

# 滇池沉积物对磷的吸附特性研究

赵祥华<sup>1</sup>, 吴文卫<sup>1</sup>, 杨逢乐<sup>1</sup>, 潘波<sup>2</sup>, 陈建中<sup>2</sup>

(1. 云南省环境科学研究院, 云南 昆明 650034; 2. 昆明理工大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 分别从沉积物对磷的吸附动力学与等温吸附两个角度出发, 通过模拟对滇池沉积物的吸附特性进行了研究. 结果表明: (1) 滇池沉积物吸磷和释磷都是在 2 h 内快速进行, 12 h 后基本达到了动态平衡; (2) Elovich 方程对沉积物吸磷的拟合最优; (3) 草海沉积物对磷的吸附容量与吸附速率都要大于外海.

**关键词:** 滇池沉积物; 磷; 吸附; 动力学

**中图分类号:** X522 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2008)06 - 0082 - 04

## Phosphate Adsorption of Sediments in Dianchi Lake

ZHAO Xiang-hua<sup>1</sup>, WU Wen-wei<sup>1</sup>, YANG Feng-le<sup>1</sup>, PAN Bo<sup>2</sup>, CHEN Jian-zhong<sup>2</sup>

(1. Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming 650034, China;

2. Faculty of Environment Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract:** From the point of phosphate adsorption kinetic and isothermal adsorption, this paper studies the adsorption characteristics of sediments of Dianchi Lake through simulation. The results show: (1) Phosphorus adsorption of sediments of Dianchi lake run fastest in 2 h, and basically reach the state of dynamic balance after 12 h; (2) The best fitting to phosphorus adsorption of sediments is the equation of Elovich; (3) The absorptive capability and rates of Caohai sediments are better than those of Waihai

**Key words:** Dianchi Lake sediment; phosphorus; adsorption; dynamics

## 0 引言

滇池地处昆明市西南部, 是昆明城市的工农业、生活等各种混杂污水的主要集散地, 其水域面积约 297.77 km<sup>2</sup>, 平均水深 4m, 最深处为 9.7 m, 水体流动性差, 底泥污染严重, 目前仍为劣类水体, 水质污染严重, 富营养化尤为突出. 滇池水体中 N/P 比值约为 16.2 ~ 22.5, 磷是水体富营养化的关键限制性因子<sup>[1-3]</sup>.

而沉积物作为湖泊外源负荷输入的最大的磷“汇”与内源释放的磷“源”, 当外源得到控制, 内源磷的释放即成为湖泊富营养化的主导因子, 且一旦环境条件发生改变, 沉积物中的磷则返回到水体中<sup>[4]</sup>. 因此, 研究沉积物吸磷的特征, 从而有效控制内源磷的释放, 是湖泊富营养化治理的关键之一. 本试验选取滇池沉积物, 以被认为是最为关键的生物有效态——正磷酸盐作为研究对象, 通过实验室模拟来研究滇池沉积物对磷的吸附特征, 为滇池湖泊水体富营养化的防治提供理论依据.

## 1 材料和方法

### 1.1 样品的采集与分析

沉积物样品采集时间是 2006 年 12 月 5 日, 采样点用 GPS 定位. 分别利用蚌式采样器采集滇池草海和外海表层沉积物于密封塑料桶中, 带回实验室, 风干、研磨过孔径为 0.2 mm 筛后保存待用, 并分别测定其有机质含量、全磷<sup>[5]</sup>. 两处沉积物均呈流态, 色深黑(外海稍浅), 有强烈的臭味, 夹杂有植物残体、塑料袋

收稿日期: 2008 - 06 - 02 基金项目: 云南省昆明理工大学人才科研启动基金项目(项目编号: 14118002).

第一作者简介: 赵祥华(1975 - ), 男, 工程师. 主要研究方向: 湖泊内源污染控制及面源污染控制.

