

东湖、汤逊湖和梁子湖沉积物磷形态及pH对磷释放的影响

王新建¹, 王松波², 耿红^{1*}

1. 中南民族大学生命科学院, 微生物与生物转化重点实验室, 湖北 武汉 430074;

2. 中南民族大学化学与材料科学学院, 湖北 武汉 430074

摘要: 文章采用淡水沉积物中磷形态标准测试程序(SMT)研究了东湖、汤逊湖和梁子湖沉积物中磷的形态分布, 并比较了不同pH条件下沉积物磷释放特征的差异性。结果表明: 东湖沉积物总磷质量分数最高, 平均值 $1.232 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 其次为汤逊湖($0.762 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$), 梁子湖沉积物总磷质量分数最低($0.572 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$); 3个湖泊上覆水总磷质量浓度也表现出类似的变化规律, 线性相关性分析显示上覆水中总磷质量浓度与沉积物总磷质量分数显著正相关。东湖和梁子湖沉积物总磷中无机磷和有机磷所占比例较接近, 汤逊湖无机磷所占比例远低于有机磷。不同湖泊之间磷形态的分布并没有一定的规律性, 湖泊的地理分布以及人为因素可能是造成磷形态差异的主要因素。当pH为2.0~7.0时, 3个湖泊沉积物中溶解性活性磷(SRP)释放量均呈先增加后减小的趋势; 当pH为7.0~12.0时, SRP释放量呈增加趋势。相关分析结果表明, SRP的释放与有机质的质量分数无显著相关性。方差分析结果显示3个湖泊沉积物在黏粒和粉粒组成上均没有显著差异($P>0.1$), 表明实验样品的粒径组成不是造成各个湖泊间磷释放差异的原因。不同pH条件下, SRP释放量与沉积物总磷质量分数显著正相关; 酸性环境下, SRP释放量与酸式磷(HCl-P)的相关性优于碱式磷(NaOH-P), 碱性环境下则刚好相反。

关键词: 沉积物; 总磷; pH; 磷释放; 浅水湖泊

中图分类号: X524

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2013) 05-0810-05

引用格式: 王新建, 王松波, 耿红. 东湖、汤逊湖和梁子湖沉积物磷形态及pH对磷释放的影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(5): 810-814.

WANG Xinjian, WANG Songbo, GENG Hong. Phosphorus fractions and the influence of pH on the release of phosphorus from sediments in the Donghu Lake, Tangxun Lake and Liangzi Lake [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(5): 810-814.

磷是影响浮游植物生长的重要生源元素, 在湖泊富营养化中愈来愈引起人们的关注。沉积物作为物质存储的重要场所, 其内源磷的释放是导致湖泊水体磷含量增加的重要因素之一^[1-2]。有研究发现湖泊环境的差异是造成磷释放风险不同的主要原因^[3], 如微生物和沉水植物可以通过不同的机制来影响沉积物中磷的释放^[4-5]。

在影响沉积物磷释放的众多环境因素中, pH是最重要的影响因子之一^[6-10]。许多研究发现在不同pH条件下磷释放呈现“U”形曲线^[7,11]。袁和忠等^[12]通过对比释放前、后沉积物中磷的形态组成发现, 酸性条件主要为钙结合态磷的释放; 碱性条件主要是铁结合态磷释放, 部分可发生再沉淀, 转化为钙结合态磷。郭志勇等^[13]也发现pH值对沉积物中磷的释放以及磷形态在磷释放过程中的重新分布均具有重要影响。也有研究发现不同沉积物磷释放量与pH间的关系表现为不对称的“U”型曲线^[14]。长江中下游地区是我国浅水湖泊的重

要分布区, 对维持区域经济的可持续发展具有重要的意义。本文选取长江中游富营养化程度不同的3个湖泊, 东湖、汤逊湖和梁子湖作为研究对象, 分析了沉积物的磷形态和不同pH条件下湖泊沉积物磷释放特征的差异性, 探讨了沉积物理化性质与磷释放之间的关系, 旨在为湖泊水环境评价和管理等提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

