Risk Analysis of Water Eco-environment and Prevention and Control in Dongting Lake

Dehua Mao[1,2*], Zhuoya Wang[1,2]

[1] *School of Geographical Sciences, Hunan Normal University, Hunan, Changsha 410081, China;*

[2]*Hunan Key Laboratory of Ecological Environment Change and Carbon Sequestration in Dongting Lake Basin, Hunan, Changsha 410081, China*

[*] *Corresponding author, E-mail: maodehua@hunnu.edu.cn*

ABSTRACT

As the second largest freshwater lake in China, the health status of the water ecological environment of Dongting Lake not only has a profound impact on the biodiversity of the lake area, but also directly relates to the flood safety, water resource security, and food security of the lake area and the middle and lower reaches of the Yangtze River. In recent years, with the influence of industrial development, urbanization and agricultural non-point source pollution, the water ecological environment of Dongting Lake is facing increasingly severe pressure. Although various remediation projects targeting the water ecological environment of Dongting Lake have achieved initial results, the ecological environment of the lake is stable and improving on the whole, but there are still risks such as frequent flood and drought disasters, rapid change of drought and flood, flood season drought, local water pollution and wetland function degradation, which seriously threaten the safety of the lake area. Therefore, it is particularly important to conduct a comprehensive risk analysis on the water ecological environment of Dongting Lake. Based on literature research, statistical analysis and water environment assessment methods, this study deeply analyzed the main risk factors of the water eco-environment of Dongting Lake and put forward the prevention and control measures , in order to provide scientific basis and reference for "protecting the clear water of the river" and supporting the green and sustainable development of the social economy of the lake.

Keywords: *Water Eco-environment, Risk Analysis, Prevention and Control, Dongting Lake*

洞庭湖水生态环境风险分析及其防控

毛德华[1,2,*]，王卓雅[1,2]

[1] *湖南师范大学 地理科学学院，湖南 长沙 410081；*

[2] *洞庭湖流域生态环境变化与固碳增汇湖南省重点实验室，湖南 长沙 410081*

[*]*通讯作者. 电子邮箱：maodehua@hunnu.edu.cn*

摘要

洞庭湖作为中国第二大淡水湖，其水生态环境的健康状况不仅对湖区的生物多样性产生深远影响，还直接关系到湖区及长江中下游地区的防洪安全、水资源安全和粮食安全。近年来，随着工业发展、城市化进程加快以及农业面源污染等因素的影响，洞庭湖的水生态环境面临着日益严峻的压力。尽管各项针对洞庭湖水生态环境的整治工程已初见成效，湖区生态环境整体稳中向好，但洪旱灾害频繁、旱涝急转、汛期反枯、局地水污染及湿

© The Author(s) 2025

S. Qiao et al. (eds.), *Proceedings of the 11th Annual Meeting of Risk Analysis Council of China Association for Disaster Prevention (RAC 2024)*, Advances in Economics, Business and Management Research 367,
https://doi.org/10.2991/978-94-6463-946-9_20

地功能退化等风险依然存在，严重威胁着湖区安全。因此，对洞庭湖水生态环境进行全面风险分析显得尤为重要。基于文献研究、统计分析及水环境评价方法，深入剖析洞庭湖水生态环境安全的主要风险因素，并提出防控措施，以期为“守护好一江碧水”及支撑湖区社会经济的绿色可持续发展提供科学依据和参考。

关键字：*水生态环境, 风险分析, 防控，洞庭湖*

1.引言

洞庭湖 (28° 30' N ～ 30° 20' N，110° 40' E ～ 113° 10' E) 位于长江中游荆江南岸，南汇四水，链接长江，总面积约为 2625 km^2，多年平均径流量 2842 ×10^8 m^3，占长江多年平均径流量 8983×10^8 m^3 的 31.6 %[1]，是我国第二大淡水湖（图 1），地域之间的物质迁移、能量传递和信息交流复杂而又强烈。作为典型的吞吐调蓄型湖泊，洞庭湖水流速度快，水交换能力强，营养盐分布、输移和循环过程对湖泊水动力条件变化极为敏感[2]。近年来，在三峡工程运行引起的水沙节律变化及人类活动的交织影响下，洞庭湖三口入湖水量急剧减少，平均水循环周期由 18 d 延长至 29 d[3]，深刻地改变了长江—洞庭湖的水沙关系，湖区“江湖、河湖、人湖”相互作用关系日趋复杂，水生态环境演变剧烈[4,5]，给洞庭湖水安全带来了新的风险。

