

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

夏卓英^{1,2} 陈芳^{1,2} 宋春雷^{1,2} 李建秋¹ 周易勇¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:沉积物磷负荷在湖泊富营养化的发生与恢复过程中具有关键作用,其释放受物理、化学与生物机制调节,而碱性磷酸酶催化有机磷的矿化,故当为促进沉积物磷循环的重要因素。本文讨论了长江中下游部分湖泊沉积物碱性磷酸酶分布及其在磷释放过程中的作用。五里湖疏浚与未疏浚区以及太湖、巢湖、龙感湖、东湖、月湖、龙阳湖、莲花湖等不同湖泊的不同区域表层沉积物碱性磷酸酶活性(APA)明显不同,这种空间异质性与湖泊富营养化程度相联系。此外,APA随沉积物的深度递减,或在中间与较深层次出现峰值,且具明显的季节性。上述事实以及APA对抑制剂的不同响应方式暗示酶存在形态的多样性(同工酶)。苯丙氨酸(Phe)明显提高月湖与五里湖沉积物APA,沉积物与Phe相互作用并静置一天之后,生物可利用性磷(SRP)的释放量明显增加。再者,Phe可抑制月湖沉积物APA,沉积物与Phe相互作用并静置一天之后,SRP释放量无明显变化,溶解有机磷(DOP)的释放量则明显增加。因此,释放的SRP部分来自某些活跃的有机磷的酶促水解,沉积物碱性磷酸酶在内源磷的释放以及富营养化过程中具有重要作用。

关键词:碱性磷酸酶;湖泊沉积物;分布;磷释放;富营养化

中图分类号:X172; X524 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3207(2007)01-

沉积物在湖泊磷代谢过程中具有重要作用,其影响取决于磷的释放趋势,这种内源负荷决定湖泊富营养化的状态以及外源截断后湖泊恢复的迟滞时间^[1]。

内源磷负荷的释放受控于物理、化学与生物等多种因素。德国溪流沉积物磷酸酶通过水解磷酸酯产生自由磷酸盐为沉积物微生物所利用^[2]。印度池塘系统中磷酸酶分解产生生产者可利用的正磷酸盐,总磷酸酶活性与水中的总磷和细菌总数成正比^[3]。Berman发现在未过滤或经灭菌处理的湖水加入磷酸酶并作适时保温后,大量正磷酸盐得以释放;酶解产生的正磷酸盐能满足以色列 Kinneret 湖(基尼烈湖)浮游植物生长的需要^[4]。法国 Nantua 湖正磷酸盐浓度较低,或 N/P 比率接近或超过最佳值时,碱性磷酸酶催化的有机磷分解是浮游植物磷营养的重要来源^[5]。目前国内外研究湖泊沉积物磷

释放的影响因子主要集中在如温度、pH 值、溶解氧、氧化还原电位以及水动力等外界环境条件和生物因子上,而沉积物磷酸酶及其在磷释放过程中的作用研究相对较少。

本文探讨了太湖、巢湖、龙感湖、东湖、莲花湖与龙阳湖不同深度沉积物中碱性磷酸酶活性(APA)的变化趋势及其对不同抑制剂的应答,并描述了经磷酸酶抑制剂处理的沉积物释放磷的过程,这一工作旨在深入揭示沉积物磷酸酶的分布、特征及其在磷循环过程中的作用。

1 材料与方法

1.1 实验湖泊 本研究以长江中下游部分湖泊(太湖、巢湖、龙感湖、月湖、东湖、莲花湖、龙阳湖)沉积物为实验对象。各湖泊及其采样点概况见表 1 和表 2。

收稿日期:2005-01-20;修订日期:2005-06-20

基金项目:中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-SW-12-11-02-02);国家重点基础研究发展计划(2002CB412304);国家“十五”重大科技专项(2002AA601013,2002AA601021)项目资助

作者简介:夏卓英(1981—),女,安徽怀宁人;硕士研究生;E-mail:yingzixy@163.com

通讯作者:周易勇,E-mail:zhouyy@ihb.ac.cn

表 1 实验湖泊概况^[6-8]
Tab. 1 Situations and conditions of the lakes studied

湖名 Lake name	面积 (km ²) Dimension	水深 (m) Water depth	经纬度 Longitude and latitude	地点 Locality
太湖	2338	2.12	119°8′—121°55′E, 30°5′—32°8′N	苏、浙
巢湖	789	2.69	117°16′—117°51′E, 30°33′—31°43′N	安徽
龙感湖	316.2	3.78	115°19′—116°17′E, 29°52′—30°05′N	安徽
月湖	0.66	1.2	114°14′—114°15′E, 30°33′N	湖北武汉
东湖	27.9	2.21	114°23′E, 30°33′N	湖北武汉
莲花湖	0.076	1.0	114°14′—114°15′E, 30°33′N	湖北武汉
龙阳湖	1.800	1.4	114°10′—114°11′E, 30°33′N	湖北武汉

