



人工调控措施对玄武湖水质的影响

摘要

对玄武湖实施清淤引水、藻华治理、种群恢复等措施前后的水体数据进行分析,结果表明:清淤引水工程可短时间内降低沉积物中污染物浓度,缓解水体富营养化程度,但从长期效果分析,水体中的营养盐含量并未显著改善.藻华治理能在短期内有效抑制水体中的蓝藻水华,治理后水体各项指标均有提升,水生植物种群得以恢复,是短期改善水体水质的有效方式.在种群恢复阶段与往年相比,水体各项指标均有所改善,持续时间更长,是一种理想的湖泊治理方法.

关键词

清淤引水;藻华治理;种群恢复;溶解氧;生态修复

中图分类号 TP13

文献标志码 A

收稿日期 2016-12-21

资助项目 教育部人文社会科学研究一般项目(15YJCZH167)

作者简介

肖琼,女,硕士,讲师,主要从事生物质资源生物转化的研究.752755827@qq.com

¹ 南京信息工程大学 滨江学院,南京,210044

² 南京信息工程大学 应用气象学院,南京,210044

0 引言

南京玄武湖属城市小型浅水湖泊,在20世纪80年代末,玄武湖水质就已达富营养化程度.1996—1998年之间依次实施了污水截流与污水整治工程、清淤疏浚工程、生态工程等手段治理玄武湖水环境^[1].2005年7月,南京玄武湖首次发生大面积以微囊藻(*Microcystis*)为主要优势种群的蓝藻水华^[2],9月对玄武湖进行应急治理.2005年11月,随着蓝藻被控制,在玄武湖解放门和樱洲西侧湖边浅水区零星出现菹草(*Potamogeton crispus*),2006年3月以后,随气温回升,菹草迅速生长并在较短时间内蔓延至全湖^[3].2006年3月下旬由于菹草过度拓殖,开始对玄武湖菹草进行人工收割,4月开始对植株进行全面收割,种群迅速萎缩.以上这一系列措施会对玄武湖水质产生什么样的影响?本文拟结合南京玄武湖监测资料,分析清淤引水、藻华治理、种群恢复3种措施对水体的影响,为湖泊富营养化治理提供一些理论依据.

1 材料与方法

1.1 问题背景

1.1.1 清淤工程

1998年1月,玄武湖正式开始疏挖,平均去除30 cm表层淤泥,完成了3.3 km²的清淤任务,清除淤泥量达75.48万m³,按测定的淤积速率0.3~0.7 mm/a计算,相当于已清除了40~100 a来形成的淤积物,除最小的西南湖为试验进口的吸泥船而带水清淤外,其余两湖区均将湖水抽干,采用的是15~22 kW立式泥浆泵和17 kW高压水枪组成的水力挖塘机组群(30套),每套机组每天可清淤3~400 m³泥浆,质量分数30%左右,清淤期间,沿途污水停止输入湖内^[1].西北湖于1998年3月7日完工放水;东南湖于4月底完工,1998年10月下旬起抽用经沉淀后的长江水冲换,换水周期约70 d^[2].

1.1.2 藻华治理

2005年7月,南京玄武湖爆发了大面积蓝藻水华,9月开始采用以改性黏土法为主的治理方式对玄武湖进行应急治理,9月20日开始对北湖区进行了治理,9月30日,应用于东南湖的治理,10月16日应用于西南湖,10月31日结束.治理期间共使用改性黏土约300 t,湖面喷洒黏土达106.0 g/m²^[3].

1.1.3 种群自然恢复

2005年11月,菹草主要零星分布在玄武湖湖边的浅水区自然萌发并生长,菹草平均密度:3~5株/ m^2 ,株高约3~10cm.自2005年底至2006年2月,仍以湖边浅水区为主,密度达30株(分枝)/ m^2 左右,株高约30~70cm,到2月底,局部地区菹草超过100cm,到达水面;3月后,随气温回升,菹草迅速生长并在较短的时间内蔓延至全湖^[4].2006年4月,由于菹草过度拓殖,南京市从内蒙古包头市购置了2台水草收割机,开始人工收割,割除离水面20~30cm的植株顶部,到4月中旬开始对植株进行全面收割.所以11月为种群恢复前阶段,12月至次年2月为零星生长阶段,2—4月上旬为拓殖阶段,4月中下旬为收割阶段.自此之后,菹草种群在每年均会在玄武湖出现,并持续生长至次年夏季,部分年份因菹草过度拓殖,甚至进行了人工收割.