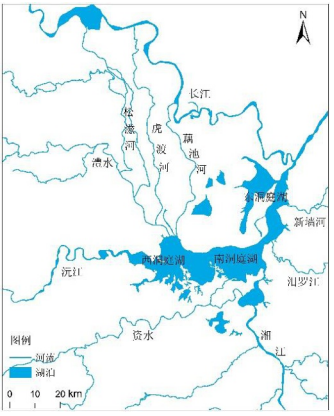

图 1 洞庭湖水系图

2. 洞庭湖水生态环境风险因素分析

2.1 洞庭湖水文风险因素分析

2.1.1 中上游水土流失、下游泥沙淤积、湖体萎缩致使洞庭湖洪枯调蓄功能退化

洞庭湖流域除安乡及南县无明显水土流失外，其他地方均有程度不一的水土流失[6]，并有向四水流域中上游发展的演变趋势，主要分布在湘西北澧水上游流域武陵山区和沅水中上游西部。据最新的长江流域水土保持公报[7]，近年来洞庭湖流域水土流失面积呈减小趋势，由 2018 年的 45532 km^2 减少至 2020 年的 40715 km^2，强度由以轻度和中度水土流失为主转变为以轻度为主，水土流失状况整体上得到了一定的控制和改善。但流域东部的长株潭城市群及南部阳明山等区域土壤侵蚀仍呈显著加剧趋势[8]。因此洞庭湖流域水土流失局地恶化的形势仍不容乐观。

泥沙顺着河网、洪道汇入湖体，加之历史上人类高强度围湖造田，导致洞庭湖湖泊面积和湖容大幅度萎缩。据国家气象局遥感中心发布的遥感监测报告显示，洞庭湖水域面积从 2000 年的约 3000 km^2 减少至 2020 年的约 2200km^2，水量减少超过了 25%。研究表明，三口是洞庭湖输入泥沙的主要来源[9]。虽然三峡运行使得三口入湖沙量减少，一定程度上缓解了洞庭湖的泥沙淤积量和萎缩速率，但长江上中游各级水库的联合蓄洪调蓄同时也导致入湖径流锐减，致使洞庭湖 9~10 月水面大幅萎缩，低枯水位提前 1 个月。洞庭湖的洪枯调控受到深刻影响，可能会带来一系列生态、经济和社会风险，包括但不限于区域渔业资源减少、旅游业受挫、水资源竞争加剧、防洪能力下降、水质恶化、生物栖息地丧失、生态系统韧性减弱等。

2.1.2 洪旱灾频发、具有旱涝急转、汛期反枯等极端现象

洞庭湖吞吐长江，承纳四水，各河流的来水来沙

或输水输沙情势变化均会对湖泊水沙产生影响。受湖体萎缩导致的洪枯调控能力退化、城陵矶至汉口河段泄流不畅的影响，极易导致洪涝灾害。据 1471－2022 年洪灾发生情况统计（表 1），洞庭湖区域洪灾发生频率呈上升趋势。其中，1959－2022 年荆江三口南流时期洪水总频次为 31 次，频率为 48.4%，平均每两年就有一次洪水发生。由于洞庭湖还承纳湖区和“四水”来水，三峡工程的调度不能完全解决湖区洪涝问题，洞庭湖抗洪压力依然严峻。

