

东湖溶解态磷酸酶的活性、动力学特征及其空间分布*

周易勇 李建秋 陈旭东 张玉敏**

(中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

摘要 湖泊中酶的活性是具有监测意义的生物化学参数. 不同季节东湖纳污点的溶解态碱性磷酸酶活性(APA_{Diss})显著高于湖区水样中的相应值. 在纳污点和湖区, APA_{Diss} 与溶解正磷酸盐浓度的关系不尽一致. 与表层水相比, 富营养型湖区沉积物间隙水中的 APA_{Diss} 及其动力学参数均明显不同. 郭郑湖区表层水 APA_{Diss} 的非均一性空间分布是不同来源且具不同动力学特征的酶循不同的反应机制共同作用的结果, 它反应了湖泊污染程度、营养水平以及有机物质转化效率的概况.

关键词 东湖, 溶解态磷酸酶, 动力学, 特征, 空间分布.

磷常为湖泊生产力的第一限制性营养元素, 而浮游植物所能直接利用的磷的形式是无机态的正磷酸盐, 其含量往往不足湖水总磷浓度的5%^[3]. 浮游植物或细菌胞外的以及溶解态磷酸酶能催化磷酸酯类化合物水解产生正磷酸盐^[4], 故湖泊^[5,6]与河流^[7]中磷酸酶的活性可作为量度水生态系统磷营养状况和生物量的适宜指标^[6]. 在我国, 关于淡水水体酶学的研究报道极少^[1]. 国外关于溶解态磷酸酶的研究亦多注重于其活性在总体活性中的相对比例. 本文讨论了武汉东湖不同湖区溶解态磷酸酶的活性、动力学特征及其空间分布, 以期从生物化学的角度探讨湖泊磷循环的规律, 为建立水环境监测的酶学指标体系提供基础性数据.

1 材料与方法

(1) 采样 位于武汉东郊的东湖(114°23'E, 30°33'N)是长江中下游的中型浅水湖泊, 其总面积为27.9km², 平均水深为2.21m, 最大深度为4.75m. 该湖长年水位稳定, 目前已被人为地分隔为面积不等的若干湖区. 工业废水和生活污水的大量排放以及不合理的水产养殖致使东湖的富营养化程度日趋严重.

1991-01、1991-09和1992-05在东湖各个湖区以及沿岸集中接纳污水的位点采集表层水(0.5m), 采样点的分布见图1(纳污点编号前加

P以示区别).

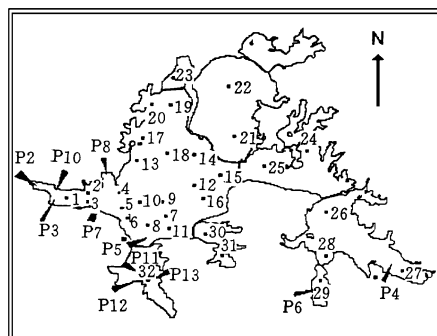


图1 东湖采样点分布情况

1—20: 郭郑湖 21—22: 汤林湖 23: 筲箕斗 24—25: 牛巢湖 26—28: 后湖 29: 喻家湖 30—31: 菱角湖, 庙湖

(2) 测定 用孔径为0.45μm的滤膜过滤水样, 取滤液测定溶解正磷酸盐(SRP)浓度和溶解态碱性磷酸酶活性(APA_{Diss}). 用Murphy和Riley建立的方法测定SRP的浓度^[8], 用对-硝基苯磷酸二钠盐(pNPP)作底物(最终浓度为0.3mmol/l)循分光光度法测定 APA_{Diss} ^[9].

