

湖泊沉积物中水溶性有机质对吸附磷的影响*

王圣瑞 金相灿[†] 赵海超 周小宁

(中国环境科学研究院湖泊生态环境研究中心, 北京 100012)

摘要 以分别属于不同营养水平的五里湖和东太湖沉积物为研究对象, 通过吸附试验, 研究了水溶性有机质(DOM)对沉积物吸附磷酸盐等温线和动力学曲线的影响。结果表明:(1)DOM 没有改变沉积物吸附磷动力学曲线的基本趋势, 在前 10 h 内, 沉积物对磷的吸附具有较大速度, 20 h 后基本达到吸附平衡; DOM 提高了沉积物吸附磷的速度, 特别是提高了 0~0.5 h 内的吸附速度, 其中东太湖沉积物由 $82.34 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 增加到 $97.18 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, 五里湖沉积物由 $12.21 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 增加到 $59.17 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$; (2)DOM 明显改变了沉积物吸附磷等温线, 对沉积物吸附磷具有促进作用, 提高了沉积物吸附磷的效率, 其中东太湖沉积物, DOM 使其对磷的吸附效率由 123.3 L kg^{-1} 增加到 164.8 L kg^{-1} , 五里湖沉积物, DOM 使其对磷的吸附效率由 94.56 L kg^{-1} 增加到 206.3 L kg^{-1} ; (3)DOM 对有机质含量较高、严重污染的五里湖沉积物吸附磷的影响大于对有机质含量较低、中营养水平的东太湖沉积物的影响。

关键词 湖泊沉积物; 水溶性有机质; 磷酸盐; 吸附

中图分类号 X524 **文献标识码** A

长期以来对有机质的研究就十分重视, 特别是对土壤有机质的研究尤为深入^[1], 但却很少注意到水中的有机质。近年来, 溶解性有机质(Dissolved organic matter, 简称 DOM)引起了许多研究者的极大兴趣^[2]。最新的研究表明, DOM 是陆地生态系统和水生生态系统中重要且很活跃的组分之一。不但影响环境特性, 而且也影响磷等营养物质的有效性^[3]。磷在湖泊水—沉积物界面的吸附-解吸作用是影响其在上覆水中浓度、迁移、转化和生物可利用性的重要过程^[4]。长期以来, 科学家一直非常重视磷在湖泊水—沉积物界面吸附行为的研究^[5-9], 但是, 磷的吸附-解吸机理并没有被彻底认识。20 世纪 80 年代以后, 关于 DOM 的报道急剧增加, 对 DOM 的研究涉及到全球气候变化、生物学、生态学、土壤学、环境化学、水文学等诸多学科^[10-13]。较早开展的研究是基于对海水及淡水富营养化及污染的关注, 主要研究了 DOM 与有机污染以及重金属污染等的关系^[14], 而关于沉积物中 DOM 对吸附磷影响的研究报道却较少。因此, 研究沉积物中 DOM 对吸附磷酸盐的影响具有重要的意义。本文拟以湖泊沉积物为研究对象, 探讨 DOM 对沉积物吸附磷酸盐的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

五里湖位于江苏省太湖北部, 面积 5.9 km^2 , 水深 1~2 m, 是无锡市饮用水源和主要风景游览区, 也是工业、生活等污水的主要排放地, 为严重污染水体^[15]。该湖区采样点位置为 $31^{\circ}31'23''\text{N}$, $120^{\circ}16'35''\text{E}$ 。东太湖在太湖的东北角, 是太湖的一个浅水草型湖湾, 面积 131 km^2 , 平均水深 0.89 m, 是上海和浙东地区的主要水源地。该湖区采样点位置为 $31^{\circ}10'206''\text{N}$, $120^{\circ}19'477''\text{E}$, 靠近苏州市西山镇, 该湖区水生植物丰富, 水质较好, 处于中营养水平^[16]。

1.2 样品采集和分析

现场利用柱状采样器在太湖的五里湖和东太湖采集表层 10 cm 沉积物于封口塑料袋中, 在冰盒中存放, 带回实验室, 冷冻干燥后备用。沉积物化学成分用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-AES PS-950)测定, 取 0.1 g 沉积物样, 加碱性试剂偏硼酸锂 0.3 g 在 1000°C 下灼烧成熔珠状, 然后用 5% 的硝酸溶液提取, 上机测定元素含量^[17]。有机质总量用