表 2 各湖不同采样点基本情况
Tab. 2 Situations of sampling sites in the lakes studied

采样点 Sampling sites	经纬度 Longitude and latitude	采样点 Sampling site	经纬度 Longitude and latitude
Y1	114°14′32″E, 30°33′48″N	Y11	114°15′12″E, 30°33′42″N
Y2	114°14′28″E, 30°33′43″N	Y12	114°15′13″E, 30°33′38″N
Y3	114°14′32″E, 30°33′45″N	Y13	114°15′09″E, 30°33′35″N
Y4	114°14′39″E, 30°33′43″N	Y14	114°15′19″E, 30°33′29″N
Y5	114°14′42″E, 30°33′46″N	Y15	114°15′20″E, 30°33′42″N
Y6	114°14′49″E, 30°33′45″N	Y16	114°15′18″E, 30°33′36″N
Y7	114°14′51″E, 30°33′42″N	Y17	114°15′14″E, 30°33′32″N
Y8	114°15′04″E, 30°33′46″N	Y18	114°15′13″E, 30°33′29″N
Y9	114°15′05″E, 30°33′47″N	Y19	114°15′26″E, 30°33′35″N
Y10	114°15′05″E, 30°33′32″N	Y20	114°15′23″E, 30°33′29″N
*C1	117°23′48″E, 31°39′53″N	*C2	117°24′24″E, 31°35′48″N
*C3	117°36′13″E, 31°31′55″N	*C4	117°45′01″E, 31°35′30″N
*LG1	116°03′39″E, 29°56′14″N	*LG2	116°07′02″E, 29°56′12″N
L Y1	114°10′27″E, 30°33′51″N	*LG3	116°12′19″E, 29°57′23″N
L Y2	114°10′29″E, 30°33′51.7″N	L Y11	114°11′18.2″E, 30°33′28.2″N
L Y3	114°10′31.7″E, 30°33′39.2″N	L Y12	114°11′15.7″E, 30°33′26.9″N
L Y4	114°10′35″E, 30°33′55″N	L Y13	114°11′24.8″E, 30°33′28.5″N
L Y5	114°10′52.5″E, 30°33′11.4″N	L Y14	114°11′20.8″E, 30°33′26.4″N
L Y6	114°10′55.4″E, 30°33′23.2″N	L Y15	114°11′21.6″E, 30°33′22.0″N
L Y7	114°10′58″E, 30°33′53″N	L Y16	114°11′23.9″E, 30°33′23.9″N
L Y8	114°11′13.4″E, 30°33′30.2″N	L Y17	114°11′27.2″E, 30°33′25.8″N
L Y9	114°11′15″E, 30°33′32.4″N	L Y18	114°11′24.2″E, 30°33′19.8″N
L Y10	114°11′21.2″E, 30°33′32.5″N	L Y19	114°11′21.4″E, 30°33′21.6″N

Y表示月湖,C表示巢湖, LG表示龙感湖, LY表示龙阳湖, 其中 *引自杨顶田等^[9], 月湖和龙阳湖各采样点的经纬度数据来自于底栖生物与分类生态学组。
In the table, Y showed the Lake Yuehu, C showed the Lake Chaohu, LG showed the Lake Longganhu, LY showed the Lake Longyanghu; and the source of * was cited from Yang D T *et al*^[9]. The longitude and latitude data of sampling sites in the Lake Yuehu and the Lake Longyanghu were from Research Group on Taxonomy and Ecology of Benthos.

1.2 样品采集 用彼得森采泥器采集表层沉积物,用内径为 8cm 的不锈钢管状采泥器采集不同深度的沉积物。

1.3 沉积物水界面磷释放实验 称取 50g 沉积物,置于 500mL 具塞广口瓶中,沉积物厚约 1cm,然后分别将含有与未含苯丙氨酸(含有苯丙氨酸 20mmol/L)的蒸馏水加入瓶中,各设置 3 个平行。振荡 30min,静置 12h,弃去上清液,各缓慢加入未作任何处理的湖水 300mL,置于 37℃ 恒温箱中,分别于 1、4、7 d 取上覆水,测定总磷(TP)、溶解有机磷(DOP)与溶解反应性磷(SRP)的浓度。以下加苯丙氨酸的实验组称为实验组,而未加苯丙氨酸的实验组称为对照组。

1.4 沉积物碱性磷酸酶活性(APA)及其动力学参数的测定 以 pNPP 作底物,用 pH 7.6 tris 缓冲液(含有 NaN_3 0.075mol/L)将沉积物制备成匀浆,用纱布过滤,取 2.0mL 过滤匀浆加入离心管,加入底物(6mmol/L),在 37℃ 下保温 1h,加入 2.0mL NaOH (0.5 mol/L) 和 0.5mL CaCl_2 (0.5 mol/L),离心(3000r/min) 10min,取上清液,用分光光度法测定沉积物中的 APA^[10]。

另在 0.5—8mmol/L 范围内取 6 种不同浓度的底物,按分光光度法测定沉积物 APA。据 Michaelis-Menten 方程 $V = V_{\max} \cdot S / (S + K_m)$ 的 Lineweaver-Burk 转换式测算酶最大反应速度($V_{\max}$)和米氏常数(K_m),每一样品做三次重复。

沉积物碱性磷酸酶对抑制剂的应答:在测定沉积物碱性磷酸酶活性的反应体系中加入已知的磷酸酶抑制剂,如半胱氨酸、巯基乙醇和苯丙氨酸,方法是溶解这些抑制剂于缓冲液中,其他步骤同上。

1.5 不同形态磷的测定 取上覆水,经过硫酸钾消解法氧化分解后,测定 TP 浓度。水样立即经 0.45 μm 微孔滤膜过滤,滤液经过硫酸钾消解法氧化分解,测定 DOP,原始滤液用于 SRP 的测定。SRP 的测定,采用钼锑抗分光光度法^[11]。

2 结 果

2.1 湖泊沉积物 APA 的分布

湖泊表层沉积物碱性磷酸酶表现出明显的空间异质性,龙阳湖 LY12 点 APA 最高,而 LY16 点 APA 最低(图 1(a));莲花湖 LH3 点 APA 最高,而 LH5 点 APA 最低(图 1(b))。

沉积物 APA 一般随深度递减,这种现象在龙阳湖(图 2(a))与莲花湖(图 2(b))均有体现。此外,APA 的峰值亦可在沉积物的中间或较深层次出现(图 2(a),2(b))。

沉积物 APA 具有明显的季节变化趋势。2004 年 2 月、4 月、6 月与 9 月,五里湖表层沉积物 APA 逐渐升高。其空间变异亦与季节有关,4 月和 6 月 W3 点 APA 最高;而 2 月和 9 月, W4 点 APA 最高(图 3)。

