

基于自然的解决方案视角下的城市河岸植被结构综述： 珀斯与北京

Review of Urban Riparian Vegetation Structures from a Nature-based Solutions Perspective: Perth and Beijing

刘林杰¹ 玛丽亚·伊格纳季耶娃^{1*} 西蒙·基尔班¹ 胡远东²
LIU Linjie¹ Maria IGNATIEVA^{1*} Simon KILBANE¹ HU Yuandong²

(1.西澳大利亚大学设计学院, 珀斯 6009; 2.东北林业大学风景园林学院, 哈尔滨 150040)
(1. School of Design, The University of Western Australia, Perth, Australia, 6009; 2. School of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang, China, 150040)

文章编号: 1000-0283(2025)11-0028-07
DOI: 10.12193/j.laing.2025.11.0028.004
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2025-07-16
修回日期: 2025-10-02

摘要

全球城市化导致河岸植被结构简化和生态功能削弱已成为普遍趋势, 而河岸带植被作为绿色基础设施不可或缺的组成部分, 是生态修复的关键。现有研究多集中于单一气候带或局部城市案例, 缺乏跨气候带与治理模式的系统比较。以基于自然的解决方案(Nature-based Solutions, NbS)为理论框架, 选取地中海气候下的珀斯与温带季风气候下的北京为对象。基于两地在气候与管理模式上的典型差异, 系统比较其河岸植被的水平结构、垂直结构和时间结构特征及生态策略, 揭示气候、管理与生态交互作用的机制。旨在构建跨气候带河岸植被结构差异的解释框架, 总结NbS视角下的适应性优化策略, 并为城市河岸带的生态韧性与功能协同提供理论参考。研究结果为深化NbS视角下河岸生态系统的理解及全球城市河岸生态修复的实践提供借鉴。

关键词

城市河岸植被结构; 基于自然的解决方案; 生态修复; 珀斯; 北京

Abstract

Global urbanization has increasingly led to the simplification of riparian vegetation structures and the weakening of their ecological functions. As an integral component of urban green infrastructure, riparian vegetation assumes a crucial role in ecological restoration. However, existing research has predominantly concentrated on single climate zones or localized urban case studies, thus lacking systematic cross-climatic and cross-governance comparisons. This comparative literature review adopts the framework of Nature-based Solutions (NbS) to examine Perth, with its Mediterranean climate, and Beijing, characterized by its temperate monsoon climate, as representative cases. Based on their contrasting climatic conditions and management regimes, this study systematically compares the horizontal, vertical, and temporal structures of riparian vegetation in the two cities and analyzes their ecological strategies, to reveal the mechanisms underlying their climate-management-ecology interactions. The study endeavors to elucidate the structural differences in riparian vegetation across differing climatic zones and to propose adaptive optimization strategies. Furthermore, it provides theoretical guidance for enhancing ecological resilience and functional integration within diverse urban contexts. Grounded in the NbS framework, the findings contribute to a more profound understanding of riparian ecosystems and offer practical insights for urban riparian ecological restoration on a global scale.

Keywords

urban riparian vegetation structure; Nature-based Solutions; ecological restoration; Perth; Beijing

刘林杰

1989年生/女/天津人/在读博士研究生/研究方向为城市绿色廊道中基于自然的解决方案

玛丽亚·伊格纳季耶娃

1960年生/女/珀斯人/教授/设计国际交流平台(IFLA、URBIO)主席/研究方向为城市生态与城市生物多样性

西蒙·基尔班

1977年生/男/珀斯人/高级讲师/研究方向为景观设计与生态学融合

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: lisa.liu@research.uwa.edu.au

全球范围的快速城市化正在显著改变生态系统格局。其中, 城市植被结构复杂度及植物多样性的下降已成为普遍趋势, 并进一步削弱了生态系统的稳定性及其提供服务的能力。在此背景下, 城市绿色廊道作为绿色基础设施的重要组成部分, 被视为缓解物种丧失、维持生态连通性的关键手段。其中, 河岸廊道因其独特的水陆交错环境, 成为城

市生物多样性保护的核心空间。河岸植被在过滤径流、稳定河岸和调节水文等过程中发挥重要作用，同时亦为周边区域提供了重要的休闲与景观价值^[1-2]。

植被结构是指植物群落不同空间尺度和时间尺度上的分布与动态，其形成受到水文、土壤和地形等环境因素，以及自然（如洪水、火灾）和人为（如土地利用、管理活动）干扰过程的共同影响^[3]。植被结构可表现为三个方面：(1) 水平结构，即群落沿不同环境梯度（如河岸高程或距水体远近）的分布差异^[4]；(2) 垂直结构，指群落的分层格局，包括乔木、灌木与草本层的空间分布，以及冠层高度和密度的差异^[5]；(3) 时间结构，反映物种组成及其优势度在季节更替或干扰影响下的动态变化，并受到洪水过程的制约^[4]。植被结构不仅是生态格局的显性特征，其复杂性还维持物种多样性，并增强生态系统服务功能^[6]。理解植被结构对于河岸植被修复具有核心意义。

