

汉阳湖群表层沉积物磷含量分布特征

阮柏野¹, 熊 飞^{1,2}, 刘红艳¹, 夏天翔³, 李时顺¹

- (1. 江汉大学生命科学学院, 湖北 武汉 430056;
2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008;
3. 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

摘要:2011年7月和10月对汉阳“六湖连通”工程的5个湖泊(后官湖、三角湖、南太子湖、墨水湖和龙阳湖)沉积物磷含量进行调查,研究其表层沉积物磷含量的空间分布和季节差异,以了解汉阳湖群的沉积物污染特征,为湖泊污染控制和生态修复提供依据。结果表明,后官湖沉积物磷含量最低,为 (0.20 ± 0.03) g/kg,龙阳湖最高,为 (0.64 ± 0.11) g/kg,二者差异显著($P < 0.05$),三角湖、南太子湖和墨水湖沉积物磷含量差异不显著($P > 0.05$)。除后官湖外,汉阳湖群沉积物磷含量季节差异不显著($P > 0.05$)。汉阳湖群沉积物磷含量具明显的空间分布特征,这种分布格局主要受外源污染输入的影响。相关分析表明,沉积物全磷与水体总氮、总磷和电导率呈极显著正相关($P < 0.01$),与水体透明度呈极显著负相关($P < 0.01$)。

关键词:汉阳湖群;沉积物;磷;空间分布;季节差异

中图分类号:X524 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2012)05-0001-06

湖泊中的磷素对水生生物的生长及维持水体的生态平衡具有重要作用,然而过量的磷会导致湖泊富营养化,甚至引发“水华”,打破生态平衡。沉积物作为湖泊水体磷素的源与汇,既接收来自于水体沉降、颗粒物运输带来的磷,也可在适当的条件下将磷释放进入水体参与再循环(李学刚等,2005)。沉积物磷素作为湖泊富营养化的重要影响因素之一,其内源性释放问题已经引起了广泛关注(金相灿等,2004;沈丽丽等,2009;尹然等,2010;袁栋林等,2010)。湖泊磷素循环属于沉积物型循环,相对于水体磷含量而言,沉积物磷含量更能反映出湖泊生态系统长时间的污染格局,因此,沉积物磷素的空间分布特征及其影响因素一直是关注的焦点(谢丽强等,2001;韩沙沙和温琰茂,2004;魏明蓉,2010)。

武汉市汉阳区位于江汉平原,东临长江、北依汉水,湖泊众多。近年来,汉阳地区水污染日益加重,水环境质量的下降已直接影响到汉阳地区社会经济的可持续发展。为改善城市湖泊水质环境,武汉市政府实施“六湖连通”工程,旨在让该区域内的龙阳

湖、墨水湖、三角湖、南太子湖和后官湖相互连通起来,并与长江、汉江相通,在汛期结束后,长江水位降低,打开涵闸,引汉江水入湖流出长江(郜会彩等,2006)。了解这些湖泊的污染物分布格局对这些湖泊的生态修复及江湖连通工程的生态效应评估具有重要的参考价值。关于汉阳湖群的研究,主要集中在水质评价(邬红娟等,2005;吕晋等,2008)、底栖动物群落结构(姜莘红等,2011)及沉积物重金属污染(陈学庆和苏春利,2006;桑稳姣等,2007)等方面。本研究对汉阳“六湖连通”工程湖泊的沉积物磷素进行调查,分析其水平分布、季节变化特征,旨在了解汉阳湖群的沉积物污染特征,为城市湖泊的污染控制和生态修复提供依据。

1 材料与方法

1.1 湖群概况

研究湖泊位于武汉市汉阳区,为城郊小型浅水湖群,各湖泊基本情况见表1。后官湖面积稍大,为 11.33 km^2 (杨洪和陈红梅,2003),最大水深 3.0 m ,其他湖泊面积在 3 km^2 以内,水深 2 m 以内(姜莘红等,2011)。该区域属亚热带季风气候,四季分明,年平均气温 16.5°C ,降雨量 $1\,179.4 \text{ mm}$,5月份开始降雨较多,6-9月为高水位期。随着人类活动增加,湖泊污染加剧,除后官湖水水质较好外,其他湖泊富营养化较为严重(邬红娟等,2005)。

