

五里湖综合整治对湖水水质的影响

蔡琳琳^{1,2}, 朱广伟¹, 王永平¹, 高 光¹, 秦伯强¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 江苏 南京 210008;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 为探讨湖泊综合整治工程对城市湖泊水质的改善效果, 利用国家野外科学观测研究站江苏太湖湖泊生态系统研究站 1998—2009 年的监测数据, 结合湖体与环湖河道调查, 分析了太湖五里湖综合整治工程对水质的改善效果。结果表明 综合整治之后, 总氮、总磷及叶绿素 a 质量浓度平均值显著下降 ($P < 0.01$), 分别由 6.06 mg/L, 0.183 mg/L 和 0.060 mg/L 降为 3.48 mg/L, 0.133 mg/L 及 0.024 mg/L。而湖体透明度、悬浮颗粒物含量等感观指标无明显改善。退渔还湖区及其入湖河道水质明显优于更靠近城区的东出口区。营养盐含量环湖河道显著高于湖体, 底泥中也较高, 对湖体的生态恢复构成很大威胁。与太湖其他几个湖区相比, 五里湖的营养盐含量仍然较高。研究表明, 五里湖实施的综合整治措施在很大程度上改善了湖泊重污染的状况, 但要获得稳定的高透明度景观水质, 还需要实现湖泊水生态系统的深度调控, 包括采取环湖河道的同步治理及湖体大面积沉水植被恢复等措施。

关键词 太湖五里湖 综合整治 沉水植被 外源污染 内源污染 湖水水质

中图分类号 X824

文献标志码 A

文章编号 1000-1980(2011)05-0482-07

湖泊富营养化是目前全球普遍面临的生态问题, 相应的, 大量的应对技术和综合治理措施应运而生^[1]。然而, 由于湖泊本身环境的多样性和环境问题的复杂性, 许多综合治理工程实施之后没有达到预期效果。如美国 Moses 湖自 1977 年起每年 4—9 月都以低营养盐水冲刷湖体, 大大缩短了换水周期, 底泥营养盐含量也明显减少, 但水质改善效果并不理想^[2]。美国 Green 湖为了钝化水体营养盐, 于 1991 年一次性投放了 181 t 明矾和 76.5 t 铝酸盐, 虽然水体总磷含量明显下降, 但引入了大量的铝盐, 水体碱度高达 28 mg/L, 严重影响了水体自身生态系统的良性运转^[3]。我国武汉的东湖、南京的玄武湖等也都开展了大量的生态修复和环境治理工作, 但其效果仍存在争议。由于湖泊水体富营养化是由内源、外源污染共同决定的, 外源污染得到一定程度控制后, 底泥再悬浮对水体营养盐的贡献还没有定论^[4-5], 因此, 有必要对目前正在开展的湖泊综合整治工程效果进行跟踪研究。

五里湖又称蠡湖, 位于无锡市西南部, 是太湖伸入无锡的内湖, 较为封闭, 换水周期长 (约为 400 d)^[6]。20 世纪 90 年代开始, 五里湖富营养化状况日趋严重, 氮磷营养盐浓度不断增加, 水质明显下降, 沉水植被逐渐消失。2001 年五里湖及其周边主要入湖河流的水质均为劣 V 类, 呈重富营养化状态^[7-8]。无锡市政府于 2003—2004 年实施了五里湖综合整治工程, 主要包括: (a) 全湖清淤, 清除淤泥 240 万 m^3 ; (b) 在湖区西南部实施沉水植被重建工程^[7-9]; (c) 对西北部的围湖鱼塘拆坝, 退渔还湖, 建设环湖公园和大量绿地; (d) 对周边污染河道进行闸控或封堵; (e) 大量投放鲢、鳙鱼类, 生物控制藻类生物量; (f) 环湖公园化, 搬迁污染源, 大量构建绿地, 严格管理。另外, 2007 年以来, 为防止夏季梅梁湾大量堆积的蓝藻水华涌入五里湖, 对五里湖与梅梁湾的水流交换实施闸控, 保持五里湖常年高水位, 防止周边污水流入、渗入。这一系列工程和生态调控措施的实施, 使得五里湖近年来没有发生蓝藻水华, 水体无黑臭现象, 蠡湖公园成为无锡市著名的市民休闲新去处。

为探讨综合整治工程对五里湖水质的影响, 利用国家野外科学观测研究站江苏太湖湖泊生态系统研究站 (简称太湖站) 长期监测数据, 结合全湖水质、底泥及环湖河道水质调查, 探讨五里湖综合整治工程的治理

效果,以期为五里湖进一步治理及类似城市湖泊的综合整治提供科学依据.

