

生物多样性对流域生态系统多功能性的影响

陈浩泽 董浩 薛维维 李文斐 蒋明玉
大连海洋大学

DOI:10.32629/eep.v8i10.2911

[摘要] 流域生态系统是全球自然资源与生态服务的关键载体,其功能多样性直接关系到区域生态安全、水资源可持续性和人类福祉。生物多样性(包括物种多样性、遗传多样性和生态系统多样性)作为生态系统结构与功能的基础,对维持和增强流域生态系统的多功能性具有决定性作用。本文系统讲述了生物多样性影响流域生态系统多功能性的关键途径与机制,探讨了在气候变化和人类活动干扰背景下生物多样性丧失对流域多功能的潜在风险,并提出了基于生物多样性保护的流域综合治理策略。研究强调,保护与恢复生物多样性是提升流域生态系统韧性、实现多种生态服务协同增效的核心途径。

[关键词] 生物多样性; 流域生态系统; 生态服务; 景观格局; 可持续管理

中图分类号: X171 文献标识码: A

The impact of biodiversity on the multifunctionality of watershed ecosystems

Haoze Chen Hao Dong Weiwei Xue Wenfei Li Mingyu Jiang

Dalian Ocean University

[Abstract] Watershed ecosystems are key carriers of global natural resources and ecological services, and their functional diversity directly affects regional ecological security, water resource sustainability, and human well-being. Biodiversity (including species diversity, genetic diversity, and ecosystem diversity) serves as the foundation of ecosystem structure and function, and plays a decisive role in maintaining and enhancing the multifunctionality of watershed ecosystems. This article systematically discusses the key pathways and mechanisms through which biodiversity affects the multifunctionality of watershed ecosystems, explores the potential risks of biodiversity loss to watershed multifunctionality in the context of climate change and human activity interference, and proposes a comprehensive watershed management strategy based on biodiversity conservation. The study emphasizes that protecting and restoring biodiversity is the core approach to enhancing the resilience of watershed ecosystems and achieving synergistic effects of multiple ecological services.

[Key words] biodiversity; Watershed ecosystem; Ecological services; Landscape pattern; sustainable management

引言

流域是以水系为核心的地理单元,其内部通过水文过程紧密联系,形成结构复杂、功能多样的复合生态系统。流域生态系统不仅提供淡水供给、水质净化、洪水调蓄、土壤保持等调节服务,还支撑着农林产品供给、文化遗产、休闲旅游等文化供给服务,这些功能相互关联、协同或权衡,共同构成流域生态系统的“多功能性”。近年来,随着全球变化加剧和人类开发强度提升,流域生态系统面临功能退化、服务供给失衡的严峻挑战。

生物多样性是生态系统功能的基础驱动因子。大量研究表明,生物多样性能够通过互补效应、选择效应、正相互作用等机制,增强生态系统的稳定性、生产力和抗干扰能力。在流域尺度上,生物多样性不仅体现在河道内的水生生物群落,也涵盖陆域植被、土壤生物及景观斑块多样性,这些要素共同影响水过

程、物质循环和能量流动,从而调控多种生态功能的发挥。本文将深入剖析生物多样性在流域生态系统多功能性中做出的贡献,以为流域生态保护与可持续管理提供科学依据。

1 生物多样性维持流域多功能性的关键机制

1.1 物种多样性对生态过程的多途径调控

在流域生态系统中,物种多样性通过功能性状差异和生态位分化驱动多重功能的实现。例如,不同物种在资源利用、时间(物候)和空间上存在差异。在流域的陆地部分,深根系与浅根系植物共存,能更充分地利用不同土层的土壤水分和养分,同时增强土壤整体的抗侵蚀能力;落叶与常绿树种混交,能保证群落全年都具有光合能力和蒸发蒸腾作用,使水源涵养和碳汇功能更为持续。物种多样性往往伴随着功能冗余,即多个物种在生态系统中扮演相似的角色。在流域面临干旱、洪水、污染等干扰时,

功能冗余至关重要。如果某个物种因干扰而衰退或消失,其功能可由冗余物种部分或完全补偿,从而保证关键生态过程(如分解、传粉、养分循环)不中断,生态系统功能得以保持稳定。

1.2 景观多样性对生态系统服务的空间整合

流域内森林、湿地、草地、农田等生态系统类型的空间配置(即景观多样性)决定了生态过程的流动与交换。景观异质性高的流域通常具有更完善的物质过滤缓冲带、更复杂的生物迁移廊道和更丰富的生境类型,从而支持水源供给、洪水调控、生物保育等多种服务在空间上的协同供给。例如,位于山坡上的森林、河流沿岸的带状湿地与下游的湖泊在空间上形成序列,共同调控着水分和养分从山顶到河口的传输过程;森林内部、林缘、草地、沼泽、河流浅滩等异质生境,分别支持着特化的鸟类、昆虫、两栖动物和鱼类群落。丰富的生境类型通过廊道(如溪流、林带)连接,允许物种为应对环境变化或完成生活史而进行迁徙和扩散,从而在动态中维持种群存续和基因流动。因此,景观多样性本身既是生物多样性的载体,也是其产物,它通过支持高水平的生物多样性,间接而有力地支撑了流域的多功能性。

