

湖泊, 水污染, 沉积物界面, 物质交换(12)

梅梁湖 五里湖

73-78

梅梁湖和五里湖水-沉积物界面的物质交换 p512.3

范成新 秦伯强 孙越

X524

(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

摘要 研究了25℃条件下太湖北部湖区水-沉积物界面的物质交换. 结果表明: 五里湖沉积物中的氮、磷和COD_{Mn}的释放程度明显高于梅梁湖, 其NH₄⁺-N、DTP和DCOD的平均溶出速率分别为158.2、2.05和27.8mg/(m²·d); 梅梁湖北部湖区形态氮处于“负释放”状态, DTP和DCOD溶出速率分别为0.584mg/(m²·d)和8.9mg/(m²·d). 此外, 形态氮、磷和DCOD的水-沉积物界面物质交换量与底泥中总氮、总磷和有机质含量有显著对应关系. 根据内源负荷分析, 认为减少局部湖区沉积物氮、磷和COD的释放, 将是控制太湖水质恶化和富营养化的重要途径.

关键词 水-沉积物界面 物质交换 梅梁湖 五里湖

分类号 X524 P343.3

梅梁湖和五里湖是太湖北部的两个湖湾, 是无锡市主要饮用水源地. 近10年来, 湖区水质恶化, 富营养化严重. 据“七五”期间对两湖外污染源研究结果^[1], 年入湖污染物质: 总氮2339.3t、总磷198.1t和高锰酸盐指数(COD_{Mn})4274t; 氮、磷和COD_{Mn}是太湖的主要污染物和污染指标. 但是太湖内源污染的研究至今仍很少开展. 黄绍基等人^[2]用质量衡算法从理论上初步估算了太湖磷的内源释放量; 尹大强等人^[3]通过改变环境条件对五里湖表层分散状沉积物进行了磷的释放研究, 但结果不能用于内源负荷计算. 对梅梁湖和五里湖未扰动沉积物的物质释放及内源定量研究, 则尚未见有报道.

梅梁湖和五里湖总面积约130km², 底泥总面积约25km², 主要分布在梅梁湖北部和五里湖区(图1). 底泥最深处达3m左右^[4]. 本文拟通过在两湖区采集柱状样品, 于室内进行水-沉积物界面释放研究, 旨在初步了解两湖区内源对上覆水氮、磷和COD_{Mn}的贡献, 为控制太湖富营养化提供科学依据.

1 材料和方法

1.1 样品采集与分析

1.1.1 沉积物 根据沉积分布特点, 于1996年7月13日在五里湖东(中桥)、梅梁湖北(三山)和两湖区结合部(梅园、属五里湖区)水域用全球定位系统(GPS)选取三个采样点. 三采样点泥深分别为2.21m、2.25m和2.00m. 用装有∅60mm×1000mm有机玻璃管的柱状采样器采集上层底泥样, 垂直取样深度为30cm. 样品上层用水样注满, 上下两端用橡皮塞塞紧, 垂直放置, 小心带回实验室.

将柱状样按每2cm分层、包装. 干燥后按4分法取样, 过200目筛. 测定项目和方法分别

· 中国科学院“九五”重点项目(KZ952-J1-212)研究内容之一.

收稿日期: 1996-09-24; 收到修改稿日期: 1997-03-24. 范成新, 男, 1954年生, 研究员.

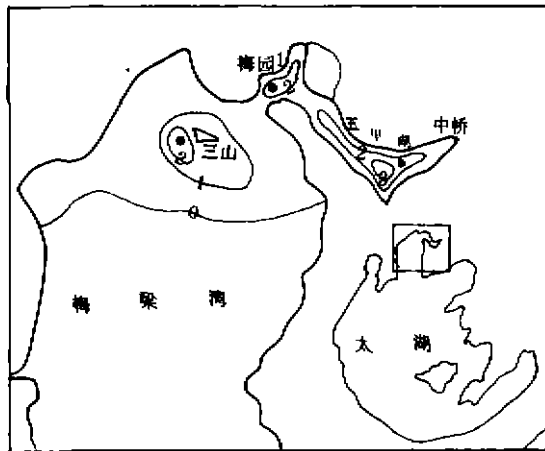


图1 梅梁湖和五里湖采样点位置及底泥分布(m)

Fig. 1 Distribution of sampling stations of sediments in Meiliang Bay and Wuli Lake