E-mail: wuwwp@yahoo.com.cn

等. 现场测定溶解氧 (DO)、pH 和 水深. 正磷酸盐的测定用钼锑抗分光光度法<sup>[6]</sup>. 实验所用器皿均用稀盐酸浸泡过夜, 所用药品除磷酸二氢钾 (优级纯) 外均为分析纯试剂. 数据处理用 Excel2000 与 SigmaPlot2001 软件进行分析. 分析结果见表 1.

1.2 实验方法

1.2.1 吸附动力学实验

分别将沉积物样品 (草海 0.25 g, 外海 0.5 g) 置入用酸洗过的不同的锥形瓶中, 再加入 50 mL 1.28 mg/L (按 P 计) 的 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 溶液. 锥形瓶加盖后, 各在室温 (25 ± 1), 180 ~ 190 r/min 下振荡 0.5、1、2、4、8、12、24 和 48 h 然后在 4 000 r/min 条件下离心 10 min, 上清液过 0.45 μm 滤膜, 测定滤液中可溶性磷酸盐浓度. 以上实验在相同条件下, 均作 2 个平行样, 相对偏差 < 5%.

1.2.2 等温吸附实验

称取一定量的沉积物干样 (草海 0.25 g, 外海 0.5 g) 置入用酸洗过的不同的锥形瓶中, 再分别加入 50 mL 初始浓度分别为 0、0.5、1、2、5、10、15 和 20 mg/L (按 P 计) 的 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 系列溶液. 锥形瓶加盖后, 在 25、180 ~ 190 r/min 下振荡 6 h, 并静置 18 h, 再离心、微滤、测定滤液中可溶性正磷酸盐含量.

1.2.3 数据处理

吸附动力学利用一级动力学方程、抛物线扩散方程和修正的 Elvich 方来描述沉积物的吸磷量和基质中溶质平衡浓度之间的关系; 利用 Langmuir 模型对吸磷等温线进行拟合分析.

一级动力学方程:

lnQ = a + bt (1)

抛物线扩散方程:

Q = a + kt<sup>1/2</sup> (2)

修正的 Elvich 方程:

Q = a + b ln t (3)

Langmuir 吸附模型:

Q = Q<sub>m</sub> KC / (1 + KC) (4)

式中, Q 为 t 时刻内磷酸盐在沉积物上的吸附量, mg/g · 土; Q<sub>m</sub> 为最大吸附量, mg/g · 土; C 为吸附质的平衡浓度, mg/L; t 为反应时间, h; a、b、k 为常数, 其中 b、k 反映了沉积物吸磷的强度; K 为平衡吸附系数, 反映沉积物吸磷的能级, K 值越大, 体现了沉积物与磷酸根离子的结合能力越大<sup>[7]</sup>.

2 结果与讨论

2.1.1 磷吸附的动力学特征

图 1 反映了沉积物对溶液中磷吸附的动力学过程. 在吸附 2 h 内, 吸附量随时间增加较快, 具有较大的吸附速率, 曲线较陡. 随着时间的延长, 曲线较为平缓, 12 h 后基本达到动态平衡.

沉积物对磷的吸附动力学特征拟合结果见表 2 可以看出, Elvich 方程对吸磷动力学特征的拟合效果较好, 达到了显著水平 (P < 0.05), 这和薛泉宏<sup>[8]</sup>等人的研究结果 Elvich

表 1 样品的测试结果

Tab 1 The testing results of samples

测试项目	草海	外海
水深	7.6	3.5
GPS	N 25 01 20.3	N 24 57 43.9
	E 102 40 20.5	E 102 38 47.6
pH	7.20	7.35
DO / mg · L <sup>-1</sup>	1.8	4.1
土壤有机质 / mg · kg <sup>-1</sup>	99.44	17.96
全磷 / mg · kg <sup>-1</sup>	3 581.46	522.81