沉积物间隙水与表层水中 APA_{Diss} 动力学

* 国家自然科学基金、淡水生态与生物技术国家重点实验室基金以及中国科学院“留学经费择优支持”基金资助项目

** 现在黑龙江省桦南县环境保护局工作

收稿日期: 1997-01-09

特征 的 比较 研究 在 1996-10 进 行. 在 郭 郑 湖 区 (采 样 点 1) 采 表 层 水, 用 离 心 法 (3000r/min) 制 备 间 隙 水^[10]. 在 0.01—1.8mmol 的 范 围 内 取 8 种 不 同 浓 度 的 底 物 按 上 文 述 及 的 方 法 测 定 过 滤 表 层 水 和 间 隙 水 中 的 APA_{Diss} , 取 3 次 测 试 的 平 均 值 并 根 据 Michaelis-Menten 方 程 的 Lineweaver-Burk 转 换 式 测 算 APA_{Diss} 的 最 大 反 应 速 度 (v_{max}) 和 米 氏 常 数 (K_m).

2 结果

(1) 纳 污 点 与 湖 区 APA_{Diss} 之 比 较 在 不 同 的 季 节, 沿 岸 集 中 接 纳 污 水 的 位 点 APA_{Diss} 均 明 显 高 于 湖 区 水 样 中 同 类 酶 的 活 性 (图 2). 1991-01、1991-09 和 1992-05 纳 污 点 APA_{Diss} 的 平 均 值 分 别 为 176.78、130.92 和 543.97, 而 湖 区 同 期 APA_{Diss} 的 平 均 值 则 分 别 为 9.71、22.98 和 209.63. 各 组 数 据 之 间 差 异 显 著 ($P < 0.05$).