* 国家重点基础研究发展规划项目“湖泊富营养化过程与蓝藻水华暴发机理研究”(2002CB412304)资助

[†] 通讯作者, E-mail: Jinxiang@public.bta.net.cn

作者简介: 王圣瑞, 男, 内蒙古人, 博士, 主要从事湖泊富营养化研究。E-mail: shengruwang@sohu.com

收稿日期: 2004-07-16; 收到修改稿日期: 2005-04-22

重铬酸钾法^[18], 阳离子代换量用 EDTA—铵盐快速法测定^[18], 总磷用 SMT 法测定^[19]。实验所用器皿

均用稀硝酸浸泡过夜洗净, 所用试剂均为分析纯。沉积物理化性质见表 1。

表 1 沉积物理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the sediments

沉积物采样点 Site of sediments sampling	总磷 TP (mg kg ⁻¹)	颗粒组成 Grain size composition (%)			SiO ₂ (g kg ⁻¹)	Al ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	Fe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	MnO (g kg ⁻¹)	CaO (g kg ⁻¹)	有机质 Organic matter (g kg ⁻¹)	阳离子代 换量 CEC (mmol kg ⁻¹)
		< 2 μm	2 ~ 20 μm	20 ~ 2 000 μm							
东太湖 East Taihu Lake	451.3	2.94	22.82	74.24	669.3	116.3	49.2	1.0	13.7	18.7	13.33
五里湖 Wuli Lake	819.2	4.13	29.42	66.45	677.4	123.8	51.5	1.6	9.7	31.6	22.15

1.3 沉积物溶解性有机质的提取

沉积物 DOM 的提取综合参考 Baham 等的方法^[20]。干燥沉积物样品过 0.5 mm 筛, 取部分沉积物于大三角瓶中, 按物料: 水 = 1:20 加去离子水, 在 20℃ 下恒温振荡 12 h (200 r min⁻¹)。转移到 50 ml 离心管中, 超高速冷冻离心机于 12 500 r min⁻¹ 下离心 30 min, 上清液立即用 0.45 μm 无菌微孔滤膜抽气过滤, 滤液即为沉积物 DOM 溶液, 保存备用 (4℃)。

1.4 磷吸附实验

磷吸附实验设置 3 个处理。处理 1 为对照 (五里湖沉积物编号为 T-W, 东太湖沉积物编号为 T-X), 在一系列 100 ml 离心管中, 加入 0.5 g 沉积物和 50 ml 不同浓度的磷酸二氢钾溶液, 使磷初始浓度分别为 0.02、0.05、0.10、0.30、0.50、0.80、1.00 和 1.50 mg L⁻¹。加塞后在 25 ± 1℃ 下, 恒温振荡 24 h, 至吸附平衡 (根据预备试验结果)。离心, 采用标准方法^[21], 取上清液测定溶解性正磷酸盐。根据起始浓度与平衡浓度之差, 计算沉积物吸附磷的量。处理 2 为去除 DOM 后的吸附实验 (五里湖沉积物编号为 W-T-W, 东太湖沉积物编号为 W-T-X), 按照提取

DOM 的方法, 去除沉积物中的部分 DOM, 而后利用去除部分 DOM 的沉积物按与对照相同的方法进行吸附实验。处理 3 为添加 DOM 的吸附实验, 在利用沉积物进行吸附实验时, 加入磷溶液, 同时也加入 10 ml DOM 溶液, 五里湖沉积物分别加来自五里湖 (沉积物编号 T-W-W) 与东太湖的 DOM (沉积物编号 T-W-X), 东太湖沉积物也分别加来自五里湖 (沉积物编号 T-X-W) 与东太湖的 DOM (沉积物编号 T-X-X), 使吸附实验的初始磷浓度与对照一致。

