

# 城市化背景下河流连通性变化与水生生物多样性关系研究

王浩

大连海洋大学

DOI:10.32629/eep.v8i10.2942

**[摘要]** 随着全球城市化进程的加速,河流生态系统面临着前所未有的压力。城市化导致的河道硬质化、水文情势改变和栖息地破碎化是河流连通性下降的主要原因。这种连通性下降直接导致了水生生物多样性的降低,特别是对鱼类和无脊椎动物的物种丰富度、群落结构和功能多样性产生了显著负面影响。基于研究结果,本文提出了一系列基于自然的解决方案和适应性管理策略,以促进城市化进程中河流生态系统的保护与恢复。

**[关键词]** 城市化; 河流连通性; 水生生物多样性; 栖息地破碎化; 生态恢复

中图分类号: F062.2 文献标识码: A

## Research on the Relationship between Changes in River Connectivity and Aquatic Biodiversity under the Background of Urbanization

Hao Wang

Dalian Ocean University

**[Abstract]** With the acceleration of global urbanization, river ecosystems are facing unprecedented pressure. The main reasons for the decline in river connectivity are the hardening of waterways, changes in hydrological conditions, and habitat fragmentation caused by urbanization. This decrease in connectivity directly leads to a reduction in aquatic biodiversity, particularly with significant negative impacts on species richness, community structure, and functional diversity of fish and invertebrates. Based on the research results, this article proposes a series of nature based solutions and adaptive management strategies to promote the protection and restoration of river ecosystems in the process of urbanization.

**[Key words]** urbanization; River connectivity; Aquatic biodiversity; Habitat fragmentation; ecological restoration

### 引言

在城市化过程中,河流系统面临着多重压力:河道被裁弯取直、硬质化,自然河岸被人工护岸取代,水文情势因不透水地表增加而改变,污染物输入增加,以及栖息地破碎化加剧等。这些变化共同导致了河流连通性的下降,进而影响水生生物的迁徙、繁殖和种群维持能力。河流连通性作为河流生态系统健康的关键指标,其变化直接影响水生生物多样性的维持机制。

### 1 河流连通性的概念框架与评估方法

#### 1.1 河流连通性的多维概念

河流连通性是一个多维概念,涉及空间、时间和功能等多个方面。从空间维度看,河流连通性包括纵向连通性(上游-下游)、横向连通性(河道-河漫滩)和垂向连通性(地表水-地下水)。从时间维度看,河流连通性可分为季节性和年际变化,反映了水文情势的动态特征。从功能维度看,河流连通性涉及物质输移、能量流动和信息传递等多个生态过程。

#### 1.2 河流连通性的评估指标与方法

评估河流连通性需要采用多指标综合方法。物理连通性可通过障碍物密度、河道弯曲度、河岸自然程度等指标评估;水文连通性可通过水文情势改变程度、洪水频率变化等指标评估;生物连通性则可通过生物迁徙障碍、基因流阻隔等指标评估。

近年来,随着遥感技术和地理信息系统的发展,景观指数(如斑块密度、边缘密度、连通性指数)被广泛应用于河流连通性评估。同时,基于图论的连通性分析方法为量化河流网络结构连通性提供了有力工具。这些方法可以综合考虑多种因素对河流连通性的影响,为城市化背景下河流连通性变化的定量评估提供了可能。

#### 1.3 水生生物多样性的评估指标

水生生物多样性包括遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性三个层次。在河流生态系统研究中,常用的生物多样性指标包括:物种丰富度(物种数)、香农-威纳多样性指数、均匀度

指数、功能多样性指数等。此外,生物完整性指数(IBM)被广泛应用于河流生态系统健康评估,它综合考虑了物种组成、营养结构和种群状况等多个方面。

## 2 城市化对河流连通性的影响机制

### 2.1 城市化进程中的土地利用变化

城市化最直接的表现是土地利用类型的转变:农业用地、林地和湿地等自然或半自然用地转变为建设用地、道路和广场等不透水地表。这种转变改变了地表径流的产生和汇流过程,增加了洪峰流量,缩短了汇流时间,改变了河流的水文情势。

### 2.2 河流物理结构的改变

城市化过程中,为满足防洪、供水和交通等需求,河流物理结构常经历大规模改造:河道被裁弯取直以加快泄洪,河岸被硬化以防止侵蚀,自然河床被混凝土或石块覆盖以减少渗漏。这些改造虽然满足了人类的短期需求,却严重损害了河流生态系统的长期健康。河道直线化和硬化减少了栖息地的异质性,降低了河流的生物承载力。

### 2.3 水利工程对河流连通性的影响

水坝、堰闸、涵洞等水利工程是城市化过程中常见的河流改造措施。这些工程虽然具有防洪、供水、发电等功能,但也成为河流连通性的主要障碍。水利工程对河流连通性的影响是多方面的:在纵向连通性方面,水坝阻断了鱼类的洄游通道,影响了营养物质的输移;在横向连通性方面,堤防工程限制了洪水漫溢,减少了河流与河漫滩的交换。

