

城市湖泊生态健康评价——以长江下游天门市西湖为例

彭小思¹ 王晴²

(1. 湖北省天门市水文水资源勘测局, 湖北 天门 431700;

2. 长江大学 资源与环境学院, 湖北 武汉 430010)

【摘要】本文基于2019—2023年天门市西湖实际监测水质数据,选用综合加权的营养状态指数法(TLI法)对湖泊水质进行富营养化评价;并建立西湖健康评价指标体系,采用赋分法确定指标权重对天门市西湖进行综合健康评价。研究表明:1.研究时间段内西湖水体 TLI 值在 44.31-49.92 范围内,处于“中营养”水平的时间占比 73%。2.西湖整体处于“二类河湖”健康状态。

【关键词】生态健康评价; TLI 法; 富营养化; 指标体系

一、材料与方法

(一) 湖泊概况

天门西湖位于市中心城区西部,水域面积 0.48km²,是北亚热带季风气候区的城中湖。年降水变化大,水旱灾害频发。周边居民多从事餐饮、商业服务。西湖通过引水闸补水,电排站排水,与东湖共同维护区域水环境。作为天门市的政治、文化、经济中心,西湖对当地生产生活具有重要意义。

(二) 数据来源

本文以长江下游天门市西湖为研究区,收集西湖 2019—2023 年 8 个监测断面 4(枯)、8(丰)、10(平)月份的叶绿素 a 浓度、总氮总磷、溶解氧、高锰酸盐指数、透明度等水质数据。水位监测数据来自天门市水文局,物种多样性指数及公众满意度来源于天门市水文局《西湖健康评估报告》。

(三) 健康评价指标体系建立

表 1 西湖健康评价指标体系及指标权重

目标层	准则层		指标层	
	名称	权重	名称	权重
西湖健康评价	水文水资源特征	0.1	水位距平百分率 *	0.5
			生态水位满足度 *	0.5
	物理结构特征	0.2	缓冲带宽度 *	0.2
			滨岸带植被覆盖率 *	0.2
			口门畅通率 *	0.2
			滨岸带人为干扰程度 *	0.4
	水质特征	0.2	水质类别 *	0.6
			叶绿素 a 浓度 *	0.4
	水生生物特征	0.1	浮游植物多样性指数 *	0.4
			底栖动物 Hilsenhoff 生物指数 *	0.3
			鱼类生物损失指数 *	0.3
	社会服务功能	0.2	公众满意度 *	0.4
			防洪工程达标率	0.4
管理状况	0.2	排涝工程达标率	0.2	
		体制机制 *	1.0	

注: * 为必选指标,其余为备选指标。

本次评估西湖的指标优先挑选《湖北省河湖健康评估导则》的表征性指标,其次备选指标根据调蓄功能湖泊来选择。按照准则层及指标层分级分层赋分和逐层加权的计算方法,计算评分并进行等级划分。

表 2 河湖健康分类标准及特征描述

类别	健康状况	健康评估得分
一类河湖	非常健康	$90 \leq M \leq 100$
二类河湖	健康	$75 \leq M < 90$
三类河湖	亚健康	$60 \leq M < 75$
四类河湖	不健康	$40 \leq M < 60$
五类河湖	劣态	$0 \leq M < 40$

(四) 权重确定

目标层(湖区)河湖健康评估得分采用赋分法,依据各单项指标赋分和相应权重,计算公式为:

$$M = \sum P_i \alpha_i \beta_i \quad (1)$$

式中, M 为湖区河湖健康评估得分, P_i 为第 i 项指标赋分, α_i 为第 i 项指标对应的准则层权重赋值, β_i 为第 i 项指标对应的指标层权重。

西湖总体河湖健康评价则是根据湖区健康评估得分与湖区水面面积占湖泊总水面面积为权重,计算公式为:

$$L = \sum_{j=1}^m \frac{M_j A_j}{L} \quad (2)$$

式中: L 为湖泊总体健康状况得分, M_j 为第 j 个湖区评估得分, A_j 为第 j 个湖区的水面面积(km²), A 为评价湖泊总面积(km²), m 为湖区数量。

(五) 各准则及其赋分标准

1. 水文水资源准则。水文水资源准则能够说明湖泊的水质情况和水量丰沛程度,代表了湖泊自然环

境现状，包含水位距平百分率、生态流量满足度两项指标。其中，生态流量是能够维持湖泊基本生态功能和河道基本形态的最小流量，对河流健康维持具有重要意义；水位距平百分率是衡量水体水位相对于长期平均水位的偏离程度的指标；通过对水位的监测，可以了解水体的临界水位、枯水期和丰水期等关键水文信息。

