城区东北部, 占地 20.5 hm^2 , 其中水域面积达 7.1 hm^2 , 水深 $1 \sim 2 \text{ m}$, 根据湖体周围环境选取具有代表性的 10 个采样点. 泉州西湖位于泉州北峰工业区东南面, 是泉州市区最大的湖泊, 占地面积约 100 hm^2 , 其中水域面积 82.28 hm^2 , 水深 $2 \sim 3 \text{ m}$, 选取具有代表性的采样点 12 个.

2007 年 5 月, 分别于泉州市东湖和西湖, 利用 2 L 的有机玻璃采水器采集表层湖水. 水样采集后装入用去离子水洗净的塑料瓶带回实验室立即分析. 分别测定了试验水样的总磷(TP)、溶解性正磷酸盐(SRP)和溶解性总磷酸盐(DTP)的质量浓度, 结果为 3 个平行样测定的平均值. 各磷质量浓度的测定采用钼锑抗分光光度法^[10](总磷的测定用过硫酸钾消解, UNICO-2000 型分光光度计检测).

2 结果与讨论

2.1 总磷的空间分布

东湖、西湖不同采样点水体中总磷质量浓度 $\rho(\text{TP})$ 的分布情况, 如图 1 所示. 由图 1 可知, 东湖水体中总磷质量浓度为 $0.386 \sim 0.526 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均质量浓度为 $0.470 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最低值出现在 6# 采样点, 最高值出现在 9# 采样点. 西湖水体中总磷质量浓度为 $0.141 \sim 0.362 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均质量浓度为 $0.203 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最低值出现在 7# 采样点, 最高值出现在 12# 采样点. 根据《GB 3838-2002 地表水环

收稿日期: 2007-12-14

作者简介: 李庆华(1982), 男; 通信作者: 郭沛涌(1969), 男, 副教授, 博士后, 主要从事生物修复和生物降解的研究. E-mail: guopeiyong@sina.com.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(20777021); 福建省自然科学基金计划资助项目(D0610012); 华侨大学高层次人才科研启动项目(04BS312)

境质量标准》的规定^[11], 东湖在总磷指标上不符合 V 类水的标准, 西湖勉强达到该标准. 各采样点中, 东湖水体总磷的质量浓度均高于西湖, 平均质量浓度是西湖的两倍左右, 这与居民的活动密切相关. 东湖处于市区, 周围居民较多, 生活污水直接排放入湖内; 相对而言, 西湖靠近郊区, 周围居民相对较少, 受人为的干扰也就较小. 东湖所有采样点中, 9# 采样点总磷质量浓度最高, 这是因为其靠近动物园, 一些动物粪便直接排放入水体. 7#、8# 采样点位于动物园附近, 且根据湖区地势来看, 处于 9# 采样点的下游, 在全湖水循环的过程中流经 9# 采样点的湖水经过 8# 采样点, 再从 7# 采样点附近的出水口流出东湖. 这种水流作用可能导致磷在出水口附近汇集, 因而 7# 采样点和 8# 采样点总磷质量浓度也较高. 1#、2#、3# 采样点位于入水口附近, 可能由于一些生活污水直接排入, 导致其总磷质量浓度也较高; 而 5#、6# 采样点靠近湖心区, 外界干扰较小, 总磷质量浓度较低. 西湖所有采样点中, 12# 采样点的总磷质量浓度最高. 这是因为其附近建有水上乐园, 游客比较多, 外部的非点源污染对西湖该水域水体影响显著. 7# 采样点总磷质量浓度最低, 可能是由于其靠岸周围植被较多, 对非点源污染有较强的截留作用, 使进入该水域的外源污染相对减少所致.

东湖、西湖水体中磷的来源包括外源性磷和内源性磷. 外源性磷来源主要有动物排泄的粪便、生活污水及部分工业废水等; 内源性磷主要是底泥中磷的释放. 底泥再悬浮引起的内源营养盐释放, 可以产生大量颗粒态、胶体态和溶解态的营养盐^[12]. 另外, 死亡的水生植物和藻类在细菌等的作用下, 碱性磷酸酶等胞外酶能够将磷酸酯类化合物分解释放出磷酸盐. 内源性磷的释放虽然对总磷质量浓度影响颇大, 但内源性磷质量浓度的多少在一定程度上取决于外界的输出量.

