

# 水生态评价方法研究进展

王雪

伊犁水文勘测中心

DOI:10.12238/hwr.v9i1.5989

**[摘要]** 水生态评价是衡量水生态系统健康状况和支持环境管理的重要工具。近年来,随着水资源开发、环境污染和气候变化的加剧,水生态系统面临严重威胁,评价方法不断发展,逐渐从单一物理化学指标扩展为涵盖生物、物理、生境和生态过程的综合性体系。国内外针对水生态评价展开了深入研究,国外形成了较为完善的多要素评价方法和标准化监测体系,而国内则处于探索阶段,方法实践日益丰富但仍面临数据积累不足和指标体系完善的挑战。创新技术的应用和评价体系的优化为水生态系统的可持续管理提供了新的方向和技术支撑。

**[关键词]** 水生态评价; 生态完整性; 技术创新; 评价方法; 生态健康

**中图分类号:** Q148 **文献标识码:** A

## Research progress on water ecological evaluation methods

Xue Wang

Ili Hydrological Survey Center

**[Abstract]** Water ecological assessment is an important tool for measuring the health status of aquatic ecosystems and supporting environmental management. In recent years, with the intensification of water resource development, environmental pollution, and climate change, aquatic ecosystems have faced serious threats. Evaluation methods have been continuously developed, gradually expanding from a single physical and chemical indicator to a comprehensive system covering biological, physical, habitat, and ecological processes. In depth research has been conducted on water ecological evaluation both domestically and internationally. Foreign countries have developed relatively complete multi factor evaluation methods and standardized monitoring systems, while China is still in the exploratory stage, with increasingly rich practical methods but still facing challenges such as insufficient data accumulation and improved indicator systems. The application of innovative technologies and the optimization of evaluation systems provide new directions and technical support for the sustainable management of aquatic ecosystems.

**[Key words]** water ecological evaluation; Ecological integrity; technological innovation Evaluation method; Ecological Health

## 引言

水生态系统在维持生态平衡、保障生物多样性和提供生态服务等方面至关重要。随着人类活动的增加,水生态系统面临着日益严重的压力,急需通过科学的水生态评价方法来衡量其健康状态并指导管理和修复。近年来,水生态评价方法逐步发展,从单一的物理化学指标扩展为涵盖生物、生境、生态过程等多个要素的综合性评价体系。虽然国际上已有较为成熟的评价方法,国内仍在探索阶段,技术创新和方法优化成为研究的重点。

### 1 水生态评价方法概述

#### 1.1 水生态评价的定义与目的

水生态评价是通过对水生态系统内的物理、化学、生物等

多种要素的分析,判断水体的健康状态和受损程度,为生态修复、资源管理及政策制定提供科学依据。其目的在于揭示水生态系统功能、结构和动态变化规律,明确人类活动及自然因素对水环境的影响程度。水生态评价不仅注重水体的质量监测,还强调生态系统的整体性,通过生物多样性、生境条件及生态服务功能等指标,确保水生态系统的稳定性和可持续性,为生态保护和高效管理提供技术支撑。

#### 1.2 水生态评价的主要方法分类

水生态评价方法经历了从单一水质指标到多维度综合评价的演变,主要包括基于理化指标、基于生物指标和基于生态系统完整性的综合评价方法。

理化指标评价是最早应用的手段,主要通过监测溶解氧、氮磷含量等评估水质,适用于快速判断污染程度。生物指标评价基于生物群落对环境的敏感性,通过分析底栖生物、鱼类等的种群结构,反映生态系统健康状况。生物完整性指数 (IBI) 已普遍应用于河流监测,澳大利亚ISC指数等方法提高了评估精度。

综合评价方法近年来兴起,以欧盟《水框架指令》为代表,融合理化、生物和生境等多要素,强调多维度指标法。在中国,基于硅藻指数和底栖生物完整性等方法已在长江、黄河流域取得显著成果,推动水生态监测向精细化、区域适应性方向发展。

### 1.3 水生态评价指标体系的构建

构建科学的水生态评价指标体系是全面评估水生态系统健康的基础,需综合物理、化学、生物和生态功能等多维要素。物理指标包括河岸植被覆盖率、河流形态和生境多样性,反映生态连通性和栖息地质量。化学指标如溶解氧、氮磷含量等,揭示水质状况。生物指标以底栖动物、鱼类、硅藻等群落的结构和功能为核心,是健康的敏感指标。此外,生态功能指标如生态服务价值和水资源利用效率,衡量系统的长期稳定性。欧盟《水框架指令》构建了五类指标体系,采用综合评分法对健康状况进行分级;中国《长江保护法》提出基于流域分区评价,结合水质达标率和岸线完整性等核心指标。近年来,遥感技术和大数据分析的引入进一步增强了评价指标体系的科学性与实用性。

