

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2012.04.009

生物 - 生态修复技术在景观污染水体治理中的应用

金小平^{1,2}, 宋学宏¹, 李蒙英¹, 史全良¹, 徐炳丰², 张凌玲², 宋 靖²

(1. 苏州大学医学部基础医学与生物科学学院, 江苏 苏州 215123;

2. 昆山市水利技术推广站, 江苏 昆山 215300)

摘要 :采用生物治理与生态修复技术对昆山市环城北路景观池塘水体因富营养化、流动性差等引起的黑臭现象进行治理。治理后 TN、TP 的去除率均超过 85% ,水质达国家地表水Ⅲ类水标准,水体透明度达 1.28 m,生物多样性增加,景观效果显著改善。结果表明,生物-生态修复技术对没有或仅有少量污水排入的受污染景观水体较为适宜。

关键词 :景观池塘 ;水污染 ;生物治理 ;生态修复

中图分类号 :X171.4

文献标识码 :A

文章编号 :1004-6933(2012)04-0042-03

Application of bio-ecological restoration techniques to treatment of polluted landscape water

JIN Xiao-Ping^{1,2}, SONG Xue-hong¹, LI Meng-ying¹, SHI Quan-liang¹,
XU Bing-feng², ZHANG Ling-ling², SONG Jing²

(1. School of Biology and Basic Medical Sciences, Medical College of
Soochow University, Suzhou 215123, China;

2. Kunshan Water Conservancy Technique Extension Station, Suzhou 215300, China)

Abstract :The polluted water of a landscape pond located in North Huancheng Road in Kunshan City was treated using bioremediation and ecological restoration techniques, in order to abate the malodorous odor caused by eutrophication and poor mobility of water. After the treatment, the removal rates of TN and TP exceeded 85%, the water quality met the Class III national standard of surface water, and the water transparency level reached 1.28 m. Accordingly, there has been an increase in biodiversity, and the landscape effect has significantly improved. The results show that the techniques are practicable for polluted landscape waters with a small amount of sewage or without sewage.

Key words :landscape pond ; water pollution ; bioremediation ; ecological restoration

近年来随着昆山市社会经济的繁荣和发展,大量面源污染物和生活污水等进入河道、湖塘^[1],造成水体富营养化,水生态系统遭到严重破坏,水体浑浊甚至发黑发臭,部分河流、湖塘水域已丧失工农业生产和生活供水的功能,城市景观效果也急剧下降,严重影响城市环境和居民的生活环境。

目前,河道、湖塘等水体治理的方法主要有底泥疏浚、人工曝气增氧、水循环、微生物制剂投加、植物净化等方法^[2-3],这些方法都在一定程度上改善了水质,可消除黑臭、蓝藻暴发等现象,但水体仍浑浊、褐

黄,无法达到清澈明亮的景观效果,一旦停止增氧、水循环等措施,水质又会迅速恶化。为了提高水体的自净能力,重建良好的水生态系统,达到标本兼治的目的,笔者采用生物治理和生态修复综合技术相结合的方法^[4-6]对昆山市环城北路景观池塘受污染水体进行治理。

1 工程概况

昆山市环城北路景观池塘(市民政局东侧,图1),地处居民较密集的市区,池塘水域面积为

作者简介 金小平(1978—),女,工程师,主要从事生态修复技术应用与推广工作。E-mail:joyandg@tom.com

通讯作者 宋学宏,副教授。E-mail:xuehongsong0943@sina.com

3750 m², 池塘底呈锅底形, 沿岸浅水区水深 1.0 m 左右, 中心深水区水深达 2.3 m; 中心深水区底泥厚度 50 cm, 有 2 个排污口直接将生活污水排入池塘。工程实施前池塘全池长满翠绿色蓝藻, 水体黑臭, 水中有少量鲤鱼、黑鱼, 无水生维管束植物生长。经测定, 池塘透明度为 20 cm。TN、TP 的质量浓度分别为 3.85 mg/L、0.52 mg/L, 对照 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》, 该景观池塘的水质属劣 V 类。针对上述状况, 采用水体生物治理与生态修复技术相结合的方法进行水体生态修复。