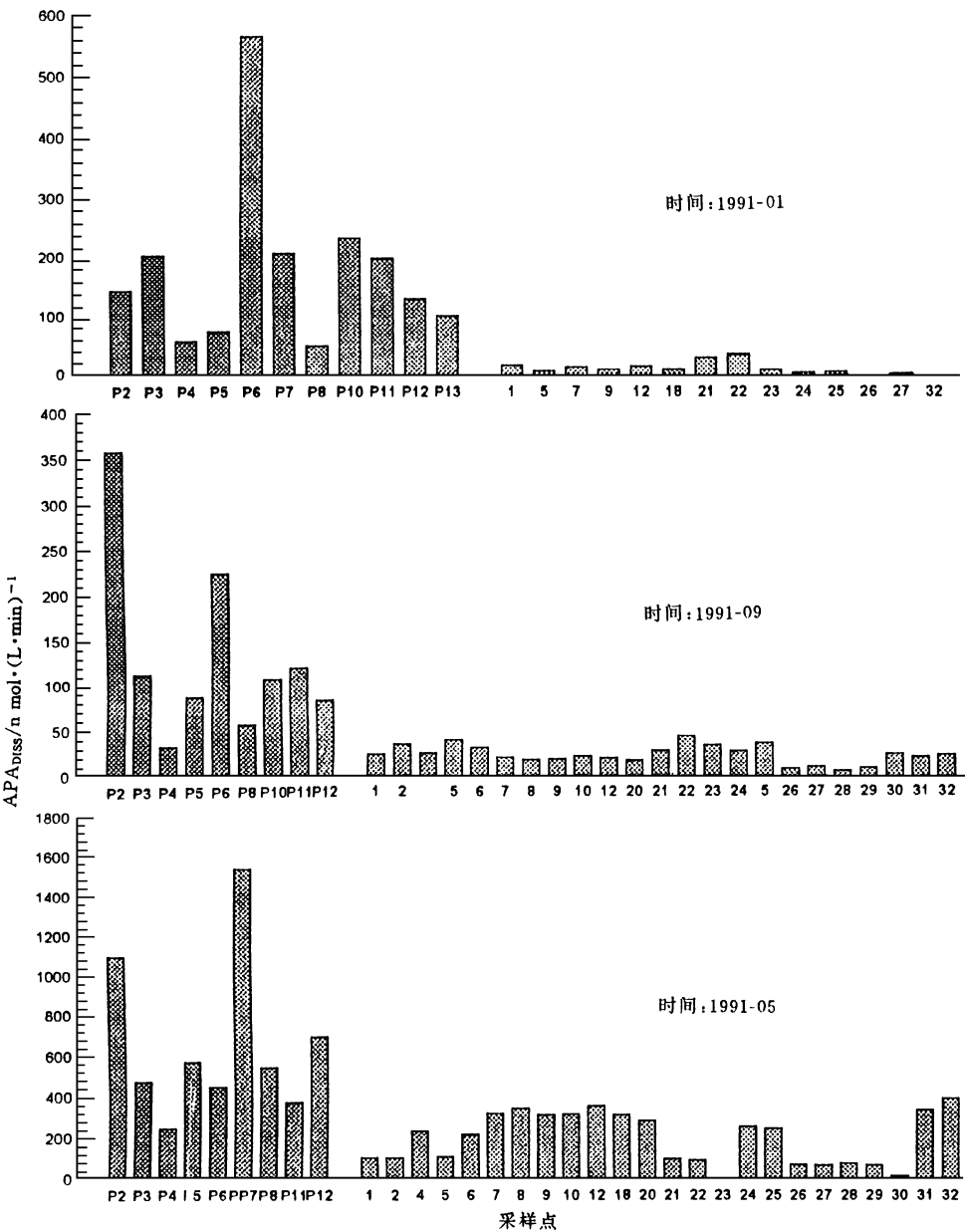


图2 不同季节东湖不同区域表层水溶解态磷酸酶活性的分布

(2) 水柱中 APA_{Diss} 的垂直分布 如表1所示,郭郑湖区(采样点1和12)沉积物间隙水中 APA_{Diss} 明显高于表层水样中的相应值,而在汤林湖区(采样点22)则未见类似的垂直方向上 APA_{Diss} 的显著差异($P < 0.05$).

表1 郭郑湖和汤林湖区沉积物间隙水与表层水中 APA_{Diss} 的差异

| 采样点 | 间隙水 APA_{Diss} (1SE.) | 表层水 APA_{Diss} (1SE.) |
|------------|-------------------------|-------------------------|
| 郭郑湖 No. 1 | 38.55(0.62) | 19.81(0.99) |
| 郭郑湖 No. 12 | 28.60(0.38) | 22.78(0.43) |
| 汤林湖 No. 22 | 20.41(0.26) | 19.13(0.10) |

(3) APA_{Diss} 与 SRP 浓度之间的关系 夏季(1992-05),在纳污点与湖区, APA_{Diss} 与 SRP 之间的关系不尽相同. 纳污点酶的活性与 SRP 呈正相关趋势(图3). 而在湖区,酶活性与 SRP 之间表现出双曲线型的负相关关系,即 SRP 较高时,酶的活性较低,反之亦然(图3).

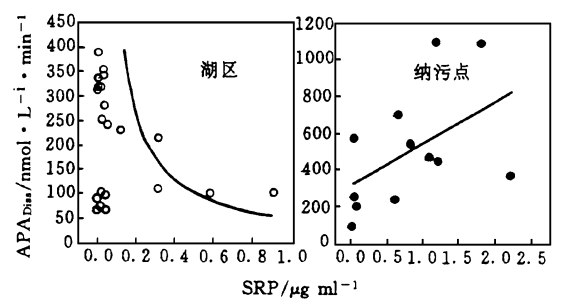


图3 东湖溶解态磷酸酶活性与正磷酸盐浓度的关系

(4) 沉积物间隙水和表层水中 APA_{Diss} 动力学特征的比较 根据酶的活性与底物浓度的关系可以推算酶的动力学常数. 从形如图4的 Lineweaver-Burk 关系(双倒数图)可知,沉积物间隙水和表层水中酶的最大反应速度(v_{max})相近(两条直线在纵轴上的截距相似),其值分别为10.58和12.60,彼此间并无显著差异. 而2条直线在横轴上的截距迥然相异,即酶的米氏常数(K_m)分别为21.47和134.71,间隙水中酶的 K_m 值明显较低(图4).

