巢湖水环境质量时空演变特征及成因分析

方凤满[1], 金高洁[2], 高 超[1]
(1. 安徽师范大学 国土资源与旅游学院, 安徽 芜湖 241003; 2. 安徽师范大学 附属中学, 安徽 芜湖 241000)

摘 要: 以巢湖湖体 12 个监测点多年监测资料分析巢湖水环境时空分布特征, 并探究其成因。结果得出, 在时间序列上, 巢湖水体高锰酸盐指数(COD_{Mn})、总磷(TP)浓度在 1995—2007 年间变幅不明显; 而总氮(TN)和氨氮(NH_3—N)浓度下降趋势显著; 叶绿素 a(Chla)指标除 2003 年外变幅较微弱。空间分布上, 比较 1995—1999 年和 2000—2007 年 2 个时段, COD_{Mn}高浓度地区在西湖区有所扩张, TP 向西湖区有所收缩, NH_3—N 高浓度地区从派河入湖口、塘西一带转至南淝河、桥南且面积收缩, TN 和 Chla 在西湖区浓度仍高于东湖区, 而 pH 值在东湖区的槐林地区较高。总体而言东湖区水环境质量好于西湖区, 近年来水环境有改善趋势。巢湖水环境时空演变缘由可能是丰富的外源汇入加剧水环境压力, 持续的内源释放加重富营养化程度和适宜的生长环境易诱发大规模蓝藻爆发。

关键词: 水环境; 时空演变; 巢湖
文献标识码: A 文章编号: 1000-288X(2010)05-0178-04 中图分类号: X824

Spatiotemporal Characteristics of Water Environment and Their Causes in Chaohu Lake

FANG Feng-man[1], JIN Gao-jie[2], GAO Chao[1]
(1. *College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui* 241003, *China*; 2. *The High School Affiliated to Anhui Normal University, Wuhu, Anhui* 241000, *China*)

Abstract: The data of COD_{Mn}, NH_3—N, TP, TN, Chla, and pH were collected at the 12 monitoring points in Caohu Lake. Then, the spatiotemporal characteristics of water environment and their causes were analyzed. Results showed that the trends of COD_{Mn} and TP in the lake were in a slight fluctuation from 1995 to 2007, but there were significant decreases in TN and NH_3—N. Chla had no obvious change except in 2003. Compared between the periods from 1995 to 1999 and from 2000 to 2007, the area of higher COD_{Mn} concentration was enlarged in the west lake from 2000 to 2007 and the area of TP was reduced in the west lake at the same period. The area of higher NH_3—N concentration migrated from the Paihe River inlet to Qiaonan area. TN and Chla concentrations in the west lake were higher than those in the east lake, but pH was high in Huailin in the east lake. In a word, water environment in the east lake was better than that in the west lake and water environment in the two lake areas has improved in recent years. The causes for the spatiotemporal characteristics of water environment in Chaohu Lake are possibly the point source pollution from industrialization, non-point source pollution from agriculture and living pollution from city, increased eutrophication by the steadily increased endogenous release, and a growth environment easy to induce water bloom and bad water environment.

Keywords: water environment; spatiotemporal characteristics; Chaohu Lake

水环境问题关系到人口、社会、经济可持续发展, 各地水环境问题日益突出, 有关水环境质量及评价方面的研究也越来越多[1-4]。巢湖近年来水环境问题日益突出, 已成为我国 5 大淡水湖中污染最为严重的湖泊之一。有关巢湖流域水环境的研究主要为巢湖流域的非点源污染物来源、分布特征及控制对策研究[5], 巢湖水体的富营养化状态及主要指标和限制因子分析[6], 巢湖水相、沉积相和生物相中重金属污染

收稿日期: 2010-02-10 修回日期: 2010-04-08
资助项目: 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室和安徽省哲学社会科学规划课题(AHSKF07-08D35)
作者简介: 方凤满(1974—), 女(汉族), 安徽省池州市人, 博士, 主要从事表生环境中污染物的迁移与转化研究。E-mail: ffm1974@mail.ahnu.edu.cn。