全球气候变化导致极端气候事件频发，在长江流域则表现为干旱事件的发生，且近年来干旱发生的频次和强度均有所增加，枯水期“长江水”进不来、“洞庭水”留不住，成为新常态。受衡－邵干旱走廊等湖南省干旱本底区和三峡工程运行带来的水资源节律时空变异影响，洞庭湖于 2007、2011、2013、2022 年均出现了汛期反枯的异常现象。其中，2011 年旱涝急转最为典型：6 月前该地区出现近 60 a 来最严重的冬春连旱，但 6 月 3 日起连续发生的 5 轮强降水又使大旱迅速转为大涝，导致湖区受灾严重。2022 年夏季长江流域连月高温少雨，洞庭湖区水位持续走低，丰水期的 8 月城陵矶站最低水位达 21.13 m，刷新 1904 年建站以来月最低水位 22.01 m 的历史记录，发生了 1961 年以来范围最大、干旱时间最长的“夏秋冬三季连旱”[10]。2024 年也发生了洪旱急转。

总之，受各因素的交织影响，洞庭湖流域内水文循环愈加不稳定，极端天气频发，水旱灾害的发生风险高，且流域开发与人类活动的加剧也在一定程度上加大了生态系统的脆弱性，一旦发生特大洪灾/旱灾，将导巨大的损失。

表 1 洞庭湖区洪灾发展状况(1471～2022 年)

发展阶段	起止年份	历时/年	频次	频率/%
荆江北岸堵口以前	1471-1524	54	14	25.9
荆江北岸堵口至四口南流形成以前	1525-1873	349	103	29.5
荆江四口南流时期	1874-1958	85	33	38.8
荆江三口南流时期	1959-2022	64	31	48.4

注：部分数据引用自[15]

2.2 洞庭湖水环境风险因素分析

2.2.1 局地水污染严重，藻类水华及富营养化潜在风险不容忽视

近年来洞庭湖整体水环境质量向好，V类、劣V类水退出洞庭湖，说明针对洞庭湖水环境的整治行动已取得良好成效，但目前湖区水质仍以IV类水为主，尤其一些相对封闭的内湖，水质总体较差。

对洞庭湖主要水质参数分析可知，TN、TP、BOD_5、叶绿素浓度等四项指标在近 30 年间呈现波动上升趋势。其中，洞庭湖 TN 浓度介于 0.91－2.34 mg/L 之间，全湖平均浓度由 1991 年的 1.11 mg/L 波动上升至 2022 年的 1.62 mg/L，超IV类水标准；TP 浓度介于 0.023－0.22 mg/L 之间，全湖平均浓度由 1991 年的 0.04 mg/L 波动上升至 2022 年的 0.056 mg/L，超III类水标准。根据《地表水环境质量标准》（GB 3838－2002），当 TN、TP 不参与水质评价时，洞庭湖水体总体为II、III类水；当 TN、TP 参与水质评价时，为IV类甚至V类水。可见，TN、TP 是影响洞庭湖水质的主要限制因子[11]。此外，重金属和有机污染物对湖泊水质的影响及其所带来的风险也不容忽视[12,13]。

水华现象不仅影响湖水的透明度，阻碍阳光透入水体，还会导致氧气耗竭，影响水中生物的生存环境。水华爆发后死亡的藻类会沉入水底，进一步导致水体的缺氧现象加剧。随着藻类的死亡及分解，水体中的有机物质增加，水质恶化，形成恶性循环。近 30 年间，洞庭湖长期稳定处于中营养($30 \le TLI \le 50$)水平，但全湖 TLI 呈现显著的上升趋势，尤其是 2003 年三峡工程运行后，荆江三口入湖水沙减少，水体流速趋缓，水环境相对稳定，氮磷滞留时间延长，这些条件有利于浮游植物的生长繁殖，TLI 较蓄水前有明显升高。近十年来湖区 TLI 平均值为 48.76，处于中营养濒近轻度富营养($TLI > 50$)水平，需更加重视防范藻类水华及富营养化风险。