城市河岸廊道的植被结构受水资源可获得性、水文波动（如洪水）、土地利用变化以及人为干扰等多重因素共同塑造。其中，外来入侵植物常借助水文过程的破碎化和岸线开发迅速扩散，显著削弱生态系统功能，并导致生物多样性下降^[7]。这突显了在快速城市化背景下，亟需探索能够兼顾生态与社会需求的植被配置与管理策略。基于自然的解决方案（Nature-based Solutions, NbS）作为整合自然过程、生态功能与社会目标的综合框架，被视为应对这一挑战的重要路径。与传统保护不同，NbS强调在恢复生态功能的同时提升社会福祉，但其区域化实践存在显著差异：在欧洲，这一概念已相对成熟^[8]；澳大利亚缺乏统一的国家框架，实践多依赖地方修复与社区倡议^[9]；而在中国虽有河道生态修复试点（如上海、深圳），但整体仍以政府主导和工程措施为主，且缺乏对长期生态与社会效益的系统评估^[10]。

在此背景下，西澳大利亚的珀斯与中国的北京成为具有代表性的比较案例。两地虽处不同气候带与管理背景，河岸植被差异显著，但同样面临快速城市化导致的生态压力。这种差异与共性为跨情境比较提供了现实基础：不仅有助于识别城市化条件下植被结构变化的普遍规律，也能检验NbS导向的结构优化策略的适应性与成效。鉴于植物作为NbS的核心生物要素^[11]，植被结构作为NbS的生物杠杆^[12]，直接塑造河岸带微气候与资源梯度的空间异质性^[13]。更具体而言，河岸植被的水平连续性、垂直多层性与时间动态，正是NbS强调的自然过程在城市中的具体体现，不仅承载“将更多自然引入城市”的理念，也为提升生物多样性、水质改善、防洪固岸等生态功能提供了结构基础^[14]。基于此，本文以河岸带植被结构为切入点，旨在揭示其在不同区域—

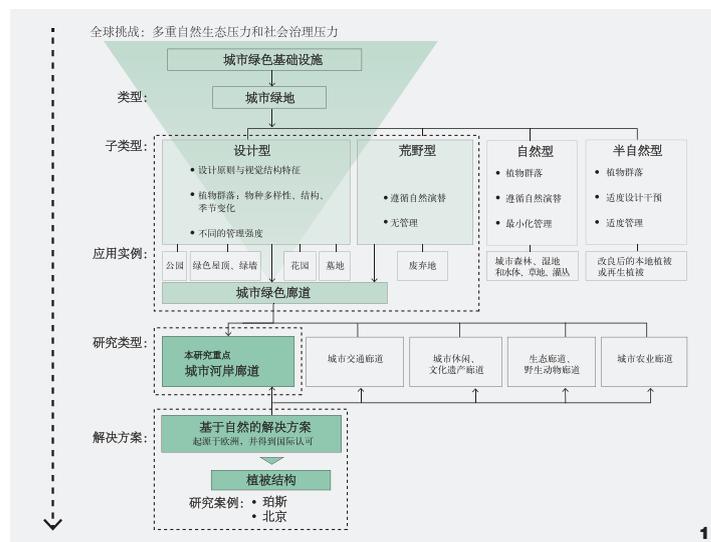


图1 从城市绿色基础设施到城市河岸廊道：文献综述的聚焦过程
Fig. 1 From urban green infrastructure to urban riparian corridors: the focus-narrowing process of the literature review

生态情境下的演变机制，并在NbS框架下探讨结构优化如何促进生态功能与服务，从而为快速城市化地区的河岸修复提供理论支持与实践参考。图1展示了研究的分析框架，阐明城市绿色基础设施与NbS的关联机制及其在河岸植被结构优化中的作用。

为此，本文通过系统文献综述，结合政策文件、报告与非政府倡议，并基于典型案例（珀斯的海伦娜河、坎宁河和天鹅河，以及北京的温榆河与永定河），采用比较分析与主题归纳的方法开展研究。在水平、垂直和时间三个维度上梳理河岸植被的结构特征及其生态策略和生态功能，进而评估NbS在不同区域应用中的潜力与局限，并提出未来研究与实践的优化方向。

1 研究方法：文献综述

本文系统整理与比较国内外有关河岸植被结构、生态功能及其在城市化与NbS框架下的应用研究。文献检索主要基于Web of Science、Scopus、ProQuest和中国知网(CNKI)等数据库，同时参考政府网站、政策报告及NbS项目平台等灰色文献，以兼顾科学研究与实践案例。检索关键词涵盖“河岸植被结构”“NbS”“河岸生态修复”“北京河岸”“珀斯河岸”等。根据纳入标准，重点选取了2000年以来在河岸植被结构、生态过程及NbS应用方面具有代表性的研究成果。