1.2 水质监测

在玄武湖的东南湖、西南湖、北湖区(按方位分为西北湖和东北湖)分别设代表性的点位,记为1#、2#、3#、4#、5#(如图1),计算并分析其平均值,平均每月采集3次水样,现场测定SD(透明度)、溶解氧(DO)、水温、pH等指标,并取表层水体5cm的水样,带回实验室经预处理后由Skalar水质流动分析仪(荷兰)测定水体TN、TP等指标^[5].高锰酸盐指数(COD_{Mn})采用高锰酸钾酸性法^[5]滴定测得, BOD_5 用江苏省电分析仪器厂生产的880型数字式 BOD_5 仪测定.

1.3 数据分析

所有数据均用Excel软件进行统计分析及图表制作.

2 结果与分析

2.1 清淤引水工程对水质的影响

由图2a可见,玄武湖经清淤疏浚工程治理,SD得到提高,治理前1995—1997年SD一直处于下降趋势,1997年到达最低点,仅为24.2cm,工程实施当年较之前开始显著回升,达28.6cm,较1997年升高18.2%,之后两年SD处于上升趋势,2000年达到的37.4cm,但于2002年降至26.8cm,低于工程实施的1998年.

由图2b可见,进行清淤疏浚治理前,水体TN年平均值为3.9~5.3mg/L,1996年达到最高点,为5.3mg/L,在治理当年TN含量下降至4.26mg/L,

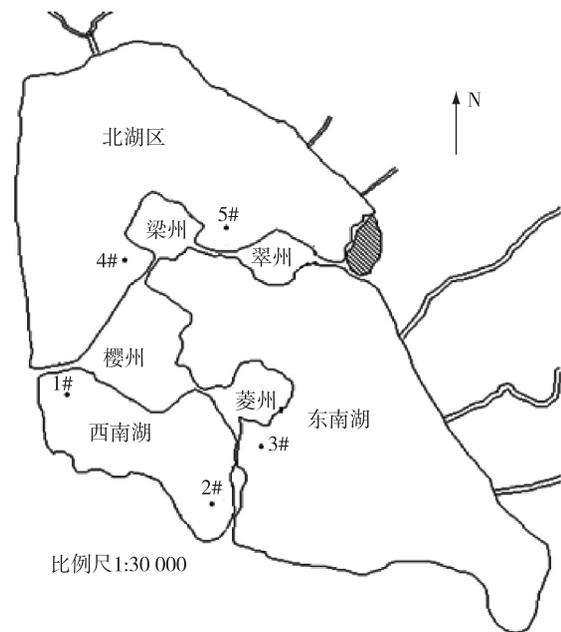


图1 玄武湖监测布点示意

Fig. 1 Water quality monitoring points in Xuanwu Lake

1999年下降至历年最低,仅2.5mg/L,但于2000年,TN含量又跃升至4.9mg/L.工程实施前水体TP含量均大于0.3mg/L,清淤疏浚工程的当年,水体中的TP含量较前未显著降低,治理后的1999年,TP含量有所降低,但于2000年又恢复至治理前水平.

由图2c可见,水体Chla含量1997年达最高,经治理后第二年达最低,较1997年降低52.6%,2000年又有所升高,且超过1998年含量.

2.2 藻华治理阶段水质

由图3a可见,水体经应急治理,DO含量升高,治理前平均DO含量为7.67mg/L,最低日仅6.14mg/L,治理中平均DO含量升至8.73mg/L,最高日达为11.00mg/L,经应急治理后升至9.52mg/L,治理中和治理后分别较治理前提高了13.8%、24.1%,但差异不显著($P>0.05$).平均SD得到改善,治理前SD平均为20cm,其中最低仅10cm,治理中升至41cm,治理后为56cm,最高达67cm,治理中、治理后分别较治理前提高了103.0%、179.5%,治理中较治理前改善不显著($P>0.05$),治理后改善显著($P<0.05$).