2.3 洞庭湖水生态风险因素分析

2.3.1 生物多样性减少，湿地生态系统稳定性降低

生物多样性是生态系统稳定性的基石。三峡运行

后洞庭湖水文情势显著变化，洲滩出露时间增加，导致湖滨带植被发生退化、演替，高滩植物挤占低滩植物生长空间等一系列问题，洞庭湖湿地生态系统健康受到严重威胁。湿地生态系统退化后不仅会削弱其对水质净化的调节能力，也会限制生物栖息环境的供给，从而加剧了生态系统的脆弱性，导致生物多样性减少，水鸟栖息地减少，水生动植物群落结构趋向单一化，生物种类、数量和多样性衰退等一系列问题，使生态链的完整性遭到严重破坏。研究表明，TN 是影响洞庭湖浮游植物[3]和大型底栖动物[14]的主要因素，但目前 TN 却不参与水环境考核评价，洞庭湖的营养控制目标主要是 TP，TN 在近 30 年间极显著的上升趋势加剧了洞庭湖生物多样性退化风险。

水情是影响通江湖泊湿地生态系统结构稳定性和脆弱性的关键变量。频繁的极端水文事件显著改变了洞庭湖的水力特性，进而影响其湿地生态系统结构和生物地球化学循环，最终威胁整个湿地生态系统的完整性和稳定性。过去几十年间，由于生态环境恶化、高频高强的人类活动和大量水利工程建设，洞庭湖流域江湖、河湖之间天然的水力联系被割裂，天然湿地大量萎缩，湿地斑块数量、破碎程度增加，景观连通性降低，部分湖泊湿地退化严重，呈现出明显的正向演替趋势。1980－2015 年，洞庭湖湿地总面积减少了 232.60 km^2；其中南洞庭湖减少最多，共减少 218.54 km^2，损失率高达 20.30%，对越冬候鸟食源和栖息地构成严重威胁[15]。此外，湿地植被中人工栽种比例高，沿湖围垦区域植被结构单一、种植密度大，林下配套植被缺失，导致湿地生态系统抗干扰功能减弱，生态服务调节功能受损。

2.3.2 血吸虫病、外来物种入侵等加剧了湖区生态系统退化风险

血吸虫病是由血吸虫引起的寄生虫病，普遍分布于水域相对广泛的地区。洞庭湖由于其水环境适宜，为血吸虫的生存和繁殖提供了良好的条件。湖周围的耕地和湿地为钉螺这样的传播中间宿主创造了滋生的环境，钉螺能够在浅水区和地下水中繁殖，增加了血吸虫传播的风险。此外，当地农民和渔民因经济需求而频繁接触湖水，增加了感染的概率。尽管近年来政府采取了一系列控制措施，如定期开展灭螺行动和村民健康教育，但由于湖泊生态环境的复杂性和人群流动性，血吸虫病的防控依然面临巨大挑战。

外来物种入侵对本土生态系统造成了严重威胁。洞庭湖区外来生物入侵整体上呈现种类多、增速快、危害程度加重等特点。2021 年洞庭湖区域共有 35 科 82 属 107 种外来入侵植物，且有 19 种为恶性入侵、24 种为严重入侵，入侵与扩散速度迅猛[16]。外来物种不仅与本土物种争夺栖息和生存空间，还可能携带寄生虫或成为新的病原体宿主。它们的扩散往往导致本地主导物种与生物群落结构发生改变，降低了生物多样性。这种生物多样性的丧失，使得生态系统在面对环境变化时的韧性减弱，更容易受到环境污染和气候变化的影响。例如，福寿螺等外来物种在湖区的扩散，不仅侵占了本土物种的栖息空间，还可能破坏原有的生态平衡，进一步加剧生态系统的退化；水葫芦，空心莲子草等水生植物广泛分布于池塘、湖道、河边，严重堵塞河道，破坏水体环境；加拿大蓬、三裂叶薯、加拿大一枝黄花、三叶鬼针草等陆生杂草随处可见，影响本土植物的正常生长，严重时导致本土生物种群减少甚至灭绝。