于2010年7月分别在东湖(3个点)、汤逊湖(3个点)和梁子湖(5个点)选取11个站点进行采样(图1)。现场采用抓斗式采泥器采集, 取表层5cm沉积物置于干净的聚乙烯塑料封口袋中, 密封后带回实验室, 置于阴凉处晾干, 最后磨碎过100目筛备用。水质分析指标包括水深、透明度、pH、总氮(TN)、总磷(TP)和叶绿素a(Chl a)。透明度用塞氏盘测定; pH采用上海佑科pHS-3C型pH计测定; TN用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测

基金项目: 国家自然科学基金(30700088; 31200361); 中央高校基本科研业务专项(CZY11008); 中南民族大学校基金(YZZ08007; XJS09002)

作者简介: 王新建(1987年生), 男, 硕士研究生, 主要从事湖泊生态学研究。E-mail: 505721248@qq.com

*通信作者: 耿红(1979年生), 女, 副教授, 博士, 主要从事淡水生态学研究。E-mail: genghong@mail.scuec.edu.cn

收稿日期: 2013-04-02

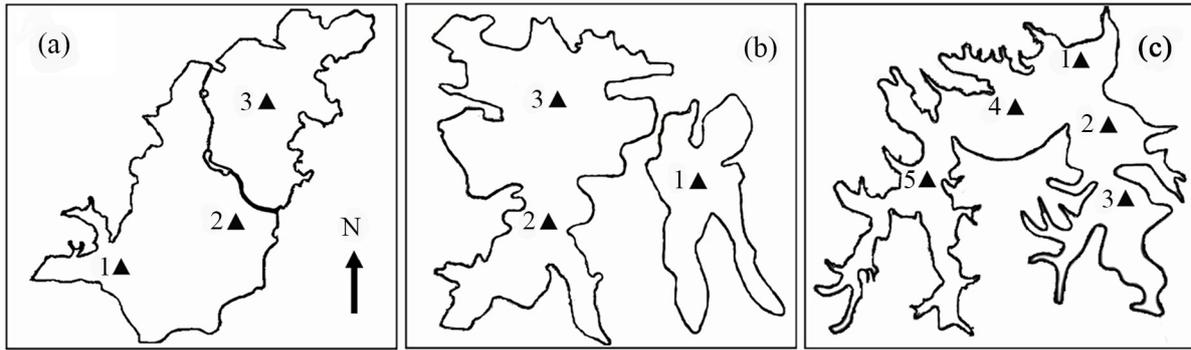


图 1 东湖 (a)、汤逊湖 (b) 和梁子湖 (c) 采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites in the Donghu Lake (a), Tangxun Lake (b) and Liangzi Lake (c)

定, TP 用钼酸铵分光光度法测定^[15]; Chl *a* 在分析前先取 50 或 100 mL 原水样经 0.45 μm 混合纤维树脂膜过滤, 冷冻保存, 分析时用 8 mL 90% 丙酮在 4 °C 下萃取 24 h, 然后在 3 500 r.p.m 下离心 10 min, 取上清液于 630、645、663 和 750 nm 用分光光度计测定吸光度^[16]。为了比较过筛后的沉积物粒径组成, 采用 Mastersize-2000 激光粒度仪分析了其组成比例; 沉积物有机质质量分数以 550 °C 高温灼烧 3 h 所得烧减量计^[12]; 磷形态分析采用 SMT 法^[17]。

1.2 pH 对沉积物磷释放的测定

参照缓冲溶液配置方案, 分别配制 pH 为 2.0、4.6、7.0、9.0 和 11.8 缓冲溶液^[12]。分别称取东湖、汤逊湖和梁子湖 0.50 g 沉积物干样于 250 mL 锥形瓶内, 加入相应 100 mL 缓冲溶液, 封口并置于 150 r·min⁻¹ 摇床, 25 °C 恒温振荡 24 h 后 3500 r·min⁻¹ 离心 15 min, 取上清液过 0.45 μm 混合纤维树脂滤膜, 钼酸铵法测定溶解性活性磷(SRP)质量浓度。每个样品测定时均设 3 个平行。