分析[7]。以上工作多从微观的环境学角度分析巢湖水环境状况, 而从宏观角度分析巢湖水质参数时空分布的不多。本文以巢湖湖体 12 个监测点多年监测资料分析其水环境时空分布特征, 理清水环境演变轨迹, 为更好地科学地认识巢湖水环境变迁提供基础, 亦为巢湖水环境治理提供技术支撑。

1　研究区概况

巢湖流域位于安徽省中部, 总面积约 13 350 km^2。巢湖居流域中心, 是我国闻名的第 5 大淡水湖。其水域地理位置东经 117°16′54″—117°51′46″, 北纬 31°25′28″—31°43′28″。湖泊东西两端向北翘起, 中间向南突出, 成"凹"字形。湖泊长度约 54.5 km, 最大宽度约 21.0 km, 平均宽度约 15.1 km。主要入湖河流有杭埠河、丰乐河、派河、南淝河、柘皋河、白石天河等。

2　资料来源与研究方法

2.1　资料来源

巢湖水环境质量数据由安徽省环境监测中心站、安徽省环保局和巢湖市环保局提供的湖体 12 个监测点 1995—2007 年 COD_{Mn}, TP, NH_3—N, TN, Chla 和 pH 值等逐月水质监测数据。

2.2　研究方法

利用距平值分析水环境时序特征。因监测水环境要素时段序列长短不一致, 选取 1995—1999 年各指标均值作为长序列(1995—2007 年) 距平基线, 而选取 2000—2004 年作为短序列(2000—2007 年) 距平基线。依据湖盆 12 个监测点指标数值, 结合各监测点坐标位置, 通过空间栅格插值生成新数据集, 获得反映离散状态的原始数据集暗含的空间特征、空间格局等信息, 并使用湖盆边界对插值空间进行控制。

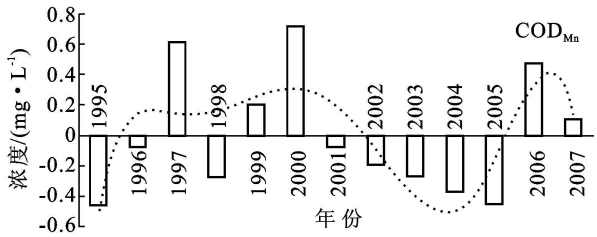
3　巢湖水环境时空变化特征

3.1　巢湖水环境时间变化特征

3.1.1　高锰酸盐指数(COD_{Mn})　巢湖湖盆水环境 COD_{Mn} 各年距平(相对于 1995—1999 年) 如图 1 所示。湖盆 COD_{Mn} 在 1995—2007 年间呈现一定程度的波动, 尤其是 2000 年以后, 呈不断下降趋势, 但总体线性趋势斜率为 −0.0015, 接近于 0, 表明其在 1995—2007 年间总体变化不大。

3.1.2　总磷(TP)　巢湖水体 TP 的距平如图 1 所示。自 1995 年以后, TP 总体呈现下降趋势, 在 2003 年出现小幅度的增减反弹, 但其幅度甚小, 整体而言巢湖水体 TP 含量基本维持不变, 且多为富营养化状态水体。

3.1.3　总氮(TN) 和氨氮(NH_3—N)　若总氮浓度超过 0.3 mg/L(如果氮是限制因素) 时, 藻类会过量繁殖。1995—2007 年, 巢湖湖盆水体的 NH_3—N, TN 呈现下降趋势(图 2)。



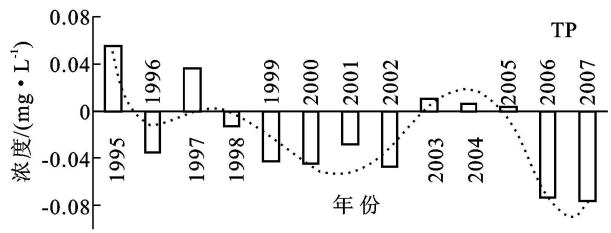
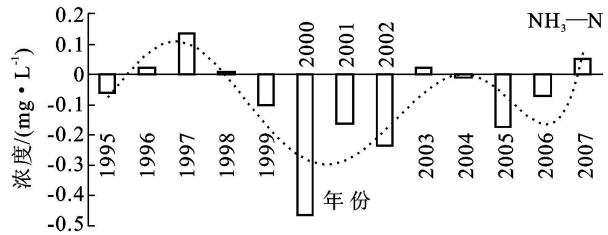


