

# 环境因子对五里湖沉积物磷释放的影响<sup>\*</sup>

尹大强 覃秋荣<sup>\*\*</sup> 阎航<sup>\*\*\*</sup>

(南京大学环境科学与工程系, 南京 210008)

**摘要** 本文论述了溶解氧、pH、温度和沉积物中微生物作用对太湖五里湖区沉积物磷释放的影响,以及在pH为8.4、好氧和厌氧二种状态下沉积物释放试验后滤液对斜生栅列藻(*Scenedesmus obliquus*)和羊角月芽藻(*Selenastrum capricornutum*)增长的影响。结果表明:溶解氧降低、pH和温度升高、微生物作用有利于沉积物磷向水体释放,与湖水组相比,厌氧状态下沉积物磷释放后滤液能显著促进斜生栅列藻增长,但不能促进羊角月芽藻增长,好氧状态下沉积物磷释放后滤液均不能促进二种藻类的增长。

**关键词** 沉积物 磷释放 藻类生长 五里湖

湖泊沉积物是湖泊营养的内负荷,沉积物中磷的释放也是湖泊水体中磷的重要来源之一,对水体的营养水平有着不容忽视的影响。Frink指出<sup>[1]</sup>,湖泊底泥能起植物营养源的作用。资料表明<sup>[2]</sup>,当入湖营养盐减少或完全截污后,水体沉积物中磷的释放作用仍使水体处于富营养化状态,甚至出现“水华”。

太湖是我国五大淡水湖泊之一,资料表明太湖某些湖区已属富营养型<sup>[3,4]</sup>。近年来,随着太湖地区的工农业生产迅速发展,外源营养物的不断输入,加速了太湖富营养化过程,突发性“水华”和阻塞自来水滤池事件时有发生,已受到了国内外湖泊环境学者的极大关注。因此,开展对太湖富营养化形成机理的研究有极大意义。

五里湖是太湖北部的一个湖湾。这里水流与外湖交换缓慢,是无锡市生活污水和某些工业废水的接纳场所,水体中氮、磷营养物含量丰富,为重富营养化水体<sup>[4]</sup>。五里湖湖底平坦,水浅,风浪小,淤泥型底质,有机物含量丰富,水生植物丰富,底质中生物以尾鳃蚓和摇蚊幼虫为优势种。

本文在模拟五里湖沉积物磷释放试验中,研究了溶解氧、pH、温度和沉积物中微生物作用对沉积物磷释放的影响,同时还对沉积物释放后滤液进行了藻类生长潜力测试,为控制太湖富营养化研究提供基本科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

1.1.1 沉积物 用彼得生采泥器采集太湖五里湖区表层沉积物,同时用采水器采集距沉积

\* 国家自然科学基金项目(29130300)。

\*\* 为本系1992年届毕业生。

\*\*\* 现在工作单位:南京市建邺区环保局。

收稿日期:1993年7月12日,接受日期:1993年11月25日。

物约 0.5 m 处湖水,湖水 pH 为 8.4,采样时间 1992 年 5 月。

1.1.2 藻类 中国科学院武汉水生生物研究所纯种培养斜生栅列藻 (*Scenedesmus obliquus*) 和羊角月芽藻 (*Selenastrum capricornutum*)。

## 1.2 方法

1.2.1 沉积物磷释放试验 释放试验按“富营养化调查规范”进行<sup>[5]</sup>。取若干 1000 mL 锥形瓶,将滤干水的沉积物和湖水装入,其中每瓶中盛有沉积物 4.4 g (干重 2.7887 g) 和 1100 mL 湖水,然后将瓶分别置于好氧和厌氧状态下。

(1) 好氧状态,将先后通过 0.05 mol/L  $H_2SO_4$ 、蒸馏水的空气充入装有沉积物和湖水的锥形瓶中,充气量为 0.7 L/min,同时用磁力搅拌器进行搅拌,溶解氧 8.0 mg/L。

(2) 厌氧状态,在相同装置中改以高纯氮气( $N_2$ )作为充气入气体,充气量为 0.1—0.2 L/min,连续充气 24 h,充气后立即用橡皮塞将瓶密封,置于暗处。

