

大莲湖生态修复工程对水质影响的研究

朱浩^{1,2} 刘兴国^{1*} 裴恩乐³ 郭文利³ 夏述忠³

(1. 中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所, 上海 200092;

2. 农业部渔业装备与工程重点开放实验室, 上海 200092;

3. 上海市野生动植物保护管理站, 上海 200023)

摘要 大莲湖是淀山湖水系中富营养化程度较为严重的湖泊, 从2008年12月起, 为了改善水质, 重建大莲湖生态环境, 采取了塑造地形、设计护坡、调整水系、配置植物、构建快速渗透系统等措施治理大莲湖, 分析了生态工程完工后半年多来大莲湖水质变化状况; 结果表明: 经过生态修复后, 其水质得到明显改善, COD、总氮和总磷分别比生态区外的鱼塘下降了68%、62%和74%; 氨氮平均为0.27 mg/L, 亚硝态氮平均0.02 mg/L, 叶绿素a平均下降了72%。因此, 将工程措施与生物净化方法有机结合在一起, 并因地制宜地构建快速渗透系统是湖泊治理的一条有效途径, 该修复工程的成功实施也为其他生态修复工程提供了技术支持。

关键词 大莲湖 生态修复 富营养化

中图分类号 X171.4 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2010)08-1790-05

Studies on effects of ecological restoration on water quality in Dalian Lake

Zhu Hao^{1,2} Liu Xingguo¹ Pei Enle³ Guo Wenli³ Xia Shuzhong³

(1. Fishery Machinery and Instrument Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200092, China;

2. Key Laboratory of Fishery Equipment and Engineering, Ministry of Agriculture, Shanghai 200092, China,

3. Shanghai Wildlife Conservation & Management Center, Shanghai 200023, China)

Abstract Dalian Lake is an eutrophic shallow lake in Dianshan area in Shanghai. Several ecological restoration measures have been carried out since December 2008 to improve its water quality and restore the surrounding ecosystem. The measures include shaping the physiognomy, designing revetments, dredging the water system structure, configuring plants and building speediness-filter systems. Water quality improved significantly after six months of cultivation and operation. Mean concentrations of COD, TN, TP and Chl-a reduced by 68%, 62%, 74% and 72%, respectively, compared to that of water outside the ecological area. Mean concentrations of $\text{NH}_3\text{-N}$ and $\text{NO}_2\text{-N}$ were 0.27 mg/L and 0.02 mg/L, respectively. The results indicated that it was efficient to improve lake ecosystems with the engineering measures, biological purification methods and speediness-filter systems combined. The implementation of this project provides technical supports for other similar lake restoration constructions.

Key words Dalian Lake; ecological restoration; eutrophication

大莲湖湿地位于上海市青浦区淀山湖下游西南3.5 km 拦路港南侧, 总面积14.6 km², 核心区面积4.6 km²。淀山水通过斜塘(拦路港)与园泄泾和大泖港三大源流在松江汇合后构成黄浦江, 拦路港横贯大莲湖区域, 大莲湖水源地是淀山湖水系的一个组成部分。

受农业污染和生活污染的影响, 大莲湖水质状况越来越差, 根据上海市水环境监测中心青浦分中心(青浦区水文勘测队)2005年资料: 按地表水环境质量标准(GB3838-2002)评价, 大莲湖水域的氨氮、

总磷、化学需氧量等指标属于V类和劣V类, 水质综合评价为IV类。其中太浦河、拦路港水质基本为III类, 阶段性能达II类; 淀山湖湖区总磷、总氮指标基本为劣V类。青浦西部地区的水质状况好于青浦腹

基金项目: 上海市科学技术委员会资助(08DZ1203201, 08DZ1203203); 上海市农委资助(沪农科政字(2009)第9-4号)

收稿日期: 2010-03-09; **修订日期:** 2010-04-26

作者简介: 朱浩(1985~), 男, 研究实习员, 研究方向为池塘生态工程。E-mail: zhuha0511@yahoo.com.cn

* 通讯联系人, E-mail: liuxg1223@163.com

部地区和东部地区,非汛期水质状况较汛期略有好转。为提高上海市水源上游的水质,改善生态环境,上海市科学技术委员会设立“大莲湖湿地修复区基础生境构建及生态种养殖模式的示范研究”课题,对大莲湖区域展开了一系列的生态修复工程。

