

漳河水库水体富营养化评价研究

吴 辉¹, 陈 攀², 周 萌¹

¹荆门市大气污染防治指挥中心, 湖北 荆门

²荆门市核与辐射和固体废物环境安全防护技术中心, 湖北 荆门

收稿日期: 2026年5月2日; 录用日期: 2026年7月3日; 发布日期: 2026年7月13日

摘 要

湖库富营养化是威胁饮用水安全的主要水环境问题之一。漳河水库是湖北省荆门市中心城区的重要饮用水源地, 但目前缺乏对其富营养化状态的连续动态评价及驱动因素的深入探讨。本研究收集2021年1月至2023年12月漳河水库国控断面的水质监测数据, 采用综合营养指数法(TLI)分析水体的富营养化程度、时间演变特征及关键驱动因子。结果表明: 连续36个月中, 漳河水库有35个月呈贫营养状态($TLI(\Sigma) < 30$), 仅2023年9月呈中营养状态($TLI(\Sigma) = 30.4$); 综合营养状态指数逐月波动, 2022年12月最低(20.0), 2023年9月最高(30.4)。分项TLI指数分析显示, 高锰酸盐指数(COD_{Mn})是影响综合指数波动的关键因子。研究发现2021年8月和2022年4月、9月综合营养状态指数出现三次明显下降, 以及2023年9月的峰值, 但这些变化与人类活动强度(如大型赛事活动、公共卫生事件应对措施)的关联性, 需结合水文、气象等多源数据进一步验证。结论认为, 漳河水库水质整体优良, 连续三年保持贫营养状态, 满足饮用水源要求。未来需构建多因子驱动模型, 深入揭示营养状态变化的机制, 为水库精准保护提供科学依据。

关键词

漳河水库, 富营养化, 综合营养指数法, 饮用水源地

Study on Eutrophication Evaluation of Zhanghe Reservoir

Hui Wu¹, Pan Chen², Meng Zhou¹

¹Jingmen Air Pollution Prevention and Control Command Center, Jingmen Hubei

²Jingmen Municipal Nuclear and Radiation and Solid Waste Environmental Safety Protection Technology Center, Jingmen Hubei

Received: May 2, 2026; accepted: July 3, 2026; published: July 13, 2026

Abstract

Eutrophication of lakes and reservoirs is a major water environmental issue threatening drinking

文章引用: 吴辉, 陈攀, 周萌. 漳河水库水体富营养化评价研究[J]. 自然科学, 2026, 14(4): 418-423.

DOI: 10.12677/ojns.2026.144046

water safety. Zhanghe Reservoir is an important drinking water source for the central urban area of Jingmen City, Hubei Province. However, there is a lack of continuous dynamic evaluation of its eutrophication status and in-depth analysis of driving factors. Water quality monitoring data from the national control section of Zhanghe Reservoir from January 2021 to December 2023 were collected, and the comprehensive trophic level index (TLI) method was applied to evaluate the eutrophication degree, temporal evolution characteristics, and key driving factors. Results show that among the 36 consecutive months, the reservoir exhibited oligotrophic status ($TLI(\Sigma) < 30$) in 35 months, and only September 2023 showed mesotrophic status ($TLI(\Sigma) = 30.4$). TLI values fluctuated monthly, with the lowest of 20.0 in December 2022 and the highest of 30.4 in September 2023. Analysis of sub-indices indicates that permanganate index (COD_{Mn}) is a key factors influencing the fluctuation of the comprehensive index. Three notable declines in TLI were observed in August 2021 and in April and September 2022, and a peak in September 2023. Although these changes are tentatively linked to variations in human activity intensity (e.g., mass events, public health emergency responses), such attributions remain speculative and require validation with hydrological and meteorological data. It is concluded that the water quality of Zhanghe Reservoir is generally excellent, maintaining oligotrophic status for three consecutive years, meeting the requirements as a drinking water source. Future studies should construct multi-factor driven models to reveal the mechanisms of trophic state changes and provide scientific basis for precise protection of the reservoir.

