

· 环境预警 ·

doi:10.3969/j.issn.1674-6732.2011.03.003

洮滹水系湖库富营养化生态风险的特点与比较

顾谢军¹, 徐东炯², 蔡焕兴², 谢文理², 陈桥², 周 崑², 丁程成², 沈丽娟², 汤 云², 张小琼²

(1. 金坛市环境监测站, 江苏 金坛 213200; 2. 常州市环境监测中心站, 江苏 常州 213001)

摘要:茅东水库、长荡湖、滹湖、太湖竺山湾是洮滹水系从上游到下游排列的4大典型湖库, 2008年的监测分析表明, 氮、磷是该水系湖库富营养化的主要污染因子, 并沿流域呈加剧趋势, 上下游 TP 质量浓度为 0.081~0.296 mg/L, 差异小, 而 TN 质量浓度为 0.314~5.67 mg/L, 差异大, 长荡湖到滹湖是洮滹水系首要污染物 TN 快速增加的关键区域。水系自上而下4个湖库综合营养状况指数分别为 45.3, 63.0, 68.3, 69.5, 富营养化呈加重趋势, 后者已接近重度富营养化并呈北重南轻的态势, 并且4—9月重于其他月份, 其生态风险较大。自上而下流域内农田及建设用地的比例均呈增加趋势, 表明农业面源污染、城镇生活污染及工业污染的负荷也呈增加趋势, 它们的总比例与综合营养状况指数呈正相关($P < 0.05$)。从藻类种类构成来看, 下游竺山湖以铜绿微囊藻(*Microcystis aeruginosa*)为绝对优势种, 有大量表面水华爆发且有黑臭发生, 上游滹湖和长荡湖以点状平裂藻(*Merismopedia punctata*)为绝对优势种, 几乎无表面水华爆发, 这与鲢、鳙鱼的养殖规模密切相关。

关键词:湖库; 富营养化; 生态风险; 洮滹水系; 太湖

中图分类号: X820.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-6732(2011)-03-0013-05

Feature Analysis and Comparison on Ecological Risk of Eutrophication in Lakes and Reservoir in Taoge River

GU Xie-jun¹, XU Dong-Jiong², CAI Huan-xing², XIE Wen-li², CHEN Qiao², ZHOU Wei²,
DING Cheng-cheng², SHEN Li-juan², TANG Yun², ZHANG Xiao-qiong²

(1. Jintan Environmental Monitoring Station, Jintan, Jiangsu 213200, China; 2. Changzhou Environmental Monitoring Central Station, Changzhou, Jiangsu 213001, China)

ABSTRACT: Maodong reservoir, Changdang lake, Gehu lake and Zhushan bay were the four representative lakes of Taoge river system. Eutrophication in these four water bodies was studied in 2008 and nitrogen and phosphorus were demonstrated as the main factors of pollution, which was getting more serious along the flow direction of Taoge river. The concentration of total phosphorus varied from 0.081 mg/L to 0.296 mg/L, while the concentration of total nitrogen varied dramatically, ranging from 0.314 mg/L to 5.67 mg/L, especially in the key area between Changdang lake and Gehu lake. Comprehensive trophic status index (TLIc) of these four water bodies was 45.3, 63.0, 68.0 and 69.5, respectively which showed Gehu lake and Zhushan bay almost reached severe eutrophication. TLIc of the north part was higher than the south. From the time point of view, the highest TLIc of the two lakes appeared from April to September. The phenomenon implied high ecological risk in Gehu lake and Zhushan bay. According to the changes of land use type, the increased ratio of farmland and building land along the flow direction indicated that agriculture non-point source pollution, industrial pollution and domestic pollution in market town were getting worse, which had positive correlation to TSI of lakes ($P < 0.05$). Composition of algae species in these lakes was different, the dominant species of Zhushan bay was *Microcystis aeruginosa* causing water bloom and the black smelly. The disappearance of water bloom in Changdang lake and Gehu lake in which *Merismopedia punctata* was the dominant species caused by large scale breeding of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys mobilis*.