3.洞庭湖水生态环境风险防控措施

受人类不合理资源开发利用及自然因素的交互影响，洞庭湖水生态环境面临复杂多样的风险，但同时洞庭湖又具有重要的生产价值、洪水调蓄价值、生境维持和生物多样性保护价值。因此，要建立健全洞庭湖水生态环境风险防控体系，以实现洞庭湖区人水和谐与可持续发展。

3.1 建立跨区域的人水协调的流域水资源统一管理机构

作为一个完整的地域生态系统，洞庭湖综合规划包括抗灾减灾、水资源可持续供应、水环境治理、水生态保护修复、生物多样性保护等多个方面，但由于不同行政区管控力度、标准的差异，产生了氮磷管控不衔接、污染单向片面治理、河湖管理死角等问题，制约区域整体协调绿色发展。故应建立跨行政区的流域水资源统一管理机构，统筹洞庭湖乃至长江全流域

“一盘棋”，按照“一事一议”的原则明确重点工作任务，落实各方责任。依照“山水林田湖草沙”的治理思想统筹流域内森林草地、河湖水体、湿地等各自然要素，治水与治山、治水与治林、治水与治田综合开展，统筹人湖、江湖、河湖、山湖、上下游、左右岸、干支流、城市乡村、水域和陆地系统，以绿色、低碳、循环的新质化理念引领开展水资源的开发、利用、保护及水生态环境修复工作。

首先，深入研究区域内三峡工程运行后所带来的江湖、河湖、人湖关系新变化，在此基础上制定综合性水资源管理规划，考虑流域内各类水资源的分布、利用和保护情况，确立水资源管理的总体目标和方向。其次，针对季节性、水质性缺水问题，强化水源地保护，制定水资源调控措施，包括水库生态调度、河道治理、水系连通、水资源分配等，以实现水资源的合理利用和调配。最后，在防洪体系建设方面，坚持“以泄为主，蓄泄并筹”原则，逐步形成以三峡工程为骨干，堤防建设和河道疏浚为基础，各级水库群联合调度与蓄滞洪区建设相配套，水土保育、湖垸互换、退耕还林还湖等措施为辅助的工程措施与非工程措施相结合的综合防洪体系。

3.2 截污控源与治污修复并举

第一，实施差异化污水排放治理措施和更严格的氮磷总量削减行动，鼓励工厂企业向产业园集中，集中治水排水，积极引入如超纳米气溶复氧技术、光催化技术等符合新质生产力要求的水环境治理新技术，提高水资源循环利用率和污水处理效率，对重点涉水企业和工业园区污水主管网安装拉网式在线监控，数据实时上传至监管平台，出现异常情况可精准摸排、有效溯源、增效减负。

第二，完善主城区雨污分流管网体系，建设中水回用网络，促进城市污水的循环利用，有条件的农村实行新建房屋自主改厕和污水集中回收处理，整治“黑灰水”合流现象。

第三，造成洞庭湖 N、P 污染的主导因素是农业面源污染尤其是化肥的施用。在农业面源污染敏感区域推广测土配方施肥技术，实现科学施肥，推进农药化肥减量增效和农业废弃物资源化。合理规划畜禽养殖规模，引导畜禽养殖由散养向集约养殖转变，利用堆肥还田、生物处理等措施实现湖区畜禽养殖粪污无害化处理及资源化利用。全面规划渔业养殖区域，因地制宜地推广如稻渔套养、渔藕套养、稻－鱼－萍、鱼－桑－禽等多种形式的绿色养殖模式，推广生态饵料，建设尾水生态化治理工程。区位优越地区建立田园综合体，发展“生态+”农业，利用互联网打造“两茶两油两菜”农产品可溯源的绿色产业链，实现生态良性循环。