Keywords

Zhanghe Reservoir, Eutrophication, Comprehensive Trophic Level Index, Drinking Water Source

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水体富营养化指氮、磷化合物等营养物质的过量输入,导致浮游植物(藻类)异常增殖、水质恶化及生态平衡破坏的现象,被称为“水华”,在海洋中称为“赤潮”[1]。富营养化不仅影响湖泊水库的景观和生态功能,更威胁饮用水安全,增加水处理成本,甚至释放藻毒素危害人体健康。随着我国经济社会快速发展,湖库富营养化问题日益突出,预防和控制湖库水体的富营养化,保护好饮用水源,已成为流域综合治理和饮用水源保护的重点关注领域[2] [3]。

漳河水库位于湖北省荆门市西北部,总库容约 20.35 亿立方米,是荆门市中心城区及周边地区的主要饮用水源地,同时兼具防洪、灌溉、发电、旅游等综合功能[4]。水库水质状况直接关系到数百万居民的饮水安全和社会经济可持续发展。近年来,尽管相关部门开展了一系列水质监测工作,但针对漳河水库富营养化状态的系统性研究仍较为有限。已有文献多集中于单一季节或年度的水质评价,或仅关注个别水质指标的变化[5] [6]。

本文收集漳河水库国控断面连续 36 个月的水质监测数据,采用综合营养指数法(TLI)进行富营养化评价,分析其变化规律,并尝试量化不同营养盐指标对综合指数的贡献。针对人类活动(如大型赛事、公共卫生事件应对措施等)对营养状态的潜在影响,本文在缺乏直接定量数据的情况下,将其作为“推测”进行讨论,需结合多源数据进一步验证。研究结果旨在为漳河水库饮用水源的保护、管理及精准治污提供科学依据,同时为同类湖库的富营养化动态评价提供方法参考。

2. 材料与方法

2.1. 数据来源

本文分析所用数据收集自漳河水库国控断面 2021 年 1 月至 2023 年 12 月共 36 个月水质监测数据，监测指标包括叶绿素 a(Chla)、总磷(TP)、总氮(TN)、透明度(SD)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})。数据按照《湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定》进行标准化处理[7]。为深化数据挖掘，本研究计算了各分项 TLI 指标的逐月值，并尝试通过相关性分析识别关键影响因子。

2.2. 分析方法

水体综合营养状态指数计算公式如下：

$$TLI(\Sigma) = \sum W_j \cdot TLI(j)$$

式中：TLI(Σ)——综合营养状态指数；

W_j——第 j 种参数的营养状态指数的相关权重；

TLI(j)——代表第 j 种参数的营养状态指数。

以叶绿素 a 作为基准参数，中国湖泊(水库)的叶绿素 a 与其它参数之间的相关关系 r_{ij} 及 r_{ij}² 见表 1。

Table 1. The correlation between Chla and other parameters of lakes (reservoirs) in China: r_{ij} and r_{ij}² values

表 1. 中国湖泊(水库)的 Chla 与其他参数之间的相关关系 r_{ij} 及 r_{ij}² 值

参数	叶绿素 a (Chla)	总磷(TP)	总氮(TN)	透明度(SD)	高锰酸盐指数(COD _{mn})
r _i	1	0.84	0.82	-0.83	0.83
r _{ij} ²	1	0.7056	0.6724	0.6889	0.6889

营养状态指数计算公式为：

(1) $TLI(Chla) = 10(2.5 + 1.086 \ln Chla)$ ；

(2) $TLI(TP) = 10(9.436 + 1.624 \ln TP)$ ；

(3) $TLI(TN) = 10(5.453 + 1.694 \ln TN)$ ；

(4) $TLI(SD) = 10(5.118 - 1.94 \ln SD)$ ；

(5) $TLI(COD_{Mn}) = 10(0.109 + 2.661 \ln COD)$ 。

式中：叶绿素 a 单位为 mg/m³，透明度单位为 m；其它指标单位均为 mg/L。采用 0~100 的一系列连续数字对湖泊(水库)营养状态进行分级：

TLI(Σ) < 30	贫营养(Oligotropher)
30 ≤ TLI(Σ) ≤ 50	中营养(Mesotropher)
TLI(Σ) > 50	富营养 (Eutropher)
50 < TLI(Σ) ≤ 60	轻度富营养(light eutropher)
60 < TLI(Σ) ≤ 70	中度富营养(Middle eutropher)
TLI(Σ) > 70	重度富营养(Hyper eutropher)

在同一营养状态下，指数值越高，其营养程度越重，水质评价越差[7]-[9]。数据整理与作图采用 WPS 表格软件，相关性分析采用 SPSS 22.0。

3. 结果与分析

3.1. 综合营养状态指数的时间变化

由表 2 可知，2021 年 1 月至 2023 年 12 月连续 36 个月，漳河水库水体富营养化处于较低水平，除 2023 年 9 月为中营养状态外，其余 35 个月均为贫营养状态。2022 年、2023 年漳河水库富营养化水平明显好于 2021 年，说明近年漳河水库水生态环境保护工作取得明显成效，已采取的措施对控制漳河水库水体富营养化针对性较强。

Table 2. List of eutrophication status of Zhanghe Reservoir from January 2021 to December 2023

