

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2010.05.002

五里湖水水质现状与变化趋势

柏 祥^{1,2}, 陈开宁¹, 黄 蔚¹, 陈效民²

(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. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘要 2007 年 8 月—2008 年 7 月对五里湖水体中的 TN、TP、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、NH₄⁺-N、PO₄³⁻-P 等氮磷营养盐和 pH、透明度、温度、COD_{Mn}、Chl-a 等理化指标进行了为期 1 年的监测, 并将监测结果与 2004—2005 年的同期结果进行了比较。结果表明: 五里湖自 2003 年实施生态恢复工程以来, 水体水质得到了一定改善, TN 和 TP 负荷分别下降 47.25% 和 10.06%, 水体营养状况由中度富营养化变为轻度富营养化, 但仍还没有完全从根本上解决水体的富营养化问题。

关键词 五里湖; 水质监测; 水质评价; 富营养化

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 1004-6933(2010)05-0006-05

Current status and variation tendency of water quality in Wuli Lake, Jiangsu Province

BAI Xiang^{1,2}, CHEN Kai-ning¹, HUANG Wei¹, CHEN Xiao-min²

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The N and P nutrient salts such as total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), nitrate-N (NO₃⁻-N), nitrite-N (NO₂⁻-N), ammonia-N (NH₄⁺-N), phosphate-P (PO₄³⁻-P), and other physic-chemic indexes such as pH value, secchi-depth (SD), temperature (T), chemical oxygen demand (COD_{Mn}), and chlorophyll a concentration (Chl-a) of Wuli Lake were monitored from August 2007 to July 2008. The monitored data were compared with data taken in the same period from 2004 to 2005. The results showed that the water quality of Wuli Lake had improved to a certain degree since the ecological restoration project implemented in 2003, and TN and TP loading had decreased by 47.25% and 10.06% respectively. The eutrophic level in Wuli Lake had changed from mesotrophication to light eutrophication; however, the eutrophication problem had not been radically solved.

Key words: Wuli Lake; water quality monitoring; water quality assessment; eutrophication

随着经济发展和人类活动的加剧, 我国很多湖泊都面临着严重的污染问题, 如位于长江下游三角洲地区的太湖, 由于周边地区人口密度大, 城市化程度高, 湖泊富营养化日趋加剧, 蓝藻水华频繁暴发, 在我国东部众多的平原湖泊中, 绝大多数湖泊都面临着与太湖相类似的问题^[1]。这不仅对湖泊生态系统产生了严重影响和破坏, 同时所引发的一系列环

境问题也反过来制约着当地经济的发展。

五里湖位于太湖北部, 是梅梁湾伸入无锡市的一片水域, 也是无锡市重要旅游景点之一, 具有调节水文、接纳排水、泄洪、调节小气候、维护生物多样性等多种功能。五里湖东西长 6.0 km, 南北宽 0.3 ~ 1.5 km, 面积约 8.6 km²。湖中心建有宝界桥, 把五里湖分为东五里湖和西五里湖。20 世纪 80 年代以

前,五里湖水质良好,完全符合水源地的水质要求。但是随着经济发展和人口压力的增大,五里湖的水质发生恶化,2002年水质监测资料显示,五里湖及其周边主要入湖河流的水质属于V类或劣V类,呈重富营养化状态,成为太湖水环境恶化的重灾区。2003年实施五里湖生态恢复工程以来,水生生态系统得以恢复,生物多样性指数进一步提高,水质得到明显改善^[2]。

目前有关我国湖、库等水体水质状况的研究已有所报道^[3-5],这些研究主要通过湖库水体中的营养盐等理化指标进行测定后分析水体的水质状况。笔者结合已有的研究,从水体营养盐等理化指标方面对五里湖水体水质进行了研究,并对近几年的水质变化趋势进行了分析,以期对五里湖水体的管理和保护提供一定的理论依据。

1 采样点设置

根据五里湖的水域特征,共设置了9个采样点(图1),其中东五里湖面积较大,设置4个采样点、西五里湖3个、内湖区2个。西五里湖西侧有大型围隔试验区,故在此没有设置采样点。采样于2007年8月—2008年7月进行,历时1年,共12次,于每月中旬进行采样测定。

