

阳澄湖西湖水源地富营养化时空变化特征分析

吕文, 孙瑞瑞, 王诚, 杨惠, 杨金艳, 郑芸洁
(江苏省水文水资源勘测局苏州分局, 江苏 苏州 215042)

摘要: 研究了阳澄湖西湖南部、中部和北部 2016 年 8 月—2017 年 7 月营养状态及营养盐时空变化特征。研究表明: 阳澄湖西湖营养状态及营养盐季节变化明显、空间分异显著; 阳澄湖西湖整体为中度富营养状态, 时间变化特征中, TSI 和 Chl. a 呈春夏单峰型, 但 TN 和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 呈冬季单峰型, TP 夏、秋两季相对于冬、春两季浓度较高; 虽然 N、P 营养盐与营养状态时间变化差异较大, 但浓度均已不构成限制, 在气温和光照适宜时, 春夏季藻类繁殖旺盛; 空间分布特征上, 阳澄湖西湖区营养状态、Chl. a 和 N、P 营养盐呈现研究区南部劣于中部和北部, 南部的河道污染量相比北部和中部大, 需要加强南部入湖河流的监管, 控制入湖河流的营养盐输入。

关键词: 富营养化; 时空变化; 水源地; 阳澄湖西湖

中图分类号: X824

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)03-0087-04

Spatial and temporal variation characteristics of water source eutrophication in West Lake of Yangcheng Lake

LÜ Wen, SUN Ruirui, WANG Cheng, YANG Hui, YANG Jinyan, ZHENG Yunjie

(Suzhou Substation of Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Suzhou 215042, China)

Abstract: Based on the water quality investigation from August, 2016, to July, 2017, in Southern, Middle, Northern West Yangcheng Lake, the spatial and temporal variations of nutritional status and water nutrients in West Yangcheng Lake were analyzed. The results are as follow: the nutritional status and nutrient of the West Lake of Yangcheng Lake have obvious seasonal changes and significant spatial differentiation. According to the eutrophication evaluation standard the trophic status was classified to medium eutrophication. TSI and the concentration of chlorophyll-a showed a significant seasonal variations with one concentration peaks which occurred in spring and summer, however, the concentrations of TN and $\text{NH}_3\text{-N}$ showed a significant seasonal variations with one concentration peak which occurred in winter and the summer and autumn mean of TP was significantly higher than that of spring and winter. Although the time difference between nutritional status and N, P nutrients is large, the concentration is no longer the limit. When the temperature and light are suitable, algae bloom vigorously in spring and summer. Nutritional status and water nutrients in the southern West Yangcheng Lake were inferior to middle and northern parts, as numbers of pollutants in southern rivers were larger than those of middle and northern rivers. Control measures of water nutrients discharges to rivers were desiderated.

Key words: eutrophic status characters; spatial and temporal variation; water resource area; West Lake of Yangcheng Lake

随着长三角经济和城市化的快速发展,太湖流域湖泊水质富营养化问题尤为突出^[1],造成了如 2007 年的太湖蓝藻爆发^[2]、无锡供水危机等难题,而氮、磷等营养盐是湖泊富营养化的主要限制因子^[3-4],其中很多污染主要来自于湖泊上游河流,因

此控制入湖河流富营养盐输入是湖泊保护的重要途径^[5-7]。阳澄湖是苏州市重要的饮用水源地,也是著名的大闸蟹养殖基地,养殖业的繁盛也相应带来了投放饵料,向水体排放 N、P 营养盐^[8],另外阳澄

收稿日期: 2017-11-02; 修回日期: 2017-11-28

基金项目: 苏州市水利水务科技项目(2016004)

作者简介: 吕文(1986-),女,江西九江人,博士,工程师,研究方向为水环境分析与评价。

湖的入湖河流主要分布在西部和西北部^[9],容易受到外源污染的冲击,所以亟需对阳澄西湖水体进行富营养化监测。施陈江^[10]、杨超^[8]对阳澄西湖主要进水口水质及污染物通量进行了调查;梁长冀^[11]、张新华等^[12]评价了阳澄西湖沿岸相城区水环境状况,桂智凡等^[13]、刘洋等^[14]、汤永刚^[15]对阳澄湖湖区营养化进程进行了评价分析。前人对于阳澄湖入湖河道和阳澄湖整体湖区水质进行了评价分析,但缺乏针对接纳入湖河道较多的阳澄西湖水质的时空特征分析,因此本文基于阳澄西湖水源地 3 个监测点的采样数据,探讨阳澄西湖北部、中部、南部富营养化时空差异,为阳澄湖西湖水源地入湖河流监管防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