在湖泊河道污染治理技术研究与应用中,通过物理清淤、生态修复能够起到很好的治理效果^[1~3],我国对湖泊富营养化的治理工作也取得了一系列的成果^[4,5],回顾这些研究与防治工程,单一的措施达不到长期的效果,多种措施相结合在一起才能使得湖泊可持续的生态平衡,本文旨在介绍将工程措施和生物净化相结合、并因地制宜地建造快速渗透系统,对大莲湖生态示范区进行生态修复,并使水质得

到改善,为今后湖泊河道治理提供参考。

1 研究背景

2008 年 7 月,对图 1 中水域进行了监测,结果表明,大莲湖水域的 TN 浓度普遍较高,水森林水体的总氮含量超过 V 类水质指标的 1.9 倍,为劣 V 类水;池塘水体总氮平均为 2.44 mg/L,超过国标 V 类水 1.22 倍,富营养化严重;规划区河道水体的 TN 含量平均为 2.42 mg/L,亦为富营养化水体,其他指标也均超标(表 1)。规划区内的水体富营养化程度为水森林>池塘水体>河道。可见越是不流动的水体富营养化程度越高,也反映了规划区是污染源。

表 1 大莲湖水质监测结果

Table 1 Monitoring results of water quality of Dalian Lake

采样地点	总氮 (mg/L)	氨氮 (mg/L)	硝氮 (mg/L)	亚硝氮 (mg/L)	叶绿素 (μg/L)
水森林	3.82	0.79	1.99	0.02	96
河道	2.42	0.57	2.97	0.09	152
池塘	2.44	0.75	1.56	0.02	110

2 技术路线

2008 年 12 月至 2009 年 5 月,采用物理、生物修复相结合的方法,对大莲湖区域水体和底泥进行生物修复,恢复大莲湖湿地面积,在改善大莲湖水质的同时,营造具有观赏价值的水上景观和湖岸景观。大莲湖生态修复的主要措施包括:塑造地型、设计护坡、调整水系、配置植物、构造快速渗透系统。生态修复前后大莲湖地形见图 1 和图 2。

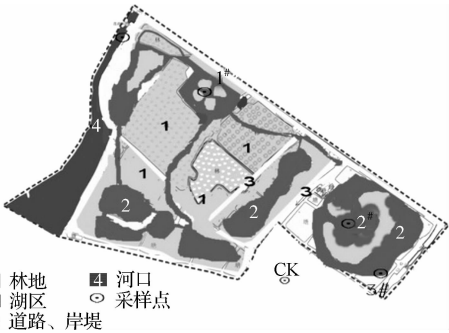


图 2 生态修复后的大莲湖地形

Fig. 2 Terrain of Dalian Lake after ecological restoration

m²,陆地面积为 22 000 m²;塘底平均高程 1.1 m,淤泥 20 cm;塘埂平均高程 3.9 m(参照为吴淞口高程)。鱼塘平均深度 2.8 m;积水平均深度 1.8 m,淤泥平均深度 0.2 m。

将各鱼塘间的塘埂全部挖开,鱼塘打通形成一个完整的、湖底高低起伏的积水湖泊,新构建的湖体平均水位 1.3 m,平均高水位 1.6 m,平均低水位 1 m,工程总土方量 36 500 m³。为了提高生境的多样性,以及不同水生植物对水位要求的不同,在地形改造过程中构筑一定面积的水下暗堤(保留部分塘埂),顶高 50 cm。