## 3 河流连通性变化对水生生物多样性的影响

### 3.1 对鱼类多样性的影响

鱼类是河流生态系统中最具代表性的水生脊椎动物,对河流连通性变化极为敏感。纵向连通性下降直接影响洄游性鱼类的生存:大坝等障碍物阻断了鱼类的繁殖洄游和索饵洄游路径,导致种群隔离和遗传多样性下降。横向连通性下降则影响鱼类对河漫滩栖息地的利用。许多鱼类在洪水期利用河漫滩进行繁殖和育幼,河漫滩提供了丰富的食物资源和避难场所。堤防建设限制了洪水漫溢,减少了河漫滩的可及性,影响了鱼类的繁殖成功率 and 幼体存活率。

此外,城市化导致的水质恶化、水温升高和栖息地均质化也间接影响了鱼类多样性。耐污染、广温性的物种逐渐取代了对环境敏感的物种,导致鱼类群落结构简化和功能多样性下降。

### 3.2 对水生植物和微生物多样性的影响

水生植物和微生物虽然较少受到关注,但它们在河流生态系统中起着重要作用。水生植物为其他生物提供栖息地、食物和产卵场所,同时也在水质净化中发挥作用。河流连通性变化可能影响水生植物的分布格局:水流速度改变影响植物的固着能力,水位波动变化影响植物的生长周期,浑浊度增加影响光合作用效率。

微生物群落(如细菌、真菌)在有机质分解和养分循环中起着关键作用。河流连通性变化可能改变微生物的栖息环境,影响

其群落结构和功能。研究表明,栖息地破碎化可能导致微生物多样性下降,进而影响生态系统的分解功能和养分循环效率。

### 3.3 群落结构和功能多样性的变化

河流连通性下降不仅影响物种丰富度,也改变了群落结构和功能多样性。在连通性较高的河流中,群落通常由多种功能类群的物种组成,包括不同食性、不同栖息地偏好和不同生活史策略的物种。当连通性下降时,一些对干扰敏感的物种可能消失,而耐干扰的物种可能占据优势,导致群落结构简化和功能同质化。

功能多样性是生态系统功能和服务的基础。当功能多样性下降时,生态系统的稳定性、恢复力和生产力都可能受到影响。研究表明,功能多样性高的生态系统通常具有更强的抗干扰能力和恢复能力。因此,河流连通性下降导致的功能多样性降低可能削弱河流生态系统的长期可持续性。

### 3.4 对无脊椎动物多样性的影响

水生无脊椎动物是河流生态系统中的重要组成部分,在物质循环和能量流动中起着关键作用。河流连通性变化对无脊椎动物的影响主要体现在栖息地可用性和质量的变化上。纵向连通性下降影响了无脊椎动物的扩散能力。许多水生昆虫具有飞行能力,可以在河流网络间迁移,但一些底栖无脊椎动物(如某些蜉蝣、石蝇)的扩散能力有限,更容易受到栖息地破碎化的影响。当种群被隔离在小生境斑块中时,近亲繁殖风险增加,遗传多样性下降,局部灭绝的可能性增大。

横向连通性变化影响了河流与河漫滩的物质交换。河漫滩是有机质的重要来源,这些有机质为河流中的无脊椎动物提供了食物基础。当横向连通性下降时,河流的异养性减弱,依赖外来有机质的无脊椎动物可能受到影响。

## 4 基于河流连通性保护的城市河流管理策略

### 4.1 基于自然的解决方案

基于自然的解决方案强调利用自然过程和生态系统服务来解决社会挑战。在城市河流管理中,基于自然的解决方案包括:恢复自然河道形态,重建河岸带植被,创建生态缓冲带,以及利用湿地处理城市径流。这些措施不仅可以提高河流连通性,还可以改善水质,提供栖息地,增强生态系统服务。

具体而言,可以通过以下措施提高河流连通性:拆除或改造阻碍生物迁移的水利工程,建设鱼道或其他过鱼设施;恢复河流的自然弯曲形态,增加栖息地异质性;重建河岸带植被,增强河流与河漫滩的横向连通性;减少河床硬化,恢复地表水与地下水的垂向连通性。这些措施需要综合考虑生态效益和社会经济可行性,采取适应性管理方法。

### 4.2 河流廊道保护与恢复

河流廊道是河流及其周围一定宽度的带状区域,是维持河流连通性的关键空间单元。保护完整的河流廊道可以维持河流的纵向连通性,提供生物迁移通道;保护足够的廊道宽度可以维持横向连通性,允许洪水漫溢和物质交换;保护自然河床可以维持垂向连通性,促进地表水与地下水的相互作用。

