

洪湖水体营养和沉水植被年际变化及生态恢复困境分析

于大超^{1,2}, 董鹏^{1,2}, 孙国军^{1,2}, 陈宝明^{1,2}, 刘铭^{1,2}, 邢伟^{3,4*}

¹中交第一航务工程局有限公司, 天津

²中交一航局武汉建设投资有限公司, 湖北 武汉

³中国科学院武汉植物园, 中国科学院水生植物与流域生态重点实验室, 湖北 武汉

⁴中国科学院武汉植物园水生植物研究中心, 湖北 武汉

收稿日期: 2024年11月26日; 录用日期: 2024年12月27日; 发布日期: 2025年1月13日

摘要

洪湖是我国第七大湖, 湖北省第一大湖, 曾有“湖北之肾”的美称, 然而目前其水生态环境已严重恶化, 大部分水域水质已沦为劣V类, 全湖沉水植被几乎消亡。本文我们通过文献检索和数据整合, 首先分析了洪湖水体营养指标, 如水体总氮、总磷、氨氮和高锰酸钾指数在60多年(1959~2020年)的年际变化以及综合营养状态指数20多年(2000~2024年)的年际变化; 然后, 分析了自1960s以来洪湖沉水植被生物量的变化趋势以及1997~2021年间沉水植被物种数的变化。结果表明, 洪湖水体营养逐年增加, 水体营养状态从中营养已升至为中度富营养状态, 水质也从较好的II~III类转变成如今的劣V类; 而且随着水环境的变差, 大型沉水植物分布面积也在逐渐缩减, 单位面积生物量从近5000 g/m²断崖式下降到几乎为零, 沉水植物物种数也从以前的20多种下跌到只剩2~3种。最后分析了目前洪湖沉水植被恢复的困难点并提出了针对性的、具有建设性的建议。该研究结果可为洪湖生态系统恢复和保护提供理论指导。

关键词

洪湖, 沉水植物, 营养水平, 水质, 生态恢复

Interannual Variations of Nutrients and Submerged Macrophytes in Honghu Lake and the Challenges of Ecological Restoration

Dachao Yu^{1,2}, Peng Dong^{1,2}, Guojun Sun^{1,2}, Baoming Chen^{1,2}, Ming Liu^{1,2}, Wei Xing^{3,4*}

*通讯作者。

文章引用: 于大超, 董鹏, 孙国军, 陈宝明, 刘铭, 邢伟. 洪湖水体营养和沉水植被年际变化及生态恢复困境分析[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(1): 7-14. DOI: 10.12677/aep.2025.151002

¹CCCC First Harbor Engineering Company Ltd., Tianjin

²Wuhan Construction Investment Co., Ltd., CCCC First Harbor Engineering Company Ltd., Wuhan Hubei

³CAS Key Laboratory of Aquatic Botany and Watershed Ecology, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan Hubei

⁴Aquatic Plant Research Center, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan Hubei

Received: Nov. 26th, 2024; accepted: Dec. 27th, 2024; published: Jan. 13th, 2025

Abstract

Honghu Lake is the seventh largest lake in China and the largest in Hubei Province, once known as the “kidney of Hubei”. However, its water ecological environment has severely deteriorated, with most areas now classified as grade inferior V, and submerged vegetations in the entire lake has almost vanished. We conducted a literature review and data integration to first analyze the water nutrients of Hong Lake, such as total nitrogen, total phosphorus, ammonia nitrogen, and potassium permanganate index, over a period of more than 60 years (1959~2020), as well as the interannual variation of the comprehensive nutrient status index over more than 20 years (2000~2024). Then, we analyzed the trend of biomass changes in submerged vegetations since the 1960s and the changes in the number of submerged macrophyte species between 1997 and 2021. The results indicated that the water nutrients in Honghu Lake have been increasing year by year, with lake nutrient status shifting from mesotrophic to moderate eutrophic. Moreover, the water quality of Honghu Lake deteriorated from a relatively good grade II~III to the current grade inferior V. In addition, as the water environment worsens, the distribution area of large submerged plants is also gradually shrinking, with biomass per unit area plummeting from nearly 5000 g/m² to almost zero, and the number of submerged macrophyte species dropping from over 20 to only 2~3. Finally, we analyzed the current difficulties in restoring submerged vegetation in Honghu Lake and provided targeted and constructive suggestions. The findings of this study can provide theoretical guidance for the restoration and protection of the Honghu Lake ecosystem.