在案例选择上，本文聚焦于两个具有代表性的城市河流系统：澳大利亚珀斯的天鹅河—坎宁河及其支流，以及中国北京的温榆河与永

定河流域。二者分别位于南北半球，气候带、社会制度与治理模式差异显著，但都在快速城市化过程中经历了河岸带改造与生态退化，因此适合作为跨情境比较的对象。

在分析方法上，结合比较分析与主题归纳两种思路：(1) 在水平（横向梯度）、垂直（群落分层）和时间（演替动态）三个维度，对珀斯与北京河岸植被结构的异同及退化特征进行比较；(2) 在文献整合的基础上，总结影响河岸植被结构的主要驱动因素（自然水文过程、人为干预模式、管理制度），并提炼其与NbS的关联机制。

2 河岸植被结构

2.1 城市背景与原始植被结构

珀斯和北京的河岸植被在结构与组成上表现出显著差异，其成因既包括气候与地貌等自然条件，也涉及城市化、植被管理方式及河岸归属制度等人为因素。珀斯属地中海气候，冬季（5-9月）降水占全年约80%，夏季（12-2月）炎热少雨；市区1991-2020年平均年降水量730 mm^[15]。其河段的权属表现为岸地私有、水体公有：岸坡多归毗邻私人所有，而河床与滨水带则由州政府统一管理^[16]。北京属暖温带半湿润半干旱季风气候，年降水量约600 mm且集中于夏季，年际变率较大；城市河岸带管理更多体现为景观绿化与休闲功能，土地权属则基本为政府所有^[17]。

在欧洲殖民前的珀斯和城市化前的北京，原生本地河岸植被沿河道横断面形成了由水缘到高地依次更替的连续植被带。珀斯天鹅河—坎宁河原始河岸植被为草本—灌木/小乔木—高大桉林三带梯度：前缘为澳洲星草 (*Austrostipa stipoides*) 与灯芯草 (*Juncus kraussii*) 等耐盐滨生草本；中层为白千层 (*Melaleuca thaphiophylla*)、海岸班克莎 (*Banksia seminoda*) 等

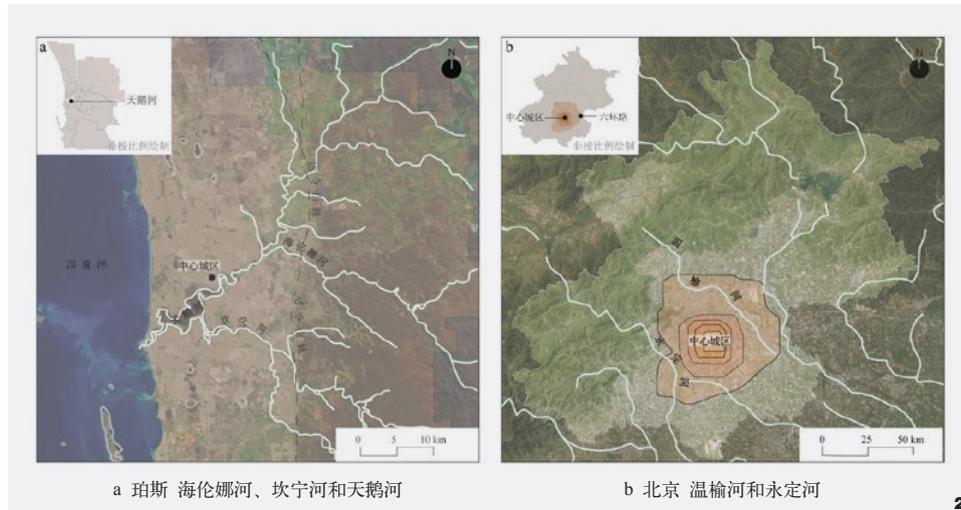


图2 珀斯和北京主要研究案例河流分布图
Fig. 2 Map of the main study rivers in Perth and Beijing

灌丛—小乔木；后部则为野桉 (*Eucalyptus rudis*) 单优乔木带，林下层伴生盐生草 (*Sporobolus virginicus*)，各层共同体现耐淹耐盐特征，构成典型的赤桉—白千层河岸林群落^[16]。典型北京原始河岸植被结构为挺水草本—灌木—落叶阔叶林三带梯度：前缘为芦苇 (*Phragmites australis*)、香蒲 (*Typha orientalis*) 等湿生草本，中层为荆条 (*Vitex negundo* var. *heterophylla*)、孩儿拳头 (*Grewia biloba* var. *parviflora*) 等灌木，下部则为旱柳 (*Salix matsudana*)、毛白杨 (*Populus tomentosa*) 等落叶阔叶林，上下层共同体现耐旱—耐涝双重适应性^[19]。

在此背景下，本文结合典型案例（珀斯的海伦娜河、坎宁河和天鹅河与北京的温榆河、永定河）（图2），从水平结构（沿河横断面的群落分布）、垂直结构（群落层次）与时间结构（季节性及长期演替动态）三个维度展开综述。这些河流在各自区域具有代表性，能够较清晰地展现河岸植被的结构差异。图3展示了珀斯和北京部分典型河岸段的实景照片，用于直观辅助说明，但不替代定量指