KEY WORDS: lakes and reservoir; eutrophication; ecological risk; Taoge river; Taihu lake

收稿日期: 2011-02-18; 修订日期: 2011-03-20

基金项目: 江苏省环境监测基金项目(0802), 国家水体污染控制与治理科技重大专项项目(2008ZX07101-007)。

作者简介: 顾谢军(1965—), 男, 工程师, 本科, 从事环境监测与管理工。

太湖富营养化问题由来已久,作为传统农业基地和现代工业及城镇中心,太湖流域不断承受着人口增长与经济压力的双重压力。近20年来,流域水质逐年下降,氮磷营养盐含量不断升高,蓝藻水华爆发等生态风险不断增大,严重影响了该区域的可持续发展,对此已有大量的研究成果^[1-4]。然而,以往研究的关注点主要集中在太湖及其入湖河道上,对流域特别是上游水系的影响方面却缺乏足够的重视。流域生态学是湖泊富营养化治理的现代理论之一^[5,6],笔者以太湖竺山湾及其上游洮溇水系茅东水库、长荡湖、溇湖等4个典型湖库为例,分析流域内同一水系不同湖库富营养化生态风险及相关因素的时空变化规律,为太湖富营养化的流域监控预警及治理提供基础信息支持。

1 洮溇水系概况

洮溇水系是太湖的主要来水区域之一,覆盖了常州市大部分区域及丹阳、宜兴二市部分区域,其发源于金坛境内茅山东麓,有茅东水库等源头水体,该水系以长荡湖(洮湖)、溇湖为中心,纳西部茅山诸溪,后经东西向的漕桥河、太溇运河、殷村港、烧香港等多条主干河道入太湖竺山湾;同时又以丹金溧漕河、扁担河、武宜运河等多条南北向河道与沿江水系相通,形成东西逢源、南北交汇的网络状水系。洮溇水系入湖水量约占太湖上游来水总量的20%左右^[7]。水系内河网密集,大小湖泊众多,茅东水库、长荡湖、溇湖、太湖竺山湾为水系最具代表性的沿上下游排列的4个湖库,主要湖库概况见表1。

表1 洮溇水系主要湖库概况

湖库名称	地理位置	水面面积 /km ²	蓄水量 /亿 t	平均水深 /m
茅东水库	金坛	2	0.1	5.0
长荡湖	金坛、溧阳	85	1.0	1.2
溇湖	武进、宜兴	138	1.8	1.3
竺山湾	武进、宜兴	100*	2.0	2.0

注: * 为约数。

2 分析方法

富营养化的生态风险包括其发生、发展、强弱

及次生后果的风险。根据湖泊面积的大小,在竺山湾、溇湖、长荡湖3个面积较大的湖泊中分别于不同的空间方位上设立4个监测点位,在茅东水库中设1个监测点位。在水面下0.5m左右深处采集亚表层水样,2008年1—12月对透明度(SD)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、总磷(TP)、总氮(TN)、叶绿素a(chla)、浮游植物物种构成、表面水华及黑臭发生情况等指标逐月进行观测,为有关分析提供数据。

国内外常见的富营养化评价方法有卡尔森富营养化指标法、BP神经网络法、层次分析法、模糊评价法、物元分析法、灰色聚类法等^[8,9],笔者采用中国环境监测总站修订的综合营养状况指数评价分级法(中国环境监测总站生字[2001]090号《关于印发〈湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定〉的通知》)对湖泊进行评价,该方法以chla、TP、TN、SD、COD_{Mn}5项作为评价指标,并赋予相应的权重,通过一系列的数学公式算出相应分值,从而判断湖库富营养化程度及风险。

