

藻类水华的化学控制研究*

兰智文 赵 鸣 尹澄清

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100083)

摘要 本文报道了在湖泊现场用围隔生态系统对藻类进行化学控制的研究。结果表明, 0.20—0.30mg/L 的 Cu^{2+} 能有效控制微囊藻水华 (*Microcystis*) 的生长; 铁盐作为杀藻剂的增效剂, 能够有效地提高铜盐的除藻效果。

关键词 微囊藻水华, 杀藻剂, 增效剂, 围隔生态系统。

在以供水为主要功能的水体中, 用化学方法控制微囊藻的生长在一些国家如美国、澳大利亚是较常使用的方法^[2]。但是化学除藻剂常带来一些问题, 如其对水生生物的毒性, 金属元素在湖泊中的积累等。我国的饮用水水质标准规定铜盐浓度必须小于 1.0mg/L (GB5749-85)^[3]。因此, 提高杀藻效果且又降低化学物品的用量就成为一个新的课题。

本研究从对巢湖湖泊营养盐的浓度调查着手, 对其水生生态系统进行现场模拟研究富营养化防治途径^[1]。

一、实验方法

(一) 位置

实验点位于巢湖忠庙半岛西北方向约 2.5km 的湖面上, 实验点水深 3.5m, 湖底泥质, 周围无河水流入。

(二) 材料

实验模拟天然水生物理环境, 在若干个高分子薄膜中进行, 围隔分大小两种, 其构造及尺寸见图 1。

(三) 安装

1. 大围隔的安装

将围隔袋安装在 6.5mm 直径钢筋焊成的铁架上, 靠 16 个聚苯乙烯正方体泡沫塑料浮在水面上, 每个浮力约 5kg。为了增加围隔的抗浪能力, 围隔袋三层构成。最外层是 3 × 4 聚氯乙烯线织成的网袋, 中层尼龙缝

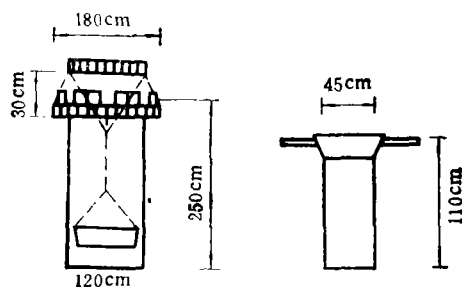


图 1 围隔实验装置示意图

(a) 大围隔(左侧图) (b) 小围隔(右侧图)

成的圆柱形袋, 里层是用尼龙-聚乙烯(厚度为 20 μm 尼龙, 40 μm 聚乙烯)复合膜热焊制的不漏水柱形袋。在靠近围隔底部, 从上面吊着一个直径为 70cm 的底泥盘。每个围隔被三块大石头固定湖中, 围隔之间至少 5m 间隔, 围隔在实验点原地装入湖水。为防止被风浪打破, 在容量为 2.8 m³ 的围隔中只装入 2.2 m³ 的湖水。

2. 小围隔

安装在去底盘的塑料盆中, 靠聚苯乙烯方形泡沫塑料板浮在水面。围隔袋用尼龙-聚乙烯(厚度 20 μm 尼龙, 40 μm 聚乙烯)复合膜制成。围隔在实验点原地装上湖水。

(四) 时间

* 本研究属国家“七五”科技攻关项目。

收稿日期: 1991 年 3 月 30 日

实验时间为 1988 年 8 月至 10 月, 实验期间藻类优势种为微囊藻; 实验分两步进行。

(五) 采样与分析

每 2—5 天采样一次, 第一次在处理之前进行。采样位置为水面下 20cm 处。同时测定水温、pH 值、透明度。用显微镜对水样中的浮游生物种群进行观察和计数。水样在采样后立即处理分析。藻类生物量用叶绿素 a 表示, 用国际标准方法测定^[4]。

(六) 实验组别

第一次控制实验是在七个小围隔中进行, 七个小围隔为七个处理 (表 1)。

表 1 第一次控制实验各处理

围隔号	处 理
1	0.1mg Cu/L
2	0.1mg Cu/L, 15mg Fe/L
3	0.3mg Cu/L
4	0.3mg Cu/L, 15mg Fe/L
5	0.5mg Cu/L
6	0.5mg Cu/L, 15mg Fe/L
7(CK)	空白对照

第二次化学控制实验是在第一次实验的结果基础上设计的, 实验是在四个大围隔中进行, 四个围隔为四个处理 (表 2)。

表 2 第二次化学控制实验各处理

围隔号	处 理
8	0.20mg Cu/L
9	0.20mg Cu/L, 2.2mg Fe/L
10	0.30mg Cu/L 5.2mg Fe/L
11(CK)	空白对照