3.3 构筑数字孪生水利体系

在新质生产力背景下，围绕区块链、大数据、云计算、AI 等数字技术，创新性构建湖区立体化、全方位、智慧感知的数字孪生水利体系，做到对流域、水网、工程的全时空、全过程、全要素的数字化映射、智能化模拟，夯实数据底板。首先，明确监测目标，如水质保护和水资源管理，通过对相关需求的细致分析，确定监测指标与预警频率。然后通过在流域内设立多个监测点，采用物联网技术实现数据采集，包括水质参数、水量以及生物多样性。同时，结合卫星遥感、无人机航拍智能传感器等感知技术，对堤防河道、生态廊道、岸线功能区、湿地等进行大范围的环境数据补充。所采集的数据实时传输至云端，确保数据的及时存储与处理。利用大数据分析技术解析历史与实时数据，真实反映洞庭湖流域生态系统的动态变化，以识别潜在风险。利用上述数据构建数字孪生模型，并保持模型的动态更新，保障湖区合理开发、保护与管理水资源。

3.4 强化绿色科技创新支撑

围绕减污降碳协同控制与资源化利用、生物多样性与生态系统完整性恢复、数字化治理等领域布局一批前瞻性、战略性、颠覆性科技攻关项目，强化生态环境数智化治理科技支撑。加快新一代材料技术、生物技术、信息技术与生态环保产业融合发展，逐步构建新型水处理技术，污染源控制技术，湿地修复技术和智能监测技术集成的技术体系。及时将科技创新成果应用到具体产业和产业链上，促进智慧转型，提升优化传统产业，培育壮大新兴产业，布局构建未来产

业。如大力推动生物膜技术、膜分离技术、光催化技术等新兴水污染治理技术，工业集聚园区生产链的废水全过程控制技术，湿地修复技术、植物群落构建技术的成果应用、产业化及市场化。

Acknowledgement

The Study was supported by The Philosophy and Social Sciences Fund of Hunan Province, China (21YBA035).

致谢

本研究得到了湖南省社会科学基金项目（21YBA035）的资助。

参考文献

[1] 中华人民共和国水利部.2021 中国河流泥沙公报[M].北京:中国水利水电出版社,2021.

Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. China River Sediment Bulletin 2021 [M]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press,2021.

[2] Tian Z, Zheng B, Wang L, et al. Effects of river-lake interactions in water and sediment on phosphorus in Dongting Lake, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(29): 23250-23260.

[3] 严广寒, 殷雪妍, 汪星, 等. 三峡工程运行背景下洞庭湖近 25 年来水生态环境的动态研究[J]. 三峡生态环境监测, 2024,9(2): 1-15.

Yan G H, Yin X Y, Wang X, et al. Study on the dynamic ecological environment of influent water in Dongting Lake in recent 25 years under the background of Three Gorges Project operation [J]. Ecology and Environmental Monitoring of Three Gorges, 2024,9(2):1-15.

[4] Lai X, Liang Q, Jiang J, et al. Impoundment Effects of the Three-Gorges-Dam on Flow Regimes in Two China ’ s Largest Freshwater Lakes[J]. Water Resources Management, 2014, 28(14): 5111-5124.

[5] Gao B, Yang D, Yang H. Impact of the Three Gorges Dam on flow regime in the middle and lower Yangtze River[J]. Quaternary International, 2013, 304: 43-50.

[6] 毛德华, 李正最, 李志龙, 等. 后三峡时代洞庭湖区水生态安全问题研究[C]//颜永盛主编.2012 洞庭湖发展论坛文集. 湖南大学出版社,2013, 72-94.

Mao D H, Li Z Z, Li Z L, et al. Research on Water ecological security of Dongting Lake Area in the post-Three Gorges era [C]// Yan Yongsheng (Ed.). Proceedings of 2012 Dongting Lake Development Forum. Hunan University Press,2013, 72-94.

[7] 水利部长江水利委员会.长江流域水土保持公报[EB/OL].(2023-11-28)[2024-10-20].http://www.cjw.gov.cn/zwzc/zjgb/stbc/.

Yangtze River Water Resources Commission, Ministry of Water Resources. The Yangtze river basin soil and water conservation bulletin [EB/OL]. (2023-11-28) [2024-10-20]. http://www.cjw.gov.cn/zwzc/zjgb/stbc/.