对土地利用状况的了解有利于从宏观上把握区域环境承载能力和污染负荷强度^[10],笔者还对上述4个湖库上游汇水区域的土地利用状况进行了分析,以区域内林地-草地及水域湿地所占比例定性表征流域水环境的自净能力,农田及建设用地所占比例定性表征农业面源污染、城镇生活污染及工业污染的负荷强度,从而在宏观尺度上分析富营养化的生态风险。

浮游植物物种构成、表面水华及黑臭发生情况等反映了富营养化效应及风险,结合渔业养殖结构等相关调控因素对此进行分析。

3 结果与讨论

3.1 富营养化主要影响因子

在进行富营养化综合评价的5个指标中,TN和TP是洮溇水系湖库的主要污染因子(表2),2008年的监测结果表明,茅东水库及长荡湖水质为Ⅳ类水、溇湖及竺山湾水质为劣Ⅴ类水,前三者不能满足Ⅲ类水功能的要求,后者不能满足Ⅳ类水功能的要求,其中,茅东水库TP、长荡湖TN及TP劣于Ⅲ类水标准,溇湖TP及TN分别劣于Ⅲ类及Ⅴ类水标准,竺山湾TP和TN均劣于Ⅴ类水标准。

表2 洮湫水系湖库主要污染因子及富营养化状况

湖库名称	$\rho(\text{chl}a)/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	透明度/cm	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	综合营养状态指数	营养状态级别
茅东水库	23.5	0.081	0.314	108.0	2.20	45.3	中营养
长荡湖	59.5	0.180	1.050	35.5	6.15	63.0	中度富营养
湫湖	51.3	0.150	4.520	25.2	6.97	68.3	中度富营养
竺山湾	49.3	0.296	5.670	36.3	6.74	69.5	中度富营养

流域自上而下,洮湫水系 TN、TP 沿程呈污染加重趋势(图 1),然而,水系上下游两个污染因子浓度变化规律有着明显的区别,TN 表现为沿程加剧,且上下游差异巨大,下游竺山湾的 TN 含量为源头茅东水库的 18 倍之多,而 TP 沿程增加平缓,

上下游相差倍数小于 3.7。氮磷比方面,洮湫水系上游茅东水库和长荡湖分别为 3.9 和 5.8,而下游湫湖和竺山湾分别为 30.1 和 19.2,因此,从长荡湖到湫湖是洮湫水系首要污染因子 TN 快速增加的关键区域。

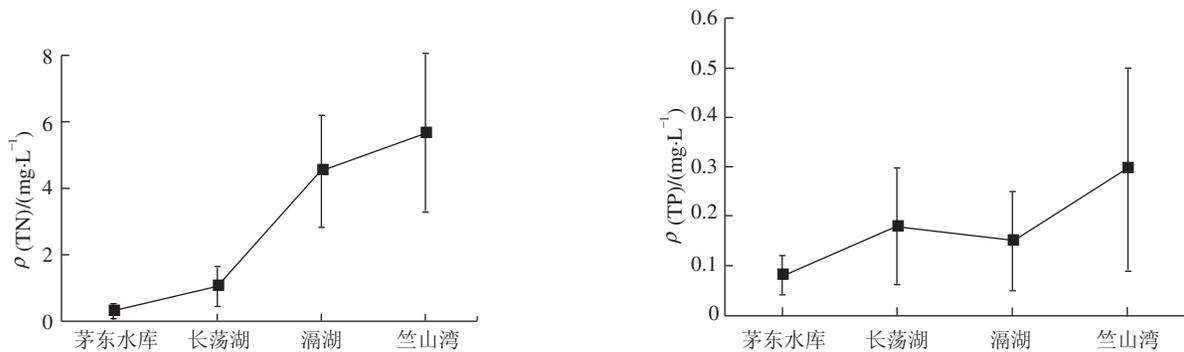


图1 洮湫水系 TN、TP 沿程变化趋势

3.2 富营养化状况及其时空变化

洮湫水系自上游到下游,茅东水库、长荡湖、湫湖、竺山湾 4 个湖库综合营养状态指数分别为 45.3,63.0,68.3,69.5,沿程富营养化呈加重趋势,其中,茅东水库为中营养状态,其来水主要为汇水域林区地表径流及湿沉降,TP 已劣于Ⅲ类水,有研究表明,太湖地区所有降雨中的溶解氮及 95.2%降雨中的溶解磷浓度大于水体富营养化阈值^[11],因此,茅东水库存在一定的富营养化风险。其余 3 个湖泊均为中度富营养化,下游湫湖和竺山湾的富营养化程度已经逼近重度富营养化的边缘(图 2),洮湫水系下游富营养化灾害的风险较大。