图 1　湖盆 1995—2007 年 COD_{Mn}, TP 距平(相对于 1995—1999 年)



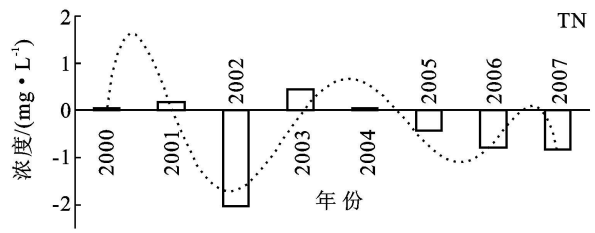


图 2　湖盆 1995—2007 年 NH_3—N 距平(相对于 1995—1999 年) 和 2000—2007 年 TN 距平(相对于 2000—2004 年)

3.1.4　叶绿素 a(Chla)　表征藻类数量的叶绿素 a (Chla) 含量大于 10 mg/m^3 即认为达到富营养化。由图 3 可知, 湖泊叶绿素水平除 2003 年外基本维持在一个很小的幅度变化。2003 年因温度、日照等外界因素诱发蓝藻大面积暴发, 导致叶绿素浓度激增, 近年来呈现微弱的下降。

3.1.5　pH 值　湖泊水中有机质分解会产生有机酸, 降低酸度, 酸雨也会造成水体酸化, 但富营养化会造成

藻类泛滥, 水有变碱趋势[8]。多数时间巢湖水体 pH 值在 7.66~ 8.2 之间, 呈现碱性特征, 自 2000 年之后水体pH 值呈现较明显的下降趋势(图 3), 其线性趋势斜率达- 0.021 5, 反映湖盆水体有酸化发展趋势。

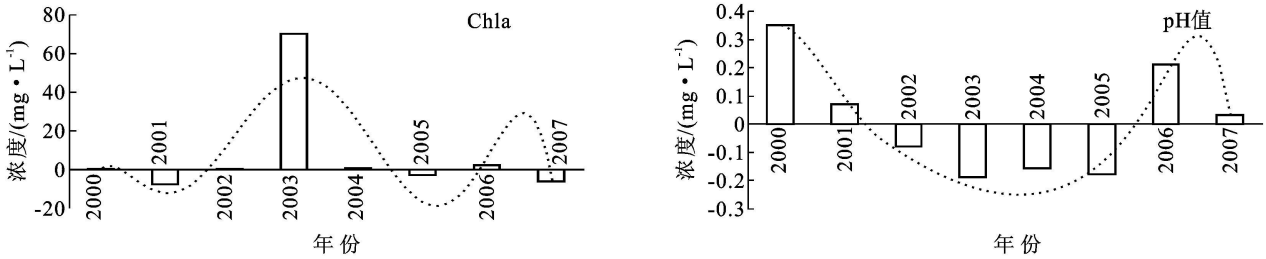


图 3 湖盆 2000—2007 年叶绿素、pH 值距平(相对于 2000—2004 年)

3.2 巢湖水环境空间分布特征

因 1999 年 12 月 31 日巢湖流域开展以排污达标为主题的"零点行动", 因而将 1995—2007 年水质监测资料分割为 1995—1999 年和 2000—2007 年 2 个时段, 取两时段的多年平均值, 利用 Kriging 插值到空间上, 形成各要素面平均来模拟水环境要素空间分布特征并比较其在 2 个时段的变化差异。