1.3 功能多样性与系统多功能性的关联

生物多样性的功能维度(即功能多样性)比物种数目更能直接解释生态系统多功能性。在流域中,植物功能性状(如比叶面积、根系深度、固氮能力)的组合差异会影响碳固存、土壤肥力、水分利用等多个过程。这样的群落能够更高效地利用光、水、养分资源,同时实现较高的初级生产力、碳储存效率和土壤稳定性。在河流底栖动物中,不同物种的抗污染能力、耐低氧能力等功能性状差异,决定了在水质波动下群落整体分解功能的稳定性。在气候变化背景下,流域可能经历更频繁的干旱或暴雨。一个具有高响应多样性的群落中,有些物种可能耐旱,有些则耐涝。当干旱发生时,耐旱物种的功能得以凸显,维持系统的基本运作;当湿润期回归,耐涝物种迅速恢复。生物多样性对流域多功能性的支撑,是一个从局地物种互补提供基础功能单元,到景观空间配置整合与调控这些功能流,并由功能性状多样性直接驱动和缓冲具体生态过程的完整体系。

2 生物多样性丧失对生态系统多功能性的主要影响

生物多样性丧失并非一个孤立的生态事件,而是引发流域生态系统多功能性衰退的一系列连锁反应的起点。其风险不仅体现在单一服务功能的下降,更在于破坏不同功能间的协同机制,导致系统整体弹性减弱,甚至引发不可逆的功能转型。理解这些风险的内在机制与具体表现,是实施有效干预的前提。

2.1 关键物种缺失与功能崩溃

流域生态系统中的某些关键物种对生境结构、食物网及物质循环具有不成比例的影响力。河狸通过筑坝活动,创造了独特的湿地复合体。其水坝能显著调节局地水文,提高地下水位,减缓水流,促进沉积和污染物截留,从而增强水源涵养、水质净化和洪水调控功能;在北大西洋和北太平洋的许多流域,溯河产卵的鲑鱼是连接海洋与陆地生态系统的关键营养载体。成鱼洄游时,将海洋中富集的氮、磷等营养物质带入上游贫瘠的淡水及毗

邻森林系统,其尸体成为熊、鸟类及昆虫的食物,并滋养土壤微生物和植被。这一过程极大地促进了河流生产力、森林生长速率和土壤肥力。这些物种的消失可能导致一系列连锁反应,如河岸稳定性下降、沉积物动态改变、水质恶化等,进而削弱流域的多种服务能力。历史上,许多流域因关键物种灭绝或数量锐减,出现了生态功能单一化甚至系统性退化。

2.2 生境破碎化与景观功能失调

人类活动导致的生境破碎化是流域生物多样性丧失的主要原因之一。大坝、堰坝等水利设施人为分割了河流的联通性(上游-下游),阻碍了鱼类洄游、沉积物和有机质的自然输送。这导致下游生境退化、三角洲萎缩,同时上游水库富营养化风险增加。农业扩张和城镇建设导致自然植被覆盖的河岸缓冲带被农田或硬质驳岸取代。缓冲带具有过滤径流污染物、稳固岸线、调节水温、提供野生动物廊道等多重功能。其丧失或退化,使得来自农田的氮、磷、农药等面源污染物直接、快速进入水体,加剧水体富营养化,直接冲击供水安全和生物栖息地质量。破碎化景观往往难以维持完整的养分截留、水文调节和物种保护功能,加剧了流域内生态服务的空间不匹配问题。

2.3 外来物种入侵与功能失衡

生物同质化是流域面临的另一威胁。外来入侵物种可能改变原有生态位结构,简化食物网,甚至通过强力竞争排斥本地种,导致流域功能“失真”。例如,一些高竞争力的外来植物(如喜旱莲子草、凤眼蓝)能迅速形成单一优势群落,虽然短期内可能提高了初级生产力(生物量)和固碳速率,但是这种短期内的提高是以牺牲其他功能为代价的。它们密集根系或漂浮垫层会堵塞水道,增加洪水风险;改变水体光照和氧气条件,导致本地水生植物和动物死亡;其单一的凋落物质量也可能改变分解过程和土壤微生物群落。此时,流域的“生产力”功能与水文调节、水质净化、生物多样性支持等功能形成强烈的权衡关系,总体多功能性并未提升,反而可能因功能失衡而下降。入侵物种强大的竞争和扩散能力,使其成为生态修复项目的主要障碍。它们可能迅速侵占为本地物种恢复而营造的生境,消耗大量管理资源进行控制,显著提高了流域生态系统功能恢复的成本和不确定性。