表 3 基本水位距平百分率指标赋分标准

山丘区湖泊（水库）	平原区湖泊（水库）	赋分
≤ 2%	≤ 1%	100
≤ 4%	≤ 2%	80
≤ 6%	≤ 4%	60
≤ 8%	≤ 6%	40
≤ 10%	≤ 8%	20
>10%	>8%	0

表 4 生态水位满足度指标赋分标准

生态水位满足度	赋分
年内 365 日日均水位均高于最低生态水位（m）	100
有日均水位低于最低生态水位（m）	75
3 天滑移平均水位低于最低生态水位（m）	50
7 天滑移平均水位低于最低生态水位（m）	30
14 天滑移平均水位低于最低生态水位（m）	20
30 天滑移平均水位低于最低生态水位（m）	10
60 天滑移平均水位低于最低生态水位（m）	0

2. 物理结构准则。物理结构准则综合考量湖泊地形地貌，涵盖缓冲带宽度、滨岸带植被覆盖率等关键指标。通过监测这些特征，全面描述河流自然状态。其中，滨岸带人为干扰程度以扣分项制评估，直观反映人类活动对湖泊环境的影响。

3. 水质准则。水质准则是评估河流水体健康的关键工具，它利用多个指标来揭示水体的化学与生物

特性。叶绿素 a 浓度作为重要参数，直观反映藻类含量，是评估水体富营养化水平的“晴雨表”。持续监测该指标，有助于预防和治理水体富营养化，维护水生生态健康。（见表 5）

4. 水生生物准则。水生生物准则深刻揭示了水体生态系统的健康奥秘。通过监测水中生物的种类、数量和分布，我们能洞察生态系统的微妙变化。其中，浮游植物多样性指数展现了浮游植物的丰富与多样；底栖动物 Hilsenhoff 生物指数则揭示了底栖生物的丰度与健康状况；而鱼类生物损失指数则反映了鱼类群落的健康与所受影响。这三个关键指标相互补充，共同勾勒出水体生态系统的全貌。

5. 社会服务准则。社会服务准则主要从公众满意度、防洪工程达标率和排涝工程达标率指标赋分标准三个方面进行赋分评价。（见表 6）

6. 管理准则。管理准则的主要关注点是体制机制指标，其旨在确保组织在复杂的环境中能够高效运作、持续创新并成功达成既定目标。管理准则致力于建立一个有机、灵活的组织结构，以确保组织在动态和多变的环境中能够迅速适应变化，持续推动创新。

（六）富营养化评价方法

本文选用在国内湖库富营养化评价中被广泛应用的综合加权的营养状态指数法（TLI 法）对西湖进行富营养化评价。TLI 法选择叶绿素 a 浓度（CHL）、总磷（TP）、总氮（TN）、透明度（SD）与高锰酸盐指数（COD）作为评价指标，分别计算各指标的营养状态指数，再进行加权获得综合营养状态指数 TLI（Σ）。

$$TLI = \sum_{j=1}^n w_j \cdot TLI(j) \quad (3)$$

表 5 水质类别和叶绿素浓度指标赋分标准

水质类别 *	水质类别	I、II、III类		IV类	V类	劣V类	
	赋分	100		60	30	0	
叶绿素 a 浓度 *	叶绿素 a 浓度（μg/L）	>400	≤ 400	≤ 160	≤ 26	≤ 10	≤ 3.4
	赋分	0	20	40	60	80	100

表 6 公众满意度、防洪工程达标率和排涝工程达标率指标赋分标准

公众满意度 *	公众满意度	很满意	满意	基本满意	不满意	很不满意	
	单项赋分	100	80	60	30	0	
防洪工程达标率	防洪工程达标率（%）	≥ 95	≥ 90	≥ 85		≥ 70	< 70
	赋分	100	75	50		25	0
排涝工程达标率	排涝工程达标率（%）	≥ 95	≥ 90	≥ 85	≥ 70	< 70	
	赋分	100	75	50	25	0	

$TLI(\Sigma) < 30$ 时水体为贫营养状态, $30 \leq TLI(\Sigma) \leq 50$ 时水体为中营养状态, $50 < TLI(\Sigma) \leq 60$ 时水体为轻度富营养状态, $TLI(\Sigma) > 70$ 时水体为重度富营养状态, 在同一营养状态下, $TLI(\Sigma)$ 值越高, 水体营养程度越重。TLI 法计算公式及权重确定参照中国环境监测总站 2001 年发布的“湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定”(总站生字(2001)090号)。