(5) 郭郑湖区表层水中的 APA_{Diss} 的空间分布 1995-05在郭郑湖布设20个位点(No. 1—20)采样测试表层水中的 APA_{Diss} ,另据方差分析将活性无显著差异的位点连成等酶区域,由

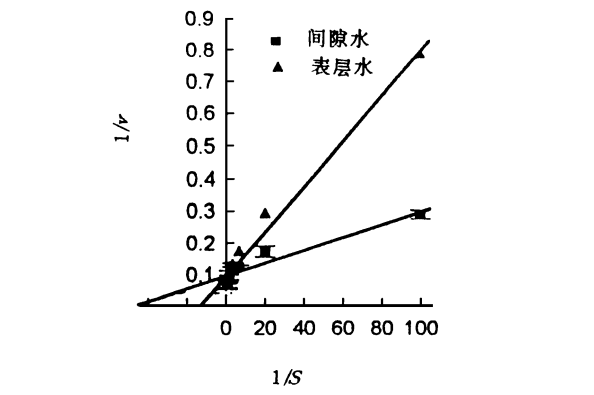


图4 郭郑湖区表层水与沉积物间隙水中溶解态磷酸酶动力学测试的比较 (Lineweaver-Burk 图,即用反应速度 v 的倒数对底物浓度 S 的倒数作图. v 的单位为 $nmol \cdot L^{-1} \cdot min^{-1}$; S 的单位为 $\mu mol \cdot L^{-1}$)

此可作出湖区 APA_{Diss} 的空间分布图(图5). 郭郑湖西南部酶的活性较高,这种状况可能与该区域相对密集的污水排放和较高浓度的沉积物内负荷有关.

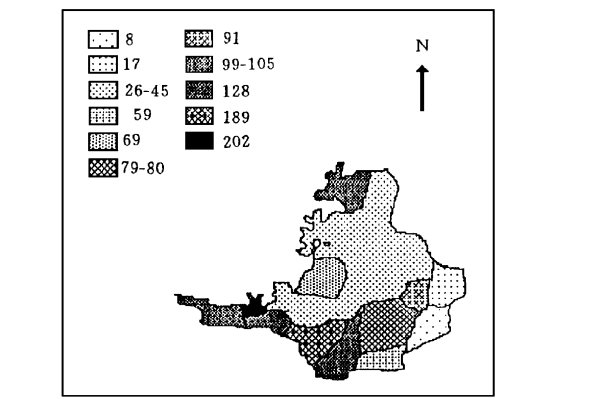


图5 郭郑湖区溶解态磷酸酶活性的水平分布

3 讨论

在英国 Yorkshire 河侧污水处理厂排泄口附近的河段内,水体磷酸酶在活性激增,溶解态磷酸酶在总体酶活性中占有相当的比例,高水平的活性可向下游绵延,据此,Chappell 等提出,污水不仅以其富含的无机营养、有机物质以及高密度的细菌影响接纳它的水体,而且,由上述因素酿成的高活性酶将加速有机物质的转化. 故从某种意义上说,酶亦为一类特殊的污染

物^[7]. 从图2给出的结果可知, 外界排放系东湖酶污染物水平扩散的重要来源. 此外, 已有文献报道, 郭郑湖区的富营养化程度远较汤林湖区为甚^[2], 郭郑湖区间隙水中的 APA_{Diss} 明显较高(表1), 因此, 富营养型湖泊的沉积物亦有垂直释放溶解态磷酸酶的潜力.

图3显示的湖区 APA_{Diss} 与 SRP 的关系可以用“抑制-诱导机制”^[9]加以描述, 其生态学含义是, 当水体有效态磷的浓度较低时, 浮游生物可通过诱导作用产生高活性的磷酸酶以分解有机磷补充磷营养, 而当 SRP 浓度较高时, 酶的活性则受到抑制. 美国明尼苏达湖中浮游植物磷酸酶活性与细胞磷浓度之间^[11]以及威尼斯湖水和沉积物间隙水总磷酸酶活性与 SRP 之间^[10]均有类似的对应关系. 图3表明, 这种“抑制-诱导”关系在溶解态磷酸酶上亦可能有所体现. Wetzel 提出, 在缺磷状态下, 浮游生物将主动释放溶解态磷酸酶, 借此在较大的空间范围内接触并分解底物^[12]. 因此, 湖区和纳污口的溶解态磷酸酶可能因来源不同而遵从不同的作用机制.

