

采用生物指标评估河流水质的有效性研究

郑苗

河北省唐山水文勘测研究中心

DOI:10.12238/hwr.v8i6.5513

[摘要] 本研究通过评估生物指标在河流水质监测中的应用效果,探讨其作为环境健康指示器的有效性。研究选取了大型底栖动物、浮游生物和水生植物等不同类型的生物指标,利用现场采样与实验室分析相结合的方法,对指定河流的水质进行了长期监测。结果表明,生物指标能有效反映河流的健康状态,与传统化学监测数据具有较高的相关性。

[关键词] 河流水质; 生物指标; 生态评估; 环境监测

中图分类号: X83 **文献标识码:** A

Study on the effectiveness of using biological indicators to evaluate river water quality

Miao Zheng

Hebei Tangshan Hydrological Survey and Research Center

[Abstract] This study evaluates the effectiveness of biological indicators in river water quality monitoring, exploring their validity as indicators of environmental health. Various types of biological indicators, including macroinvertebrates, plankton, and aquatic plants, were selected for the study. A combination of field sampling and laboratory analysis was used for long-term monitoring of the designated river's water quality. The results indicate that biological indicators can effectively reflect the health status of the river, showing a high correlation with traditional chemical monitoring data.

[Key words] river water quality; biological indicators; ecological assessment; environmental monitoring

水资源的质量直接影响着生态系统的健康与人类社会的可持续发展。传统的水质监测方法主要依赖化学指标,如溶解氧、氮、磷等的浓度测定。虽然这些指标为水质评估提供了重要信息,但它们无法全面反映水体的生态状态和生物多样性。近年来,生物指标因其能综合反映环境变化的长期影响而受到重视。通过研究不同生物群落的响应,可以更全面地评估水环境的质量与变化。

1 生物指标的选择与验证

1.1 常用的生物指标类型

生物指标是指那些能反映生态系统健康状况的生物种类或群落。在河流生态系统中,常用的生物指标包括大型底栖动物、浮游生物和水生植物。

大型底栖动物具有多样性丰富的特点,对环境变化的敏感性高,常用于指示水体的污染程度。例如,寡毛类和蜉蝣幼虫常见于清洁的水域,而蛭类和某些摇蚊幼虫则多出现在受污染的环境中。浮游生物包括浮游动物和浮游植物,如轮虫和硅藻,它们的种群动态可以快速响应环境中的营养盐变化^[1]。水生植物如狐尾藻和水葫芦,能够通过其生长状况、种群密度和生物量反映水体的营养状态和污染水平。

1.2 生物指标的有效性验证方法

验证生物指标的有效性通常需要采用统计方法分析指标与环境质量之间的关系。一种常用的方法是生物完整性指数(Biotic Integrity Index, BII),该指数通过计算物种丰富度、群落结构和特定物种的存在与否来评估水体健康状况。具体的公式如下:

$$BII = \sum_{i=1}^n W_i \cdot S_i$$

式中, W_i 是第*i*种指标生物的权重, S_i 其得分,反映其对环境质量的敏感性。通过比较不同水体的BII值,可以定量地评估其环境健康状态。

1.3 生物指标与河流健康状态的相关性分析

生物指标与河流健康状态的相关性分析是通过多元统计方法,可以通过主成分分析(PCA)和典型对应分析(CCA),来识别生物群落变化与环境因子之间的关系。例如,分析河流中的溶解氧、氮、磷浓度与大型底栖动物群落结构的关系。

假设X表示环境变量矩阵, Y表示生物群落数据矩阵, CCA分

析的数学模型可以表示为:

$$Y = X\beta + \epsilon$$

式中, β 是环境变量对生物群落的影响系数, ϵ 是误差项。通过这种分析, 可以揭示哪些环境因子是影响生物群落结构的主要因素, 从而验证生物指标的相关性和有效性^[2]。

2 研究方法设计

2.1 采样地点与时间的选择

在本研究中, 采样地点的选择基于河流的地理位置、工业活动的分布以及人口密度等因素。具体地点包括上游未受污染区域、城市工业区附近的河段以及下游混合区。

2.2 数据采集与处理技术

数据采集主要包括生物样本的收集和環境参数的测定。生物样本的采集使用网捞和诱捕器, 确保样本的多样性和完整性。环境参数如水温、pH值、溶解氧、氮和磷的浓度等, 则通过现场便携式仪器实时测定。