在城市规划中,应将河流廊道作为重要的生态基础设施纳入考虑。可以通过划定生态红线、建立河流保护区、实施廊道修复工程等措施来保护和恢复河流廊道。研究表明,当河流廊道宽度达到河流宽度的30-50倍时,可以有效地维持河流生态系统的完整性。在城市背景下,由于土地资源有限,需要根据实际情况确定合理的廊道宽度。

#### 4.3 适应性管理与生态修复

适应性管理强调基于监测和评估结果调整管理策略,是一个持续学习和改进的过程。在城市河流管理中,适应性管理尤为重要,因为城市系统具有高度动态性和不确定性。适应性管理过程包括:设定管理目标,设计管理措施,实施监测计划,评估管理效果,调整管理策略。

生态修复是提高河流连通性的重要手段。修复措施应基于生态原理,模拟自然过程,促进生态系统的自我恢复。常见的生态修复措施包括:栖息地重建,如创建深潭-浅滩序列;水文情势恢复,如调整水库调度方式;生物群落恢复,如重新引入本地物种。修复工程应优先考虑连通性关键区域,如河流交汇处、河漫滩区和地下水补给区。

#### 4.4 多尺度规划与社会参与

河流连通性保护需要多尺度规划:在流域尺度,需要考虑整个河流网络的连通性,识别关键障碍和修复优先区域;在河段尺度,需要设计具体的修复措施,评估其对连通性的影响;在场地尺度,需要实施具体的工程措施,监测其生态效果。多尺度规划可以确保管理措施的系统性和协调性。社会参与是城市河流管理成功的关键。利益相关者(如政府机构、社区居民、企业、非政府组织)的参与可以提高管理决策的合法性和可接受性,也可以动员更多资源支持管理行动。参与方式可以包括:信息公开和共享,公众咨询和听证,社区监测和志愿者活动,以及公私合作项目。通过社会参与,可以建立对河流保护的共识,促进可持续管理。

### 5 结论与展望

#### 5.1 结论

首先,城市化过程显著改变了河流连通性。土地利用变化、河流物理结构改造、水利工程建设和水文情势改变共同导致了河流连通性的多维下降:纵向连通性因障碍物增加而中断,横向连通性因河岸硬化和堤防建设而减弱,垂向连通性因河床硬化而受损。这种连通性下降是城市化对河流生态系统影响的核心机制之一。其次,河流连通性下降对水生生物多样性产生了显著

负面影响。连通性下降限制了生物的迁移和扩散,导致种群隔离和遗传多样性下降;减少了栖息地的可用性和质量,影响物种的生存和繁殖;改变了群落结构和功能多样性,降低了生态系统的稳定性和恢复力。鱼类、无脊椎动物、水生植物和微生物都受到不同程度的影响。最后,基于研究结果,本文提出了一系列城市河流管理策略,包括基于自然的解决方案、河流廊道保护与恢复、适应性管理与生态修复,以及多尺度规划与社会参与。这些策略强调利用生态原理和过程,提高河流连通性,促进水生生物多样性的保护和恢复。

#### 5.2 展望与启示

加强长期监测和实证研究。目前大多数研究基于短期调查或历史数据比较,缺乏长期连续监测数据。长期监测可以帮助理解连通性变化的动态过程,评估管理措施的长效影响,预测未来变化趋势。建立标准化的监测网络和数据共享平台是未来研究的重要方向。深化连通性-多样性关系的机理研究。现有研究多关注相关性分析,对内在机理的理解仍不充分。未来的研究应结合实验生态学、分子生态学和生态模型等方法,揭示连通性变化影响生物多样性的具体途径和阈值效应。特别是需要关注不同生物类群对连通性变化的响应差异,以及多重压力因素的交互作用。加强跨学科和跨部门合作。河流连通性保护涉及生态学、水文学、工程学、规划学和社会科学等多个学科,需要跨学科合作解决复杂问题。同时,涉及水利、环保、城建、农业等多个部门,需要跨部门协调形成管理合力。建立跨学科研究平台和跨部门协调机制是未来工作的重要方向。

#### [参考文献]

- [1]凌云,杨宜男,许迦龙.京津冀地区城市化对典型生态系统服务供需关系的影响[J].生态学报,2023,43(13):5289-5304.
  - [2]吴炯,吴起鑫.城市化对自然河流微量元素的影响研究——以赤水河流域为例[J].地球与环境,2023,51(01):56-66.
  - [3]刘钥,卢训令,李婉莹,等.基于文献计量学的城市化对鸟类的影响研究进展[J/OL].应用生态学报,1-17[2025-12-18].
  - [4]张浩天.城市化进程中的河流污染控制与生态修复策略[J].皮革制作与环保科技,2025,6(06):140-142.
  - [5]杨志青,周继明,邓治容.城市化背景下成都东部新区河湖健康评价及保护对策分析[J].农业科技创新,2025,(03):69-71.
- 作者简介:**  
王浩(2000—),男,汉族,河南沁阳人,硕士研究生,研究方向:流域生态学。