

江苏省典型省管湖泊富营养化现状

徐季雄, 胡晓东, 吴苏舒, 吴沛沛, 李志清, 张 涵

(江苏省水利科学研究院, 江苏 南京 210017)

摘要:为全面了解江苏省湖泊富营养化现状,选取13个典型省级以上管理湖泊(简称“省管湖泊”)为研究对象,于2022年1—12月进行水质调查,分析水质时空特征,评估富营养化现状,并讨论富营养化空间差异的原因。结果表明,13个典型省管湖泊水体营养盐指标含量丰富,其中TN均超过Ⅳ类标准,固城湖水体TP含量为Ⅱ类标准,其他湖泊介于Ⅳ~Ⅴ类;综合营养状态指数(TLI)结果显示湖泊富营养化水平存在区域性的差异,位于长江干流水系的固城湖和石臼湖富营养化程度较低,其中固城湖全年结果均评价为中营养型湖泊,其他区域12个湖泊均呈轻度富营养状态。

关键词:湖泊富营养化; 综合营养指数; 省管湖泊; 江苏省

中图分类号:X824

文献标识码:A

文章编号:1007-7839(2024)11-0026-0004

Eutrophication status of typical lakes administrated by Jiangsu Provincial Government

XU Jixiong, HU Xiaodong, WU Sushu, WU Peipei, LI Zhiqing, ZHANG Han

(Jiangsu Hydraulic Research Institute, Nanjing 210017, China)

Abstract: In order to comprehensively understand the eutrophication status of lakes in Jiangsu province, 13 typical lakes administrated by Jiangsu Provincial Government were selected as research objects, and water quality surveys were conducted from January to December 2022. The spatio-temporal characteristics of water quality were analyzed, the eutrophication status was scientifically assessed, and the causes for the spatial differences in eutrophication were discussed. The results indicated that the water body of 13 typical provincial lakes was rich in nutrient salt indicators, with total nitrogen levels exceeding class IV. The total phosphorus content of Gucheng Lake water reached the Class II standard, while other lakes ranged between class IV ~ V. The comprehensive trophic index (TLI) results showed that there were regional differences in the eutrophication level of lakes. Gucheng Lake and Shijiu Lake, located in the main stream of the Yangtze River, had lower eutrophication levels. Specifically, Gucheng Lake had been evaluated as mesotrophic throughout the year, and 12 lakes in other areas were in a state of mild eutrophication.

Key words: lake eutrophication; comprehensive trophic level index; lakes administrated by provincial government; Jiangsu Province

湖泊富营养化是指湖泊水体在自然因素和(或)人类活动的影响下,大量营养盐输入湖泊水体,使湖泊逐步由生产力水平较低的贫营养状态向生产

力水平较高的富营养状态变化的一种现象^[1-2]。

江苏地处江、淮、沂沭泗流域下游、南北气候过渡带,濒江临海,河湖众多,素有“水乡”之称,是我

收稿日期: 2024-07-24

作者简介: 徐季雄(1989—),男,工程师,硕士,主要从事水环境评估工作。E-mail: 314877468@qq.com

国淡水湖泊分布集中的省份之一,同时也是我国湖泊富营养化问题最普遍的地区。研究根据江苏省人民政府 2005 年公布的《江苏省湖泊保护名录》,其中省级以上管理湖泊 28 个,市级湖泊 3 个,各地级市湖泊共 123 个^[3]。本次调研从省管湖泊中选取 13 个典型湖泊,通过水质环境监测数据来评估现阶段湖泊的富营养状况,为江苏省湖泊富营养化的治理提供科学依据。

湖泊富营养化评价,就是通过与湖泊营养状态有关的一系列指标及指标间的相互关系,对湖泊的营养状态作出准确的判断。研究采用中国环境监测总站 2001 年发布的“湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定”计算综合营养状态指数(TLI),计算采用 Chl-a、TP、TN、SD、COD_{Mn} 5 个参数法。

1 材料与方法

1.1 研究区域

本次评价的湖泊包括太湖、洪泽湖、骆马湖、石臼湖、固城湖、高邮湖、邵伯湖、白马湖、宝应湖、溧湖、长荡湖、大纵湖和射阳湖等 13 个典型的省管湖泊,均属于浅水湖泊(平均深度 < 3.0 m)。