不同处理溶液有机碳含量由中国科学院地球化学研究所, 采用燃烧法, 用日本岛津 TOC 分析仪 (TOC 5 000A) 测定, 结果列于表 2。五里湖沉积物 DOM 溶液的有机碳含量高于东太湖沉积物。处理 2 分别去除了五里湖和东太湖沉积物 DOM 溶液有机碳含量的 88% 和 84%。处理 3 中五里湖沉积物的 DOM 溶液分别添加了来自本身和东太湖沉积物有机碳量为 1.96 mg 和 1.19 mg, 东太湖沉积物的 DOM 溶液也分别添加了来自本身和五里湖沉积物有机碳为 1.19 mg 和 1.96 mg。本研究中用测定沉积物 DOM 的有机碳含量来指示沉积物 DOM 的量。

表 2 不同处理编号及有机碳含量

Table 2 Treatments and their organic carbon contents

处理 Treatment	样品编号 Sample No.	有机碳 Organic carbon (mg L ⁻¹)
对照	五里湖沉积物 Wuli Lake sediment (T-W)	196
CK	东太湖沉积物 East Taihu Lake sediment (T-X)	119
去除 DOM	去除 DOM 五里湖沉积物 Wuli Lake sediment removed DOM (W-T-W)	23
Removed DOM	去除 DOM 东太湖沉积物 East Taihu Lake sediment removed DOM (W-T-X)	19
添加 DOM	添加五里湖 DOM Wuli Lake sediment inputted DOM from itself (T-W-W)	230
Inputted DOM	添加东太湖 DOM Wuli Lake sediment inputted DOM from East Taihu Lake (T-W-X)	218
	添加五里湖 DOM East Taihu Lake sediment inputted DOM from Wuli Lake sediment (T-X-W)	157
	添加东太湖 DOM East Taihu Lake sediment inputted DOM from itself (T-X-X)	140

2 结果与分析

2.1 沉积物特征

不同粒径的沉积物颗粒具有不同的比表面积和重量,因而具有不同的特征,对氮磷营养盐在固液界面上交换的影响也存在差异。较细的粘粒和粉砂粒对污染物具有较强的吸附能力,同时也具有较强的再悬浮能力,所以,沉积物中较细的粘粒和粉砂粒所占比例较高污染程度一般也较高^[22,23];由表 1 可见,采自五里湖的样品砂粒比例较低占 66.45%,粘粒和粉砂粒比例较高,分别为 4.13% 和 29.42%;采自东太湖的样品,砂粒比例较高,为 74.24%,粘粒和粉砂粒比例较低,分别为 2.94% 和 22.82%。根据前人的研究结果^[24],五里湖属于严重污染湖泊,而东太湖属于轻度污染湖泊;本研究的这一结果进一步证实了沉积物的特征可以反映湖泊污染状况。

分析表 1 结果,有机质和阳离子交换量均为五里湖较高,东太湖较低。 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 的含量为五里

湖较高,东太湖较低;而 CaO 的含量则为东太湖较高,五里湖较低;对于 MnO 和 SiO_2 的含量,2 个沉积物样品相差不大。

2.2 溶解性有机质对沉积物吸附磷的影响

由图 1 和图 2 可见,DOM 明显改变了沉积物对磷的吸附等温线,比较两个沉积物样品,具有相同趋势。结合处理 1、处理 2 和处理 3 的实验结果可见,去除部分 DOM 后沉积物对磷的吸附量明显较低,而添加 DOM 后,沉积物对磷的吸附量明显增加。即 DOM 对沉积物吸附磷具有促进作用。而且 DOM 含量较高的五里湖沉积物,DOM 对其吸附磷的影响大于 DOM 含量较低的东西太湖沉积物。

根据对处理 3 结果的分析可见(图 2),对东太湖沉积物,添加来自五里湖沉积物的 DOM 对该沉积物吸附磷的影响大于添加来自自身的 DOM 影响,而对五里湖沉积物,添加两个来源的 DOM 后,其吸附磷的等温线相差不大,总体上的趋势为添加来自自身的 DOM 对吸附磷的影响稍大于添加来自东太湖沉积物的 DOM 影响。