收稿日期:2012-07-05

基金项目:国家自然科学基金(40901037);武汉市科技计划项目(201150699189-04);湖泊与环境国家重点实验室基金(2010SKL011);江汉大学学生创新科研项目(2012zd12)。

通讯作者:熊飞。E-mail: xf9603@163.com

作者简介:阮柏野,1990年生,江汉大学本科在读,主要研究方向为湖泊生态学。E-mail: ruanbaiye@yahoo.cn

表 1 汉阳湖群的水体理化指标

Tab.1 Physical-chemical parameters of Hanyang Lakes

	后官湖	三角湖	南太子湖	墨水湖	龙阳湖
面积/km ²	11.33	2.45	1.52	2.68	1.37
水深/m	1.51±0.14	0.88±0.10	1.02±0.15	1.92±0.05	1.57±0.07
最大水深/m	3.00	1.86	1.86	2.76	2.37
水温/℃	21.53±4.83	21.48±4.50	20.60±4.17	21.42±4.46	21.14±4.64

1.2 样品采集

于2011年丰水期(7月)与枯水期(10月)对后官湖、三角湖、南太子湖、墨水湖和龙阳湖的表层沉积物磷含量进行调查,共设置46个采样点(见图1),每个样点用手持GPS(GARMIN60CSx)定位。用彼得生采泥夹采集沉积物,取表层沉积物样品用封口袋装好带回实验室。用2.5L柱状采水器采水,水样为距表层0.5m和距底层0.5m的混和水样,取1L水样带回实验室用于水质分析。水体透明度用赛氏盘测量,电导率、氧化还原电位、pH用SX751型便携式多参数水质仪测量。

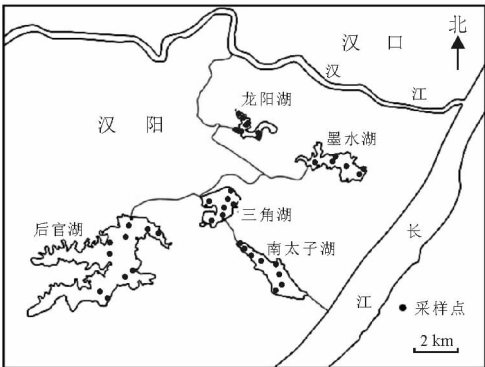


图 1 汉阳湖群的位置及采样点分布

Fig.1 Locations of Hanyang Lakes and sampling sites distribution

1.3 分析测试

水样于采样后立即带回实验室分析总氮、总磷指标。沉积物样品经自然风干后,拣去石块、软体动物体壳等杂物后用研钵磨碎,过0.154mm筛后待测。沉积物全磷含量用高氯酸—硫酸消解钼锑抗比色法测量(鲍士旦,2000)。水体总磷含量用过硫酸

钾消解钼锑抗比色法测量,水体总氮用碱性过硫酸钾法测定(国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会,2002)。

1.4 数据分析

不同湖泊之间的沉积物全磷差异比较采用单因素ANOVA分析。丰水期和枯水期湖泊沉积物全磷含量的比较采用配对样品t检验。应用46个样点数据分析沉积物全磷与水体总磷、总氮、电导率、透明度等指标的相关关系。数据分析处理使用SPSS19.0。湖泊沉积物全磷含量分布格局图采用Suffer7.0软件进行绘制。

2 结果与分析

2.1 湖群沉积物磷含量

汉阳湖群沉积物全磷含量变化为(0.20~0.64)g/kg,平均值为(0.42±0.08)g/kg。沉积物磷含量与水体氮、磷含量表现出一致的变化趋势:龙阳湖>墨水湖>南太子湖>三角湖>后官湖(表2)。龙阳湖沉积物磷含量最高,达(0.64±0.11)g/kg,后官湖含量最低,为(0.20±0.03)g/kg,两者差异显著(P<0.05)。三角湖、南太子湖、墨水湖沉积物磷含量差异不显著(P>0.05)。

各湖泊表层沉积物磷含量均表现为丰水期大于枯水期(图2)。后官湖丰水期含量为(0.255±0.046)g/kg,枯水期为(0.140±0.017)g/kg,两者之间差异显著(P<0.05,t=3.168,n=12)。其他湖泊沉积物磷含量季节差异不显著(P>0.05)。

表 2 汉阳湖群表层沉积物磷含量及水质参数

Tab.2 Sediment phosphorous contents and water quality parameters of Hanyang Lakes