阳澄湖是太湖流域平原上的第三大湖泊,地处苏州市相城区、工业园区和昆山市。阳澄湖水域总面积为 117.4 km²,南北长约 17.0 km,东西宽约 11.0 km,湖中有二条东北—西南走向的狭长半岛,把阳澄湖分为东湖、中湖和西湖。其中研究区域阳澄湖西湖约占总面积 26.9%,平均水深约 2.9 m。湖区水位变幅平缓,年变幅一般在 1.2 m 以下,平均水位 3.2 m。

1.2 采样与分析

阳澄湖西湖区域从南向北共布设 3 个监测点(图 1),采样时间每月采集 1 次。

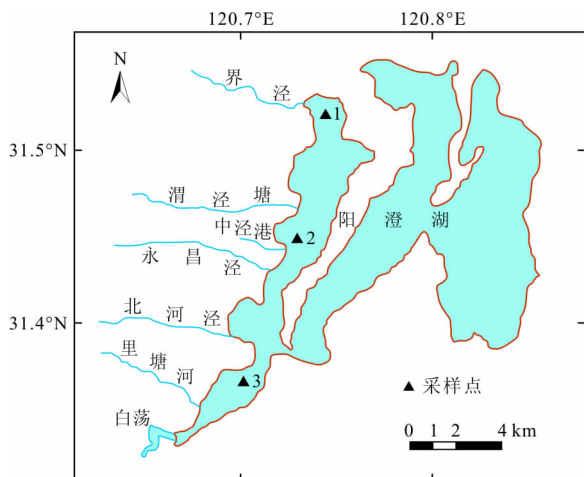


图 1 阳澄西湖采样点分布图

水样采集按 HJ/T91-2002《地表水和污水监测技术规范》^[16],透明度(*SD*)采用赛氏盘测定。pH、溶解氧(*DO*)、水温(*WT*)等采用美国哈希

HQ40D 多参数数字测定仪测定。总氮(*TN*)、总磷(*TP*)、氨氮(*NH₃-N*)、高锰酸盐指数(*COD_{Mn}*)等水质参数测定方法参照《水和废水监测分析方法》^[17]。叶绿素 *a*(*Chl. a*)参考《浮游植物叶绿素 *a* 测定的“热乙醇法”及其测定误差的探讨》^[18]。营养状态指数(*TSI*)计算,取 *Chl. a*、*SD* 及 *TP* 数据,按照蔡庆华等^[19]提出的湖泊富营养化评价综合模型计算。水质评价标准参考地表水环境质量标准(GB3838-2002)^[20]。

2 结果与讨论

2.1 时间变化特征

将阳澄湖西湖南部、中部和北部 3 个监测点的 2016 年 8 月—2017 年 7 月各月值进行平均,反映阳澄湖西湖整体营养状态时间变化特征(图 2)。

阳澄湖西湖 *TSI* 全年平均值为 62.8,为中度富营养状态。*Chl. a* 全年平均值为 16.0 μg/L,将 6 月极低值剔除,可知阳澄湖西湖 *TSI* 和 *Chl. a* 整体呈春夏单峰型。春季随着气温的升高,水温升高,光照适宜^[21],*DO* 偏高,浮游植物增殖能力加强,*Chl. a* 增大,至 4 月达到峰值。夏季光照强烈、水温过高,反而抑制了浮游植物的繁殖^[22]。

湖区 *TN* 均值为 1.67 mg/L, V 类;*NH₃-N* 均值为 0.22 mg/L, II 类;*TP* 均值为 0.111 mg/L, V 类。*N*、*P* 营养盐时间变化趋势差异较大。*TN* 和 *NH₃-N* 整体呈冬季单峰型,自春季逐渐下降,至盛夏低谷,之后逐渐上升,在 11 月份达到峰值。与许梅等^[23]在太湖入湖河流中的观测结果一致,即冬春季节氮含量高,夏秋季节相对含量低的特点,可能与河道输入有关,夏秋季为丰水期,同时农业活动正处于减弱期收获期,外源营养盐输入减少^[24]。*TP* 逐月变化趋势不明显,整体来说,*TP* 夏、秋两季相对于冬、春两季浓度较高,与桂智凡等^[13]监测结果一致,可能与湖泊养殖饵料碎屑沉积^[15]、气温升高、底泥释放^[25]有关。虽然 *N*、*P* 营养盐时间变化趋势差异较大,但浓度均已不构成限制,在气温和光照适宜时,藻类繁殖旺盛。