根据湖泊面积大小,各湖泊设置 1~15 个采样点,湖泊所处流域、水系和湖泊面积大小,见表 1。

1.2 数据来源

2022 年 1—12 月逐月对 13 个湖泊分别采集样

品。现场使用 5L 采水器采集表层水(0~50 cm),用于 Chl-a、TP、TN、COD_{Mn} 含量等指标的测定。其中 TP 采用钼酸铵分光光度法(GB11893-69),TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB11894-89),COD_{Mn} 采用酸性高锰酸钾法(GB11892-89),Chl-a 采用丙酮提取可见分光光度法(SL88—2012)测定。现场用 Secchi-Disk 圆盘记录水体 SD。

1.3 分析方法

各个湖泊水质参数采用各点位数学平均值用于计算逐月和年平均综合营养状态指数(TLI)。

湖泊营养状态分级标准为 $I_{TLI(\Sigma)} < 30$ 为贫营养; $30 \leq I_{TLI(\Sigma)} \leq 50$ 为中营养; $I_{TLI(\Sigma)} > 50$ 为富营养; $50 < I_{TLI(\Sigma)} \leq 60$ 为轻度富营养; $60 < I_{TLI(\Sigma)} \leq 70$ 为中度富营养; $I_{TLI(\Sigma)} \geq 70$ 为重度富营养。综合营养状态指数计算公式为

$$I_{TLI(\Sigma)} = \sum W_j I_{TLI(j)}$$
(1)

式中, $I_{TLI(\Sigma)}$ 为综合营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重; $I_{TLI(j)}$ 为代表第 j 种参数的营养状态指数。

以 Chl-a 作为基准参数,则第 j 种参数的归一化的相关权重计算公式为

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2}$$
(2)

式中, r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数 Chl-a 的相关系数;

表 1 评价湖泊基本信息

湖泊名称	流域	水系	湖泊面积/km ²	样点数/个
太 湖	长江流域	太湖水系	2 338.00	15
洪泽湖	淮河流域	淮河水系	1 780.00	10
骆马湖	淮河流域	沂沭泗水系	285.00	9
石臼湖	长江流域	长江干流水系	214.00	3
固城湖	长江流域	长江干流水系	30.60	1
高邮湖	淮河流域	淮河水系	634.00	3
邵伯湖	淮河流域	淮河水系	90.00	2
白马湖	淮河流域	淮河水系	113.40	2
宝应湖	淮河流域	淮河水系	38.70	2
溧 湖	长江流域	太湖水系	164.00	2
长荡湖	长江流域	太湖水系	81.97	2
大纵湖	淮河流域	里下河水系	*	2
射阳湖	淮河流域	里下河水系	*	1

注:*里下河湖泊湖荡是淮河流域里下河腹部地区主要调蓄性湖泊群,湖泊群水面面积总共 58.1 km²,选取其中的大纵湖和射阳湖作为该区域代表湖泊进行评价。

m 为评价参数的个数。

中国湖泊(水库)的Chl-a与其他参数之间的相关关系 r_{ij} 及 r_{ij}^2 ,见表2。

营养状态指数计算公式为

$$I_{TLI(Chl-a)}=10(2.5+1.086\ln\rho(Chl-a)) \quad (3)$$

$$I_{TLI(TP)}=10(9.436+1.624\ln\rho(TP)) \quad (4)$$

$$I_{TLI(TN)}=10(5.453+1.694\ln\rho(TN)) \quad (5)$$

$$I_{TLI(SD)}=10(5.118-1.94\ln V_{SD}) \quad (6)$$

$$I_{TLI(COD_{Mn})}=10(0.109+2.661\ln\rho(COD_{Mn})) \quad (7)$$

式中,Chl-a单位为 mg/m^3 ;SD单位为 m ;其他指标单位为 mg/L 。

表2 中国湖泊(水库)部分参数与Chl-a的相关关系 r_{ij} 和 r_{ij}^2 值

参数	Chl-a	TP	TN	SD	COD _{Mn}
r_{ij}	1	0.8400	0.8200	-0.8300	0.8300
r_{ij}^2	1	0.7056	0.6724	0.6889	0.6889