湖泊	沉积物全磷/ g·kg ⁻¹	水体总磷/ mg·L ⁻¹	水体总氮/ mg·L ⁻¹	电导率/ μs·cm ⁻¹	透明度/ m
后官湖	0.20±0.03(c)	0.04±0.01(c)	1.33±0.24(d)	271±3(d)	1.04±0.10(a)
三角湖	0.35±0.04(bc)	0.17±0.01(b)	3.24±0.35(cd)	369±14(c)	0.37±0.01(b)
南太子湖	0.36±0.06(bc)	0.18±0.02(b)	3.70±0.54(bc)	389±4(c)	0.28±0.01(b)
墨水湖	0.54±0.11(ab)	0.24±0.02(b)	5.50±0.35(b)	489±4(b)	0.43±0.02(b)
龙阳湖	0.64±0.11(a)	0.67±0.07(a)	15.22±1.68(a)	589±17(a)	0.36±0.01(b)
总 体	0.42±0.08	0.26±0.11	5.80±2.44	421±54	0.50±0.14

注:同列数据后字母不同表示差异显著(P<0.05),字母完全相同表示差异不显著(P>0.05)。

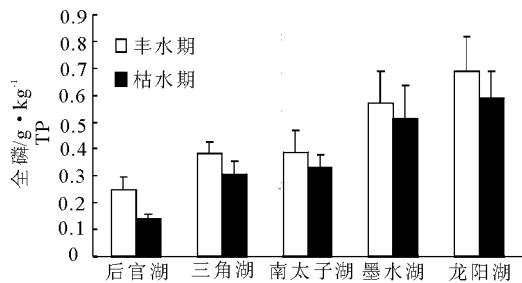


图 2 丰水期、枯水期各湖泊表层沉积物磷含量比较
Fig.2 Sediment phosphorous contents of Hanyang Lakes in wet and dry seasons

2.2 各湖泊表层沉积物磷的水平分布

各湖泊表层沉积物磷含量具有明显的水平分布

格局(图 3)。龙阳湖南部湖区污染严重,水质黑臭,其沉积物磷含量平均值为(0.82 ± 0.11) g/kg,约为北部湖区(0.45 ± 0.16 g/kg)的 2 倍。墨水湖东部湖区受动物园等外源污染的影响,其沉积物磷含量为(0.69 ± 0.19) g/kg,明显高于西部湖区(0.39 ± 0.09) g/kg。三角湖出水口区域受污染物累积的影响,沉积物磷含量较高,达0.66 g/kg,湖内其它区域沉积物磷含量较为均匀,为(0.31 ± 0.06) g/kg。南太子湖西部与三角湖相连,接受三角湖来水,该区域沉积物磷含量为(0.54 ± 0.01) g/kg 也明显偏高,而湖内其他区域沉积物磷含量为(0.29 ± 0.05) g/kg,较为均匀。