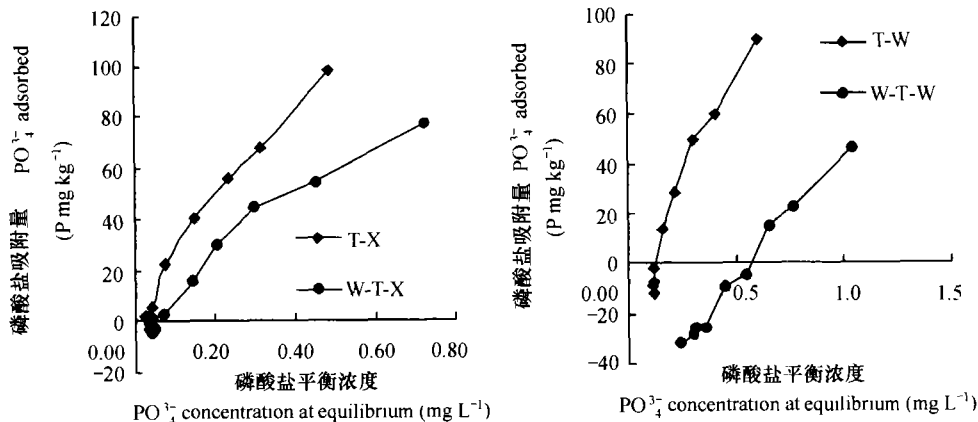


图 1 DOM 对沉积物吸附磷的影响

Fig.1 Effects of DOM solution on P sorption on sediments

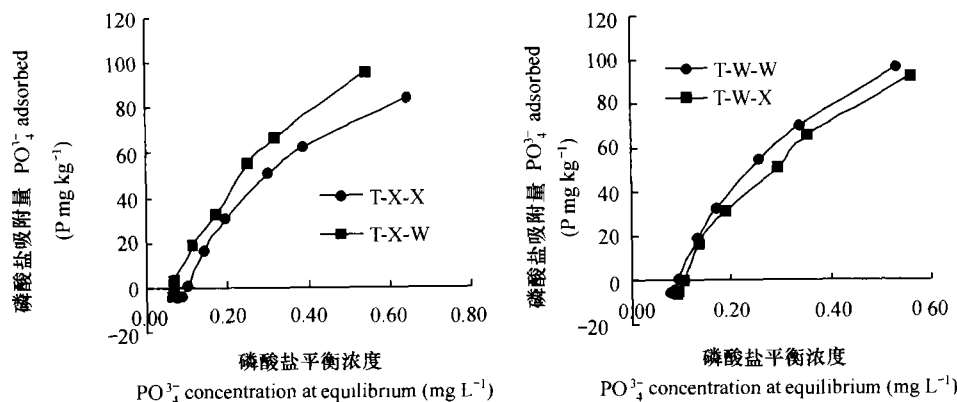


图 2 DOM 对沉积物吸附磷等温线的影响

Fig.2 Effects of difference in DOM solution on P sorption isotherms on sediments

为了进一步分析 DOM 对沉积物吸附磷的影响,参照前人的研究^[25],用吸附等温线方程对沉积物吸附磷的过程进行了拟合。可以用如下线性方程进行拟合: $Q = m * C - b$ ^[26,27]。其中 $C(\text{mg L}^{-1})$ 为吸附平衡浓度, b 为常数, $m(\text{L kg}^{-1})$ 为斜率, 用来衡量沉积物对磷的吸附效率^[27]。本研究中不同处理沉积物对磷吸附等温线线性方程特征参数结果见表 3。由表 3 可见, DOM 影响沉积物对磷的吸附, 两个沉积物具有相同的趋势。DOM 促进了沉积物对磷的吸附, 提高了沉积物吸附磷的效率。其中东太湖沉积物, DOM 使其对磷的吸附效率由 123.3 L kg^{-1} 增加到 164.8 L kg^{-1} , 添加 10 ml 来自自身的 DOM 使其对磷的吸附效率由 164.8 L kg^{-1} 增加到 214.6 L kg^{-1} , 而添加来自五里湖沉积物的 DOM 使其对磷的吸附效率增加到 226.1 L kg^{-1} 。五里湖沉积物, DOM 使其对磷的吸附效率由 94.56 L kg^{-1} 增加到 206.3 L kg^{-1} , 添加 10 ml 来自自身的 DOM 使其对磷的吸附效率由 206.3 L kg^{-1} 增加到 227.9 L kg^{-1} , 而添加来自东太湖沉积物的 DOM 使其对磷的吸附效率增加到 211.6 L kg^{-1} 。