为:粒度,移液管法;总氮,催化还原/容量法;总磷,酸性消解/钼蓝比色法;有机质,重铬酸钾硫酸消解/容量法。

1.1.2 水样 下层水样采集与沉积物采集同步。带回室内后立即经玻璃纤维滤膜(Whatman GF/F)过滤后,放入4℃下避光保存。水样分析方法参照中国国家地面水环境质量标准(GB3838-88)和《湖泊富营养化调查规范》^[5]。

1.2 水、沉积物界面的物质交换实验

在室内将柱状沉积物样中的上层水用虹吸法抽去,再沿壁小心滴注入已过滤的同一采样点水样,至液面高度距沉积物表面24cm处为止(此时沉积物和水柱的总体积为678.6mL),标注刻度。另取一只无沉积物的采样管,下端用皮塞塞紧,水样加注

操作及要求同上,作为对照。所有采样管均放入25℃、蔽光的生化培养箱中。同时取原水样作起始样,分析起始DO、DTN、 NH_4^+ -N、 NO_2^- -N、 NO_3^- -N、DTP、 PO_4^{3-} -P和 DCOD_{Mn} 。此后在指定时间用移液管于水柱中段取样,每次取75mL,同时用经过滤的同一采样点水样补充至水面刻度。每6-8h对上层水进行人为搅动:将玻璃棒前端距底泥表面10cm处按60转/min顺时针搅动1min。其后于8h、24h、40h、56h、72h、96h、120h进行如上述方法采样。全部实验于144h(6d)后停止,结束时的样品分析项目与起始时相同。某营养物的释放速度按下两式计算:

(1) 对有逐次取样的分析项目(DTN、DTP和 PO_4^{3-} -P):

$$r = [V(C_n - C_0) + \sum_{i=1}^n V_{i-1}(C_{i-1} - C_0)] / A \cdot t \quad (1)$$

式中, r 为释放速率($\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$); V 为柱中上层水体积(L); C_n 、 C_0 、 C_{i-1} 为第 n 次、初始和 $i-1$ 次采样时某物质浓度(mg/L); C_s 为添加水样中的物质浓度(mg/L); V_{i-1} 为第 $i-1$ 次采样体积(L); A 为柱样中水-沉积物接触面积(m^2); t 为释放时间(d)。

(2) 对仅有起始和结束时取样的分析项目(NH_4^+ -N、 DCOD):

$$r = [V(C_n - C_0) + V(C_n + C_0) \cdot (n - 1)/2] / A \cdot t \quad (2)$$

式中, V 为取样体积,其它符号意义同式(1)。由于不考虑 NH_3 的水-气界面交换,所计算的 NH_4^+ -N和DTN溶出为表观释放速率。

2 结果和讨论

2.1 沉积物性质

对各采样点表层底质粒度组成及岩性分析表明,样品间各级分颗粒物含量差异不明显,50%以上组成为0.02—0.002mm范围内的细砂,均属粉(砂)质粘壤土。

样点表层沉积物平均 pH 值为 7.25, 接近中性, 各样点间差异较小, 但同期测得的水柱上层水(表层 0.5m)样 pH 平均值为 8.40, 呈弱碱性, 高出沉积物 0.85pH 单位, 表明表层底泥的酸碱性质没有明显受到上层水体的影响. 各湖区沉积物中主要营养物质含量差异则较为明显(表 1). 位于五里湖的中桥和梅园采样点, 其总磷、总氮和有机质含量均明显高于梅梁湖的三山采样点, 而中桥和梅园采样点间含量差异则不显著, 该状况与不同湖区所受的污染程度差异有关. 三山测点离岸约 2km, 受岸边特别是河口影响较小; 五里湖, 长期以来接纳无锡市内河—梁溪河倒灌或扩散而来的重污染废水^[1]. 梅园以东湖区曾进行过大规模网围养鱼, 目前北岸仍有大片养鱼池, 其高营养物质浓度的鱼池水排放也给五里湖增加内负荷.

表 1 表层沉积物和上层水体化学性质

Tab. 1 Chemical properties of the superficial sediments and overlying water

项目	中 桥		梅 园		三 山	
	沉积物(%)	上层水(mg/L)	沉积物(%)	上层水(mg/L)	沉积物(%)	上层水(mg/L)
pH ¹⁾	7.24	8.16	7.01	8.55	7.46	8.49
总磷	0.404	0.070	0.542	0.074	0.240	0.161
总氮	0.278	6.60	0.275	4.55	0.091	5.46
有机质	4.94	-	4.73	-	1.75	-

1) pH 为无量纲值

2.2 水-沉积物界面的物质交换

2.2.1 DTN 和 DTP 释放 25℃ 条件下实验系统 DTN 的释放量随时间的变化表明(图 2), 中桥和梅园采样点 DTN 释放量处于稳定上升状态, 呈正释放; 而三山采样点则呈线性下降趋势, 表现为“负”释放或吸附状态. 从量值上比较, 五里湖中 DTN 释放通量与梅梁湖中的吸附通量绝对值几乎相等, 反映两湖区沉积物-水间 DTN 转化和交换行为有很大差别, 其中特别是与氮的反硝化所形成的气态氮(N_2 , N_2O 和 NO)逃逸程度有关^[6].