从动力学上讲 K_m 值是酶对其底物亲和能力的量度, K_m 值愈小则亲和能力愈强. 图4说明, 沉积物间隙水中溶解态磷酸酶的 K_m 值较小, 因而具有较高的催化效率.

从整体上看, 图5描述的酶活性的非均一性分布是不同来源且具不同动力学特征的酶循不同的反应机制共同作用的结果, 它反映了湖泊污染程度、营养水平以及有机物质转化效率的概况. 值得注意的是, 即使在浅水湖泊, 某种溶解态的生物化学参量亦可能表现出明显的空间异质性, 这是一个有待深入探讨的生态学现象.

致谢 东湖采样点分布图由中国科学院水生生物研究所六室东湖课题组提供, 谨致谢意.

参 考 文 献

- 1 周易勇, 夏宜争. 湖泊科学, 1993, 5(4): 335
- 2 张水元等. 水生生物学报, 1987, 11(2): 131
- 3 Wetzel R G. Limnology, 2nd edition. Saunders, Philadelphia: 1983
- 4 Jansson M et al. Hydrobiologia, 1988, 170: 157
- 5 Reichardt W et al. Nature, 1967, 216: 1345
- 6 Jones J G. J. Ecol., 1972, 60(3): 777
- 7 Chappell K R & Goulder R. Environ. Pollut., 1994, 86: 161
- 8 Murphy J & Riley P. Anal. Chim. Acta, 1962, 27: 31
- 9 Berman T. Limnol. Oceanogr., 1970, 15: 663
- 10 Danilo D et al. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1986, 22: 425
- 11 Maura A G & Eville G. Freshwater Biology, 1985, 15: 227
- 12 Wetzel R G, In: R J Chrost ed. Microbial enzymes in aquatic environments. New York: Brock/Springer Series, 1991: 6

• 环境信息 •

敬 告 作 者

目前, 我国不少图书馆、资料室、教学科研实验室和管理部门已配置了计算机, 光盘版期刊和网络期刊正是为了满足广大读者利用计算机查询和阅读而产生的出版物. 电子出版物与纸版出版物比较, 具有查询快, 保存携带方便等优点. 因此, 为了满足广大读者对《环境科学》这

份杂志创刊以来所发表论文的查询、阅读和保存的需要, 本刊编辑部计划将本刊在1976—1996年间129期(包括3期增刊)过刊发表的论文汇编在1张光盘上, 公开发行. 不再给作者发稿酬, 凡是不愿意将自己的论文入辑的作者, 请见此告后在1997年11月前来函来电申明。

troaromatic compounds in the ecosystem, the study on the mixtoxicity of 2, 4-DNT and other 6 kinds of nitroaromatics to the algae (*Scenedesmus obliquus*) was carried out. 48h-EC₅₀ of monotoxicity of 7 kinds of compounds and 48h-EC₅₀ of mixtoxicity of 2, 4-DNT + 6 kinds of compounds were measured. Results indicated that there are synergisms between, 2, 4-DNT + 4-NA_n, 2, 4-DNT + 4-NA_n_{is}, and 2, 4-DNT + 1, 4-DNB as well as antagonisms between 2, 4-DNT + 4-NT, 2, 4-DNT + 4-NPh and 2, 4-DNT + 4-NCB. Under the microscope (400 times) 3 kinds of toxic symptoms, the inhibition to the filial spores forming and releasing, the irregular big cells appearing, nucleus and cell organs as well as the protoplast diste-grating were observed.