表 3 DOM 对沉积物吸附磷参数的影响

Table 3 Effects of DOM solution on P sorption parameters in sediments

样品编号 Sample No	$m(\text{L kg}^{-1})$	b	R^2
T-X	164.8	10.59	0.9369
W-T-X	123.3	4.53	0.9623
T-X-X	214.6	9.98	0.9253
T-X-W	226.1	0.80	0.9455
T-W	206.3	25.61	0.9428
W-T-W	94.56	51.27	0.9288
T-W-W	227.9	15.82	0.9487
T-W-X	211.6	17.20	0.9539

2.3 溶解性有机质对沉积物吸附磷动力学的影响

图 3 显示了不同处理沉积物对磷的吸附动力学过程。由图 3 可见, 不同处理沉积物对磷的吸附具有相似的变化趋势, 即 DOM 并没有改变沉积物吸附磷动力学过程的变化趋势, 基本上是在前 10 h 内, 沉积物对磷的吸附具有较大速度, 而在 20 h 之后吸附基本达到平衡。

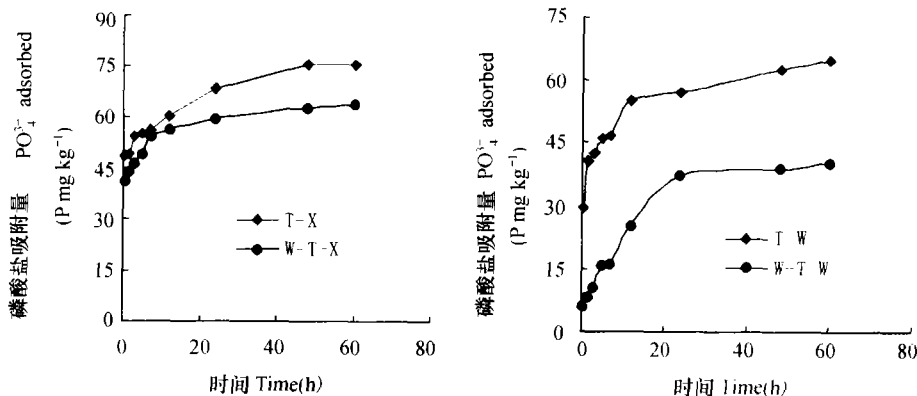


图 3 DOM 对沉积物吸附磷动力学影响

Fig. 3 Effects of DOM solution on P sorption kinetics on sediments

沉积物对磷的吸附是个十分复杂的动力学过程, 通常包括快吸附和慢吸附 2 个过程。本实验结果表明(图 3), 快吸附主要发生在前 10 h , 而在 10 h 之后, 进入了慢吸附过程, 并逐渐进入吸附平衡。表 4 列出了不同取样时间段、不同处理、不同沉积物吸附磷的速度(即单位时间内, 单位沉积物吸附磷的量($\text{mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$))^[26,27]。其中 $0 \sim 0.5 \text{ h}$ 之内的吸附速度均最大, 是以后各时间段的 10 倍到百倍, 反映沉积物对磷的吸附主要发生在 $0 \sim$

0.5 h 之内, 而且 DOM 没有改变这一趋势。但总体上两个沉积物均表现为 DOM 增加了其对磷的吸附速度, 特别是在 $0 \sim 0.5 \text{ h}$ 之内, 东太湖沉积物由 $82.34 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 增加到 $97.18 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, 五里湖沉积物由 $12.21 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 增加到 $59.17 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, 增加的绝对量最大。相比而言, DOM 对吸附磷速度的影响为五里湖沉积物大于东太湖沉积物, 可能与五里湖沉积物污染较为严重和 DOM 浓度较高有关。

表 4 DOM 对沉积物吸附磷速度的影响

Table 4 Effect of DOM on P sorption rates on sediments

样品编号 Sample No.	不同取样时间段吸附速度 Sorption rates in different sampling intervals ($\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)								
	0 ~ 0.5 h	0.5 ~ 1.5 h	1.5 ~ 3 h	3 ~ 5 h	5 ~ 7 h	7 ~ 12 h	12 ~ 24 h	24 ~ 48 h	48 ~ 60 h
T-X	97.18	0.50	3.52	0.41	0.50	0.83	0.66	0.30	0.01
W-T-X	82.34	2.59	1.55	1.55	2.51	0.38	0.26	0.14	0.09
T-W	59.17	11.00	1.33	1.59	0.36	1.72	0.17	0.21	0.20
W-T-W	12.21	2.48	1.36	2.51	0.25	1.79	1.00	0.07	0.11