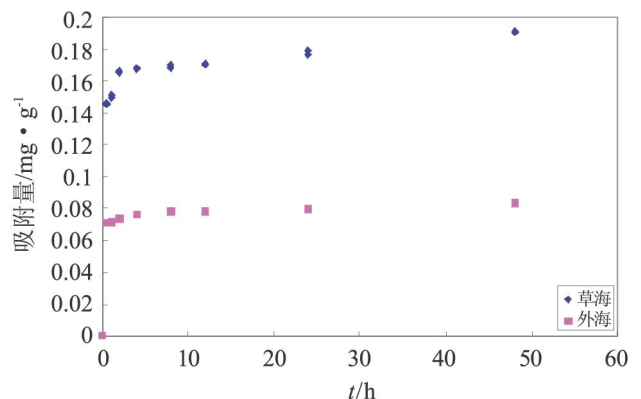


图1 吸附量与吸附时间的关系

Fig.1 The relation between the amount of adsorption and time

方程是描述磷吸附的最优模型基本相吻合。

但是一级反应动力学模型在低浓度情况下拟合较差. 由 Elvovich 方程拟合的  $a$  与  $b$  值分别反映了沉积物的吸磷能力和吸附速率的大小. 可见, 滇池草海沉积物吸磷能力与吸磷速率均大于外海沉积物.

表 2 沉积物磷吸附动力学方程拟合参数

Tab 2 The parameters of kinetic equation of phosphate adsorption by sediments

样品	一级方程 ( $Q = a + bt$ )			扩散方程 ( $Q = a + bt^{1/2}$ )			Elvovich 方程 ( $Q = a + b \ln t$ )		
	$a$	$b$	$r^2$	$a$	$b$	$r^2$	$a$	$b$	$r^2$
草海	0.164 8	0.000 5	0.988	0.149 2	0.006 2	0.858	0.153 1	0.008 7	0.920
外海	0.074 2	0.000 2	0.817	0.070 8	0.001 9	0.935	0.072 1	0.002 7	0.970

### 2.3 沉积物吸附等温线

图 2 反映的是滇池沉积物对磷的等温吸附 Langmuir 模型拟合曲线。

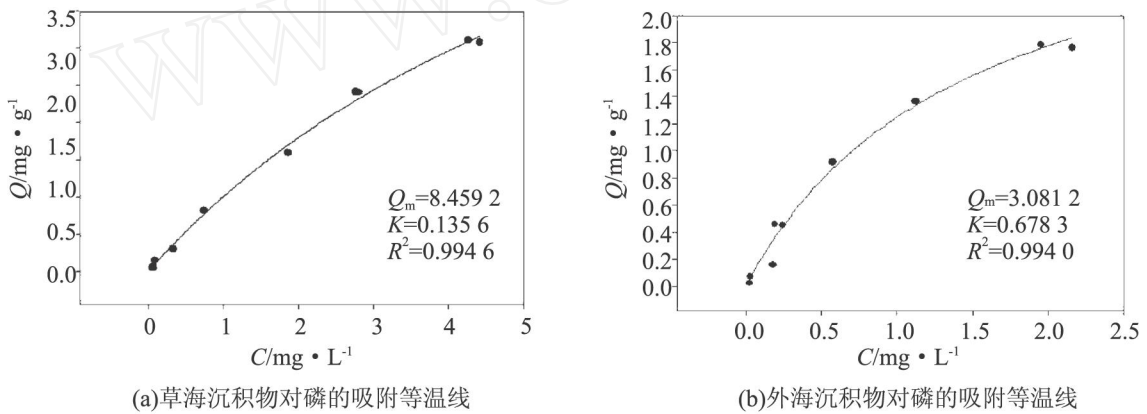


图2 Langmuir模型拟合曲线  
Fig.2 The fitting curves of Langmuir model

由图 2 可见,草海沉积物的  $Q_m$  值要比外海大得多,反映其吸附位点较外海沉积物多;但外海的  $K$  值要大于草海,表明外海沉积物与磷酸根离子的结合能力要强于草海沉积物. 而对于最大缓冲容量 ( $MBC$ , 即  $Q_m$  与  $K$  的乘积),反应了对沉积物浓度变化的一种对抗能力,草海为 1.147 1,外海为 2.090 0,表明了滇池草海沉积物的最大缓冲容量要小于外海,说明外海沉积物对间隙水或上覆水中磷浓度变化的缓冲能力要比草海强,同时也反映出外海沉积物吸附的磷所处能态较低,吸附的磷较易被作物吸收利用,这可能是外海大面积蓝藻暴发,而草海要少暴发的主要原因之一。