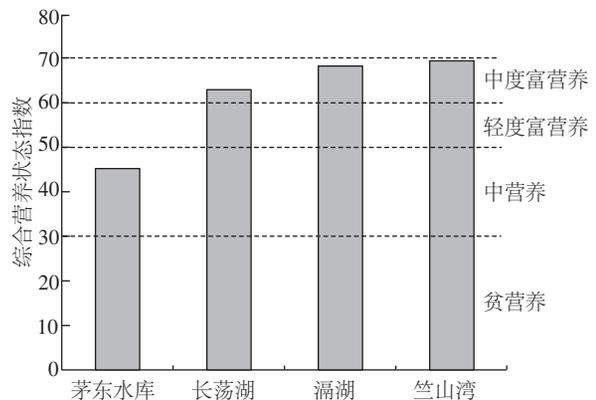


图2 洮湫水系主要湖库富营养化状况及沿程变化

洮湫水系主要湖泊各自内部富营养化状况也存在空间上的差异,根据不同点位的监测结果,长荡湖、湫湖及竺山湾 3 个湖泊北部湖区的营养状态普遍略高于南部湖区(图 3)。洮湫水系的流向虽为由西向东,但由于该水系周边主要城市区域位

于这 3 个湖泊的北部,承接了大量北部来水,且这些来水普遍污染较重,因此,上述湖泊污染及富营养化的风险均呈现北部高于南部的趋势。

根据洮湫水系主要湖库水质逐月监测结果,各湖库的富营养化程度受季节影响较大且变化曲线具有相似性(图 4)。一般从 3 月份开始,各湖库的富

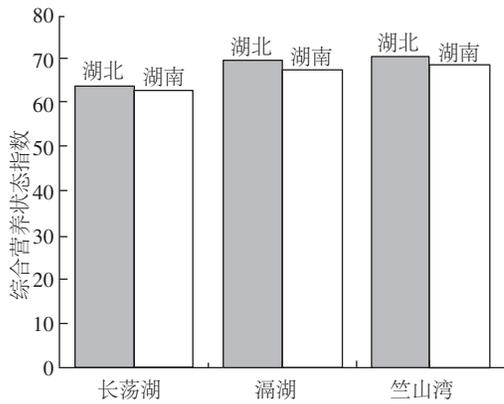


图3 洮湍水系各主要湖泊富营养化程度地域差异对比

营养化程度出现加剧趋势,到5月份后加剧速度变缓,并维持在一个较高水平上波动,至9月份后富营养化程度降低。从图中可以看出,各湖库综合营养状态指数的峰值均出现在4—9月间,这表明湖泊的营养状态与气候的变化有着密切联系,从晚春到初秋气温高、日照强,有利于藻类生长,湖水中叶绿素a含量急剧升高,导致湖泊综合营养状态指数快速升高,水华爆发等灾害风险增大。