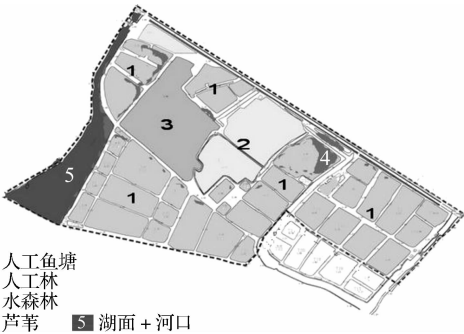


图 1 生态修复前的大莲湖地形

Fig. 1 Terrain of Dalian Lake before ecological restoration

2.1 塑造地形

示范工程区总面积为 553 200 m²,原来主要由 15 个大小不等的鱼塘构成,水面总面积为 66 000

2.2 设计护坡

在湖中用塘埂土和塘底淤泥堆积形成一大一小 2 个湖心岛,在岛周围按一定的坡降比设计护坡并配置不同的植物带。根据立地条件和生境多样性原则,护坡设置 3 种不同的坡降比:1:7、1:4 和 1:3。

2.3 调整水系

为了整个水系的流通性和循环性,在示范区的林地和一期工程区周边挖掘水道沟通大莲湖和各条河流,最终与拦路港水系连成一片,形成连贯的大水系。整个示范区内不同区域构建河面宽度不等的三级河道:一级河道河面宽度为 7 m,长度 951 m;二级河道河面宽度为 5 m,长度 1 293 m;三级河道河面宽度为 3 m,长度 506 m。依靠现有的水闸控制水流。

2.4 配置植物

规划中植物选择主要依据有利于发挥湿地净化功能、生物多样性、因地制宜和乡土性原则,同时兼顾景观设计和季相变化。根据植物带配置数量的不同,分别设置 5 种配置方式:①塘埂留存区域只种植沉水植物,为沉水植物区;②工程区周边只有挺水和沉水植物带;③小岛和大岛内部水域具有灌丛植物带、挺水和沉水植物带;④大岛外围(无湾处)分布森林湿地带、灌丛植物带、挺水和沉水植物带;⑤大岛外围(有湾处)分布森林湿地带、灌丛湿地带、挺水植物带、扎根浮叶植物带和沉水植物带。

各植物带间不是严格分开的,带间具有一定程度的交叉,形成各植物带的交叉融合。植物具体用量包括乔木(以枫杨、池杉、水杉为主)约 2 000 株,灌木(以金钟花、迎春为主)约 900 株,草本(以狗尾草为主)约 10 000 丛,挺水植物(芦苇、菖蒲为主)约 100 000 丛,扎根浮叶植物(以芡实为主)约 6 000 丛,沉水植物(轮叶黑藻、狐尾藻和眼子菜为主)约 100 000 丛。

2.5 构造快速渗漏系统

在南面农民生活区和示范区之间构建湿地与快速渗漏系统,该系统主要是用塘底淤泥堆积而成,为了防治淤泥中的富营养化物质对水体进行二次污染,按照快速渗漏系统原理分层构筑,从最下层往上依次为底泥、砾石层、煤渣层、透水层、底泥,最上层为净土层。岛屿周边坡面采用底层放置生态袋护坡,并可利用生态袋有效恢复沉水植物;整个护坡上层设计生态护坡格,护坡格底层是土壤与基质层,供给植物营养,泥土层之上是护坡格层,每个护坡格之

间互相镶嵌,连成一片,护坡格内种植香蒲、黄菖蒲、再力花等挺水植物。

2.6 监测方法

大莲湖 2009 年 5 月完成施工,2009 年 5 月至 8 月份对区域内进行恢复植被,在全部工程完成后,根据文献^[6]对水体的总氮、总磷、COD、NH₃-N、NO₂-N、叶绿素进行了监测,采样时间为 2009 年 9 月至 2010 年 4 月。采样点共 5 个,示范区周边鱼塘设 1 个采样点为对照(CK),示范区进水闸门处设 1 个采样点为进水口点,湖区设 3 个采样点分别为 1[#]、2[#]、3[#](见图 2),1[#]点靠近护坡带,2[#]点为深水区,3[#]点靠近快速渗透系统。