2 结果与讨论

2.1 水质参数分析

Chl-a: Chl-a是一种包含在水体浮游植物中用于光合作用的重要色素,Chl-a的含量是评价水体富营养化水平的重要依据,通过Chl-a的含量可以估算出水体中浮游植物生物量。席北斗等^[4]在参考国际叶绿素含量分级及美国的分级方法的基础上,根据Chl-a的含量将湖泊营养等级分为5级,见表3。研究调查的湖泊Chl-a显示骆马湖、固城湖、洪泽湖和射阳湖的Chl-a的含量较低,各月均值分别为 $(4.7\pm 2.2)\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $(6.4\pm 1.6)\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $(6.4\pm 1.6)\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $(8.0\pm 8.5)\text{ mg}/\text{m}^3$ 、 $(8.4\pm 12.4)\text{ mg}/\text{m}^3$,通过Chl-a的含量可分级为中营养状态,其中骆马湖和固城湖各月均值较为稳定均在 $10\text{ mg}/\text{m}^3$ 以下,洪泽湖(8月)和射阳湖(4月)在部分月份达到中富营养状态。其他湖泊Chl-a的月均值含量介于 $12.7\sim 25.1\text{ mg}/\text{m}^3$,均为轻富营养状态。

表3 湖泊富营养化程度(Chl-a)分级方法及其分级区间

营养状态	$\rho(Chl-a)/(\text{mg}/\text{m}^3)$
贫营养	< 1.6
中营养	$1.6\sim 10$
轻富营养	$10\sim 26$
中富营养	$26\sim 64$
重富营养	≥ 64

TP:磷是水体中浮游植物生长必需的元素,在贫营养和中营养的水体中,磷通常是限制浮游植物生长的环境因子。研究调查的湖泊TP显示,固城湖TP月均值含量最低为 $(0.02\pm 0.01)\text{ mg}/\text{L}$,参照GB 3838—2002地表水环境指标标准,达到Ⅱ类标准。射阳湖 $\rho(TP)$ 月均值含量最高为 $(0.15\pm 0.09)\text{ mg}/\text{L}$,各月份之间也存在显著的差异,7月和8月较为显著。其他湖泊 $\rho(TP)$ 月均值介于 $0.05\sim 0.10\text{ mg}/\text{L}$ 之间,对应Ⅳ类标准。

TN:氮是水中各种形态无机和有机氮的总量,与磷不同,氮有很多氧化态和还原态,因此氮作为许多氧化还原反应中的电子供体和受体在营养盐循环和生物地球化学过程中起着重要作用。研究调查的湖泊水体TN含量介于 $1.14\sim 2.44\text{ mg}/\text{L}$,参照GB 3838—2002,均超过Ⅳ类标准,其中苏南的长荡湖和溇湖为劣Ⅴ类^[5]。

SD:透明度是水体能见度的一种量度,能直观反映水体对光的吸收和散射程度。研究调查的湖泊均为浅水湖泊,各湖泊之间透明度存在空间分布的规律,位于淮安境内的宝应湖和白马湖水生植物覆盖度高,水体透明度月均值达到 $(0.72\pm 0.29)\text{ m}$ 和 $(0.65\pm 0.23)\text{ m}$ 。同样,南京境内的石臼湖和固城湖水透明度也同样高于其他湖泊,分别达到 $(0.63\pm 0.08)\text{ m}$ 和 $(0.76\pm 0.18)\text{ m}$ 。而同样位于里下河水系的大纵湖和射阳湖的透明度则相对较低,均为未达到 0.3 m 。

COD_{Mn}: $I_{\text{COD}_{Mn}}$ 是反映水体中有机物含量的重要指标。研究调查的湖泊除白马湖 $I_{\text{COD}_{Mn}}$ 均值 $(6.39\pm 1.23\text{ mg}/\text{L})$ 为Ⅳ类标准,其他湖泊均达到Ⅲ类,相比其他营养盐指标,调查湖泊 $I_{\text{COD}_{Mn}}$ 整体含量不高。

2.2 湖泊综合营养状态指数分析

通过分析2022年调查的13个典型省级以上管理湖泊的水质参数数据得到各湖泊2022年的综合营养状态指数(TLI)状况(图2)。固城湖营养状态指数最低 (44.5 ± 2.3) ,参照分级标准,全年各月均评价为中营养状态;石臼湖营养状态次之 (50.8 ± 3.8) ,1—8月评价结果均 ≤ 50 (中营养),进入9—12月评价结果介于 $52.6\sim 58.3$ (轻度富营养)。其他湖泊年均值介于 $50.9\sim 57.6$,评价结果均为轻度富营养。

