

研究简报

围隔模拟生态系统中藻类生长的磷酸盐浓度阈值研究*

兰智文 赵 鸣 尹澄清

(中国科学院生态环境研究中心,北京 100085)

THE STUDY OF PHOSPHORUS THRESHOLD CONCENTRATION AFFECTING ALGAL DEVELOPMENT IN ENCLOSURE ECOSYSTEM BAGS

Lan Zhiwen Zhao Ming and Yin Chengqing

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085)

关键词 围隔生态系统,微囊藻,正磷酸盐阈值浓度

Key words Enclosure ecosystem bag, *Microcystis*, Phosphorus threshold value

藻类的过度生长是湖泊富营养化的显著特征之一。一般认为,在富营养化水体中降低磷的负荷能有效控制藻类生长并改善水体的富营养化状态^[1];在我国巢湖,两次调查显示出总氮与总磷浓度比分别为 15.4:1 和 16.3:1, 远远超过巢湖优势藻微囊藻的最适生长氮磷比 9:1^[2], 说明磷比氮更能限制藻类的生长。然而最近一些研究却显示出在富含磷水体中, 磷负荷一定程度的降低并不导致水质的改善^[3], 磷负荷影响藻类生长实际上存在着一个阈值浓度。然而在水环境现场研究磷的阈值浓度存在很多问题。因为水生生态系统是复杂的,其模拟和控制非常困难^[4]。为了克服这些困难,1961 年加拿大的 Strickland 及 McAlister 等使用球形塑料围隔模拟自然水体环境,并在其中进行初级生产力的研究^[5,6]。从此,围隔的使用为水生生态系统的模拟开辟了良好的途径。

本研究使用围隔模拟系统模拟自然水环境并进行磷的阈值浓度研究,不仅在国内外尚未见于报道,而且在湖泊管理中具有重要意义。

材料和方法

本研究在富营养化巢湖现场 4 个围隔生态系统中进行。围隔的构造及尺寸如图 1。围隔袋是由尼龙-聚乙烯(厚度为 20μm 尼龙, 40μm 聚乙烯)复合膜热焊而成的上面开口的圆柱形袋。为了加强围隔袋抗浪能力,将围隔袋套放在用尼龙布缝制而成的圆柱形袋内,尼龙袋外面再套一层 3×4 聚氯乙烯线织成的网袋,尼龙袋及网袋尺寸和围隔袋相同。

围隔袋安装在 6.5mm 直径钢筋焊成的架上,靠 16 个每个浮力约 5kg 的聚苯乙烯泡沫塑料浮在水面,并通过绳子用 3 块大石头固定,围隔之间至少 5m 间隔,以免碰撞一起互相干扰。围隔袋

* 本研究是德国联邦研究和技术部、中国科学院和联合国教科文组织人与生物圈委员会资助合作项目“生态研究合作计划”的部分内容。在工作开展期间,曾得到德方协调人 H. Bernhardt 教授的指导,在此表示感谢。

1991 年 7 月 22 日收到。

中放入湖水后，其中一个作为实验对照。为了控制水体的化学环境，在另外三个围隔中加入适量 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ，以沉淀磷酸盐和悬浮物质，待沉淀12h后，用抽泵将沉淀物抽出，然后加入适量 NaHCO_3 ，中和围隔水体过量的 FeCl_3 ，并调节水体pH7左右。待围隔中加入适量含有优势藻种微囊藻的自然湖水，使其中具有一定数量藻类生物量后，通过加入不同剂量的正磷酸盐，使3个围隔中正磷酸盐浓度出现差异。这样3个围隔即为3个不同的处理。对照围隔目的在于检测实验围隔水体与自然湖水间的变化和差异。

实验期间为1988年9月16日至10月5日，由于巢湖秋季藻类组成中以蓝藻为主，蓝藻细胞数约占藻类总细胞数98.5%，而且蓝藻中又以微囊藻(铜绿微囊藻和水华微囊藻)居显著优势，实验中选择微囊藻为优势种的藻群为藻类指标，其

生物量用叶绿素a浓度表示。在确定叶绿素a浓度与正磷酸盐浓度进入良好的对应关系时，于第11d和第16d采样两次进行分析。叶绿素a用丙酮萃取后用分光光度法测定；正磷酸盐用0.45μm孔径玻璃纤维过滤后用钼酸铵-氯化亚锡法测定；溶解氧和pH值都是现场用电化学电极法测定；藻类种群组成用显微镜观察确定。分析方法详见国际标准。第20d还对对照围隔及自然水体进行了对比分析。

结果和讨论

1. 围隔能较好地模拟自然水环境。表1显示了实验第20d后对照围隔水体与自然湖水几种不同因素的比较。可以看出，在围隔水体和自然湖水中几种因素差异非常小，没有显著的变化。