1.3 数据分析及处理

采用 Excel 2010 作图, Spearman 相关分析用 SPSS 16.0 进行。

2 结果与分析

2.1 东湖、汤逊湖和梁子湖水体理化特征及沉积物磷形态分布特征

东湖水体 TP 质量浓度最高, 为 0.20 mg·L⁻¹, 其次为汤逊湖 0.17 mg·L⁻¹, 梁子湖水体 TP 质量浓度最低, 为 0.049 mg·L⁻¹(表 1)。3 个湖泊沉积物磷

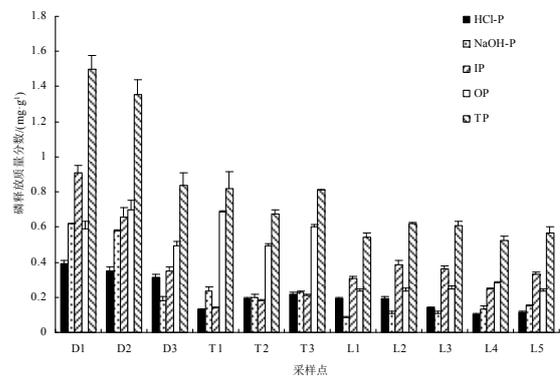


图 2 东湖、汤逊湖和梁子湖沉积物磷形态分布特征

D、T、L 分别代表东湖、汤逊湖、梁子湖, 数字代表采样点

Fig. 2 Distribution of chemical fractions of phosphorus in sediments of the Donghu Lake (D), Tangxun Lake (T) and Liangzi Lake (L).

The number represents sampling site in each lake

形态分布特征见图 2。东湖沉积物中 TP 质量浓度 (0.838~1.501 mg·g⁻¹) 明显高于汤逊湖(0.674~0.820 mg·g⁻¹)和梁子湖(0.526~0.621 mg·g⁻¹)。无机磷(IP)质量分数在总磷中所占的比例分别为: 东湖 41.4%~60.6%, 汤逊湖 16.6%~26.4%, 梁子湖 46.5%~62.4%。酸式磷(HCl-P)在 3 个湖泊中的质量分数分别为: 东湖 0.312~0.391 mg·g⁻¹, 汤逊湖 0.130~0.218 mg·g⁻¹, 梁子湖 0.105~0.196 mg·g⁻¹; 碱式磷(NaOH-P)则依次为 0.180~0.920 mg·g⁻¹, 0.200~0.235 mg·g⁻¹, 0.085~0.153 mg·g⁻¹。NaOH-P 与 HCl-P 质量分数比值分别为: 东湖 1.53, 汤逊湖 1.29, 梁子湖 0.88。有机质质量分数梁子湖 4# 占比最高, 达到 16.5%, 这与取样时沉积物中含有大量腐殖杂草相吻合。3 个湖泊的沉积物有机

表 1 东湖、汤逊湖和梁子湖水体理化数据特征 (平均值±标准差)

Table 1 Physicochemical characteristics of the Donghu Lake, Tangxun Lake and Liangzi Lake (Mean±SD)

湖泊	水深/m	透明度/cm	pH	ρ(TN)/(mg·L ⁻¹)	ρ(TP)/(mg·L ⁻¹)	ρ(Chl a)/(μg·L ⁻¹)
东湖	3.3 ± 0.6	61 ± 6	8.38 ± 0.14	1.22 ± 0.13	0.20 ± 0.01	74.4 ± 17.4
汤逊湖	3.0 ± 0.6	35 ± 7	8.43 ± 0.08	2.13 ± 0.03	0.17 ± 0.06	59.6 ± 11.7
梁子湖	3.2 ± 0.3	83 ± 13	9.07 ± 0.06	0.83 ± 0.33	0.049 ± 0.01	20.3 ± 3.92