1 研究区域概况

五里湖位于太湖北部(120.13°E~120.27°E,31.28°N~31.35°N)(图 1(a)).综合整治之前,由于滩地围垦开发和建设直立或倾斜石驳岸,破坏了五里湖适合大型水生植物生长的浅水滩地,且使得五里湖与太湖之间的通道变小^[10] 综合整治工程扩大了五里湖的湖面面积(由 6.4 km² 增加至 8.6 km²),在部分区域种植了水生植被,用闸门调控了五里湖与太湖梅梁湾的水流.依据 2003—2004 年综合整治措施的不同,五里湖被分为图 1(b)中 A,B,C 和 D 4 个区域.A 区退渔还湖区(简称退渔区)原有大量鱼塘,污染严重,综合整治中采用“干湖清淤”的方式去除底泥,平均清淤厚度 1 m,部分区域开展水生植被重建.B 区为“西蠡湖”,仅采用机械法直接从湖水中清淤,疏浚厚度为 0.2~0.7 m,A 区、B 区周围多为公园.C 区“东蠡湖”实施沿岸综合整治,建设长广溪湿地.D 区“东出口区”治理程度最低,沿岸多居民区.

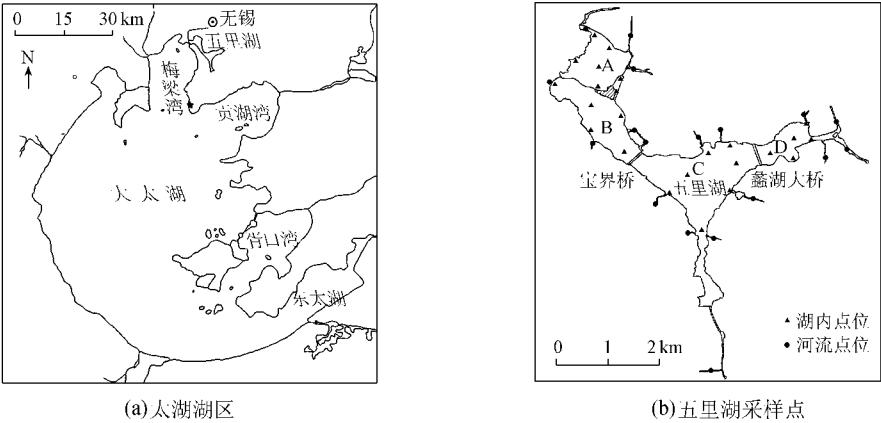


图 1 太湖湖区及五里湖采样点
Fig. 1 Sampling sites in Taihu Lake and Wuli Bay

2 数据来源及统计分析

本文利用 1998—2009 年五里湖逐季水质监测数据,采样点位于 C 区中部(图 1(b)),采样分别于每年的 2 月(冬季)、5 月(春季)、8 月(夏季)、11 月(秋季)的中旬进行,基本上反映了五里湖整体水质指标的季节变化.所有指标测定参照《湖泊富营养化调查规范》进行^[11].现场测定水深、透明度(SD)等物理指标,实验室测定 pH 值、悬浮颗粒物浓度(SS)、氮磷营养盐等指标.首先用 Whatman GF/C 玻璃纤维滤纸过滤试样,滤液用于测定溶解性总氮(DTN)和溶解性总磷(DTP)的含量,总氮(TN)、总磷(TP)、溶解性总氮及溶解性总磷的浓度采用碱性过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法分析^[11] 叶绿素 a(Chl-a)浓度的测定采用热乙醇提取法^[12].底泥表层有机碳(SOC)含量采用元素分析仪测定.称取 0.2 g 左右研磨的底泥,溶解于 25 mL 蒸馏水中测定底泥中总氮(STN)、总磷(STP)的含量,具体测定方法同水体总氮、总磷.

数据的统计分析借助于 SAS 软件.为去除随机因素的影响,利用统计方法删除异常值.鉴于湖泊治理水质变化的滞后性^[13-14],舍去 2003—2005 年的数据,对比分析了 1998—2002 年及 2006—2009 年 2 个时期内五里湖水体理化指标均值变化(表 1)及逐季变化趋势(图 2).对各湖区水体及入湖河流水质的异同,差异性检验结果用字母标记法表示.在各平均数之间,凡是标有相同字母的,表示差异不显著.标有不同字母的,表示差异显著.介于 2 种情况(如 a,b)之间的用 2 个字母标记(如 ab).

表 1 综合整治前后五里湖水体理化指标变化

Table 1 Variation of physicochemical indexes of water body before and after comprehensive treatment

时 间	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Chl-a})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	水深/m	$\rho(\text{SS})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	透明度/m
1998—2002 年	6.06 ± 2.27	0.183 ± 0.052	0.060 ± 0.051	2.17 ± 0.26	25.7 ± 10.3	0.50 ± 0.12
2006—2009 年	3.48 ± 2.68	0.133 ± 0.047	0.024 ± 0.016	2.74 ± 0.30	33.9 ± 11.1	0.39 ± 0.14

注 表中数据为平均值±标准差.