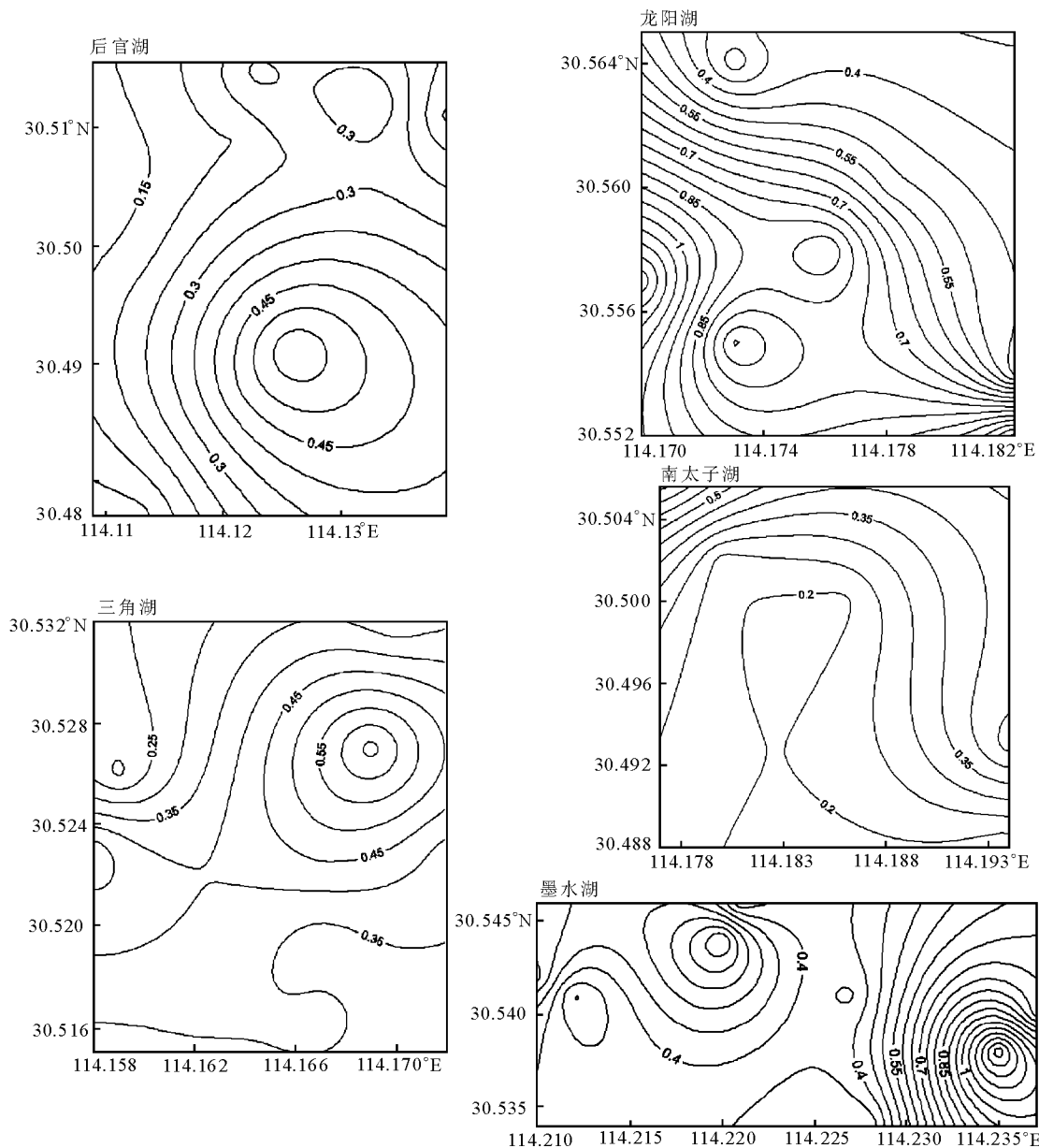


图 3 汉阳湖群表层沉积物总磷含量水平分布格局
Fig.3 Horizontal distribution of sediment phosphorous contents of Hanyang Lakes