3 讨论

研究结果表明,在本研究条件下 DOM 对沉积物吸附磷具有促进作用,不仅增加了吸附量、提高了吸附效率,而且还能增加吸附速度,特别是对 0 ~ 0.5 h 内的吸附速度提高的绝对量最大。但关于 DOM 影响沉积物吸附磷的机理,有待于进一步研究。

根据对土壤 DOM 的研究结果表明,土壤中 DOM 含量的大小可以反映土壤中潜在活性养分含量和周转速率,可以反映土壤养分循环和供应状况^[28]。土壤中 DOM 与土壤中有有机络合铁、有机络合铝和活性羟基铝之间有显著的正相关关系,对调整土壤中铁铝的溶出和迁移有重要作用^[29]。DOM 对土壤 pH 值有重要影响,可以影响土壤中铁铝的溶出。所以,由此可以推测,DOM 对沉积物吸附磷的影响,可能有两方面的原因,其一可能与 DOM 改变沉积物溶液的 pH 值有关。土壤中 DOM 通过与土壤表面羟基发生交换作用^[30],这种离子交换作用可以改变土壤溶液的 pH 值。DOM 对沉积物溶液 pH 值有重要影响,沉积物溶液 pH 值的变化会影响其对磷的吸附^[31]。由于沉积物的 pH 值发生变化,导致沉积物对磷的释放和沉积物中铁铝的溶出,进而影响到沉积物对磷的吸附。其二是 DOM 的存在可能占据了沉积物吸附磷的部分有效位点所致。研究表明,土壤对 DOM 的吸附可以提高土壤的有机质含量^[32],还可以改变土壤表面的电荷特征^[33]。产生这一结果可能与 DOM 的络合和螯合等作用有关^[32]。

根据 DOM 对土壤吸附重金属影响的研究结果可见,虽然机理还不很清楚,但可以确定 DOM 对土壤吸附重金属的影响有抑制和促进两种效应。在本研究条件下 DOM 对沉积物吸附磷仅有明显的促进作用。是否湖泊沉积物的 DOM 对其吸附磷均有促进作用? 以及湖泊沉积物的 DOM 对其吸附磷的影

响是由于 DOM 含量不同引起的,还是 DOM 的性质不同引起的,还是沉积物的性质不同引起的? 本文仅初步开展了一些工作,同时研究的样品数量也较少,机理还不清楚,还需要进一步的工作来证实。

致谢 中国科学院地球化学研究所吴丰昌研究员等协助了本研究的 TOC 分析,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 陈同斌. 土壤中溶解性有机质及其对污染物吸附和解吸行为的影响. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 201 ~ 210. Chen T B. Dissolved organic matter and its effects on adsorption and desorption of pollutants in soils (In Chinese). Plant Nutrient and Fertilizer Science, 1998, 4(3): 201 ~ 210
- [2] Thurman E M. Organic Geochemistry of Natural Waters. Boston: Junk, 1985. 234 ~ 256
- [3] Moore T R, Souza W D, Koprivanjak J F. Controls on the sorption of dissolved organic carbon by soil. Soil Sci., 1992, 2: 120 ~ 129
- [4] 汤鸿霄. 微界面水质过程的理论与模式应用. 环境科学学报, 2000, 20(1): 1 ~ 10. Tang H X. Application of surface coordination principle and modeling on aquatic micro-interfacial processes impacting the water quality (In Chinese). Acta Science Circumstantiae, 2000, 20(1): 1 ~ 10
- [5] 吴丰昌, 万国江, 蔡玉蓉. 沉积物-水界面的生物地球化学作用. 地球科学进展, 1996, 11 (2): 191 ~ 196. Wu F C, Wan G J, Cai Y R. Biogeochemical processes at the sediment-water interface (In Chinese). Advance in Earth Science, 1996, 11 (2): 191 ~ 196
- [6] 范成新, 秦伯强, 孙越. 梅梁湖和五里湖水—沉积物界面的物质交换. 湖泊科学, 1998, 10(1): 73 ~ 78. Fan C X, Qing B Q, Sun Y. Substance exchange across water-sediment interface in Meiliang Bay and Wuli Lake (In Chinese). Journal of Lake Science, 1998, 10(1): 73 ~ 78
- [7] Lee H K, Euiso C, Michael K, et al. Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments. Chemosphere, 2003, 50: 53 ~ 61
- [8] 焦念志, 李德尚. 悬浮沉积物对磷酸盐的吸附与释放及藻类对吸附磷的利用. 青岛海洋大学学报, 1989, 19(2): 27 ~ 35. Jiao N Z, Li D S. Adsorption and release of phosphate on suspended sediment and utilization of adsorption phosphorus by algae (In Chinese). Journal of Ocean University of Qingdao, 1989, 19(2): 27 ~ 35