Keywords

Honghu Lake, Submerged Macrophyte, Trophic Level, Water Quality, Ecological Restoration

Copyright © 2025 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

水生植物是湖泊生态系统健康运转的关键生物类群，也是湖泊生态系统多样性的基础。作为底质和湖水间的生物界面，它们往往还成为浅水湖泊中最大的生物类群，大型水生植物在决定水体生态系统功能上的作用非常重要，它不仅影响食物链结构，而且作为生物环境控制着其它生物类群的结构和大小，维持水环境的稳定性[1]。随着社会与经济的发展，湖泊水体氮磷营养盐浓度增加，富营养化程度加剧，水生植被尤其是沉水植被衰退和消失的现象在世界范围内普遍出现，而且灭绝速率和濒危现状远高于陆生植被。国内外大量的湖泊调查研究表明：当湖泊氮磷营养盐浓度增加到一定值时，沉水植被就会退化甚至消亡[2] [3]。

洪湖是我国第七大湖，湖北省第一大湖，上世纪 50 年代，洪湖面积达 760 平方公里，现在湖泊面积锐减到 348 平方公里，平均水深只有 1.35 米[4]。洪湖曾有“湖北之肾”的美称，但在气候变化和人类活动等多重因素，如筑堤建闸、围垦围网养殖、旱涝频发等的影响下，洪湖水生态环境已严重恶化，目前大部分水域水质已沦为劣 V 类，全湖沉水植被几乎消亡[5]。

在“长江大保护”背景下，洪湖作为国家级自然保护区和国际重要湿地，其生态恢复刻不容缓，因此深入了解洪湖水水质和沉水植被在长时间尺度下的年度变化趋势，并对目前的困境提出建议，可为洪湖生态系统综合修复工程的顺利实施提供理论和技术支撑。

2. 数据与方法

2.1. 区域概况

洪湖位于湖北省中南部、江汉平原东南端，湖区主体在洪湖市，小部分在监利市，其兼具供水、灌溉、湿地生物栖息地、养殖、航运和旅游等多种功能[4] [6]。洪湖属亚热带季风气候，四季分明，光照充足，雨量充沛，年平均气温 16.2℃，年平均降水量 1200 毫米，无霜期 240 天左右。洪湖地区经济以农业为主，盛产水稻、棉花、油菜等农作物，素有“鱼米之乡”的美誉。2008 年，被联合国列入《国际重要湿地名录》。自 1950s 以来，洪湖湿地经过筑堤建闸、围网养殖等开发利用过程，面临面积锐减、江湖阻隔、蓄泄格局恶化、水体污染与富营养化加剧等问题[7] [8]。

2.2. 洪湖水水质文献检索方法

在 Web of Science 和中国知网两个数据库中，设置检索词“洪湖/Honghu Lake”和“营养/nutrient”或“水质/water quality”，检索 1959~2024 年间与洪湖水水质相关的文献。筛选出 1959~2020 年间的水体总氮、总磷和氨氮以及 1965~2020 年间的高锰酸钾指数四个代表营养状态的指标，并根据文献数据记录做出 2000~2024 年间的水质和综合营养状态指数(TLI)的年度变化趋势图。

2.3. 洪湖沉水植被文献检索方法

在 Web of Science 和中国知网两个数据库中，设置检索词“洪湖/Honghu Lake”和“沉水植物/submerged macrophyte”，检索 1960~2024 年间与洪湖沉水植被生物量和物种数等相关的文献。筛选出 1960s~2021 年间洪湖沉水植被单位面积生物量和 1982~2020 年间物种数的变化情况。

3. 结果

3.1. 洪水水体营养年际变化

从图 1 可知，洪湖水体的总氮、总磷、氨氮和高锰酸钾指数整体上均呈上升趋势。水体总氮、总磷浓度在 2001 年以前变化较为缓慢，之后上升速度明显加快。水体氨氮浓度也同样在 2000 年后波动增大，并在 2020 年达到较高水平。高锰酸钾指数也在逐年增加，但增加幅度远没有水体总氮总磷升高的幅度大。以上均表明湖泊承受的有机污染物负荷在增加，可能与生活和工业污水以及养殖废水排放有关。此外，洪湖在 2011 年冬春夏三季连旱和 2016 及 2020 年年流域性大洪水也对水体营养状态产生显著影响。

