

生物操控技术在城市静态受污染水体生态修复中的应用

卫 臻¹, 卫晓露², 朱 明³, 朱元龙¹, 王 凯¹

(1. 张家港市水资源监测站, 江苏 苏州 215600; 2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 3. 淮海工学院, 江苏 连云港 222005)

摘要 综合应用水循环增氧和生物操控技术, 在污染静态水体中重建良性发展的人工生态系统。试验结果表明, 利用循环增氧可以促进浮游藻类的生长及其对水体污染物的吸收; 所构建的“浮游藻类—枝角类—滤食性鱼类”为主线的食物链, 可以促进藻类生物量向更高营养等级的转化。本试验所开发的技术能够提高和稳定水体生态对污染物的负载力, 为修复污染静态水体生态提供了一个新的组合手段。

关键词 静态水体; 生物操控; 污染治理; 生态修复

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2009)06-0045-03

Application of bio-manipulation technology to restoration of ecosystem of urban static polluted water

WEI Zhen¹, WEI Xiao-lu², ZHU Ming³, ZHU Yuan-long¹, WANG Kai¹

(1. Zhangjiagang City Water Resources Monitoring Station, Zhangjiagang 215600, China; 2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. School of Marine Science and Technology, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, China)

Abstract :On the basis of increasing oxygen by means of water circulation, the technology of bio-manipulation was used to rebuild a healthy ecosystem in static state polluted water. The results show that increasing dissolved oxygen by circulating water could advance the growth of phytoplankton and their capacity to absorb pollutants in water. Also, by rebuilding artificial food chains in which Cladocera and filter feeding fish are the main line, the transformation of the biomass of algae to high trophic levels can be promoted. An artificial food chain was established in this experiment. It could absorb, transfer and concentrate pollutants, increase and stabilize the carrying capacities of aquatic ecosystems and achieved the goal of restoring the ecosystem of polluted static waters.

Key words static water; bio-manipulation; pollution control; ecosystem restoration

由于城市静态水体与外围水网隔绝, 且城市面源污染的不断汇集使其水体受到污染, 导致水质恶化、生态系统结构退化甚至失去景观价值。修复静态水体生态的目标之一就是提高其生物多样性和恢复其生态完整性, 从而达到一次修复, 长期保持的目的^[1]。通过循环增氧曝气的方法增加污染水体中的溶解氧是修复污染水体生态的第 1 步^[2]。生物操控技术也是控制富营养化和生态恢复常用的技术之一, 它可以迅速补充完善污染水体中缺失的食物链, 达到调整失衡生态、重建和稳定生态系统的目的^[3]。

本试验在静态水体中使用 Solarbee 太阳能循环

增氧装置(美国 Pump System Inc 公司制造)连续对水体进行增氧, 使不同水深的溶解氧均衡化, 可改善生境, 有效提高水体藻类的多样性, 促进其对污染物的吸收, 以提高水体自净能力。该过程又促进了浮游动物的繁殖及其对藻类的捕食作用, 加快了氮、磷及其他污染物通过“藻类—浮游动物”生物链向更高营养等级的转化。此外, 在水质许可和生物群落转化的“节点”适当投放滤食性鱼类, 通过其对动物(特别是枝角类)的捕食, 进一步构建“藻类—枝角类—滤食性鱼类”食物链, 延伸了营养物质转移链条, 阻止了藻类或枝角类死亡后的污染物释放, 实现了营养

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(B12008650)

作者简介: 卫臻(1968—)男, 江苏张家港人, 高级工程师, 博士, 主要从事水资源保护和 вод生态修复方面的研究。E-mail: wzh630228851@vip.sina.com

