

# 固城湖水质时空变化特征与 富营养化评价

陆小明<sup>1</sup>, 李红敏<sup>2,3</sup>, 陈辉辉<sup>2</sup>, 谷孝鸿<sup>2</sup>

(1. 江苏省水文水资源勘测局, 江苏 南京 210029;

2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境重点实验室, 江苏 南京 210008;

3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:**于 2015—2018 年对固城湖流域的水质进行了连续采样监测,分析了芜申线高淳段整治通航后固城湖流域水质的时空变化特征,并对其富营养化水平进行综合评价。

**关键词:**固城湖; 水位; 水质; 时空变化; 营养状态

**中图分类号:**TV213.4      **文献标识码:**B      **文章编号:**1007-7839(2020)08-0020-04

## Spatiotemporal variation characteristics and eutrophication evaluation of water quality in Gucheng Lake

LU Xiaoming<sup>1</sup>, LI Hongmin<sup>2,3</sup>, CHEN Huihui<sup>2</sup>, GU Xiaohong<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Nanjing 210029, China;

2. Key Laboratory of Lakes and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** From 2015 to 2018, continuous sampling and monitoring were conducted on the water quality of Gucheng Lake basin, the temporal – spatial variation characteristics of water quality of Gucheng Lake basin after the regulation and navigation the Gaochun Section of Wushen Line were analyzed, and the eutrophication level was comprehensively evaluated.

**Key words:** Gucheng Lake; water level; water quality; temporal – spatial variation; nutritional status

“十一五”和“十二五”期间,交通部门实施了对芜申线的升级整治。其中,南京高淳段航道整治工程按三级航道标准建设,于 2016 年 1 月完工通航。南京高淳段航道长约 61 km,其中约有 8 km 经由固城湖湖区,其余经胥河与官溪河流域。固城湖位于南京市高淳区西南部,是高淳区唯一备用的大型集中式饮用水源地,也是南京市优质的水产品养殖基地,兼具饮用、灌溉、航运、渔业等功能,在保证当地居民生活用水、社会经济发展和生态环境平衡等方面起着举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。

芜申线高淳段整治工程虽然在施工过程中采取了相应的水生态保护措施,但航道疏浚、河岸带整治等改变了河道和固城湖原有的生境,不可避免对河道和固城湖原有的生态系统稳定性产生影响;芜申线航道等级提升后,船运的频度和强度增加,随着通航后运量的大幅度增长,也必然会产生增加大量的环境污染,一些污染负荷会直接或间接污染河道和固城湖水质;船运的频度和强度的增加所引起的含油废水排放增加,以及船舶溢油事故风险增加成为固城湖水源地安全的重要威胁。可以预见,

收稿日期:2020-05-18

基金项目:江苏省水利科技项目(2017013)

作者简介:陆小明(1968—),女,研究员级高级工程师,主要从事水文水资源工作。E-mail: 120832715@qq.com

航道整治通航对固城湖水源地的水质和生态安全将产生一定的影响。

针对固城湖水质和富营养化问题的研究报告中,曾庆飞等<sup>[2]</sup>于 2009 年对固城湖湖区及上下游河道的水质进行了调查分析,认为固城湖湖区水质好于上下游河道,处于轻度富营养化状态。李涛等<sup>[3]</sup>对 2001—2011 年固城湖的特征污染物及污染来源进行了探讨,谷先坤<sup>[4]</sup>等于 2012—2013 年分析了固城湖及其出入湖河道的水质时空分布特征。上述研究主要集中在 2013 年之前对固城湖水质状况的评估,缺少对当下固城湖及其出入湖河道的水质时空变化特征分析,尤其是芜申线高淳段通航以来固城湖水环境的变化及演变趋势尚不明确。

因此,笔者根据 2015—2018 年固城湖湖泊调查数据和所搜集到的 2009—2018 年固城湖水质监测资料,分析 2016 年芜申线高淳段通航前后固城湖湖区及主要出入湖河道水质的时空分布特征与富营养化水平,以期为固城湖的水环境健康和发源地保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

本次调查共设置了 12 个采样点,具体位置见图 1。官溪河入湖口(官进)1<sup>#</sup>,漆桥河入湖口(漆进)2<sup>#</sup>,胥河出湖口(胥出)3<sup>#</sup>,固城湖湖区(湖区):4<sup>#</sup>、5<sup>#</sup>、6<sup>#</sup>、7<sup>#</sup>、8<sup>#</sup>、9<sup>#</sup>、10<sup>#</sup>、11<sup>#</sup>、12<sup>#</sup>。

