

气候对巢湖东半湖水体环境变化的驱动效应

左胜鹏, 叶良涛, 梅慧

(安徽师范大学 环境科学与工程学院, 安徽 芜湖 241000)

摘要: 分析了小尺度气候变化对巢湖水体环境的影响, 并揭示了水体营养生态对气候变化的响应机制。结果表明, 年降雨量、年均温度、年日照时数变化稳定, 平均值分别为 1 176.2 mm, 15.96 °C 和 1 906 h, 而高温天数 (> 35 °C) 年际变化显著 (4~32 d/a)。调查期间总氮(TN)和总磷(TP)变化动态为开口向下的“凸”型抛物线形式, 而高锰酸盐指数(COD_{Mn})和叶绿素 a(Chla) 总体呈现为“凹”型曲线, 水体总体呈现为中度营养状态。CCA 分析发现巢湖区域的年降雨量、年均温度、年高温天数 (> 35 °C)、年日照时数与湖水中 TN, TP, COD_{Mn} 和 Chla 呈显著相关性。其中 TN, TP, COD_{Mn} 和年日照时数对水体营养状态影响显著, 贡献率分别为 69%, 45%, 36% 和 27%。因此, 可推测日照时数年际变化是导致水质变化的重要因素之一, 气候因子与 TN 和 TP 在一定条件下对水体富营养化形成具有协同效应。

关键词: 巢湖东半湖; 气候要素; 水环境; 胁迫响应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)04-0028-04

中图分类号: X143

Driving Effects of Regional Climate on Dynamics of Water Environment in Eastern Half of Chaohu Lake

ZU O Sheng-peng, YE Liang-tao, MEI Hui

(College of Environmental Sciences and Engineering, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000, China)

Abstract: The small-scale climate change and water environment in the eastern half of Chaohu Lake was investigated by canonical correspondence analysis (CCA) in 1987—2007. The results were showed as the follows. Annual precipitation, mean temperature per year, and yearly sunlight hours varied constantly in about twenty years with mean value of 1 176.19 mm, 15.96 °C, 1 906 h, respectively. However, annual days of high temperature over 35 °C showed a significant difference among surveyed years, which ranged within 4~32 d/a. Water circumstance of eastern half of Chaohu Lake displayed a non-consistent change with that of climate. In these years, Total nitrogen(TN) and total phosphor(TP) exhibited a convex track of parabola curve. The rest parameters like COD_{Mn} and Chla changed with the concave curve. It was deduced that eastern half of Chaohu Lake was evolving in meso-trophic status by typical indicators such as eutrophication index (EI, mean 41.22 annually) and nutrient quality index(NQI, 1.95~5.86). Relationship analysis indicated that climate factors were closely related with water indicators. Especially, TN, TP, COD_{Mn}, and sunlight hours contributed largely to meso-eutrophication in eastern half of Chaohu Lake, whose influential coefficient was 69%, 45%, 36%, and 27%. In conclusion, the dynamic of sunlight hours for years will drive predominantly the variation of water quality of eastern half of Chaohu Lake. Especially, when coupling with high contents of TN and TP, the effects of climate factors will be more significant.

Keywords: eastern half of Chaohu Lake; climate factor; water environment; pressure response

水体富营养化问题已成为当今世界性的水污染治理难题,也是全球性的环境问题之一。目前,我国湖泊由水质污染引起的富营养化问题已成为困扰中国经济发展的主要环境问题之一,而巢湖作为安徽省

重要的淡水资源,富营养化程度越来越严重,已引起该区省、市环保局和国家环保局的严重关切^[1]。近年来针对巢湖水污染和水体富营养化开展了大量的研究。韩小勇^[2]对巢湖水质污染状况进行了分析研究。

收稿日期: 2010-08-31

修回日期: 2010-12-08

资助项目: 国家自然科学基金项目“富营养化水体中水生高等植物化感抑藻机制及其评价: 以巢湖为例”(30900186); 安徽高等学校省级自然科学研究项目(KJ2008B192)

作者简介: 左胜鹏(1979—),男(汉族),江西省南昌市人,博士,副教授,从事环境生态学教学与科研工作。E-mail: zuoshengpeng@163.com.