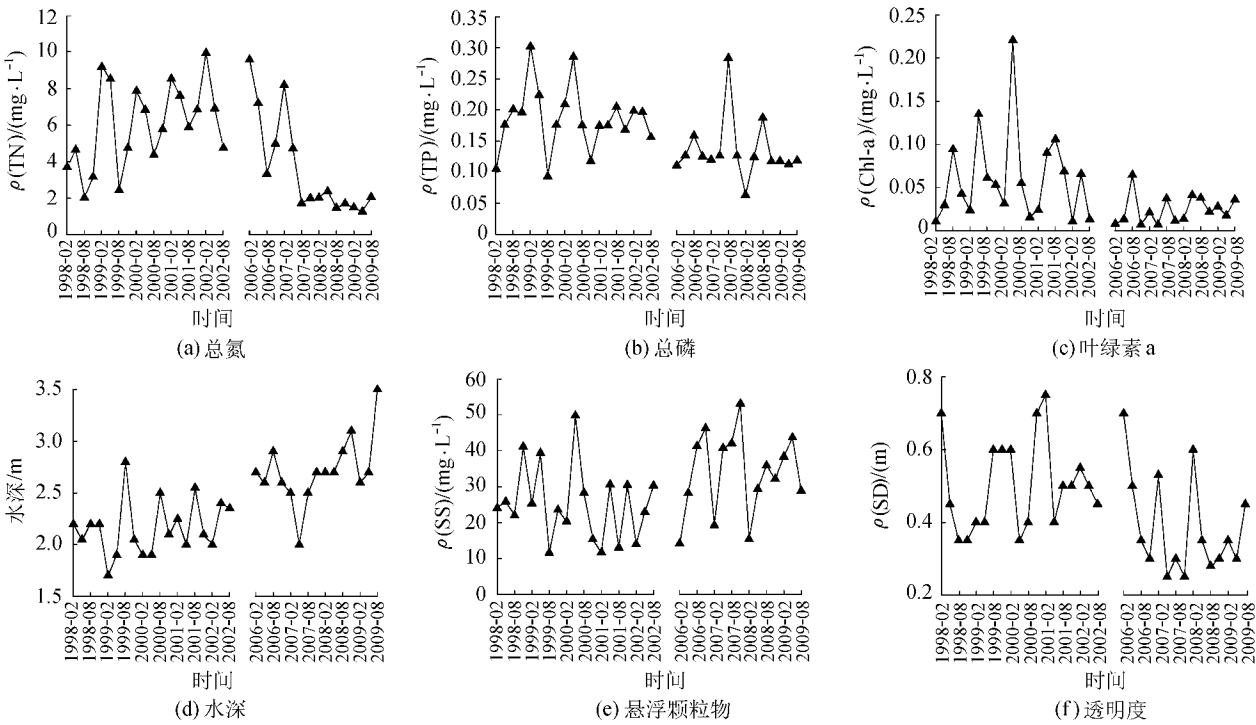


图 2 水体理化指标逐季变化

Fig. 2 Seasonal variation of physicochemical indexes of water body

3 五里湖水体理化指标的时间变化

由表 1 可知,在底泥疏浚、控源截污、水文调控、生态系统结构调整、环湖景观整治等一系列整治措施之后,总氮、总磷、叶绿素 a 质量浓度等湖泊富营养化状态的关键指标均显著下降($P < 0.01$),分别由 6.06 mg/L, 0.183 mg/L 和 0.060 mg/L 降为 3.48 mg/L, 0.133 mg/L 及 0.024 mg/L,总氮,叶绿素 a 质量浓度降幅高达 50%, 五里湖富营养化程度有了很大改观.

总氮的外源污染得到有效遏制(图 2(a)). 2007 年之前总氮呈现典型的外源污染型 四季变化明显,随着水位、水生生物、外源污染物排放^[15]的季节性变化,冬、春季总氮浓度明显高于夏、秋季,往往是夏季的数倍. 2007 年夏季以后总氮的质量浓度季节变化不明显,始终维持在 1.2 ~ 2.4 mg/L 之间. Jeppesen 等^[16]对 100 多个浅水湖泊的研究表明,沉水植被生态系统稳定的浅水湖泊中总氮质量浓度一般都低于 2.0 mg/L,否则水体沉水植被系统往往不稳定. 根据生态系统稳态转换理论,若将五里湖目前稳定的藻型生态系统转变为草型生态系统,需要继续降低总氮浓度,可采用人工干扰措施以促进其转化,如介质吸附、人工打捞浮游植物、种植浮叶植物等.