图 2 显示，在 2017 年以前，洪湖营养状态大都处在中营养水平，尽管总氮总磷水平波动式上升，但整体状态还未进入到富营养水平。但从 2017 年以后，水体营养状态直线上升，从 2000 年开始洪湖进入到中度富营养状态。水质类型也是同样的变化趋势，从 2017 年以后水质大多为 V 类水，而目前已成为劣 V 类水。

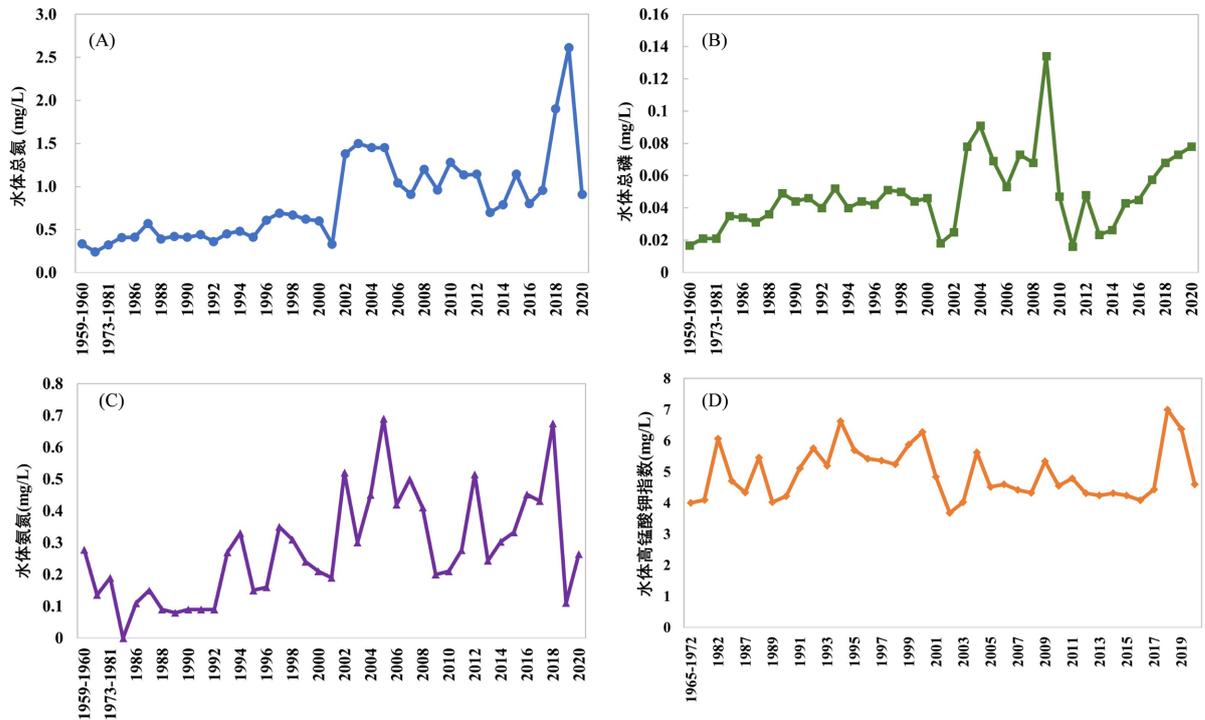


Figure 1. Interannual variations of water nutrients in Honghu Lake since the 1950s: (A) Total nitrogen in water; (B) Total phosphorus in water; (C) Ammonia in water; (D) Potassium permanganate index in water

图 1. 1950s 以来洪湖水体营养指标的年际变化: (A) 水体总氮; (B) 水体总磷; (C) 水体氨氮; (D) 水体高锰酸钾指数



Figure 2. Interannual variations of the TLI in Honghu Lake

图 2. 洪湖水体综合营养状态指数的年际变化

3.2. 洪水沉水植被变化

图 3 显示, 1960s~1980s 洪湖沉水植被生物量是上升的, 但之后一直到 2000 年有个急剧下降, 可能与 1998 年大洪水有关。随后显著增长, 一直到 2014 年达到最大值。从 2015 年后单位面积生物量从近 5000 g/m² 断崖式下降到现在几乎为零(图 3(A))。