质平均质量分数为: 东湖 9.3%, 汤逊湖 9.4%, 梁子湖 10.6%。

2.2 不同 pH 对湖泊沉积物磷释放的影响

不同 pH 条件下东湖、汤逊湖和梁子湖沉积物 SRP 释放见图 3。11 个点沉积物 SRP 释放表现出相同的变化趋势。当 pH 为 2.0、4.6 和 7.0 时, 沉积物释放的 SRP 表现出先增加后降低的变化趋势, 表明 pH 在 4.6 左右时, 沉积物释放的 SRP 又重新被吸附到沉积物上; 在碱性环境下, 沉积物中磷的释放表现出随 pH 递增趋势, 并没有发生酸性条件下磷的重新吸附现象。考虑到已有研究的“U”形释放趋势, 选择总磷质量浓度相对较大的东湖作为研究对象, 研究 pH 在 1.0~4.6 时沉积物 SRP 的释放特征, 发现随着 pH 的增加, 总趋势表现为“L”形; 强酸性条件下(pH 1.0~2.0)SRP 释放量随着 pH 的增大释放量迅速下降; pH 2.0~4.0 条件下 SRP 释放量随着 pH 的增大表现出缓慢下降趋势; pH 4.0~4.6 条件下 SRP 释放量随着 pH 的增大而缓慢增加。

2.3 不同 pH 条件下沉积物磷释放量与沉积物磷形态的相关分析

从表 2 可以看出: 酸性条件下, SRP_{pH=2.0} ($r=0.906$, $P<0.001$;) 和 SRP_{pH=4.6} ($r=0.936$, $P<0.001$) 与 HCl-P 的相关性水平要优于与 NaOH-P 的相关性; 碱性条件下, SRP_{pH=9.0} ($r=0.873$, $P<0.001$) 和 SRP_{pH=11.8} ($r=0.936$, $P<0.001$) 与 NaOH-P 呈现显著正相关。酸性和碱性条件下, 沉积物的 TP 质量分数将直接影响 SRP 释放量大小, 但有机质的质量分数对 SRP 的释放

表 2 不同 pH 条件下 SRP 与沉积物磷形态及有机质 (OM) 的 Spearman 相关分析

Table 2 Spearman correlation analysis between SRP and phosphorus fractions, as well as organic matter (OM) in sediment under different pH conditions

参数	SRP _{pH=2.0}	SRP _{pH=4.6}	SRP _{pH=9.0}	SRP _{pH=11.8}
HCl-P	0.906**	0.936**	0.818**	0.618*
NaOH-P	0.439	0.664*	0.873**	0.936**
IP	0.728*	0.491	0.318	0.218
OP	0.287	0.583	0.793**	0.820**
TP	0.792**	0.891**	0.964**	0.936**
OM	-0.559	-0.434	-0.416	-0.146

* $P<0.05$, ** $P<0.01$

并无影响。在强酸和强碱环境下, SRP 的释放量分别与 IP 和 OP 显著正相关。

3 讨论

3 个湖泊上覆水 TP 质量浓度以城市为中心呈递减趋势, 东湖最高, 汤逊湖次之, 梁子湖最低; 沉积物中的 TP 质量分数也表现出类似的变化规律, 线性相关性分析显示上覆水中总磷质量浓度与沉积物总磷质量分数显著正相关($r^2=0.52$, $P=0.013$)。沉积物对磷的吸附驱动力来源于上覆水中磷浓度, 当水中磷质量浓度增加时, 磷与沉积物中的钙、铁和铝等金属元素相结合, 从而增加沉积物中各形态磷质量分数。