总磷的情况与总氮有所不同. 生态修复工程之后,总磷质量浓度在短期内显著下降(图 2(b)),但降幅较小,下降幅度为 31%. 说明五里湖综合整治措施对于降低总磷浓度效果不如总氮显著(表 1),需要进一步探究降低总磷浓度的方法. 浮游植物生长所需磷营养盐较少^[17],因此相对于植物生长需要来说,总磷质量浓度仍处于一个较高的水平,除 2008 年 2 月较低外,其余均高于 0.1 mg/L.

随着水体总氮、总磷浓度的降低,近年来五里湖水体中叶绿素 a 质量浓度呈现逐年下降的趋势(图 2(c)),尤其是 2006 年以来,叶绿素 a 质量浓度基本控制在 0.05 mg/L 以下,夏季峰值被大大削减.

五里湖湖体悬浮颗粒物浓度、透明度等感观指标没有改善,需要进一步深度治理. 由季节变化趋势可以看出,水深、悬浮颗粒物浓度与透明度年内均有周期性变化(图 2(d), (e), (f)),但悬浮颗粒物浓度、透明度与水深的关系与预期的‘水深提高→悬浮颗粒物浓度下降→透明度提高’不完全一致,说明悬浮颗粒物浓度、透明度还可能受风浪、藻类生物量、鱼类活动及水生植被变化的影响. 水动力扰动可促使底泥再悬浮,增加水体悬浮颗粒物浓度^[18] 浮游植物数量可以在不同季节发生很大变化 鱼类活动可以扰动底质. Chen 等^[7]研究发现,五里湖中沉水植被一般分布在水深小于 1.86m、透明度大于 0.70m 的区域. 综合整治之后,五里湖的平均

水深为 (2.74 ± 0.30) m,不利于沉水植被生长,限制了其向草型生态系统的转化.因此,可以考虑在沉水植被生长初期,通过人工控制水位降低水深,建设水下浅堤,以降低风浪,抑制沉积物再悬浮,提高透明度,为水生植被生长提供一个良好的环境.

4 五里湖水质指标的空间分布特征及其原因分析

4.1 五里湖水体总氮、总磷及叶绿素 a 的空间分布

根据 2010 年 1 月实地调查的五里湖 23 个采样点的水质数据,得到五里湖综合整治之后主要水质参数的空间分布(图 3).总体上各项参数自东向西依次递减.总氮、总磷、叶绿素 a 均为 A 区最低,D 区叶绿素 a、总磷最高;C 区总氮最高.这种空间分布与综合整治程度分布相一致,说明恢复水生植被、清淤及流域治理措施效果显著.

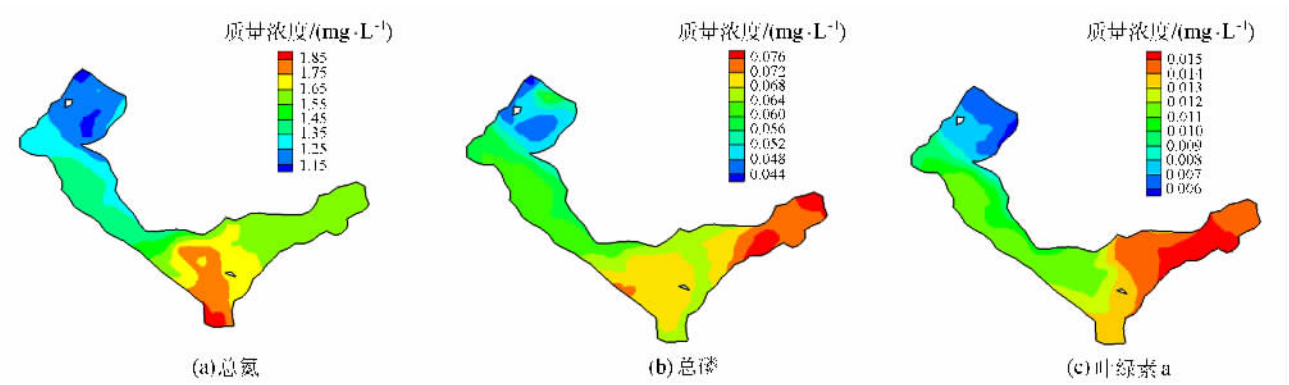


图 3 五里湖水体总氮、总磷、叶绿素 a 空间分布

Fig. 3 Spatial distributions of TN, TP, Chl-a in Wuli Bay

对于不同湖区的水质差异状况,考虑到五里湖水域面积较小及水体的流动性,本文选取综合整治措施及周边环境差异较大的 2 个湖区(A 区与 D 区)进行水质参数对比,见表 2.