物质向生物体的连续和高效转移,进一步提高水体自净能力,实现物理调节与生物操控技术的有机结合,从而达到治理污染和恢复生态的双重目标。

1 材料与方法

1.1 试验设置

2007 年底至 2008 年底,试验在张家港市园林河进行,该水体为封闭河塘,安装 1 台太阳能循环增氧装置,每天运转约 20h。2008 年 4 月 10 日在枝角类大量繁殖时期向试验水体中投放鳙鱼 20 尾(3 kg/尾,平均 75 尾/hm²),鲫鱼 100 条(0.2 kg/尾,平均 375 尾/hm²)并于 2008 年 6 月 16 日轮虫大量繁殖期间投放观赏鱼 4 800 尾(100 尾/kg 左右,1.8 万尾/hm²)。定期检测水质,并同时在水体浮游生物状况进行调查。

1.2 水体中总氮、总磷的检测方法

总磷测定采用 GB 11893—89《钼酸铵分光光度法》;总氮测定采用 GB 11894—89《碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度法》。

1.3 浮游生物的检测方法

分别用 13 号和 25 号浮游生物网采集水体中的浮游动物和浮游植物,鲁戈氏液固定,使用浮游动物计数框和浮游植物计数框对采集水样进行取样计数,取样 5 次,取其平均值。

2 试验结果

2.1 浮游藻类的变化趋势

浮游植物是淡水水体中吸收利用污染物(氮磷)的主要初级生产者之一,是将无机或有机污染物向食物链传递的首要环节,其数量及组分的变化是水体生态修复进程与自净化能力的重要指标之一。对于受污染的静态水体而言,其水体生态大多已经遭到破坏,透明度很低,水草不能生长,水质状况极度恶化。本试验中,采用循环增氧措施后,水体中不同种类的浮游藻类密度发生了显著变化。

浮游动植物的演变如表 1,从表 1 可以看出,园

表 1 水体中不同门类藻类总密度

随着时间的变化趋势								10 ³ ind/L
时间	硅藻	绿藻	蓝藻	裸藻	甲藻	金藻	隐藻	
03-17	200	500	1500	60	0	5000	3000	
04-09	250	1800	2500	65	0	8000	4500	
04-21	150	4000	3000	100	1300	2000	6000	
05-26	230	6000	4290	150	800	1000	3000	
06-02	660	9651	7230	499	1000	750	2300	
06-14	3000	17000	11750	1000	750	500	1000	
07-07	3000	26000	11000	2000	2000	6000	2500	
07-22	4000	12000	15500	2500	2250	5000	3250	
08-04	7400	9600	20400	3000	3000	3500	2000	
08-27	5500	4500	26000	3500	1500	2000	1000	
09-22	6670	9340	8670	4000	2000	1300	1333	

林河水体中的浮游藻类密度基本处于上升的趋势,尤其是在投放鱼类一段时间后,浮游藻类密度显著增加,并在 7 月 7 日达到最高值,其后虽然有所下降,但是仍然保持在较高的水平上。

水体中的浮游藻类多达 27 种,试验之初园林河的蓝藻组成以小颤藻和微囊藻等蓝藻为主,至试验后期则以小色球藻为主,色球藻个体非常小(5 μm 左右),其巨大的个体数量不足以代表其有巨大的生物量。另外,小色球藻为单细胞分布,与微囊藻的群体状态不同,很少浮到水面上,因其个体较小可被浮游动物(轮虫、枝角类等)取食而进入食物链。绿藻数量呈上升趋势,并以小球藻、衣藻(其中多数为素衣藻)和栅藻为主。此外,污染水体中较为常见的浮游藻类如裸藻、隐藻、甲藻和金藻在本水体浮游生物类群中所占的比例不高。适应寡营养水体的硅藻变化趋势为,在试验开始阶段水体中硅藻极少甚至很难检测到,但随着试验的进行和氨氮浓度的下降,硅藻数量不断上升,试验后期甚至达到 5000 个/mL 的高密度水平,间接说明了水体生态恢复到了一个较为良好的状态。水体中浮游植物的组成固然与水体温度有关,也与水体中的营养物质组成、捕食作用存在着密切关系。