2.2 空间变化特征

将阳澄湖西湖北部、中部、南部 2016 年 8 月—2017 年 7 月逐月水质监测结果进行分析,结果见图 2。并以阳澄湖西湖营养状态及主要水环境参数的年平均值为参照,分别计算了南部、中部、北部 3 个湖区营养状态及主要水环境参数的年平均值相对于年平均值的距平系数(η),以便更加直观分析湖

区空间分异特征,结果见图3。

研究区南部各月 TSI 基本 >60 , 为中度富营养状态, 其中4月高达75.2, 接近重度富营养状态。中部除7、8月 TSI 略 >60 , 其余均为轻度富营养状态。研究区北部3~10月, 除6月外的整个生长季, TSI 均 >60 , 为中度富营养状态, 但在晚秋和冬季均为轻度富营养状态。整体来看, 研究区南部各月 TSI 高于北部和中部, 营养状态较差。这与2010年阳澄湖西湖区营养状态空间分异特征一致^[26]。Chl. a 各湖区大小情况与 TSI 基本一致。研究区南部平均 Chl. a 为 $29.0 \mu\text{g/L}$, 变幅为 $4.7 \sim 37.2 \mu\text{g/L}$; 研究区中部平均 Chl. a 为 $9.9 \mu\text{g/L}$, 变幅为 $1.4 \sim 29.0 \mu\text{g/L}$; 研究区北部平均 Chl. a 为 $12.7 \mu\text{g/L}$, 变幅为 $3.3 \sim 24.2 \mu\text{g/L}$ 。研究区南部平均值最大, 分别为中部、研究区北部的2.9、2.3倍。对应 SD 各湖区大小情况与 Chl. a 相反。研究区南部 SD 平均值为 0.51 m , 高于中部, 北部 SD 平均值 0.69 、 0.75 m , 研究区南部较高的 Chl. a 降低了水体 SD 。

N、P 营养盐各湖区情况与营养状态基本一致, 研究区南部营养盐浓度值均不同程度高于中部和北

部, 距平系数高达 $15.1\% \sim 25.6\%$ 。研究区南部 TN 均值为 1.81 mg/L , 分别高出中部、北部 3.4% 、 30.5% 。研究区南部 $\text{NH}_3\text{—N}$ 均值为 0.24 mg/L , 分别高出中部、北部 36.0% 、 19.1% 。研究区南部 TP 均值为 0.141 mg/L , 分别高出中部、北部 12.9% 、 46.3% 。这说明阳澄湖西湖区营养盐空间分异较大, 与湖区营养状态空间分异状态基本对应, 高营养盐的研究区南部 Chl. a 和 TSI 也高于中部、研究区北部。梁长冀^[26]统计分析阳澄湖区2002~2012年水环境参数, 发现北侧总体指标优于南侧。但反映有机污染的 COD_{Mn} 除了整个湖区全年变化平缓外, 各湖区空间差异也较小, 距平系数仅为 $1.0\% \sim 3.8\%$ 。阳澄湖作为过水性湖泊, 湖内水质直接受上游来水的影响, 湖区 N、P 营养盐空间分异可能与入湖河道水质有关。据阳澄湖西湖进水口监测结果显示, 白兔泾 TN 、 TP 含量2011年相比其它河流较高^[8]。阳澄湖西湖的主要入湖河道中, 污染物通量主要来自南部的里塘河^[27]。入湖河道中, 南部的河道污染物量相比北部和中部大, 可能影响了阳澄西湖湖区水质现状。