2.2 溶解性磷的空间分布

2.2.1 溶解性总磷酸盐 东湖、西湖水体中溶解性总磷酸盐(DTP) 质量浓度 $\rho(\text{DTP})$ 的空间分布情况, 如图 2 所示. 由图 2 可知, 东湖 DTP 质量浓度为 $0.311\sim 0.383\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均质量浓度为 $0.343\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 最低值出现在位于入水口附近的 3# 采样点, 最高值出现在位于动物园附近的 8# 采样点; 西湖 DTP 质量浓度为 $0.083\sim 0.144\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均质量浓度为 $0.102\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 最低值为 $0.083\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 出现在西湖北部的 4#、6# 采样点, 最高值出现在西湖东南部的 11# 采样点. 总体上, 各采样点中, 东湖 DTP 质量浓度是西湖的 3 倍左右.

东湖、西湖水体总磷中 DTP 的质量分数 $w(\text{DTP})$ 分布, 如图 3 所示. 由图 3 可知, 东湖水体总磷中 DTP 的质量分数为 $60.2\%\sim 87.6\%$, 是东湖水体磷的主要存在形态; 西湖水体总磷中 DTP 质量分数为 $38.1\%\sim 73.2\%$. 由此可见, DTP 对总磷的贡献比较大, 但 DTP、TP 的质量分数空间分布情况并不一致: 东湖 3# 采样点 DTP 质量浓度最低, 但该采样点 TP 质量浓度并不低; 东湖 8# 采样点 DTP 质量浓

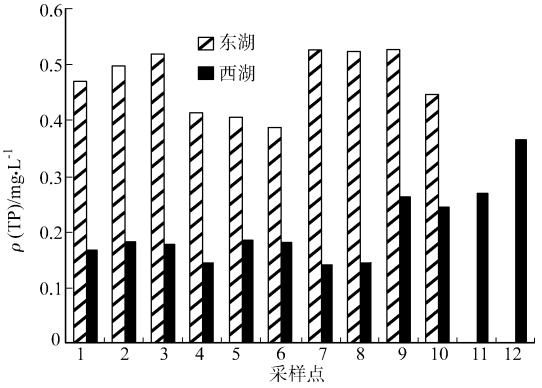


图 1 总磷的空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of TP

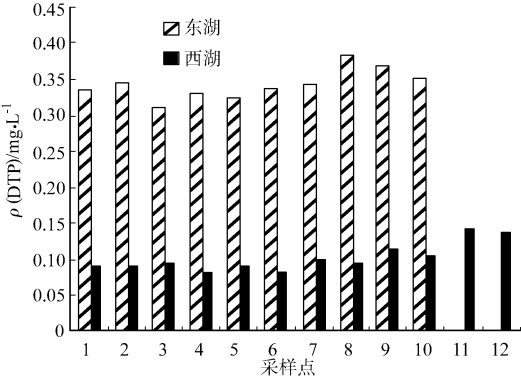


图 2 溶解性总磷酸盐的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of DTP

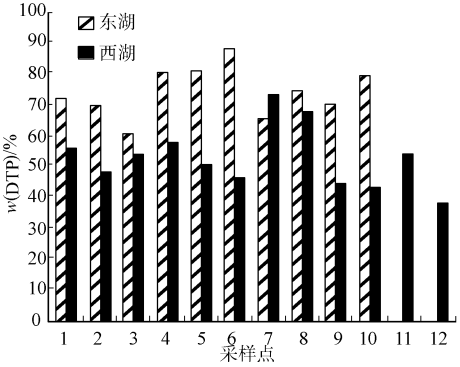


图 3 总磷中 DTP 的质量分数分布

Fig. 3 The mass fractions distribution of DTP in TP

度最高, 但 TP 质量浓度却不是最高. 同样地, 西湖各采样点中也有类似情况(如 2#, 6# 采样点等), 甚至更加明显. 这种空间分布情况存在着这样一个现象, 即东湖、西湖水体中各采样点 DTP 质量浓度变化较小, 而 TP 质量浓度变化却较大.

2.2.2 溶解性正磷酸盐 东湖、西湖水体中 SRP 质量浓度的空间分布情况, 如图 4 所示. 由图 4 可知, 东湖水体中 SRP 的分布比较均匀, 质量浓度为 $0.229 \sim 0.298 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最低值出现在位于动物园附近的 8# 采样点, 最高值出现在靠近湖心区的 6# 采样点. 西湖 SRP 质量浓度为 $0.042 \sim 0.089 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 变化也比较平缓, 其最低值出现在经度大致相同而纬度不同的 2#, 4#, 9# 采样点, 质量浓度均为 $0.042 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最高值出现在位于水上乐园附近的 12# 采样点. SRP 作为被植物吸收的最主要形式, 国内大型湖泊表层水体中溶解性磷酸盐浓度在 $0.006 \sim 0.010 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间^[13], 作为小的浅水湖泊的东湖和西湖, 其水体 SRP 均远高于国内的大型湖泊.