2.3 沉积物磷含量与水质参数的相关性

相关分析表明,沉积物全磷含量与水体总氮、总磷、电导率呈极显著正相关($P < 0.01$),而与透明度

呈极显著负相关($P < 0.01$),与 pH 值、氧化还原电位、溶解氧相关性不显著($P > 0.05$)(图4)。

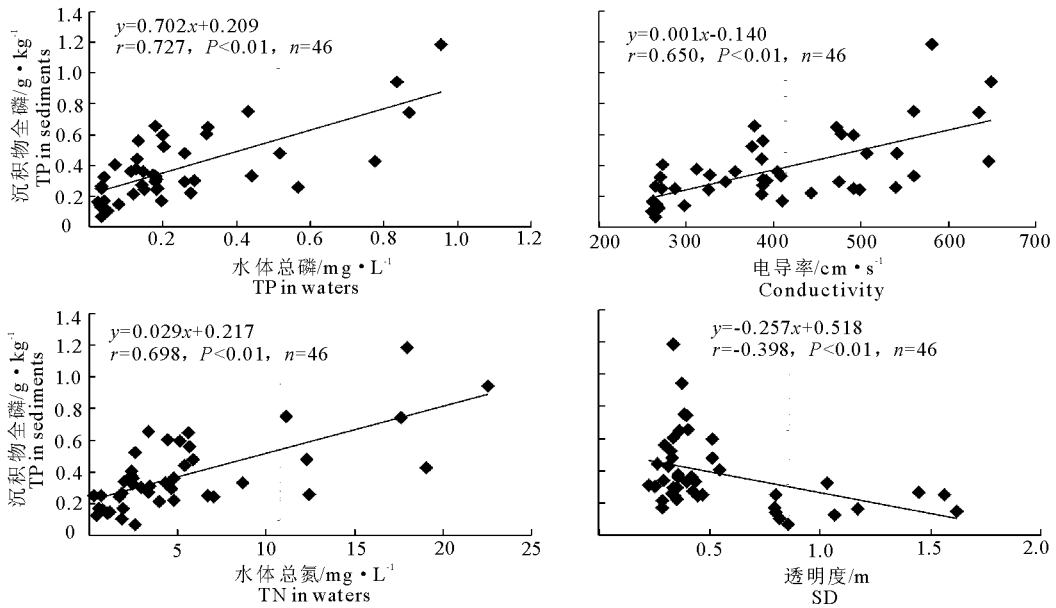


图4 沉积物全磷含量与水质参数的关系

Fig. 4 Relationship between the sediment phosphorous contents and water quality parameters of Hanyang Lakes

3 讨论

3.1 汉阳湖群沉积物总磷含量特征

沉积物中全磷含量过高,会通过复杂的过程将磷素释放到水体中,造成内源性污染,引起湖泊富营养化。同时,沉积物中的磷元素如果超过一定的标准会对生长在沉积物中的底栖动物、水生植物以及水体环境产生生态毒性效应。沉积物磷生态毒性效应常用作评价沉积物污染现状(孙惠民等,2006)。本研究表明,在汉阳湖群中,后官湖污染较轻,未达到磷元素毒性阈值。而龙阳湖污染最为严重,沉积物磷含量高达 0.64 g/kg ,其南部湖区高达 0.82 g/kg ,已超过了磷的最低生态毒性参考值 0.6 g/kg (OME,1993)。三角湖、南太子湖、墨水湖沉积物磷含量处于同一水平,平均值为 $0.35 \sim 0.54 \text{ g/kg}$,未达到毒性阈值,但三角湖东岸部分地区受到东南岸水产养殖污染,生活废水污染以及东北方向农业面源污染的共同作用,南太子湖局部地区受排污口及工业园的影响,沉积物磷元素含量超标,产生了生态毒性。墨水湖东部大部分湖区均已超过 0.6 g/kg 这一阈值,东岸某些地区污染源分布集中,磷含量甚至已经达到了 1.2 g/kg ,污染严重。该评价结果与水质、底栖动物的污染评价结果基本一致(邬红娟等,2005;姜莘红等,2011)。

3.2 表层沉积物全磷含量的季节差异

本研究显示,后官湖湖泊表层沉积物磷含量秋季小,夏季大,表现出不一致的季节变化模式。本研究与陈永川等(2007)对滇池的研究结果类似。陈永川认为夏季雨水充沛,周围土层中的磷素会伴随土壤被雨水冲刷入湖中,导致沉积物磷起到“汇”的作用,增加了沉积物的磷污染。本研究与金相灿等(2006)对太湖东北部沉积物磷素的季节调查研究相反。金相灿认为,夏季水生植物生长旺盛,对磷需求的迅速增加促使沉积物中的底栖动物、微生物加快对磷的分解代谢,从而沉积物磷起到“源”的作用,含量减少;因此全磷含量在秋季最大,夏季最小。后官湖中仅有少量水生植物分布,在夏季沉积物磷起到“源”作用的倾向较小。并且后官湖是城市内湖,湖周边污染相对严重,在多雨的夏季环境中污水磷输入的增加导致沉积物磷起到“汇”作用的倾向更大,这可能是后官湖表层沉积物磷含量秋季小、夏季大的主要原因。另外在我们的调查中,发现后官湖放养了大量的草食性鱼。一方面夏季鱼类繁殖旺盛,会使水生植物衰退,减少对沉积物磷的消耗;另一方面,夏季饲料投放量较大,饲料中的磷也可能是导致湖泊表层沉积物磷含量夏季大的原因。除后官湖外的4个湖泊表层沉积物磷含量同样是丰水期高于枯水期,但差异并不显著,即表现出一致的季节变