## 2 国内外水生态评价方法研究进展

### 2.1 国内研究现状

近年来,随着国家对生态环境保护的重视,我国在水生态评价方法的研究方面取得了一定进展,逐步从单一水质监测向多要素综合评价转变。早期研究主要依赖水质理化指标,如化学需氧量 (COD)、总氮 (TN) 和总磷 (TP) 等,反映水体污染状况,但难以全面评估水生态健康。随着生态学研究的发展,生物群落及其与环境因子的相互作用受到重视。例如,底栖无脊椎动物和浮游植物逐步成为生物评价的核心指标。2003年,国内首次提出基于生物完整性指数 (IBI) 的水生态评价方法,并在长江、黄河流域得到应用。针对不同区域特点,研究者提出了本土化评价方法,如华北平原采用硅藻完整性指数 (D-IBI),珠江流域引入鱼类生物完整性框架。在生态环境部和水利部推动下,我国开展了基于多要素综合评价的试点工作,尤其是在《长江保护法》的指导下建立了长江流域的适应性评价体系。尽管取得了一定进展,国内研究仍面临指标体系标准化不足、数据监测缺乏等挑战。

### 2.2 国外研究现状

国外在水生态评价方法的研究起步较早,经过几十年的发展,已形成多层次的综合体系。自1972年美国发布《清洁水法》以来,水生态系统保护逐步成为环境管理的重要目标(如图1)。20世纪80年代,美国Karr提出的基于生物完整性指数 (IBI) 的方法成为全球水生态评价的开创性成果。1994年,南非推出“河流生物监测框架”(RBP),扩展了评价的生物类群范围。2000年,欧洲通过《水框架指令》(WFD) 建立了流域综合管理的生态评价体系,强调多要素综合分析,涵盖生物指标、物理生境和水质理化指

标。英国在1994至1997年开展河流生境调查,开发了RIVPACS模型,为生态状况动态评估提供了依据。澳大利亚于1992年推出的“溪流状况指数”(ISC) 结合了区域特征,形成了综合评价框架。近年来,随着大数据和人工智能技术的发展,国外研究向自动化监测和模型分析转型。例如,美国环保署通过国家河流监测计划实现了动态追踪河流生态变化。

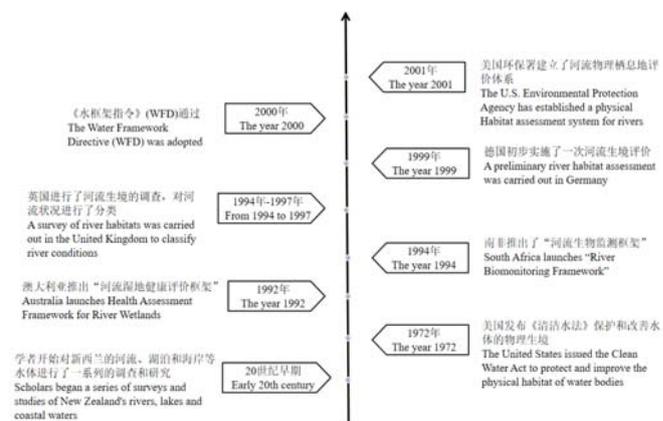


图1 国外水生态评价方法发展时间轴

### 2.3 国内外研究对比与趋势

国内外在水生态评价方法上的研究既有共性,也存在一定差异。从整体理念上看,国外强调多要素综合和流域尺度管理,尤其是基于生态完整性评价的框架已在全球范围内推广,而国内研究起步较晚,早期更多集中于水质达标的物理化学指标监测,近年来逐步向多学科交叉的生态健康评价转型。从技术应用来看,国外评价体系如IBI、RIVPACS、ISC等在长期实践中已标准化,并成功应用于大规模流域监测,数据积累和模型预测能力较强,而国内仍处于探索阶段,尤其是长期监测体系和标准化评价框架尚待完善。如表1所示,国内外水生态评价方法的对比。

