

红树林生态系统监测的信息化指标体系构建与应用

张亮彪

广州永荷林业有限公司, 中国·广东 广州 510000

摘要: 红树林生态系统监测的信息化指标体系构建旨在通过系统性地选取、整合和量化能够反映红树林生态系统结构、功能、胁迫及管理状况的关键参数, 并利用现代信息技术手段实现对这些参数的高效采集、传输、存储、分析与可视化表达。该体系的应用致力于提升红树林生态系统监测的实时性、准确性、综合性和智能化水平, 为红树林的保护、恢复、管理决策以及科学研究提供全面、客观、动态的数据支持与信息服务, 从而促进红树林生态系统的健康可持续发展。

关键词: 红树林; 生态系统监测; 信息化

Construction and Application of Information-based Index System for Mangrove Ecosystem Monitoring

Zhang Liangbiao

Guangzhou Yonghe Forestry Co., Ltd., China Guangdong Guangzhou 510000

Abstract: The construction of an information-based index system for mangrove ecosystem monitoring aims to systematically select, integrate, and quantify key parameters that reflect the structure, function, stress, and management status of mangrove ecosystems. It also uses modern information technology to achieve efficient collection, transmission, storage, analysis, and visual expression of these parameters. The application of this system is committed to improving the real-time performance, accuracy, comprehensiveness, and intelligence level of mangrove ecosystem monitoring. It provides comprehensive, objective, and dynamic data support and information services for the protection, restoration, management decision-making, and scientific research of mangroves, thereby promoting the healthy and sustainable development of mangrove ecosystems.

Keywords: Mangrove; Ecosystem monitoring; Informatization

0 引言

红树林是重要湿地生态系统, 有防风固堤、净化水质等生态功能, 对海岸带生态安全和区域可持续发展至关重要。但在全球气候变化和人类活动压力下, 面临面积萎缩等挑战, 保护管理需求迫切。传统监测方法依赖人工调查, 存在效率低、难动态监测等局限, 难以满足当前管理和决策需求。信息技术发展为生态监测提供新手段。在此背景下, 构建科学完善、具可操作性的红树林生态系统监测信息化指标体系, 是全面、实时、精准监测的关键。通过构建应用该体系, 可整合多源数据, 把握动态规律, 预警生态风险, 为保护策略和管理措施提供技术支撑, 服务于红树林保护、修复与可持续管理。

1 红树林生态系统监测的理论基础

1.1 红树林生态系统的结构与功能特征

红树林生态系统是典型且复杂的滨海湿地生态系统, 结构具明显垂直分层与多维关联性。生物结构上, 由红树

植物为主的乔木层、林下灌木与幼苗层、大型底栖动物群落、浮游生物及附着微生物等构成, 形成复杂食物网与能量流动路径。非生物环境结构上, 周期性潮汐淹没、高盐度土壤、缺氧沉积物环境及陆海交汇水文动力条件塑造独特生境。其结构特征决定功能特殊性。首要功能是初级生产与物质循环, 高生产力提供能量基础, 根系和沉积物是营养元素重要汇, 在全球碳循环中是“蓝碳”库。其次, 有显著生物多样性维持功能, 为众多生物提供栖息等场所, 是连接陆地与海洋的生态廊道。再者, 发达根系网络能消浪缓流、促淤保滩, 是保护海岸线的天然屏障。深刻理解其结构与功能特征是确立监测内容、筛选监测指标的根本依据, 可确保监测反映系统健康与演变趋势^[1]。

1.2 生态系统监测的核心要素与原则

红树林生态系统监测的核心要素, 是对其结构与功能状态进行定量或半定量描述的关键变量集合, 这些要素共同构成了监测的实体内容。核心要素可归纳为几个层面:

一是生物要素,包括红树植物群落的物种组成、群落结构(如密度、盖度、胸径分布)、林下生物多样性以及关键物种的种群动态;二是环境要素,涵盖水体与沉积物的物理化学指标,如水温、盐度、pH 值、溶解氧、浊度、沉积物粒径与有机质含量等;三是生态过程要素,如净初级生产力、凋落物分解速率、沉积物碳埋藏通量以及营养元素的循环速率;四是景观格局要素,涉及红树林斑块的面积、形状、破碎化程度以及与周边景观的连通性。为确保监测的科学性与有效性,必须遵循一系列基本原则。首先是系统性原则,监测设计需覆盖生态系统的各个关键组分与过程,避免以偏概全。其次是长期性与连续性原则,生态系统的演变是一个缓慢的过程,只有长期、连续的观测数据才能揭示其变化规律与趋势。再次是尺度适宜性原则,监测的时空尺度应与所研究的生态过程相匹配,最后是标准化与可比性原则,监测方法、指标定义、数据记录格式必须遵循统一的技术规范,以保证不同区域、不同时期的数据具有可比性,为区域乃至全球尺度的红树林状况评估提供基础。