3 结果与分析

3.1 COD 的变化

对大莲湖水体 COD 检测的结果见图 3。

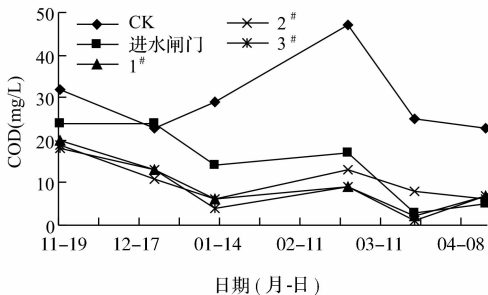


图 3 大莲湖生态修复区水体 COD 的变化
Fig. 3 Variation of COD in ecological restoration area of Dalian Lake

由图 3 可知,从水质监测的结果来看,大莲湖经过地形塑造、设计护坡、水系管理、配置植物、快速渗透系统等一系列的措施后,水质得到明显改善,其中进水闸门由于受到外源水污染,相对其他各点均较高并与鱼塘相接近,1[#]、2[#]、3[#]各点 COD 值均低于人工养鱼塘和进水口,并且维持稳定。与鱼塘相比,大莲湖水系各点的 COD 值均明显降低,1[#]点平均下降了 68%、2[#]点平均下降了 65%、3[#]点平均下降了 71%;与进水口相比,1[#]点平均下降了 34%、2[#]点平均下降了 28%、3[#]点下降了 40%。

3.2 氮、磷的变化

由图 4 可知,从氮磷营养盐的变化来看,生态修复对大莲湖水体中氮、磷去除效果明显,与鱼塘相比,1[#]点总氮平均下降了 62%、2[#]点平均下降了

46% ,3[#]点平均下降了 63% ,与鱼塘相比,1[#]点总磷平均下降了 74%、2[#]点平均下降了 78%、3[#]点平均下降了 82%。与进水口相比,1[#]点总氮平均下降了 59% ,2[#]点平均下降了 43% ,3[#]点平均下降了 60%。与进水口相比,1[#]点总磷平均下降了 37% ,2[#]点平均下降了 47% ,3[#]点平均下降了 56%。

