

生态修复措施对广州流花湖水质的净化效果研究

Purification Effect of Water Quality in Liuhua Lake by Water Ecological Restoration

蓝伟 黄正联* 谭广文

LAN Wei, HUANG Zheng-lian*, TAN Guang-wen

摘要: 为探究生态修复措施对城市湖泊水质净化的效果, 于2019年6月至2021年6月对广州流花湖治理湖区(三湖)和未治理湖区(二湖)进行长期的水质监测。结果表明, 通过底质改善、沉水植物群落构建和鱼类群落优化等生态修复措施, 三湖水质得到显著提升, 总磷含量、总氮含量、氨氮含量、化学需氧量、生化需氧量、高锰酸盐指数均显著降低, 三湖水质已达到Ⅳ类水标准及以上。二湖湖区水体各项指标未出现显著降低趋势, 且随时间推进显著高于三湖, 长期处于Ⅴ类水标准。

关键词: 生态修复; 水质; 净化; 沉水植物

中图分类号: TU986

文献标志码: A

文章编号: 1671-2641(2022)06-0058-04

收稿日期: 2022-08-02

修回日期: 2022-09-05

Abstract: In order to explore the effect of ecological restoration measures on water quality purification of urban lakes, long-term water quality monitoring was carried out in the treated lake area (the third lake) and the untreated lake area (the second lake) of Liuhua Lake in Guangzhou from June 2019 to June 2021. The results showed that the water quality of the third lake has been significantly improved through the ecological restoration measures such as the improvement of the sediment, the construction of submerged plant communities and the optimization of fish communities. The total phosphorus content, total nitrogen content, ammonia nitrogen content, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand and permanganate index all decreased significantly, and the water quality of the third lake in Liuhua Lake has reached the class IV water standard and above. The indicators of the water body in the second lake did not show a significant downward trend, and were significantly higher than those in the third lake with the extension of time, and remained at the class V water standard.

Key words: Ecological restoration; Water quality; Purification; Submerged plant

湖泊生态系统是陆地生态系统的重要组成部分, 具有供水、蓄洪、养殖、气候调节、航运等作用, 城市景观湖泊还具有娱乐观赏等功能^[1]。然而随着经济以及工业、农业的迅速发展, 大量污染物随着排放的废水进入湖泊水体中, 导致湖泊富营养化等问题日益突出^[2]。城市湖泊由于水域面积小、封闭或半封闭、流速低等因素, 自净能力有限, 且一直受到大量人类活动影响, 一旦有大量污染物进入水体, 水质便迅速恶化且很难恢复, 长期处于超富营养化状态。

针对湖泊富营养问题, 国内外学者展开了大量研究。自20世纪80年代以来, 欧美等国在城市湖泊治理中进行了大量以水生植物重建和生物操纵为主的生态恢复^[3]。近年来, 以沉水植物重建为主的生态修复技术也在国内城市湖泊修复中得到了大量应用。沉水植物能够吸收营养盐, 转化污染物, 改善底质环境, 抑制藻类生长, 在保持水生态系统稳定性等方面起到重要作用。同时, 种植沉水植物能一定程度上提升景观效果^[4]。

流花湖是广州市第二大人工湖泊, 位于越秀区, 湖区总面积约28 hm², 平均水深为1.57 m, 最大水深为2.27 m^[5]。流花湖共分为3个湖区, 从东向西依次为一湖、二湖和三湖, 面积分别为6.8 hm²、10.6 hm²以及10.5 hm²。流花湖长期处于超富营养状态, 整体水质属Ⅴ类水标准,

水生植物零星散落分布, 水生动物以养殖鱼类为主。为改善流花湖水体生态情况, 提高人民生活幸福感, 进一步发挥公园人工湖美化城市景观、调节区域生态的重要作用, 当地公园管理单位于2019年5月启动了以沉水植物群落构建为主的水生态恢复工程。本文通过分析流花湖治理湖区和未治理湖区的水质变化, 来探究生态修复措施对城市湖泊水质的影响。

