

# 武汉东湖不同湖区底泥总磷含量及变化的研究

谢丽强 谢 平 唐汇娟

(中国科学院水生生物研究所; 淡水生态与生物技术国家重点实验室;

湖泊生态系统东湖生态站, 武汉 430072)

**摘要:** 以武汉东湖为对象, 研究了 1998.03—1999.02 期间不同营养水平湖区底泥中(0—5cm, 5—10cm)总磷的含量及季节动态。6 个站平均总磷含量为 1.15mg/g, 同 80 年代初相比, I、II 站底泥中总磷含量分别增高 1.42 倍和 1.03 倍。受污水排放影响较重的 0 站磷含量高达 2.78mg/g, 而受污水排放影响较小的 IV、V 站仅分别为 0.52mg/g 和 0.50mg/g。东湖底泥中磷年平均含量与湖水中磷年平均浓度相关系数极高( $r = 0.997$ ,  $n = 5$ ,  $p < 0.02$ )。通过对不同湖泊的底泥磷含量、水柱磷含量和外源负荷的比较和相关分析可以看出, 水柱中磷含量较高, 磷负荷较大的湖泊底泥中磷含量也高。可以预测, 即使东湖的外源负荷得以控制, 巨大的底泥磷内源负荷将会继续对东湖水质构成威胁。

**关键词:** 东湖; 底泥磷含量; 富营养化; 磷负荷

中图分类号: Q176 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2001)04-0305-06

武汉东湖位于湖北省武汉市武昌区, 属中型浅水湖泊, 多年研究结果表明, 东湖已由 50 年代的贫营养湖过渡到 60 年代的富营养湖, 近几年达到了重富营养化。张水元等<sup>[1]</sup>在 80 年代初曾对东湖营养盐的收支及底泥中氮、磷的含量进行了研究。近二十年来, 东湖流域的环境发生了很大变化, 人口密度不断提高, 各种生活污水和工业废水排放量加大。本研究的目的是通过对武汉东湖受人类影响不同的若干湖区底泥中总磷含量的分布和变动的研究, 及对我国不同湖泊底泥磷含量、水柱磷含量及磷负荷的比较, 探讨外源性营养盐的输入对湖泊底泥中总磷含量分异的影响及内源负荷对水体富营养状况的潜在威胁。

## 1 研究方法

在东湖设置了 6 个采样点(图 1), 其中 0 站位于两个排污口的交叉点, 受污水排放影响严重, 从 I 站到 V 站, 受污水排放的影响依次减弱。在 1998.03—1999.02 每月采集泥样一次, 每一样站分别采表层 0—5cm, 5—10cm 两种泥样。底泥用柱状采集器采集, 自然风干后磨碎, 过 100 目筛后每一样站称取 0.3—0.5g 采用硫酸—高氯酸消化钼蓝比色法

收稿日期: 2000-06-01; 修订日期: 2000-12-20

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(编号 G2000046802)资助

作者简介: 谢丽强(1975—), 女, 辽宁兴城人; 硕士; 主要从事环境化学研究。龚志军和吴纪华博士帮助采集东湖各站样品, 徐小清研究员对本研究提供了有益建议, 野外工作得到了东湖站全体成员的帮助和支持, 特此表示感谢!

通讯作者: 谢 平, Email: xieping@ihb.ac.cn

进行分析测定<sup>[2]</sup>, 分析仪器采用国产 722 分光光度计。

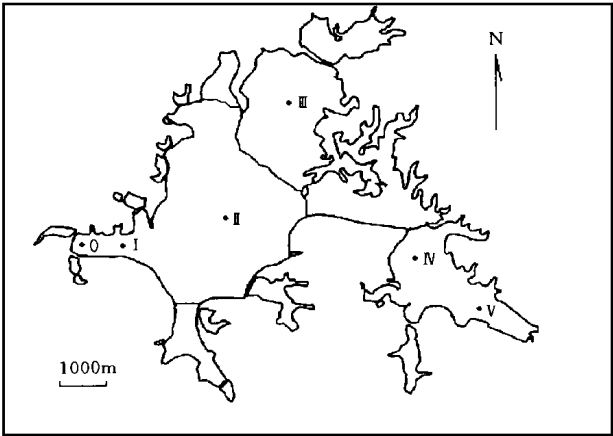


图 1 东湖地形图(0—V 表示采样站)  
Fig. 1 Map of Lake Donghu(0—V indicate sampling stations)