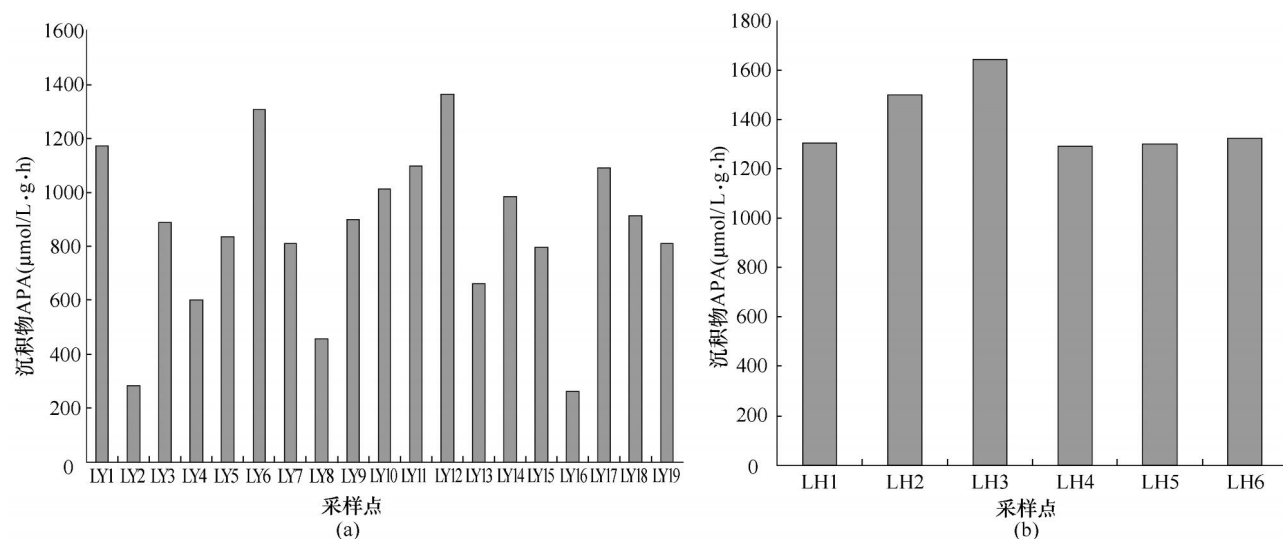


图 1 龙阳湖(a)和莲花湖(b)表层沉积物 APA 的分布

Fig. 1 Distribution of APA in surface sediment of the Lake Longyanghu (a) and the Lake Lianhuahu (b)

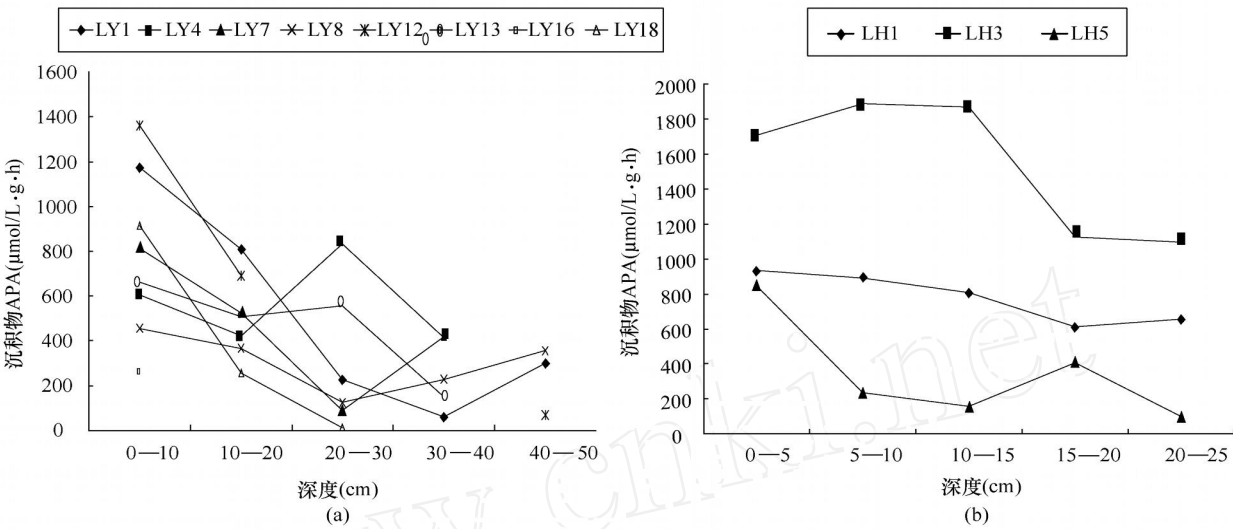


图 2 龙阳湖(a)与莲花湖(b)不同采样点沉积物 APA 的垂直分布
Fig. 2 Vertical distribution of APA in sediments of at different sites in the Lake Longyanghu (a) and the Lake Lianhuahu (b)

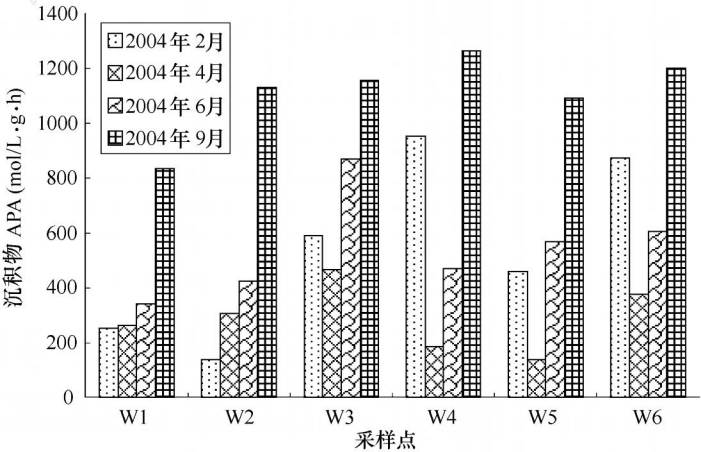


图 3 五里湖表层沉积物 APA 的空间与季节变化
Fig. 3 Spatial and seasonal variations in APA in surface sediments of the Lake Wuliuhu