表 2 五里湖 A 区与 D 区主要水质参数

Table 2 Main water quality parameters in A and D regions

湖区	$\rho(\text{Chl-a})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{DTN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{DTP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	pH 值	$\rho(\text{SS})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
A 区	0.006 ± 0.001	1.18 ± 0.09	0.96 ± 0.04	0.049 ± 0.009	0.019 ± 0.002	8.35 ± 0.06	10.60 ± 2.38
D 区	0.015 ± 0.007	1.59 ± 0.02	1.23 ± 0.06	0.077 ± 0.004	0.024 ± 0.003	8.49 ± 0.02	15.66 ± 3.71

由表 2 可知,A 区的水质明显好于 D 区($P < 0.01$),这与 2 个区域的周边环境及入湖河道有很大的相关性.A 区的氮磷营养盐及叶绿素 a 质量浓度均显著低于 D 区($P < 0.01$),而 D 区的 pH 值高于 A 区($P < 0.01$).较高的营养盐水平加上弱碱性环境更加有利于蓝藻的生长^[19],这也进一步促使 D 区浮游植物数量增多,水质恶化.

4.2 沉积物中有机碳及氮磷空间分布

综合整治之后,五里湖底泥表层 SOC,STN 及 STP 的空间分布如图 4 所示.

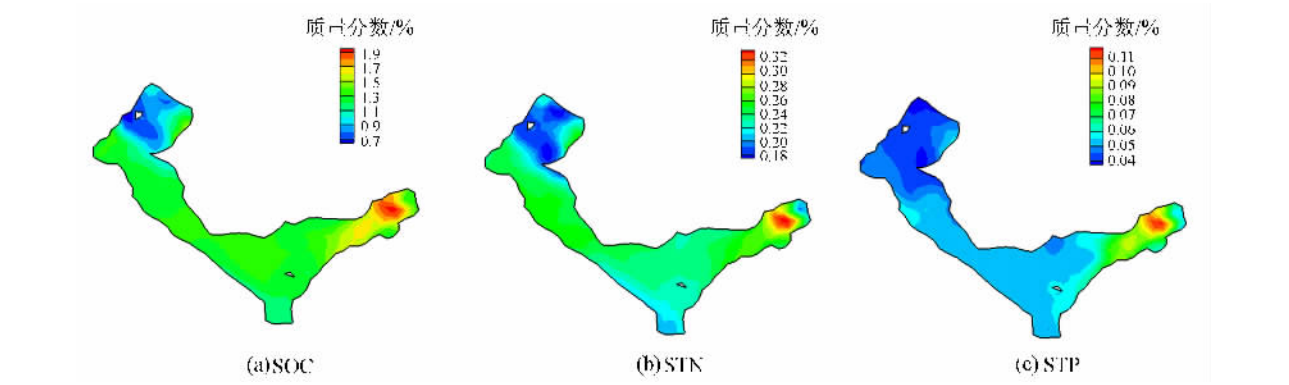


图 4 底泥表层 SOC,STN,STP 空间分布

Fig. 4 Spatial distributions of SOC, STN, STP on sediments

与水质空间分布趋势一致,五里湖底泥表层的 SOC,STN 及 STP 也呈现东高西低的趋势. A 区 SOC,STN,STP 的平均质量分数均为最低,分别为 0.93%,0.20%,0.04%;D 区最高,分别为 1.55%,0.26%,0.08%. 综合整治工程实施之前,五里湖底泥 SOC,STN,STP 质量分数均值分别为 4.04%,0.26%和 0.12%^[6]. 实施“干湖清淤”后,A 区 SOC,STN 及 STP 含量均显著降低,但其底泥中总氮、总磷平均含量依然远高于水体,在风浪扰动及外界环境条件改变的情况下,沉积物有可能不断悬浮,将营养盐释放到水体中^[20],短期内成为较大的内源污染.

4.3 入湖河道水质特征

与湖区水质空间分布相对应,入湖河道水体氮磷营养盐含量自西向东依次增加(图 5). 由图 5 可见,D 区入湖河流总氮、溶解性总氮及总磷显著高于 A 区($P < 0.01$). 虽然 A 区与 D 区的溶解性总磷差异性不显著($P = 0.057$),但从数量上来看,D 区河流溶解性总磷质量浓度为 0.291 mg/L,是 A 区河流 0.047 mg/L 的 5 倍. 环五里湖河道总氮质量浓度平均值为 7.31 mg/L,是湖体平均值 1.47 mg/L 的 5 倍;总磷平均值为 0.254 mg/L,是湖体平均值 0.064 mg/L 的 4 倍. A,B,C,D 区域河道水体总氮、总磷平均质量浓度均高于湖水,其中溶解性总氮占总氮的 90%左右,比湖体的比例高 12%;溶解性总磷占总磷的 65%左右,此比例几乎是对应湖体比例的 1 倍. 环五里湖的河道大多已经通过闸控等手段与湖水交换隔断,为防止周边污水流入、渗入,始终保持五里湖的高水位. 如果河道中营养盐浓度过高,仍可以通过地下水渗漏的方式威胁五里湖水质,单独闸控并不能彻底解决五里湖的外源污染问题. 建议继续加强城市污水处理,加强对五里湖周边河道的调度,进一步降低周边河道水体营养盐浓度,减少外源营养盐入湖的机会.