曹德菊^[3]对水体重金属进行了测试,并分析了生物累积效应。阎伍玖等^[4]探讨了不同土地利用类型的地表径流对巢湖污染的影响,比较了大豆地、水稻田、白菜地、小麦地、山芋地等土地利用类型的污染特征。由于自然因素及人为因素等综合影响,全球、各个国家、地区、流域等一系列尺度上的气候不断出现大范围的异常现象,极端气候事件频繁发生,如暴雨洪涝、干旱、台风、热浪、低温冻害、沙尘暴等^[5]。如安徽省在1991,1996,1999及2003年均发生全省性或区域性的大涝^[6]。当前,从气候学角度如降雨、风向、风速、光照、气温和气压等气候要素研究富营养化形成机制以及水华发生发展爆发等研究较少^[7-8]。本研究根据近年来巢湖东半湖富营养化有加重的趋势,分别从气候要素和营养状态的调查与评价这两个角度,研究近20 a来(1987—2007年)巢湖地区区域气候变化状况对巢湖水环境的影响以及水环境对气候事件的响应,从而为进一步探索巢湖水体富营养化机理和水生态持续发展提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 巢湖概况

巢湖湖水依赖地表径流和湖面降水补给,入湖河流共33条,其中有6条主要支流:南淝河、派河、杭埠—丰乐河和白石山河由西部汇入湖区,柘皋河和兆河由东部汇入湖区。1956—1969年间兆河闸、巢湖闸和裕溪闸相继建成之后,巢湖基本为封闭半封闭水体,多年平均水深2.69 m。巢湖流域属亚热带和暖温带过渡性地副热带季风气候区。

1.2 监测项目

在1987—2007年期间,由于巢湖监测点位的调整、变迁和优化,以及一些环境整治工程的实施,导致一些水体和测点的监测数据缺乏连续性,因此主要采用巢湖东半湖忠庙、龟山、巢湖闸、湖心、中埠等监测点的Chl_a, TP, TN, COD_{Mn}数据,测点各项目监测分析方法为《地表水监测技术规范》中的标准方法,具体统计数据主要来自巢湖环境监测中心站,同时依据安徽省环境监测中心站数据为校核。1987—2007年巢湖流域气候变化,主要选取年降雨量、年均温度、年高温天数以及年日照时数,其数据主要来源于安徽省气象局。

1.3 研究方法

根据湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规范,湖泊(水库)富营养化状况评价指标采用Chl_a, TP, TN, COD_{Mn}作为水体综合营养状态评价指标,综合富营养化指数和营养状态质量指数参照卡尔森方法^[9]。

1.4 数据处理与统计

利用JMP 5.0.1和CANOCO for Windows 4.5软件处理数据,同时进行canonical correspondence analysis (CCA)分析。

2 结果与分析

2.1 近20 a来巢湖流域气候要素变化

通过分析研究气象资料可以得出,1987—2007年巢湖地区气候变化基本平稳。其中年平均温度,最高17.0℃(1990年),最低温度为14.4℃(1988年),调查期间平均温度16.2℃。年降水量最高值发生在1991年(1 600.2 mm),最低值发生2001年(800.6 mm),20 a来平均降水量为1 400.3 mm。1987—1998年间,年均温度和年均降水量变化规律基本一致,而1989—2007年间两者变化规律刚好相反,可能与安徽地区水陆非均匀分布有关,降水量年际分布不仅与气温有关,也可能与湿度、光照、蒸发量等因素有关。从每年>35℃的天数来看,20 a来年际变化差异显著,最高有35 d/a(1995年),最低不到5 d/a(1987年)。2002年以前,高温天数较低(平均为15 d/a),2002年以后,高温天数逐渐增多,基本达到平均22 d/a左右。1987—1998年,年光照时数变化不稳定,1999—2003年,年光照时数变化基本达到恒定,之后年光照时数有所升高。此外,高温天数与光照时数年际变化不一致,无显著相关性。

2.2 近20 a来巢湖东半湖水体环境变化

近20 a来,巢湖东半湖水体总氮和总磷表现先增后降,总体呈现为抛物线形式,巢湖东半湖水体氮磷营养污染有逐渐减弱的趋势。两者存在显著相关性,其回归方程为:

$$y = 1.4738x + 0.8620 \quad R^2 = 0.7195$$

式中: y ——TN含量(mg/L); x ——TP含量(mg/L); 样本数量: $n = 20$; 自由度 $f = 19$; t 检验: $p = 0.0012$ 。