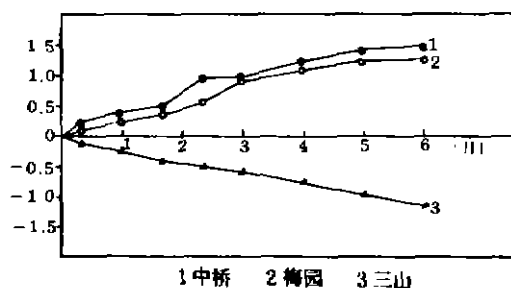


图 2 梅梁湖和五里湖底泥 DTN 释放曲线(25℃)

Fig. 2 DTN release of the sediments in Meiliang Bay and Wuli Lake(25℃)

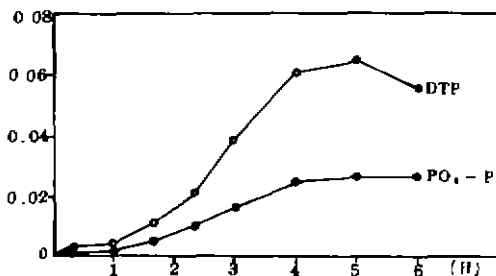


图 3 梅园测点底泥磷释放曲线(25℃)

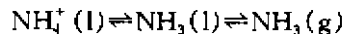
Fig. 3 The phosphorus release of the sediment at Meiyuan(25℃)

分析磷的释放结果表明, 两湖区均表现出正释放. 以梅园为例(图 3), 实验初期 DTP 和 $PO_4^{3-}-P$ 的释放量随时间变化缓慢, 相当于某些催化反应的诱导阶段. 约 24h 后, 曲线呈线性上升, 并保持至第 4d(其中 $PO_4^{3-}-P$ 的线性释放更为明显). 4d 以后, 变化趋缓, 甚至下降(如

DTP). 这一实验结果与 25℃ 下太湖磷释放曲线变化^[7]极为相似. 实验时间的延长使得实验系统与实际情况间的误差增加, 磷在 25℃ 条件下的释放信息应反映在曲线下垂(4d)之前.

2.2.2 水-沉积物界面的形态氮变化 测定起始和 6 日实验结束的各采样点和对照样上层水的形态氮($\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$)含量(图 4), 结果表明, 除 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 在五里湖的两采样点外, 其余均呈负“释放”. 这一结果与形态氮的易变性质有关. 在渍水的土壤和湖泊沉积物表面, 有时缺乏游离氧, 此时微生物主要利用氧化物中的氧作为氢的受体进行呼吸, 往往伴随反硝化作用发生. 初始表现为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 下降, 中间产物 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 积累; 随时间增加, $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 也不断向低价态物质, 如 N_2O 和 N_2 转化^[6]. 后两者可通过水-气界面而逸入大气, 从而表现为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 含量减少, “释放”呈负值.

本研究将实验系统设计为开放状态, 旨在模拟湖泊在实际情况下水柱中物质含量的变化. 除反硝化作用可能产生的 N_2O 和 N_2 外, 沉积物向水中释放的 NH_4^+ 也将因下面的平衡



而不断向大气逸散气态 NH_3 . 因此本研究反映的 NH_4^+ 的释放量仅为水-沉积物界面 NH_4^+ 释放量中对实验系统有意义的那一部分, 实际的释放通量应大于该值.