1.2 样品采集与分析

本次调查时间为 2015 年 8 月至 2018 年 7 月,分季度采样。使用 YSI 水质多参数监测仪自动检测水体的温度、pH 值、溶解氧(DO)浓度等指标;透明度(SD)利用透明度盘进行测定;水体中总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、化学需氧量(COD<sub>Mn</sub>)和悬浮物(SS)浓度等指标的分析参照文献《湖泊富营养化调查规范》<sup>[5]</sup>。

采用卡尔森指数法<sup>[6]</sup>对固城湖进行营养状态评价。并采用 0~100 的一系列连续数字对固城湖水体富营养状态进行分级(表 1)。

2 结果与讨论

2.1 固城湖水质时空变化特征

图 2 显示了固城湖湖区及主要出入湖河道的总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮、COD<sub>Mn</sub>、悬浮物(SS)及透明度(SD)2015—2018 年度变化趋势。从整体来看,TN 浓度为漆进>官进>胥出>湖区。除

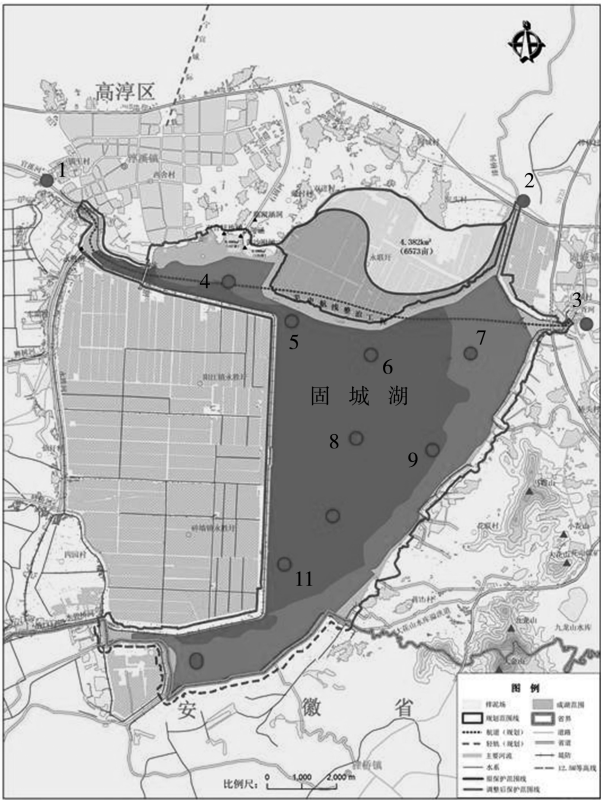


图 1 固城湖及芜申线各区域采样点位分布

表 1 水质类别与评分值

营养状态分级	评分值	定性评价
贫营养	$0 < \text{TLI}(\Sigma) \leq 30$	优
中营养	$30 < \text{TLI}(\Sigma) \leq 50$	良好
轻度富营养	$50 < \text{TLI}(\Sigma) \leq 60$	轻度污染
中度富营养	$60 < \text{TLI}(\Sigma) \leq 70$	中度污染
重度富营养	$70 < \text{TLI}(\Sigma) \leq 100$	重度污染

2018 年 1 月份之外,固城湖湖区 TN 的浓度变化范围为 0.81~1.25 mg·L<sup>-1</sup>,为Ⅲ~Ⅳ类水质,变化趋势与官溪河和漆桥河进水变化趋势相一致,说明湖区 TN 主要受到进水河道官溪河和漆桥河 TN 的影响。从不同季节上看,湖区 TN 夏季较低,水质较好,而秋季和冬季较高,水质较差。湖区 TN 浓度的最高值出现在 2018 年 1 月份,达 2.47mg·L<sup>-1</sup>,此时漆桥河 TN 浓度也达到了近 3 年的最大值,两者趋势一致,表明湖区 TN 浓度的升高与漆桥河进水河道 TN 浓度的升高有直接关系。除 2017 年 10 月份之外,固城湖湖区 TP 浓度基本小于 0.05 mg·L<sup>-1</sup>,为Ⅲ类,而进出水河道水质明显劣于湖区水质。从整体来看,TP 浓度为漆进>官进>胥出>湖区,且季节变化趋势较为一致,可以看出