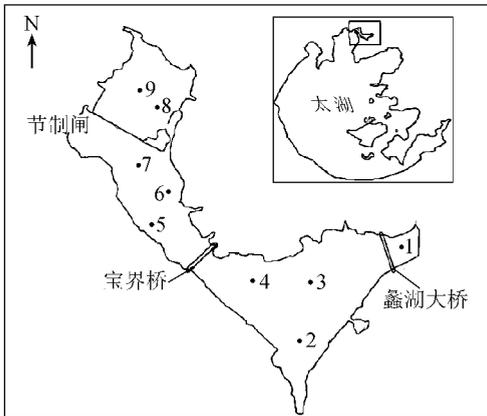


图1 五里湖采样点位

2 测定指标与分析方法

2.1 测定指标

主要有水深、水温、pH、透明度、 COD_{Mn} 、Chl-a、TN、TP、 $NO_3^- -N$ 、 $NO_2^- -N$ 、 $NH_4^+ -N$ 和 $PO_4^{3-} -P$ 。

2.2 分析方法

每次采样时用采水器自带温度计测定水温,pH-B-4型pH计测定各采样点水体的pH,塞氏盘(secchi disk)测定水体透明度。同时采取表层0.5m的水样带回湖边的实验室按照湖泊富营养调查规范^[6]的方法对其他水质指标进行测定。

2.3 数据处理

试验数据采用Excel 2003和SPSS 13.0进行统计分析和制图。

3 结果与分析

3.1 五里湖水体各指标的时间变化

五里湖全湖平均水深为 $2.10(\pm 0.42) \sim 3.08(\pm 0.71)m$,受北部节制闸的控制,最小值和最大值分别出现在2007年8月和2008年1月,其中东五里湖和西五里湖水深相差不大,8、9号点由于是退渔还湖区,水深略大于东、西五里湖。五里湖水温变化范围为 $2.50(\pm 0.09) \sim 30.38(\pm 0.23)^\circ C$,平均 $17.29(\pm 9.12)^\circ C$,最低值和最高值分别出现在2008年1月和2007年8月,季节变化明显,但空间变化不大。

图2是五里湖水体透明度(SD)、pH(2008年2月和4月份数据缺失)、 COD_{Mn} 和Chl-a的变化情况。SD是描述水体光学的一个重要参数,也是评价水体富营养化的一个重要指标,能直接反映水体的清澈与混浊程度^[7]。五里湖SD为 $0.27(\pm 0.04) \sim 0.61(\pm 0.06)m$,11月最低,1月最高。空间分布上,SD的大小排序依次为:退渔还湖区、东五里湖、西五里湖,这与退渔还湖区相对封闭、水深较大,不易造成底泥悬浮等有关;全年SD平均值仅占平均水深的15.28%,严重影响到太阳光线向湖底的投射,使光补偿深度大大减小,对湖底沉水植被的恢复和生长极其不利。五里湖水体的pH值的变化范围为 $7.49(\pm 0.16) \sim 8.93(\pm 0.08)$,最低值和最高值分别出现在2007年12月和8月,平均 $8.03(\pm 0.23)$,为中性偏碱性水平。

COD_{Mn} 是度量水体中有机污染物的一个重要指标,五里湖水体 COD_{Mn} 质量浓度最低出现在2008年1月,为 $3.78(\pm 0.41)mg/L$,最高值出现在2007年8月,为 $6.20(\pm 1.26)mg/L$ 。Chl-a是一种光合色素,是藻类重要的组成成分之一,其浓度的高低与该水体浮游植物的种类、数量等密切相关,也与水环境质量有关,受到光辐照度、温度、透明度和营养盐等因素的共同影响,故通过测定Chl-a浓度能够在一定程度上反映水质状况^[8,9]。Chl-a浓度是水体理化性质动态变化的综合反映指标,为水生生态系统测定中必选项目之一,常作为湖泊富营养化调查的主要参数,并且在水体富营养状况评价中起关键性作用^[10]。五里湖水体Chl-a质量浓度为 $14.03(\pm 2.10) \sim 34.96(\pm 8.60)\mu g/L$,最低值和最高值分别出现在2007年10月和2007年8月。同时,Chl-a质量浓度的变化表现出一定的季节性,即春夏季节高,秋冬季节低。