由图3b可见,平均TN含量呈下降趋势,治理前平均TN含量为4.59mg/L,最高达7.07mg/L,治理中降为1.59mg/L,最低仅1.06mg/L,治理后略有回升,平均为1.66mg/L,治理中和治理后较治理前分别降低65.3%、54.1%,后两阶段较治理前改善显

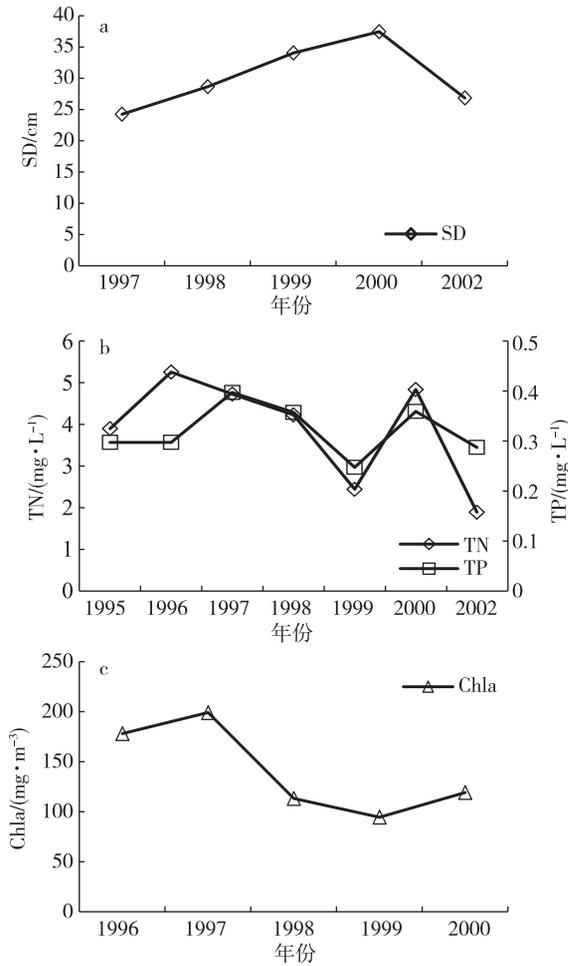


图2 清淤引水前后玄武湖水质变化
Fig. 2 Comparison of water quality for Xuanwu Lake before and after dredging and diluting

著 ($P < 0.05$). 平均 TP 含量呈下降趋势, 治理前平均 TP 含量为 1.90 mg/L, 最高达 4.30 mg/L, 治理中平均 TP 含量降至 0.70 mg/L, 最低仅 0.19 mg/L, 治理后降至 0.25 mg/L, 最低仅 0.09 mg/L, 后两阶段较治理前分别下降了 45.6%、74.5%, 差异显著 ($P < 0.05$).

由图 3c 可见, 平均 pH 值略有降低, 治理中平均 pH 值由治理前的 9.1 降至 8.4, 治理后平均为 8.7, 但差异不显著 ($P > 0.05$), 后两阶段分别较治理前降低了 7.2% 和 4.3%.

2.3 种群恢复对玄武湖水质的影响

由图 4a 可见, 玄武湖的 SD 在菹草种群恢复前、零星生长阶段和拓殖阶段呈逐渐升高趋势, 收割阶段后有所降低, 其中恢复前阶段 SD 仅为 55.5 cm, 零星生长阶段上升为 103.7 cm, 拓殖阶段 SD 最高为 118.8 cm, 收割阶段降至 92.0 cm. 水体 DO 含量

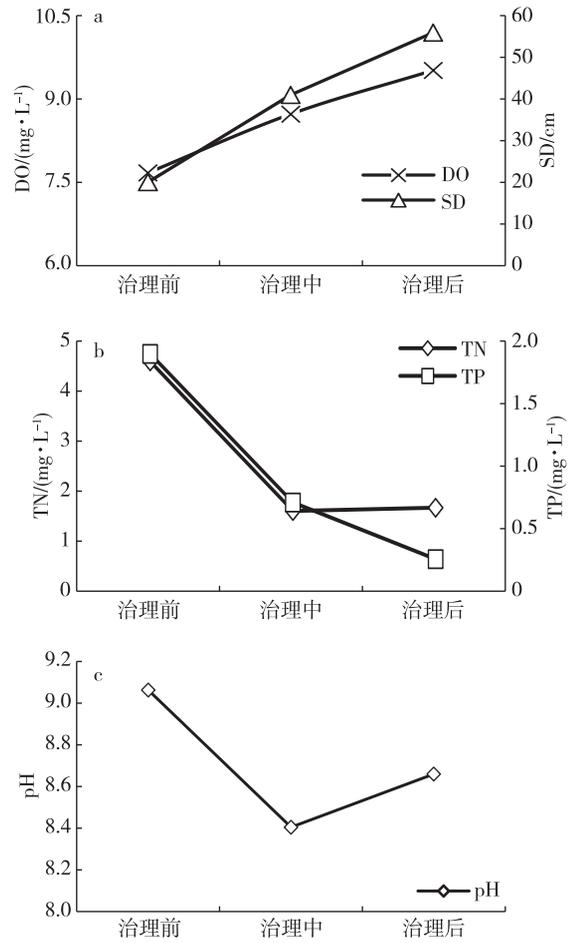


图3 藻华治理阶段水质变化
Fig. 3 Variation of water quality before and after algal bloom control

在菹草零星生长阶段最高, 达 10.7 mg/L, 快速拓殖阶段也高于恢复前, 收割阶段降为 6.8 mg/L.