2.2 湖泊沉积物碱性磷酸酶对抑制剂的应答
在不同浓度半胱氨酸的作用下,东湖沉积物碱

性磷酸酶的 V_{max} 值均显著升高;而在不同浓度巯基乙醇的作用下, V_{max} 值均明显降低(图 4)。

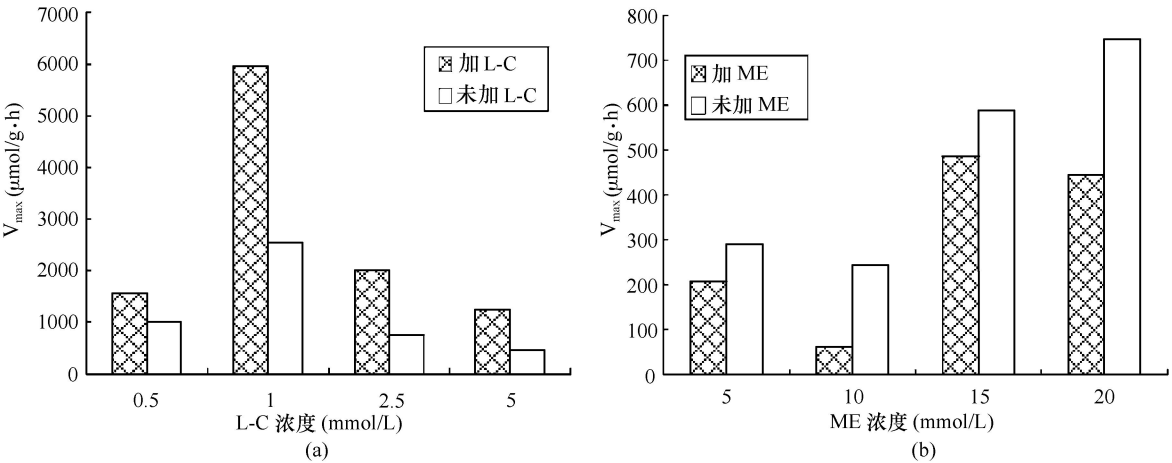


图 4 不同浓度半胱氨酸与巯基乙醇对东湖表层沉积物碱性磷酸酶 V_{max} 值的影响
Fig. 4 Effects of Cys and ME with different concentrations on the V_{max} values of alkaline phosphatase in surface sediments of the Lake Donghu

相反,在半胱氨酸的作用下,除 T1 和 T4 点外,太湖、巢湖、龙感湖沉积物碱性磷酸酶的 $V_{\max}$ 值明显降低。而在巯基乙醇的作用下,上述三湖各点酶的 $V_{\max}$ 值均有不同程度的升高(图 5),这些结果与东湖沉积物碱性磷酸酶对同种试剂的应答方式明显不

同。此外,沉积物 APA 对同种抑制剂的应答方式因季节而异,2004 年 2 月和 4 月,在苯丙氨酸的作用下,五里湖各点沉积物 APA 均被苯丙氨酸抑制,而 6 月和 9 月,则因苯丙氨酸的作用不同程度地升高(图 6)。

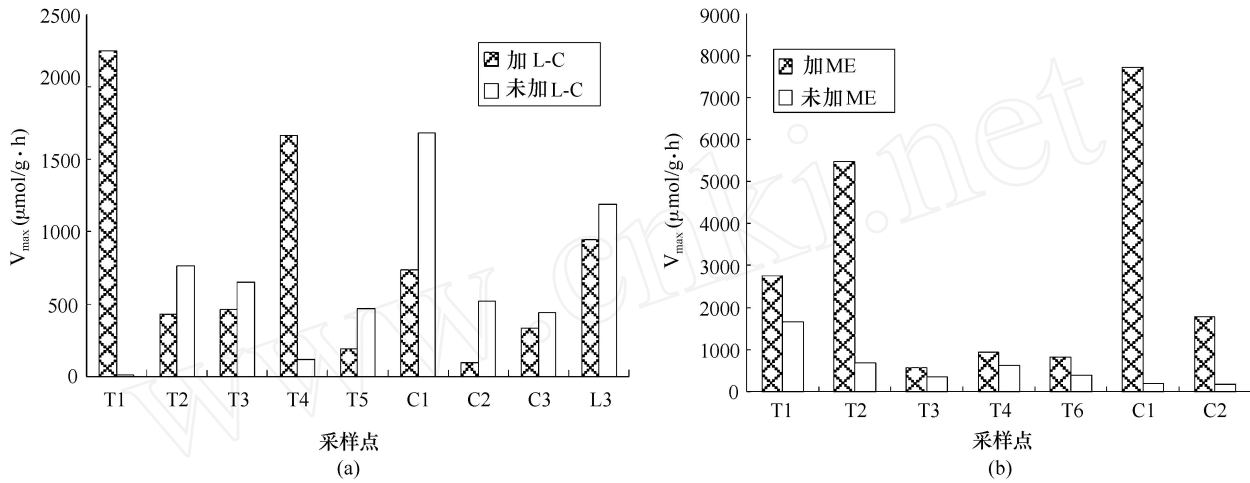


图 5 半胱氨酸(5mmol/L)与巯基乙醇(20mmol/L)对不同湖泊表层沉积物碱性磷酸酶 $V_{\max}$ 值的影响

Fig. 5 Effects of L-Cys(5mmol/L) and ME(20mmol/L) on the $V_{\max}$ values of alkaline phosphatase in surface sediments of different lakes