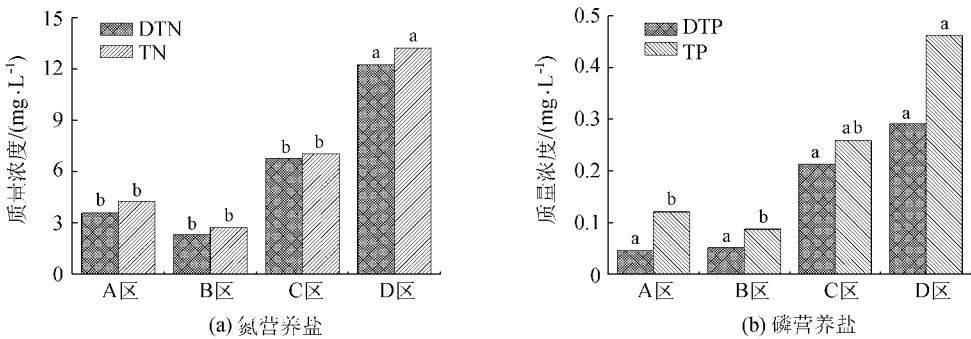


图 5 五里湖入湖河道水体氮磷营养盐浓度及差异性

Fig. 5 Spatial distributions of TN, DTN, TP, DTP concentrations in rivers entering Wuli Bay

5 五里湖水水质现状与太湖其他湖区比较

对 2010 年 1 月调查的五里湖水体总氮、总磷、叶绿素 a 质量浓度与环五里湖河道、2010 年 2 月太湖站监测的太湖其他湖区情况(湖区分布见图 1(a))以及同期环太湖 68 条主要河道的监测结果进行差异性检验,结果见图 6.

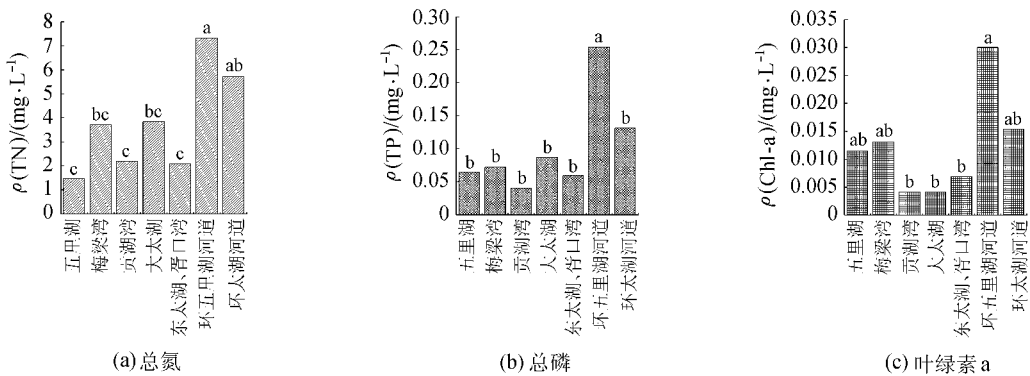


图 6 五里湖与太湖其他湖区及环湖河道水质比较

Fig. 6 Comparison of water quality between Wuli Bay and other areas in Taihu Lake and rivers around Taihu Lake

2010 年冬季五里湖水体的总氮与东太湖、胥口湾等水草植被覆盖度大的湖区及草藻混合型贡湖湾处于同一水平,总磷与其他各湖区差异性均不显著($P > 0.05$). 叶绿素 a 与藻型湖区梅梁湾相当,比东太湖、胥口湾、贡湖湾略高($P > 0.05$). 五里湖目前的主要问题是藻类生物量较高,其藻类浓度与藻型湖区相当,但目前

营养盐已与大太湖,甚至是水草茂盛的东部湖区类似.原因可能是较低的氮磷比为浮游植物提供了较好的生长环境^[21];也可能是因为五里湖相对狭窄,湖泊水动力扰动弱,有利于藻类的生长^[22].

综合整治之前,五里湖总氮、总磷及叶绿素 a 质量浓度的平均值分别为全太湖的 1.93 倍、2.44 倍和 2.61 倍^[23].虽然 2006 年以来五里湖水体叶绿素 a 质量浓度较之前显著下降($P < 0.01$),平均值为 0.023 mg/L,但与同期太湖胥口湾、东太湖等草型湖区叶绿素 a 质量浓度平均值 0.006 mg/L(太湖站 80 个常规监测数据)相比,五里湖仍属于藻型湖区.如不能改变生态系统结构,五里湖水体浮游植物下降的空间会越来越小.