由图 4b 可见, 水体 TN 含量在恢复前阶段为 2.09 mg/L, 零星生长阶段有所升高, 达 2.84 mg/L, 拓殖阶段有所降低, 为 2.69 mg/L, 收割阶段迅速降低, 降至 1.24 mg/L, 较拓殖阶段降低 56.2%. 水体 TP 含量在恢复前为最高, 为 0.25 mg/L, 从零星生长阶段至收割阶段持续降低, 零星生长阶段为 0.14 mg/L, 拓殖阶段升至 0.94 mg/L, 收割阶段的 TP 含量有大幅度的下降, 降至 0.05 mg/L, 较恢复前降低 78.0%.

由图 5a 可见, 2003—2005 年玄武湖未出现大量菹草种群, 水体 SD 一直较低, 2006 年菹草种群出现阶段水体 SD 均高于往年. 由图 5b、5c 可见, 2006 年 1—3 月, 菹草缓慢生长阶段, 水体 TN 含量均高于往年, 4 月菹草迅速拓殖, 经收割后, 各湖区仍有小面

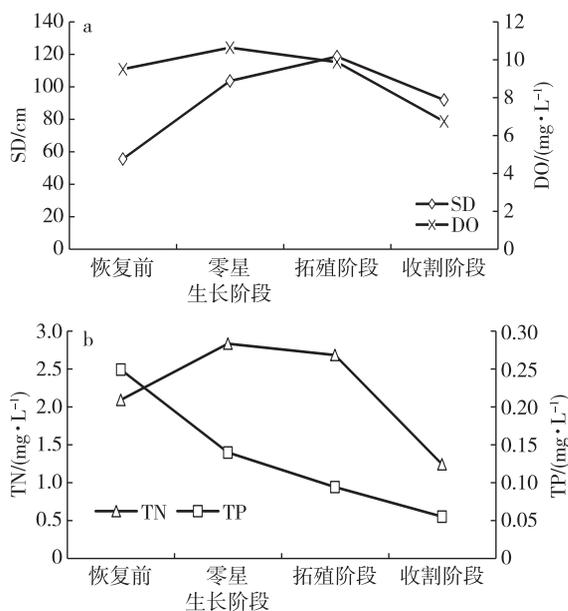


图4 种群恢复对水体的影响

Fig. 4 Variation of nutrient contents in lake water during aquatic population restoration

积菹草种群存在,水体 TN 含量迅速降低,并低于往年水平.水体 TP 含量自菹草从零星生长至大面积拓展,再至小面积存留阶段,水体 TP 含量一直低于往年水平.

3 讨论

水体富营养化治理过程中,当污染外源得到有效控制之后^[6],对内源氮磷污染的研究显得尤为重要^[7].清淤就是控制内源污染释放的一个有效手段,但清淤工程在清除内源污染的同时,也破坏水生生态系统原有组分.在生态系统结构较完善的水土界面,死亡藻类的残体往往可以得到分解,残体中的氮经过氨化、硝化及反硝化等一系列过程,一部分可重新回到水体中,一部分以气态形式逸散到大气,还有一部分仍留在残体中,因此沉积物中总氮的含量能够维持平衡.清淤破坏了水土界面原有的生态系统,死亡藻类的分解受到影响,可能是清淤后沉积物中 TN 含量上升的原因之一,同时清淤治理打破了原先存在于玄武湖底泥与水体之间的磷循环的平衡,导致释放在水体中的 TP 的含量升高,因此清淤过后要进行一定程度的生态修复,才能解决水环境问题^[1].营养盐升高也是导致水体藻类继续增殖的一个重要因素,故水体 Chla 含量在治理后又恢复至治理前的水平.