标的比较。

2.2 NbS 视角的河岸植被结构优化

在NbS框架下，河岸植被被视为从设计阶段起就不可或缺的核心组成部分^[20]。不同于传统以工程控制为主的治理模式，NbS强调让自然过程主导，以实现生态功能的长期维持与社会—环境的多重效益^[14]。然而，植被的功能发挥关键不在于物种本身，而在于其结构格局^[6]。河岸植被结构主要体现在三个相互关联的维度：(1) 水平连续性，决定水文连通与能量流动河岸带横向梯度（河道—洪泛区—阶地）的连续程度直接控制水量、养分与有机质在河流—陆地界面的交换效率^[21]；(2) 垂直多层性，影响生境异质性与资源利用效率乔—灌—草分层结构增加了光照、温度与食物资源的垂直分化，从而提升鱼类、鸟类及昆虫的多度和功能多样性^[22]；(3) 时间动态性，河岸植被结构的时间动态性主要由洪水等水文干扰的频率、强度与时序所驱动，这些自然脉冲不断重置和塑造群

落, 从而体现出其在演替与更新过程中的动态特征^[23]。在此基础上, 已有研究提出应通过多尺度的河岸植被结构指标来评估植被与近自然状态的偏离程度, 并将其作为生态修复的决策工具^[9]。这不仅突显了优化植被结构是提升生态功能的关键环节, 也为后续跨区域比较与实践应用提供了理论基础。

2.3 珀斯案例河案的植被结构现状

澳大利亚西南部的大多数河流发源于干旱的内陆地区, 流向较为湿润的沿海地带, 形成了明显的环境梯度, 进而影响植被结构和物种组成。河岸带的植被在结构、丰度及物种组成上普遍区别于邻近高地, 差异主要受地貌(河流等级、土壤水分、山谷形态)和气候(降雨梯度、温度)共同驱动。在地形平缓的地区, 植被随距河流距离的增加呈现渐变; 而在地势陡峭的地区, 如达令山脉, 过渡带狭窄, 河岸植被与高地植被之间呈现锐变^[24]。珀斯城市大部分区域位于天鹅海岸平原上。该平原地势平缓、水流缓慢, 形成洪泛平原和湿地, 土壤肥沃且蓄水能力较强, 因此支持多样湿地植被。然而, 该区域因城市化和土地利用变化而出现严重退化: 在天鹅—坎宁河口低地, 洪泛平原乔木更新受阻, 垂直结构简化为灌—草优势; 而上游达令山脉河段因干扰较轻, 仍保留乔木—灌木—草本三层结构^[25]。

水平结构上, 珀斯河岸带典型分布为: 水际挺水草本群落—洪泛平原的莎草灌丛—更高处的林地(以桉树属和白千层属为主)。支流往往比主河道(如天鹅河)保留更多本地多样性^[26]。同时, 珀斯不同河段在上、中、下游之间也表现出差异: 上游山区段(达令山脉)河谷狭窄, 河岸林地呈连续带状分布, 与高地森林直接相接; 中游段(如海伦



图3 珀斯与北京城市河岸植被示例
Fig. 3 Examples of urban riparian vegetation in Perth and Beijing

娜河、坎宁河中上游)洪泛平原较宽, 常形成横向交替的莎草草本带、灌丛带及局部林地斑块, 呈镶嵌分布; 下游平原与河口段(天鹅河—坎宁河口低地)受城市化影响最为显著, 横向格局退化为以外来草本为主的单一优势带, 自生植物几乎100%由外来种构成^[27], 自然林地斑块呈零星破碎状^[25]。总体而言, 珀斯河流的水平结构既体现出典型的横断面梯度, 又在上、中、下游的空间格局上呈现出上游多层林地—中游混合型带状群落—下游简化草本群落的差异。

垂直结构上, 上层乔木沼泽木麻黄(*Casuarina obesa*)、中层灌丛狭叶白千层与下层莎草节秆荸荠(*Baumea articulata*)共同构成0.5~6 m的三层格局; 城市段因护岸硬化与反复修剪, 乔木更新受阻, 灌丛被清除, 垂直结构普遍退化为单层莎草群落, 高度 ≤ 0.3 m^[28]。

时间结构上, 干湿季变化显著: 雨季水位振幅0.5~1.2 m, 莎草类(*Cyperus*、*Typha*)盖度可在2~3个月内增加20%~40%, 水平扩展速率约0.2~0.5 m/月; 旱季水位下降后, 洪泛台地裸露, 白千层属(*Melaleuca*)幼苗更新密度可达5~15株/m², 体现湿季草本扩张—干季灌木更新的动态更替^[28,29]。

