

49-54

P512.3

东太湖表层沉积物的磷饱和度初步研究

P343.3

李文朝¹ 陈开宁¹ 吴庆龙¹ 王刚²

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2. 兰州大学生物系, 兰州 730000)

提 要 对东太湖一个横断面上8个样点、1个网围养鱼区样点、1个鱼塘样点的表层10cm沉积物含磷量进行了分层采样分析,并以表层沉积物和湖水组成系统,通过磷添加研究了沉积物的磷饱和度.结果表明,东太湖表层沉积物总磷含量已经达到了0.0465%—0.0993%,略低于鱼塘沉积物的含磷量.表层沉积物的磷蓄积量已经基本达到饱和,当湖水中 $PO_4^{3-}-P$ 含量达到了200—300 $\mu g/L$ (是现在湖水实际含量的25—48倍),表层沉积物的总磷含量也只能增加0.037—0.077mg/g(是现在沉积物实际含量的0.06—0.14倍).网围养殖区沉积物磷含量和磷饱和度均高于非养殖区.

关键词 东太湖, 沉积物, 磷, 饱和度, 湖泊, 表层沉积物
分类号 P342 X524

在湖沼生态系统中,沉积物是一个庞大的磷贮存库,但其容量很有限.随着湖泊富营养化的发展,沉积物中的磷趋于饱和,湖泊生态系统就会丧失对磷污染的缓冲能力,表现为湖水中磷含量的急剧上升和由此而引起的藻类大量繁殖.研究湖泊中沉积物的磷容纳量和饱和度,揭示其富营养化进程和对外来磷污染的承受能力,可以为富营养化控制提供可靠的依据.东太湖是处在由中营养向富营养过渡后期的草型浅水湖泊,据1992年测定,表层沉积物中磷含量已经达到了0.023%—0.061%^[1].本研究以东太湖为对象,选择一个典型剖面,详细分析表层10cm沉积物中的磷含量和形态,并结合室内磷添加实验,初步揭示东太湖沉积物的磷容纳量和饱和度.同时以网围养殖区和鱼塘沉积物为实验对照,揭示了养殖污染对湖泊磷平衡的影响.

1 研究方法

1.1 沉积物采样与分析

1997年6月19日,自太浦河口清淤围栏外至茭白港口,均匀布设8个采样点(1—8,见图1),以内径90mm的柱状沉积物采样器采集表层100mm沉积物样品,每10mm切割成一层,风干后测定含水率、总磷和有效磷含量(总磷采用氢氟酸—高氯酸溶、钼锑抗比色法,有效

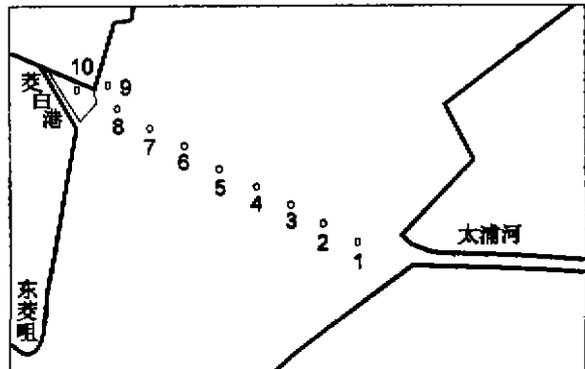


图1 东太湖沉积物采样点

Fig. 1 Sediment sampling points in East Taihu Lake

• 环境水化学国家重点实验室开放基金、国家自然科学基金、国家“九五”攻关项目联合资助。
收稿日期:1997-04-20,收到修改稿日期:1997-05-25.李文朝,男,1957年生,研究员.

磷采用 0.5M NaHCO_3 提取、钼锑抗比色法^[1]。与此同时,以完全相同的方法对中国科学院南京地理与湖泊研究所东太湖实验站多年养鱼网围(9)和养鱼池塘(10)的表层沉积物进行采样分析。