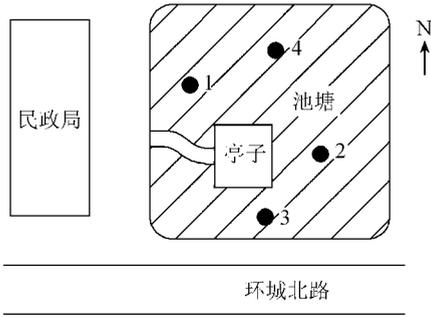


图 1 水质监测点示意图

1.1 生物治理与良好水体生态系统的建立

2009 年 11 月开始对池塘底泥、污水排入量、水质指标、生物的种类和数量等情况进行监测。基于现有水体水质较差, 直接栽培植物不能生长, 生物治理工程采用分阶段实施方案。

a. 2010 年 2 月对 2 个较大的生活污水排出口进行封堵和改道, 接入城市污水管网, 3 月底将原有的污水抽入城市管网, 留下 50 cm 水用生石灰 1500 kg/hm² 进行杀菌消毒。

b. 消毒 2 周后, 由于下雨, 水位上升到 1.5 m 4 月中旬在亭子下面的隐蔽处、池塘中央设置生物膜水体自净化设备(专利号: ZL200710135011.0)200 套, 并投加微生物制剂, 促进在自净化设备上快速形成生物膜, 水质得到初步净化, 水体透明度从原来的 20 cm 增加到 45 cm。

c. 种植水草, 放养水生动物。4 月底在池塘四周浅水区(1~2 m)栽种治污先锋植物轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)、金鱼藻(*Ceratophyllum demersum*)、伊乐藻(*Elodea nuttallii*)等沉水植物, 共计 1000 kg; 同时, 放入中华圆田螺(*Cipangopaludina cathayensis*)1500 kg、褶皱纹冠蚌(*Cristaria plicata*)500 kg、规格为 6~8 尾/kg 的鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)700 尾、规格为 6~8 尾/kg 的鳙鱼(*Aristichthys nobilis*)100 尾、规格为 200 g/尾的花鲢鱼(*Hemibarbus maculatus*)200 尾、规格为 150 g/尾的观赏鱼—草金(*Carassius auratus*)若干; 再从周边河道中捕捞枝角类、桡足类等浮游动物约 3 kg。在上述

生物中, 通过沉水植物、浮游植物吸收水体的 N、P 营养盐, 通过鲢鱼、浮游动物、螺蛳、蚌食用浮游植物, 通过花鲢鱼食用底层腐殖质, 形成一个较长的食物链, 最终以沉水植物、鱼、螺类的协同作用去除水体的 N、P 营养盐, 到 2010 年 5 月中上旬初步建立起良好的水体生态系统。

1.2 水体生态系统稳定性调控

4 月中旬, 生物修复起到一定效果, 但因周围居民自发在池塘中放生红鲤鱼、金鱼, 其成鱼在池中繁殖了大量鱼苗, 同时池塘边上没有被完全杀死的浮萍种子 5 月初再度萌发, 并快速生长, 再次覆盖水面, 红鲤鱼对沉水植物的破坏作用及浮萍的生长使沉水植物因得不到光照、无法生长而死亡。至 2010 年 6 月中旬, 初步建立的、脆弱的生态系统遭到严重破坏。因此, 通过投喂药饵, 杀死并及时捞取部分红鲤鱼、金鱼等, 通过人工打捞取出浮萍, 再投放 1 kg 的微生物制剂净化水质, 补种 1000 kg 的轮叶黑藻、金鱼藻、伊乐藻, 补放规格为 150 g/尾的草金 100 尾、规格为 100 g/尾的加州鲈鱼(*Micropterus salmoides*)200 尾等。通过这一系列的调控措施, 池塘中水生植物和动物的品种、数量、比例重新得以补充和调整。7 月初水质开始好转, 8 月份水质已达到较好的状态, 直至 2010 年 10 月下旬重新建立起一个相对稳定的水体生态系统。

1.3 水体生态系统养护

2010 年 11 月开始进入水体生态系统养护期。不断跟踪观测不同时期的水质和水体生态系统变化, 根据情况对水体中微生物、水生植物和动物的品种、数量、比例进行微调, 维护良好、稳定的水质和水体生态系统。