1 材料与方法

1.1 项目区概况

广州流花湖属珠江水系, 并通过驷马河涌和人工闸把与珠江干流相连, 因此不仅具备游览、休憩的功能, 同时对城区起着调节洪蓄作用。流花湖位于亚热带沿海, 属于海洋性亚热带季风气候, 具有夏季长、冬季短、多雨等特征。全年日照约1900 h, 平均气温20~22℃, 年降水量约为1700 mm, 并主要集中在4—9月^[6]。

流花湖位于广州中心城区, 由于人口的迅速增加和经济的快速发展, 大量的工业废水、生活污水以及其他地表径流进入湖区水体中, 湖泊水质严重恶化。据相关研究调查, 流花湖水体叶绿素含量最高达到148.90 ug/L, 总氮和总磷含量则分别达到5.92 mg/L、0.12 mg/L, 属于超富

营养级别^[7], 常有蓝藻爆发现象。由于湖区水生植物及水生动物种类较少, 水生态系统极为脆弱, 污染消纳能力较弱, 水体生态系统较难恢复。

流花湖水生态恢复工程一期位于三湖水域, 面积约10 hm²。工程实施前, 三湖整体水质为劣V类, 水生植物较少。

1.2 生态修复措施

1.2.1 底质改善

底泥是众多污染物在环境中的蓄积库, 所以底泥的改善是水生态恢复工程中的重要一步。将三湖湖水抽至二湖, 排干后进行晒塘, 并配合施撒生石灰、漂白粉等药剂, 以此改善黑臭现象, 降低营养物质含量, 提高氧化还原电位以及杀灭有害病菌, 满足沉水植物种植条件。

1.2.2 沉水植物群落构建

底质改善后进行沉水植物种植。植物种类选择苦草 *Vallisneria natans*、篳齿眼子菜 *Stuckenia pectinata*、黑藻 *Hydrilla verticillata*、狐尾藻 *Myriophyllum verticillatum*, 采用扦插法, 分别以70~80株/m²、90~100株/m²、70~90株/m²和50~70株/m²的种植密度混合种植。经1个月时间的培育, 各类沉水植物生物量和覆盖度显著增加, 生长状况良好。2019年6月从二湖中引水入三湖至原有水位。

1.2.3 鱼类群落优化

鱼类作为淡水生态系统的组成部分, 对维持生态系统稳定具有重要作用。湖区原有鱼类以草食性为主, 对沉水植物具有一定的破坏性, 所以除了草食性鱼类, 本工程中也投放了肉食性以及杂食性鱼类, 对草食性鱼类进行有效控制, 有助于形成稳定的生态系统。选择放养的鱼类种类有鳊 *Siniperca chuatsi*、乌鳢 *Channa argus*、鲇 *Silurus asotus*、青鱼 *Mylopharyngodon piceus*、鲤 *Cyprinus carpio*、鲫 *Carassius auratus*、草鱼 *Ctenopharyngodon idella*, 均为鱼苗, 投放密度为15 g/m³左右。

1.3 采样点设置

本工程在二湖设置4个采样点, 三湖设置3个采样点(图1)。

表1 各项水质指标检测标准

水质指标	检测标准
总磷	水质总磷的测定-钼酸铵分光光度法(GB/T 11893-1989)
总氮	水质总氮的测定-碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ 636-2012)
氨氮	水质氨氮的测定-纳氏试剂分光光度法(HJ 535-2009)
化学需氧量	水质化学需氧量的测定-重铬酸盐法(HJ 828-2017)
生化需氧量	水质五日生化需氧量(BOD ₅)的测定-稀释与接种法(HJ 505-2009)
高锰酸盐指数	水质高锰酸盐指数的测定(GB/T 11892-1989)