7 天后取沉积物-湖水混合物经 0.45  $\mu m$  微孔滤膜过滤,测定其滤液中总磷。

1.2.2 藻类生长潜力测试 采用通过磷释放后的沉积物滤液,按藻类生长潜力测试标准方法进行<sup>[5]</sup>。测试前,藻种在水生 4 号(HB-4)培养液<sup>[6]</sup>中培养,每周经 2—3 次转接后,使藻类生长达到一定浓度,然后将藻种用浓度为 15 mg/L 的  $NaHCO_3$  离心洗涤二次,转入不含氮、磷的 HB-4 培养液饥饿培养 3 天,再用  $NaHCO_3$  液离心洗涤二次后,稀释到藻类浓度为  $2 \times 10^6$  个/mL,即为试验接种母液。

在 250 mL 锥形瓶中,加入上述经沉积物释放试验后的滤液 100 mL,接入藻种母液 1 mL,置于光照强度为 4000 lx 下连续光照培养,每天人工摇动几次以使光照均匀,同时以过滤湖水作为对照组,每组设三个平行样。

采用显微镜视野法每日计数藻类浓度。当试验组藻类日平均增长值低于 5% 时,认为已达最大现存量,即可停止测定,求出平均最大现存量 ( $\bar{x}_{max}$ ) 和最大特定增长率 ( $\mu_{max}$ )。

1.2.3 测定方法 用过硫酸氧化法测定总磷<sup>[7]</sup>。

## 2 结果和讨论

### 2.1 溶解氧(DO)及 pH 对沉积物磷释放的影响

从表 1 可知,好氧状态下水体总磷减少,表明沉积物没有磷释放,相反能从水体中吸附磷,使水体总磷浓度下降。在厌氧状况下,水体总磷增加,表明沉积物向水体释放磷。

表 1 不同溶解氧、pH 对沉积物磷释放的影响 单位:mg/L  
Tab. 1 The effects of DO, and pH on the release of phosphorus from sediment

条 件		起始水体总磷浓度	释放后水体总磷浓度	水体总磷变化浓度
pH 5.5	好 氧	0.056	0.018	-0.038
	厌 氧	0.056	0.040	-0.016
pH 8.4	好 氧	0.056	0.037	-0.019
	厌 氧	0.056	0.128	+0.072
pH 10.0	好 氧	0.056	0.047	-0.009
	厌 氧	0.056	0.147	+0.091

溶解氧决定湖水-沉积物的氧化-还原状态<sup>[2,3]</sup>。在水体有足够氧时,湖水-沉积物处于氧化状态,三价铁离子与磷结合,以磷酸铁的形式沉积到沉积物中,或水中可溶性磷被氢氧化铁吸附而逐渐沉降,因此,沉积物不会发生磷释放,而且还存在磷的吸附。当水体溶解氧下降,出现厌氧状态时,此时环境为还原状态,三价铁离子则被还原成二价铁,不溶性的氢氧化铁变成可溶性氢氧化亚铁,其结果导致了沉积物中磷释放进入水体,使水体总磷浓度升高。Fillons 和 Willia 等人在连续流动释放系中发现湖泊沉积物磷的释放速率厌氧状态是好氧状态的 10 倍以上<sup>[2]</sup>。

从表 1 还可以到,水体 pH 升高有利于沉积物磷的释放,低 pH 可以导致沉积物对磷的吸附。水体中 pH 影响了其  $PO_4\text{-P}$  的存在形式<sup>[3]</sup>。在 pH 为 3—7 时,磷主要以  $HPO_4^{2-}$  形式存在,而当 pH 为 8—10 时,则主要形态为  $H_2PO_4^-$ 。当以  $H_2PO_4^-$  为主要成分时,沉积物吸附作用最大。此时,沉积物中镁盐、硅酸盐、铝硅酸盐以及  $Fe(OH)_3$  胶体都参与吸附作用。高 pH 有利于磷酸根离子从  $Fe(OH)_3$  胶体中解吸附,而使更多的磷酸根释放到水体<sup>[3]</sup>。因此,试验中 pH 值升高有利于沉积物磷放。

## 2.2 温度对沉积磷释放的影响

从表 2 可知,温度升高有利于沉积物中磷的释放。很明显,温度升高,微生物活动增加,耗氧加快,DO 减少,使环境由氧化状态向还原状态转化,促使沉积物磷释放。

表 2 不同温度下沉积物磷释放(pH8.4, 好氧)