1.2 沉积物磷饱和度实验

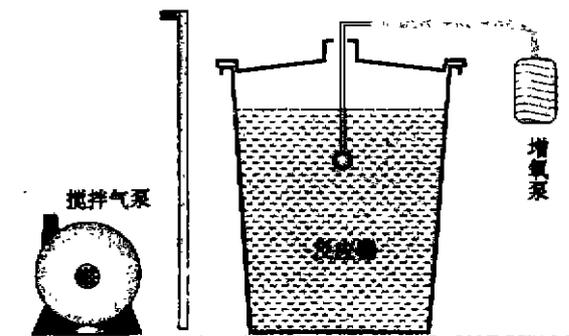


图2 磷平衡实验装置

Fig. 2 Experiment for phosphorous balance

在暗室内布设容积 90L 的有盖白色塑料桶 10 个,分别加入经 25 号浮游生物网过滤的清洁湖水 60kg,自以上 10 个样点各采集表层 100mm 沉积物约 2kg,以 100 目尼龙筛分别洗滤到 10 个塑料桶中,再用滤过湖水添加至 65kg。完全遮蔽光照以抑制藻类的生长,防止藻类对 PO_4^{3-} 的吸收同化;连续微量充气以维持实验系统的氧化状态,促进有机物质的氧化分解和磷释放,促使系统中沉积物与湖水之间达成磷平衡。每天测量水温,并以强力充气搅拌使沉积物充分悬浮,定时采取水样 10mL(在

充气搅拌前),经 4000rpm 离心 5 分钟后,取上清液,用钼锑抗比色法测定 PO_4^{3-} -P 含量。

本实验自 1997 年 6 月 20 日开始,7 月 10 日每桶添加磷标准液(用 KH_2PO_4 和 Na_2HPO_4 配制的缓冲液, pH=7.0,含磷 1mg/mL)6.5mL,7 月 13 日添加 20mL,7 月 25 日添加 6.5mL,7 月 30 日添加 20mL,连续采样分析系统在添加磷后的平衡过程,9 月 3 日结束实验,收集沉积物进行风干处理,测量总重量和含水率,分析总磷和速效磷含量。

2 研究结果

2.1 表层沉积物中的磷含量

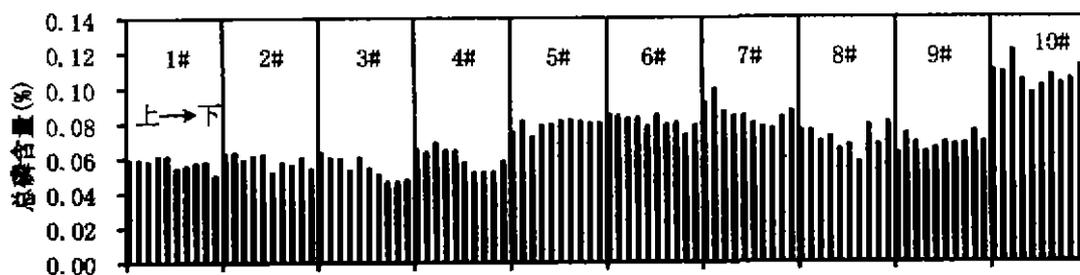


图3 10个样点上分层(10层)沉积物的总磷含量

Fig. 3 Total phosphorous concentration in the sediment of 10 sampling points and 10 layers

取自东太湖 8 个样点上的 80 个分层沉积物样品中,总磷含量 0.0465%—0.0993%,平均含量 0.0683%。在大多数样点上,由下层至上层总磷含量略呈增高趋势,5—8 号样点上的总磷含量明显高于 1—4 号样点,主要因为西北沿岸带受外来污水和养殖污染的双重影响。养鱼网围内沉积物的总磷含量(8 号点)甚至略低于邻近的非养殖区(7 号点),但鱼塘沉积物总磷含量

却显著高于湖泊沉积物。

东太湖沉积物中有效磷含量 3.48—19.84mg/L, 占总磷的 0.50%—2.03%; 平均含量 6.20mg/L, 占总磷的 0.91%。有效磷含量在各样点和层次间的变化趋势与总磷基本一致(图 4)。特别突出的是, 鱼塘沉积物中有效磷平均含量高达 32.23mg/L, 是湖底沉积物的 4 倍多。