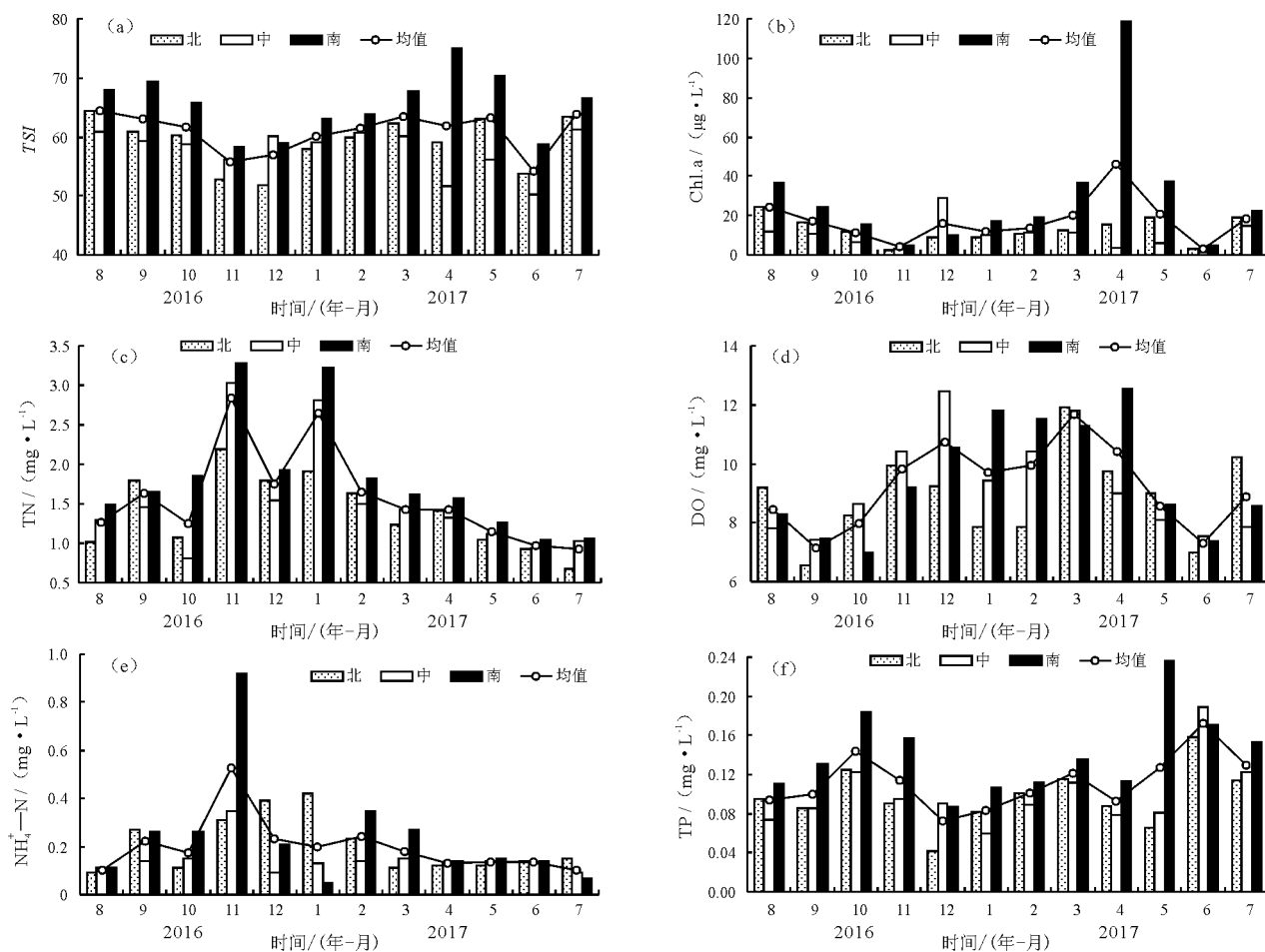


图2 2016-08~2017-07 阳澄湖西湖区各监测点营养状态及水环境参数变化特征

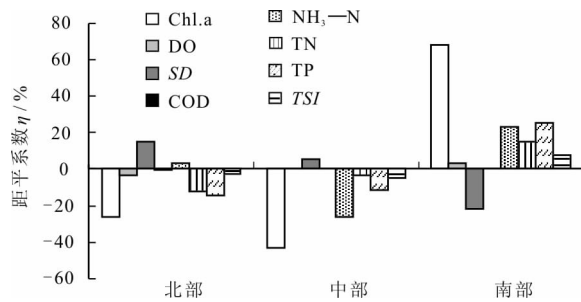


图3 阳澄湖西湖区各监测点营养状态及水环境参数分异特征

3 结论

(1) 阳澄湖西湖区为中度富营养状态, TSI 和 Chl. a 整体呈春夏单峰型, 与气温的夏季单峰型年内变化基本一致。由于丰水期营养盐输入减少, TN 和 NH₃-N 整体呈冬季单峰型, 但 TP 夏、秋两季相对于冬、春两季浓度较高, 可能与底泥释放有关。虽然 N、P 营养盐时间变化趋势差异较大, 但浓度均已不构成限制, 在气温和光照适宜时, 藻类繁殖旺盛。