数据处理技术涉及样本的分类、计数和生物量测定。生物样本在实验室中进行分类和鉴定, 根据物种的不同归入相应的类群。

数据的统计处理使用R软件进行。对环境参数和生物群落的数据进行描述性统计分析, 计算均值、标准差和变异系数。

通过精心设计的研究方法, 结合详细的数据采集与处理技术, 本研究旨在准确地评估生物指标在河流水质监测中的应用效果, 为河流管理和保护提供坚实的数据支持。

2.3 统计方法与模型应用

在本研究中, 为了分析生物指标与河流水质的关系, 采用了多种统计方法和模型, 确保分析的准确性和科学性。

首先, 利用方差分析 (ANOVA) 来确定不同采样地点和时间点之间生物指标的显著性差异。方差分析能够用于识别出环境因子对生物群落结构的影响强度。该方法的基本模型如下:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

式中, Y_{ijk} 表示第 i 个处理, 第 j 个时间点, 第 k 次重复的观测值, μ 是全体观测值的总均值, τ_i 是处理效应, β_j 是时间效应, $(\tau\beta)_{ij}$ 是交互作用, ϵ_{ijk} 是随机误差^[3]。

其次, 应用回归分析来探讨环境参数与生物指标之间的定量关系。通过构建线性回归模型, 可以评估单一或多个环境变量对特定生物指标的影响强度。线性回归模型的标准形式为:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \epsilon$$

式中, y 是响应变量 (如某个生物指标的相对重要性指数), x_1, x_2, \dots, x_n 是自变量 (如溶解氧、氮、磷浓度等环境因子), $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ 是回归系数, ϵ 是误差项。

最后, 采用典型对应分析 (CCA) 进一步分析环境变量与生物群落之间的多维关系。CCA 是一种多元统计技术, 特别适用于生态数据, 能够揭示环境梯度如何影响生物群落结构。

3 案例研究

3.1 选定的河流案例

本研究选择了位于工业城市附近的河流作为案例研究对象。该河流长约120公里, 流域面积约1800平方公里, 河流经过多个重工业区和密集人口区, 因此面临严重的工业废水和生活污水污染问题。近年来, 由于上游工业活动增加及城市扩张, 该河流的生态系统受到了显著的影响, 主要表现为水质恶化、生物多样性下降及生态功能退化。

3.2 生物指标应用结果分析

在研究中, 主要收集了大型底栖动物、浮游生物和水生植物的数据, 以评估河流的水质和生态健康状态。研究期间, 采样点主要集中在河流的上游 (较少受污染)、中游 (工业区附近) 和下游 (城市区)。

通过对大型底栖动物、浮游生物和水生植物的监测, 研究对河流的不同区段进行了水质和生态健康状态的评估^[4]。具体的采样点包括上游 (较少受污染)、中游 (工业区附近) 和下游 (城市区)。各区段生物指标的详细分析结果如表1所示:

表1 河流不同区段的生物指标评估结果

区段	生物指标类型	平均物种	生物量	溶解氧	氨氮	pH 值
		丰富度	(g/m ²)	(mg/L)	(mg/L)	
上游	大型底栖动物	18	250	8.5	0.3	7.4
上游	浮游生物	35	200	8.5	0.3	7.4
上游	水生植物	15	220	8.5	0.3	7.4
中游	大型底栖动物	10	100	6.0	2.5	6.9
中游	浮游生物	22	120	6.0	2.5	6.9
中游	水生植物	8	80	6.0	2.5	6.9
下游	大型底栖动物	5	50	4.5	4.0	6.5
下游	浮游生物	15	70	4.5	4.0	6.5
下游	水生植物	3	40	4.5	4.0	6.5