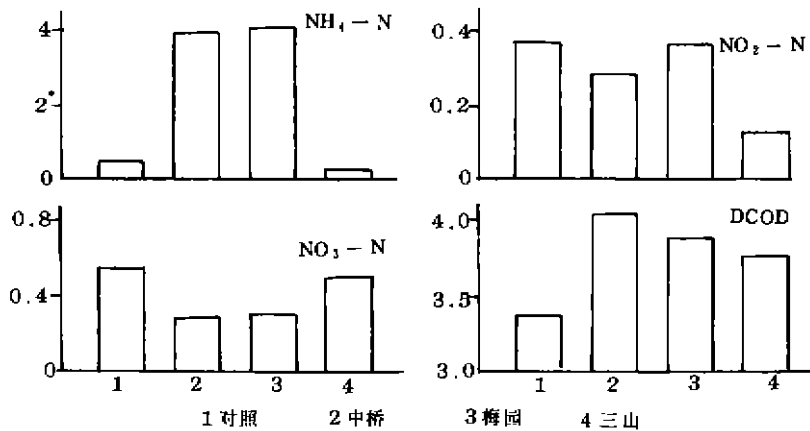


图 4 水-沉积物系统中形态氮和 DCOD 含量变化(6 日, 25℃)

Fig. 4 The variations of the formal nitrogen and DCOD in water sediment system(6d, 25℃)

2.2.3 沉积物表层的 DCOD 溶出 DCOD 可表征一切可由高锰酸盐氧化的溶解性物质耗氧量总和. 这些物质主要包括有机物和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$ 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 等. 由于有机物耗氧通常明显高于其它物质, 因此 DCOD 主要反映溶解性有机物含量. 由图 4 可见, 梅梁湖和五里湖水-沉积物界面均有明显的 DCOD 溶出. DCOD 含量的增加程度从中桥、梅园和三山而依次递减, 反映五里湖沉积物对水柱的有机污染的贡献较之梅梁湖亦大.

2.2.4 交换速率与沉积物中物质含量关系 根据实验中取样时间间隔差异, 分别按式(1)和式(2)对 DTP 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 释放曲线的线性部分以及 DTN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 DCOD 表观净增加部分进行释放速率计算, 并进行统计分析(表 2). 与其它湖泊研究比较, 五里湖西的 DTP 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 释放速率分别为 $3.336 \pm 0.028 \text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 $1.493 \pm 0.013 \text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 高于杭州西湖夏季现场模拟的平均磷释放速率 $1.02 \text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ^[9]; 氮的释放, 五里湖区则明显高于巢湖

$[10.08 - 27.48 \text{ mg N}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]^{[10]}$, 表明太湖北部湖区底泥营养物在所模拟的条件下有较高的释放强度。

表 2 太湖北部水-沉积物界面夏季物质释放(1996 年)

Tab. 2 The nutrient release of the water-sediment interface of the north Taihu Lake in summer(1996)

项目	五里湖东(3.0km ²)		五里湖西(2.6km ²)		梅梁湖北(15.0km ²)		总释放量 (t)
	释放速率 (mg/(m ² ·d))	释放量 (t)	释放速率 [mg/(m ² ·d)]	释放量 (t)	释放速率 [mg/(m ² ·d)]	释放量 (t)	
DTN	107.9±1.2	29.5	88.2±0.97	20.9	-82.3±0.91	-112.6	-62.2
NH ₄ ⁺ -N	154.5±2.9	42.3	161.8±3.0	38.4	-15.7±0.29	-21.5	59.2
DTP	0.771±0.0065	0.211	3.336±0.028	0.791	0.584±0.0049	0.799	1.80
PO ₄ ³⁻ -P	0.559±0.0047	0.153	1.493±0.013	0.354	0.226±0.0019	0.309	0.816
DCOD	31.4±0.62	8.60	24.2±0.48	5.74	8.90±0.18	12.2	26.5

将表 2 中 DTP、PO₄³⁻-P 和 DCOD 释放量与表 1 中相应沉积物中的磷和有机质含量对比发现:物质释放量的大小与沉积物中该物质含量高低有明显对应关系,如五里湖样点沉积物中物质含量大于梅梁湖北部,因而前者夏季 DTP(PO₄³⁻-P)、DTN(NH₄⁺-N)和 DCOD 释放速率表现出明显大于后者,其中三山采样点底泥中总氮是五里湖的 1/3 左右,DTN 和 NH₄⁺-N 都已处于“负释放”状态,虽然影响实验系统的因素很多,但这一结果揭示了湖泊沉积物中物质含量大小,是决定该物质向水中的释放程度的重要因素之一。

2.3 物质释放量计算

太湖常年月平均水温变化在 4.5—29.0℃ 之间^[8],其中夏季(6—8 月)平均水温在 25℃ 左右,依据图 1 沉积物分布情况及采样点位置,中桥、梅园和三山采样点可分别代表五里湖东部(3.0km²)、五里湖西部(2.6km²)和梅梁湖北部(15km²)湖区沉积物,太湖北部湖区沉积物夏季物质释放量按下式计算:

$$W_i = \sum_{j=1}^3 r_{ij} A_j \Delta T \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中, W_i 为夏季第 i 种物质释放量(t); r_{ij} 为第 i 种物质在 j 样点中沉积物中的释放速率[mg/(m²·d)]; A_j 为 j 采样点代表的湖区面积(km²); ΔT 为 25℃ 所代表的夏季时段(0.25 年 = 91d)。根据采样点所代表的湖区沉积物面积及表 3 中的释放速率,按式(3)估算的 DTP、PO₄³⁻-P 释放速率和 DTN、NH₄⁺-N、DCOD 表观释放量一并列于表 2。