- [9] Bengt B, Jens M, Anderson P. *et al.* Exchange of phosphorus across the sediment-water interface. *Hydrobiologia*, 1988, 17: 229 ~ 244
- [10] Michalzik B, Matzner E. Dynamics of dissolved organic nitrogen and carbon in a Central European Norway spruce ecosystem. *Eur. J. Soil Sci.*, 1999, 50: 579 ~ 590
- [11] Moore T R, Dalva M. Some controls on the production of dissolved organic carbon in soils. *Soil Sci*, 2001, 166: 38 ~ 47
- [12] Kaiser K, Guggenberger G, Haumaier L. *et al.* The composition of dissolved organic matter in forest soil solutions: Changes induced by seasons and passage through the mineral soil. *Org. Geochem.*, 2002, 33: 307 ~ 318
- [13] Perakis S S, Hedin L O. Nitrogen loss from unpolluted South American forests mainly via dissolved organic compounds. *Nature*, 2002, 415: 416 ~ 419
- [14] Spiker E C, Rubin M. Petroleum pollutants in surface and ground water as indicated by the carbon-14 activity of dissolved organic carbon. *Science*, 1975, 187: 61 ~ 64
- [15] 李文朝. 五里湖富营养化过程中水生生物及生态环境的演变. *湖泊科学*, 1996, 8(增刊): 37 ~ 45. Li W. C. Biological and environmental succession in Wuli Bay of Taihu Lake along with the eutrophication processes (In Chinese). *Journal of Lake Science*, 1996, 8(Suppl.): 37 ~ 45
- [16] Chen Q. Self organization feature maps for analysis of aquatic data-a case study of eutrophication analysis in Taihu Lake. *J. Hydraulics Eng*, 2001, 6: 94 ~ 99
- [17] Jin X C, Wang S R, Pang Y. *et al.* The adsorption of phosphate on different trophic lake sediments. *Colloid and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspect*, 2005, 254: 241 ~ 248
- [18] 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 121 ~ 134. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. ed. *Soil Physics and Chemistry Analyze* (In Chinese). Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1978. 121 ~ 134
- [19] Ruban V, López-Sánchez P, Pardo G. *et al.* Quevauviller Harmonized protocol and certified reference material for the determination of extractable contents of phosphorus in freshwater sediments - A synthesis of recent works. *Fresenius J. Anal. Chem.*, 2001, 370: 224 ~ 228
- [20] Baham J, Sposito G. Chemistry of water-soluble, metal-complexing ligands extracted from an anaerobically digested sewage sludge. *J. Environ Qual.*, 1983, 12(1): 96 ~ 100
- [21] AWWA, APHA, WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18th Ed. Washington DC: American Public Health Association, 1998
- [22] Zhang C S, Wang L J, Li G S. *et al.* Grain size effect on multi-element concentrations in sediments from the intertidal flats of Bohai Bay, China. *Applied Geochemistry*, 2002, 17: 59 ~ 68
- [23] 金相灿, 王圣瑞, 庞燕. 太湖沉积物磷含量、形态及 pH 对磷释放潜能的影响. *中国环境科学*, 2004, 6: 707 ~ 711. Jin X C, Wang S R, Yan P. Phosphate forms and the effect of pH on the release of phosphate from sediments in Taihu Lake (In Chinese). *Chinese Environmental Science*, 2004, 6: 707 ~ 711
- [24] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民, 等主编. 太湖水环境演化过程与机理研究. 北京: 科学出版社, 2004. 160 ~ 204. Qin B Q, Hu W P, Chen W M. *et al.* eds. *Process and Mechanism of Environmental Changes of the Taihu Lake* (In Chinese). Beijing: Press Science, 2004. 160 ~ 204
- [25] Slomp C P, Malschaert J F P, Van Raaphorst W. The role of adsorption in sediment-water exchange of phosphate on North sea continental margin sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 1998, 43(5): 832 ~ 846
- [26] Stumm W, Morgan J. *Aquatic Chemistry*. New York: J. Wiley and Sons, 1981. 102 ~ 123
- [27] 刘敏, 侯立军, 许世远, 等. 长江河口潮滩表层沉积物对磷酸盐的吸附特征. *地理学报*, 2002, 57(4): 397 ~ 406. Liu M, Hou L J, Xu S Y. *et al.* Phosphate adsorption characteristics of tidal flat surface sediments and its environmental effect from the Yangtze Estuary (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(4): 397 ~ 406
- [28] 徐阳春, 沈其荣. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响. *土壤学报*, 2002, 39(1): 89 ~ 95. Xu Y C, Shen Q R. Effects of zero tillage and application of manure on soil microbial biomass C, N and P (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(1): 89 ~ 95
- [29] 李淑芬, 俞元春, 何晟. 南方森林土壤溶解有机碳与土壤因子的关系. *浙江林学院学报*, 2003, 20(2): 119 ~ 123. Li S F, Yu Y C, He S. Correlation between dissolved organic carbon and soil factors of the forest soil in southern of China (In Chinese). *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2003, 20(2): 119 ~ 123
- [30] Kaiser K, Zech W. Rate of dissolved organic matter release and sorption in forest soils. *Soil Science*, 1998, 163(9): 714 ~ 725
- [31] Naoml E, Detenbeck G, Patrick L. *et al.* Phosphorus sorption by sediments from soft-water Seepage Lake. 2. Effect of pH and sediment composition. *Environ. Sci. Technol.*, 1991, 25: 403 ~ 409
- [32] 黄泽春, 陈同斌, 雷梅. 污泥中的 DOM 对中国土壤中 Cd 吸附的影响 I. 纬度地带性差异. *环境科学学报*, 2002, 22(3): 349 ~ 353. Huang Z C, Chen T B, Lei M. Effect of DOM derived from sewage sludge on Cd adsorption on different soil in China I. Different in latitudinal zonal soils (In Chinese). *Acta Science Circumstantiae*, 2002, 22(3): 349 ~ 353
- [33] Temminghoff E J, van der Zee, de Haan F A M. Copper mobility in a copper contaminated sandy soil as affected by pH and solid and dissolved organic matter. *Environ. Sci. Tech.*, 1997, 31(4): 1109 ~ 1115