东湖、西湖水体 SRP 的来源可能有以下 3 个方面. (1) 死亡藻类等浮游生物和水生植物残体的分解. 微囊藻的好氧降解时, 残留体先降解成胶体颗粒物(小于 $0.45 \mu\text{m}$ 的颗粒), 然后分解转化成溶解性磷或被细菌利用. 在这个分解过程中, 能产生较多的 DTP 和 PO_4^{3-} ^[12]. (2) 沉积物中磷的释放. 沉积物磷的释放过程中, 碱性磷酸酶(APA)起着重要的作用. 在碱性磷酸酶活性提高时, 作为生物可利用性磷的 SRP 释放量明显增加^[14]. (3) 悬浮物中颗粒态磷的转化. 在水体中磷的质量浓度较低而不能满足藻类等水生植物生长需求时, 悬浮物中颗粒态磷可以在碱性磷酸酶等水体胞外酶的共同作用下转化为 SRP. 从以上 SRP 的来源来看, 水体中 SRP 的质量浓度与整个湖泊内总磷(包括底泥磷)的质量浓度有着密切的关系. 但就东湖和西湖水体来看, SRP 与 TP 分布情况却并不一致, 在某一采样点 TP 质量浓度很高, 而 SRP 质量浓度却很低, 如东湖 8# 采样点和西湖的 9# 采样点.

2.2.3 DTP 和 SRP 的空间分布关系 东湖、西湖 DTP 中 SRP 的质量分数 $w(\text{SRP})$ 分布, 如图 5 所示. 由图 5 可知, 东湖、西湖 DTP 中 SRP 的质量分数为 $60\% \sim 92\%$. 这说明东湖溶解性磷中绝大部分为水生植物可直接吸收利用的 SRP; 而西湖 DTP 中 SRP 的质量分数 $34.7\% \sim 68.5\%$, 这与东湖存在着很大的差别. 水体中 SRP 的质量浓度受到诸如环境条件、初级生产者, 以及寄生或腐生微生物等的影响. 总体上来说, 除个别采样点外(如东湖 8# 采样点和西湖 11# 采样点), DTP 质量浓度越大, SRP 质量浓度也越大, 两者质量浓度分布趋势大致相同, 有相似空间分布规律.

3 结论

通过对泉州市东湖和西湖不同水域水体中各形态磷的采样研究, 得到如下 3 点结论. (1) 东湖水体的 TP 质量浓度在 $0.386 \sim 0.526 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 其平均质量浓度为 $0.470 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最高值出现在位于动物园附近的 9# 采样点, 最低值出现在靠近湖心区的 6# 采样点; 西湖水体的 TP 的质量浓度在 $0.141 \sim 0.362 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 其平均质量浓度为 $0.203 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 最高值出现在水上乐园附近的 12# 采样点, 最低值出现在位于岸边植被较多的 7# 采样点. (2) 东湖水体的 DTP 质量浓度在 $0.311 \sim 0.383 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 占 TP 的 $60.2\% \sim 87.6\%$, 是东湖水体磷的主要存在形态, 最低值出现在位于入水口附近的 3# 采样点, 最高值出现在动物园附近的 8# 采样点; 西湖水体的 DTP 质量浓度在 $0.083 \sim 0.144 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 占 TP 的 $38.1\% \sim 73.2\%$, 最低值出现在西湖北部的 4#, 6# 采样点, 最高值出现在西湖东南部的 11# 采样点. DTP 对东湖、西湖水体总磷的贡献较大, 但东湖和西湖水体中各采样点中 DTP 质量浓度与 TP