3.2.1 高锰酸盐指数(COD_{Mn}) 巢湖湖盆水环境COD_{Mn}均值在西湖区(忠庙—姥山以西) 浓度上、空间分布上均有所扩大, 由南淝河入湖口等地扩张至派河、丰乐河入湖口等处; 而东湖区(忠庙—姥山以东) COD_{Mn}浓度却有所减少, 由 1995—1999 年最低COD_{Mn}浓度 4.38 mg/L 下降为 2000—2007 年间的 4.04 mg/L, 反映巢湖水环境质量的明显的区域差异性。

3.2.2 总磷(TP) 2000—2007 年水体 TP 浓度范围(0.101 8~ 0.334 2 mg/L) 较 1995—1999 年(0.142 2~ 0.350 7 mg/L) 低, 表明 2000—2007 年间整个湖盆 TP 浓度有所下降。但值得注意的是, 在图 4a 中 TP 第 2 分级范围大小为 0.153 0~ 0.165 9 mg/L, 此浓度在图 4b 中相当于第 4 分级, 表明此浓度的湖盆水体空间范围扩张到姥山、忠庙一线, 即原先 1995—1999 年的 2 级水质已由东湖区扩张到西湖区边缘, 2000—2007 年东湖区水质有所改善; 但西湖区 2 个时段 10 级水体浓度差距并不大, 仍较稳定地分布于桥南、南淝河入湖口一带, 反映 1995—2007 年间巢湖湖盆磷营养盐的输入较稳定地集中来源于该地区, 主要可能与南淝河等入湖河流有关。

3.2.3 氨氮(NH_3—N) 1995—1999 年间巢湖 NH_3—N浓度较高地区集中在西湖区的派河入湖口、塘西等地, 到2000—2007 年, NH_3—N 高浓度地区从派河入湖口、塘西一带转至南淝河、桥南一带且面积有所收缩; 同时, 东湖区 1 级水域范围由东南沿湖扩大到近乎整个东半湖区。但是巢湖坝口地区 NH_3—N 浓度仍属于 2 级水域, 水质仍有待改善。

3.2.4 总氮(TN) 《地表水环境质量标准》标准限值中湖泊水体 TN ㈨类水质极值为 2.0 mg/L。2000—2007 年间巢湖 TN 超标情况严重, 西半湖全部以及东半湖西部地区均为㈨类水质。氮、磷等营养元素多数来源于工业点源污染和农业面源污染, 巢湖湖盆东南侧靠近山丘、岗地, 且山丘、岗地呈向长江倾斜地势, 汇入巢湖的集水面积小, 流水在汇入巢湖过程中带入的营养盐可能亦较少, 这可能是巢湖东南部沿岸湖区水环境各项指标数值较低的原因之一。