在磷形态组成上, 东湖沉积物无机磷和有机磷占总磷的比例很接近, 分别为 50.2%和 49.8%; 汤逊湖沉积物总磷中, 无机磷所占比例(22.9%)远低于有机磷(77.1%), 而梁子湖无机磷占总磷比例(56.8%)则略高于有机磷(43.2%)。东湖和汤逊湖沉

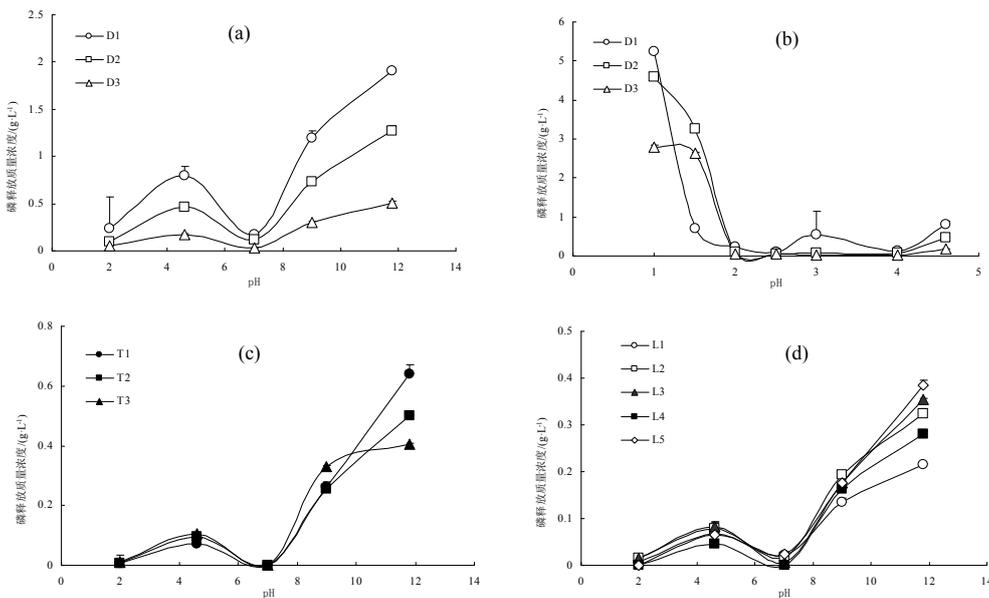


图 3 不同 pH 条件下沉积物磷的释放曲线 (a、b: 东湖; c: 汤逊湖; d: 梁子湖)

Fig. 3 Phosphorus release curves from sediments under different pH condition. (a, b: Donghu Lake; c: Tangxun Lake; d: Liangzi Lake)

积物总磷中, NaOH-P 所占比例(35.1%, 28.9%)均略高于 HCl-P(29.7%, 23.9%), 而梁子湖与之相反。郭志勇等^[13]的研究结果显示, 玄武湖沉积物总磷中, 无机磷所占比例最高, 为 74.6%, 有机磷所占比例最低(25.4%)。太湖梅梁湾沉积物中 NaOH-P 所占比例高于 HCl-P, 而贡湖和东太湖则相反^[11], 由此可知不同湖泊之间磷形态的分布并没有一定的规律性, 湖泊的环境地理分布以及人为因素可能是造成磷形态差异的主要因素。