### 3 结论

本文通过实验室模拟,对滇池沉积物吸附磷的特征进行研究. 试验表明:

- (1) 滇池沉积物具有相似的吸磷趋势,基本上是在前 4 h 内快速进行,4 h 后沉积物趋势变缓,12 h 后沉积物与上覆水之间磷浓度基本达到动态平衡,且吸附与解吸过程同时进行.
- (2) Elvovich 方程能较好地沉积物吸磷的动力学进行拟合,拟合结果反映出滇池草海沉积物吸磷能力与吸磷速率均大于外海沉积物.
- (3) 由等温吸附特性试验中可知,Langmuir 方程能很好地描述滇池沉积物等温吸附的特性. 草海沉积物对磷的吸附容量与吸附速率都要大于外海,但是外海沉积物与磷的结合能力和对间隙水或上覆水中磷浓度变化的缓冲能力要强于草海. 由于外海沉积物吸附的磷所处能态较低,吸附的磷较易被作物吸收利用,这可能是外海大面积蓝藻暴发,而草海要少暴发的主要原因之一。

**参考文献:**

- [1] 云南省环境科学研究院, 中国市政工程中南设计研究院, 等. 滇池草海水污染综合治理规划 (2006 ~ 2015 年) [R], 2006
- [2] Tao Li, Dongsheng Wang, Bin Zhang, et al. Characterization of the phosphate adsorption and morphology of sediment particles under simulative disturbing conditions [J]. Journal of Hazardous Materials B, 2006, 137: 1624 - 1630
- [3] 毛建忠, 王雨春, 赵琼美, 等. 滇池沉积物内源磷释放初步研究 [J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2005, 3 (3): 229 - 233
- [4] 吴文卫, 陈建中, 潘波, 等. 城市浅水湖泊沉积物与上覆水之间磷的行为研究 [J]. 江西农业学报, 2007, 19 (6): 118 - 121.
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [6] 国家环保局《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
- [7] 夏瑶, 姜运生, 杨超光, 等. 几种水稻土对磷的吸附与解吸特性研究 [J]. 中国农业科学, 2002, 35 (11): 1369 - 1374.
- [8] 薛泉宏. 陕西省几种土壤吸附  $H_2PO_4^-$  的动力学研究 [J]. 西北农业大学学报, 1993 (增刊): 26 - 32

---

(上接第 81 页)

**参考文献:**

- [1] Vladimir Miranda, Ranito J V, Proenca L M. Genetic algorithms in optimal multistage distribution network planning [J]. IEEE Transaction on Power Systems, 2000, 9 (4): 1297 - 1933.
- [2] Dolezal J, Sautarius P, Tlustý J, et al. The effect of dispersed generation on power quality in distribution system [J]. Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, CIGRE/IEEE PES International Symposium. 2003: 204 - 207.
- [3] 梁军. 基于线路参数估计的高压架空输电线路故障测距新算法 [J]. 电网技术, 2004, 28 (4): 60 - 63.
- [4] 王凌. 智能优化算法及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [5] 陈根军. 启发式方法在配电网扩展规划中的应用 [D]. 东南大学, 2001.
- [6] 王敏, 丁明. 含分布式电源的配电系统规划 [J]. 电力系统自动化学报, 2004, 16 (6): 5 - 9.
- [7] 司亚青. 故障录波装置在电力系统中的应用和发展 [J]. 电力学报, 2001, 16 (4): 315 - 318