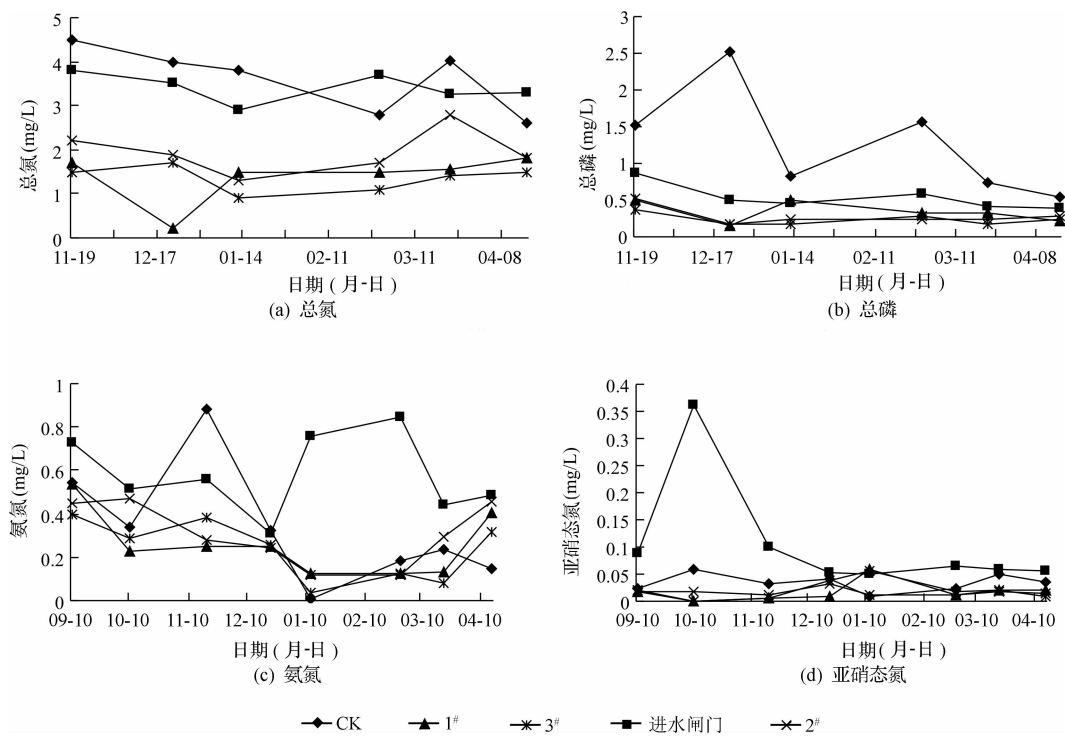


图 4 大连湖生态修复区水体氮、磷的变化
Fig.4 Variation of N,P in ecological restoration area of Dalian Lake

从分子态氮的变化来看,经过生态修复后,大连湖水体中氨氮、亚硝态氮得到明显降低,鱼塘由于受人工投饲的影响,氨氮值波动较大,进水口由于受外源水的污染,氨氮也呈现较大的波动,生态湖区氨氮平均 0.27 mg/L,最高不超过 0.53 mg/L。进水口由于受到外源水的污染,亚硝态氮值偏高,人工养鱼塘由于得到人工管理,亚硝态值较低,但相对于生态湖区较高,从 9 月份采样到次年 4 月份,生态湖区内亚硝态值平均 0.02 mg/L,最高不高于 0.05 mg/L。且随季节的变化差异不大,这也说明了水生植物生长良好,使得大连湖生态系统趋于稳定。

从月季变化来看,工程区内的氮、磷等营养盐保持在一个相对稳定的区间,进水闸门和对照鱼塘受季节和人为因素的影响,氮、磷值波动较大。

3.3 Chl-a 浓度的变化

由图 5 可知,鱼塘中叶绿素含量偏高,这和鱼塘夏季有段时间的肥水有关,与对照鱼塘相比,大连湖生态修复区各采样点均呈现不同程度的下降,叶绿

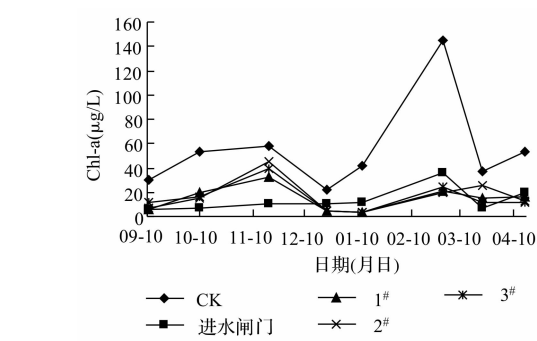


图 5 大连湖生态修复区水体 Chl-a 的变化
Fig.5 Variation area of Chl-a in ecological restoration area of Dalian Lake

素 a 平均下降了 72% ,显然,通过一系列的生态工程修复后,大连湖水体藻类生长得到了有效的控制。在表现上也发现局部藻类水华消失,水色明显好转。

4 讨论

湖泊是一个有较明确边界的生态系统,湖泊生

态重建与恢复需要用生态系统的方法来对待,造成湖泊富营养化的因素很多,仅凭单一技术措施很难有显著成效^[7]。因此,在进行示范工程建设中因地制宜地采用多种措施才能取得较好的效果,将大莲湖鱼塘地形改造后,可有利于水体流通、自净,同时在地形改造过程中构筑一定面积的水下暗堤(保留部分塘埂),可有利于不同水位要求的水生植物的生长,提高了生境的多样性。从半年来的监测结果来看,大莲湖的水体富营养化程度得到有效控制,水体中的氮、磷含量显著下降,水质透明度提高。

水生植物的空间结构包括垂分层和水平镶嵌,水平镶嵌是群落分布格局的主要形式,随着环境因子的变化而形成一定梯度,其中最主要的是随水深变化而形成的生态序列^[8];因而护坡设置1:7、1:4、1:3三种不同坡降比,利用这3种不同的坡降比一方面可以有效地对湿地植物进行种植,提高本地区湿地植物的多样性,另一方面也基于本区域的防洪泄洪的考虑,用较大坡降比的立地设计有利于整个设计区域的行水安全。规划中植物选择主要依据有利于发挥湿地净化功能、生物多样性、因地制宜和乡土性原则,同时兼顾景观设计和季相变化。从研究结果来看,示范区水生植物生长良好,叶绿素含量明显降低。