数据分析结果表明, N/P为0.34~0.95,对藻类生长来说,表现为氮不足,可能是藻类爆发的限制因素之一(图1a)。而COD_{Mn}年均指数稳定在5 mg/L左右,个别达到8.5 mg/L,总体趋势为先升后降。对藻类Chl_a分析发现,Chl_a变化不稳定,1994年以前,有逐渐升高趋势,在1994年降为2.00 μg/L而后逐渐升高,在2000年达到最高,为5.92 μg/L;2001—2002年为调查期的极小值,2003—2004年突变为极大值,为7.56 μg/L,而后逐渐变小(图1b)。

2.3 近20 a来巢湖东半湖营养生态动态

通过TN, TP, COD_{Mn}, Chl_a等4个参数,统计得出20 a间富营养化指数(E)和营养状态质量指数

(NQI)变化动态(图 2)。从图 2 可以看出, 年际富营养化指数变化无明显规律, 2000 年以前巢湖东半湖水体富营养化指数在 45 上下波动。2001 年营养指数达到极低值 27.65, 2004 年回到极大值 48.12, 总体为中度营养水平, 水平总体良好, 但有逐渐向轻度污染转化趋势。从营养状态质量指数可看出, 与富营养化指数变化趋势明显不同, 1985—1995 年指数

逐渐升高, 在 1995 年达到极大值 5.81, 而后出现拐点, 有 2 a 的指数直线上升期。1998 年后营养状态质量指数逐渐下降, 到 2006, 2007 年略有回升。总体趋势为 1999 年以前为富营养状态, 之后为中营养状态, 营养状态质量指数反应的水体性质基本与富营养化指数一致, 水体呈逐渐好转的趋势, 总体为中营养状态。

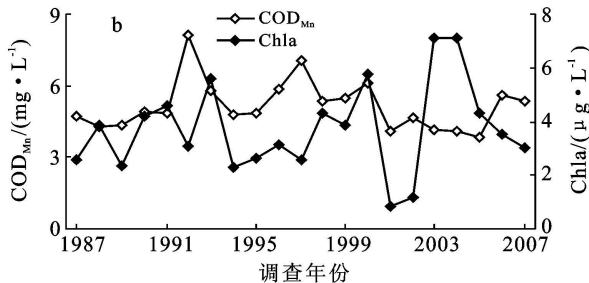
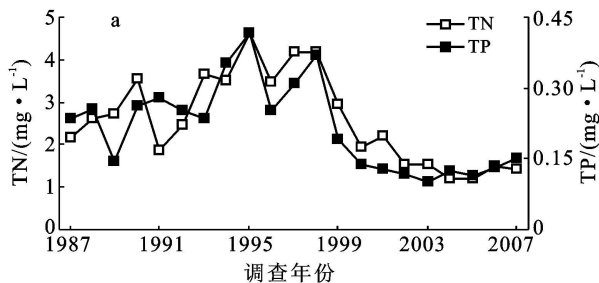


图 1 巢湖水体环境代表性参数 20 a 来演变动态

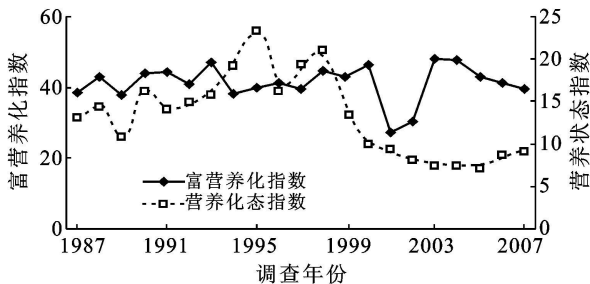


图 2 巢湖水体富营养化指数和营养状态指数年际变化(1987—2007)