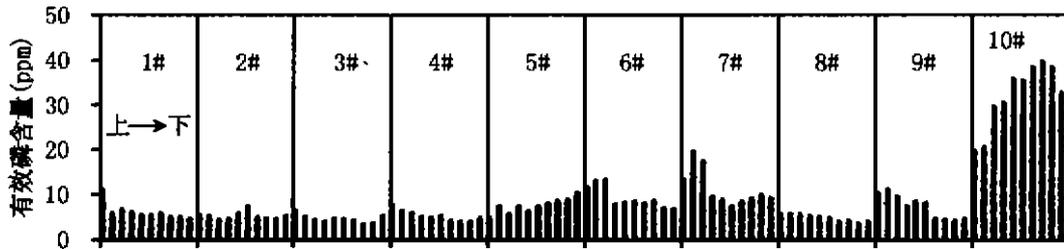


图 4 10 个样点上分层(10 层)沉积物的有效磷含量

Fig. 4 Bio-effective phosphorous concentration in the sediment of 10 sampling points and ten layers

2.2 沉积物与湖水间的磷平衡

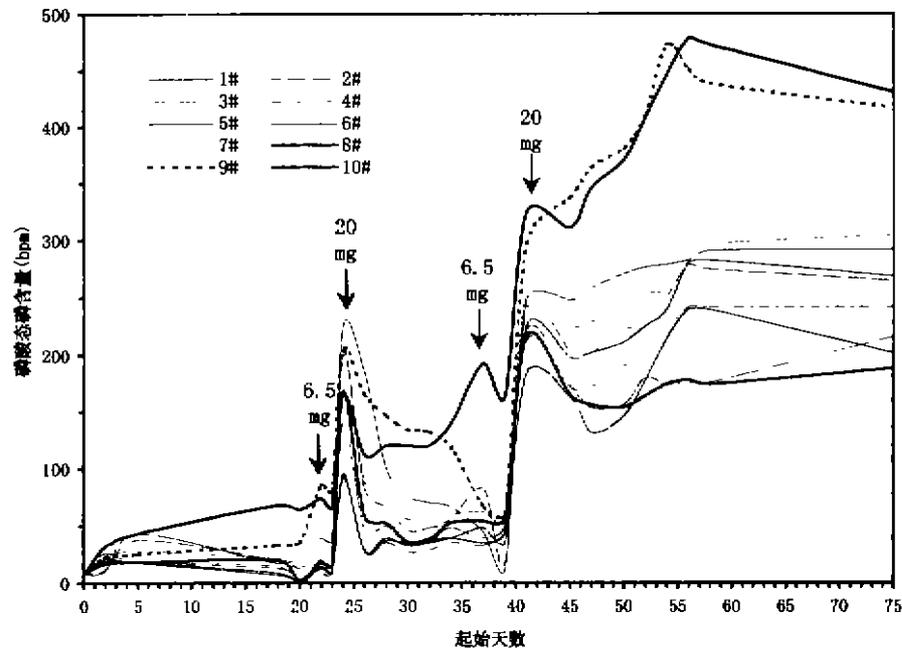


图 5 磷添加实验中水相 PO_4^{3-} -P 度的变化过程

Fig. 5 Changes of PO_4^{3-} -P level in the water of P. adding experimental systems

8 个由湖水和湖底沉积物组成的实验系统(1[#]—8[#]) 在避光、持续充气增氧、间歇充气搅拌和 25—30℃ 条件下, 经过 20 天反应后, 基本达到了稳定平衡(图 5)。在前 5 天里, 水相中的 PO_4^{3-} -P 由初始的 7 μ g/L 急剧上升到了 18—43 μ g/L; 此后持续下降, 到 20 天时达到了 1—

23 $\mu\text{g/L}$. 这一反应过程比较复杂,它包含了有关磷的生物化学反应和物理过程等,这里没有足够的研究资料来分析它们.第20天添加6.5mg磷引起了水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度的轻微波动.第23天添加20mg磷之后,水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度跃升到92—225 $\mu\text{g/L}$.此后迅速下降,并稳定在30—60 $\mu\text{g/L}$.第40天添加20mg磷之后,水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度再次跃升到184—253 $\mu\text{g/L}$.但没有能回复到先前的水平,又经过长达35天之后,稳定在了200—300 $\mu\text{g/L}$ 的范围内.

9[#](网围养鱼区沉积物)和10[#](鱼塘沉积物)实验系统的反应过程趋势与湖底沉积物基本相似,但在添加磷之前水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度就已经达到了35和60 $\mu\text{g/L}$,且每次添加磷之后达到的稳定平衡浓度要比采用湖底沉积物的实验系统高得多,最终浓度为417和431 $\mu\text{g/L}$.