2 工程效果分析

2.1 水质指标监测分析

水体修复过程中, 在塘中均匀设置 4 个采样点(图 1, 采样点号分别为 1、2、3、4), 对水质进行连续监测。采样时间分别为: 2009 年 11 月 7 日(治理前 5 个月)、2010 年 3 月 12 日(治理前 1 个月)、2010 年 5 月 13 日(治理过程中)、2010 年 8 月 5 日(生态系统调试期)。修复过程中池塘水体主要水质指标变化情况见图 2。

由图 2(a)可见, 2009 年 11 月由于气温较低, 叶绿素质量浓度较低; 2010 年 3 月中旬的初春季节温度升高, 水体中各种藻类迅速繁殖, 叶绿素质量浓度达到 135.6 μg/L, 通过投放浮游动物和滤食性鱼类, 景观池塘中蓝、绿藻等浮游生物数量快速下降, 至 5 月份叶绿素质量浓度下降到 65.0 μg/L, 到 8 月上旬

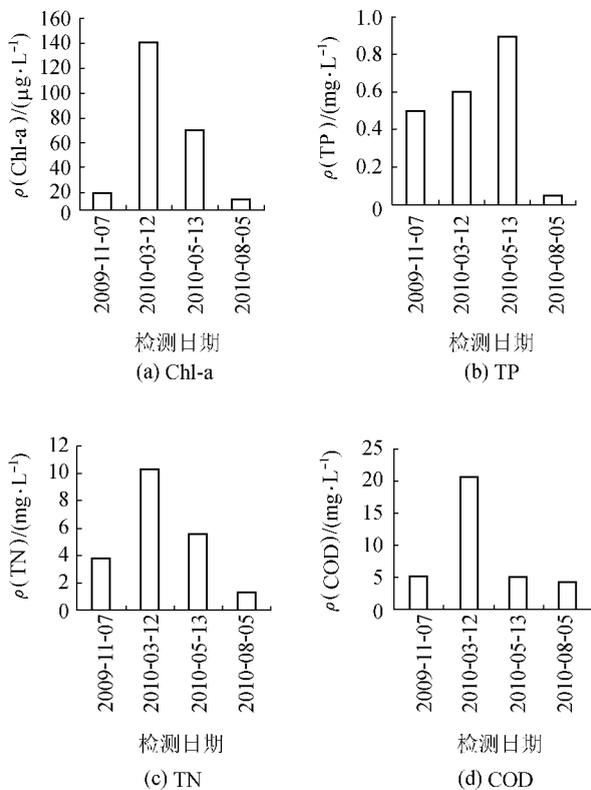


图2 修复过程中池塘水体主要水质指标变化

仅为 $8.8 \mu\text{g/L}$, 水体透明度增加至 1.1 m 。叶绿素质量浓度大幅度下降表明, 水体中藻量大大减少, 由蓝藻、绿藻导致的水体浓绿的恶劣景观效果也得到大幅度改善。由图 2(a) 可见, 修复过程中 TP 质量浓度有所上升, 这是由于随着水温的升高, 一方面底泥中的 N、P 大量快速释放到上覆水中, 另一方面由于浮萍的疯长致使大量的沉水植物死亡再度释放 N、P, 但浮萍对水体 N 的吸收率大于对 P 的吸收率, 因此 5 月水体的 TP 质量浓度会升高。经人工打捞浮萍及补种沉水植物, 水体 TP 质量浓度很快下降^[7], 到 8 月中旬仅为 0.05 mg/L , 与治理前的 0.58 mg/L 相比下降了 90%。而图 2(c) 显示, 修复过程中 TN 质量浓度一直呈下降趋势, 至 8 月 5 日降至 1.3 mg/L , 比治理前降低了 85%。由图 2(d) 可见, COD 质量浓度大幅下降, 由修复前的 20.6 mg/L 降至修复后的 4.2 mg/L , 去除率达 79.61%。修复后的水体各项指标已达国家地表水 III 类水质标准, 水体景观效果得到显著改善, 透明度达 1.28 m 。用塞氏盘法测得修复前后各水质监测点的水体透明度如表 1 所示。