二、实验结果

湖中围隔生态系统内水体的化学成分和其它环境因素可以进行人工调节, 在阳光、温度、水的上下流动及生物群落组成等方面都可以较好地模拟自然环境。本实验测定了围隔和天然水中的 pH 值、水温、溶解氧、透明度和藻类的群落组成, 发现对照空白围隔与周围湖水没有显著差别。可见, 围隔不会产

生影响藻类生长的环境因素。

1. 第一次控制实验

各处理与对照之间, 其结果的差异是十分明显的 (见表 3)。经每次取样后显微镜检查表明, 藻类在实验期间以微囊藻为优势种。表 4 是控制实验的控制效果。控制效果的计算方法如下:

控制效果 (%)

$$= \frac{\text{处理前水体叶绿素 a 浓度} - \text{处理后叶绿素 a 浓度}}{\text{处理前水体叶绿素 a 浓度}} \times 100$$

从表 3、表 4 可以看出: ① 单独使用 CuSO_4 , 0.3mg/L 的总铜浓度 (处理 3) 能有效地控制微囊藻的生长; ② 当总铜浓度在 0.1mg/L 时, 即使加入 15mg/L 的 FeCl_3 , 实验亦起不到好的控制效果; ③ 总铁为 15mg/L 浓度的处理 (处理 2、4、6) 比不加 FeCl_3 但总铜浓度相同的处理 (相应为处理 1、3、5) 有更好的控制效果。

表 3 第一次控制实验各处理叶绿素 a 值
(mg/m^3)

处理号	处理天数 (d)	处理前	处 理 后				
			2	4	6	11	16
1	76.08	116.00	161.55	49.06	32.04	33.90	
2	2.26	0.47	2.85	2.99			
3	18.53	0.24	2.79	1.75	4.65		
4	40.86	0.70	0.93	2.05	1.90	9.13	
5	91.52	1.07	4.08	1.40	6.18	24.83	
6	22.85	0.23	0.00	1.23	0.66	0.33	
7(CK)	3.30	21.55	27.26	27.38	13.79	16.06	
湖水	6.59	1.88	5.63	3.94	2.35	1.26	

2. 第二次实验

结果和控制效果见表 5、表 6。从表中可知: ① 当围隔中总铜浓度在 0.20mg/L 的情况下, 微囊藻能被控制在较低的浓度; ② 随着处理时间的增加, 各处理叶绿素量不断降低, 控制效果因而不断增加, 到了处理后第七天, 控制效果均达到最高峰, 各处理叶绿素量为

表 4 第一次控制实验各处理控制效果(%)

处理号 \ 处理天数(d)	2	4	6	11	16
1	-52.47	-112.34	35.52	57.89	55.44
2	79.20	-26.30			
3	98.70	84.94	90.56	74.91	
4	98.27	97.73	94.92	95.35	77.66
5	98.83	95.54	98.47	93.25	72.89
6	98.99	100.00	94.62	97.11	98.56
7(CK)	-553.03	-726.06	-729.70	-317.88	-386.67

表 5 第二次控制实验各处理叶绿素 a 值
(mg/m³)

处理号 \ 处理天数(d)	处理前	处 理 后			
		1	4	7	10
8	412	10.75	1.78	1.24	3.73
9	412	4.00	2.68	1.19	10.04
10	412	2.78	1.88	1.41	4.87
11(CK)	412	205.23	164.23	37.20	32.40
湖水	412	5.67	2.17	3.51	2.11

表 6 第二次控制实验各处理控制效果(%)

处理号 \ 处理天数(d)	1	4	7	10
8	97.39	99.57	99.67	99.09
9	99.03	99.35	99.71	97.56
10	99.34	99.54	99.66	98.82
11(CK)	50.19	60.14	90.97	92.14

最低值。但是七天后,微囊藻生物量(叶绿素 a 值)开始有所上升,但大多数仍维持在很高的控制效果。

由于微囊藻是一种浮在水面上易随风向漂动的蓝绿藻,所以,实验期间湖水中叶绿素 a 含量的降低是微囊藻漂动的结果。另外,大围隔实验即第二次控制实验期间,由于围隔中收集的藻类生物量过多(即处理前叶绿素 a 含量 412mg/m³),使藻类密度过大,形成了不适的生长环境,导致围隔中部分藻类自然死亡,因而使实验对照组(处理 11)也呈现较高的控制效果。但是尽管如此,大围隔实验中对照组与各处理组差异仍然是十分明

显的: 对照组中叶绿素 a 含量是逐步减少的,且即使在处理后第十天仍维持在很高的水平。

三、讨 论

硫酸铜可作为除藻剂早已有报道,本实验针对巢湖的藻类优势种微囊藻(*Microcystis*)的特点,将控制湖泊藻类生长的铜的浓度从传统的认识,即铜浓度必须在 1.0mg/L 以上才能有效控制水华生长,通过研究降低到很低的水平。在第二次控制实验中,0.20 mg Cu/L 显示出对微囊藻很高的控制作用;在第一次控制实验中,0.30mg Cu/L 对微囊藻亦有良好的控制效果,但 0.10mg Cu/L 的处理和 0.10mg Cu/L + 15mg Fe/L 的处理却效果较差。