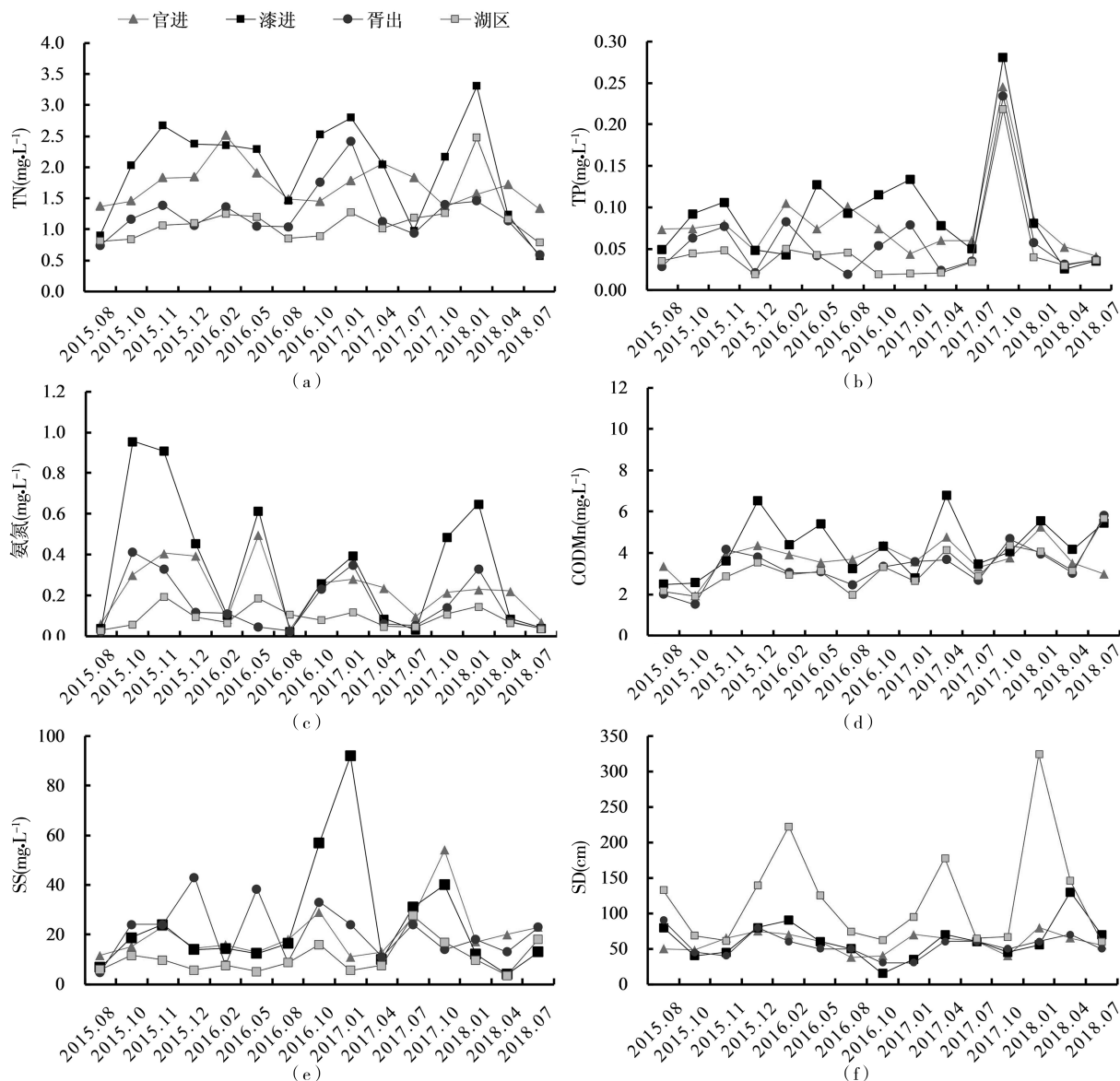


图2 固城湖流域水体主要理化因子时空变化(2015—2018年)

湖区 TP 主要来源于漆桥河和官溪河进水。2017 年 10 月份湖区及出入湖河道 TP 浓度同时升高,均高于  $0.2\text{mg/L}$ ,可能由于该月份降水较多,2017 年 10 月份固城湖水位达  $10.17\text{m}$ ,雨水冲刷导致附近农业生产及养殖废水等高含磷污水过量进入河道,进而导致湖区 TP 含量升高。研究发现固城湖湖区氮磷主要来源为水产养殖及农业非点源污染氮磷输移<sup>[7-8]</sup>,秋冬季节一般为河蟹养殖的收获期,排放养殖尾水增加,致使氮磷浓度升高。当前,氮磷仍是固城湖的主要污染物。