3 讨 论

国际经济发展合作组织(OECD)首次将“水体中由于营养盐的增加而导致藻类和水生植物生产

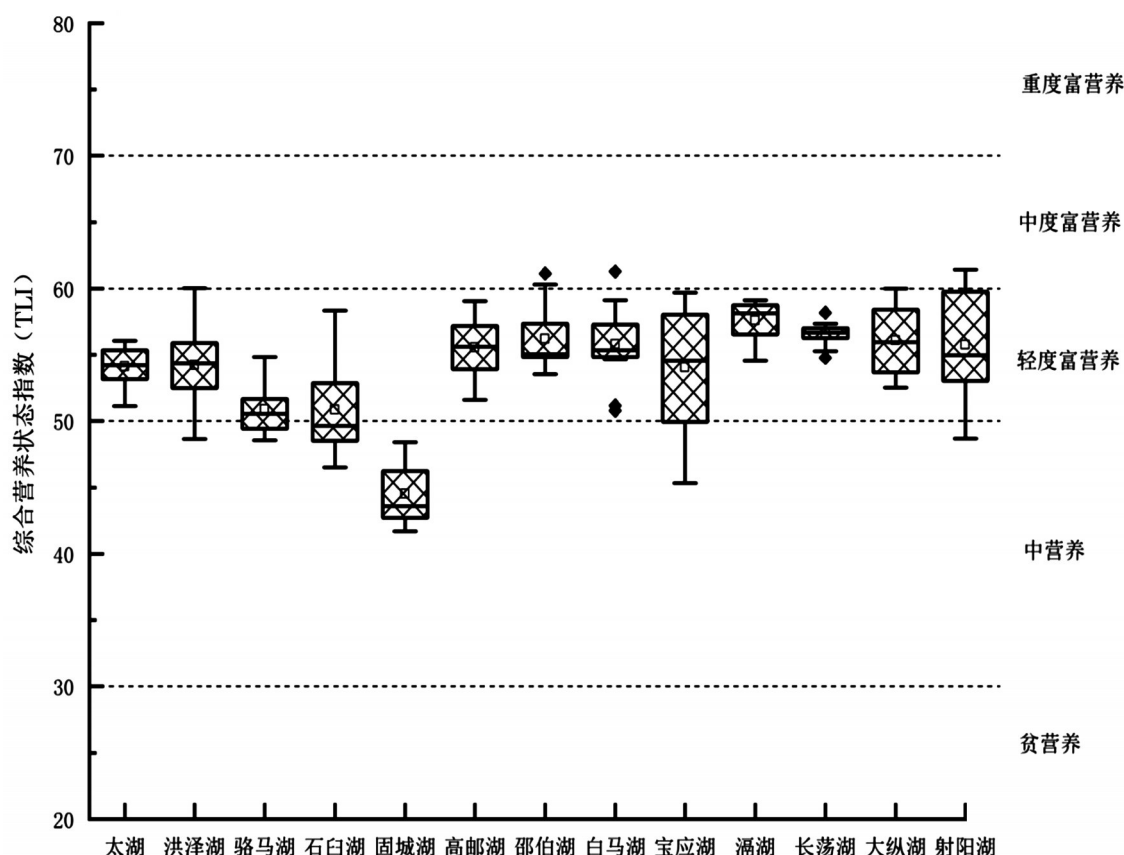


图1 调查湖泊的综合营养状态指数(TLI)状况

力的增加、水质下降等一系列的变化,从而使水的用途受到影响”的现象定义为湖泊的富营养化^[6]。湖泊的富营养化作为评价水体的营养状态的标准而被广泛应用于我国常用的湖泊富营养化评价,方法主要包括营养状态指数法(trophic state index, TSI)、综合营养状态指数法(comprehensive trophic level index, TLI)和营养指数法(eutrophic index, EI)”等。我国常用的营养状态指数均表现为得分随藻类初级生产力和水华风险提高而增大的共性。其中,拥有通用属性的TLI广泛应用于我国湖泊富营养化评价工作中。

研究通过TLI对江苏省典型的省管湖泊进行富营养化状况评价,结果显示富营养化效应在一定的尺度范围内出现了区域性的差异,位于长江干流水系且地处南京的固城湖和石臼湖在评价结果较好,这也与通江湖泊过水性湖泊的Chl-a含量明显低于其他类型湖泊,TLI值也相对较低的结论一致。而典型的过水型湖泊洪泽湖、骆马湖、白马湖、宝应湖、高邮湖和邵伯湖在受到点源污染外,入湖河流同样也输入大量的营养盐物质,但其中的宝应湖和白马湖透明度要明显高于其他湖泊,这说明沉