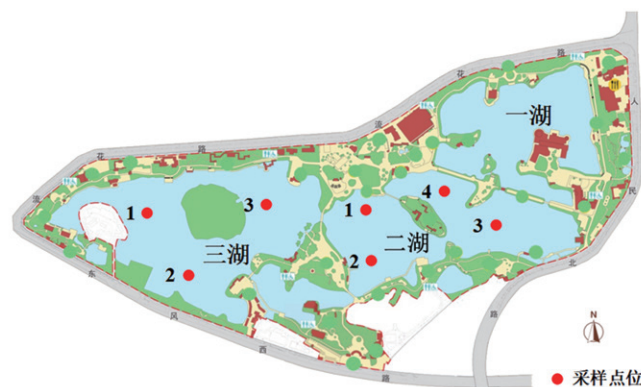


图1 流花湖采样点位示意图

1.4 样品采集及测定

于2019年6月至2021年6月, 对三湖和二湖进行水样采集。使用特制采水器在每个控制采样点取水样2 L, 采样水深为水面以下20 cm, 水质样品采集后立即加硫酸试剂保存, 后4℃低温保存, 以备后续实验室检测。水质测定指标按照《水和废水监测分析方法(第四版)》, 包括总磷、总氮、氨氮、化学需氧量、生化需氧量和高锰酸盐指数, 检测标准见表1。本文中水质质量评价项目标准限值依据《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)。

1.5 数据处理

利用Microsoft Excel 2010和Origin 9.1 软件进行数据统计分析和作图。

2 结果与分析

2.1 治理湖区水质指标变化

2019年6月从二湖引水至三湖。引用水源状况较差, 其中总氮和生化需氧量属V类水标准, 总磷、化学需氧量和高锰酸盐指数属IV类水标

准, 氨氮属III类水标准。引水后, 随时间推进, 三湖水体总磷含量逐渐降低, 由0.07 mg/L降低至检出限以下(图2)。水体总氮含量不断降低, 由1.71 mg/L逐渐降至0.31 mg/L, 达II类水标准(图3)。水体氨氮含量在2019年12月至来年3月间降低明显, 由0.69 mg/L降至0.35 mg/L, 后逐渐降低并在2020年12月后趋于稳定, 达到I类水标准(图4)。水体化学需氧量在前6个月由27 mg/L迅速降低至19 mg/L, 后呈缓慢降低趋势, 2020年12月后迅速降低至8 mg/L, 达I类水标准(图5)。水体生化需氧量在前6个月降低最明显, 由9.57 mg/L降至5.13 mg/L, 2019年9月后变化较小, 于2021年6月达4.61 mg/L, 属IV类水标准(图6)。水体高锰酸盐指数在前3个月变化也较为显著, 后保持相对稳定, 2020年12月后又迅速降低至3.28 mg/L, 达II类水标准(图7)。通过生态修复措施的实施, 流花湖三湖水质显著提升。