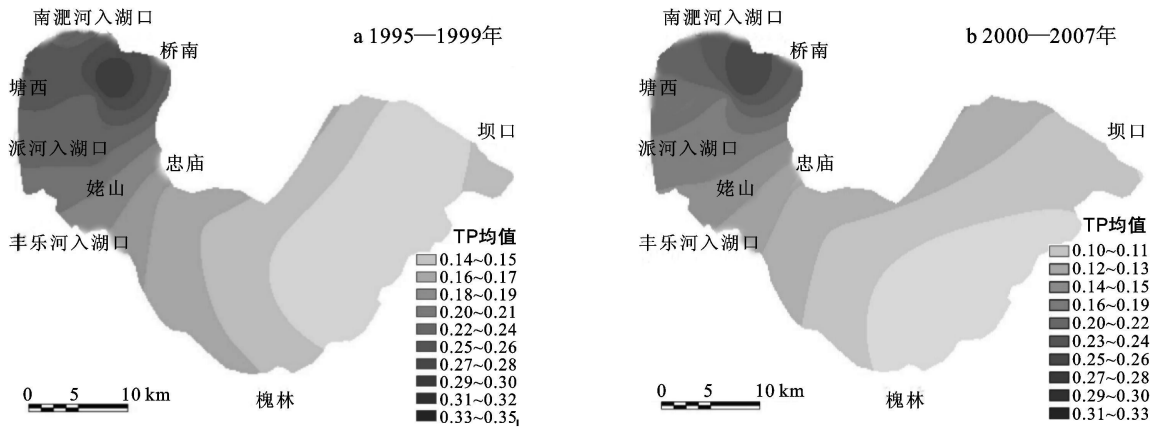


图 4 湖盆 1995—1999 年, 2000—2007 年 TP 均值

3.2.5 叶绿素 a(Chla)　巢湖湖盆叶绿素含量超标亦非常严重,仅仅有东湖区部分地区在 10 mg/m^3 以下,其中,在塘西、南淝河入湖口、桥南一线为湖泊叶绿素含量最高地区,年均值最高达 79.53 mg/m^3。2003 年 8 月 6 日,该地区 Chla 浓度曾经达到 5 040 mg/m^3,造成湖盆大面积蓝藻暴发。

3.2.6 pH 值　湖湖盆呈现弱碱性特征,主要因湖泊富营养化泛滥的藻类导致[8],pH 值最低地区为巢湖坝口水域,而 pH 值最大地区为姥山、忠庙以西的西湖区,尤其以塘西、桥南一带为最。值得注意的是 pH 值在东半湖的槐林沿湖水域明显升高,可能与槐林地区发达的渔网工业生产有关。槐林为全国最大的渔网生产基地之一,渔网所需要的高分子聚合物——聚酰胺单丝生产过程中一般要用碱做为催化剂,在洗涤干燥的过程中,会产生碱性废水。这些工业废液,经排放之后汇入巢湖,对水体 pH 值产生影响,导致槐林沿湖地区 pH 值较东湖区其它地区高。

4　巢湖水环境时空演变成因初步分析

4.1　丰富的外源汇入加剧水环境压力

巢湖每年接纳大量未经达标处理的工业和生活污水,加之农业化肥流失,土壤侵蚀以及临湖岸线崩塌等面源污染的影响,丰富的外来物质汇入造成较大水环境压力。(1) 流域人口迅速增加,产生大量的生活污染,加大对水环境的压力。尤其是 2000 年之后巢湖流域城市化进程加快,流域内两座城市(合肥、巢湖),9 个县级城镇,共计 943.47 万人,是安徽省人口最密集的地区之一。巢湖流域 2005—2007 年生活污水平均年排放量为 1.78×10^8 m^3,NH_3—N 和 TP 年排放量分别为 5 204.89 t 和 575.39 t,流域内第一大城市合肥市 NH_3—N 和 TP 排放量占总排放量的 67.19% 和 69.80%,流经该市的南淝河由于流程短,无“活水源头”,水体自净能力较弱,将大量污染物质带入巢湖,这也是巢湖水环境各项指标在南淝河口等地呈现比较集中的主要缘由。(2) 流域内大量的工业废水排入巢湖。巢湖流域内有若干高新科技区、工业开发区、经济技术开发区,例如合肥的桃花工业区在派河上游,舒城县开发区在丰乐河上游,这些开发区的工业污染顺河而下,造成派河、丰乐河入湖口处水环境污染严重。但随着工业企业治污能力的提高,工业污染排放总量逐步降低,带来巢湖水体环境改善[9]。(3) 过量的施用化肥、农药,使农业面源对巢湖的污染越来越严重。巢湖流域水土流失严重,流域内植被覆盖率低,仅为 15.2%,低于全省平均水平 28.9%;流域内水土流失面积达 1 773 km^2,占流域总面积的 19%。水土流失致使化肥、农药等非点源污染物汇入巢湖,其中磷污染是水体富营养化的重要影响因素。巢湖流域非点源磷污染地主要集中在西南部以及南淝河、十五里河等地区,这可以解释水体中 TP 和叶绿素高浓度地区稳定分布于上述地带的原因。