从图 3(B)可知, 1982~2020 年间洪湖沉水植物物种数一直在降低, 从以前的 20 多种下跌到只剩 2~3 种。沉水植被优势种也从 1959~1960 年的轮叶黑藻, 转变为 1981~1982 年的微齿眼子菜和穗花狐尾藻, 逐渐转为微齿眼子菜单一优势种。

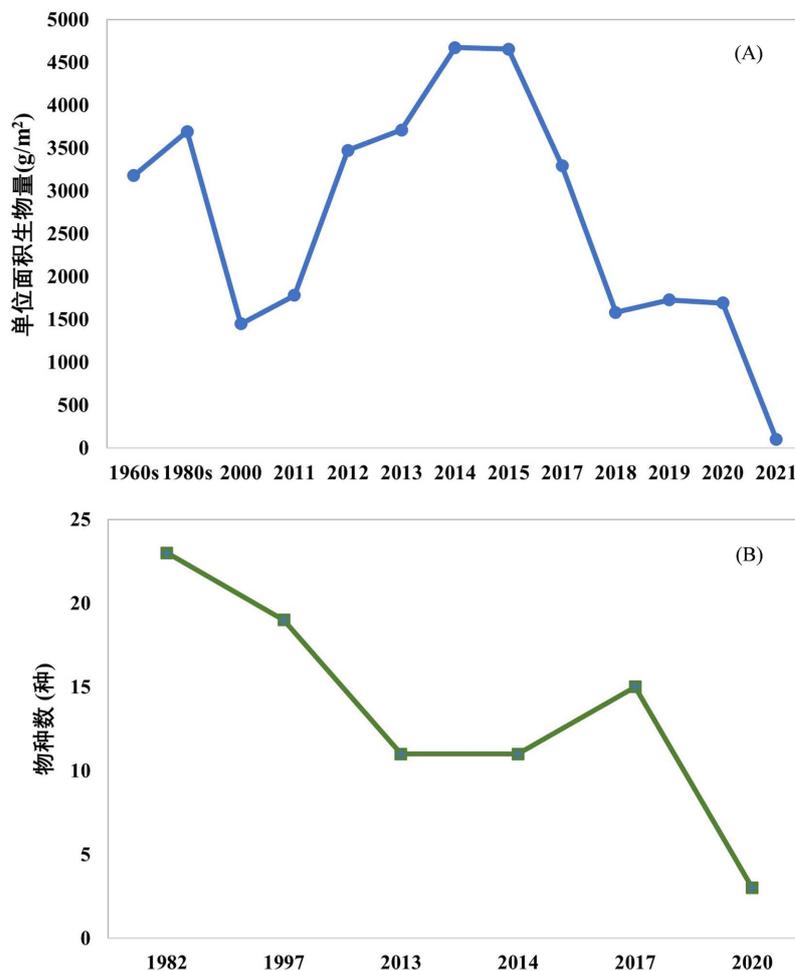


Figure 3. Interannual variations of submerged vegetation biomass (A) and species number (B) in Honghu Lake
图 3. 洪湖沉水植被生物量(A)和物种数(B)年际变化

4. 讨论

4.1. 水质和沉水植物年际变化

我们对洪湖水体营养和沉水植物年际变化的结果表明洪湖水体一直在经历着营养加富的过程，这与以往的研究文献结果是一致的。例如，王飞和谢其明[9]对洪湖水质进行了较早的水质状况演变分析，主要分析了1959~1982年间洪湖水体硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮和磷酸盐的年际变化；成小英和李世杰[10]分析了洪湖从1959~1992年总氮总磷氨氮和高锰酸钾指数的年际变化；胡学玉等[11]对1990~2003年洪湖水体环境质量演变进行了分析，主要分析了总磷、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮和高锰酸钾指数的年际变化；刘昔等进行了1990~2020年洪湖水环境的时间突变分析[5]；Yang等利用卫星监测数据分析了洪湖2000~2021年水体的营养状况[4]。所有上述研究均表明，洪湖水体水质变化前后期主要受围湖造田，围网养殖活动和江湖连通水文过程等的显著影响[8]。