2.2 园林河水体中主要浮游动物类群的变化趋势

淡水中的浮游动物以捕食浮游藻类和细菌种类为主,其中枝角类和轮虫是淡水中的主要浮游动物类群,桡足类成为优势类群的情况较为少见。其中枝角类以捕食大个体的浮游藻类为主^[4],而轮虫以小个体(小球藻)藻类和细菌为主要对象^[5]。

本试验水体中的主要浮游动物类群数量变化见图 1。从图 1 中可以看出,枝角类(以鸟喙尖头蚤(*Penilia avirostris*)为主)的密度在试验开始时出现快速上升,与水体循环增氧曝气后溶解氧增加、枝角类得以快速繁殖有关,高密度的枝角类抑制了藻类生长。

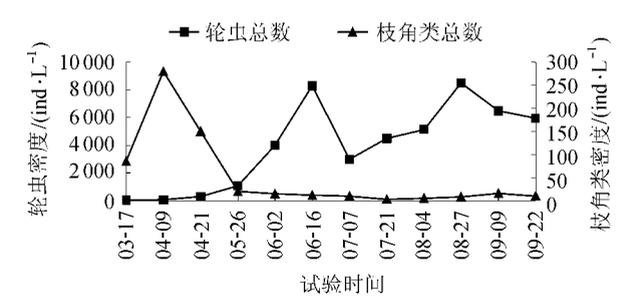


图 1 水体中主要浮游动物种类与密度的变化趋势

2008 年 4 月 9 日之后的快速下降是因为放养了捕食性枝角类的鱼类(鳙鱼和鲫鱼)对枝角类的滤食性作用,使得枝角类的生长和繁殖受到抑制而一直处于较低的密度水平。较低的枝角类密度水平又促进了藻类密度不断上升。此时,由于鱼类的鳃耙较

为疏松从而不能够有效滤食轮虫^[6],同时,鱼类的捕食作用减少了轮虫的生态竞争者——枝角类,又使萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)的密度快速上升。2008年6月16日放养了大量的小个体观赏鱼类,有利于对轮虫密度的抑制,但其最适口的食物仍然是枝角类^[7],随着水体温度的升高和枝角类数量的进一步下降,以及轮虫的适口饵料(小球藻与小色球藻)密度的增加,轮虫密度又重新上升。

当富营养物质(污染物)被藻类吸收,并被转化到枝角类体内后,鱼类的捕食作用进一步将这部分物质转化富集到鱼类组织中,而不是由于枝角类因耗尽藻类而死亡后把污染物重新释放到水体中。

2.3 枝角类与浮游藻类之间的关系

从图2中可以看出,浮游藻类的密度与枝角类的密度之间成反比关系。枝角类是淡水浮游藻类的主要捕食者之一,其数量对浮游植物的组成和数量起到至关重要的作用^[8],因为滤食性鱼类对枝角类的捕食作用导致其数量下降,反过来促进了浮游藻类密度的上升,并在7月7日达到最高,其后虽然有所下降,但是仍然保持在一个较高水平上。至试验末期,个体较小的小球藻占据了绝大部分比例,这是因为大型浮游藻类优先被枝角类优先捕食,而小型藻类得以大量生长繁殖。

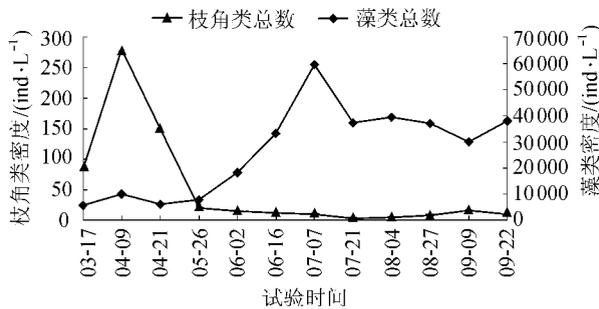


图2 枝角类与藻类随时间的变化关系

2.4 试验水体中的总氮与总磷的变化趋势

从图3可见,试验之初循环增氧导致枝角类大量繁殖,随着枝角类的捕食作用加强,藻类数量衰减,导致枝角类大量死亡并释放氨氮,同时藻类对氮的吸收量减少。但是在4月10日放养滤食性鱼类后,水体总氮出现了持续下降,主要由于枝角类等浮游动物被鱼类连续捕食和抑制繁殖之后,枝角类的释氮作用下降,且水体中藻类得以恢复生长和繁殖,吸收氨氮等富营养物质而导致其浓度快速下降。