模拟的成功是围隔设计的结果：首先，围隔是半透明的半开放系统，保证了其与大气环境一定的能量和物质交换能力；其次，围隔外面尼龙袋

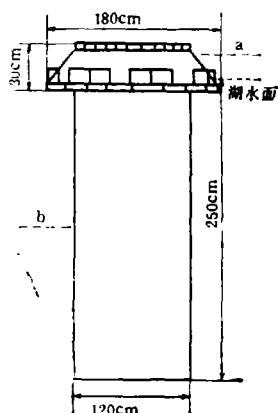


图1 围隔生态系统

Fig. 1 The enclosure ecosystem bag

a. 铁架 The steel framework; b. 围隔模拟生态系统袋 The enclosure ecosystem bag

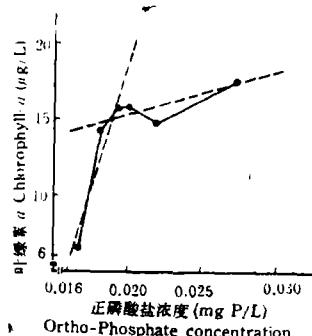


图2 正磷酸盐浓度与微囊藻生长关系

Fig. 2 Relationship between ortho-phosphorus concentration and the development of algae with the dominant of *Microcystis*

表1 自然湖水和围隔生态系统中几种不同因子的比较

Tab. 1 Comparison between some results in enclosure ecosystem bag with the corresponding data in natural lake water

	DO (mg/L)	pH	透明度(cm) Transparency	温度(℃) Temperature	优势藻类 Dominant algae
围隔生态系统 The enclosure ecosystem bag	8.8	9.1	22.0	26.0	微囊藻 <i>Microcystis</i>
自然湖水 Natural lake water	9.0	8.8	20.0	26.0	微囊藻 <i>Microcystis</i>

和网袋对围隔具有良好的保护作用；围隔的容量虽然是 2.8m^3 ，但每个实验围隔内只装入 2.2m^3 的湖水，这样就使围隔具有一定的缓冲容量从而保护其不致被风浪打破。

2. 由于围隔中微囊藻数量和正磷酸盐均是人为加入的，这样微囊藻生物量与正磷酸盐浓度只能逐渐进入对应关系。分析观察发现，在进入第8d后，叶绿素 a 浓度与正磷酸盐浓度变化对应关系良好。图2显示出第11d和第16d后叶绿素 a 浓度与正磷酸盐浓度相应关系。当正磷酸盐浓度低于 0.0182mg P/L 时，叶绿素 a 浓度随正磷酸盐浓度增加而显著增加；当正磷酸盐浓度高于 0.0194mg P/L 时，叶绿素 a 浓度随正磷酸盐浓度增加而只有缓慢变化。我们对左边三个点进行线性分析，其线性方程为：

$$y = 3452x - 50.33 \quad (r = 0.95);$$

右边五个点线性方程为：

$$y = 286.7x + 9.47 \quad (r = 0.82).$$

两条直线交叉点在正磷酸盐浓度为 0.019mg P/L 的位置上。理论上可以认为这个点即为叶绿素 a 浓度随正磷酸盐浓度变化的临界点，或者说，在以微囊藻为优势种的富营养化巢湖，影响藻类生长正磷酸盐阈值浓度为 0.019mg P/L 。在富营养化湖泊中，实际上磷是以多种形态存在于水体之中，选择正磷酸盐作为磷的指标，这主要是考虑到正磷酸盐与总磷在水体中不仅存在一定比例关系，而且由于总磷中包含各种形态磷，总磷的阈值浓度会随着各种形态磷的变化而变化；更重要的是，现在一般认为正磷酸盐是水生植物吸收磷的主要形式^[1]。因而研究过程中我们选择正

磷酸盐作为磷的浓度指标。磷酸盐阈值浓度在水体管理中具有重要意义。巢湖的年平均正磷酸盐浓度为 0.026mg P/L ，这说明在巢湖管理中，只有采取根本性措施，对湖泊的污染点源，面源和内源负荷进行治理，以降低磷负荷中正磷酸盐浓度低于它的阈值浓度，巢湖的富营养化状态才有大的改善。磷的阈值浓度确定为水环境的管理提供一个定量化指标。

参 考 文 献

- [1] Ryding S Q, Rast W. The control of eutrophication of lakes and Reservoirs. UK: Parthenon, Lancs, 1989: 260.
- [2] 屠清瑛等。巢湖富营养化研究。合肥：中国科学技术大学出版社。1990;27,77—78,96—100。
- [3] Sas H et al. Lake restoration by Reduction of Nutrient Loading: Expectations, Experiences and Extrapolations. Academia Verlag richarz GmbH, St. Augustin. 1989: 102—145.
- [4] Stephenson R R, and Kana D F. Persistence and effects of chemicals in small enclosures in ponds. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 1984, **13**:313—326.
- [5] Strickland J D H, Terhune L D B. The study of in-situ marine photosynthesis using a large plastic bag. *Limnol. Oceanogr.*, 1961, **6**:93—96.
- [6] McAllister, C D et al. Measurement of primary production in coastal sea water using a large-volume plastic sphere. *Limnol. Oceanogr.*, 1961, **6**:237—258.
- [7] 彭近新、陈慧君。水质富营养化与防治。北京：中国环境科学技术出版社，1988: 40—50。