pH 对磷释放的影响是一个复杂过程。本实验研究中, 在 pH>7 情况下, SRP 的释放随着上覆水中 pH 的增大而呈现上升趋势, 这与金相灿等^[7,11]、李兵等^[18]人研究结果相一致。Jensen 等^[19]调查了丹麦不同湖泊 pH 值与 PO_4^{3-} 含量之间的关系, 也发现部分湖泊高 pH 值明显促进 SRP 的释放。碱性条件下, 沉积物磷的释放主要以离子交换为主, OH⁻ 与沉积物中铁和铝相结合的磷酸根进行竞争性吸附, 从而增加上覆水中磷的浓度^[12,20-21]。pH 在 2.0~7.0 情况下, SRP 的释放量先增大后减小, 表明在 pH=4.6 左右所释放的部分 SRP 又重新被吸附到沉积物上, 使磷的释放规律呈现不对称的“U”型曲线, 这与王颖等^[14]研究结果有相似性。李兵等^[18]的研究也发现, 沉积物 SRP 释放随 pH 变化也并未呈现严格的“U”型, 其中在林庄港 SRP 随 pH 变化与本文研究结果呈现较强相似性。焦念志^[22]研究发现, 钙结合态磷(HCl-P) 释放对 pH 并不敏感。王晓蓉等^[23]认为这有可能是由于其他形态的磷向更稳定、溶解度更小的钙磷转化, 从而使上覆水中 SRP 的质量浓度呈现出先增加后减小的现象。有研究显示其原因也可能是 H⁺ 使矿物表面基团质子化从而有利于磷的吸附, H⁺ 浓度越大其吸附能力越强^[24]。在郭志勇等^[13]研究中也显示在 pH=4.0 的情况下 NaOH-P 的百分率显著升高, 这有可能是水中 H⁺ 的增加, 从而导致水中 Fe³⁺ 和 Al³⁺ 升高, 释放出的 Fe³⁺ 和 Al³⁺ 与 PO_4^{3-} 、 HPO_4^{2-} 和 H_2PO_4^- 结合从而吸附到沉积物上。沉积物在弱酸性条件下 SRP 磷释放原理并没有达成统一见解, 还需做进一步研究。

在 pH 在 1~2 情况下, SRP 释放量随 pH 的增大而迅速下降, 这与前人的研究结果相一致^[7,11]。在强酸性环境中, 沉积物磷的释放主要是以酸溶为主, pH 的降低往往会引起钙磷酸盐及弱吸附磷的释放^[25-26]。从 pH 在 1.0~11.8 来看, SRP 的释放呈现标准的“U”型曲线, 中性 pH 条件下磷的释放量近乎 0 mg·g⁻¹, 这与袁和忠等^[12]和张登峰等^[21]结果一致。

分析不同 pH 条件下 SRP 释放量与磷形态的

相关性, 有利于我们了解上覆水中磷的来源。从表 2 可以看出, 酸性情况下 SRP 与 HCl-P 显著正相关, 碱性情况下, SPP 与 NaOH-P 显著正相关, 而与 IP 相关性较差, 这与潘齐坤等^[27]研究结果相似, 表明在酸性情况下, 主要促进 HCl-P 的释放, 强碱下主要促进 NaOH-P 的释放。因此, 沉积物中磷的释放量取决于外界环境酸碱强度以及沉积物中 HCl-P 和 NaOH-P 所占有的比例和含量。

研磨后的沉积物粒径主要由黏粒和粉粒组成, 两者总和达到 95%以上, 方差分析发现 3 个湖泊所用样品在黏粒和粉粒组成上均没有显著差异($P>0.1$), 表明实验样品的粒径组成不是造成各个湖泊间磷释放差异的原因。在本研究中, 有机质的质量分数与 SRP 的释放无显著相关性, 但易文利^[28]发现有机质的去除可以提高沉积物 SRP 的释放量和释放速率; 金丹越等^[29]也发现沉积物速效磷释放与有机质呈显著正相关关系。

4 结论

(1) 通过比较东湖、汤逊湖和梁子湖等湖泊沉积物总磷、有机磷、无机磷、NaOH-P 和 HCl-P 所占比例可知不同湖泊之间磷形态的分布并没有一定的规律性, 湖泊的地理分布以及人为因素可能是造成磷形态差异的主要因素。

(2) 强酸和强碱情况下均可促进 SRP 的大量释放, 但是当 pH 在 2.0~7.0 情况下, SRP 的释放量却表现出先增大后减小, 可能原因其一是由于其他形态的磷向更稳定、溶解度更小的钙磷转化, 其二是 H⁺ 使矿物表面基团质子化从而有利于磷的吸附, 其三可能是水中 H⁺ 的增加, 从而导致水中 Fe³⁺ 和 Al³⁺ 升高, 释放出的 Fe³⁺ 和 Al³⁺ 与 PO_4^{3-} 、 HPO_4^{2-} 和 H_2PO_4^- 结合从而吸附到沉积物上。沉积物在弱酸性条件下 SRP 磷释放原理并没有达成统一见解, 还需做进一步研究。