2 结果

2.1 底泥中总磷的含量

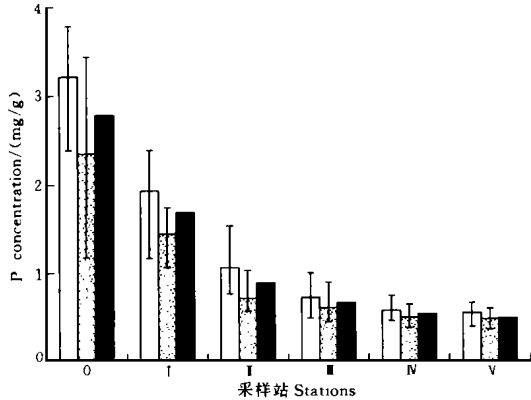


图 2 6 个采样站底泥中总磷的年平均含量  
Fig. 2 Annual average concentration of the sediment phosphorus at the six sampling stations  
□: (0—5cm)    ▨: (5—10cm)    ■: (0—10cm)

东湖流域居民的生活污水主要通过沿湖的 6 个排污口排入东湖, 构成了对东湖的点源污染。从 6 个采样站底泥总磷的年平均含量分布(图 2)可以看出, 0 站由于污水的大量输入, 其底泥中总磷的含量(2.78mg/g)远远高于其他样站, 从 I 站(1.68mg/g)到 V 站(0.50mg/g)随着污水被湖水的稀释总磷含量逐渐减少, 底泥表层和底层磷含量的差异也随之降低。

2.2 底泥中总磷的季节动态

由图 3 可以看出, 0 站底泥含量的季节变动较大, 而其他样站的季节变化并不明显。这可能与 0 站离排污口很近, 底泥表层积累了大量松软的有机质, 即使用柱状采集

器采泥, 也使底泥厚度的确定容易产生偏差, 考虑湖泊磷的沉积速率, 相对于 0—10cm 底泥磷含量来讲, 每月之间可能不会有太明显的差异。

2.3 底泥中的磷和湖水中的磷的关系

由图 4 可知, 各站底泥中总磷的年平均含量与湖水中总磷的年平均浓度之间具有极好的相关关系( $r = 0.997, P < 0.02$ ), 这表明, 湖水中总磷浓度较高的富营养化湖泊, 由于吸附、沉降等理化因素的影响, 底泥中总磷的浓度可能也较高。

2.4 东湖磷的内源负荷估算

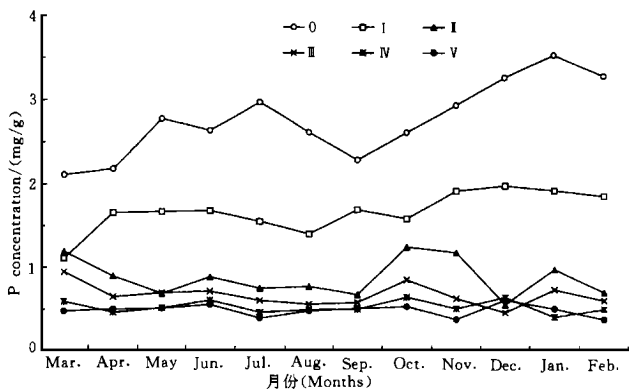


图 3 6 个采样站底泥中总磷的季节变化

Fig. 3 Seasonal changes in the concentration of the sediment phosphorus at the six sampling stations

徐小清等(未发表资料)总结的经验回归方程表明,湖泊磷的净内源负荷(NIL)与沉积物总磷含量C存在如下关系:

$$\begin{aligned} \ln(1 + \text{NIL}) &= -0.4313 + 8.7663C \\ r &= 0.948, P < 0.01 \end{aligned}$$

根据此公式计算武汉东湖各采样站磷的净内源负荷列于表 1。结果表明,0 站磷的净内源负荷最大,其次为 I、II 站,IV、V 站磷的净内源负荷最低。净内源负荷的大小也与污水口的分布有关。