单位:mg/L

Tab. 2 The effect of temperature on the release of phosphorus from sediment

温度(°C)	起始水体总磷浓度	释放后水体总磷浓度	水体总磷变化浓度
20	0.056	0.047	-0.009
27	0.037	0.063	+0.026

## 2.3 微生物作用对沉积物磷释放的影响

为了保证在灭菌过程中沉积物磷形态不发生变化,沉积物由江苏农科院南京市辐照中心进行  $\gamma$  射线辐照灭菌,剂量为  $60 \times 10^4$  red,湖水经  $0.45\mu$  微孔滤膜过滤后高压灭菌,置于释放装置中成为无菌释放试验。有、无微生物活动对沉积物磷释放影响见表 3。

从表 3 看出,微生物作用对磷释放有明显影响,带菌组的沉积物释放后水体磷浓度均高于无菌组。细菌组分解直接结果是加快了 DO 的消耗,同时,微生物作用把沉积物中有机态的磷转化、分解成无机总磷——磷酸盐得到释放,而且把不溶性的磷化物转化成可溶性磷。

表 3 有菌、无菌状态下沉积物磷释放(20°C, pH 8.4)

单位:mg/L

Tab. 3 The effect of bacteria on the release of phosphorus from sediment

条件	起始水体总磷浓度	释放后水体总磷浓度	水体总磷变化浓度
有菌(好氧)	0.037	0.063	+0.026
无菌(好氧)	0.037	0.051	+0.014
有菌(厌氧)	0.065	0.161	+0.096
无菌(厌氧)	0.065	0.119	+0.054

## 2.4 沉积物磷释放滤液藻类生长潜力的测试

对 pH 为 8.4、好氧和厌氧状态下,沉积物磷释放试验后滤液进行斜生栅列藻和羊角月芽藻生长潜力测试,对藻类生长的影响见图 1、2,其平均最大现存量( $\bar{X}_{max}$ )和最大特定增长

率( $u_{max}$ )见表4。

表4 试验各组的平均最大现存量( $\bar{X}_{max}$ )和最大特定增长率( $U_{max}$ )

Tab. 4 Average maximum standing crop and specific growth rate

试验生物	试验组别	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	$\bar{X}_{max}$ (个/mL)	$U_{max}$ (d <sup>-1</sup> )
斜生栅列藻	过滤湖水	8.28	0.056	$4.7 \times 10^5$	0.64
	厌氧滤液	7.95	0.128	$1.07 \times 10^6$ *	0.74
	好氧滤液	6.88	0.047	$1.12 \times 10^5$	6.93*
	1/4HB-4	10.60	0.83	$2.53 \times 10^6$ *	1.29*
羊角月芽藻	过滤湖水	8.28	0.056	$6.55 \times 10^5$	1.07
	厌氧滤液	7.95	0.128	$2.48 \times 10^5$	0.44
	好氧滤液	6.88	0.047	$6.82 \times 10^4$	0.33
	1/4HB-4	10.60	0.83	$2.49 \times 10^5$ *	1.25*