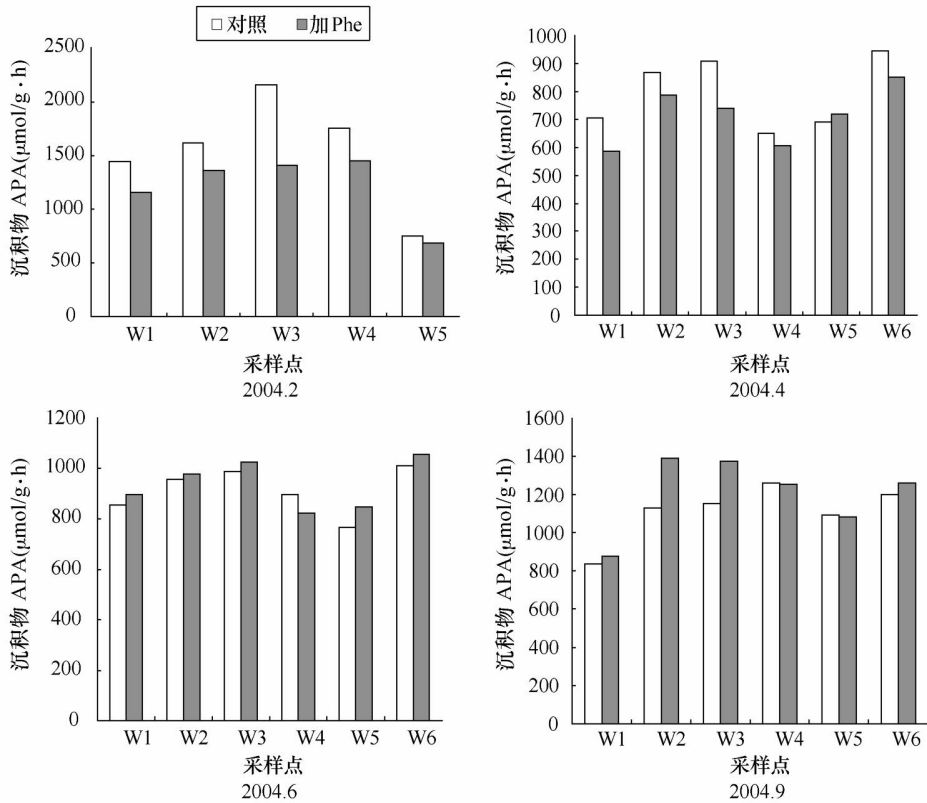


图 6 苯丙氨酸(20mmol/L)对五里湖不同采样点表层沉积物 APA 的影响

Fig. 6 Effects of Phe(20mmol/L) on the APA in surface sediments at different sites in the Lake Wuli

2.3 碱性磷酸酶对湖泊沉积物磷释放的影响

由表 3 可知,在苯丙氨酸的作用下,Y4 点沉积物 APA 明显降低($P < 0.05$),而 Y9 点沉积物 APA 明显升高($P < 0.05$)。这一结果再度表现出碱性磷酸酶对抑制剂应答方式的异质性。

Y4 与 Y9 点沉积物磷释放实验的结果如图 7 所示。一天之后,Y9 点上覆水中的 SRP 浓度明显高于对照值($P < 0.05$),DOP 浓度则与对照值无明显差异,而 Y4 点上覆水中的 SRP 浓度与对照值之间无明显差异,DOP 浓度则明显高于对照值。

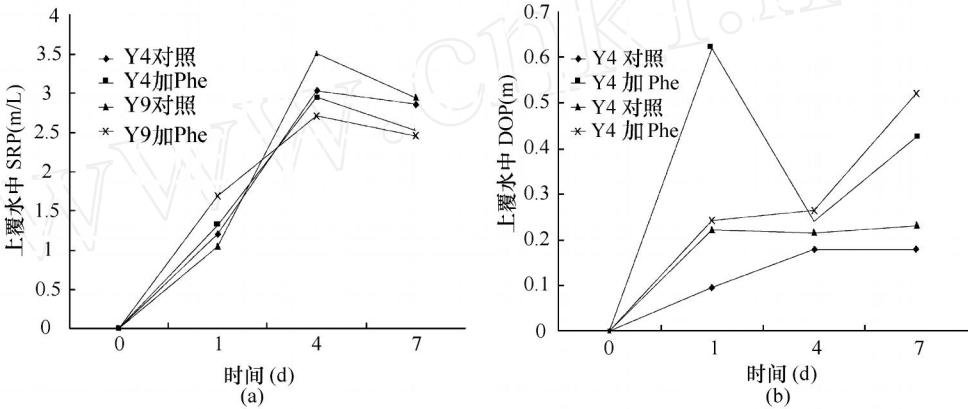


图 7 苯丙氨酸对月湖不同采样点沉积物 SRP(a)与 DOP(b)释放过程的影响

Fig. 7 Effects of Phe on the releasing course of SRP (a) and DOP (b) from the sediments at different sites in the Lake Yuehu

如表 4 所示,在苯丙氨酸的作用下,W3 与 W2 点沉积物 APA 明显升高($P < 0.05$),W1 与 W4 点沉积物 APA 无明显变化。

表 4 五里湖不同采样点沉积物碱性磷酸酶对苯丙氨酸的应答
Tab. 4 Responding modes of APA in sediments at different sites in the Lake Wulihu to Phe

采样点 Sampling sites	碱性磷酸酶活性($\mu\text{mol/L g h}$) Alkaline phosphatase activity	
	对照 Control	加 Phe (20mmol/L) Phe addition (20mmol/L)
W1	835.005 $\pm$ 40.160	875.538 $\pm$ 64.297
W2	1129.695 $\pm$ 59.896	1388.443 $\pm$ 59.179
W3	1155.417 $\pm$ 37.070	1449.238 $\pm$ 20.105
W4	1262.010 $\pm$ 11.317	1253.663 $\pm$ 11.547

上述四点沉积物磷释放实验的结果如图 8 所示。在实验过程中 W2 与 W3 点上覆水中的 SRP 浓度明显高于对照值($P < 0.05$),而 W1 和 W4 点上覆水中的 SRP 浓度一般与对照值无明显差异。

3 讨论

3.1 湖泊沉积物碱性磷酸酶分布的异质性

在同一湖泊中,污染较重的区域沉积物 APA 较

表 3 月湖沉积物碱性磷酸酶对苯丙氨酸的应答

Tab. 3 Effects of Phe on Alkaline Phosphatase in sediment of the Lake Yuehu

采样点 Sampling sites	碱性磷酸酶活性($\mu\text{mol/L g h}$) Alkaline phosphatase activity	
	对照 Control	加 Phe (20mmol/L) Phe addition (20mmol/L)
Y4	1797.95 $\pm$ 88.55	1465.73 $\pm$ 186.26
Y9	2020.60 $\pm$ 280.61	2429.42 $\pm$ 40.64