研究的结果进一步证明了铁盐与铜盐的复合使用能提高硫酸铜的杀藻效果。这是由于硫酸铜的水化学原理和该湖特定的环境因素造成的。

铜盐在水环境中可以形成多种化合物。由于自然水体大都为重碳酸盐体系,且含有一些天然有机化合物,这些物质可以与铜离子形成不溶于水的络合物,从而降低了真正具有杀藻作用的铜离子浓度。在低碳酸盐浓度时,沉淀为 Cu(OH)₂;在高碳酸盐浓度时,沉淀为 Cu(OH)₂CO₃ 或 Cu₃(OH)₂·(CO₃)₂。这些沉淀物和络合物形成的量主要受水体中 pH 值的影响,当低 pH 值时,铜盐主要以

Cu^{2+} 形式存在;在高 pH 值时,则主要以络合物形式存在^[5]。

铁盐是可以水解的化合物,由于其水解过程产生氢离子,降低了水体的 pH 值,因而水解的结果将导致 Cu^{2+} 在总铜中所占比率的增加。实验测得在围隔中加入 15mg/L 铁盐后, pH 值从对照围隔和自然湖水的 pH 9—10 之间降低到 pH 6—7 之间,这样就大大提高了铜盐的有效浓度。

湖泊富营养化程度的一个重要指标是湖水的透明度,通常当叶绿素 a 含量越小时,湖水透明度就越大。铁盐有增加水体透明度的作用。实验期间湖水浊度非常大,常年平均透明度仅为 20cm 左右,湖水的固体悬浮物经测得变化范围在 40—1000mg/L 其中绝大部分是无机矿物颗粒。湖水中含有较多的胶体物质,胶粒带负电, δ 电位一般为 18—25 mV。加入铁盐后,其水解产物降低了胶体物质胶粒 δ 电位,在絮凝过程中,这些矿物颗粒嵌入微囊藻群落,使原来靠空气泡漂在水面的微囊藻群落沉入水底而逐渐死亡。实验期间,加入铁盐的处理的透明度一般在 80—120cm 之间,而湖水和对照围隔仅为 20cm 左右。水体中固体悬浮胶粒的絮凝沉降和微囊藻群落与矿物颗粒的结合下沉都能导致叶绿素 a 的含量的降低。

铁盐作为除藻剂的增效剂的另一原因是其可以与水中磷酸根离子形成不溶于水的磷酸铁。从而降低了磷在水中的浓度。实验证明,在溶解态总磷浓度为 0.044 mg/L 的自然湖水中,加入 20mg/L FeCl_3 后,溶解态总磷浓度降低为 0.011mg/L^[5]。磷浓度的大幅度降低将势必影响藻类水华的生长。

作为增效剂,铁盐的使用是比较安全的,这是由于经过水化学反应,它在水体中的最

终浓度会降低到比其使用浓度低得多的水平。

巢湖是一个富营养化十分严重的湖泊,其总氮、总磷浓度年平均能分别达到 1.867 mg/L 和 0.121mg/L^[1],达到 OECD 标准规定的重富营养化水平^[6]。而且由于其肥沃的底泥对湖泊不断的营养贡献,即使在湖泊流域从点、面两方面有效控制了营养物质的来源,其富营养化程度缓解过程也将是十分慢长的,而且控制污染源的措施将是艰苦的,并且耗资巨大。因此,在巢湖给水区域内,在藻类大发生季节用化学方法将微囊藻控制下去以保证给水质量,是十分有意义的。

四、结 论

1. 初步研究显示 0.20—0.30mg Cu/L 能有效控制微囊藻水华 (*Microcystis*) 的生长。
2. 作为铜盐的增效剂,铁盐能提高杀藻剂的除藻效果,而且本身也有一定控制藻类生长作用。
3. 在使用低浓度铜盐杀藻剂时,虽然见效很快,但以处理后第七天左右效果最好。

参 考 文 献

- [1] 屠清瑛等,巢湖富营养化研究,第 27、203 页,中国科学技术大学出版社,1990。
- [2] Raman, R. K., *J. American Water Works Association*, **77**(8), 41 (1985)。
- [3] 方子云,水资源保护工作手册,第 1092 页,河海大学出版社,1988。
- [4] American Public Health Association, et al. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 16th ed., 1985。
- [5] Sylva, R. N., *Water Res.*, **10**, 289 (1976)。
- [6] Ryding, S. O. and Rast, W., *The control of eutrophication of lakes and reservoirs*, p. 260, Parthenon, Lanca, UK, 1989。

Study on Decolorization of Dyeing Wastewater by Mixed Bacterial Cells Immobilized in Polyvinyl alcohol (PVA). Liu Zhipei, Yang Hufang, Jia Shengfeng (Institute of Microbiology, Academia Sinica, Beijing): Chin. J. Environ. Sci., 13(1), 1992, PP.