关于洪湖沉水植被历史变化的研究较多，时间线从1960s[12]、1980s[13]、1990s[14][15]、2000s[16]到2020s[5][17]。然而，受人类活动如水利工程、围垦及围网养殖导致的水文过程和水质变化等多种因素的影响，洪湖水生植被锐减[5][8][17]。刘昔等[5]通过对2011~2020年洪湖沉水植被变化的分析，发现10年间洪湖沉水植物的物种丰富度指数、香浓多样性指数和均匀度指数均显著降低。针对优势沉水植物

的分布区域,宋辛辛等[17]指出 1990s 之前,洪湖穗状狐尾藻、微齿眼子菜和金鱼藻群落分布范围从浅水区向湖心扩展,而轮叶黑藻群落从湖中心消失;2000 年以后各群落分布破碎化明显,主要分布于洪湖湖心、湖东部及东北部区域。目前,洪湖沉水植被几乎消失殆尽,只能在岸边水域发现零星分布的较耐污的苦草、穗花狐尾藻或金鱼藻。

4.2. 沉水植被恢复的困境与解决策略

4.2.1. 流域面积大、点源面源污染截流不彻底

洪湖是其流域内主要调蓄型湖泊,并兼有灌溉、生产生活供水、物种保护、养殖、旅游等多项功能[18]。洪湖上游来水主要来自四湖总干渠,四湖总干渠自长湖习口闸往下,流经沙市区、潜江市、江陵县、监利市、洪湖市,沿途接纳歧湖渠、西干渠、东干渠等排水支渠来水,以及两岸各类生产生活排水、洪涝渍水[19]。

洪湖流域是湖北省重要的农产品生产基地,洪湖流域占湖北省国土面积的 6.3% [20]。全流域化肥施用量约 30 万吨(折纯量),全流域农药使用量 2.2 万吨,化肥流失造成的农业面源氮、磷污染较大,而且流失的化肥多为溶解态[21],进入湖泊水体,极易导致藻类过度生长,形成水体富营养化[22]。

针对上述情况,建议流域整体控源截污,全力提升洪湖流域水环境质量。严格管控北部湖区的工业废水和生活污水排放,并减少化肥和农药的使用。同时,应优化养殖规模,减少饵料投入,促进湖内水草资源的恢复与可持续利用。通过提升水体自净能力,遏制水质恶化趋势,实现洪湖生态环境的可持续发展。

4.2.2. 水体风浪大,浑浊度高,透明度差

近年来拆围、退垸等人为干扰以及洪水事件等导致洪湖沉水植被死亡。缺少水生植被的阻挡和减缓,风吹程增加,风浪增大,底泥再悬浮导致水体混浊度增大,透明度严重降低[23];同时,水和底泥营养的增加又促进了藻类的快速繁殖,使悬浮颗粒物浓度继续增加,进一步加剧透明度的下降[22]-[24]。

建议构筑消浪坝或其他消浪措施,减少风的吹程,降低风浪,减少沉积物再悬浮,从而增加水体透明度。

4.2.3. 鱼类结构失衡,种类组成不合理

自 2017 年以来洪湖开展增殖放流累积向湖体投放鱼苗 1.2 亿多尾,2018 年全面禁捕以来,洪湖鱼类资源量迅速增长。目前洪湖鱼类中鲤形目占 80%以上,以底层杂食性鱼类为主,对湖泊底泥沉降和水生植被恢复非常不利[25]。

建议结合当前洪湖鱼类资源迅速增长、鱼类优势种群发生变化的实际情况,进行鱼类种群结构调控,通过鱼类结构调控达到以鱼净水的目的。在生态恢复初期,应增加滤食性鱼类数量,减少草食性和杂食性鱼类数量,严格控制肉食性鱼类数量[26]。