1.3 信息化技术在生态监测中的应用逻辑

信息化技术在红树林生态监测中的应用,其根本逻辑在于通过技术手段突破传统监测方法在效率、精度、尺度与连续性上的固有局限,实现监测范式的根本性转变。这一应用逻辑具体体现在三个层面。第一,是数据获取方式的变革。传统地面调查方法耗时耗力、覆盖范围有限,而遥感技术(包括卫星遥感、无人机航空遥感)能够提供大范围、周期性的地表观测数据,实现对红树林分布面积、群落类型、冠层健康状况等宏观指标的快速提取。物联网传感器技术则能够实现的关键环境参数(如水位、盐度、温度)的实时、连续、原位监测,获取高时间分辨率的数据流。第二,是数据处理与分析能力的提升。海量的多源异构数据(遥感影像、传感器数据、地面调查数据)需要强大的计算能力进行处理。地理信息系统(GIS)为空间数据的管理、分析与可视化提供了平台,而大数据分析人工智能算法(如机器学习、深度学习)则能够从复杂数据中自动识别模式、建立预测模型,例如,利用高光谱影像反演叶绿素含量,或通过时间序列分析预测红树林退化趋势。第三,是监测决策支持的智能化。信息化技术的最终应用逻辑是构建一个集数据采集、传输、存储、分析、预警与决策支持于一体的智能监测系统。该系统能够自动识别异常数据(如水质突变、植被退化),触发预警机制,并基于模型模拟结果,为管理者提供科学的应对策略建议^[9]。

2 信息化监测指标体系的构建

2.1 指标体系构建的基本原则

信息化监测指标体系的构建必须遵循一系列严谨的科学原则,以确保其系统性、实用性与前瞻性。首先是科学性与系统性原则。指标的选取必须基于对红树林生态系统结构与功能的深刻理解,能够客观反映生态系统的核心过程与状态变化。同时,指标之间应形成有机联系,构成一个层次分明、逻辑清晰的完整体系,避免指标间的重叠或遗漏,从而全面表征生态系统的健康状况。其次是可操作性与可度量性原则。所选指标不仅理论上重要,更需在实践中能够通过现有或可预见的技术手段进行观测与量化。指标的界定必须清晰明确,计算方法或测量标准应具有统一性,以保证监测数据的准确性与可比性。第三是动态性与敏感性原则。红树林生态系统是一个动态变化的实体,指标体系应能捕捉其在不同时间尺度上的演变过程。因此,所选指标需对关键的环境胁迫或人类活动干扰具有足够的敏感性,能够在生态系统发生显著退化或改善前发出早期预警信号。最后是信息化导向原则。指标体系的设计必须与现代信息技术深度融合,充分考虑多源数据(如遥感、物联网、地面调查)的整合潜力,指标的内涵与外延应便于自动化处理、空间化分析与模型化应用,从而为构建智能化的监测与决策支持系统奠定数据基础。

2.2 指标体系的层次结构与内容

该信息化监测指标体系采用目标层-准则层-指标层的三级层次结构,以实现从宏观到微观、从综合到具体的逐级分解。目标层为“红树林生态系统健康与功能综合评价”,是指标体系的最终指向。准则层依据红树林生态系统的核心功能与结构特征,划分为四个维度:生境质量、生物群落、生态功能及胁迫压力。生境质量维度下设指标包括:水体悬浮物浓度、水体盐度、沉积物有机质含量及潮滩高程变化,这些指标直接反映了红树林赖以生存的物理化学环境。生物群落维度包含:红树林植被覆盖度、群落类型与分布、优势种密度与高度、大型底栖动物多样性指数及关键鸟类栖息地利用强度,这些指标表征了生态系统的生命组成与结构完整性。生态功能维度则聚焦于关键生态过程,具体指标为:净初级生产力(NPP)、土壤有机碳密度、碎屑物输出通量及海岸线防护效能指数,这些指标量化了红树林在物质生产、碳汇及防灾减灾方面的贡献。胁迫压力维度用于识别外部干扰,指标包括:周边土地利用类型变化强度、近岸海域污染物浓度、互花米草等入侵物种扩散面积及人为活动干扰指数。这一层次化的指

标结构,既保证了评价的全面性,又使得复杂系统问题得以分解,为后续的量化评估与空间分析提供了清晰的框架^[3]。

2.3 指标的数据来源与获取技术

指标体系中各项指标的数据来源与获取技术具有鲜明的多源异构特征,充分体现了信息化监测的优势。对于宏观尺度的空间分布指标,如红树林植被覆盖度、群落类型与分布、潮滩高程变化及互花米草扩散面积,主要依赖于卫星遥感技术。通过多光谱、高光谱及合成孔径雷达(SAR)影像,结合机器学习分类算法,可以实现大范围、周期性的动态监测。对于生境质量中的水体参数(悬浮物浓度、盐度)和部分胁迫压力指标(近岸海域污染物浓度),则主要利用无人机高光谱遥感与现场水质传感器相结合的方式获取,前者提供高分辨率的空间分布信息,后者提供连续的时间序列数据。生物群落指标中的优势种密度与高度、大型底栖动物多样性等,需要依赖传统的地面生态调查方法获取精确数据,但这些样点的布设可基于遥感解译结果进行优化,以提高调查效率。生态功能维度中的净初级生产力(NPP)和土壤有机碳密度,其数据获取是模型反演与实地采样分析的结合,NPP通常通过光能利用率模型,结合遥感数据和气象数据估算,而土壤有机碳密度则需通过实地钻探取样进行实验室分析。人为活动干扰指数则通过地理信息系统(GIS)对交通路网、居民点、养殖塘等空间数据进行叠加分析得到。这种“天-空-地”一体化的数据获取技术体系,确保了各项指标数据的精确性、时效性与空间连续性,为信息化指标体系的实际应用提供了坚实的数据保障^[4]。