(3) 方差分析发现 3 个湖泊所用样品在黏粒和粉粒组成上均没有显著差异($P>0.1$), 表明实验样品的粒径组成不是造成各个湖泊间磷释放差异的原因。在本研究中, 有机质的含量与 SRP 的释放无显著相关性。

参考文献:

- [1] Rochford D J. Studies in Australian estuarine hydrology. I. Introductory and comparative features[J]. Australian journal of marine and freshwater research, 1951, 2: 1-116.
- [2] Xie L Q, Xie P, Tang H J, et al. Enhancement of dissolved phosphorus release from sediment to lake water by *Microcystis* blooms—an enclosure experiment in a hyper-eutrophic, subtropical Chinese lake[J]. Environmental Pollution, 2003, 122: 391-399.
- [3] 张路, 范成新, 王建军, 等. 长江中下游湖泊沉积物氮磷形态与释放风险关系[J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 263-270.
- [4] 王立志, 王国祥, 俞振飞, 等. 苦草(*Vallisneria natans*) 生长期对

- 沉积物磷形态及迁移的影响[J]. 湖泊科学, 2011, 23(5): 753-760.
- [5] 游雪静, 苏玉萍, 詹旋灿. 微生物对杜塘水库沉积物磷释放的影响研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2012, 28(2): 88-93.
- [6] 韩沙沙, 温琰茂. 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, 2004, 23(2): 98-101.
- [7] Jin X C, Wang S R, Pang Y, et al. Phosphorus fractions and the effect of pH on the phosphorus release of the sediments from different trophic areas in Taihu Lake, China[J]. Environmental Pollution, 2006, 139: 288-195.
- [8] 郑苗壮, 卢少勇, 金相灿, 等. 温度对钝化剂抑制滇池底泥磷释放的影响[J]. 环境科学, 2008, 29(9): 2465-2469.
- [9] Wang S R, Jin X C, Bu Q R, et al. Effects of dissolved oxygen supply level on phosphorus release from lake sediments. Elsevier, 2008, 316: 245-252.
- [10] 曹琳, 吉芳英, 林茂, 等. 有机质对三峡库区消落区沉积物磷释放的影响[J]. 环境科学研究, 2011, 24(2): 185-190.
- [11] 金相灿, 王圣瑞, 庞燕. 太湖沉积物磷形态及 pH 值对磷释放的影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(6): 707-711.
- [12] 袁和忠, 沈吉, 刘恩峰, 等. 模拟水体 pH 控制条件下太湖梅梁湾沉积物中磷的释放特征[J]. 湖泊科学, 2009, 21(5): 663-668.
- [13] 郭志勇, 李晓晨, 王超, 等. pH 值对玄武湖沉积物中磷的释放及形态分布的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(3): 873-877.
- [14] 王颖, 沈珍瑶, 呼丽娟, 等. 三峡水库主要支流沉积物的磷吸附/释放特性[J]. 环境科学学报, 2008, 28(8): 1654-1661.
- [15] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范(第二版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [16] 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(第四版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [17] Ruban V, López-Sánchez J F, Pardo P, et al. Harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments-A synthesis of recent works[J]. Fresenius' Journal of Analytical, 2001, 370: 224-228.
- [18] 李兵, 袁旭音, 邓旭. 不同 pH 条件下太湖入湖河道沉积物磷的释放[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(4): 57-62.
- [19] Jensen H S, Andersen F O. Importance of temperature, nitrate, and pH for phosphate release from aerobic sediments of four shallow, eutrophic lakes[J]. Limnology and Oceanography, 1992, 37: 577-589.
- [20] Kim L H, Choi E, Stenstrom M K, et al. Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments[J]. Chemosphere, 2003, 50: 53-61.
- [21] 张登峰, 鹿雯, 王盼盼, 等. 沉积物在不同 pH 水平下的释放与转化规律[J]. 安全与环境学报, 2008, 8(1): 1-5.
- [22] 焦念志. 关于沉积物释磷问题的研究[J]. 海洋湖沼通报, 1989, 2: 80-84.
- [23] 王晓蓉, 华兆哲, 徐菱. 环境条件变化对太湖沉积物磷释放的影响[J]. 环境化学, 1996, 15(1): 15-19.
- [24] 周贤兵, 齐泽民, 杨凯, 等. pH对蒙溪河底泥氮磷释放影响的研究[J]. 内蒙古师范学院学报, 2006, 21(1): 232-234.
- [25] House W A, Denison F H. Factors influencing the measurement of equilibrium phosphate concentrations in river sediments[J]. Water Research, 2000, 34: 1187-1200.
- [26] 黄清辉, 王磊, 王子健. 中国湖泊水域中磷形态转化以及潜在生态效应研究动态[J]. 湖泊科学, 2006, 18(3): 199-206.
- [27] 潘齐坤, 罗专溪, 颜昌宙, 等. 城市滨海湿地表层沉积物磷形态与相关关系分析[J]. 生态环境学报, 2010, 19(9): 2117-2122.
- [28] 易文利. 湖泊沉积物中有机质含量对磷释放的影响[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(26): 6401-6404.
- [29] 金丹越, 王圣瑞, 步青云. 长江中下游浅水湖泊沉积物磷释放动力学[J]. 生态环境, 2007, 16(3): 725-729.