高。未疏浚湖区(LH1、LH2、LH3、LH4 与 W3 点)表层沉积物 APA 亦明显高于同湖疏浚区的相应值(图 1、图 3)。Mandovi 河口不同采样点沉积物 APA 差异显著^[12],淡水沉积物 APA 的差异与沉积物的空间差异相关^[13]。水解酶活性随富营养化程度的加剧而升高^[14]。英国 16 个富营养湖泊水体中碱性磷酸酶的活性与富营养化程度正相关^[15]。此外,在垂直方向上,APA 一般在表层表现最大值,且随深度递减^[16,17],而龙阳湖与莲花湖某些采样点,较深层次的沉积物具有明显较高的 APA(图 2)。这一结果说明磷循环的活跃区域并非仅限于表层。类似的结果亦在东湖出现^[18]。再者,五里湖表层沉积物 APA 表现出明显的季节变化趋势,2004 年 4 月、6 月、9 月,该湖 APA 逐渐升高(图 3)。Venice 礁湖沉积物 APA 与温度有关^[19]。Kinneret 湖沉积物 APA 的最大值在 7 月出现^[20]。东湖沉积物 APA 的动力学参数 V_{max} 值在夏季增加^[21]。

总之,沉积物碱性磷酸酶在时间、空间与垂直方向上的分布上均具明显的异质性,这种非均一的分布与湖泊富营养化程度密切相关。

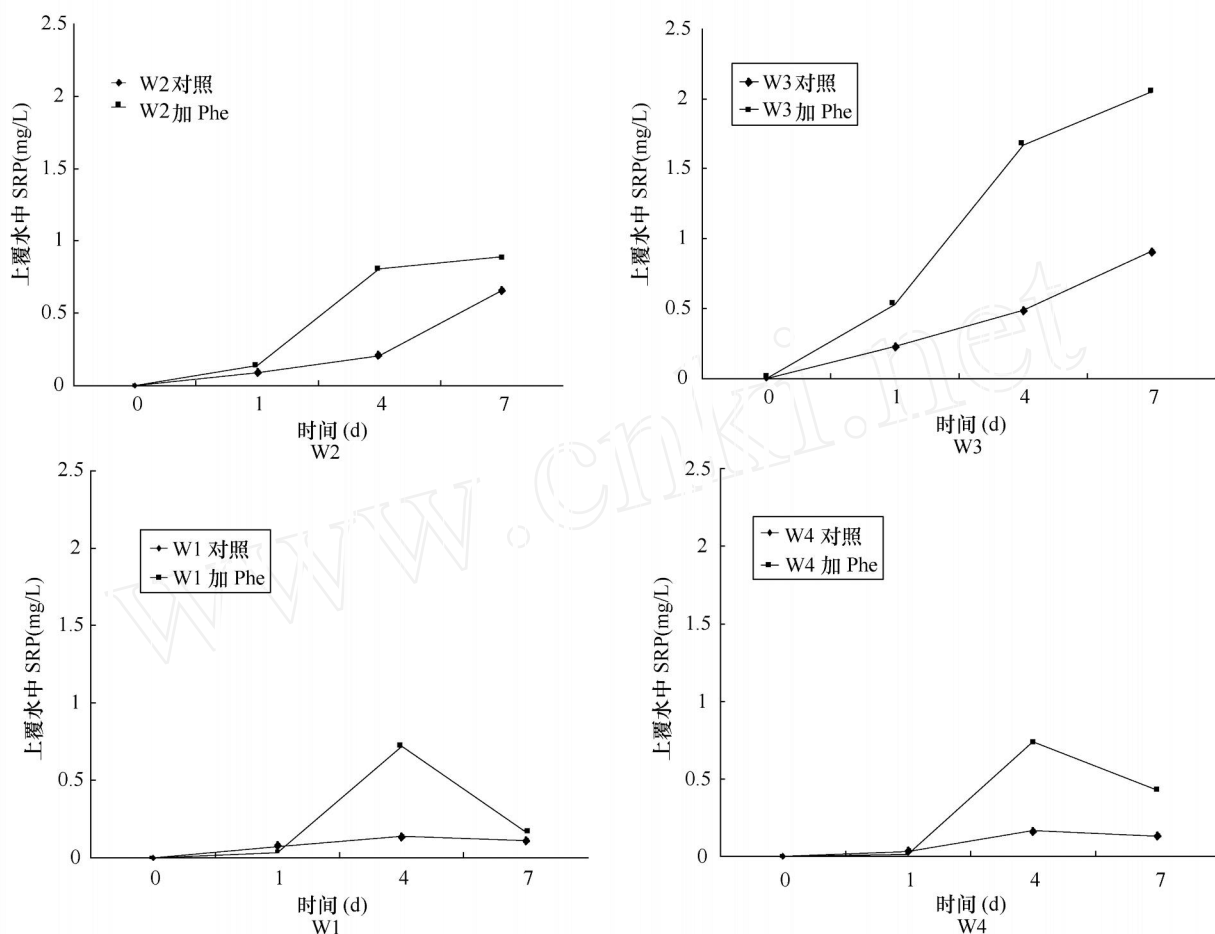


图8 苯丙氨酸对五里湖不同采样点沉积物 SRP 释放过程的影响

Fig. 8 Effects of Phe on the releasing course of SRP from the sediments at different sites in the Lake Wuli

3.2 沉积物碱性磷酸酶对抑制剂的应答

半胱氨酸对太湖不同采样点以及不同湖泊沉积物 APA 的效应明显不同, 巯基乙醇对不同湖泊沉积物 APA 有明显不同的作用方式(图 4、图 5)。此外, 五里湖不同采样点表层沉积物碱性磷酸酶对苯丙氨酸的响应方式明显因季节而异(图 6)。实验证明, 细菌 *Citrobacter* sp. 酸性磷酸酶的两种同工酶对金属离子抑制的灵敏性具有细微的差异^[22]; 苯丙氨酸与色氨酸等对海洋动物碱性磷酸酶的抑制效果取决于动物种类与组织类型, 而组织类型又决定同工酶的模式^[23]。 *Escherichia coli* 碱性磷酸酶的同工酶具有较为复杂的钝化机制^[24]。因此, 湖泊表层沉积物碱性磷酸酶可能以多种形态存在(同工酶), 它们将在不同的环境与季节适应性地发挥催化磷循环的重要作用。