3 信息化指标体系的应用与价值

3.1 在生态系统健康评估中的应用

信息化指标体系通过量化关键生态参数,为红树林生态系统健康评估提供精准依据,案例来源于22年10月-24年3月某市滨海湿地保护区的监测实践(该保护区红树林面积约120公顷,主要树种为秋茄、桐花树,指标体系涵盖植被、土壤、水文、生物4类核心指标)。体系通过无人机遥感每月采集植被覆盖度数据,结合地面样方调查(每公顷设置5个样方)获取幼苗存活率,同步用土壤传感器(每200米布设1个)实时监测土壤盐度、有机质含量,用水文监测站记录潮位变化与水体溶解氧浓度。评估时,将植被覆盖度 $\geq 85\%$ 、幼苗存活率 $\geq 60\%$ 、土壤盐度20-30‰、底栖生物密度 ≥ 300 个/ m^2 设为健康阈值,23年监测数据显示,保护区核心区植被覆盖率达92%、幼苗存活率68%,土壤盐度25‰,底栖生物密度350个/

m^2 ,符合健康标准;而近岸缓冲区因海水倒灌,土壤盐度升至38‰,植被覆盖度降至72%,底栖生物密度220个/ m^2 ,被判定为亚健康,为后续针对性修复提供明确评估结论。

3.2 在保护与管理决策支持中的作用

该指标体系的监测数据可直接转化为保护管理决策依据,延续上述某市滨海湿地保护区案例。23年5月,体系监测到近岸缓冲区土壤盐度持续偏高(超35‰),且幼苗存活率较上月下降12%,结合水文数据发现是周边围填海工程导致潮流通畅度降低,保护区管理部门据此制定“生态补水”决策,在缓冲区外侧修建3处生态闸门,定期引入适宜盐度的海水,同时清理周边淤积泥沙。实施3个月,监测数据显示缓冲区土壤盐度降至28‰,幼苗存活率回升至58%,植被覆盖度提升至81%。此外,体系还为虫害防治提供决策支持,23年8月,无人机遥感监测到局部区域秋茄叶片受损率达15%,结合地面监测确认是红树螟虫侵害,管理部门根据虫害扩散速度(每周蔓延约2公顷),及时组织生物防治(释放寄生蜂),2周内虫害得到控制,叶片受损率降至3%,避免虫害大面积扩散,同时减少化学农药使用对生态系统的破坏,提升管理决策的科学性与精准性^[5]。

3.3 对动态变化与预警的贡献

指标体系可实时捕捉红树林生态系统动态变化,并对异常情况触发预警,仍以上述案例为例。体系设定关键指标预警阈值:土壤盐度 $> 35\%$ 持续7天、植被覆盖度月降幅 $> 5\%$ 、水体溶解氧 $< 4\text{mg/L}$,触发三级预警;当台风、赤潮等灾害来临前,还会结合气象、水质数据提前预警。23年7月,台风来临前3天,体系结合气象数据预测台风可能导致潮位骤升,提前触发“植被倒伏风险预警”,管理部门据此对近岸10公顷红树林加固(搭建临时支撑架),台风过后监测显示,加固区域植被倒伏率仅8%,未加固区域倒伏率达32%,大幅降低灾害损失。24年1月,体系监测到保护区水体溶解氧降至 3.8mg/L ,且赤潮藻细胞密度升至5000个/ mL ,立即触发“赤潮风险预警”,管理部门及时关闭周边养殖区排水口,组织人工增氧,5天内水体溶解氧回升至 4.5mg/L ,赤潮未形成规模,避免对红树林根系与底栖生物造成危害,有效发挥动态监测与风险预警的保护作用。

参考文献:

[1] 吴庭天,杨众养,陈宗铸等.红树林生态系统健康评价指标体系的建立与应用[J].热带林业,2020(1):5.

DOI:10.3969/j.issn.1672-0938.2020.01.017.

[2] 赵阳. 基于遥感影像的红树林种间精细化分类方法研究与应用[D]. 国家海洋技术中心, 2023.

[3] 林金兰, 刘昕明, 赖廷和等. 广西滨海湿地类自然保护区管理成效评估体系构建及应用[J]. 生态学报, 2020, 40(5):9.DOI:10.5846/stxb201901070056.

[4] 李栋, 罗碧珍, 陈玉玲等. 红树林生态系统文化服务评价指标体系构建[J]. 中国林业产业, 2023(11):123-125.

[5] 宿少锋, 林之盼, 王小燕等. 海南红树林湿地生态系统退化程度评价指标体系构建研究[J]. 林业资源管理, 2022(6):54-60.