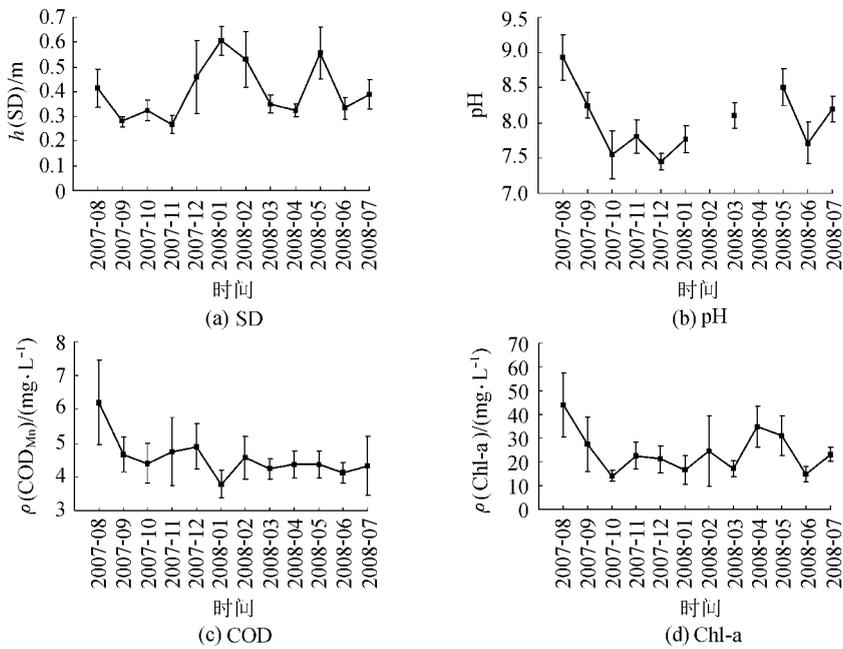


图2 五里湖水体 pH、SD、COD_{Mn}和 Chl-a 质量浓度的动态变化

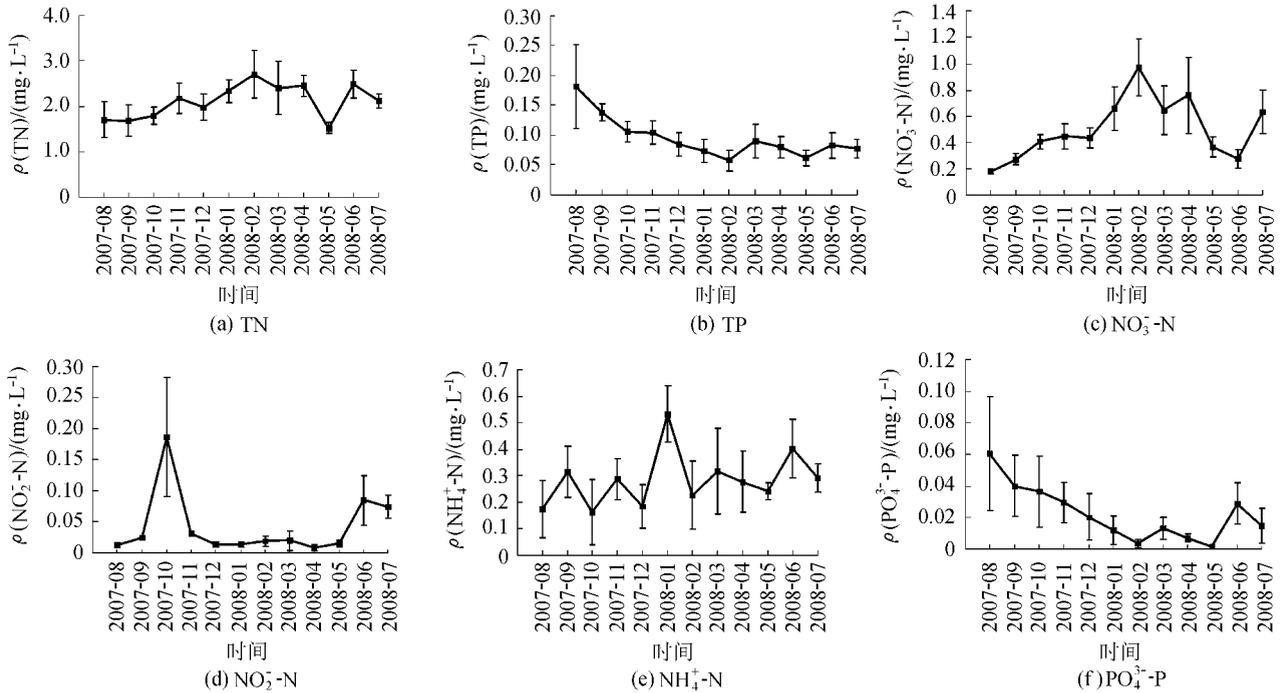


图3 五里湖水体营养盐的动态变化

图3为五里湖水体营养盐的动态变化情况。

氮是微生物生长的重要营养元素,水体中所含的有机化合物中,氮化合物最不稳定,易受微生物作用成为简单的无机氮化合物^[4]。五里湖水体中 TN 质量浓度 2008 年 5 月最低,达 $1.52(\pm 0.126)\text{mg/L}$, 2008 年 2 月最高,为 $2.698(\pm 0.531)\text{mg/L}$,平均为 $2.11(\pm 0.309)\text{mg/L}$,空间变化上退渔还湖区高于东、西五里湖,而后两者差异不明显($p > 0.05$)。无机氮中, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 与 TN 相同,均在 2008 年 2 月达最高值 ($0.97(\pm 0.215)\text{mg/L}$)。最低值却出现在 2007 年 8 月 ($0.17(\pm 0.017)\text{mg/L}$),年变化表现出与 TN 相同的

趋势,即 2008 年高于 2007 年。 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 除个别月份外均处于较低水平,而 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 则呈现出一定的波动性变化。无机氮中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 占 60.70%,无机氮占 TN 的 39.27%,说明氮素在五里湖水体中有相当一部分以有机氮的形式存在。无机氮中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 为主要存在形式。

磷是有机物中的一种重要元素,在微生物生长所需营养物质中的重要性仅次于氮。然而过多的磷排入水体将引起水体的富营养化,使浮游植物生长旺盛,从而破坏水体中的氧气平衡,导致水质的恶化;同时藻类的死亡将释放藻毒素等,将引起水体的