生态策略上, 澳大利亚河岸植被主要依赖广适性与耐逆性来维持群落存在。由于专性河岸物种稀少(全球约600种急流植物中, 澳大利亚仅29种, 西澳仅见三种: 河岸班克莎(*Banksia seminuda*)、苞毛花木(*Lasiopetalum bracteatum*)、福里斯胃豆(*Gastrolobium forrestii*)^[30-31])。因此, 大多数河岸植物采取了广适性+耐逆性策略, 往往与湿地群落共享物种, 如繁花三药木(*Trymallium floribundum*)、线叶阿戈木(*Agonis linearifolia*)、肥木麻黄(*Casuarina*

obesa), 依靠耐旱、耐淹或耐盐的性状维持群落存在^[24]。这一策略在空间格局上表现明显: 城市段水平与垂直结构极度简化(林冠消失、莎草单一化), 而上游(如海伦娜河与坎宁河)则维持多层次、多季节响应的复杂结构^[24]。其中, 典型的林带以野桉(*Eucalyptus rudis*)与线叶白千层(*Melaleuca raphiophylla*)为主, 能够在周期性洪泛与干旱交替中快速定殖^[32]; 下游城市一河口段则大量被外来香蒲(*Typha orientalis*)、狗牙根(*Pennisetum clandestinum*)等对环境要求低、蔓延性强的草本占据, 导致原生灌乔木退缩、群落结构趋于单一化^[33]。

2.4 北京市案例河岸的植被结构现状

永定河与温榆河均属海河流域, 均受地形、水文和人类活动影响。永定河全长约270 km, 流域面积约3 600 km², 自山区至平原高差10~300 m, 长期受水库和引水工程调控, 部分河段出现断流, 平原段水资源短缺^[34]。温榆河全长约47.5 km, 流域面积约2 478 km², 是北京市唯一市内发源的河流, 常年有水, 被称为“北京的母亲河”。其流域土地利用类型以林地、农业和城市建设用地为主, 分别占流域总面积的35.6%、30.8%和25.7%, 沿线人口密集, 开发强度较高^[35]。

垂直结构上, 北京河岸植被普遍表现出单层化趋势。永定河的典型调查共记录37科100属134种维管植物, 其中禾本科和菊科为优势类群, 典型属为蒿属(*Artemisia*), 显示出温带区系特征^[36]。温榆河—北运河段的调查亦表明, 自生草本植物盖度远高于木本层, 而人工草坪长期维持高盖度(85%~95%), 香农指数在2008–2020年间无显著年际差异($p > 0.05$)与此形成对比的是, 同期弃耕农田沿一年生草本—多年生杂类草—荆条/孩儿拳头灌丛的演替过程, 5年

内多年生草本盖度由12%升至58%, 物种数增加2.4倍^[19]。总体来看, 北京河岸植被在强干扰区域普遍表现为草本层显著高于乔灌木层, 导致潜在的三层结构简化为单层草本群落, 垂直多样性明显下降^[37]。温榆河作为北京东部的重要城市河流, 其河岸带同样呈现出类似的简化特征。研究显示, 草本层特别是自生草本成为植被结构的主导成分, 而乔木和灌木层的覆盖度和多样性相对较低; 同时, 受防洪工程影响, 城市河段大多被砌为石质直立岸墙, 仅在局部湿地和公园绿地中保留少量自然岸线, 天然林地、灌丛与草地呈零散斑块分布^[38]。

水平结构上北京河岸植被在横断面上普遍呈现河道—洪泛平原—台地的带状或镶嵌分布, 从自然草地逐渐过渡到农田和人工草坪^[39]。永定河上游(官厅—落坡岭)以蒙古栎、胡桃楸和色木槭等落叶阔叶林为主, 保持较完整的林地^[36]; 中游平原段(卢沟桥—梁各庄)乔木和灌木显著减少, 草本覆盖度超过80%, 多表现为单层草地群落^[40]; 下游(天津境内)则以芦苇—蘆草湿地草本为主, 盖度70%~90%, 伴有少量灌木^[41]。温榆河上游(昌平南口—辛庄桥)保留胡桃楸—鹅耳枥—胡枝子等原生林木, 与草本交错分布^[19]; 中游郊区段(朝阳—顺义)则以高羊茅+黑麦草草坪为主, 覆盖率超过85%^[19], 原生植被残余极少。已有研究表明, 在对中国59个城市的调查中, 本土种比例大约为81.3%^[42]。总体来看, 永定河呈现上游林地—中游草地—下游湿地的格局, 而温榆河则表现为上游林地—中游草坪的简化格局, 两者均体现了典型的带状—镶嵌分布与上、中、下游间的差异。

在时间结构上, 北京河岸植被表现出受水文断裂与土地利用历史驱动的动态演替特

征。永定河平原段因水文破碎化, 群落优势序列发生改变, 部分热带成分逐步进入并在温带群落中占据更显著位置^[43]。在温榆河下游郊段, 人工草坪在2008–2020年间连12年间始终保持高羊茅+黑麦草的单一群落, 盖度85%~95%, 香农指数年际差异不显著($p > 0.05$); 同期弃耕农田则经历了一年生草本—多年生杂类草—荆条/孩儿拳头灌丛的演替过程, 5年后多年生草本盖度由12%升至58%, 物种数增加2.4倍, 但在再次翻耕或修剪后, 演替会被中断并重新开始^[19]。