(2) 阳澄湖西湖区营养状态、Chl. a 和 N、P 营养盐各湖区情况差异基本一致, 即研究区南部营养状态劣于中部和北部, N、P 营养盐均不同程度高于中部和北部, 可能与入湖河道水质空间差异有关。南部的河道污染物入湖负荷高于北部和中部, 需要加强南部入湖河流的监管, 控制入湖河流的营养盐输入。

参考文献:

- [1] QIN Boqiang, XU Pengzhu, WU Qinglong et al. Environmental issues of Lake Taihu, China [J]. *Hydrobiologia*, 2007, 581(1): 3-14.
- [2] 陆桂华, 马倩. 2009 年太湖水域“湖泛”监测与分析 [J]. *湖泊科学*, 2010, 22(4): 481-487.
- [3] 马倩, 刘俊杰, 高明远. 江苏省入太湖污染量分析 (1998-2007 年) [J]. *湖泊科学*, 2010, 22(1): 29-34.
- [4] JR W M L, WURTSBAUGH W A. Control of Lacustrine Phytoplankton by Nutrients: Erosion of the Phosphorus Paradigm [J]. *International Review of Hydrobiology*, 2010, 93(4-5): 446-465.
- [5] ZHOU F, LIU Y, GAO H. Application of multivariate statistical methods to water quality assessment of the watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong [J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2007, 132(1-3): 1-13.
- [6] CHEN Kunlun, WANG Xu, LI Dan, et al. Driving force of the morphological change of the urban lake ecosystem: A case study of Wuhan, 1990-2013 [J]. *Ecological Modelling*, 2015, 318: 204-209.
- [7] CHEN Yan, ZHAO Kangping, WU Yueying. Spatio-temporal patterns and source identification of water pollution in Lake Taihu (China) [J]. *Water*, 2016, 8(3): 86.
- [8] 杨超. 阳澄湖外源污染通量及物渔业利用技术研究 [D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- [9] 骆东玲. 浅水湖泊富营养化的机理与应对策略——以阳澄湖为例 [J]. *农业环境与发展*, 2007(3): 14-18.
- [10] 施陈江. 东太湖、阳澄湖外源污染物通量及增殖放流的生态、经济效益 [D]. 苏州: 苏州大学, 2011.
- [11] 梁长冀. 阳澄湖水体营养状况特征及趋势研究 [D]. 苏州: 苏州科技大学, 2015.
- [12] 张新华, 董雅文. 苏州市相城区水环境状况及污染防治对策 [J]. *水资源保护*, 2006, 22(1): 74-77.
- [13] 桂智凡, 薛滨, 姚书春, 等. 阳澄湖水质现状及原因探讨 [J]. *地理科学*, 2011, 31(12): 1487-1492.
- [14] 刘洋, 姚敏, 辛玉婷, 等. 阳澄湖水污染成因分析及整治对策研究 [J]. *污染防治技术*, 2014, 27(4): 55-59.
- [15] 汤永刚. 阳澄湖水质现状及河蟹生态养殖技术初步研究 [D]. 苏州: 苏州大学, 2010.
- [16] 国家环保总局. HJ/T91-2002 地表水和污水监测技术规范 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [17] 国家环保总局. 水和废水监测分析方法: 第四版 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [18] 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.
- [19] 蔡庆华, 刘建康. 评价湖泊富营养化的一个综合模型 [J]. *应用生态学报*, 2002, 13(12): 1674-1678.
- [20] 国家环保总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB3838-2002 地表水环境质量标准 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [21] 孔繁翔, 高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考 [J]. *生态学报*, 2005, 25(3): 589-595.
- [22] 李培培, 史文, 刘其根, 等. 千岛湖叶绿素 a 的时空分布及其与影响因子的相关分析 [J]. *湖泊科学*, 2011, 23(4): 568-574.
- [23] 许梅, 任瑞丽, 刘茂松. 太湖入湖河流水质指标的年变化规律 [J]. *南京林业大学学报 (自然科学版)*, 2007, 31(6): 121-124.
- [24] 朱广伟. 太湖水质的时空分异特征及其与水华的关系 [J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(5): 439-445.
- [25] 范成新, 张路, 秦伯强, 等. 风浪作用下太湖悬浮态颗粒中磷的动态释放估算 [J]. *中国科学 (D 辑: 地球科学)*, 2003, 33(8): 760-768.
- [26] 梁长冀. 阳澄湖水体营养状况特征及趋势研究 [D]. 苏州: 苏州科技大学, 2015.
- [27] 杨惠, 陈江, 谈剑宏. 阳澄湖入湖河道水质变化及污染物通量分析 [J]. *水资源保护*, 2016, 32(2): 129-132+138.