2.2 治理湖区与未治理湖区水质指标对比

三湖引水来源于二湖, 所以二湖

和三湖初始各项水质指标差异较小。三湖在治理后,生态系统快速恢复,至2019年12月各项水质指标已显著

低于二湖,之后逐渐降低至较低水平。二湖水质始终保持在Ⅲ~Ⅴ类标准,各项指标均无显著降低趋势,

随着时间推进,其与三湖水质指标差异逐渐增加(图8~13)。这说明由于高度富营养化、流动性小等因素,湖

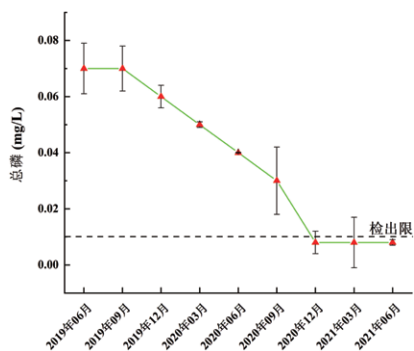


图2 三湖水体总磷含量变化

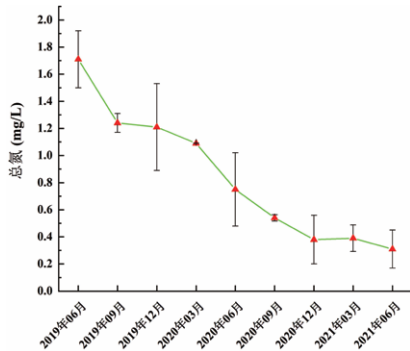


图3 三湖水体总氮含量变化

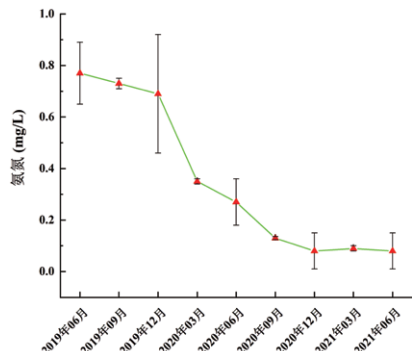


图4 三湖水体氨氮含量变化

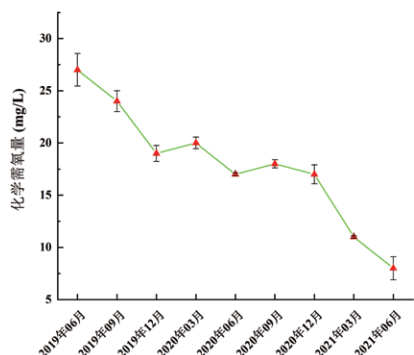


图5 三湖水体化学需氧量变化

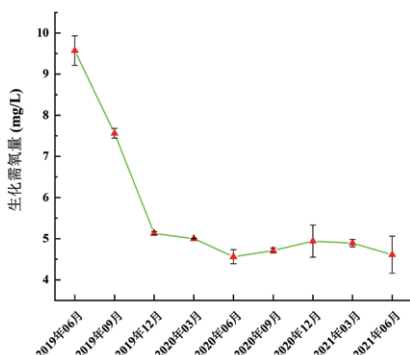


图6 三湖水体生化需氧量变化

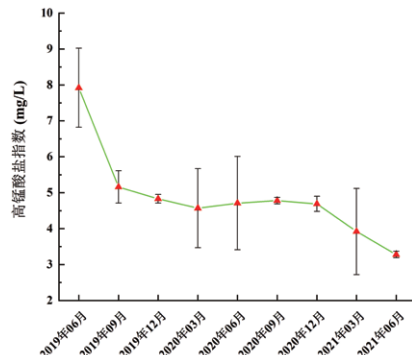


图7 三湖水体高锰酸盐指数变化

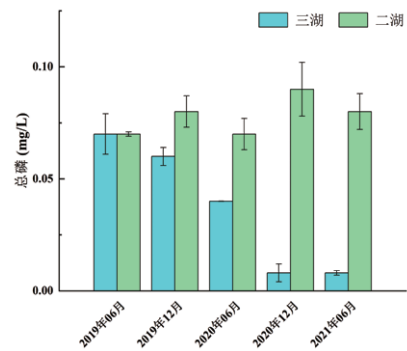


图8 二湖和三湖水体总磷含量变化

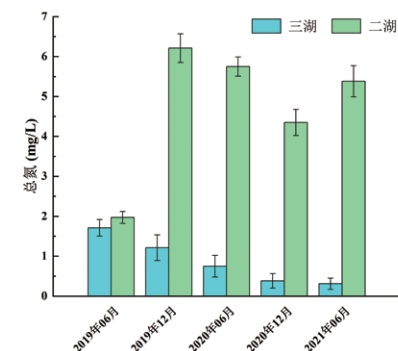


图9 二湖和三湖水体总氮含量变化

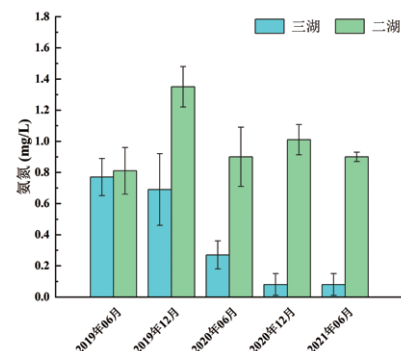


图10 二湖和三湖水体氨氮含量变化

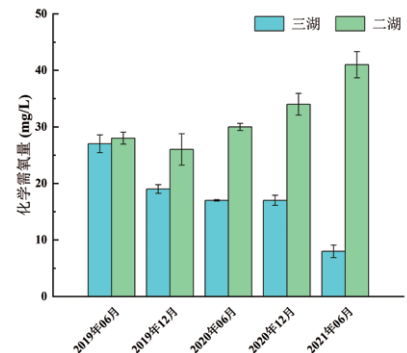


图11 二湖和三湖水体化学需氧量变化

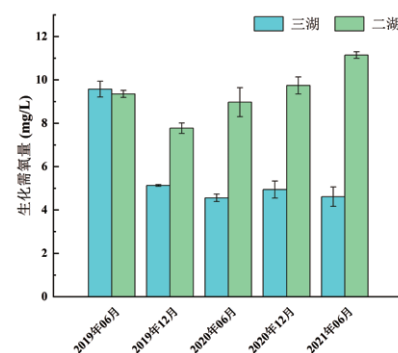


图12 二湖和三湖水体生化需氧量变化

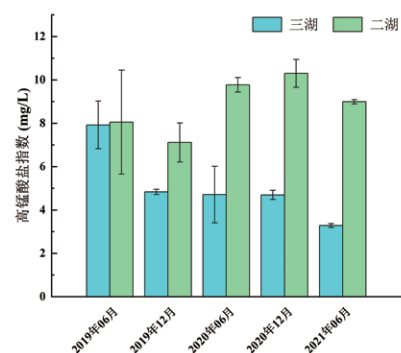


图13 二湖和三湖水体高锰酸盐指数变化

区水体已经失去自净能力,水生生态系统难以恢复至正常水平。而生态修复措施的实施,不仅快速显著地降低了湖区水体的营养盐含量,同时形成了健康的生态系统,使得水体恢复了自净能力,各项水质指标稳定维持在正常水平。