化模式。这与这些湖泊处于同一区域,气候、外源污染及湖泊大小及类型相似有关。湖泊沉积物磷含量夏秋两季差异不显著可能是因为其他4个湖泊面积较小,沉积物磷含量受人为的外源排放影响巨大,而人为污水排放在全年的相对稳定保证了沉积物磷的稳定性。谢平(2005)认为浅水湖泊内源磷负荷的季节变化波动受藻类光合作用所驱动,藻类的富集会促使内源磷负荷的增加。沉积物磷的释放也与水动力条件的改变有关,水动力条件的加强有助于沉积物磷的释放(Marsden, 1989; 孙小静等, 2005; You et al, 2007)。严重富营养化的4个湖泊中浮游植物特别是蓝藻、绿藻分布较广(汪常青等, 2004)。并且在夏季,长江水位较高,湖群开始放水(邵会彩等, 2006),藻类和水流对沉积物磷释放的波动和改变的综合作用的随机性也可能是导致夏秋两季差异不显著的原因。沉积物磷季节变化模式的影响机制仍需进一步的研究,但是可以肯定的是不同湖泊所处环境不同,生态结构、营养水平各异,沉积物磷元素的季节波动模式存在差异。

3.3 影响沉积物磷分布的因子

后官湖湖体面积相对较大,受人类活动扰动的的影响较小,湖体具有较强的滤过作用,这是后官湖沉积物磷含量较少的主要原因。另外,后官湖是研究湖群中唯一有大片沉水植物分布的湖泊,且湖岸有大面积的香蒲、芦苇分布。姜翠玲等(2004)曾报道过挺水植物对磷元素具有较强的吸收能力,熊纓等(2011)在对7种常见挺水植物的去污能力的研究中发现香蒲与芦苇对磷元素去除效果是最好的。这些水生植物的生长会消耗大量的磷;同时其凋谢产物难以被分解,可以提供更多的有机质给参与磷循环的微生物,促进微生物对沉积物的脱磷作用。沉积物磷含量与水体氮、磷、电导率、透明度的良好相关性反映了富营养化较严重湖泊,其沉积物磷含量也较高的规律(谢丽强, 2001)。除后官湖外其他4个湖泊位于汉阳地区中心,富营养化较严重,且湖体面积较小,易被人为因素扰动,沉积物磷含量较高。特别是龙阳湖受工业废水排入的影响,其南部湖区污染严重,沉积物磷含量最高,在我们的调查中,该区域水质恶臭,没有底栖生物生存,应该引起相关部门的重视。

参考文献

鲍士旦. 2000. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社.

- 陈学庆, 苏春利. 2006. 武汉市墨水湖重金属污染现状分析[J]. 资源环境与工程, 20(4): 470-473.
- 陈永川, 汤利, 张德刚, 等. 2007. 滇池沉积物总磷的时空分布特征研究[J]. 农业环境科学学报, 26(1): 51-57.
- 邵会彩, 李义天, 何用, 等. 2006. 改善汉阳湖群水环境的调水方案研究[J]. 水资源保护, 22(5): 41-44.
- 国家环境保护总局, 《水和废水监测分析方法》编委会. 2002. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京: 中国环境科学出版社.
- 姜翠玲, 范晓秋, 章亦兵. 2004. 农田沟渠挺水植物对N、P的吸收及二次污染防治[J]. 中国环境学, 24(6): 702-706.
- 姜莘红, 崔永德, 王海军, 等. 2011. 汉阳湖群底栖动物群落及其对环境质量的指示[J]. 长江流域资源与环境, 20(5): 525-533.
- 金相灿, 姜霞, 徐玉惠, 等. 2006. 太湖东北部沉积物可溶性氮、磷的季节变化[J]. 中国环境科学, 26(4): 409-413.
- 金相灿, 王圣瑞, 庞燕, 等. 2004. 湖泊沉积物对磷酸盐的负吸附研究[J]. 生态环境, 13(4): 493-496.
- 韩沙沙, 温琰茂. 2004. 富营养化水体沉积物中磷的释放及其影响因素[J]. 生态学杂志, 23(2): 98-101.
- 李学刚, 宋金明, 李宁, 等. 2005. 胶州湾沉积物中氮与磷的来源及其生物地球化学特征[J]. 海洋与湖沼, 36(6): 562-570.
- 吕晋, 邹红娟, 马学礼, 等. 2008. 武汉市湖泊蓝藻分布影响因素分析[J]. 生态环境, 17(2): 515-519.
- 桑稳姣, 程建军, 姜应和. 2007. 墨水湖底泥重金属污染特征分析[J]. 武汉理工大学学报, 29(12): 71-74.
- 沈丽丽, 何江, 吕昌伟, 等. 2009. 哈素海表层沉积物中内源磷的释放研究[J]. 农业环境科学学报, 28(6): 1219-1224.
- 孙惠民, 何江, 高兴东, 等. 2006. 乌梁素海沉积物中全磷的分布特征[J]. 沉积学报, 24(4): 579-584.
- 孙小静, 朱广伟, 罗淑葱, 等. 2005. 浅水湖泊沉积物磷释放的波浪水槽试验研究[J]. 中国科学D辑: 地球科学, 35(S2): 81-89.
- 汪常青, 吴永红, 刘剑彤. 2004. 武汉城市湖泊水环境现状及综合整治途径[J]. 长江流域资源与环境, 13(5): 499-502.
- 魏明蓉, 姜应合, 张华, 等. 2010. 南湖表层沉积物中有机质氮和磷的污染现状与评价[J]. 安徽农业科学, 38(4): 2004-2005, 2024.
- 邹红娟, 崔博, 吕晋, 等. 2005. 武汉湖泊底栖动物群落及水质生态评价[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 33(10): 96-98.
- 谢丽强, 谢平, 唐汇娟. 2001. 武汉东湖不同湖区底泥总磷含量及变化的研究[J]. 水生生物学报, 25(4): 305-310.