4.2　持续的内源释放加重富营养化程度

巢湖长期接纳流域内河流输送来的大量污染物,日积月累积聚于湖底,形成湖盆内污染源。长期淤积形成的湖泊底泥中积聚了大量氮磷,并且持续向水体释放。巢湖底泥释放的氮磷贡献量约占全湖总负荷的 20%,已是巢湖不可忽视的重要污染内源[10]。巢湖水体中的一些藻类如蓝藻门的 *Gomphosphaeria* 和近年来频繁引起水华的微囊藻(*Microcystis*) 在冬季不发生形态上的变化,而只是以休眠的方式存在于底泥的表面,这些藻类在底泥中长期存活,在适当条件下(如春末夏初) 由底泥上升到水体中,加剧蓝藻暴发现象[10]。

4.3　适宜的生长环境易诱发大规模蓝藻暴发

巢湖为大型半封闭浅水湖泊,水土界面物质交换剧烈,氮磷积聚释放频繁。巢湖氮磷比一般为(10~15):1,夏季水温为 25 ℃~ 30 ℃,适宜蓝藻生长繁殖,遇持续高温天气,蓝藻易迅速爆发[9]。有学者[11]对湖泊水体叶绿素 a 浓度与上月降雨量进行双侧 Person 检验,其相关系数为 0.809,表明叶绿素 a 含量变化与流域地表径流带入湖区的营养物质数量显著相关。2003 年 8 月巢湖流域蓝藻暴发,7 月流域平均降水量达 366 mm,而西南部山区达到 430 mm,占全年降水量的 1/3 左右,大量降水带来丰富营养物质,尤其是来自西部山区农作物地区的大量磷、氮等营养元素的汇入最终导致了蓝藻暴发。

5　结　论

近年来巢湖水环境问题日益突出,研究其水环境时空分布特征,可为巢湖水环境变迁研究提供依据。

(1) 时间序列上,巢湖水环境要素中的 COD_{Mn},TP 浓度在 1995—2000 年间变幅不明显,而 TN 和 NH_3—N 浓度下降趋势较显著,叶绿素指标除 2003 年因蓝藻暴发大幅增加外,变幅较微弱。

(2) 空间分布上,COD_{Mn}高浓度地区在西湖区有所扩张,TP 空间范围向西湖区有所收缩,NH_3—N 高浓度地区从派河入湖口、塘西一带转至南淝河、桥南一带且面积有所收缩,TN 和叶绿素在西湖区浓度仍高于东湖区,pH 值在东湖区槐林一带较高。总体上,东湖区水环境质量比西湖区好,整个巢湖近年来水环境有改善趋势。

(下转第 220 页)

将表 2 与景观娱乐用水 B 类水质标准进行对比分析,可以看出,选用的 10 项水质指标,其中 7 项的合格率在 92.5% 以上,高锰酸盐指数和氨氮的合格率也分别达到 87.5% 和 82.5%,说明该断面水质综合质量尚好,可以满足风景区用水水质要求。超标率相对较高的高锰酸盐指数和氨氮 2 项有机污染参数,达标率将随城市污水处理力度的加大而得到提高。

西安市浐灞河生态区是西安市近期改善生态环境和提高生活质量的重点建设项目,集人居与生态景观协调,生态湿地保护,河道景观,动态旅游,游览观光等为一体,将生态区的水资源和土地资源合理配置,寻求水土资源的最佳利用效益,使得"地尽其力,水尽其用"。通过合理的土地分配利用,将浐灞河生态区成功建设成以滨水生态住宅及旅游度假产业为主,综合现代商贸、会展、物流、教育及科技产业的生态型滨水城市副中心。

[参 考 文 献]

[1] 中国城市蓝皮书[M]. 北京:2009.

[2] 孙靖陶, 解建仓. 城市化过程中水土资源的价值转换相关性研究[J]. 水利科技与经济, 2008, 14(3): 14-18.

[3] 郑重, 张凤荣. 系统耦合效应与水土资源优化配置的诠释[[J]. 石河子大学学报, 2008, 8(8): 415-417.

[4] 王让会, 于谦龙, 李凤英, 等. 基于生态水文学的新疆绿洲生态用水若干问题[J]. 水土保持通报, 2005, 25(5): 101-104.