3 结论与讨论

本研究表明,改善底泥、构建沉水植物群落以及优化鱼类群落结构等措施对流花湖富营养化水质有显著的净化效果,三湖水体总磷、氨氮和化学需氧量均达到Ⅰ类水标准,总氮和高锰酸盐指数均达到Ⅱ类水标准,生化需氧量达到Ⅳ类水标准。

生态修复措施中最重要部分是沉水植物群落的构建。苦草等沉水植物种植后,根系能够稳定底质,并通过根系、茎和叶片吸收和吸附底泥及水体中的污染物质。有研究表明,篳齿眼子菜、竹叶眼子菜 *Potamogeton wrightii*、黑藻和金鱼藻 *Ceratophyllum demersum* 均能有效降低水中总氮、总磷及氨氮含量,去除率可达70%以上^[8]。沉水植物除本身直接吸收转化污染物质外,也通过改善水体生态环境,起到去除污染物质的作用。沉水植物通过光合作用在根部泌氧,或分泌有机酸等物质,能够改善底质微生物环境^[9-10],促进微生物的繁殖生长,从而加强对污染物质的转化。金数权等^[11]的研究表明,黑藻、苦草、金鱼藻、穗状狐尾藻 *Myriophyllum spicatum* 和微齿眼子菜 *Potamogeton maackianus* 的氮、磷直接吸收贡献率仅为1.5%~13.3%和2.2%~13.2%,而其改变生境对氮、磷降低的增效作用贡献率高达22.5%~29.9%和10.1%~20.6%,显著高于直接吸收作用。

沉水植物群落的构建在有效降低水体中污染物质含量的同时,也能有效抑制藻类的生长和爆发^[12]。自流花湖水生态恢复工程完工以及沉水植物群落构建成功后,治理湖区蓝藻

爆发现象显著减少。沉水植物能从多方面抑制藻类的生长:首先,沉水植物可为浮游动物提供良好的栖息环境,促进其大量繁殖,而浮游动物能够摄食藻类从而控制藻类数量;其次,沉水植物可与藻类竞争生长空间、营养物质等;同时,沉水植物还可以分泌化感物质以影响藻类的生长^[13-14],纪海婷等^[15]的研究发现黑藻、穗状狐尾藻、水蕴藻(伊乐藻) *Elodea canadensis* 以及水盾草 *Cabomba caroliniana* 叶片浸提液不同组分均显著抑制了斜生栅藻 *Scenedesmus obliquus* 和普通小球藻 *Chlorella vulgaris* 的细胞浓度以及叶绿素含量。因此,沉水植物群落的构建是维持水生生态系统稳定的关键因素。