4.2.4. 沉水植被配置不合理,恢复面积不切实际

目前包括洪湖在内很多长江中下游湖泊,在进行沉水植被恢复时,为了体现物种多样性,几乎都一次性种植很多沉水植物物种,如苦草、穗花狐尾藻、金鱼藻、轮叶黑藻、篦齿眼子菜、竹叶眼子菜、光眼子菜、微齿眼子菜、菹草等长江中下游常见沉水植物物种[5] [17] [27]。但是种植下去后,恢复效果并不好,原因是有些物种最开始并不能很好的适应较差的水环境,而且物种之间还存在着竞争,使其他物种难以生存。例如,菹草在每年的 5~6 月份开始腐烂。进一步恶化水质,不利于其他沉水植物的生长[28]。

洪湖历史上沉水植被物种数可高达到 19 种以上[14],但在进行生态恢复前期同样不可一次恢复太多物种。建议先恢复 2~3 种先锋物种如苦草、穗花狐尾藻等,建群拓殖后,让其降低风浪,减少水体悬浮

物,提升水体透明度[29][30]。清水物种如微齿眼子菜等可在后期水质转好后再恢复种植[27]。此外,恢复面积不易贪大,应多开展湖湾及近岸沉水植物种植试点,逐步推进洪湖沉水植物恢复,重构健康水体生态系统。以截污控源为基础,结合水位及水文节律的调控,促进洪湖敞水区水生植物自然恢复及群落结构优化调整。

5. 结论

1) 1950s~2020 年洪湖水体总氮、总磷、氨氮和水体高锰酸钾指数年年上升,2000 年后增加迅速;2000~2024 年的 *TLI* 表明,洪湖从 2017 年以后才进入到了中度富营养状态;水质从 2017 年以后也大多为 V 类水,而目前已成为劣 V 类水。

2) 1960s~2021 年洪湖大型沉水植物分布面积逐渐缩减,单位面积生物量从近 5000 g/m² 到现在几乎为零;1982~2021 年 40 年间沉水植物物种数也从以前的 20 多种下跌到只剩 2~3 种。

3) 目前洪湖生态恢复面临的困境是:截污不彻底、透明度差、鱼类结构不合理、沉水植被配置不当等;提出建议有:从流域角度出发,控源截污,提升水环境质量;调整鱼类结构;分区逐步恢复沉水植被。

基金项目

国家自然科学基金(32170375),洪湖茶坛岛生态恢复工程生态调查项目(E4412A01)。

参考文献

- [1] Jeppesen, E., Søndergaard, M., Søndergaard, M., *et al.* (2012) The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes (Vol. 131). Springer Science & Business Media.
- [2] Yang, C., Shen, X., Wu, J., Shi, X., Cui, Z., Tao, Y., *et al.* (2023) Driving Forces and Recovery Potential of the Macrophyte Decline in East Taihu Lake. *Journal of Environmental Management*, **342**, 118154. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118154>
- [3] Neijnsens, F.K., Moreira, H., de Jonge, M.M.J., Linssen, B.B.H.P., Huijbregts, M.A.J., Geerling, G.W., *et al.* (2023) Effects of Nutrient Enrichment on Freshwater Macrophyte and Invertebrate Abundance: A Meta-Analysis. *Global Change Biology*, **30**, e17094. <https://doi.org/10.1111/gcb.17094>
- [4] Yang, F., He, B., Zhou, Y., Li, W., Zhang, X. and Feng, Q. (2023) Trophic Status Observations for Honghu Lake in China from 2000 to 2021 Using Landsat Satellites. *Ecological Indicators*, **146**, Article 109898. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109898>
- [5] 刘昔, 厉恩华, 徐杰, 等. 洪湖湿地生态系统演变及稳态转换关键驱动因子阈值研究[J]. 湖泊科学, 2023, 35(3): 934-940.
- [6] 张莹莹, 蔡晓斌, 杨超, 等. 1974-2017 年洪湖湿地自然保护区景观格局演变及驱动力分析[J]. 湖泊科学, 2019, 31(1): 171-182.
- [7] 厉恩华, 杨超, 蔡晓斌, 等. 洪湖湿地植物多样性与保护对策[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 30(3): 623-635.
- [8] 赵素婷, 周瑞, 袁赛波, 等. 长江中下游浅水湖泊湿地植物保护与恢复[J/OL]. 人民长江. <https://link.cnki.net/urlid/42.1202.TV.20241029.1741.004>, 2024-11-26.
- [9] 王飞, 谢其明. 洪湖湿地生态系统的演替趋势及管理对策[J]. 农村生态环境, 1990(2): 21-25.
- [10] 成小英, 李世杰. 长江中下游典型湖泊富营养化演变过程及其特征分析[J]. 科学通报, 2006, 57(7): 848-855.
- [11] 胡学玉, 陈德林, 艾天成. 1990-2003 年洪湖水体环境质量演变分析[J]. 湿地科学, 2006, 4(2): 115-120.
- [12] 陈洪达. 洪湖水生植被[J]. 水生生物学集刊, 1963(3): 69-81.
- [13] 李孝慈. 洪湖水生维管束植物的调查 洪湖水生资源(二) (铅印本) [Z]. 1982: 37-51.
- [14] 李伟. 洪湖水生维管束植物区系研究[J]. 武汉植物学研究, 1997, 15(2): 113-122.
- [15] 李伟. 洪湖水生植被及其演替研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 1995.
- [16] 简永兴. 两湖平原湖泊湿地水生植物多样性编目与评价[D]: [博士学位论文]. 武汉: 武汉大学, 2000.