3.3 沉积物碱性磷酸酶对内源磷释放过程的影响

苯丙氨酸可提高月湖与五里湖某些采样点沉积

物 APA(表 3、表 4), 且增加其 SRP 向上覆水的释放量(图 7、图 8), 而在苯丙氨酸的作用下, APA 被抑制(Y4 点)或未受影响(W1、W4 点)时, 沉积物 SRP 的释放量并无明显改变。简言之, 调节 APA 的效应能在 SRP 的释放量上得到直接体现。摩洛哥水库沉积物水界面各种磷的溶解释放不仅源于低溶解氧与 pH 值, 细菌分泌的磷酸酶在释放过程中亦有重要作用^[25]。Feuillade 等^[26]指出若干水解酶(含碱性磷酸酶)能从沉积物中释放 SRP。另一方面, 丹麦的 Sqbygaard 湖夏季藻类的沉积导致底质有机磷大量增加, 温度的升高可能加速有机磷的分解和释放^[27]。APA 被苯丙氨酸抑制的沉积物向上覆水释放的 DOP 明显增加, 相反的趋势则在 Y9 点明显可见, 这些结果进一步显示 SRP 与 DOP 之间的对应关系, 即 SRP 的释放来自沉积物中某些活跃的有机磷的酶促分解。Y9 点 SRP 释放量仅在一天之后明显增加, 故磷酸酶的作用可能在释放早期(SRP 浓度相

对较低时)较为重要。SRP 释放的模拟在 37 与相对厌氧的环境中进行,这种条件有利于东湖 SRP 的释放^[28]。不断增加的 SRP 将通过“抑制-诱导机制”(Repression-Derepression Mechanism)^[29,30]降低 APA,进而减弱其驱动内源磷循环的功能。美国的 Apopka 湖(阿波普卡湖)沉积物在厌氧条件下,酶活性受到抑制,而相对稳定的磷含量则较高^[31]。

上述结果从不同侧面反映出沉积物磷酸酶在湖泊磷循环过程中的重要作用。

致谢:

本所曹秀云、彭亮、郭亚新、陈国元等同学参加了部分采样与实验工作,实验过程中得到了李清曼老师的指导,采样工作得到中国科学院东湖湖泊生态系统试验站与太湖湖泊生态系统试验站的帮助,谨此致谢。

参考文献:

- [1] Pettersson K. Mechanisms for internal loading of phosphorus in lakes [J]. *Hydrobiologia*, 1998, **373—374**(1—3): 21—25
- [2] Marxsen J, Schmidt H H. Extracellular phosphatase activity in sediments of the Breitenbach, a Central European mountain stream [J]. *Hydrobiologia*, 1993, **253**(1—3): 207—216
- [3] Barik S K, Purushothaman C S, Mohanty A N. Phosphatase activity with reference to bacteria and phosphorus in tropical freshwater aquaculture pond systems [J]. *Aquaculture Research*, 2001, **32**(10): 819—832
- [4] Berman T. Alkaline phosphatase and phosphorus availability in Lake Kinneret [J]. *Limnol. Oceanogr*, 1970, **15**: 663—674
- [5] Feuillade J, Feuillade M, Blanc P. Alkaline phosphatase activity fluctuations and associated factors in a eutrophic lake dominated by *Oscillatoria rubescens* [J]. *Hydrobiologia*, 1990, **207**: 233—240
- [6] Yang X D, Shen J, Xia W L, Zhu Y X. Diatom assemblages in sediment and dynamic process of trophic evolution from Longgan lake, east china [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2002, **41**(3): 455—460 [杨向东, 沈吉, 夏威兰, 朱育新. 龙感湖近代沉积硅藻组合与营养演化的动态过程. 古生物学报, 2002, **41**(3): 455—460]
- [7] Jin X C, Liu H L, Tu Q Y. Eutrophication on lakes in China [M]. Beijing: Environmental Sciences of China Press. 1990, 127 [金相灿, 刘鸿亮, 屠清瑛. 中国湖泊富营养化. 北京: 中国环境科学出版社. 1990, 127]
- [8] Huang Y P, Fan C X. Water quality environment and pollution control in Lake Taihu [M]. Beijing: Science Press. 2001, 58 [黄滢平, 范成新. 太湖水环境及其污染控制. 北京: 科学出版社. 2001, 58]
- [9] Yang X T, Chen W M, Wu S C, Zhu G W, Zhang Y L, Cao W X. The effects of CDOC on the attenuation of close ultraviolet and blue light in Chaohu lake and Longgan lake [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2003, **15**(3): 269—274 [杨顶田, 陈伟民, 吴生才, 朱广伟, 张运林, 曹文熙. 湖泊中有色可溶性物质对近紫外及蓝光衰减的影响. 湖泊科学, 2003, **15**(3): 269—274]
- [10] Sakadevan K, Bavor H J. Nutrient removal mechanisms in constructed wetlands and sustainable water management [J]. *Water Science Technology*, 1999, **40**(2): 121—128
- [11] State Environmental Protection Administration of China, The methods for monitoring on water and waste water [M]. Beijing: Environmental Sciences of China Press. 1998, 215 [国家环保局, 水和废水监测方法(第三版). 北京: 中国环境出版社. 1998, 215]
- [12] Silva C D, Bhosle N B. Phosphorus availability and phosphatase activity in the sediments of the Mandovi estuary, Goa [J]. *Indian Journal of Marine Sciences*, 1990, **19**: 143—144
- [13] Saylor G, Puziss S M, Silver M. Alkaline phosphatase assay for freshwater sediments: Application to perturbed sediment system [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1979, **38**: 922—927
- [14] Koester M, Dahlke S, Meyer-Reil L A. Microbiological studies along a gradient of eutrophication in a shallow coastal inlet in the southern Baltic Sea (Nordruegensche Bodden) [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1997, **152**(1—3): 27—39
- [15] Tage N, Kobori H. Phosphatase activity in eutrophic Tokyo Bay [J]. *Marine Biology*, 1978, **49**: 223—229
- [16] Sinke A J C, Cornelese A A, Capenberg T E. Phosphatase activity in sediment of the Loosdrecht lakes [J]. *Verh International Verein Limnology*, 1991, **24**: 719—721
- [17] Newman S, Reddy K. Sediment resuspension effects on alkaline phosphatase activity [J]. *Hydrobiologia*, 1992, **245**: 74—86
- [18] Zhou Y Y, Li J Q, Zhang M. Vertical variations in kinetics of alkaline phosphatase and P species in sediments of a shallow Chinese eutrophic lake (Lake Donghu) [J]. *Hydrobiologia*, 2001, **450**: 91—98
- [19] Sabil N, Tagliapietra D, Coletti-Previero M A. Insoluble biodegradative potential of the Venice lagoon [J]. *Environmental Technology*, 1993, **14**(11): 1089—1095
- [20] Hadas O, Pinkas R. Arylsulfatase and alkaline phosphatases (APase) activity in sediments of Lake Kinneret, Israel [J]. *Water Air & Soil Pollution*, 1997, **99**(1—4): 671—679
- [21] Zhou Y Y, Li J Q, Zhang M. Temporal and spatial variations in kinetics of alkaline phosphatase in sediments of a shallow Chinese eutrophic lake (Lake Donghu) [J]. *Water Research*, 2002, **36**(8): 2084—2090
- [22] Jeong B C, Macaskie L E. PhoN-type acid phosphatase of a heavy metal-accumulating *Citrobacter* sp.: resistance to heavy metals and affinity towards phosphomonoester substrates [J]. *Fems Microbiology Letters*, 1995, **130**(2—3): 211—214
- [23] Abe H, Gotoh S. Tissue and Species-Specificity of Alkaline Phosphatase in Marine Animals [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1981, **47**(2): 267—273
- [24] Poltorak O M, Chukhray E S, Kozlenkov A A, Chaplin M F, Trevan M D. The putative common mechanism for inactivation of alkaline phosphatase isoenzymes [J]. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 1999, **7**(1—4): 57—163
- [25] Alaoui M B, Raoui S M, Alaoui M M, Derraz K. Bacterial alkaline phosphatase activity at the water sediment interface in the Sahara reservoir [J]. *Journal of Water Science*, 2003, **16**(3): 305—316
- [26] Feuillade M, Dorioz J M. Enzymatic release of phosphate in sediments of various origins [J]. *Water Research*, 1992, **26**(9): 1195—1201