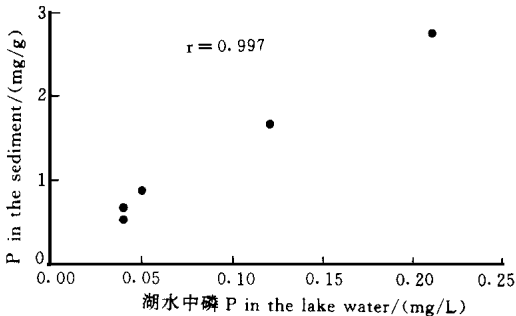


图 4 底泥中总磷含量与湖水中总磷浓度的相关图

Fig. 4 Correlation between the phosphorus concentrations in the sediment and in the lake water

表 1 武汉东湖各采样站磷的净内源负荷( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )

Tab. 1 Net internal P loading at the six sampling stations of Lake Donghu ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )

采样站 Sampling stations	0	I	II	III	IV	V	平均 mean
磷的净内源负荷 Net internal P loading	6.43	1.62	0.4	0.14	0.02	0.007	1.72

3 讨论

3.1 东湖底泥总磷含量的变化

与东湖 1982. 10—1984. 7 期间所获得的资料(表 2)相比,东湖底泥中总磷的含量有所升高,其中 I 站的平均值约为原来的 1.42 倍,II 站的平均值约为原来的 1.03 倍。水果湖湾的 I 站底泥中的磷含量的增加远快于湖中心的 II 站,造成两站总磷含量增长差异较大的原因可能与两站营养盐的输入有关。I 站位于有大量生活污水排入的超富营养型的水果湖区,II 站位于东湖主体的富营养型郭郑湖区的中心。一般来说,底泥的形成除了是由少量地表径流带入的泥沙表土外,大部分是来自污水带入的各种难溶性物质

表 2 东湖底泥(0—10cm) 中总磷含量( mg/ g 干重) 的变化, 括号内为平均值  
Tab. 2 Changes of the total phosphorus concentration in the sediment ( 0—10cm) of Lake Donghu.  
The bracketed figures indicate mean values

研究期间	I	II	资料来源
1982. 10—1984. 07	0. 91—1. 46( 1. 18)	0. 61—1. 07( 0. 85)	张水元等 <sup>[1]</sup>
1998. 03—1999. 02	1. 05—2. 40( 1. 68)	0. 57—1. 53( 0. 89)	本研究

及湖内各种水生生物的残体沉积, 其厚度的分布与污水口的分布密切相关。尽管东湖外源磷的输入中正磷酸盐占很大比重( 58. 8% )<sup>[3]</sup>。但在污水口附近由于流速减低, 污水中溶解的磷或者被颗粒物质吸附或者被藻类吸收, 被吸附的磷和颗粒磷将很快的沉积下来, 被藻类吸收的磷在生长季节可能被循环利用几次, 但最终也会沉积下来, 成为底泥中有机的或无机的磷库, 而离污水口愈远, 由于湖水的混合稀释作用, 污水中磷的沉积愈少。

富营养化程度严重的采样站( 0, I ) 表层( 0—5cm) 的磷含量比底层( 5—10cm) 明显增高, 而水质较好的采样站( IV、V) 的差异则不明显, 底泥磷含量表层和底层的差异随着污水的混合稀释而减少, 这也和营养盐的输入有关。生活污水和工业废水的输入, 导致每年有大量的磷沉积于东湖的湖体中<sup>[3—4]</sup>, 同时使藻类获得充足的营养物质而大量增殖, 随着藻类衰老而死亡, 大量溶解性有机物被放出, 同时形成大量的颗粒有机碎屑。当死亡的藻类越来越多, 释放出的溶解性有机物也越来越多, 使颗粒有机碎屑不能迅速矿化, 以至大量颗粒物质下沉, 和死亡的水生生物( 均富含磷) 一起积累在底泥的表面, 差异随之而生。

3. 2 东湖磷负荷与磷的沉积作用

磷负荷指的是单位时间内输入到单位面积水体中的磷的量, 被认为是评价湖泊营养状况的最佳指标<sup>[5]</sup>。它包括内源负荷及外源负荷, 内源负荷主要来自底泥中营养物质的释放和水体中生物的分解; 外源负荷指来自湖泊水体以外的磷供给, 它包括点源和非点源。富营养化湖泊水质的改善及其恢复措施往往集中于减少外源磷的负荷, 然而, 内源磷负荷可能极大地延缓或抵消这些措施的效果。东湖现有的磷外源负荷为  $2. 97\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ <sup>[3]</sup>, 同 80 年代初相比<sup>[4]</sup>, 增加了 1. 13 倍。东湖现有的磷内源负荷为  $1. 72\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 而 80 年代初为  $0. 35\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 增加了 4. 91 倍( 由于 80 年代初的具体采样地点与本研究的 不同, 故仅比较 I, II 站) 。根据湖泊中营养盐几十年总磷的动态( 图 5), 从 50 年代至 80 年代, 湖中总磷的含量呈上升状态, 而 80 年代以后虽然营养盐的外源输入一直维持较高水平, 湖内磷的水平反而呈现一种下降的趋势, 水柱中磷的动态与外源输入似乎并不显示相关关系。为什么外源负荷增加而水柱中的磷反而减少? 对这一现象的认识有待进一步的研究。