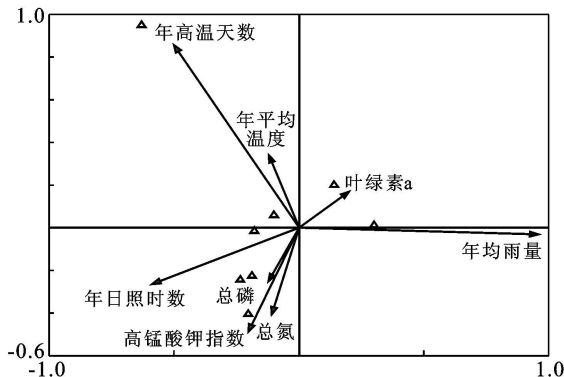


图 3 区域气候与巢湖东半湖水环境的典型相关性

2.4 区域气候要素与巢湖东半湖水环境的典型相关性

从图 3 可看出近 20 a 来, TP, TN, COD_{Mn}以及年日照时数(hours)等 4 个参数素之间呈正显著相关关系, 年日照时数(hours)贡献率为 69%, 对水体中营养化影响最大, 其次为高锰酸盐指数贡献率为 45%, 最后为 TN 和 TP, 贡献率为 36%和 27%。年平均温度与年高温天数两者变化规律一致, 年高温天数(> 35 ℃)越长, 年均温度(temp)越高, 两者对 TP, TN, COD_{Mn}和年日照时数为负反馈关系, 因此年高温天数和年均温度对水体富营养化有一定的制约作用。而 Chla 和降水量对水体营养化水平有很强的调节能力, Chla 可能反应水体藻类生产力, 由于水生生物, 如蓝藻、绿藻等自疏效应, 可能有助于藻密度降低, 而降水由于水文动力学作用和 TN 和 TP 的稀释效应, 可能导致水体环境缓冲能力升高, 有利于水体自然修复; 若降水为酸性水或富含营养盐水, 则水体可能有恶化倾向。

3 结论

巢湖流域年均温度、年高温天数与富营养化指数表现出负相关性, 可能年均气温较低(< 16 ℃), 对水体 TN, TP 释放和 COD_{Mn}等影响不显著, 综合效应不明显, 而气温过高(> 35 ℃)对藻类生长活动有抑制作用, 从而降低爆发概率。一般水温对富营养化有促进作用, 如 Genkai 等^[10]研究得出水温可能影响清水与浑水状态转化, 对中等深度湖泊来说, 温度越高, 底泥释放磷增多, 富营养化严重, 大型水生植物生物修复水体困难。可推断大气环境温度与水体温度对营养盐形成、释放途径以及藻类代谢影响方式和机制不同, 大气温度越高, 影响水温变化, 可能超出水生生物适宜温度, 促使水体富营养化水平有所下降。如 Samir 等^[11]研究发现当温度大于水温 30 ℃以上时, 浮萍的内源生长速率降低, 生物量增长开始下降。通过对年均气温、年高温天数与富营养化指数相关性分

析(图3)表明,气温升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 营养化指数下降 0.0165 个单位,年高温天数每增加 1 d , 营养化指数可下降 0.1214 个单位。因此,尽管巢湖东半湖总磷、总氮平均浓度分别为 0.22 和 2.59 mg/L ,远高于湖库水体出现富营养化的TP和TN临界浓度 $0.02, 0.2\text{ mg/L}$,但仍然属中度富营养化水平,这可能与年均气温过低和年高温天数($> 35\text{ }^{\circ}\text{C}$)影响水体溶解氧(DO)变化,从而诱发水华的休眠和间接抑制有关,因为蓝藻生长和光合作用特征及浮力调控存在一定温度范围($10\sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$)^[12],如 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时铜绿微囊藻比增殖速率最大,但生长达到最大增殖后,即开始沉淀,绿色消退,溶液呈乳白色。这与王凤^[1]研究结果相近,其研究发现巢湖水体2001—2006年间营养状态在轻度富营养和中度富营养之间。