总磷与总氮的变化趋势相仿(图3),试验后期的波动高于总氮,主要是动物排放的氨氮、尿素(酸)等可以被浮游植物直接吸收,而所排放的颗粒有机磷必须被分解为无机磷后才能被吸收,因此水体中的磷存在着排放与吸收的时间差;同时水体生物群落的不同浮游动物种群的变化并非一致,引起氮、磷

浓度在一定小范围的浮动。藻类对氮、磷吸收作用是氮磷浓度下降的主要原因之一,该过程已经被多方面的试验所证明^[9],藻类吸收氮磷的特性因此经常被应用进行污染水体的治理和生态修复工作^[10]。

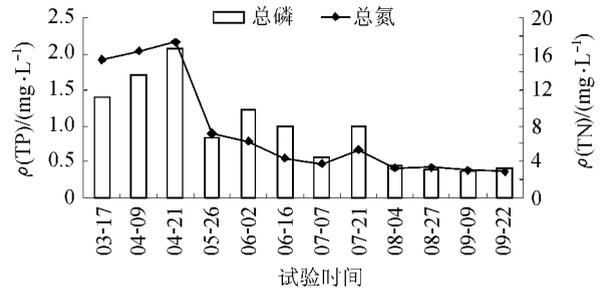


图3 总氮与总磷质量浓度的变化趋势

3 结论

试验结果表明:综合应用循环增氧技术与生物操控技术,可快速有效改善水体水质状况,并通过人工补充缺失生物延长食物链,形成可持续的转化和富集污染物的人工生物链条。但是如果建立长期稳定的人工生态系统,还需要考虑搭配不同食性的鱼类或贝类、添加更高营养级捕食者等方案。

参考文献:

- [1] 刘军,徐亚同,陈洽群,等.城市半封闭河道水体生态恢复试验[J].环境污染治理技术与设备,2006,7(9):29-32.
- [2] 孙从军,张明旭.河道曝气技术在河流污染治理中的应用[J].环境保护,2001(4):12-20.
- [3] STARLING F L R M. Control of eutrophication by silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) in the tropical Paranao Reservoir (Brasilia, Brazil): a mesocosm experiment[J]. Hydrobiologia, 1993, 257:143-152.
- [4] 张丽彬,王金鑫,王启山,等.浮游动物在生物操纵法除藻中的作用研究[J].生态环境,2007,16(6):1648-1653.
- [5] 王金秋,李德尚,曹吉祥.5种淡水浮游藻对萼花臂尾轮虫饵料效果的比较研究.藻的最适投喂密度及轮虫相应的种群增长[J].海洋与湖沼,1998,29(1):15-19.
- [6] 林涛,崔福义,刘冬梅,等.水蚤类浮游动物孳生的生物控制试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2006,34(5):481-484.
- [7] 王吉桥,赵睿,高峰.不同食物和光照时间对黑龙睛金鱼体色和生长的影响[J].中国观赏鱼,2002(2):24-26.
- [8] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社,1991:333-371.
- [9] TAM N F Y, WONG Y S. Wastewater nutrient removal by *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus* sp.[J]. Environmental Pollution, 1989, 58(1):19-34.
- [10] CRAGGS R J. Wastewater treatment by algal turf scrubbing[J]. Water Science and Technology, 2001, 44(12):427-433.

(收稿日期:2009-07-21 编辑:高渭文)