- [27] Sndergaard M. Phosphorus release from a hypertrophic lake sediment: Experiment with intact sediment cores in a continuous flow system [J]. *Arch. Hydrobiol*, 1989, **116**(1): 45—59
- [28] Sui S F, Luo Q F. Release character of phosphorus from the sediments of East lake in Wuhan [J]. *Environmental Science*, 2001, **22**(1): 102—105 [隋少峰, 罗启芳. 武汉东湖底泥释磷特点. 环境科学, 2001, **22**(1): 102—105]
- [29] Husaini Y, Rai L C. Studies on nitrogen and phosphorus metabolism and the photosynthetic electron transport system of *Nostoc linckia* under cadmium stress [J]. *Journal of Plant Physiology*, 1991, **138**(4): 429—435
- [30] Chrost R J. Significance of bacterial ectoenzymes in aquatic environments [J]. *Hydrobiologia*, 1992, **243—244**: 61—70
- [31] Newman S, Reddy K R. Alkaline phosphatase activity in the sediment-water column of a hypereutrophic lake [J]. *Journal of Environmental Quality*, 1993, **22**: 832—838

A STUDY ON DISTRIBUTION AND ROLES OF AL KALINE PHOSPHATASE IN SEDIMENTS OF SOME LAKES IN THE MIDDLE AND LOWER REACHES OF THE YANGTZE RIVER

XIA Zhuo-Ying^{1,2}, CHEN Fang^{1,2}, SONG Chur-Lei^{1,2}, LI Jiar-Qiu¹ and ZHOU Yi-Yong¹

(1. Institute of Hydrobiology, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

Abstract : Phosphorus loadings in sediments play an important role in lake eutrophication and the progress of its recovery. The Phosphorus release is controlled by physical, chemical and biological mechanisms. Alkaline phosphatase catalyzes remineralization of organic phosphorus and then it may be an important factor accelerating Phosphorus cycling in sediments. In this paper, we discussed distributions and roles in the phosphorus release of alkaline phosphatase in sediments of some lakes in the middle and lower reaches of the Yangtze River. Alkaline phosphatase activity (APA) in surface sediments in the dredged and undredged zones of the Lake WuliHu and the different areas of the Lake Taihu, Chaohu, Longganhu, Donghu, Yuehu, Longyanghu and the Lianhuahu are quite different. The spatial heterogeneity is related to the degree of eutrophication. Moreover, APA decreased with the sediment depth and may peak in the intermediate and deeper layers showing a seasonal variation. The enzyme differently responded to its inhibitors. All the facts implied that the enzyme occurred in various forms (isoenzymes). L-Phenylalanine (Phe) enhanced APA in the sediments of the Lake WuliHu and the Lake Yuehu. Reacted with Phe and incubated for one day, the sediments released the bioavailable phosphate (SRP) with significantly higher concentration, while it inhibited APA, in the sediments of the Lake Yuehu. Reacted with Phe and incubated for one day, the sediments released significantly larger amounts of dissolved organic phosphorus, without increasing the SRP concentration. Hence, the SRP released resulted, at least partially, from the hydrolysis of some liable organic phosphorus mediated by APA. Alkaline phosphatase in lake sediments plays an important role in the release of internal P loadings and eutrophication.

Key words : Alkaline phosphatase; Lake sediments; Distribution; Phosphorus release; Eutrophication