3. 3 我国不同湖泊底泥中磷含量、水柱中磷含量及磷负荷的比较

与湖泊水体的富营养化状况联系起来分析, 可以发现, 一般富营养化严重的湖泊, 其底泥中磷含量也高( 表 3) 。同我国其他湖泊相比较, 东湖底泥中磷的含量较高。将我国部分湖泊( 表 3) 底泥中磷含量和水柱中的磷含量进行相关分析,  $r= 0. 471$ , ( $n= 12$ ,  $p< 0. 05$ ), 并没有得到象东湖各站的底泥中总磷和水柱中总磷那样好的相关关系, 将底泥中的磷含量和磷营养负荷做相关分析,  $r= 0. 422$ , ( $n= 11$ ,  $p< 0. 05$ ), 这说明不同地理环境的湖泊, 水柱与底泥间磷的相互作用也不同。

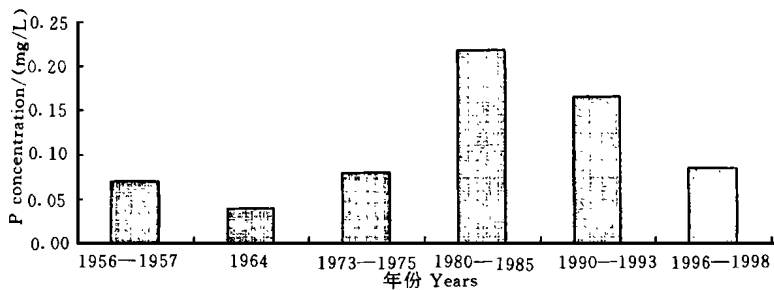


图5 东湖湖水中总磷年平均含量的长期变化(1956—1985 年数据引自文献[ 1])

Fig. 5 Long-term changes in the annual mean concentration of phosphorus in the Donghu Lake water column(Data of 1956—1985 are cited from references[ 1])

表3 我国不同湖泊底泥中磷含量、水柱中磷含量及磷负荷的比较

Tab. 3 The comparison among the P concentration in the sediment, in the water column and P loading of different lakes in our country

湖泊名称	湖面积(km <sup>2</sup> ) 平均水深(m) 最大深度(m)	底泥中总 磷含量 (mg/g)	采集深度 采集工具	水柱中总 磷含量 (mg/l)	磷负荷 (g/m <sup>2</sup> /a)	参考文献
安徽巢湖	753- 774km <sup>2</sup> 平均水深 3m 最大深度 7m	0. 52		0. 105	1. 39	汪水源等 <sup>[ 6]</sup>
南京玄武湖	3. 7km <sup>2</sup> 平均水深 1. 1m 最大深度 2. 0m	1. 58	0—15cm 柱状采泥器	0. 515	10. 62	徐实等 <sup>[ 6]</sup>
云南滇池	297. 8km <sup>2</sup> 平均水深 4. 23m 最大深度 10. 3m	1. 28	0—15cm 柱状采泥器	0. 12	0. 84	吴德玲等 <sup>[ 6]</sup>
杭州西湖	6. 03km <sup>2</sup>	1. 22		0. 169	5. 1	金鹿年 <sup>[ 6]</sup>
杭州西湖	5. 64km <sup>2</sup> 平均水深 7. 15m	0. 61	柱状采泥器	0. 117	0. 66	吴静波等 <sup>[ 6]</sup>
江西鄱阳湖	1678km <sup>2</sup> 平均水深 8. 4m 最大深度 22. 2m	0. 55		0. 094		张海星 <sup>[ 6]</sup>
四川邛海	31km <sup>2</sup> 平均水深 10. 32m 最大深度 34m	1. 21		0. 041	1. 15	施为光等 <sup>[ 6]</sup>
上海淀山湖	62km <sup>2</sup> 平均水深 2. 11m 最大深度 3. 59m	0. 51	柱状采泥器	0. 09	4. 12	王云等 <sup>[ 6]</sup>
江苏太湖	2427. 8km <sup>2</sup> 平均水深 2m 最大深度 3m	1. 21		0. 052	0. 64	黄漪平等 <sup>[ 6]</sup>
黑龙江镜泊湖	91. 5km <sup>2</sup> 最大深度 48m	1. 25		0. 461	8. 22	郭庆元等 <sup>[ 6]</sup>
武汉东湖	27. 899km <sup>2</sup> 平均水深 2. 21m	0. 745( 仅 I , II 站)	0—40cm 柱状采泥器	0. 104( 仅 I , II 站 TDP)	2. 63	张水元等 <sup>[ 1]</sup>
武汉东湖	32km <sup>2</sup> 平均水深 1. 9m 最大深度 4. 75m	1. 50	0—10cm 柱状采泥器	0. 11	2. 97	本研究