表1 国内外水生态评价方法对比

比较维度	国外特点	国内特点
研究起步时间	起步于20世纪70年代,已有50余年的发展历史	起步于2000年后,研究历史较短
核心理念	以生态完整性和健康状态为核心,强调流域综合管理	以水质达标为核心,逐步向生态系统健康评价转型
方法体系	生物完整性指数 (IBI)、RIVPACS 模型、ISC 等多要素综合方法	基于理化指标的评价方法较多,本土化方法如硅藻完整性指数逐步发展
技术手段	强调遥感监测、大数据分析、模型化预测	监测手段多集中于人工采样,智能化和大数据技术应用仍处于起步阶段
数据积累	建立了长期监测数据库,实现动态监测和趋势分析	数据积累不足,尚未形成全国范围的长期监测体系
实践应用	应用范围广,涵盖国家、流域和区域尺度,评价结果用于环境保护政策制定和修复工程实施	试点工作较多,集中在特定流域,应用范围和效果尚有限

未来发展趋势表明,国内急需加强标准化指标体系和长期监测网络的建设,特别是在流域尺度上开展多要素整合研究,同

时加快借鉴国外先进经验,引入人工智能和遥感技术,建立动态监测与预测模型,逐步形成具有中国特色的水生态评价体系。国际合作也将成为推动水生态研究的重要方式,通过共同应对全球环境问题为可持续发展提供科学支持。

### 3 水生态评价方法的技术创新与挑战

#### 3.1 新兴技术应用

新兴技术的快速发展正在深刻改变水生态评价的方法与手段,尤其是在数据采集、分析及模拟领域表现出强大的推动作用。遥感技术凭借其广域覆盖和高时空分辨率的优势,已成为水生态监测的核心工具之一,可实时获取水文、植被覆盖率、流域变化等多维信息,用于评价水生态系统的动态变化。无人机和高光谱遥感的应用进一步提高了局地监测的精确性,为小尺度生态问题提供高质量数据支持。人工智能和大数据技术的融合使得复杂的水生态系统分析变得更加高效,通过深度学习算法提取非线性特征,结合历史数据预测水生态系统健康状态及其演变趋势。高通量测序技术在生物类群监测中展现了前所未有的效率,DNA条形码技术可以快速识别物种多样性及其对环境压力的响应,为精准生物监测提供科学依据。地理信息系统(GIS)作为空间分析的核心工具,与水文模型耦合后,可实现流域生态问题的精细化管理与区域协调。新兴技术的协同作用为多尺度、多要素综合评价提供了技术保障,同时推动了水生态评价从经验驱动向数据驱动的根本性转变,提升了评价的科学性和准确性。

#### 3.2 水生态评价面临的技术挑战与未来发展方向

(1) 长期高质量数据的缺乏限制了生态系统演变趋势的准确评估,尤其在生态敏感区域,监测网络覆盖不足尤为突出。

(2) 多源数据的融合与标准化困难,因不同数据格式和尺度不统一,增加了综合评价的复杂性。

(3) 生态系统的非线性特征使传统线性分析方法难以捕捉复杂的生态动态过程,影响评估结果的科学性。技术门槛的

提高对从业人员提出了更高要求,但人才短缺和培训不足成为瓶颈。

未来水生态评价将聚焦于智能化、系统化和本土化。智能化评价通过人工智能和互联网技术实现实时数据采集与动态分析,提升生态预警能力。系统化评价将整合物理、化学和生物要素,推进流域尺度的综合评估。本土化发展侧重基于区域特征开发适应性强的评价体系,解决地方生态问题,提供政策支持,推动生态系统可持续管理。

### 4 结论

水生态评价方法是实现水生态系统保护与可持续管理的重要工具,其发展经历了从单一指标到综合多要素的转变,国内外在研究与应用方面取得了显著进展。然而,随着生态系统复杂性和多样性认识的不断深化,评价方法在数据支撑、技术应用和标准化方面仍面临挑战。未来的发展需要进一步加强技术创新和多学科协同,优化评价体系和提升评价结果的科学性和实用性,为水生态系统的保护和治理提供更加精准的理论依据和技术支持。

#### [参考文献]

[1] 范荣桂,包靛文,李雪梅,等.水生态物理生境完整性评价方法研究进展[J].生态毒理学报,2024,19(02):53-65.

[2] 易雨君,叶敬吁,丁航,等.水生态评价方法研究进展及展望[J].湖泊科学,2024,36(03):657-669.

[3] 黄文杰,王锦东,闫振飞,等.河口水生态完整性评价方法研究和进展[J].生态毒理学报,2024,19(01):74-90.

[4] 彭定华,刘哲,张彦峥,等.水生态环境质量评价方法及在黄河流域的应用进展[J].中国环境监测,2023,39(02):41-54.

#### 作者简介:

王雪(1988-),女,汉族,山东聊城人,硕士研究生,中级工程师,研究方向:水质检测。