表 2. 2021 年 1 月~2023 年 12 月漳河水库水体综合营养状态指数一览表

年份	营养程度	月份												年均值
		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
2021		27.9	24.4	25.7	24.6	26.7	25.6	25.4	23.9	24.3	28.9	25.9	23.2	25.5
2022		21.5	24.3	26.8	21.2	22.7	23.4	22.8	22.7	20.4	21.2	22.1	20.0	22.4
2023		23.8	22.8	21.1	20.2	23.9	20.5	22.5	23.1	30.4	25.0	28.0	26.3	24.0

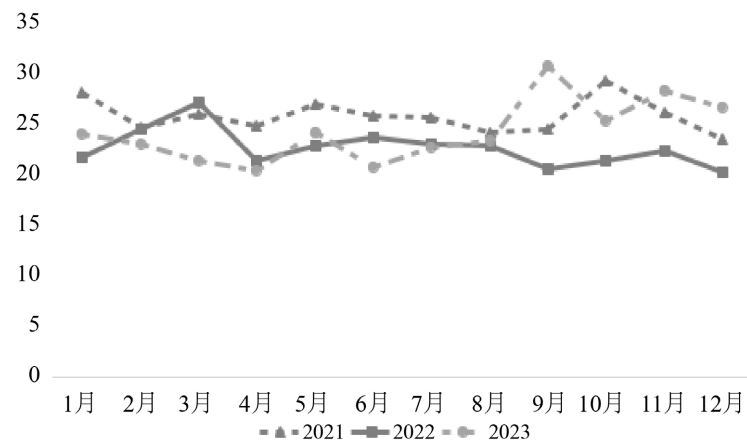


Figure 1. Trend chart of eutrophication changes in Zhanghe Reservoir from January 2021 to December 2023

图 1. 2021 年 1 月至 2023 年 12 月漳河水库水体综合富营养状态指数变化趋势图

由图 1 可以看出，漳河水库水体综合营养状态指数呈现逐月波动的趋势。其中 2022 年 12 月最低为 20.0，呈贫营养状态；2023 年 9 月最高为 30.4，呈中营养状态，较 2022 年 12 月升高 52%。2021 年 8 月和 2022 年 4 月、9 月，综合营养状态指数出现三次明显下降，分别环比下降 5.9%、20.9%和 10.1%。

3.2. 分项营养状态指数的贡献分析

为进一步识别影响综合指数变化的关键因子，本研究计算了各分项 TLI 指数的逐月值，并分析其与综合指数的相关性。结果显示，各分项指数中 TLI (COD_{Mn})的波动幅度最大，与综合指数的相关性也最高 ($r=0.84, p<0.01$)。TLI (Chla)和 TLI (TP)总体处于较低水平，表明藻类生物量未出现持续异常增殖。TLI (TN)和 TLI (SD)变化相对平缓。这一结果表明，高锰酸盐指数是驱动漳河水库综合营养状态指数波动的

主要因素。

3.3. 人类活动影响的推测性分析

图 1 显示, 2021 年 8 月和 2022 年 4 月、9 月综合营养状态指数出现明显下降(环比分别下降 5.9%、20.9%和 10.1%)。同时, 2023 年 9 月出现研究期内的唯一峰值(30.4)。这些时间点与特定人类活动事件在时间上存在重叠: 2021 年 8 月和 2022 年 4 月、9 月荆门市曾因公共卫生事件应对实施短期人员流动管控; 2023 年 9 月水库周边举办了大型体育赛事。然而, 必须强调, 上述时间上的关联性尚不能证明因果关系。由于本研究未能获取同期气象、水文及人类活动强度的定量数据, 上述关于人类活动影响的归因仅为推测, 有待后续研究验证。

4. 讨论

4.1. 漳河水库富营养化水平的横向比较

与国内外其他同类水库相比, 漳河水库的营养状态处于优良水平。例如, 密云水库(北京主要水源地)TLI(Σ)近年维持在 35~45 之间, 呈中营养状态[10]; 千岛湖部分库湾在旅游旺季可达轻度富营养[11]; 洱海流域部分水库呈现中营养向轻度富营养过渡的趋势[12]。相比之下, 漳河水库连续 35 个月保持贫营养, 体现了较好的水环境保护成效。但值得注意的是, 2023 年 9 月出现的 30.4 已接近贫-中营养阈值, 提示需警惕在特定条件下营养状态恶化的风险。