进一步污染^[4]。五里湖水体的 TP 平均质量浓度为 $0.095(\pm 0.023)$ mg/L, 其中最低出现在 2008 年 2 月 $0.058(\pm 0.018)$ mg/L, 最高值出现在 2007 年 8 月 $0.182(\pm 0.070)$ mg/L, 与最大的 Chl-a 质量浓度相一致, 全年的测定结果表明水体中 TP 浓度呈下降趋势。水体中的 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 质量浓度平均为 $0.022(\pm 0.013)$ mg/L, 仅占 TP 的 23.64%, 说明五里湖水体中的磷主要以有机磷的形式存在。

3.2 水质评价

现阶段常用的水质评价方法主要有: 单指标评价法、综合评价指数法、模糊数学模式评价法、神经网络模型法、生物指标法、灰色聚类法等, 各种评价方法各有优缺点^[11]。综合评价指数法有卡尔森营养状态指数 (T_{SI})、修正的营养状态指数 (T_{SIM}) 和综合营养状态指数 (T_{LI})。在对五里湖水体水质的评价中, 采用了综合评价指数法中的综合营养状态指数评价法 (T_{LI})。

水体的营养状态取决于一系列相关因子的综合作用, 在这些相关因子中, 最为重要的是氮磷营养盐和与之密切相关的叶绿素 a 浓度^[12]。营养状态评价就是以水体水质的一系列指标及其间的相互关系, 对水体富营养状态做出准确的判断。综合营养状态指数法以其快捷性和准确性被广泛地应用于湖库等水体的富营养化评价中, 它是以 SD、TN、TP、 COD_{Mn} 和 Chl-a 为基础进行计算评价的^[13], 计算公式为:

$$T_{LI} = \sum_{j=1}^m W_j T_{LI}(j)$$

式中: T_{LI} 为综合营养状态指数; $T_{LI}(j)$ 代表第 j 种参数的营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重。简化后的计算公式为:

- ① $T_{LI}(\text{SD}) = 10(5.118 - 1.94 \ln h(\text{SD}))$
- ② $T_{LI}(\text{TN}) = 10(5.453 + 1.694 \ln[\rho(\text{TN})])$
- ③ $T_{LI}(\text{TP}) = 10(9.436 + 1.624 \ln[\rho(\text{TP})])$
- ④ $T_{LI}(\text{COD}) = 10(0.109 + 2.661 \ln[\rho(\text{COD})])$
- ⑤ $T_{LI}(\text{Chl-a}) = 10(2.5 + 1.086 \ln[\rho(\text{Chl-a})])$

其中, $T_{LI}(X)$ 值为各指标的 T_{LI} 值, $\ln h(\text{SD})$ 为透明度 (m) 的自然对数, $\ln[\rho(X)]$ 为各指标浓度 (mg/L) 的自然对数。