表1 实验系统的组成及磷分配

Tab. 1 Composition of the experimental systems and distribution of phosphorous between the components

编 号	实验系统 磷添加量 (mg)	沉 积 物				湖 水			
		总干重 (g)	始含磷 (mg)	末含磷 (mg)	磷增加 (%)	总重量 (g)	始含磷 (mg)	末含磷 (mg)	磷增加 (%)
1	53	556	458	489	6.77	64444	0.451	22.040	4787
2	53	611	557	593	6.46	64389	0.451	17.063	3683
3	53	485	385	419	8.83	64565	0.452	19.692	4267
4	53	455	418	456	9.09	64545	0.452	15.620	3356
5	53	512	427	463	8.43	64488	0.451	17.347	3746
6	53	316	331	371	12.08	64684	0.453	13.066	2784
7	53	308	283	322	13.78	64692	0.453	13.978	2985
8	53	536	486	527	8.44	64464	0.451	12.119	2587
9	53	732	558	585	4.84	64268	0.450	26.800	5856
10	53	1021	1248	1274	2.08	63979	0.448	27.575	6055

* 湖水初始含 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 7mg/m³

表1列举了10个实验系统中的沉积物量、水量和磷添加量,以及实验起始与终末时沉积物和水相中磷的总蓄积量.在这10个实验系统中,虽然沉积物只占系统总质量的0.47%—1.57%,它却蓄积了系统中(初始状态)总磷量的99.84%—99.96%.但添加到系统中的53mg磷有22.01%—51.11%蓄积在水相,使得水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度提高了25到60倍.

3 讨论

3.1 沉积物磷饱和度与湖泊的磷负荷能力

湖泊对外来磷污染的负荷能力是指当湖水中的磷含量不超过某一限定水平(富营养水平的TP下限浓度为30mg/m³)时,通过泄水输出、生物收获输出和沉积输出的磷量总和^[3].沉积输出量可以分解成两部分:固体含磷物质的沉积和表层沉积物对湖水中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的吸收.本项研究主要分析了东太湖表层沉积物中的磷蓄积量,并通过磷添加实验揭示沉积物对磷的容量和饱和度.

3.2 东太湖表层沉积物的磷饱和度分析

据作者1997年80点次的调查结果,东太湖湖水中TP平均含量31 $\mu\text{g/L}$,已经突破了富营养水平的下限^[4].本项研究结果证明(表2),湖底沉积物对磷的吸收已经接近饱和,任何磷添加都能引起实验系统水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度的明显上升.当水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度由7 $\mu\text{g/L}$ 上升到35—100 $\mu\text{g/L}$ 时,沉积物中的磷含量只增加了4.17%—7.38%;当水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 达到200

300 $\mu\text{g/L}$ 的高浓度时,沉积物中的磷含量也仅增加了6.46%—13.78%。

网围养鱼区沉积物和鱼塘沉积物的磷饱和度更高,当水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度提高到130 $\mu\text{g/L}$ 和147 $\mu\text{g/L}$ 时,沉积物中的磷含量只增加了1.47%和3.15%;水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 高达417 $\mu\text{g/L}$ 和431 $\mu\text{g/L}$ 时,沉积物中的磷含量也不过增加了2.08%和4.84%。

表2 沉积物磷吸收特征

Tab. 2 Absorption characteristic of the sediment to phosphorous

编号	沉积物 初始 含磷量 (mg/g)	添加磷 26.5mg 平衡后			添加磷 53mg 平衡后		
		水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ($\mu\text{g/L}$)	沉积物 吸收磷量 (mg/g)	沉积物 含磷增加 (%)	水相中 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ($\mu\text{g/L}$)	沉积物 吸收磷量 (mg/g)	沉积物 含磷增加 (%)
1	0.824	98	0.037	4.49	292	0.056	6.77
2	0.912	36	0.038	4.17	265	0.059	6.46
3	0.885	60	0.053	5.99	306	0.077	8.81
4	0.919	35	0.054	5.87	242	0.083	9.09
5	0.834	39	0.048	5.75	269	0.070	8.43
6	1.047	33	0.077	7.38	202	0.128	12.26
7	0.919	48	0.077	4.79	216	0.128	13.78
8	0.907	52	0.044	4.85	188	0.077	8.41
9	0.762	147	0.024	3.15	417	0.036	4.84
10	1.222	139	0.018	1.47	431	0.025	2.08