鱼类对水生生态系统的修复也具有重要作用,有研究指出鱼类放养可以调控蓝藻水华的发生,以及防止水生植物过度生长造成二次污染^[16-17]。流花湖湖区原有鱼类多为草食性鱼类,种类较少,缺少天敌的情况下必然大量繁殖,对沉水植物生长造成巨大破坏。因此,需要对鱼类群落进行优化。投放肉食性和杂食性鱼类,可对草食性鱼类数量进行有效控制,减少其对沉水植物的破坏以及对浮游动物的掠食,丰富水生生物种类。同时,草食性鱼类数量的有效控制也反制约了其他鱼类的生长,各种类鱼数量保持平衡稳定,有利于水生生态系统的修复。

综上所述,生态修复措施能够显著净化城市富营养化湖泊水质,并提升景观效果,流花湖三湖的成功治理为二期、三期等后续水生态恢复工程提供了宝贵技术经验和良好示范。同时可以看出,以沉水植物群落构建为主的生态修复措施是解决众多城市湖泊营养化问题的有效途径。

注:图片均为作者自绘

参考文献:

[1] 孙宁涛,李俊涛.城市湖泊的生态系统服务功能及其保护[J].安徽农业科学,2007(22):

6885-6886.

[2] 彭俊杰,李传红,黄细花.城市湖泊富营养化成因和特征[J].生态科学,2004(4):370-373.

[3] 廖国庆.人工湖湖滨缓流带生态系统构建技术研究[D].广州:华南理工大学,2020.

[4] 龚梦丹.沉水植物对水体水质净化效果的研究[J].环境与发展,2020,32(2):95-97.

[5] 俞林伟,谭镇,钟萍,等.广州流花湖底泥磷的垂直变化特征[J].生态环境,2007(5):1358-1363.

[6] 孙康康.广州市流花湖近代水环境演变及其生态修复的启示[D].广州:广州大学,2020.

[7] 刘炯.广东典型城市湖泊浮游植物特征及其对水生植被修复的响应[D].广州:暨南大学,2006.

[8] 任文君,田在峰,宁国辉,等.4种沉水植物对白洋淀富营养化水体净化效果的研究[J].环境学报,2011,20(2):345-352.

[9] 尹幸佳.沉水植物根系分泌有机酸对其根际 nirS 型反硝化菌和厌氧氨氧化菌丰度的影响[D].武汉:华中农业大学,2019.

[10] 陈登,蔡启佳,田翠翠.3种沉水植物根际对沉积物中典型氮循环微生物功能基因丰度的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2018,33(2):314-323.

[11] 金树权,周金波,包薇红,等.5种沉水植物的氮、磷吸收和水质净化能力比较[J].环境科学,2017,38(1):156-161.

[12] GOPAL B, GOEL U. Competition and Allelopathy in Aquatic Plant Communities[J]. 1993, 59(3):155-210.

[13] GROSS E M. Differential Response of Tellimagrandin II and Total Bioactive Hydrolysable Tannins in an Aquatic Angiosperm to Changes in Light and Nitrogen[J]. Oikos, 2003, 103(3):497-504.

[14] HILT S. Allelopathic Inhibition of Epiphytes by Submerged Macrophytes[J]. Aquatic Botany, 2006, 85(3):252-256.

[15] 纪海婷,谢冬,周恒杰,等.沉水植物浸提液组分对三种常见附植藻类生长的影响[J].生态学杂志,2015,34(2):445-453.

[16] 谷孝鸿,李红敏,毛志刚,等.蓝藻水华与淡水鱼类的生态相互作用研究进展[J].科学通报,2021,66(21):2649-2662.

[17] 许多,王昊,王培京,等.水下生态系统构建技术研究进展及应用现状[J].环境科学与技术,2020,43(S1):37-43.

作者简介:

蓝伟/1975年生/男/广东广州人/大学本科/广州市流花湖公园(广州510010)/高级工程师/研究方向为公园园林景观营造与绿化管理

(*通信作者)黄正联/1981年生/男/广东信宜人/本科/广州市流花湖公园(广州510010)/风景园林施工高级工程师/专业方向为园林管理与植物栽培应用/E-mail:45447921@qq.com

谭广文/1959年生/男/广东广州人/硕士/广州普邦园林股份有限公司(广州510600)/教授级高级工程师/研究方向为园林植物栽培与应用