在生态策略上, 北京河岸植被主要依赖广适性与快速扩殖来应对水文破碎化与高强度城市化干扰。芦苇、香蒲和荆条等兼生种类, 通过强扩殖力在草地、农田和湿地中快速占据优势, 从而维持草本层主导。相比之下, 上游山区或郊区河段仍保留胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)等长寿命木本树种, 凭借较强的耐性维持乔—灌—草三层结构。中下游则多被人工草坪草或外来草本(如高羊茅 *Festuca arundinacea*、黑麦草 *Lolium perenne*)取代, 依靠快速覆盖适应城市化改造下的河岸环境, 但生态功能有限。整体而言, 北京河岸植被的策略表现为草本依赖广适性与快速扩殖以维持群落存在, 而木本支撑不足导致整体结构趋于简化与不稳定^[19]。

3 讨论

对比珀斯与北京的河岸原生植被群落可以发现, 两地呈现出截然不同的生态策略。珀斯的野桉—白千层群落沿水位和盐度梯度形成典型带状分布, 依靠耐盐、耐淹等保守性性状, 在高度波动的水文环境下维持长期稳定性。然而, 这种以耐逆性为核心的策略更新速率缓慢、幼苗重建受限, 使其在遭

遇强烈干扰时表现出较低的恢复力。相对而言，北京的旱柳—毛白杨群落依靠速生、落叶和发达根系，以及乔—灌—草的多层结构，展现出一种快速响应策略，能够在洪旱交替的气候中实现较高的生产力与水分调节功能。但这种依赖快速生长与结构复杂性的模式，在长期采伐、硬质护岸或高频管理下容易丧失层次性，导致生态功能的退化。正因如此，珀斯与北京在都市化压力下分别呈现出截然不同的退化过程。

在此背景下，珀斯和北京的现状分别演化为两类典型退化模式。珀斯城市—河口段主要表现为外来物种取代：洪水促进外来草本扩散，干旱和盐分又抑制本地树种幼苗，使原生乔—灌—草群落逐渐被单层外来草本取代，生态稳定性下降。北京中下游河段则体现为人为中断型退化：硬质护岸阻断洪泛连通，高频修剪和补播维持草坪覆盖，阻断了乔灌层更新，导致植被长期停留在单层草本阶段。两地虽然退化过程不同，但结果趋同：横向梯度消失、垂直分层缺失、群落时间动态减弱以及物种组成同质化，共同削弱了系统的调蓄、防护和多样性功能。

在NbS视角下，河岸植被修复应以原始格局为参照，以现状问题为切入点，不是简单复制过去，而是通过激活自然过程来弥补功能缺失。珀斯的重点在于通过水文再自然化和外来种控制，恢复原生群落的更新潜力和结构层次；北京则更需要通过减少草坪依赖、恢复乔灌层和适度洪泛过程，重建群落的自然演替与多样性。两者的比较提示，NbS的核心不在于单一措施，而在于协调水文—结构—管理三方面：水文过程重塑系统驱动力，多层次植被结构提供功能支撑，而低干扰的管理为长期稳定性创造条件。

综上，珀斯与北京的案例比较表明，即

使自然条件和治理体制存在显著差异，河岸植被退化在结构与功能上的趋同规律仍然清晰可见。对比两地不同的演变模式有助于揭示河岸植被在都市化压力下的普遍脆弱性，也说明NbS的价值并不依赖于特定物种或工程手段，而在于利用自然过程维持多层次结构与生态功能。对于后续研究而言，这种跨区域对比不仅深化了对变化机制的理解，也为进一步探索NbS在不同情境下的适用边界和调适策略提供了参考。这表明，尽管区域背景不同，但城市河流的植被退化都遵循相似的结构削弱与功能丧失轨迹，从而为NbS理论提供了跨区域验证的案例支持。

4 结论

本研究从NbS视角提出了一个跨区域可比较的河岸植被结构分析框架。通过对比珀斯与北京的典型案例发现，两地虽处于不同的自然与社会经济背景，却在退化过程中呈现出趋同结果：多层次结构削弱、生态功能下降；但在机制上表现出差异，珀斯以外来物种入侵和水文格局驱动的替代型退化为主，而北京则受工程化管理与人为干扰影响，呈现简化型退化。这揭示了社会—生态情境如何塑造不同的退化机制，同时也表明恢复由自然过程维系的水平连续性、垂直多层次性和时间动态性，是提升河岸功能的共同目标。

在实践层面，珀斯需侧重水文过程再自然化和外来种控制，以重建本地乔灌层与群落结构；北京则需减少草坪依赖和高频管理，恢复乔灌层和适度洪泛过程，以促进自然演替和多样性。尽管途径不同，但差异化的修复策略为NbS在不同城市情境下的应用提供了参考。