In preparing mixed decolorizing bacterial cells immobilized in polyvinyl alcohol (PVA) for decolorizational treatment of dyeing wastewater, the optimum concentrations of PVA and cells were 12% (w/v) and 2% (w/v), respectively. pH Value had little influence on the cell immobilization course. The immobilized cells of mixed decolorizing bacteria were similar to the native cells for their function of decolorization of dyeing wastewater. The optimum temperature and pH were 30—40°C and 7.0, respectively. The highest decolorizing activity and thermal stability were observed at pH ranging from 6.0 to 8.0 and temperature ranging from 25°C to 40°C. In the course of one month continuous decolorizational treatment of dyeing wastewater, the retention time of wastewater was found to be less than 3.0 hours and decolorization rate reached 70—80%.

Key words: mixed decolorizing bacteria, polyvinylalcohol (PVA), immobilized cells, decolorization of dyeing wastewater.

Effect of Plant Hormone "802" on the Performance of Water Hyacinth in Cool Tolerance and Pollution Control. Huang Daobing (Changde Environmental Monitoring Station), Qiu Changqiang, Sun Xingxiang, Zhou Yuanxiang (Institute of Hydrobiology, Academia Sinica): Chin. J. Environ. Sci., 13(1), 1992, PP.

To sprinkle plant hormone 802 on the leaves of water hyacinth can improve its performance in cool tolerance and pollution removal. Puffy concentration of 802 on the leaves should be around 100ppm. However 802 can not improve the limit of low temperature tolerance of water hyacinth and, as a result, the water hyacinth will still die of frostbite at the temperature below 5°C.

Key words: water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), plant hormone 802.

Controlling Algal Overgrowth with Chemical Methods. Lan Zhiwen, Zhao Ming, Yin Chengqing (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica): Chin. J. Environ. Sci., 13(1), 1992, PP.

Using enclosure ecosystem bags, the control of algal overgrowth with chemical methods is studied in eutrophic Chaohu Lake. The results show that 0.20—0.30mg/l of total Cu can effectively control the overgrowth of *Microcystis* bloom. Iron salt, as synergist, can greatly enhance the effects of copper algicide.

Key words: *microcystis* bloom, algicide, synergist, enclosure ecosystem.

Research on the Technique of Stochastic Mixed Data Evaluation. Jiang Lin, Wu Zhishan, Zhao Tong (Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection): Chin. J. Environ. Sci., 13(1), 1992, PP.

It is very important to deal with qualitative and quantitative information together in the evaluation of alternative plans, such as urban and environmental plans. In this paper, a new method, the technique of stochastic mixed data evaluation is illustrated. In this method, the qualitative information is classified into three different types and all the types are described by mathematical formulas and treated by using random generator according to these formulas. Then, treated qualitative information is combined with the quantitative information to evaluate the alternatives. This new method improves the mixed data evaluation techniques which are only able to deal with partial qualitative information—ordinal information. At last, a case study is given.

Key words: quantitative information, qualitative information, ordinal information, stochastic mixed data evaluation.

Graphic Design and Programming in Regional Environmental Management Information System. Li Jiangfeng, Cheng Shengtong, Situ Wei, Zheng Bolin (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University): chin. J. Environ. Sci., 13(1), 1992, PP.

Graphic management is one of the important and necessary parts of REMIS. On the basis of analysis of REMIS graph demands, this paper summarizes the functions of graphic system and puts forward the design principles and programming environment. It also illustrates the methods and steps of the function realization on personal computers.

Key words: REMIS, environmental graph management, computer graphics.

Determination and Analysis of Activities of the Biological Film of a Productive Four-Stage Rotating Biological Contractor. Zhou Chunsheng, Liu Changsong (Jilin Architectural and Civil Engineering Institute): Chin. J. Environ. Sci., 13(1), 1992, PP.

Active parameters such as Volatile Solid (VS), Active Microorganism Number (AMN) and TTC-Dehydrogenase Activity (TTC-DHA) of the biological film of a four-stage rotating biological contractor (RBC), which was used in the treatment of waste water from the production of bioproducts, was determined, while degradation characteristics of RBC for waste pollution targets (BOD₅, COD and Volatile Phenols) being monitored. The relationship between VS, AMN and TTC-DHA and stages as well as the correlation between TTC-DHA and VS were also analysed and discussed. Results show that TTC-DHA would