氨氮是水体中的耗氧污染物之一,也是藻类和水生植物可以直接吸收利用的形态氮,可导致水富营养化现象产生<sup>[9]</sup>。固城湖湖区及其出入湖河道氨氮浓度均小于  $1\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (Ⅲ类水质标准),表明氨氮不是固城湖的主要污染物;氨氮变化趋势和 TN

相似,湖区氨氮污染物的主要来源仍然是官溪河和漆桥河进水,其浓度大小依次为漆进 > 官进 > 胥出 > 湖区。官溪河、漆桥河进水氨氮浓度在秋冬季节会明显升高。固城湖流域氨氮主要来源为养殖池塘养殖尾水的排放<sup>[7]</sup>,因此,秋冬季养殖尾水排放增加是造成这两个季节官溪河、漆桥河进水氨氮迅速升高的主要原因。固城湖湖区  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度整体低于  $6\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  (Ⅲ类水质标准),从固城湖主要进水和出水河道看,漆进 > 官进 > 胥出 > 湖区,且变化趋势较为一致,说明湖区主要高锰酸盐污染物来源于漆桥河和官溪河进水。

悬浮物(SS)浓度,漆进 > 官进 > 胥出 > 湖区,季节变化趋势整体较为一致,而胥河出口波动较大,可能与当地进行河道扩展和桥梁施工有关。2017 年后,湖区 SS 浓度有升高的趋势,这可能与

2017 年航道船只流量的增加有关,航运增加会引起水体扰动,影响悬浮物的浓度。最后,透明度(SD)指标显示了湖区水体的透明度明显高于其出入湖河道,但随季节波动较大,冬春季节透明度高于夏秋季节,可能是夏秋季节水体中浮游生物大量繁殖,从而导致透明度较低。

2.2 固城湖营养状态评价

针对固城湖水环境状况,富营养化状况评价指标选用叶绿素 a(Chla)、总磷(TP)、总氮(TN)、透明度(SD)、高锰酸盐指数(COD<sub>Mn</sub>) 5 项参数。固城湖及其主要出入湖河道的营养状态见表 2。2015—2018 年湖区营养状态均处于中营养水平,而官溪河、漆桥河、胥河基本处于轻度富营养水平,可见出入湖河道的富营养化程度高于湖区,可能与这些区域受到人类影响程度较大有关。当前,固城湖及其出入湖河道总体上呈现中营养—轻度富营养状态,

与 2009 年相比(总体处于轻度富营养—中度富营养化状态),固城湖水质趋向好转。可见,在短期范围内,水位调控没有对固城湖总体水质造成不利影响,而近年来固城湖营养状态指数有所降低是否与水位抬升有关,还有待后续更大时间尺度和更多数据的支持分析。

3 结论与建议

2015—2018 年固城湖湖区水质较好,处于中营养水平,主要出入湖河道水质劣于湖区水质,处于轻度富营养状态,氮磷仍是固城湖的主要污染物。航运及沿岸人类活动对流域水质产生一定程度的负面影响,河道是湖区污染物的主要来源。从湖区综合营养状态来看,芜申线高淳段整治通航短期内没有对固城湖总体水质造成不利影响。

综上所述,芜申线高淳段整治通航给固城湖水

表 2 固城湖及其出入湖河道 2015—2018 年富营养化指数

年份	区域	单项营养状态指数 TLI(j)					TLI(Σ)	营养状态
		TN	TP	Chl-a	COD <sub>Mn</sub>	SD		
2015	湖区	53.71	40.99	54.13	26.64	54.33	45.96	中营养
	漆进	66.19	52.34	59.07	36.55	60.69	54.97	轻度富营养
	胥出	55.90	45.20	56.64	29.16	59.91	49.36	中营养
	官进	62.72	51.23	55.62	33.56	61.25	52.88	轻度富营养
2016	湖区	55.31	42.03	54.60	28.84	48.47	45.85	中营养
	漆进	67.52	56.33	62.53	40.09	63.22	57.94	轻度富营养
	胥出	58.99	45.79	55.05	30.14	65.62	51.12	轻度富营养
	官进	64.86	55.25	63.53	37.13	63.87	56.93	轻度富营养
2017	湖区	57.33	52.22	50.28	34.43	49.16	48.68	中营养
	漆进	66.24	62.21	58.73	39.74	63.68	58.12	轻度富营养
	胥出	61.30	56.05	51.49	35.56	64.63	53.81	轻度富营养
	官进	64.12	57.63	55.39	37.00	61.50	55.13	轻度富营养
2018	湖区	61.12	40.46	54.54	39.78	40.16	47.21	中营养
	漆进	63.56	45.11	58.05	44.22	54.33	53.06	轻度富营养
	胥出	55.57	43.11	55.23	39.68	61.09	50.94	轻度富营养
	官进	61.81	48.78	51.64	37.39	59.05	51.73	轻度富营养