然而，本研究仍有局限：方法主要依赖文献综述，缺乏长期监测与实地调查；现有资料在两地之间存在定性与定量信息的不对

称，难以实现严格量化比较；提出的策略更多停留在理论层面，尚需结合政策、治理机制与公众参与加以验证。未来研究应整合遥感监测、野外调查和社会调查，建立跨区域可比的结构—功能指标体系，以深化对河岸植被退化机制与NbS应用的认识。

注：图2-a底图来源于<https://spaceref.com/earth/earth-from-space-perth-australia/>，图2-b底图来源于Esri ArcGIS Online提供的“World Imagery”底图，其余图片均由作者自绘/摄。

参考文献

- [1] LI X P, FAN S X, GUAN J H, et al. Diversity and Influencing Factors on Spontaneous Plant Distribution in Beijing Olympic Forest Park[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 181: 157-168.
- [2] GILLIES C S, ST. CLAIR C C. Riparian Corridors Enhance Movement of a Forest Specialist Bird in Fragmented Tropical Forest[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, 105(50): 19774-19779.
- [3] AGUIAR F C, FERNANDES M R, FERREIRA M T. Riparian Vegetation Metrics as Tools for Guiding Ecological Restoration in Riverscapes[J]. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 2011(402): 21.
- [4] PARK H, KIM J G. Temporal and Spatial Variations of Vegetation in a Riparian Zone of South Korea[J]. *Journal of Ecology and Environment*, 2020, 44(01): 9.
- [5] BEARD J S. *Plant Life of Western Australia*[M]. Australia: Kangaroo Press Pty Ltd., 1990.
- [6] THRELFALL C G, OSSOLA A, HAHS A K, et al. Variation in Vegetation Structure and Composition across Urban Green Space Types[J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2016, 4: 66.
- [7] CAO Y, NATUHARA Y. Effect of Urbanization on Vegetation in Riparian Area: Plant Communities in Artificial and Semi-Natural Habitats[J]. *Sustainability*, 2020, 12(01): 204.
- [8] DUSHKOVA D, HAASE A, WOLFF M, et al. Editorial for Special Issue “Nature-Based Solutions (NBS) in Cities and Their Interactions with Urban Land, Ecosystems, Built Environments and People: Debating Societal Implications”[J]. *Land*, 2021, 10(09): 937.
- [9] ZHU D, ZHANG Y, KENDAL D, et al. Nature-based Solutions in Australia: A Systematic Quantitative