二、结果分析与讨论

(一) 基于营养状态指数的西湖富营养化评价

西湖水体多处于中营养状态, 占比 73.33%。然而, 2021 至 2022 年间, 西湖出现轻度富营养化, 尤其在 2022 年枯水期营养化程度最高, TLI 值达 57.74。轻度富营养化状态占 26.67%, 虽已对工业废水和生活污水进行截污处理, 但生活污水直排和降雨径流带来的面源污染仍影响水质。西湖作为城中湖, 水流缓慢, 营养物稀释扩散慢。多年来, 其营养化程度波动小, 得益于生态系统稳定和政府保护。为保持水质, 需持续加强污染源管控, 提升水体自净能力。

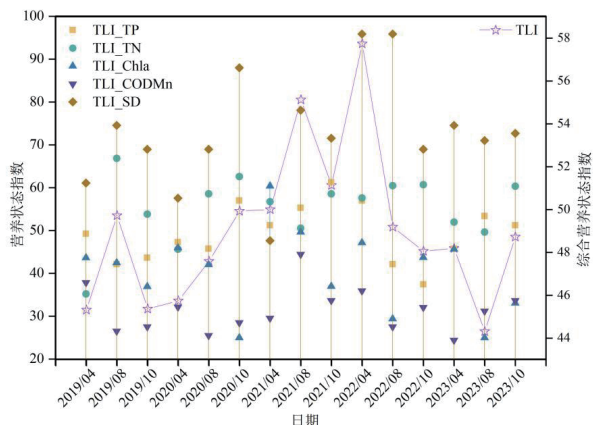


图1 各水质指标营养状态

(二) 西湖健康评价

西湖湖泊健康评价综合得分为 78.6 分, 处于“二类河湖”健康水平, 说明西湖在维护河流健康方面取得了一定成效。从准则层面来看, 水文水资源、物理结构、水生生物和管理状况得分相对较高, 说明西湖在河流流量保障、水生生物保护、河流管理能力方面取得了显著成效, 生境结构趋于完整。但社会服务功能得分低于 60 分, 说明西湖社会服务方面仍有提升空间。从指标层面来看, 生态水位满足度、水位距平百分率、缓冲带宽度、滨岸带植被覆盖率、口门通畅率、浮游植物多样性指数、鱼类保有指数、

公众满意度、排涝工程达标率以及管理状况 10 项指标得分较高。西湖为天门市重点保护湖泊, 因此在管理状况成果显著, 生态水位满足度、水位距平百分率、滨岸带植被覆盖率、鱼类保有指数、排涝工程达标率 6 项指标均为 100 分。公众满意度指标赋分 89.8 分, 说明在相关管理部门的努力下, 公众能够感受到近年来西湖水生态环境及健康状况的改善。但水质类别(60 分)、底栖动物 Hilsenhoff 生物指数(60 分)、防洪工程达标率(0 分) 3 项指标得分相对较低, 说明西湖的防洪功能在一定程度上存在缺陷, 需加强水利设施协同调度以改善。

三、结论

本文以天门市西湖为例, 利用综合营养状态指数(TLI)评价其生态健康状况。结果表明, 研究时间段内西湖水体 TLI 值在 44.31-49.92 范围内, 处于“中营养”水平的时间占比 73.33%; 西湖水体处于轻度富营养化状态的时间处于 2021 年且在研究期内占比为 26.67%; 2022 年枯水期水体的营养化程度最高, 该时段 TLI 值为 57.74。西湖整体处于“二类河湖”健康状态, 其防洪功能在一定程度上存在缺陷, 需加强水利设施协同调度以改善。

四、建议

为了提高天门的生态健康指数, 可以从以下几个方面开展工作: 研究西湖富营养化对湖泊生态环境的影响, 对其进行生态修复, 为鱼类和其他生物提供适宜环境; 加强对大型底栖无脊椎动物种群及相关水生动物群落的监测, 研究其群落特征及时空分布并应用于湖泊管理; 加强水利设施协同调度, 实行西湖生态水位预警制度; 控制城市面源污染, 加强污水管网的覆盖范围以及污水处理厂的达标排放管理。

参考文献:

- [1] 曹科英. 城市湖泊生态系统健康评价与修复研究[J]. 能源与节能, 2020,(12):94-95.
- [2] 吴佳鹏, 刘来胜, 王启文等. 城市湖泊生态健康评价指标体系研究[J]. 水力发电, 2020,46(03):1-3+112.
- [3] 沈颜奕, 陈星. 城市湖泊生态系统健康评价与修复研究[J]. 水资源与水工程学报, 2017,28(02):82-85+91.

作者简介: 彭小思(1976-), 女, 汉族, 湖北钟祥人, 本科, 高级工程师, 从事水文水资源工作。