Phosphorus fractions and the influence of pH on the release of phosphorus from sediments in the Donghu Lake, Tangxun Lake and Liangzi Lake

WANG Xinjian¹, WANG Songbo², GENG Hong^{1*}

1. College of Life Science, Key Laboratory for Microorganism and Bio-transformation, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China;

2. College of Chemistry and Materials, South-Central University for Nationalities, Wuhan 430074, China

Abstract: The chemical fractions of phosphorus in sediments of Lakes Donghu, Tangxun and Liangzi were investigated using the Standards Measurements and Testing(SMT) extraction procedure, and the release characteristics of phosphorus under different pH conditions were also compared. The results showed that total phosphorus contents in sediment were highest in Lake Donghu, with an average of $1.232 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, followed by Lake Tangxunhu ($0.762 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) and Lake Langzihu ($0.572 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$). The total phosphorus contents in the overlying water demonstrated a similar variation in three lakes and were significantly correlated with the total phosphorus contents of the sediments. The proportions of inorganic and organic phosphorous in the sediments of Lakes Donghu and Langzi were similar, but the proportion of organic phosphorous was higher than that of inorganic phosphorous in the Lake Tangxun. The phosphorus chemical fractions of sediments in these lakes didn't show a certain regularity, and the major factors may be the geographical distribution of the lakes and human factors. When the pH was from 2.0 to 7.0, the release of soluble reactive phosphorus (SRP) from sediments in the three lakes increased firstly, then decreased. When the pH was from 7.0 to 12.0, the release of SRP showed an increasing trend. Correlation analysis indicated that the release content of SRP was not significantly correlated with the content of organic matter. The variance analysis showed that there was no significant differences in the sediments composition of clay and silt ($P > 0.1$), probably indicating that the different phosphorus release among different lakes was not caused by the particle size of the sample composition. However, correlation analysis indicated that the release content of SRP was significantly correlated with the total phosphorus in sediments, and a marginally significant relationship was found between the HCl extractable phosphorus (HCl-P) content and the release content of SRP under the acid conditions, while an opposite trend was found under the alkaline conditions.

Key words: sediments; total phosphorus; pH; phosphorus release; shallow lakes