Key words: mixtoxicity, 2, 4-DNT, nitroaro-matic compounds, algae, *Scenedesmus obliquus*.

Study on the Volatile Property of Organics in Coke-Plant Wastewater under the Aerated Stripping Condition. He Miao, Zhang Xiaojian et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(5), 1997, pp. 34—36

A study was conducted to determine the volatile property of organics in the coke-plant wastewater under the condition of aerated stripping. The results show that there are different volatile characteristics among the organics. 11 kinds of compounds such as ethylbenzene and naphthalene are more volatile. The removal rate can get to 20%—40% after an aeration of 12 hours. Their volatile rate constant K_v have a fairly good linear relation with the Henry constant (H), of which relation equation is $K_v = 2.906 \times 10^{-3}H + 0.0146$. Volatile effect plays a very important role in the removal process of these organic compounds. 12 compounds like phenol have a medium volatile property. The other compounds like resorcinol have a low volatility.

Key words: volatile property, coke-plant wastewater, aerated stripping, volatile organic compound, volatile rate constant.

Activity, Kinetics and Spatial Variation of Dissolved Alkaline Phosphatase in Lake Donghu.

Zhou Yiyong, Li Jianqiu, Chen Xudong et al. (Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(5), 1997, pp. 37—40

The extra cellular enzyme activities in aquatic environments are of monitoring significance. Dissolved alkaline phosphatase activities (APA_{Diss}) at the littoral outfalls, which receive the domestic waste water were significantly higher than those in pelagic zone in Donghu

Lake. APA_{Diss} detected at the outfalls and in pelagic zone showed different relationships with soluble reactive phosphorus.

Key words: dissolved phosphatase, kinetics, characteristics, spatial distribution.

A Study on Bioaccumulation and Biomagnification of BHC and DDT in Baiyangdian Lake Foodweb. Dou Wei, Zhao Zhongxian (Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(5), 1997, pp. 41—43

BHC, DDT and their metabolites were analysed in Duancun area from Baiyangdian Lake ecosystem in June 1995. The content levels of pesticides in water and bottom sediments were relatively lower: in water, the average values of BHC and DDT were 0.3 μg/L and 0.1 μg/L, respectively; in sediments, the residue level of BHC was same with DDT with a mean concentration of 0.7 μg/kg (wet). The organochlorine insecticides content in aquatic organisms was much higher: the average concentration of BHC in hydrophytes, planktons, benthic macroinvertebrates, young-of-the-year *Carassius auratus* and 2-year-old *Ophiocephalus crispus* was 19.0, 30.0, 60.9, 17.2 and 110.7 μg/kg, respectively; for DDT, the content sequence was 6.3, 21.0, 37.9, 19.4 and 124.4 μg/kg, respectively. So the lipophilic nature and low biodegradation rates of BHC and DDT led to the accumulation of these compounds and subsequent magnification of concentration in organisms progressing up the food chain. DDT had a much profound bioaccumulation potential than BHC for the bioconcentration factor of DDT in organisms (63.3—1244) was well above that of BHC (63—369). The ratios of BHC isomers monitored in organisms ($\delta > \alpha > \gamma$) were different from that in water and sediments ($\alpha > \delta > \gamma > \beta$). The predominant DDT derivative was p, p'-DDE. Base upon the observed that the original DDT (P, P'-DDT) was indentified in some specimens, it has been concluded that there was a recent input of DDT to Baiyangdian Lake.

Key words: Baiyangdian Lake ecosystem, BHC, DDT, foodweb, the bioconcentration factor.

Joints Toxicities of Heavy Metals and Pesticides to *Pagrosomus major* and *Rhabdosargus sarba* Larvae. Dai Jiayin, Zheng Weiyun, Wang Shuhong (Environ. Sci. Res. Centre, Xiamen University, Xiamen 361005): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(5), 1997, pp. 44—46

The additive index of coefficients was used to study the toxicities of Cu-Mn, Cu-isofenphos-methyl and methamidphos-isofenphos-methyl