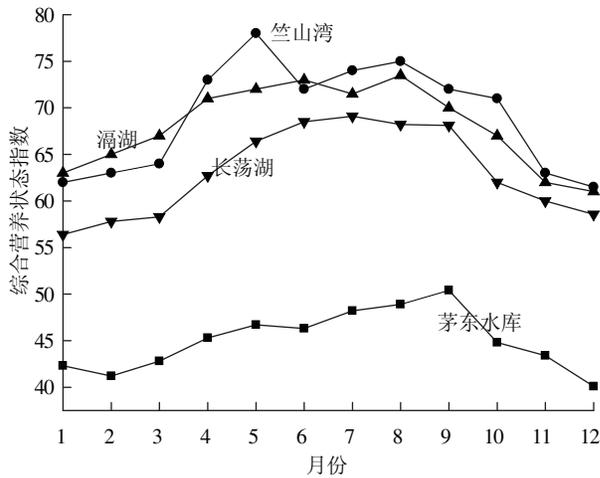


图4 洮湍水系主要湖库富营养化程度全年变化

3.3 汇水域土地利用状况及其与富营养化的关系

比较洮湍水系4个湖库上游汇水区域的土地利用状况(图5)可知,茅东水库具有高林地覆盖(79.8%)的特征,有利于水库水质的保护;其余3个湖泊表现为较强的沿流域变化的特点,自上而下林地及草地从23.6%显著减少到5.0%,水域湿地从20.7%减少到16.9%,农田从39.2%增加到

48.9%,建设用地从16.6%增加到29.2%。林地、草地及水域湿地是环境自净能力的有利因素,其总覆盖率以80.8%,44.3%,34.7%,21.9%的顺序递减,农田及建设用地作为不利因素,其总覆盖率则以19.2%,55.7%,65.3%,78.1%的顺序递增,两类土地覆盖率与综合营养状况指数呈正相关($P < 0.05$)。因此,从汇水域土地利用的宏观视角看,洮湍水系从上游到下游,区域环境的自净能力呈减弱趋势,农业面源污染、城镇生活污染及工业污染的负荷呈增加趋势,富营养化生态风险增大。

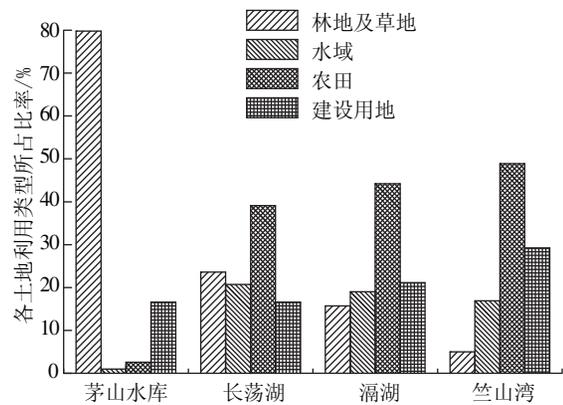


图5 洮湍水系主要湖库汇水域土地利用状况

3.4 富营养化藻类效应及其与渔业养殖结构的关系

洮湍水系4个湖库的浮游植物监测及水华观测结果显示(表3),蓝藻均为优势种,其中茅东水库以美丽颤藻和平裂藻为优势种,优势度30%左右,藻类总密度小于0.2亿个/L;长荡湖和洮湖以点状平裂藻为优势种,优势度近70%,但藻类总密度相差大,分别为小于0.2亿个/L和大于1亿个/L;竺山湾以铜绿微囊藻为优势种,优势度高达90%以上,藻类总密度大于1亿个/L。茅东水库未有表面水华发生,长荡湖和洮湖仅短时间少量发生,竺山湾则长时间大量发生,黑臭仅竺山湾有较大规模发生,这些反映了洮湍水系沿流域而下湖泊富营养及其灾害生态风险加重的趋势。从藻类及综合营养状态指数的情况看,富营养化效应严重的湖泊是洮湖和竺山湾,然而,前者以小型的点状平裂藻为优势种,几乎无表面水华出现,后者以群体颗粒较大的铜绿微囊藻为优势种,频频爆发蓝藻表面水华并发生较大规模黑臭。实际上,这与两湖的渔业养殖结构有着密切联系。洮湖的