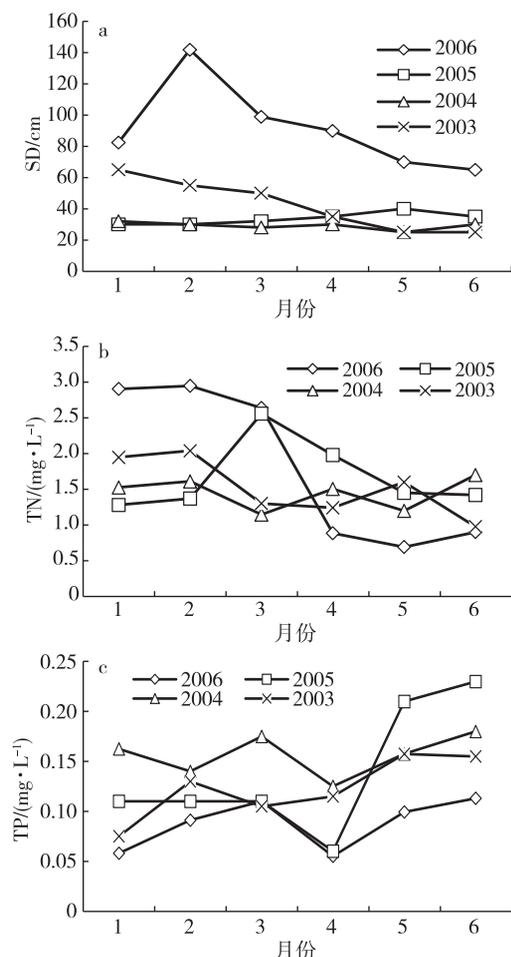


图5 种群恢复阶段水体水质与历史同期比较

Fig. 5 Comparison of lake water quality between aquatic population restoration period and previous years

由图 3 可知,水体经改性黏土应急治理后,改性黏土不仅能够吸附蓝藻,使水体表面覆盖藻类被沉淀到沉积物表面,而且还能吸附水中的细微颗粒物,使水体 SD 得到明显改善,水体复氧含量也随之提升,DO 含量升高.因水体 DO 含量升高,底泥向水体释放的氮、磷过程减缓,逐步转换为水体向底泥沉积过程,故水体氮、磷含量均呈降低趋势.据张哲海^[3]的研究,应急治理有效抑制了蓝藻水华,湖区景观明显改善,各湖区微囊藻数量下降幅度大于 95%,综合污染指数由 83.5 降至 72.8,水体透明度平均提升 17.1 cm,较治理前升高 66.8%,化学耗氧量平均降低 51.6%,高锰酸盐指数平均降低 67.1%,总磷浓度降低 61.8%,总氮超标率有所上升,浮游植物数量下降 93%,浮游动物种群数量上升 47%,底栖动物种类数量无显著变化.据南京市环境监测中心的监测,应急治理后,每升水体中浮游动物数量上升 47%,其中

原生动物数量上升 58%、轮虫上升 14%、枝角类上升 446%、桡足类上升 180%,包括青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、鲢鱼 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙鱼 (*Aristichthys nobilis*)、鳊鱼 (*Parabramis pekinensis*)、鲫鱼 (*Carassius auratus*) 等鱼类活动正常,无死鱼现象^[4],均能说明经应急治理有效改善水质,且应急治理也为后期菹草种群能大量出现提供了有利条件。

菹草生长过程中,可吸收水体中营养物质,并使水体流动性减弱,可促进水体 SD 改善,后水体人为割草,水体受到扰动,故水体 SD 略有降低,但与往年相比,菹草种群出现显著改善水体。菹草大面积生长可从水体中大量吸收氮、磷元素,且菹草大面积收割能从水体携带大量氮、磷元素离开水体,故水体 TN、TP 含量在菹草旺盛生长阶段及收割阶段均大幅低于往年,而在菹草零星生长阶段,作用不显著,可能因为菹草种群在恢复前,水体经过应急治理,水体 TN 含量迅速降低,而随着水温升高,絮凝的藻类腐烂分解,向水体释放量增加,故 1—3 月水体 TN 含量与往年相比,未显著降低,但随着种群规模扩大,吸收量较大, TN 含量降低较多。