谢平. 2005. 浅水湖泊内源磷负荷季节变化的生物驱动机制[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 35(S2): 11–23.

熊纓, 苏志刚, 高举明. 2011. 不同挺水植物在生活污水中生长量及去污能力比较研究[J]. 环境科学与管理, 36(1): 63–66.

杨洪, 陈红梅. 2003. 武汉湖泊[M]. 武汉: 武汉出版社.

尹然, 汪福顺, 梅航远, 等. 2010. 乌江流域不同营养水平的梯级水库沉积物中磷形态特征[J]. 生态学杂志, 29(1): 91–97.

袁栋林, 胡恭任, 于瑞莲. 2010. 泉州湾洛阳红河口沉积物中磷的形态分布[J]. 生态学杂志, 29(1): 84–90.

Marsden M W. 1989. Lake restoration by reducing external phosphorus loading: the influence of sediment phosphorus release[J]. Freshwater Biology, 21(2): 139–162.

Ontario Ministry of the Environment (OME). 1993. Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario. Ontario: Queen's Printer for Ontario.

You B, Zhong J, Fan C, et al. 2007. Effects of hydrodynamics processes on phosphorus fluxes from sediment in large, shallow Taihu Lake [J]. Journal of Environmental Sciences, 19(9): 1055–1060.

(责任编辑 杨春艳)

Phosphorous Distribution of the Surface Sediments of Lakes in Hanyang District

RUAN Bai-ye¹, XIONG Fei^{1,2}, LIU Hong-yan¹, XIA Tian-xiang³, LI Shi-shun¹

(1. School of Life Sciences, Jiangnan University, Wuhan 430056, P. R. China;

2. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China;

3. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, P. R. China)

Abstract: A research on spatial distribution and seasonal difference of phosphorous contents in the surface sediments of Hanyang Lakes including Houguan Lake, Sanjiao Lake, Nantaizi Lake, Moshui Lake and Longyang Lake was conducted in July and October, 2011, aiming to understand pollution characteristic of the lake sediments and provide reference for pollution control and ecological restoration. Results showed that Houguan Lake had the lowest phosphorous content in sediments (0.20 ± 0.03 g/kg), and Longyang Lake the highest (0.64 ± 0.11 g/kg). There was a significant difference in phosphorous content between these two Lakes ($P < 0.05$). No significant differences in phosphorous content were observed among Sanjiao Lake, Nantaizi Lake and Moshui Lake ($P > 0.05$). Except Houguan Lake, seasonal difference of phosphorous contents for Hanyang Lakes was insignificant ($P < 0.05$). There was an obvious spatial distribution of sediment phosphorous in Hanyang Lakes, which was mainly caused by exogenous pollution. Correlation analysis indicated that total phosphorous of sediments had significant positive correlation with total nitrogen, total phosphorous, and conductivity of water ($P < 0.01$), and significant negative correlation with water transparency ($P < 0.01$).

Key words: Hanyang Lakes; spatial distribution; seasonal difference; phosphorous; sediment