EFFECT OF DOM ON PHOSPHATE SORPTION IN LAKE SEDIMENTS

Wang Shengrui Jin Xiangcan Zhao Haichao Zhou Xiaoning

(*Research Center of Lake Environment, Chinese Research Academy of Environment Science, Beijing 100012, China*)

Abstract Effects of DOMs extracted from lake sediments different in trophic level from the Wuli Lake and the East Taihu Lake on phosphate sorption isotherms and sorption kinetics were studied through sorption experiment. The results indicate that: (1) DOM did not show much effect on phosphate sorption kinetics in lake sediments. Phosphate sorption proceeded at a high rate during the first 10 hrs, and basically reached equilibrium after 20 hrs. But the phosphate sorption rate was increased by DOM, especially during the initial period of 0 ~ 0.5 h, from 82.34 to 97.18 $\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ in the sediment from the East Taihu Lake, and from 12.21 to 59.17 $\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ in the sediment from the Wuli Lake; (2) DOM obviously changed the phosphate sorption isotherms of the sediments, suggesting it enhanced the sorption process and improved the efficiency of phosphate sorption on the lake sediments, from 123.3 to 164.8 L kg^{-1} on the sediment from the East Taihu Lake and from 94.56 to 206.3 L kg^{-1} on the sediment from the Wuli Lake; (3) The effect of DOM on phosphate sorption was greater on the sediment from the Wuli Lake that was high in pollution and in organic matter content than that on the sediment from the East Taihu Lake that was moderate in nutrient level and low in organic matter content.

Key words Lake sediment; DOM; Phosphate; Sorption