不同湖泊,底泥中磷的释放强弱不同。例如德国的 Blankensee 湖和芬兰的 Pyhäjärvi 湖,由于底泥磷的释放,磷的输出大于磷的输入,净沉积量为负值。在另外的一些湖泊,水柱的磷具有较高的沉积速率,底泥对沉积磷的束缚能力较强而成为移出水柱和外源磷的重要途径。根据流域和水体的特征,底泥可能滞留 50%—100% 的外源输入的磷。在 1997.10—1998.09 期间,东湖磷的总输入为 95.2t,总输出为 20.5t,高达 78.5% 的磷滞留在湖内<sup>[3]</sup>。象东湖这样,如此高的磷净沉积量还比较少见。

磷在东湖的沉积有着深远的影响,然而,对东湖磷沉积机制的进一步解释依赖于对底泥及水体理化性质的更深层次的了解。可以预言,当东湖底泥中的磷在适当的条件下释放时,即使外源负荷得以控制,本湖也将长时间维持富营养化状态。

#### 参考文献:

- [1] 刘建康. 东湖生态学(一)[M]. 北京: 科学出版社, 1990, 383—388
- [2] 中国土壤学会土壤农化分析专业委员会编. 土壤常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1966, 41—52
- [3] Tang H., Xie P. Nitrogen and phosphorus of Lake Donghu[J]. *Acta Hydrobiol. Sinica*. 1999, **23**(Suppl): 1—7
- [4] 张水元, 刘衢霞, 黄耀桐. 武汉东湖营养物质的主要来源. 海洋与湖沼[J]. 1984, **15**(3): 203—213
- [5] Dilbn P J, Kirchner W B. The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds [J]. *Water Res.*, 1975, **9**: 135—148
- [6] 金相灿, 中国湖泊环境[M]. 北京: 海洋出版社. 1995

## THE CONCENTRATION AND DYNAMICS OF SEDIMENT PHOSPHORUS IN VARIOUS LAKE REGIONS OF LAKE DONGHU

XIE Lir qiang, XIE Ping and TANG Huir juan

(*Donghu Experimental Station of Lake Ecosystems, State Key Laboratory for Freshwater Ecology and  
Biotechnology of China; Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072*)

**Abstract:** The concentration and seasonal dynamics of phosphorus in the sediment (0—5cm, 5—10cm) of Lake Donghu were studied at six stations with different nutrient levels. The sampling was taken by a core sampler monthly from March 1998 to February 1999. On the annual average of the six stations, P content in the sediment was 1.15mg/g. The P content in the sediment at Station I (II) in the present study was 1.42(1.03) times that in the early 1980s. At Station 0 where there was heavy sewerage discharge, the sediment P content was as high as 2.78mg/g, while at the less affected Stations IV and V, it was only 0.52mg/g and 0.50mg/g, respectively. There was a good relationship between the P content of the sediment and the P content of the lake water ( $r=0.997$ ,  $n=5$ ,  $p<0.02$ ). By comparing the P content of the sediment and water column, and external P loading in some Chinese lakes, it appears that if the P content of the water column is high and external P loading is large, the P content in the sediment is generally also high. Predictably, the great P pool in the sediment will still be a threat to the water quality of the lake ecosystem even if the external loading is under control.

**Key words:** Lake Donghu; P content in the sediment; Eutrophication; P loading