每个实验系统中的沉积物取自面积约0.02 m^2 的湖底,添加53mg磷相当于2.65 g/m^2 湖面的磷污染负荷,这大约是东太湖7个月的实际外源磷负荷量,可见,沉积物对磷的吸收显然已经微不足道,保持东太湖平衡主要靠其他输出途径,鉴于湖水中的磷含量已进入富营养水平,且水流自西太湖携入的磷量无法控制,必须以增加生物收获输出和削减来自东山半岛的磷污染为主要途径,来实现东太湖磷输入与输出在现有营养水平上的平衡,防止富营养化的进一步发展,网围养殖的磷污染是显著的,东太湖西北一侧是较早的网围养殖区,其表层沉积物的磷含量和磷饱和度均比较高,尤其是网围养鱼区。

4 小结

沉积物对磷的吸收和释放是一个十分复杂的过程,沉积物与湖水之间磷交换的动态平衡受到多种生物因素和非生物因素的影响,本项研究用表层沉积物和湖水构成一个实验系统,通过强烈的充气搅拌保持沉积物与湖水的充分接触,加快了沉积物与湖水之间的磷交换速度,在短期内促成交换平衡,初步实验结果证明,东太湖表层沉积物的磷蓄积量已经接近饱和,网围养殖区的沉积物具有更高的磷饱和度,对磷污染比较敏感,现有的外源磷污染负荷足以引起东太湖的进一步富营养化,增加生物收获输出和控制东山半岛磷污染源是实现东太湖磷平衡的主要有效途径。

东太湖水生植被发育良好,表层沉积物比较稳定,在这种近似静态的环境下,有多大厚度的沉积物与湖水间发生磷交换?对磷的吸收量有多大?水生植物在沉积物与湖水间的磷交换

中起着什么作用? 笔者正在深入开展这方面的研究.

参 考 文 献

- 1 李文朝. 东太湖水生植物的促淤效应与磷的沉积. 环境科学, 1997, 18(3): 9-12
- 2 中国科学院土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978. 62-136
- 3 Lijlema L, *et al.* Sediment and its interaction with water. In: Somly L & G Van straten eds. Modeling and managing shallow lake eutrophication with application to Lake Balaton. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 156-182
- 4 金相灿等. 中国湖泊富营养化. 北京: 中国环境科学出版社, 1990. 31-50

A Preliminary Study on Phosphorous Saturation of the Top Sediment in East Taihu Lake

Li Wenchao¹ Chen Kaining¹ Wu Qinglong¹ Wang Gang²

¹: Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008;

²: Department of Biology, Lanzhou University, Lanzhou 730000

Abstract

In eutrophic lakes, the sediment usually plays as a large sink for phosphorous, but its capacity to take up more phosphate is quite limited. In this investigation, phosphorous saturation of the top sediment in East Taihu Lake was studied and used as an index of lake eutrophication. Eight sample points were sited along a line across the lake, and the top 10cm sediment was collected. The top sediment samples was also taken from an old fish farming pond and a pen as contracts. One series of row samples was cut into peacs of 1cm and analyzed for total phosphorous (TP) and reactive phosphorous (RAP) content. It was found that the content of TP in the top sediment varies from 0.0465% to 0.0993%, and RAP from 3.48 mg/kg to 19.84 mg/kg. The fish-pond sediment had the highest TP and RAP content among all the the samples, but there was no remarkable difference between pen sediment and lake sediment.

Ten experimental systems were prepared by mixing 2-kg sediment with the lake water in plastic tanks of 90L volume. The tanks were covered, aired with a pump and kept in dark. Phosphate (53mg P) was added to each system in four times to detect phosphorous saturation of the sediment. The sediment samples from fish-pond and pen were already phosphorous-saturated, and the lake sediment samples were nearly phosphorous-saturated. After adding 53 mg phosphate-phosphorous in each system, phosphate level of the water phase became as high as 200-300 μ g/L (25-48 times as high as in the lake water), but TP content of the sediment only increased 0.037-0.077 mg/g in the sediment (0.06%-0.14% of content). This indicates that the lake is now very sensitive to phosphorous pollution. Good care has to be taken for keeping a phosphorous balance in the lake ecosystem.

Key Words East Taihu Lake, sediment, phosphorous, saturation