\* 表示与湖水组相比差异显著  $p \leq 0.05$ 。

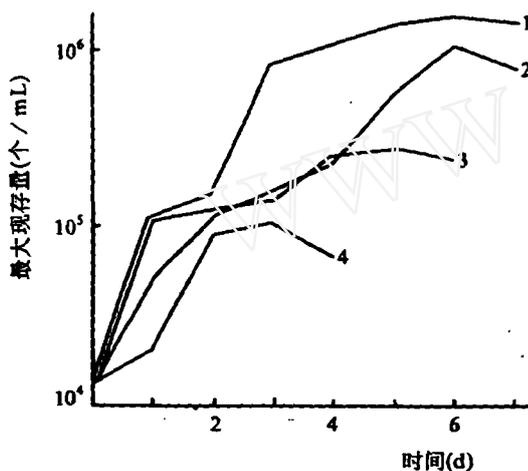


图1 斜生栅列藻增长曲线

1.  $\frac{1}{4}$  HB-4; 2. 厌氧滤液; 3. 湖水; 4. 好氧滤液

Fig. 1 Growth curve of *Scenedesmus obliquus*

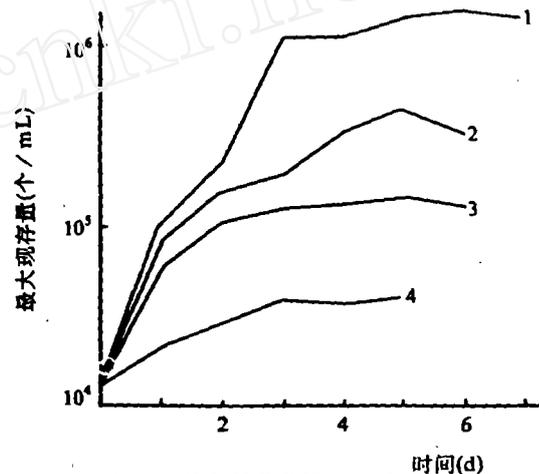


图2 羊角月芽藻增长曲线

1.  $\frac{1}{4}$  HB-4; 2. 湖水; 3. 厌氧滤液; 4. 好氧滤液

Fig. 2 Growth curve of *Selenastrium capricornatum*

由图1、图2和表4可知,与过滤湖水组相比,沉积物在厌氧状态下释放后,能显著促进斜生栅列藻增长,但不能促进羊角月芽藻增长。好氧状态下沉积物的释放均不能促使两种藻类的增长。

磷是藻类生长的主要营养元素之一,水体磷浓度是藻类生态学上一个限制因子。朱树屏<sup>[6]</sup>对各种浮游藻类的试验,发现营养液中磷含量为0.1—2.0 mg/L时,藻类生长良好,在0.05 mg/L以下,藻类生长受到抑制。本试验中,厌氧沉积物磷释放滤液总磷浓度为0.128 mg/L,促进了藻类增长,而好氧沉积物磷释放滤液总磷浓度为0.047 mg/L,因此,不能促进两种藻类增长。

藻类对环境中磷的利用,一是能直接利用环境中磷化合物,二是通过向水体中释放酶从

磷化合物中获得磷,但在不同藻种之间存在很大区别<sup>①</sup>。因此,厌氧沉积物磷释放滤液对斜生栅列藻和羊角月芽藻表现了不同的增长效应。

### 参 考 文 献

- 1 Frink C. R., *Environ. Science Technology*, 1967, (1): 425—428.
- 2 彭近新等. 水质富营养化与防治. 北京: 中国环境科学出版社, 1988: 94—112.
- 3 焦念志. 关于沉积物释磷问题的研究. 海洋湖沼通报, 1989, (2): 80—84.
- 4 太湖环境质量调查研究. 上海师范学院学报(专辑), 1983: 32—34.
- 5 金相灿等. 湖泊富营养调查规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 275—285.
- 6 华汝成. 单细胞藻类的培养与利用. 北京: 农业出版社, 1986: 278—279.
- 7 钱君龙等. 用过硫酸盐氧化法同时测定水中的总氮和总磷. 环境科学, 1987, 8(1): 81—84.
- 8 Paul C. M. Boers. The influence of pH on phosphate release from lake sediments. *Wat. Res.*, 1991, 25(3): 309—311.

## EFFECTS OF ENVIRONMENTAL FACTORS ON RELEASE OF PHOSPHORUS FROM SEDIMENTS IN WULI LAKE

Yin Daqiang Qin Qirong Yan Hang

(Department of Environmental Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210008)

### Abstract

This paper studies the effects of DO, pH, temperature and the growth of bacteria on the release of phosphorus from Wuli Lake sediment. The result of experiments shows that the quantity of phosphours released from sediments into the water body was getting greater with decrease in DO, pH, temperature but increase in the growth of bacteria. The filtrate of the anaerobic release test may stimulate the growth of *Scenedesmus obliquus*, but not the growth of *Selenastrum capricornutum*. It is showed that filtrate of the aerobic release test can stimulate neither of the algae.

**Key Words** Phosphorus release from sediments, algae growth, Wuli Lake, sediment

① 《全国主要湖泊水库富营养化调查研究》课题组. 课题成果汇报交流论文摘要、资料汇编. 北京, 1988.