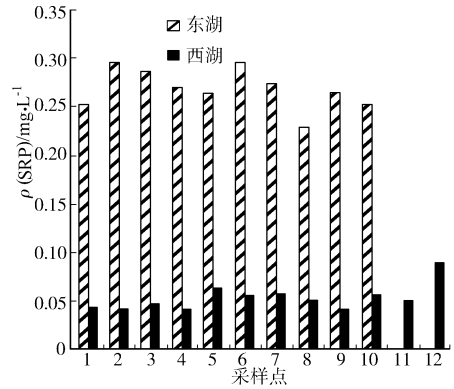


图 4 溶解性正磷酸盐的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of SRP

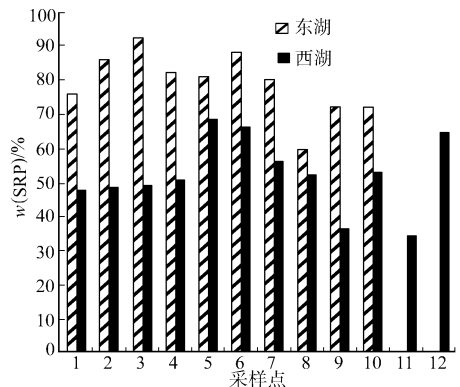


图 5 DTP 中 SRP 的质量分数

Fig. 5 The mass fractions of SRP in DTP

质量浓度两者空间分布情况却相差较大。(3) 东湖水体溶解性磷主要以 SRP 的形态存在, 质量浓度占 DTP 的 60%~92%, 而西湖 SRP 质量浓度占 DTP 的 34.7%~68.5%。总体上, 东湖和西湖水体各采样点中 SRP 与 DTP 有相似分布规律。

叶青、张涛、潘朝晖、杨晶晶等同志参与试验工作, 特此致谢。

参考文献:

- [1] WETZEL R G. Limnology[M]. 2nd ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1983.
- [2] SHARPLEY A N, CHAPRA S C, WEDEPOHL R, et al. Managing agriculture phosphorus for protection of surface waters: Issues and options [J]. J Environ Qual, 1994, 23: 437-451.
- [3] SMITH V H. The nitrogen and phosphorus dependence of algal biomass in lakes: An empirical and theoretical analysis [J]. J Limnol Oceanogr, 1982, 27: 1101-1111.
- [4] SMITH V H, TILMAN G D, NEKOLA J C. Eutrophication: Impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine and terrestrial ecosystems[J]. Environmental Pollution, 1999, 100: 169-179.
- [5] 周培疆, 郑振华, 余振坤, 等. 普通小球藻生长与武汉东湖水体磷形态的相关研究[J]. 水生生物学报, 2001, 25(6): 571-575.
- [6] 蔡煜东. 水质富营养化程度的人工神经网络决策模型[J]. 中国环境科学, 1995, 15(2): 123-127.
- [7] ZHANG J, JORGENSEN S, HENRIK M. Examination of structurally dynamic eutrophication model[J]. Ecological Modelling, 2003, 173(4): 313-333.
- [8] CHAU K. W. A three dimensional eutrophication modeling in Tolo Harbour[J]. Applied Mathematical Modeling, 2004, 28(9): 849-861.
- [9] CHAU K. W. An unsteady three dimensional eutrophication model in Tolo harbour, Hong Kong[J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, 51: 1078-1084.
- [10] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[S]. 4 版. 增补版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 243-248.
- [11] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB 3833-2002 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 1-3.
- [12] 陈伟民, 蔡后建. 微生物对太湖微囊藻的好氧降解研究[J]. 湖泊科学, 1996, 8(3): 248-252.
- [13] 金相灿, 刘树坤, 章宗涉, 等. 中国湖泊环境[M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 72-108.
- [14] 夏卓英, 陈芳, 宋春雷, 等. 长江中下游部分湖泊沉积物碱性磷酸酶分布及其作用研究[J]. 水生生物学报, 2007, 31(1): 9-17.

Spatial Distribution of Phosphorus in Water of East and West Lake in Quanzhou, Fujian

LI Qing-hua, GUO Pei-yong, LI Jiang-huai, CHEN Li

(College of Material Science and Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Several types of phosphorus in water from different areas of East and West Lake in Quanzhou were investigated, then their spatial distribution character was discussed. The results suggest that the mean mass fractions of total phosphorus in East Lake and West Lake are $0.470 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $0.203 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. The dissoluble phosphate in East Lake water accounts for 60.2%~87.6% in total phosphorus, while this figure in West Lake is 38.1%~73.2%. This indicates that the soluble reactive phosphorus which is the main form in East Lake water accounts for 60%~92% in total dissoluble phosphorus. The soluble reactive phosphorus in West Lake water accounts for 34.7%~68.5% in total dissoluble phosphorus. The total dissoluble phosphate and the soluble reactive phosphorus are distribute homologous in each lake water.

Keywords: phosphorus; spatial distribution; urban lake; eutrophication; Quanzhou

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 陈国华)