环五里湖河道的总磷质量浓度均值明显高于环太湖河道($P < 0.01$),总氮、叶绿素 a 质量浓度也比环太湖河道均值略高($P > 0.05$),说明五里湖周边河流的污染仍十分严重.五里湖具有城市湖泊的特征,环湖高强度的人类活动、河道中大量排放污水和营养盐,对五里湖水质构成威胁.

6 结 语

综合整治后五里湖水体总氮、总磷、叶绿素 a 含量均值均显著下降,说明五里湖综合治理工程取得了明显成效.但部分水体感观指标,如悬浮颗粒物浓度、透明度没有改观.五里湖环湖河道中营养盐浓度显著高于湖体.与环太湖河道相比,环五里湖河道的总磷明显偏高,总氮、叶绿素 a 含量略高,说明五里湖水质仍受到内源、外源污染的威胁.因此,需要进一步深度开展综合整治和生态修复,加强流域污染治理、水文调度及湖体生态系统结构调整,促进沉水植被的恢复,以改善五里湖的水质指标.

致谢 国家野外科学观测研究站江苏太湖湖泊生态系统研究站提供了长期监测数据,野外调查得到罗淑葱、汤祥明、董百丽、蔡永久、冯龙庆、许海、迟克续等的帮助,实验室化学分析得到薛静琛的帮助,在此一并表示感谢.

参考文献:

- [1] CABEZAS A, COMIN F A. Carbon and nitrogen accretion in the topsoil of the Middle Ebro River Floodplains (NE Spain): implications for their ecological restoration[J]. *Ecological Engineering*, 2010, 36(Sup): 640-652.
- [2] WELCH E B, BARBIERO R P, BOUCHARD D, et al. Lake trophic state change and constant algal composition following dilution and diversion[J]. *Ecological Engineering*, 1992, 1(3): 173-197.
- [3] JACOBY J M, GIBBONS H L, STOOPS K B, et al. Response of a shallow, polymictic lake to buffered alum treatment[J]. *Lake and Reservoir Management*, 1994, 10(2): 103-112.
- [4] 李大鹏, 黄勇, 李伟光. 再悬浮条件下底泥中磷赋存形态的转化研究[J]. *环境科学*, 2008, 29(5): 1289-1294. (LI Da-peng, HUANG Yong, LI Wei-guang. Transformation of phosphorus forms in the sediments under the conditions of sediments re-suspension[J]. *Environmental Science*, 2008, 29(5): 1289-1294. (in Chinese))
- [5] 朱广伟, 秦伯强, 高光. 强弱风浪扰动下太湖的营养盐垂向分布特征[J]. *水科学进展*, 2004, 15(6): 775-780. (ZHU Guang-wei, QIN Bo-qiang, GAO Guang. Vertical distribution of the concentrations of phosphorus and suspended solid in Taihu lake affected by wind-induced wave[J]. *Advances in Water Science*, 2004, 15(6): 775-780. (in Chinese))
- [6] 罗清吉, 石俊哲. 五里湖淤泥现状及生态清淤[J]. *环境监测管理与技术*, 2003, 15(1): 27-29. (LUO Qing-ji, SHI Jun-zhe. Silt and ecological dredging of the Wulihu Lake[J]. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, 2003, 15(1): 27-29. (in Chinese))
- [7] CHEN Kai-ning, BAO Chuan-he, ZHOU Wan-ping. Ecological restoration in eutrophic Lake Wuli: a large enclosure experiment[J]. *Ecological Engineering*, 2009, 35(11): 1646-1655.
- [8] CHEN Yu-wei, QIN Bo-qiang, TEUBNER K, et al. Long-term dynamics of phytoplankton assemblages: microcystis-domination in Lake Taihu, a large shallow lake in China[J]. *Journal of Plankton Research*, 2003, 25(4): 445-453.
- [9] 俞海桥, 方涛, 夏世斌, 等. 不同生态修复措施下太湖西五里湖沉积物氮磷形态的时空分布[J]. *湖泊科学*, 2007, 19(6): 683-689. (YU Hai-qiao, FANG Tao, XIA Shi-bin, et al. Seasonal and vertical distribution of nitrogen and phosphorus in the sediment under different ecological restoration measures in the West Lake Wuli, Lake Taihu[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2007, 19(6): 683-689. (in Chinese))
- [10] 李英杰, 年跃刚, 胡社荣, 等. 太湖五里湖水生植物群落演替及其驱动因素[J]. *水资源保护*, 2008, 24(3): 12-16. (LI Ying-jie, NIAN Yue-gang, HU She-rong, et al. Succession of macrophyte communities and its driving factors in Wuli Lake of Taihu Lake[J]. *Water Resources Protection*, 2008, 24(3): 12-16. (in Chinese))
- [11] 金相灿, 屠清璵. 湖泊富营养化调查规范[M]. 2 版. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.