水植物对污染物的净化作用能显著提高水体透明度,但随着季节演替,沉水植物开始逐渐消亡,腐烂的沉水植物会释放大量营养盐,造成水体中藻类大量繁殖,透明度也随之快速下降,导致富营养化水平的提高。位于太湖水系的长荡湖和溧湖^[7],虽然近些年已实施退圩(渔)还湖,但多年的围网养殖活动造成底泥中氮、磷的大量积累,内源污染严重,富营养化水平相对较高。大纵湖和射阳湖位于里下河水系,该区域河网密布、水体流动性差,水质及富营养化程度受丰水期降雨和外引水源水量影响,年内变化显著。

4 结 论

(1)2022年1—12月,调查评价的13个江苏省典型的省管湖泊水体营养盐指标含量丰富,TP均超过Ⅳ类标准。只有固城湖水体TP含量为Ⅱ类标准,其他湖泊介于Ⅳ~Ⅴ类标准。调查湖泊除白马湖CODMn含量为Ⅳ类标准,其他湖泊均达到Ⅲ类标准。

(2)综合营养状态指数(TLI)结果显示位于长

(下转第33页)

计目标。以科学、技术和实践经验的成效为基础,遵守国家规范标准,提高和保证水土保持监测质量。项目区各项水土保持措施落实到位,全面达到了《开发建设项目水土流失防治标准》(GB50434—2008)建设类项目一级标准的要求。

(4)本次水土保持监测工作,运用合理的技术和科学的分析,开展勘查和调查研究,了解工程造成的水土流失情况,采取分区防治措施的方法,确定建设单位的防治责任范围,对水土流失的重点地段和时段进行重点分析,逐步落实方案措施。作为监测方,不仅需要贯彻预防、治理、维护的生态治理理念,还要注重提高监测技术水平,从实际工作中,不断探索和研究监测的技术标准,规范水土流失监测工作。

(5)生产建设项目的水土保持监测工作一直是

水利系统的重点关注工作,监测方可采用传统方法和现代科技手段相结合,例如无人机或遥感解译等手段,配合实地调查,更加多样化全方位的对生产建设项目进行实时监测,对水土保持率、水土流失、林草覆盖等指标进行更准确的量化。

参考文献:

- [1] 许峰. 近年我国水土保持监测的主要理论与技术问题[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 19-21.
- [2] 李海林, 李俊. 开发建设项目水土保持监测中存在问题与建议[J]. 水土保持应用技术, 2009(6): 35-37.
- [3] 郭索彦, 李智广. 我国水土保持监测的发展历程与成就[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(5): 19-24.
- [1] 王雪梅, 托尔巴依尔, 柴仲平. 开发建设项目水土保持监测与评价——以玛纳斯电厂三期扩建工程为例[J]. 环境监测管理与技术, 2011, 23(6): 35-39.

(上接第29页)

江干流水系的固城湖和石臼湖富营养化程度较低, 其中固城湖全年评价结果均为中营养状态, 其他12个湖泊均呈轻度富营养状态。

参考文献:

- [1] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002(5): 47-49.
- [2] 刘振海, 宋兰兰, 燕文明, 等. 富营养化湖泊中铜锈环棱螺分解对鸕迁移动影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(4): 83-89, 97.
- [3] 江苏省地方志编纂委员会. 江苏江河湖泊志[M]. 南京:

江苏凤凰教育出版社, 2019.

- [4] 席北斗, 陈艳卿, 苏婧, 等. 湖泊营养物标准方法学及案例研究[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [5] 邓国海, 庞仁燕, 张惠, 等. 湖泊水体中溶解氧和高锰酸盐指数多时间尺度相关性的分形测量[J]. 中国沼气, 2024, 42(2): 47-54.
- [6] 中华人民共和国水利部. 地表水资源质量评价技术规范: SL 395—2007[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [7] 王礼权, 刘钰, 张毅敏, 等. 长荡湖、溇湖、竺山湾藻类功能群结构组成与环境因子的关系[J]. 水资源保护, 2023, 39(2): 224-232.