表 1 修复前后采样点的水体透明度变化 cm

采样点号	水深	透明度		
		修复前 1 个月	修复后 4 个月	修复后 6 个月
1	140	19	110	113
2	213	24	110	111
3	184	20	103	110
4	180	20	128	119

2.2 生物多样性变化与研究

2.2.1 浮游生物的多样性变化

在水质监测的 4 个采样点采样, 利用显微镜法对浮游植物和浮游动物进行定性和定量测定, 修复后水体浮游植物结构见表 2, 修复前后水体浮游动物的种群变化见表 3。

表 2 修复前后水体浮游植物结构变化

群落组成	修复前			修复后		
	密度/ (个·mL ⁻¹)	种数	所占比例/%	密度/ (个·mL ⁻¹)	种数	所占比例/%
蓝藻门	2845	4	99.21	703	7	89.63
绿藻门	5	3	0.54	15	6	1.98
裸藻门	3	2	0.25	32	2	4.09
金藻门				3	2	0.39
黄藻门				2	1	0.28
硅藻门				24	7	3.10

表 3 修复前后水体浮游动物的种群变化

群落组成	修复前			修复后		
	密度/ (个·mL ⁻¹)	种数	所占比例/%	密度/ (个·mL ⁻¹)	种数	所占比例/%
原生动物	35	3	10.00	83	1	10.96
轮虫				26	4	3.47
枝角类				564	12	74.46
桡足类	313	6	90.00	86	4	11.38

Shannon-Weaver 曾提出种类多样性指数这一概念^[8], 其计算公式如下:

$$H' = - \sum (n_i/N) \log_2 (n_i/N)$$

式中: H' 为种类多样性指数; N 为单位体积样品中收集到的生物总数; n_i 为单位体积样品中第 i 种生物的个数。

上式表明: 生物种类越多, H' 值越大, 水质越好; 反之, 种类越少, H' 值越小, 水体污染越严重。其中, H' 值与水质污染程度的关系如表 4 所示。

表 4 H' 值与水质污染程度的关系

H' 值	污染程度	H' 值	污染程度
0	严重污染	2.0~3.0	轻度污染
<1	重污染	>3.0	无污染
1.0~2.0	中污染		

根据 Shannon-Weaver 公式计算可得: 修复前的浮游植物多样性指数 H' 为 0.2, 修复后变为 1.02, 污染程度从重污染转变为中度污染; 修复前的浮游动物多样性指数 H' 为 2.18, 属轻度污染, 修复后变为 3.06, 属无污染。多样性指数的增加, 说明水体的生物链的平衡性增强, 水质变好, 水体生态系统稳定性增加。

2.2.2 高等动植物的种群结构变化

通过 1 个月的工程实施及 4 个多月的调试, 经生态修复的景观池塘中从没有一株 (下转第 49 页)

地质条件、矿产资源分布及城镇布局方面与四方洞地下河类似。建议在类似地下河流域内进行矿产资源开发及城镇建设的同时,应加强对生产、生活废水排放的控制和处理,尽可能保护地表水环境,从而降低地下水环境被污染的程度。

参考文献:

[1] 章程. 贵州普定后寨地下河流域地下水脆弱性评价与土地利用空间变化的关系[D]. 北京: 中国地质科学院, 2003.

[2] 孙才志, 林山杉. 地下水脆弱性概念的发展过程与评价现状及研究前景[J]. 吉林地质, 2000, 19(1): 429-434.

[3] 姜桂华. 地下水脆弱性研究进展[J]. 世界地质, 2002(1): 33-38.

[4] 彭稳, 裴建国. 岩溶含水层脆弱性评价方法探讨[J]. 水资源保护, 2010, 26(6): 9-11.

[5] 袁道先. 中国岩溶学[M]. 北京: 地质出版社, 1993.

[6] 刘建刚, 唐扬, 陈丽. 石灰岩吸附痕量钼的试验研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2010, 38(3): 300-304.

[7] 闫志为, 张志卫, 王佳佳. 硫酸水对方解石和白云石矿物的溶蚀作用[J]. 水资源保护, 2009, 25(2): 79-80.