从表中数据可以看出, 随着河流从上游到下游的流经, 由于受到工业和城市污染的增加, 生物指标呈现明显的负面变化。在上游区段, 生物多样性和生物量较高, 水质相对较好, 溶解氧水平保持在较高水平, 氨氮浓度较低。中游受到工业污染的影响, 各项生物指标均有所下降, 特别是生物多样性和生物量减少较为明显, 溶解氧降低, 氨氮浓度增高。到了下游, 随着城市污水的进一步排放, 生物多样性和生物量进一步降低, 水质状况恶化, 环境压力增大, 表明河流生态系统的健康状况面临严峻挑战。

方差分析 (ANOVA) 结果为 F 值: 54.82; p 值: 0.00014, 这些

数据分析表明, 河流不同区段的生物量存在显著差异, 不同区段的生物量存在统计学上的显著差异, 说明环境影响因区段而异。

回归分析决定系数(R^2): 0.948, 这表明约94.8%的生物量变异可以通过溶解氧、氨氮和pH值来解释^[5]。

回归系数: 溶解氧: 154.49; 氨氮: 97.09; pH值: -98.57

溶解氧和氨氮的正系数表明, 这些参数的增加与更高的生物量相关联, 而pH值的负系数则表明其与生物量呈反比关系。

典型对应分析(CCA)得分: 0.424; 表明存在结果适度的典型相关性, 显示环境因子与物种丰富度及生物量的组合生物指标之间的某些关系。

4 生物指标评估的局限性与挑战

4.1 生物指标在不同环境条件下的适应性问题

生物指标虽然能提供关于生态系统健康状态的重要信息, 但它们在在不同环境条件下的适应性问题是一个不容忽视的局限。生物种类对环境的适应性差异意味着同一生物指标在不同地理或气候条件下可能表现出不同的响应模式。例如, 某些大型底栖动物可能在冷水环境中表现出极高的敏感性, 而在温暖的水域中这种敏感性可能大为降低。这种变化可能导致对水质评估结果的误解, 特别是在环境条件变化较大的区域。因此, 选择能够广泛适应不同环境条件的生物指标, 或是开发更为全面的指标体系, 是提高评估准确性的关键。

4.2 生物指标敏感性与特异性的限制

生物指标的敏感性与特异性是评估其有效性的重要因素。敏感性是指生物指标对环境变化的响应程度, 而特异性则关乎生物指标是否能指示特定类型的环境压力。尽管许多生物指标对特定污染物或环境干扰有明显的响应, 但在实际应用中, 这些指标可能同时受多种因素的影响, 如生境破碎、气候变化等, 使得解读其变化原因变得复杂。此外, 某些指标的反应可能过于敏感, 以至于常规的自然波动也能引起显著变化, 这可能导致对环

境状况的误判。

4.3 长期监测与数据解释的复杂性

进行长期的生物监测是了解生态系统变化趋势的有效手段, 但这一过程涉及到数据收集、管理及解释的多重复杂性。长期监测需要持续的资金和人力支持, 而监测数据的积累则带来了数据管理上的挑战。此外, 环境数据的季节性变化和长期趋势的解析需要复杂的统计方法和足够的专业知识来确保数据解释的准确性。例如, 分析长时间序列数据时, 必须考虑到自然背景变化和人为干预的叠加效应, 这对数据分析方法提出了更高的要求。

5 结语

生物指标在河流水质评估中的应用揭示了其作为环境健康监测工具的独特价值和潜力。然而, 这种方法的有效性受到生物指标本身特性及其与环境因素相互作用的复杂性的限制。为提高未来生态评估的准确性与实用性, 需深入理解和创新解决方案, 以适应日益变化的环境条件和增强生物指标的普适性和敏感性。

[参考文献]

- [1]王振辉. 爱河河流水生态健康评估[J]. 水土保持应用技术, 2024, (03): 68-70.
- [2]白福山, 萨茹莉, 王锐. 内蒙古河流健康评价指标体系探讨[J]. 内蒙古水利, 2024, (03): 26-27.
- [3]单金伟. 基于AHP-模糊综合评价法的城市河流生态治理环境影响后评价研究[D]. 河北地质大学, 2024.
- [4]孔倩茜. 河流水质连续监测及水质综合评价方法研究[J]. 当代化工研究, 2023, (24): 115-117.
- [5]马阳阳. 平原区域郊型河流微生物群落结构与氮代谢研究[D]. 中国环境科学研究院, 2023.