综合营养状态指数法采用 0~100 一系列数值对水体营养状态进行分级: $T_{LI} < 30$ 为贫营养, $30 \leq T_{LI} \leq 50$ 为中营养; $T_{LI} > 50$ 为富营养, 其中 $50 < T_{LI} \leq 60$ 为轻度富营养, $60 < T_{LI} \leq 70$ 为中度富营养, $T_{LI} > 70$ 为重度富营养。

图 4 为 2007 年 8 月至 2008 年 7 月由五里湖水体中 5 个指标求得的综合应用状态指数 (T_{LI} 值) 的

变化情况。由图 4 可见 ①2007 年 8 月、9 月、11 月、2008 年 2 月和 3 月的 T_{LI} 值大于 60, 2008 年 5 月和 7 月小于 50, 其余月份则在 50~60 之间, 即五里湖水体营养状况为中度富营养化到轻度富营养化; ②在监测期间水体营养状况总体由中度富营养化变为轻度富营养化, 并有优于轻度富营养的状态出现, 表明五里湖水质得到了一定的改善。

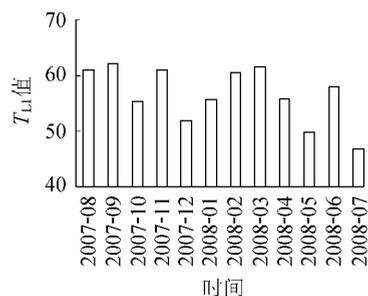


图 4 五里湖水体 T_{LI} 值动态变化

3.3 五里湖水质的变化趋势

20 世纪五六十年代, 五里湖水草繁茂, 湖水清澈见底。60 年代后, 五里湖水体水质开始恶化, 富营养化日益严重。2001 年的水质监测结果表明, 五里湖的水质为劣 V 类, COD_{Mn} 、 BOD_5 、TN、TP 和 Chl-a 的年平均值分别达到太湖平均值的 1.39、2.63、1.93、2.44 和 2.61 倍^[14]。五里湖的污染方式为外源污染, 包括城市污水 (10 万 t/d) 和养鱼肥水 (580 万 t/a), 湖底的污染淤泥也成为五里湖污染的重要来源。同时, 湖岸四周绝大部分为硬质立岸, 沿岸带自然属性及净化水质的功能丧失, 湖中生物群落结构简单, 藻类生物量高, 水体的富营养化程度严重^[15]。

为了彻底改善五里湖的水质, 降低五里湖水体的富营养化程度, 于 2003 年实施了五里湖生态恢复工程, 无锡市也开展了环五里湖的综合治理工程, 工程实施后的几年内对五里湖水质进行了监测, 本文选取 2004—2005 年同期的监测结果进行了比较分析。

从五里湖同期的水体理化指标的比较来看 (图 5) 除 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 外, 其他各指标均呈现下降趋势。

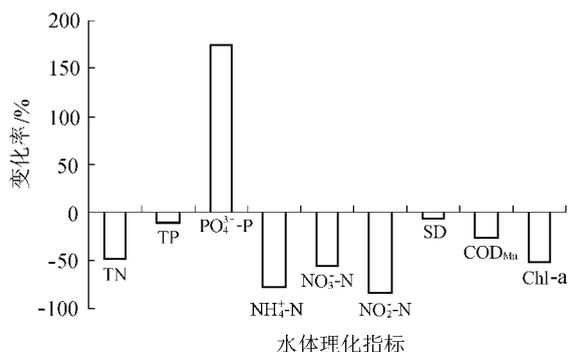


图 5 五里湖水体理化指标变化率

虽然 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 的增加量达到 174.72% ,但仅由 2004—2005 年的 0.008 mg/L 增加到了 2007—2008 年同期的 0.022 mg/L。在下降的各指标中,无机氮浓度的下降(-68.73%)显著大于其他指标的下降,其中又以 $\text{NO}_2^- -\text{N}$ 的浓度下降最为明显,其次为 Chl-a 和 TN 质量浓度,透明度可能由悬浮物等的增加等因素而引起下降,而非浮游植物的影响。

图 6 是根据 2004—2005 年同期监测结果所得出的综合应用状态指数 (T_{II} 值),按当时的监测结果,五里湖水体的 T_{II} 值均在 60 以上,表明五里湖水体为中度富营养化。生态恢复工程实施以后,水生植被的恢复以及各生态群落的构建过程均需要一定的时间来完成,因此生态恢复工程在实施后的几年内不能很快产生效果,待水体生态系统构建、恢复完成后,其对水质的净化改善作用得以显现出来。