- [17] 宋辛辛, 蔡晓斌, 王智, 等. 1950s 以来洪湖主要优势沉水植物群落变化[J]. 湖泊科学, 2016, 28(4): 859-867.
- [18] 李昆, 王玲, 李兆华, 等. 丰水期洪湖水质空间变异特征及驱动力分析[J]. 环境科学, 2015, 36(4): 1285-1292.
- [19] 李岚晶, 封瑛. 中国洪湖沉水植物群落调查与分析[J]. 世界生态学, 2018, 7(2): 129-141.
- [20] 马玉宝, 陈丽雯, 刘静静, 等. 洪湖流域农业面源污染调查与污染负荷核算[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(4): 803-806.
- [21] 仲宇, 夏智宏, 张丽文, 等. 湖北省洪湖流域非点源污染模拟评价[J]. 中南农业科技, 2023, 44(8): 128-132.
- [22] Conley, D.J., Paerl, H.W., Howarth, R.W., Boesch, D.F., Seitzinger, S.P., Havens, K.E., *et al.* (2009) Controlling Eutrophication: Nitrogen and Phosphorus. *Science*, **323**, 1014-1015. <https://doi.org/10.1126/science.1167755>
- [23] 秦伯强, 杨柳燕, 陈非洲, 等. 湖泊富营养化发生机制与控制技术及其应用[J]. 科学通报, 2006, 51(16): 1857-1866.
- [24] Wurtsbaugh, W.A., Paerl, H.W. and Dodds, W.K. (2019) Nutrients, Eutrophication and Harmful Algal Blooms along the Freshwater to Marine Continuum. *WIREs Water*, **6**, e1373. <https://doi.org/10.1002/wat2.1373>
- [25] 纪磊, 何平, 叶佳, 等. 近 50 年来洪湖鱼类群落分类学多样性变动[J]. 湖泊科学, 2017, 29(4): 932-941.
- [26] 陈光荣, 刘正文, 钟萍, 等. 热带城市湖泊生态恢复中水生植被、浮游动物和鱼类的关系研究[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 1-7.
- [27] Huang, W., Liu, J., Shi, Q. and Xing, W. (2017) Characteristics of the Elemental Stoichiometry of Submerged Macrophytes and Their Relationships with Environments in Honghu Lake (China). *Fundamental and Applied Limnology*, **190**, 299-308. <https://doi.org/10.1127/fal/2017/1034>
- [28] 孔维健, 梁玉, 张文馨, 等. 山东南四湖菹草时空分布及其对水环境的影响[J]. 湿地科学与管理, 2024, 20(2): 23-28.
- [29] Zeng, L., He, F., Dai, Z., Xu, D., Liu, B., Zhou, Q., *et al.* (2017) Effect of Submerged Macrophyte Restoration on Improving Aquatic Ecosystem in a Subtropical, Shallow Lake. *Ecological Engineering*, **106**, 578-587. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.05.018>
- [30] Liu, H., Zhou, W., Li, X., Chu, Q., Tang, N., Shu, B., *et al.* (2020) How Many Submerged Macrophyte Species Are Needed to Improve Water Clarity and Quality in Yangtze Floodplain Lakes? *Science of the Total Environment*, **724**, Article 138267. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138267>