- [12] 陈宇炜,陈开宁,胡耀辉.浮游植物叶绿素 a 测定的‘热乙醇法’及其测定误差的探讨[J].湖泊科学,2006,18(5):550-552. (CHEN Yu-wei, CHEN Kai-ning, HU Yao-hui. Discussion on possible error for phytoplankton chlorophyll-a concentration analysis using hot-ethanol extraction method[J]. Journal of Lake Sciences, 2006, 18(5): 550-552. (in Chinese))
- [13] PHILLIPS G, JACKSON R, BENNETT C, et al. The importance of sediment phosphorus release in the restoration of very shallow lakes (The Norfolk Broads, England) and implications for biomanipulation[J]. Hydrobiologia, 1994, 275/276: 445-456.
- [14] SØNDERGAARD M, JEPPESEN E, JENSEN J P, et al. Lake restoration in Denmark[J]. Lakes & Reservoirs: Research & Management, 2000, 5(3): 151-159.
- [15] QIN Bo-qiang, XU Peng-zhu, WU Qing-long, et al. Environmental issues of Lake Taihu, China[J]. Hydrobiologia, 2007, 581: 3-14.
- [16] JEPPESEN E, SØNDERGAARD M, LAURIDSEN T L, et al. Danish and other European experiences in managing shallow lakes[J]. Lake and Reservoir Management, 2007, 23(4): 439-451.
- [17] PAERL H W, HUISMAN J. Climate change: a catalyst for global expansion of harmful cyanobacterial blooms[J]. Environmental Microbiology Reports, 2009, 1(1): 27-37.
- [18] QIN Bo-qiang, ZHU Guang-wei, ZHANG Lu, et al. Estimation of internal nutrient release in large shallow Lake Taihu, China[J]. Science in China: Series D: Earth Sciences, 2006, 49(Sup1): 38-50.
- [19] XIE Ping. Biological mechanisms driving the seasonal changes in the internal loading of phosphorus in shallow lakes[J]. Science in China: Series D: Earth Sciences, 2006, 49(Sup1): 14-27.
- [20] LI Jun, LIU Cong-qiang, ZHOU Zhi-hua, et al. Sediment geochemical records of recent accelerated eutrophication in Wuli Bay of Taihu Lake, China[J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2006, 25(Sup1): 12.
- [21] XU Hai, PAERL H W, QIN Bo-qiang, et al. Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Lake Taihu, China[J]. Limnology and Oceanography, 2010, 55(1): 420-432.
- [22] 孔繁翔,马荣华,高俊峰,等.太湖蓝藻水华的预防、预测和预警的理论与实践[J].湖泊科学,2009,21(3):314-328. (KONG Fan-xiang, MA Rong-hua, GAO Jun-feng, et al. The theory and practice of prevention, forecast and warning on cyanobacteria bloom in Lake Taihu[J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(3): 314-328. (in Chinese))
- [23] 顾岗,陆根法.太湖五里湖水环境综合整治的设想[J].湖泊科学,2004,16(1):56-60. (GU Gang, LU Gen-fa. On the integrated control of water environment of Wuli Lake, Lake Taihu[J]. Journal of Lake Sciences, 2004, 16(1): 56-60. (in Chinese))

Influences of comprehensive treatment on water quality in Wuli Bay of Taihu Lake

CAI Lin-lin^{1,2}, ZHU Guang-wei¹, WANG Yong-ping¹, GAO Guang¹, QIN Bo-qiang¹

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to evaluate the impacts of the comprehensive treatment project on the lake water quality, the effect of the comprehensive treatment project in the Wuli Bay of the Taihu Lake on the water quality was analyzed using the ten years of monitoring data from the Taihu Lake ecosystem research station. The results show that after the comprehensive treatment, the mass concentrations of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), and chlorophyll a (Chl-a) decrease significantly ($P < 0.01$), from 6.06 mg/L, 0.183 mg/L, and 0.060 mg/L to 3.48 mg/L, 0.133 mg/L, and 0.024 mg/L, respectively. However, there were no obvious improvement in transparency and suspended solid content. The water quality improvement in the zone of transforming fishing to lake and rivers entering the lake was more effective than that in the east exit near the city zone. The nutrient content in the rivers around the Wuli Bay is significantly higher than that in the lake. It is also high in the sediment, which causes a threat to lake ecological restoration. The nutrient content in the Wuli Bay is higher than that in other lakes. The comprehensive treatment in the Wuli Bay improves the water pollution to a great extent. But it is necessary to implement the depth control of water ecosystem for high transparency, including comprehensive treatment of the rivers around the lake and restoration of submerged vegetation in the lake.

Key words: Wuli Bay of Taihu Lake; comprehensive treatment; submerged macrophyte; external pollution; internal pollution; water quality