渔业养殖以鲢、鳙鱼为主,年养殖量约为4 000万尾左右,鲢、鳙鱼以水中浮游动植物为食,能高效滤食微囊藻,被形象地称为“水体清洁工”。中科院刘建康院士等认为鲢、鳙鱼遏制微囊藻水华的有效放养密度(亦即有效生物量)为46~50 g/

m³[12],洮湖鲢、鳙鱼的有效生物量远远高于这一水平,在鲢、鳙鱼的长期滤食作用下,洮湖的微囊藻得到了有效控制,水体中以细胞颗粒极小的平裂藻为优势藻种,虽然其密度较高,但不会形成表面水华。

表3 洮湖水系主要湖库浮游植物、表面水华及黑臭状况

湖库名称	物种数/个	密度/(万个·L ⁻¹)	优势种	拉丁文名	优势度/%	表面水华		黑臭	
						发生面积/km ²	持续时间/d	发生面积/km ²	持续时间/d
茅东水库	40	1 521	美丽颤藻	<i>Oscillatoria formosa</i>	33.3	—	—	—	—
			平裂藻	<i>Merismopedia sp.</i>	30.3	—	—	—	—
长荡湖	50	1 700	点状平裂藻	<i>Merismopedia punctata</i>	68.4	±0.5	±5	—	—
洮湖	44	17 833	点状平裂藻	<i>Merismopedia punctata</i>	66.5	±2	±7	—	—
竺山湾	46	18 900	铜绿微囊藻	<i>Microcystis aeruginosa</i>	96.9	>40	>100	2~10	13*

注:①“—”表示无发生,②*为发生2次共持续的时间。

4 结论

洮湖水系主要湖库富营养化程度已达中度富营养化,且下游洮湖和竺山湾已逼近重度富营养化,发生灾害的生态风险大。其汇水域农田及建设用地的比例都高达65%以上,农业面源污染、城镇生活污染及工业污染的压力很大,需要以流域生态学的观点监控和治理湖泊,对太湖特别是竺山湾的监控和治理不能忽视洮湖水系,而洮湖又是其关键,在洮湖养殖鲢、鳙鱼对微囊藻表面水华的控制作用说明在竺山湾等太湖流域水体的治理中生物调控措施值得借鉴。

[参考文献]

- [1] 靳晓莉,高俊峰,赵广举. 太湖流域近20年社会经济发展对水环境影响及发展趋势[J]. 长江流域资源与环境,2006,15(3):298-302.
- [2] 朱广伟. 太湖富营养化现状及原因分析[J]. 湖泊科学,2008,20(1):21-26.
- [3] 毛新伟,徐枫,徐彬,等. 太湖水质及富营养化变化趋势分析[J]. 水资源保护,2009,25(1):48-51.

- [4] 张艳艳. 试论太湖富营养化的发展、现状及治理[J]. 环境科学与管理,2009,34(5):126-129.
- [5] 吴刚,蔡庆华. 流域生态学研究内容的整体表述[J]. 生态学报,1998,18(6):575-581.
- [6] 阎水玉,王祥荣. 流域生态学与太湖流域防洪、治污及可持续发展[J]. 湖泊科学,2001,13(1):1-8.
- [7] 戈礼宾,张泉荣,黄利亚. 太湖进出水量变化及水量平衡初步分析[J]. 江苏水利,2007(11):33-34.
- [8] 金相灿,屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990:286-302.
- [9] 陈娟,刘凌. 基于熵权的未确知测度模型在湖库富营养化评价中的应用[J]. 河海大学学报:自然科学版,2008,36(4):452-455.
- [10] 王璞玉,潘竟虎,韩进凤,等. GIS和遥感支持下的小流域非点源污染负荷估算[J]. 资源开发与市场,2006,22(5):419-421.
- [11] 王小治,尹微琴,单玉华,等. 太湖地区湿沉降中氮磷输入量——以常熟生态站为例[J]. 应用生态学报,2009,20(10):2487-2492.
- [12] 刘建康,谢平. 用鲢鳙直接控制微囊藻水华的围隔试验和湖泊实践[J]. 生态科学,2003,22(3):193-198.

(本栏目编辑 周立平)