(下转第 28 页)

益及时充分发挥,有效推进各项改革措施全面落地。

(3)规范创新管护组织建设。推进管护组织系统化建设,进一步规范农民用水合作社、用水户协会的功能定位、服务范围、管理机制,加大力度,抓好人才培养,提升服务能力。积极探索镇、村党组织领办合作社模式,将党组织的政治引领、合作社的抱团发展、群众的能动作用等要素有效融合。加强改革区域管护组织建设,确保改革完成区域实现管护组织全覆盖。

(4)落实精准补贴节水奖励。验收办法中,对出台精准补贴办法、节水奖励办法以及规范资金使用管理等方面做出明确规定,依据精准补贴和节水奖励办法,进一步规范资金使用和管理,确保精准补贴、节水奖励机制落到实处、见到实效。江苏省水利厅加强督促检查,采取检查、抽查等方式定期或不定期进行专项督导,与有关稽察、督察等工作联合实施并跟踪问效,定期通报,推动精准补贴和节水奖励资金落到实处。

## 4 结 语

农业水价综合改革是一项系统工程,需要持续

发力,根据近几年江苏省各地农业水价综合改革的探索实践,科学合理核定水价是改革的前提,规范运转用水合作组织是改革的关键,节水奖励精准补贴是改革的核心任务,完善监督考核机制是改革的重要保障。在改革过程中,江苏省水利部门与发展改革、财政、农业农村等部门密切配合,坚持目标导向、问题导向,由点及面,因地制宜开展改革工作。面对新形势与新要求,进一步理清改革思路,细化实化改革措施,确保改革任务按时完成,让改革为江苏省农业节水、水利工程良性运行带来实在效益,惠及农民群众。

### 参考文献:

- [1] 王治. 坚持节水优先的经济学分析[J]. 中国水利, 2015(9):6-9.
- [2] 姜文来. 深入推进农业水价综合改革[N]. 经济日报, 2018-07-04(007).
- [3] 叶健, 蒲永伟, 宋宜峻. 江苏省农业水价综合改革的路径及启示[J]. 水利发展研究, 2018, 18(7):8-10.
- [4] 叶健. 江苏省农业水价综合改革的实践与认识[J]. 水利发展研究, 2017, 17(11):28-30, 43.

(上接第 23 页)

质特征带来新的变化,因此基于生态保水、污染物控制和水源地安全,建议进一步控制河道周边氮磷等污染物的排放;保证航运的同时,应适时开放船闸闸口,增加上游水体流量,加快湖区水体交换速率;在夏季持续高温天气和秋季河蟹养殖区排放养殖尾水时,密切监控固城湖湖区尤其是水源地取水口附近的水质变化情况,及时调水以增加固城湖水环境容量,避免突发污染事件的发生,保障固城湖水源地安全。

### 参考文献:

- [1] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京:科学出版社, 1998:293-294.
- [2] 曾庆飞, 谷孝鸿, 毛志刚, 等. 固城湖及上下游河道富营养化和浮游藻类现状[J]. 中国环境科学, 2012, 32(8):1487-1494.
- [3] 李涛, 马中, 石磊, 等. 固城湖水环境污染状况与来源分析[J]. 环境保护科学, 2014, 40(4):1-6.

- [4] 谷先坤, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等. 固城湖及其出入河道水质时空分布差异与历年变化趋势分析[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(1):68-75.
- [5] 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, 1990:4-30.
- [6] CARLSON R E. A trophic state index for lakes [J]. Limnology and Oceanography, 1977, 22(2):361-369.
- [7] HUANG Z H, XUE B, PANG Y. Numerical Simulation on trans - portation changes of agricultural non - Point source of nitrogen and phosphorus in Gucheng Lake Basin, Jangsu province, during 1951 - 2000[J]. Quaternary Sciences, 2008, 28(4):674-682.
- [8] HUANG Z, XUE B, PANG Y. Simulation on stream flow and nutrient loadings in Gucheng Lake, Low Yangtze River Basin, based on SWAT model[J]. Quaternary International, 2009, 208(1):109-115.
- [9] 吴凯, 李正魁, 冯露露, 等. 水华蓝藻上浮特征与机理的试验研究[J]. 生态环境学报, 2011, 20(1):137-142.