[5] 任继周, 朱兴运, 王宁, 等. 荒漠—绿洲草地农业系统的耦合与模型[J]. 草业学报, 1995, 6(1): 11-19.

[6] 朱鹤健, 何绍福. 农业资源开发中的耦合效应[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 583-588.

[7] 徐建新, 商崇菊, 高峰, 等. 基于可持续发展的水资源优化配置模型研究与应用[J]. 海河水利, 2006(1): 40-43.

[8] 马斌, 解建仓, 汪妮, 等. 多水源引水灌区水资源调配模型及应用[J]. 水利学报, 2001, 32(9): 59-63.

[9] Ying Gao, Lei Shi, Pingjing Yao. Study on multi-objective genetic algorithm[C]// Proceedings of the 3th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2000.

[10] Frank Messner, Oliver Zwirner, Matthias Karkuschke. Participation in multi-criteria decision support for the resolution of a water allocation problem in the Spree River basin[J]. Land Use Policy, 2006, 23(1): 63-75.

[11] 游进军, 纪昌明, 付湘. 基于遗传算法的多目标问题求解方法[J]. 水利学报, 2003, 34(7): 64-69.

[12] 杨子晨, 孟波, 熊德林, 等. 基于多目标遗传算法求解多边谈判问题的 Pareto 解[J]. 计算机工程与应用, 2002(1): 39-41.

[13] 陈南祥, 李跃鹏, 徐晨光. 基于多目标遗传算法的水资源优化配置[J]. 水利学报, 2006, 37(3): 308-313.

(上接第 181 页)

(3) 巢湖水环境时空演变与其特殊的地理环境有密不可分的关系。巢湖是流域内水系的总汇入,而出水口又为人工调节所限制,当然流域内人类活动更是造成水环境污染的直接原因。总体上与丰富的外源汇入加剧水环境压力、持续的内源释放加重富营养化程度、适宜的生长环境等因素有关。

(4) 理清巢湖水环境时空分布特征,如何合理有效地利用取得的时空分布特征去制定巢湖水环境的高效治理将是后续研究的方向,探究从流域角度出发,实施流域生态管理,实现治理管理一体化将是努力的目标。

[参 考 文 献]

[1] Pauer J J, Anstead A. The lake michigan eutrophication model, LM3-Eutro: model development and calibration[J]. Water Environment Research, 2008, 80(9): 853-861.

[2] 程炯, 王继增, 刘平, 等. 珠江三角洲地区水环境问题及其对策[J]. 水土保持通报, 2006, 26(2): 91-93.

[3] 余波, 张斌, 黄正文, 等. 苍溪县工业园水环境评价及污染防治对策[J]. 水土保持通报, 2008, 28(5): 172-175.

[4] 陈亚萍, 康永祥. 渭河干流陕西段水体中 COD_{Mn}, NH_3—N 的时空变化特征[J]. 水土保持通报, 2006, 26(4): 48-51.

[5] 周慧平, 高超. 巢湖流域非点源磷流失关键源区识别[J]. 环境科学, 2008, 29(10): 2696-2702.

[6] 梁宵, 殷福才, 孙世群, 等. 基于人工神经网络的巢湖营养化分时分区评价[J]. 中国环境监测, 2007, 23(3): 74-77.

[7] 曹德菊, 岳永德, 黄祥明. 巢湖水体 Pb, Cu, Fe 污染的环境质量评价[J]. 中国环境科学, 2004, 24(4): 509-512.

[8] 高光, 秦伯强, 朱产伟, 等. 太湖梅梁湾中碱性磷酸酶的活性及其与藻类生长的关系[J]. 湖泊科学, 2004, 16(3): 245-251.

[9] 樊明怀, 周云峰. 巢湖流域水环境综合治理对策[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(16): 6911-6912.

[10] 吴晓东, 孔繁翔. 太湖与巢湖水华蓝藻越冬和春季复苏的比较研究[J]. 环境科学, 2008, 29(5): 1313-1318.

[11] 王大齐, 胡恩金. 巢湖生态系统之优化[J]. 中国环境科学, 1994, 14(3): 177-181.