一般年日照时数长,则太阳辐射强,光照时间和强度大。本研究发现年日照时数对TN, TP, COD_{Mn} 和Chla有正面显著影响。年日照时数每增加 1 h ,水体中TN, TP和 COD_{Mn} 分别增加 $0.0027, 0.0004$ 和 0.0016 mg/L ,而Chla增加 $0.01\text{ }\mu\text{g/L}$,从而水体富营养化指数增加 0.0054 。有报道在实验室条件下铜绿微囊藻在 $1\ 000\sim 5\ 000\text{ Lx}$,随光强的增加,光密度增加,约为在 $3\ 200\text{ Lx}$,增殖速率最大,但 $3\ 000\text{ Lux}$ 为最适宜光强^[13]。其它实验发现高温强光照条件下导致藻类生长对磷的需求增加,刺激了沉积物中生物可利用磷(AAP)的释放,同时也刺激了沉积物各种不同形态磷之间的相互转化,因此光温条件促进鱼腥藻和铜绿微囊藻在竞争中取得优势,而且水体有向富营养化加剧的趋势转化^[14-15]。而光照是影响水生生物生产力的主要因素之一,低光照对水生生物有抑制效应^[16],如菹草在低温和高营养下光合作用下降,碳消耗增大,氮易积累,蛋白质和碳水化合物含量减少,物种有逐渐消亡的危险^[17]。因此,可以建立光照与生物、水质参数的相关方程,如Brush和Brawley^[18]提出光和生物量BZpIo改进模型,该模型集合入射光强、光衰减系数、光合效率、最大光合速率等,引入修正系数,从线形方程转变为多元多项式方程。

[参 考 文 献]

- [1] 王凤. 巢湖水体营养状态分析及富营养化防治对策[J]. 江苏环境科技, 2007, 20(1): 47-49.
- [2] 韩小勇. 巢湖水质调查与研究[J]. 水资源保护, 1998(1): 24-28.
- [3] 曹得菊, 岳永德, 黄祥明, 等. 巢湖水体中Pb, Cu, Fe污染的环境质量评价[J]. 2004, 24(4): 509-512.
- [4] 阎伍玖, 鲍强. 巢湖流域农业活动与非点源污染初步研究[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 130-131.
- [5] William B. Climate: Into the 21st Century[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [6] 陈梦春, 程先富. 安徽省近41年气候变化特征[J]. 巢湖学院学报, 2007, 9(6): 60-64.
- [7] Anna V, Marina M, Riccardo D B. Eutrophication-like response to climate warming: An analysis of Lago Maggiore(N. Italy) zooplankton in contrasting years[J]. Journal of Limnology, 2008, 67(2): 87-92.
- [8] Erik J, Martin S E, Mariana M, et al. Shallow lake restoration by nutrient loading reduction: Some recent findings and challenges ahead [J]. Hydrobiologia, 2007, 584: 239-252.
- [9] Carlson R E. Trophic state index for lakes [J]. Limnology and Oceanography, 1977, 22(2): 364-369.
- [10] Genkai K M, Carpenter S R. Eutrophication due to phosphorus recycling in relation to lake morphometry, temperature, and macrophytes [J]. Ecology, 2005, 86(1): 210-219.
- [11] Samir L, Frederic M, Louise M, et al. Intrinsic growth rate: A new approach to evaluate the effects of temperature, photoperiod and phosphorus-nitrogen concentrations on duckweed growth under controlled eutrophication[J]. Water Research, 2007, 41(11): 2333-2340.
- [12] 金相灿, 储昭升, 杨波, 等. 温度对水华微囊藻及孟氏浮游蓝丝藻生长、光合作用及浮力变化的影响[J]. 环境科学学报, 2008, 28(1): 50-55.
- [13] 刘玉生, 韩梅, 梁占彬, 等. 光照、温度和营养盐对滇池微囊藻生长的影响[J]. 环境科学研究, 1995, 8(6): 7-11.
- [14] 姜霞, 王琦, 金相灿, 等. 光照与通气方式对蓝、绿藻竞争生长和磷的水-沉积物界面过程的影响[J]. 环境科学学报, 2008, 28(1): 31-36.
- [15] Wang X D, Qin B Q, Gao G. Experimental examination on cyanobacterial bloom formation under high water temperature and strong solar irradiance[J]. Ecological Sciences, 2008, 27(5): 357-361.
- [16] Schiller D V, Marti E, Riera J L, et al. Effects of nutrients and light on periphyton biomass and nitrogen uptake in Mediterranean streams with contrasting land uses[J]. Freshwater Biology, 2007, 52(5): 891-906.
- [17] Zhang M, Cao T, Ni L Y, et al. Carbon, nitrogen and antioxidant enzyme responses of *Potamogeton crispus* to both low light and high nutrient stresses [J]. Environmental and Experimental Botany, 2010, 68(1): 44-50.
- [18] Brush M J, Brawley J W. Adapting the light-biomass models of phytoplankton primary production to shallow marine ecosystems [J]. Journal of Marine Systems, 2009, 75(1): 227-235.