3 基于生物多样性保护的流域综合治理策略

3.1 推行生境修复与景观连通性重建

推动退耕还湿、退堤还河,恢复河流与洪泛平原的动态联系。因地制宜地重建具有复杂结构的河岸植被缓冲带,优先选择本地乔、灌、草物种进行多层次配置,以最大化其截污、固岸、遮阴、提供栖息地和廊道的复合功能。对于城市流域,可将硬质驳岸改造为生态护岸,并结合雨水花园、生态植草沟等绿色基础设施,在城市景观中嵌入口袋式的生物多样性节点和生态流通道。针对纵向连通性,在科学评估基础上,对已丧失功能的小型堰坝实施拆除或改造(如建设生态鱼道)。对于大型工程,则推行“生态调度”模式,即在水库运行中模拟自然水流情势,以满足下游生物繁殖、泥沙输移和湿地淹灌的生态需求。在更大的景观尺度上进行规划,识别和连接现有的核心栖息地(如自然保护

区、天然湿地、原始林斑块),通过生态廊道的建设,减少景观破碎化效应。这需要与国土空间规划相协调,划定生态保护红线和关键生态空间,确保生物多样性保护在土地决策中得到优先考虑。应特别注重关键生态节点的修复,如河流交汇处、洪泛平原等,以最大化生物多样性对多种功能的促进作用。

3.2 构建多尺度生物多样性监测与评估网络

利用卫星遥感和无人机遥感,大范围、周期性监测流域土地利用/覆被变化、植被指数、水体范围等,评估景观格局动态。结合地面传感器网络,实时监测关键水文水质参数(如流量、水温、溶解氧、营养盐)。通过采集水样或土壤样本来检测其中残留的物种DNA片段,从而实现大范围生物多样性(特别是难以观测的水生和土壤生物)快速、非侵入式、高通量的监测。建立一套包含供给(如水量、水产品)、调节(如洪水调蓄、净化水质)、支持(如生物多样性指数、初级生产力)和文化(如景观美学、休闲潜力)等多维度的流域生态系统服务评估指标体系。利用生态模型模拟不同土地利用和气候变化情景下,生物多样性变化与多种服务供给之间的动态关系,识别多功能协同区和权衡区,为空间规划提供定量依据。

3.3 发展生态水文与生物多样性协同管理范式

将生物多样性目标纳入流域水资源规划与土地利用决策中,推动基于自然的解决方案。例如,建立基于“受益者付费、保护者受偿”原则的流域生态补偿机制。下游水源受益地区或企业,应对上游为保护水源地和生物多样性而牺牲发展机会的社区进行经济补偿;成立由水利、环保、农业、林业、自然资源、城建等部门以及社区、企业、非政府组织代表共同参与的流域综合管理委员会。通过建立定期协商平台,打破行政壁垒和信息孤岛,共同制定并实施流域管理计划。特别要重视当地社区的传统生态知识和对土地的依赖,在保护中兼顾公平与发展,寻求共建共享的解决方案。在所有可能的规划和工程中,优先考虑利用自然过程和生态系统服务来应对挑战。例如,用恢复的湿地和蓄滞洪区来代替或补充灰色的防洪工程;用植被过滤带和人工湿地

来处理污水和面源污染;用混交林和农林复合系统来保持水土和固碳。通过上述三个层面的策略协同——修复生态基础、革新监测手段、改革治理模式——流域管理才能从被动的污染控制和单一物种保护,转向主动塑造一个生物多样性丰富、功能健全、韧性强大且能持续惠及人类的社会-生态系统。这不仅生态保护的必然要求,也是实现流域可持续发展的根本路径。

4 结论与展望

生物多样性是流域生态系统多功能性的根本保障。本文系统阐释了生物多样性从物种、功能群到景观等多层次上对流域多种生态服务的促进机制,指出生物多样性丧失会削弱流域系统的韧性并引发功能退化风险。未来研究需进一步量化不同流域类型中生物多样性对多功能性的贡献率,揭示多重胁迫下生物多样性与功能关系的非线性变化,并探索社会-生态耦合视角下biodiversity-based治理路径。在全球变化背景下,坚持生物多样性保护与生态系统恢复并举,是实现流域可持续发展与人类福祉长效提升的必由之路。

【参考文献】

- [1]安龙飞.流域治理中的生态修复技术应用研究[J].水上安全,2024,(05):82-84.
- [2]胡东滨,林媚,陈晓红.流域横向生态补偿政策的水环境效益评估[J].中国环境科学,2022,42(11):5447-5456.
- [3]何亚男,王双玉.水文变异下长江流域的生态径流变化、影响及归因[J].武汉大学学报(理学版),2023,69(3):313-322.
- [4]周乾晨,张朝辉,丁莎莎.政策与居民视角的流域生态治理研究——扎根理论与选择实验的集成分析[J].干旱区资源与环境,2024,38(12):45-54.
- [5]田义超,黄远林,张强,等.北部湾南流江流域土地覆盖及生物多样性模拟[J].中国环境科学,2020,40(03):1320-1334.

作者简介:

陈浩泽(2000--),男,汉族,山东济宁人,硕士研究生,研究方向:流域生态。