4 结论

由以上分析可知,3 种手段在治理湖泊富营养化问题上,清淤引水工程可短时间内降低沉积物中污染物浓度,缓解水体富营养化程度,但因该措施对水土交界面产生了扰动,破坏了水体原有的生态系统,治理后水体中的营养盐含量等指标会很快恢复至治理前水平,成效并不显著。以改性黏土法为主的藻华治理,有效抑制了水体中的蓝藻水华,治理后水体各项指标均有提升,水生植物种群得以恢复,湖泊景观得到改善,是短期改善水体水质的有效方式。在种群恢复阶段与往年相比,水体 SD 和 DO 得到提高, TN、TP 含量下降,说明菹草的种群恢复在改善湖泊环境和提升水质方面起到了重要作用。相比于清淤引水和藻华治理工程,种群恢复对湖泊水质的改善效果更明显,而且持续时间更长,是一种理想的湖泊治理方法。因此,在进行湖泊富营养化的治理过程中,以控制外源污染为前提,实施生态修复,建立以高等水生植物为优势群体的生态系统,是一种有效的措施。但在玄武湖生态恢复过程中,由于菹草单一种群的出现,无其他竞争物种存在,容易使单一种群过度拓展,后期死亡时,会造成二次污染,故此阶段

可适当进行逐步收割,不仅可使种群不断扩展,还可以使水体营养盐携带出系统。因本文仅研究了菹草一种种群出现对水体的影响,带有一定的局限性,如何合理有效地进行种群恢复,仍然是水体生态修复未来研究的重点。

参考文献

References

- [1] 朱敏,王国祥,王建,等.南京玄武湖清淤前后底泥主要污染指标的变化[J].南京师范大学学报(工程技术版),2004,4(2):66-69
ZHU Min, WANG Guoxiang, WANG Jian, et al. Comparative analysis of changes of pollutants in sediment in Nanjing Xuanwu Lake before and after sediment dredging [J]. Journal of Nanjing Normal University (Engineering and Technology), 2004, 4(2): 66-69
- [2] 濮培民,王国祥,胡春华,等.底泥疏浚能控制湖泊富营养化吗? [J].湖泊科学,2000,12(3):269-279
PU Peimin, WANG Guoxiang, HU Chunhua, et al. Can we control lake eutrophication by dredging? [J]. Journal of Lake Sciences, 2000, 12(3): 269-279
- [3] 张哲海.玄武湖蓝藻水华应急治理成效分析[J].污染防治技术,2006,19(5):56-59
ZHANG Zhehai. Analysis of emergency control effectiveness of blue-green algae in Xuanwu Lake [J]. Pollution Control Technology, 2006, 19(5): 56-59
- [4] 曹昀,王国祥.玄武湖菹草种群的发生与水环境变化[J].环境监测管理和技术,2006,18(6):25-27
CAO Yun, WANG Guoxiang. The outbreak of Potamogeton crispus and water environment change in Xuanwu Lake [J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2006, 18(6): 25-27
- [5] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].4版.北京:中国环境科学出版社,2002
Editorial Committee of Monitoring and Analysis Methods of Water and Sewage, State Environmental Protection Administration of China. Monitoring and analysis methods of water and sewage [M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002
- [6] 钟继承,刘国锋,范成新,等.湖泊底泥疏浚环境效应: I.内源磷释放控制作用[J].湖泊科学,2009,21(1):84-93
ZHONG Jicheng, LIU Guofeng, FAN Chengxin, et al. Environmental effect of sediment dredging in lake (I): The role of sediment dredging in reducing internal phosphorous release [J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(1): 84-93
- [7] 李辉,潘学军,史丽琼,等.湖泊内源氮磷污染分析方法及特征研究进展[J].环境化学,2011,30(1):281-292
LIHui, PAN Xuejun, SHI Liqiong, et al. Research progress on the analytical methods and characteristic of endogeneous nitrogen and phosphorus pollution in lakes [J]. Environmental Chemistry, 2011, 30(1): 281-292

Artificial control effects on water quality of Xuanwu Lake

XIAO Qiong¹ WANG Jinqi²

1 School of Binjiang,Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044

2 School of Applied Meteorology,Nanjing University of Information Science & Technology,Nanjing 210044

Abstract In order to control the eutrophication, some artificial control measures were employed in Nanjing's Xuanwu Lake, including dredging and diluting with diversion works, controlling algae bloom, and aquatic population restoration. The lake water quality before and after these measures were compared using monitoring data. Results show that the dredging and diluting could reduce the concentration of pollutants in sediments and alleviate the eutrophication temporarily, yet the nutrient salt contents in the lake were not distinctly reduced. In the short term, control measure of algal blooms could effectively inhibit the cyanobacterial bloom, improve water quality and restore the aquatic population, thus is an effective way to control eutrophication in emergency conditions. While the water quality was improved distinctly during the aquatic population recovery stage, compared with that in previous years, indicating the aquatic population restoration is a sustainable and effective method for the lake management and eutrophication control.

Key words dredging and diluting; algae bloom control; aquatic population restoration; DO(dissolved oxygen); ecologic recovery