- Literature Review of Terms, Application and Policy Relevance[J]. *Nature-Based Solutions*, 2023, 4: 100092.
- [10] SHENG L S, HAO Y Y, ZHOU S Q, et al. Nature-based Solutions (NbS) in China: Implementation and Practice Modes[J]. *Environmental Research Communications*, 2025, 7(05): 051002.
- [11] BUCKLEY Y M, AUSTIN A, BARDGETT R, et al. The Plant Ecology of Nature - based Solutions for People, Biodiversity and Climate[J]. *Journal of Ecology*, 2024, 112(08): 2424-2431.
- [12] DUBO T, PALOMO I, ZINGRAFF-HAMED A, et al. Levers for Transformative Nature-based Adaptation Initiatives in the Alps[J]. *PLOS Climate*, 2023, 2(11): e0000193.
- [13] TABACCHI E, LAMBS L, GUILLOY H, et al. Impacts of Riparian Vegetation on Hydrological Processes[J]. *Hydrological Processes*, 2000, 14: 2959-2976.
- [14] SEOK J E, LIM B S, MOON J S, et al. Spatial Distribution of Vegetation on Stream Bars and the Riparian Zone Reflects Successional Pattern Due to Fluid Dynamics of River[J]. *Water*, 2023, 15(08): 1493.
- [15] Bureau of Meteorology. Climate Statistics for Australian Locations[EB/OL]. [2025-06-05]. http://www.bom.gov.au/climate/averages/tables/cw_009225.shtml
- [16] Department of Biodiversity, Conservation and Attractions. Habitat Protection and Foreshore Management[EB/OL]. [2025-08-17]. <https://www.dbca.wa.gov.au/management/swan-canning-riverpark/habitat-protection-and-foreshore-management>
- [17] HU Z, WANG S. Multi-Scenario Simulation of Ecosystem Service Value in Beijing's Green Belts Based on PLUS Model [J]. *Land*, 2025, 14(02): 408.
- [18] Department of Water, Government of Western Australia. Environmental Values, Flow Related Issues and Objectives for the Canning River, Western Australia[R]. Perth: Department of Water, Government of Western Australia, 2007.
- [19] ZHANG M, FAN S, LI X, et al. How Urban Riparian Corridors Affect the Diversity of Spontaneous Herbaceous Plants as Pollination and Dispersal Routes - A Case of the Wenyu River- North Canal in Beijing, China[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 146: 109869.
- [20] CARBONARI C, SOLARI L. Riverscape Nature-Based Solutions and River Restoration: Common Points and Differences[J]. *Sustainability*, 2025, 17(13): 6108.
- [21] TABACCHI E, PLANTY-TABACCHI A M, DÉCAMPS O. Continuity and Discontinuity of the Riparian Vegetation along a Fluvial Corridor[J]. *Landscape Ecology*, 1990, 5(01): 9-20.
- [22] GREGORY S V, SWANSON F J, MCKEE W A, et al. An Ecosystem Perspective of Riparian Zones: Focus on Links Between Land and Water[J]. *BioScience*, 1991, 41(08): 540-541.
- [23] DOWE S J C J L. Diversity and Dynamics of Riparian Vegetation[R]. Perth: Department of Biodiversity, Conservation and Attractions, 2005.
- [24] HANCOCK C N, LADD P G, FROEND R H. Biodiversity and Management of Riparian Vegetation in Western Australia[J]. *Forest Ecology and Management*, 1996, 85(01): 239-250.
- [25] The Swan River Trust. Swan and Canning Rivers Foreshore Assessment and Management Strategy[R]. Perth: The Swan River Trust, 2008
- [26] Department of Water, Government of Western Australia. Riparian Condition of the Salt River: Waterway Assessment in the Zone of Ancient Drainage[R]. Perth, WA: Department of Water, Government of Western Australia, 2008.
- [27] IGNATIEVA M, DUSHKOVA D, MARTIN D J, et al. From One to Many Natures: Integrating Divergent Urban Nature Visions to Support Nature-Based Solutions in Australia and Europe[J]. *Sustainability*, 2023, 15(05): 4640.
- [28] Department of Biodiversity, Conservation and Attractions. Wetlands of the Swan Coastal Plain – Volume 2: Thomsons Lake[M]. Perth: Department of Biodiversity, Conservation and Attractions, 2003.
- [29] Water and Rivers Commission. Water Note 3 – Wetland Vegetation[M]. Perth: Water and Rivers Commission, 2000.
- [30] VAN STEENIS C G G J. Rheophytes of the World: Supplement[J]. *Allertonia*, 1987, 4(05): 267-330.
- [31] SPECHT R. Forested Wetlands in Australia[J]. *Ecosystems of the World*, 1990, 15: 387-406.
- [32] Water and Rivers Commission. Native Vegetation of Freshwater Rivers and Creeks in South Western Australia[M]. Perth, Western Australia: Department of Conservation and Land Management, 1997.
- [33] CARMAN-BROWN K. Swan River Estuary[EB/OL]. EBSCOhost, 2022 [2025-07-15]. <https://www.ebsco.com/research-starters/science/swan-river-estuary>
- [34] YANG Y, CAI S, WANG H, et al. Evolution of Hydrological Conditions and Driving Factors Analysis of the Yongding River in a Changing Environment: A Case Study of the Xiangshuipu Section[J]. *Agronomy*, 2023, 13(09): 2289.
- [35] ZHANG Y, XIA J, CHEN J, et al. Water Quantity and Quality Optimization Modeling of Dams Operation Based on SWAT in Wenyu River Catchment, China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2011, 173(01): 409-430.
- [36] XIU C, ZHENG H, OUYANG Z. Community Characteristics of Riparian Alien Plants Influenced by Different Types of Human Disturbance: A Case Study of Yongding River, Beijing[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 36(15): 4689-4698.
- [37] WANG X, ZHANG N, YUE R, et al. Effects of Composition and Spatial Distribution of Patches on Microclimate in the Urban Riparian Zone: A Case Study of Riparian Zone along Yongding River in Beijing[J]. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2020, 37(05): 606-618.
- [38] ZHANG M, LI X, FAN S, et al. Response of Spontaneous Plant Communities to Microhabitats in a Riparian Corridor in Beijing, China[J]. *Scientific Reports*, 2024, 14(01): 17642.
- [39] GUO E, CHEN L, SUN R, et al. Effects of Riparian Vegetation Patterns on the Distribution and Potential Loss of Soil Nutrients: A Case Study of the Wenyu River in Beijing[J]. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 2015, 9: 279-287.
- [40] ZHANG D, YI M, SUN Z, et al. Changes in Vegetation Greenness and Responses to Land Use Changes in the Yongding River Basin (in North China) from 2002 to 2022[J]. *Agronomy*, 2024, 14(10): 2292.
- [41] HUO H, GUO J, LI Z L, et al. Remote Sensing of Spatiotemporal Changes in Wetland Geomorphology Based on Type 2 Fuzzy Sets: A Case Study of Beidagang Wetland from 1975 to 2015[J]. *Remote Sensing*, 2017, 9(07): 683.
- [42] JIN C, HU S, DA L, et al. Biotic Homogenization and Rewilding of Urban Greening [C]// *Resilient Urban Environments*. Cham: Springer, 2024.
- [43] XIU C, OUYANG Z Y, ZHENG H. Flora Analysis of Riparian Vegetation in Yongding-Haihe River System, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(06): 1535-1547.