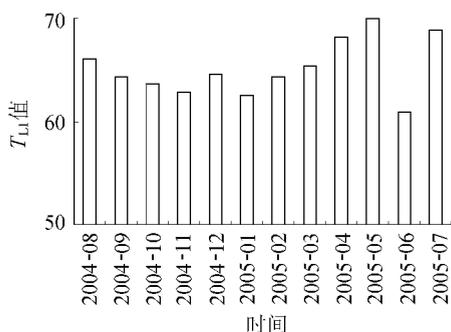


图 6 2004—2005 年五里湖水体 T_{II} 的动态变化

4 结论与建议

五里湖水体各指标存在明显的月动态变化,空间变化不明显。自 2003 年实施生态恢复工程以来,水体水质得到了一定的改善,理化指标有所下降,水体营养状况总体呈现出由中度富营养化向轻度富营养化转变,但还没有完全从根本上解决水体的富营养化问题。建议加强对五里湖的管理和保护,严格防止周边地区污染源对水体的影响,从根本上解决五里湖的富营养化问题,同时应切实保护生态恢复工程的成果,在保护现有水体生态系统的基础上,努力使生态系统结构进一步得以优化,以发挥其净化水体水质等的作用。

致谢:在样品的采集和监测过程中得到了胡洪云和兰策介老师的大力帮助,在此表示衷心感谢!

参考文献:

[1] 秦伯强. 太湖水环境面临的主要问题、研究动态与初步进展[J]. 湖泊科学, 1998, 10(4): 1-9.
 [2] 陈开宁, 邹晶, 陈晓峰, 等. 五里湖富营养水体生态重建试验[J]. 现代城市研究, 2005(5): 47-52.
 [3] 白秀玲, 谷孝鸿, 杨龙元. 东太湖水环境现状及保护对策

[J]. 湖泊科学, 2006, 18(1): 91-96.

[4] 王文林, 周瑞云, 成庆利. 丹江口水库水体主要营养盐含量变化特征[J]. 海洋湖沼通报, 2008(2): 123-129.
 [5] 宋健, 金秉福, 张云吉. 烟台门楼水库氮磷营养盐的分布及其成因分析[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 321-323.
 [6] 金相灿, 屠清瑛. 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.
 [7] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖水体透明度的分析、变化及相关分析[J]. 海洋湖沼通报, 2003(2): 30-36.
 [8] 刘冬燕, 宋永昌, 陈德辉. 苏州河叶绿素 a 动态特征及其与环境因子的关联分析[J]. 上海环境科学, 2003, 22(4): 261-264.
 [9] 宋开山, 张柏, 王宗明, 等. 吉林查干湖水体叶绿素 a 含量高光谱模型研究[J]. 湖泊科学, 2007, 19(3): 275-282.
 [10] 邓开宇, 吴芝瑛, 张国亮, 等. 从叶绿素 a 的变化浅析西湖综合保护工程效益(1998—2007 年)[J]. 湖泊科学, 2009, 21(4): 518-522.
 [11] 陆铭锋, 徐彬, 杨旭昌. 太湖水质评价计算方法及近年来水质变化分析[J]. 水资源保护, 2008, 24(5): 30-33.
 [12] 杨浩文, 黄芳, 林少君, 等. 肇庆星湖水水质现状与变化趋势[J]. 生态科学, 2004, 23(3): 204-207.
 [13] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 47-49.
 [14] 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.
 [15] 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[J]. 湖泊科学, 2006, 18(2): 139-149.

(收稿日期 2009-11-12 编辑 徐娟)

· 简讯 ·

9 年 12 次调水调沙 黄河下游主河槽下降 1.5 m

黄河经过 9 年 12 次的调水调沙,大大提高了河槽过洪能力,下游主河槽下降 1.5 m。最小过洪能力由 2002 年以前的 1 800 m³/s,提高到了 2010 年的 4 000 m³/s。

据了解,2010 年的 6—8 月,黄河水利委员会已成功实施了 3 次黄河调水调沙,创造了同年实施调水调沙次数新纪录。第 1 次是在 6 月 19 日—7 月 8 日。第 2 次是 7 月 24 日—8 月 3 日,小浪底水库出库沙量 0.2610 亿 t。第 3 次是 8 月 11—21 日,小浪底水库出库沙量为 0.4870 亿 t。最近一次调水调沙,小浪底水库排沙 0.5270 亿 t,黄河下游河道主河槽冲刷 0.2541 亿 t,最小过流能力由 2009 年的 3 880 m³/s 进一步增大到 4 000 m³/s,大大减少了库区淤积。

(本刊编辑部供稿)