由表 2 可以看出,五里湖中的两采样点沉积物各物质均有较大的正释放,其中五里湖 NH₄⁺-N 表观释放量合计达 80.7t,以平均水深 2m 计,相当于夏季因五里湖沉积物影响使上层水每升增加 7.21mgNH₄⁺-N,平均内负荷达 2.87g/m²。联系近 10 年来每至春季和夏初水温上升期,中桥水厂和梅园水厂源水中 NH₄⁺-N 常出现严重超标(生活饮用水标准 0.5mg/L)现象,其重要原因之一是与沉积物中 NH₄⁺-N 的释放有关。磷和 DCOD 的溶出对两湖体的负荷亦不容忽视,经计算,两湖区沉积物仅夏季就可向水柱分别输送 1.80t 磷和 26.5t DCOD,平均单位内负荷分别为 0.087g P/m² 和 1.28g COD/m²。太湖各湖区有 400km² 以上厚度大于 0.1m 的底泥覆盖^[4],合计氮、磷和 COD 释放总量将非常大。但不同湖区物质的释放情况会有

很大差异,如梅梁湖北部的三山 DTN 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 有很大的“负释放”速率,对湖水中的氮素的减少有贡献.因此,从生态保护的角度来考虑控制湖体的富营养化,应根据对不同湖区研究结果确定是否有必要进行湖底清淤等环境工程措施.

致谢 季江和张文华同志协助野外采样,谨此一并致谢.

参 考 文 献

- 1 黄漪平,范成新,袁静秀等.太湖水质现状及变化趋势.中国科学院南京地理与湖泊所集刊(第9号)北京:科学出版社,1993.27—35
- 2 黄绍基等.质量衡算模型计算太湖底泥磷的交换量.环境科学,1992,13(1):83—84
- 3 尹大强等.环境因子对五里湖沉积物磷释放的影响.湖泊科学,1994,6(3):240—245
- 4 范成新,季江,隋桂荣.太湖底泥蓄积和主要理化性质空间分布特征.见:蔡启铭主编.太湖生态环境(一).北京:科学出版社,1998(待出版)
- 5 金相灿,屠清瑛主编.湖泊富营养化调查规范.第二版.北京:中国环境科学出版社,1990
- 6 Schulthess R V, *et al.* Nitric and nitrous oxides from denitrifying activated sludge at low oxygen concentration. *Water Sci Technol*, 1994, 30(6):123—132
- 7 范成新.涌潮沉积物理化特征及磷释放模拟.湖泊科学,1995,7(4):341—350
- 8 孙顺才,黄漪平主编.太湖.北京:海洋出版社,1993.91—92.
- 9 韩伟明.底泥释磷及其对杭州西湖富营养化的影响.湖泊科学,1993,5(1):71—77
- 10 屠清瑛,顾丁锡等.巢湖——富营养化研究.合肥:中国科学技术大学出版社,1990

Substance Exchange Across Water-Sediment Interface in Meiliang Bay and Wuli Lake

Fan Chengxin Qing Boqiang Sun Yue

(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

Abstract

The substance exchange across the water-sediment interface in the north Taihu Lake was studied under the condition of 25°C. The results show that the release levels of nitrogen, phosphorus and COD in Wuli Lake area are distinctly higher than those in Meiliang Bay, and the average release rates of their $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, DTP and DCOD are 158.2, 2.05, and 27.8 mg/(m²·d), respectively. In the northern part of Meiliang Bay, formal nitrogen negatively releases and however, DTP and DCOD release rates are separately 0.584 and 8.9 mg/(m²·d). Moreover, the exchangeable amount of the formal nitrogen, phosphorus and DCOD on the water-sediment interface has obviously to do with content of the total nitrogen, total phosphorus and organic matter in the corresponding sediments. On the basis of internal pollution source analysis, restraining the release of nitrogen, phosphorus and COD in the part lake area is considered to be one of the important measures to control the water pollution and eutrophication of Taihu Lake.

Key Words Water-sediment interface, substance exchange, Meiliang Bay, Wuli Lake