4.2. 驱动因子的识别与管理启示

分项指数分析表明, COD_{Mn} 是影响综合指数波动的关键因子。这一发现具有明确的管理指向: 控制外源输入和有机污染物应作为漳河水库富营养化防控的重点。建议: (1) 加强环库区生活污水和农业面源的管控; (2) 建立秋季水质预警机制——9 月出现的峰值提示夏末秋初可能是高风险期, 应在每年 8~9 月加密监测频次; (3) 针对大型活动(体育赛事、旅游旺季)制定水环境保护预案, 包括活动前的水质本底调查、活动中的人流和污染源管控、活动后的恢复评估[13]~[16]。

4.3. 研究局限与未来方向

本研究存在以下局限: (1) 未能获取同期水文(入库流量、水位)、气象(降雨、气温、日照)和人类活动强度(旅游人次、垂钓船数量、周边餐饮营业数据)的定量数据, 无法进行多因子驱动建模; (2) 监测频率为月度, 难以捕捉短期暴雨径流等事件性输入对水质的即时影响; (3) 归因分析基于时间上的关联性推测, 缺乏统计验证。未来研究应: 整合高频水质自动监测数据与气象水文数据及流域人类活动等指标, 构建统计模型或机理模型, 定量解析各驱动因子的贡献率, 为精准治污提供科学支撑。

5. 结论

(1) 2021 年 1 月至 2023 年 12 月, 漳河水库连续 35 个月呈贫营养状态($\text{TLI}(\Sigma) < 30$), 仅 2023 年 9 月短暂呈现中营养状态($\text{TLI}(\Sigma) = 30.4$), 水质整体优良, 满足饮用水源要求。

(2) 分项 TLI 指数分析表明, 高锰酸盐指数 COD_{Mn} 是影响综合营养状态指数波动的关键因子, 应作为水库富营养化防控的重点指标。

(3) 研究观察到综合营养状态指数在 2021 年 8 月和 2022 年 4 月、9 月下降、2023 年 9 月上升的现象。这些变化可能与人类活动强度波动有关, 需结合水文、气象等多源数据进一步验证。

(4) 建议建立秋季水质预警机制和大型活动期水环境保护预案, 重点控制外源输入和有机污染物, 持续完善环库水质监测系统。

参考文献

- [1] 李荣福, 王守红, 孙龙生, 等. 水体富营养化生态分析与“活水”生态治理的研究[J]. 世界生态学, 2019, 8(2): 90-96.
- [2] 张萌. 我国浅水湖泊富营养化治理的可用水生植物修复技术[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(8): 4649-4652.
- [3] 李林衡, 郑飞, 何春花, 等. 综合营养状态指数法评价鄞州区水库富营养化程度[J]. 中国给水排水, 2016, 32(13): 75-78.
- [4] 荆门市人民政府. 周友坤: 加强漳河水库生态环境保护推进漳河流域综合治理[EB/OL]. https://jingmen.gov.cn/art/2021/1/26/art_1141_761746.html, 2021-01-26.
- [5] 王娜. 漳河水库浮游生物群落结构和功能群特征及水质评价[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州大学, 2023.
- [6] 宗维, 李煜, 毛启曦, 等. 湖北省漳河水库沉积物重金属分布特征及生态风险评价[J]. 长江流域资源与环境, 2024, 33(12): 2688-2698.
- [7] 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, 18(5): 47-49.
- [8] 郑晓红, 汪琴. 淀山湖水质状况及富营养化评价[J]. 环境监测管理与技术, 2009, 21(2): 68-70.
- [9] 王松, 李崇武, 封瑛, 等. 洹米河水质状况调查和富营养化评价[J]. 环境保护前沿, 2021, 11(6): 1134-1142.
- [10] 辛苑, 耀方, 李添雨, 等. 密云水库入库河流微生物群落演替对氮素形态转化的影响[J]. 环境科学, 2023, 44(9): 4985-4995.
- [11] 朱广伟, 程新良, 吴志旭, 等. 千岛湖水体营养盐时空变化及水环境挑战[J]. 环境科学研究, 2022, 35(4): 852-863.
- [12] 华兆晖, 李锐, 杨智, 等. 2017-2022 年洱海水体营养状态的时空变化趋势及其成因分析[J]. 湖泊科学. 2024, 36(6): 1639-1650.
- [13] 崔爽量. 环境工程中水污染的危害与治理[J]. 化工设计通讯, 2021, 47(10): 173-174.
- [14] 杨苏树, 倪喜云. 大理州洱海流域农业非点源污染现状[J]. 农业环境与发展, 1999(2): 43-44.
- [15] 王圣瑞. 中国湖泊生态演变与保护管理[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [16] 张利民, 夏明芳, 王春, 张磊, 陆继来. 江苏省 12 大湖泊水环境现状与污染控制建议[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(2): 46-50.