水系的调整使得水体能够很好地流通和循环,从而有利于提高水体中的溶氧,增强水生植物和底栖动物的多样性。在示范区的林地和一期工程区周边挖掘水道沟通大莲湖和各条河流,最终与拦路港水系连成一片,形成连贯的大水系,这样使得大莲湖长期保持稳定的水位,保证了示范区生态系统的稳定性。

在大莲湖南面构建快速渗透系统是由于南边尚有一些住户,这些住户的生活污水会直接排入鱼塘和示范区周围的河道;还有一些养鱼户,因喂养鱼而投放大量的饵料,有些直接进入水体,有些经鱼捕食消化后排入水体,污染水体和底泥;养鱼户不仅养鱼,还养殖鸡鸭等,并以养鸡养鸭的粪便和余料供给鱼塘,这些饵料一部分未被鱼食用,直接成为富营养物质进入水体,一部分经过鱼食用消化后,转化为粪便排入水体,仍成为有一定富营养盐的污染物。另外,在大莲湖湖区的西部有大量的垃圾填埋,其中很多是生活垃圾,成分非常复杂,垃圾渗漏液严重污染了周围的环境。快速渗透利用了湿地和植物的净化作用^[9-11],从工程层面为大莲湖面源污染控制提

供创新方法和专利技术,为面源污染控制的集成技术提供新的运行参数,为示范工程的长期运行提供技术保证。

5 结 论

(1)通过地型塑造、护坡设计、水系调整、植物配置、快速渗透系统等一系列措施能够有效治理湖泊,并且可以使得景观得到改善。

(2)对大莲湖生态修复后,水质得到明显改善,监测结果显示,经治理后COD、总氮、总磷分别比鱼塘下降了68%、62%、74%;氨氮平均0.27 mg/L,亚硝态氮平均0.02 mg/L,水质透明度提高。

参 考 文 献

- [1] Armin W. Lorenz · Sonja C. Jahnig · Daniel Hering. Re-meandering German lowland streams: Qualitative and quantitative effects of restoration measures on hydromorphology and macroinvertebrates. *Environmental Management*, **2009**,44(4):745~754
- [2] 杨建荣,饶碧玉,张家荣. 松华坝水库水源保护区生态修复技术集成初探. *环境科学导刊*,**2008**,27(6):53~56
- [3] 谢丹平,李开明,江栋,等. 底泥修复对城市污染河道水体污染修复的影响研究. *环境工程学报*,**2009**,3(8):1447~1453
- [4] 张秀敏,陈娟. 滇池水生植被恢复规划研究. *云南环境科学*,**1998**,17(3):38~40
- [5] 侯长定,李文朝,胡耀辉,等. 星云湖湖滨带生态建设与水生植被恢复. *云南环境科学*,**2003**,22(增刊):92~96
- [6] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范. 北京:中国环境科学出版社,**1990**. 10~15
- [7] 陈开宁,包先明,史龙新,等. 太湖五里湖生态重建示范工程——大型围隔试验. *湖泊科学*,**2006**,18(2):139~149
- [8] 于丹,曾一本,张汉华,等. 淤泥湖退化水生植被恢复及其在湖泊资源天然生态库中作用的研究. *应用生态学报*,**1996**,7(4):401~406
- [9] 张洪洋,于水利,修春海,等. 水平潜流人工湿地系统处理微污染原水的研究. *环境工程学报*,**2008**,2(11):1447~1450
- [10] 刘书宇,刘一龙,马放,等. 复合沸石滤床修复北方景观水体的实验研究. *环境工程学报*,**2009**,3(1):27~30
- [11] Rai U. N., Sarita Sinha, Tripathi R. D., Chandra P. Wastewater treatability potential of some aquatic macrophytes: Removal of heavy metals. *Ecological Engineering*, **1995**,5(1):5~12