[8] 李强. 典型表层岩溶水化学对暴雨响应特征研究: 以广西马山弄拉兰电堂泉为例[J]. 水资源保护, 2008, 24(2): 14-16.

[9] 苟鹏飞, 蒋忠勇, 林涛, 等. 典型岩溶地下河入、出口处强降雨过程中水动态变化[J]. 水资源保护, 2011, 27(1): 6-8.

[10] 郭芳, 姜光辉, 袁道先. 南方岩溶区地下河主要离子浓度变化趋势分析[J]. 水资源保护, 2008, 24(1): 16-19.

[11] 孙宏才, 田平, 王莲芬. 网络层次分析法与决策科学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.

[12] 王恩, 束龙仓, 刘丽红, 等. 基于改进支持向量回归的岩溶天窗水位预测模型[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2011, 39(1): 19-21.

[13] 殷昌平, 孙庭芳. 地下水水资源勘查与评价[M]. 北京: 地质出版社, 1993.

[14] 邓振平, 周小红, 邹胜章, 等. 在线监测仪在岩溶地下水示踪试验中的应用: 广西临桂县罗锦地下水示踪试验[J]. 水资源保护, 2009, 25(2): 75-77.

(收稿日期: 2011-07-28 编辑: 彭桃英)

(上接第44页)沉水植物到沉水植物的覆盖率为60%左右,沉水植物的品种有金鱼藻(占60%)、伊乐藻(占30%)、轮叶黑藻(4%~5%)及少量的苦草(*Vallisneria natans*)、狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum*) (移栽时带入的水草)。水体的螺蛳经繁殖,生物量为引入时的2倍,褶纹冠蚌的生物量增加不显著。水体中鲢鳙鱼的成活率几乎为100%,规格已增加到400~500g/尾,加州鲈鱼规格达250g/尾,花鲮鱼是底层鱼类,平时无法观察到,而观赏草金的数量达上千尾,规格大小不等。因此,水生态修复后的水体高等动植物已形成了较稳定的生物链结构,维持了水生态系统的平衡。

2.3 景观效果评价

综上所述,景观池塘的水体经6个月的生物治理与生态修复后,池塘景观发生了明显改观,水体透明度增加,各种游鱼穿梭于水草之间。环城北路景观池塘曾是昆山市民传统的放生池塘,随着水质变好,放生、垂钓等现象再度兴起。

3 结论

水体生物治理与生态修复技术在昆山市环城北路景观池塘应用后,重新建成一个良好、稳定的水体生态系统,生物多样性增加,水质各项指标达国家地

表水Ⅲ类水标准,水体透明度达1.2m左右,池塘景观效果显著改善。水体生物治理与生态修复技术具有无需清淤、能耗低、工程造价低特点,适合应用于没有或仅有少量污水排入的河道、公园、城市景观池塘等水体中。

参考文献:

[1] 李艳霞, 王颖, 张进伟, 等. 城市河道水体生态修复技术的探讨[J]. 水利科技与经济, 2006, 11(11): 762-766.

[2] 郑天柱, 周建仁, 王超. 污染河道的生态修复机理研究[J]. 环境科学, 2002, 23(S1): 115-117.

[3] 徐德琳, 邓自发, 欧阳琰, 等. 河道生态修复的前沿领域[J]. 中国城市林业, 2008, 6(5): 25-27.

[4] 曹建廷, 周智伟, 张婷. 河道生态修复工程的组成与生态修复的指导原则[J]. 水利规划与设计, 2005(2): 48-52.

[5] 卜全民, 李凤英. 污染河道生态修复技术研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(36): 16084-16086.

[6] 万金保, 侯得印. 利用生物-生态修复技术治理城市污染河道[J]. 江西科学, 2006, 24(1): 77-79.

[7] 王春英, 张丰如. 小浮萍去除氮磷影响因素研究[J]. 嘉应学院学报, 2010, 28(5): 58-61.

[8] 王志勇. 渤海湾海河口水质污染状况的生物多样性指数法评价[J]. 交通环保, 1996, 17(6): 14-16.

(收稿日期: 2011-08-16 编辑: 徐娟)