[8] 李忠武, 李嘉奇, 王凌霞, 等. 基于 CSLE-TLSD 耦合模型的近 40 年洞庭湖流域土壤侵蚀时空分异及归因分析[J].水土保持学报, 2023,37(5): 1-9.

Li Z W, Li J Q, Wang L X, et al. Spatiotemporal differentiation and attribution analysis of soil erosion in Dongting Lake Basin in recent 40 years based on CSLE-TLSD coupling model [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2023,37(5): 1-9.

[9] 胡光伟, 毛德华, 李正最, 等. 荆江三口 60a 来入

湖水沙变化规律及其驱动力分析[J]. 自然资源学报, 2014, 29(1): 129-142.

Hu G W, Mao D H, Li Z Z, et al. Analysis of sediment variation and driving force in the 60a water inflow of Jingjiang River Sankou [J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(1): 129-142.

[10] 葛国华, 熊元基, 黎振兴. 2022 年洞庭湖区干旱特征分析与启示[J]. 湖南水利水电, 2023(2): 54-59.

Ge G H, Xiong Y J, Li Z X. Drought characteristics in Dongting Lake Region in 2022 and its implications [J]. Hunan Water Resources and Hydropower, 2023(2): 54-59.

[11] 郭晶, 连花, 李利强, 等. 洞庭湖水质污染状况及主要污染物来源分析[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(4): 1-7.

Guo J, Lian H, Li L Q, et al. Analysis of water pollution status and main pollutant sources in Dongting Lake [J]. Chinese Journal of Water Ecology, 2019, 40(4): 1-7.

[12] 尹宇莹, 彭高卓, 谢意南, 等. 洞庭湖表层沉积物中营养元素、重金属的污染特征与评价分析[J]. 环境化学, 2021, 40(8): 2399-2409.

Yin Y Y, Peng G Z, Xie Y N, et al. Pollution characteristics and evaluation of nutrient elements and heavy metals in surface sediments of Dongting Lake [J]. Environmental Chemistry, 2021, 40(8): 2399-2409.

[13] 王静, 尹令实. 微塑料及卤代有机污染物在洞庭湖的赋存研究进展[J]. 环境监控与预警, 2022, 14(3): 35-42.

Wang J, Yin L S. Research progress on the occurrence of microplastics and halogenated organic pollutants in Dongting Lake [J]. Environmental Monitoring and Warning, 2022, 14(3): 35-42.

[14] 王丑明, 黄代中, 张屹, 等. 1988-2021 年洞庭湖大型底栖动物完整性评价及环境压力影响分析[J]. 湖泊科学, 2023, 35(5): 1765-1773.

Wang C M, Huang D Z, Zhang Y, et al. Integrity assessment of macrobenthos and impact analysis of environmental stress in Dongting Lake from 1988 to 2021 [J]. Journal of Lake Science, 2023, 35(5): 1765-1773.

[15] 梁旻轩, 谢正磊, 毛德华, 等. 1980 年以来 5 个时期洞庭湖区国际重要湿地景观动态研究[J]. 湿地科学, 2020, 18(1): 40-46.

Liang M X, Xie Z L, Mao D H, et al. Dynamic Study on International Important Wetland Landscape in Dongting Lake Area in Five Periods Since 1980 [J] Wetland Science, 2020, 18 (1): 40-46

[16] 万自学, 张正云, 刘川, 等. 洞庭湖区入侵植物的物种组成、区系特征和分布[J]. 湿地科学, 2022, 20(3): 386-394.

Wan Z X, Zhang Z Y, Liu C, et al. Species composition, floral characteristics, and distribution of invasive plants in Dongting Lake area [J] Wetland Science, 2022, 20 (3): 386-394

Open Access This chapter is licensed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits any noncommercial use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license and indicate if changes were made.

The images or other third party material in this chapter are included in the chapter's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the chapter's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder.