

DOI: 10.5846/stxb202201280268

王海洋, 王浩琪, 陈禧悦, 韩宝龙, 束承继, 张童, 丁仕宇. 国内外城市生物多样性评价与提升研究综述. 生态学报, 2023, 43(8): 2995-3006.

Wang H Y, Wang H Q, Chen X Y, Han B L, Shu C J, Zhang T, Ding S Y. Review on evaluation and enhancement of urban biodiversity. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(8): 2995-3006.

国内外城市生物多样性评价与提升研究综述

王海洋¹, 王浩琪^{1,2}, 陈禧悦³, 韩宝龙^{2,*}, 束承继², 张童^{2,4}, 丁仕宇^{2,4}

¹ 西南大学园艺园林学院, 重庆 400100

² 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

³ 华南农业大学, 广州 510642

⁴ 南华大学松霖建筑与设计艺术学院, 衡阳 421009

摘要: 城市生物多样性水平是反映人与自然和谐共处水平的重要指标, 对促进城市可持续发展有着重要意义。城市及其基础设施的扩张改变了土地原有的生态系统、水文状况和地表结构, 不断加快的城市化进程对生物多样性造成了严重影响, 城市生物多样性保护已成为当下城市生态建设中重要且紧迫的工作。与传统的生物多样性研究不同, 城市生物多样性保护工作以保护生物多样性为前提, 争取科学利用生物多样性为城市带来更广泛的经济效益和社会效益。当前城市生物多样性研究成果丰富且涉及层面多元, 但仍面临缺乏系统性、整体性评价框架以及跨界、多尺度管理等关键问题。故对国内外城市生物多样性的状况评价、效益评价和提升路径三方面的相关研究进行综述, 总结当前城市生物多样性评价的标准与方法, 并从城市生物多样性保护面对的主要挑战出发, 梳理介绍国际合作、国家政策、城市规划、专项保护以及基于自然的解决方案等角度的城市生物多样性提升路径。讨论了城市生物多样性的关注点与未来研究方向, 并对城市生物多样性保护提出政策建议, 为各地编制生物多样性保护规划和开展城市生物多样性保护工作提供借鉴, 以期促进城市生物多样性保护和人与自然的协调发展。

关键词: 城市; 生物多样性; 评价标准; 提升路径

Review on evaluation and enhancement of urban biodiversity

WANG Haiyang¹, WANG Haoqi^{1,2}, CHEN Xiyue³, HAN Baolong^{2,*}, SHU Chengji², ZHANG Tong^{2,4}, DING Shiyu^{2,4}

¹ College of Horticulture and Gardens, Southwest University, Chongqing 400100, China

² State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

³ South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

⁴ Solux College of Architecture and Design, University of South China, Hengyang 421009, China

Abstract: The level of urban biodiversity is an important indicator reflecting the level of harmonious coexistence between human and nature, and is of great significance for promoting sustainable urban development. The expansion of cities and their infrastructures has changed the original ecosystem, hydrological condition and surface structure of the land. The accelerating urbanization process has caused serious impacts on biodiversity, and urban biodiversity conservation has become an important and urgent task in urban ecological construction nowadays. Unlike traditional biodiversity research, urban biodiversity conservation is based on the premise of biodiversity conservation, and seeks to use biodiversity scientifically to bring wider economic and social benefits to cities. The current urban biodiversity research results are abundant and

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(71804180); 中国科学院青年创新促进会项目(2020042); 中国科学院战略性科技先导专项(A类)NO. XDA230301; 世界自然基金会(WWF)

收稿日期: 2022-01-28; **网络出版日期:** 2022-12-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: blhan@rcees.ac.cn

multifaceted, but still face key problems such as lack of systematic and holistic evaluation framework and transboundary and multi-scale management. Therefore, this paper reviews the research on urban biodiversity at home and abroad, summarizes the current criteria and methods of urban biodiversity evaluation, and introduces the urban biodiversity enhancement from the perspectives of international cooperation, national policies, urban planning, special conservation, and nature-based solutions from the main challenges of urban biodiversity conservation. The article discusses the pathways of urban biodiversity enhancement from the perspectives of international cooperation, national policies, urban planning, special conservation and nature-based solutions. Finally, the article discusses the concerns and future research directions of urban biodiversity, and proposes policy recommendations for urban biodiversity conservation to provide reference for the preparation of biodiversity conservation plans and urban biodiversity conservation work in different regions, with the aim of promoting urban biodiversity conservation and the harmonious development of human and nature.

Key Words: urban; biodiversity; evaluation criteria; enhancement path

生物多样性是人类赖以生存和发展的物质基础,是人类社会生态安全和可持续发展的根本保障^[1-2]。2019年,国际科学家投票选出了一个新的地质年代——人类世,以此表明人类对地球做出的深刻改变^[3]。2020年中国国家主席习近平在联合国生物多样性峰会上提出“共建万物和谐的美丽家园”的生态理念,人与自然万物和谐共生成为新时代的发展主旨^[4]。在以人类扰动和城市化特征的全球生态环境再造过程中,生物多样性保护愈发得到人们的关注和重视。

城市是高强度人类活动与丰富生物多样性并存的区域^[5],城市生物多样性水平是衡量城市高质量发展能力和人与自然和谐共处水平的重要指标,对改善城市环境、维持城市可持续发展有着重要意义。城市及其基础设施的扩张改变了土地原有的生态系统、水文状况和地表结构,不断加快的城市化进程对生物多样性造成了严重影响。未来十年世界人口将持续增长并主要生活在城市地区,将直接影响全球15%以上的生物多样性热点和关键地区,因此城市必须发挥在生物多样性保护中的关键作用,采取综合管理措施应对挑战。

当前城市生物多样性研究成果丰富且涉及层面多元,如物种信息收集^[6]、构建生态网络^[7]、景观规划途径^[8]等。然而,城市进行生物多样性保护仍面临缺乏系统性、整体性评价框架以及跨界、多尺度管理等关键问题。一方面,城市生物多样性研究需要考虑生态系统的连续性,存在管理边界与行政区划不一致的问题;另一方面,城市生物多样性的保护与恢复需要考虑不同层面下所面临的挑战与管理问题。为解决以上问题,本文从城市生物多样性状况评价、效益评价和提升路径三方面对国内外城市生物多样性的评价与提升的相关研究进行综述,总结当前城市生物多样性评价的标准与方法,剖析城市生物多样性的关注点,并对城市生物多样性提升的系统性解决方案进行初探,为城市生物多样性保护和可持续发展提供参考。

1 城市生物多样性相关概念

1.1 生物多样性的概念及类型

联合国于1992年颁布的《生物多样性公约》中将生物多样性定义为地球上所有活的生物体中的变异性,包括陆地、海洋和其他生态系统及其所构成的生态综合体,以及物种内部、物种之间及生态系统相互间的多样性^[9]。同期,中国学者蒋志刚对生物多样性也作出了解释,生物多样性是生物及其环境形成的生态复合体以及与此相关的各种生态过程的综合,包括动物、植物、微生物和它们所拥有的基因以及它们与其生存环境形成的复杂的生态系统^[10]。有学者指出,生物多样性通常包括遗传多样性、物种多样性、生态系统多样性^[11],广义上还包括景观多样性和功能多样性^[12]。

1.2 城市生物多样性

1992年《生物多样性公约》缔约方大会第一次会议正式提出城市生物多样性这一名词。中国学者吴人韦^[13]认为城市生物多样性是城市范围内除人以外的各种活的生物体,在有规律地结合在一起的前提下所体

现出来的基因、物种和生态系统的分异程度。德国生态学家 Müller 等^[14]将城市生物多样性定义为在城市和城市边缘的物种的种类和变化、基因的多样性和栖息地的多样性,城市范围涵盖了从农村边界到城市中心的全部区域。

城市生物多样性是城市环境过滤作用和人为选择的结果,与传统生物多样性研究的不同,城市需重点协调发展与生物多样性保护之间的关系,保护是基础,利用则是关键和最终目的^[15]。城市保护生物多样性的任务首先是为人的生存提供适宜的环境,然后是为城市可持续发展提供必要保障,再之是为地球的自然生态、物种和遗传基因多样性保护做出贡献。因此,城市生物多样性保护工作的特殊性在于,它以保护生物多样性的前提,争取科学利用生物多样性为城市带来更广泛的经济效益和社会效益。

2 城市生物多样性状况评价

2.1 城市生物多样性状况评价的内涵

城市生物多样性状况评价是反映复杂环境问题、表征生物多样性的整体状况和趋势的工具,是城市进行生物多样性保护与管理的基础^[16],包括对不同类型生物多样性的评价,如遗传多样性水平、物种多样性水平、生态系统多样性水平、景观多样性水平等,而评价的重点和难点在于综合评价指标体系的建立^[17]。

2.2 城市生物多样性状况评价典型工作

国内外对生物多样性状况评价的探索始于 20 世纪 90 年代,2000 年后进入蓬勃发展时期。2002 召开的《生物多样性公约》缔约方大会要求各国加强生物多样性监测体系的建设,制定适宜的生物多样性评价体系开展全面评估^[18]。随后英国^[19]、德国^[20]、墨西哥^[21]等一些国家相继提出符合本国的生物多样性评价体系。中国在状况评价体系建立方面也做了大量探索,大量学者曾先后针对不同层次生物多样性提出不同评价指标。同时,相关部门出台了生物多样性标准,规范了评价的指标与方法,如 2020 年中国生物多样性保护与绿色发展基金会发布实施《生物多样性评估标准》。但是,这些生物多样性评价工作主要聚焦区域和自然生态系统尺度,难以在城市尺度实施。

在城市生物多样性评价方面,郎金顶^[22]、杨霞等^[23]构建了城市绿地植物物种多样性评价体系,并对城市建成区植物进行综合评价,为城市生物多样性规划提供理论指导。Li 等^[24]开发了一个城市生物多样性评估框架,将城市栖息地划分为不同类型,并结合公民科学产生的物种数据,用于城市生物多样性评估。Hand 等^[25]提出一种对城市栖息地进行精细尺度评分的方法,作为社会和生态领域共同的生物多样性指标。Brunbjerg 等^[26]提出通过城市绿色基础设施评价城市生物多样性的状况。Jalkanen 等^[27]通过城市生物多样性质量评价,确定了城市规划的空间优先顺序,并应用于城市绿色基础设施的规划。Chen 等^[28]通过文献综述、专家访谈和案例研究提出城市建成区绿色基础设施中的生物多样性评价框架。新加坡提出的城市生物多样性指数是目前被全世界广泛认可和应用的评估工具,供城市详细评估当前生物多样性状况和城市生物多样性保护工作的进展^[29]。

与传统生物多样性评价相比,城市生物多样性研究仍相对较少,且一些研究中的“城市”仍是行政区的概念,并未真实的体现建成区和人口集聚区的生物多样性特征^[30]。即便是已经开展的城市生物多样性评价,使用的方法和指标也多是借鉴区域生物多样性评价范式^[28]。当前开展的城市生物多样性状况评价工作大多集中在物种多样性和生态系统多样性水平,评价内容侧重于城市内的物种水平、栖息地的恢复以及生态系统的完整性、功能性和连接性。遗传多样性水平相对较少,这是由于基因层面的评估是一个复杂的过程,需要特殊的专业知识和设备。

2.3 城市生物多样性评价指标

传统生物多样性主要针对不同生物多样性类型进行评价,三类多样性的主要指标各有不同(表 1)。而城市作为人口聚集的区域,评价指标需重点反应本土生物多样性状况和城市为生物多样性保护做出的努力。因此,城市生物多样性评价从管理的角度出发,尽可能选取城市中易监测记录的指标,主要从生态本底、生态管

理和生态宣教三个角度对城市生物多样性进行评价(表2),具体包括:(1)城市植被对绿色基础设施体系的构建以及维持生态系统功能起着重要的作用,故通过植被覆盖率、植被结构、综合物种多样性指数(乔木、灌木、草本、鸟类、昆虫、两栖动物等)对城市生物多样性进行评价。(2)城市生物多样性的前提是复杂多样的生境条件,除了绿地、水体外,城市中还包括了许多非传统的生境空间,如绿色屋顶。这些生境承载着城市生态保护、市民游憩等综合功能,可以有效培育城市生物多样性。因此,在评价体系中纳入绿地面积、水体面积和绿色屋顶面积等指标。(3)城市中不断建设的人工景观使自然生态空间被侵占和割裂,从而导致高度的景观破碎化,原生栖息地区域占比和景观斑块连接度是衡量城市生物多样性的重要指标。(4)城市是高度开放的生态系统,不可避免的会造成外来物种的入侵,这些入侵物种会威胁到本地物种的生存和生态系统的完整。因此,使用本地物种比例这一指标来评估城市生物多样性的状况。(5)城市生态系统是人类起主导作用的生态系统,因此考虑城市生物多样性生态本底的同时,生态管理和生态宣教也同样重要,可以衡量城市为生物多样性保护做出的努力,确保和促进生物多样性在城市中的主流化,如相关政策、法规和条例、公众宣传活动等。

表1 生物多样性状况评价的主要指标
Table 1 Main indicators of biodiversity evaluation

生物多样性类型 Types of biodiversity	主要评价指标 Main indicators
遗传多样性 Genetic diversity	生物基因型多样性 ^[31]
物种多样性 Species diversity	物种丰富度 ^[32] 、物种特有性、物种濒危程度、种群动态 ^[33]
生态系统多样性 Ecosystem diversity	生态系统类型多样性 ^[34] 、生态系统连续性与破碎化、生境质量 ^[35] 、生态系统稳定性

表2 城市生物多样性状况评价的主要指标
Table 2 Main indicators of urban biodiversity evaluation

评价角度 Evaluation components	主要评价指标 Main indicators
生态本底 Ecological background	植被覆盖率 ^[22]
	植被结构 ^[23]
	综合物种多样性指数 ^[22]
	本地物种比例 ^[28]
	绿色屋顶面积 ^[26]
	绿地面积 ^[36]
	水体面积 ^[36]
	原生栖息地区域占比 ^[25]
生态管理 Ecological management	景观斑块连接度 ^[25]
	政策、法规和条例——是否有地方生物多样性战略和行动计划 ^[37]
	为生物多样性分配的预算 ^[28]
	实施生物多样性项目数量 ^[29]
生态宣教 Ecological publicity and education	机构合作 ^[28]
	教育 ^[29]
	公众宣传活动 ^[33]
	社区科学 ^[29]

2.4 城市生物多样性评价的方法和工具

常见的城市生物多样性状况评价的方法包括城市生境生物多样性评估(UrHBA)^[38]、保护评估和优先排序系统(CAPS)^[39]以及得到广泛认可的新加坡城市生物多样性指数(CBI)^[29]等。但不同评价方法在筛选指标和指标权重设计方面存在主观性,不同的方法可能得出不一致的结论,评价结果的准确性受到制约。

同时状况评价的软件工具也在不断开发和更新。荷兰环境评估局开发了全球生物多样性评估模型(GLOBIO),旨在量化人类活动对生物多样性的影响,为决策者提供信息和支持^[40]。此外,一些空间分析工具如生态系统服务和权衡的综合评估工具(InVEST)^[41]和城市生态智慧管理系统(IUEMS)^[42]中的生境质量评

估模型将城市的土地利用类型与生物多样性胁迫因子建立联系计算生境质量,具有数据需求量少和评估精度高的特点。

3 城市生物多样性效益评价

3.1 城市生物多样性效益评价的内涵

生物多样性关系人类福祉,是提供生态系统服务的重要保障^[43]。生物多样性的效益是经济效益、生态效益和社会效益的综合表现形式^[44],主要体现在生物多样性自身的资源价值与生物多样性提供的生态系统服务两方面。一方面,生物多样性包含的生物资源具有直接利用价值,可以提供丰富的自然资源和遗传资源,其所包含的物种、基因是组成生态系统结构与功能的关键因素^[45]。另一方面,生物多样性可以提供多种生态系统服务,具体表现在(1)调节和维持生态系统稳定,对气候调节、水土保持、作物授粉等有至关重要的作用^[46]; (2)提升生态系统代谢效率,维持和提升生态系统质量和稳定性^[47]; (3)提供身心健康服务,通过提供美学享受和健身空间来缓解人类压力,提高人类身心健康水平^[48—49]。

3.2 已开展的效益评价工作

当前生物多样性效益评价工作主要围绕生物多样性自身的资源价值与生物多样性提供的生态系统服务价值两方面开展。在生物多样性资源的价值评估方面,英国财政部发布《生物多样性的经济学:达斯古普塔报告》,阐释了生物多样性的经济学价值,提出经济学中评估自然资本的综合框架^[50]。Martínez-Espíñeira^[51]基于公众偏好视角,提出野生动物价值评估模型。陈琳等^[52]通过条件价值法对野生动物的价值与潜在生态服务价值做了探讨,得到北京、南京、成都城市居民 2005 年对野生动物的支付意愿。同时,城市生物多样性资源的价值评估还包括了艺术审美、历史内涵等成分^[53],杨娱等^[54]对城市古树名木综合价值货币化评估进行研究,并从历史文化价值、景观价值、生态价值三个方面构建古树名木综合价值货币化评估体系。

生物多样性是生态系统稳定存在的基础,生态系统服务供给能力是生物多样性保护成效的直接体现^[55]。目前国际学界对生态系统服务的效益评估处于积极探索阶段,1997 年,Costanza 等^[56]对全球 16 种不同生境类型提供的 17 种生态系统服务价值进行货币化定量核算。2001 年,联合国发起了千年生态系统评估项目,首次对全球生态系统及其对人类福祉的影响进行全球多尺度综合评估^[57]。欧阳志云等^[58]在中国开展了一系列生态系统服务价值化核算与应用,并推动形成了中国乃至世界第一个生态系统服务价值化评估的官方制度体系。

与传统生物多样性效益评估相比,城市生物多样性的效益与城市居民的生活和健康息息相关,如城市生态系统提供的交通噪声削减服务、旅游休闲服务、自然景观溢价服务和康养服务等。De Carvalho^[59]通过研究证实城市植被覆盖与生态系统提供的气候调节、噪声削减和空气净化服务关系密切。陈龙等^[60]对北京市道路绿地的交通噪声削减服务及其价值进行了评估。Liu 等^[61]研究了城市公园与蓝色空间对心理健康的影响,进一步证明了城市提供的文化服务价值。徐迪航等^[62]以深圳市为例,量化地评估了城市日常休憩服务的供给与需求。

3.3 效益评价的方法

生物多样性所产生的效益包括生态效益和经济效益,其中生态效益的评价方法根据不同服务类型有所不同(见表 3^[63]);经济效益主要是通过市场交易和工程成本替代,或支付意愿、风险损害法等方式对生态效益进行定价获取。

当前较为常见的物理效益评价工具包括:(1)美国斯坦福大学自然资本项目开发的 InVEST 工具;(2)美国佛蒙特大学开发的生态系统服务人工智能工具(ARIES);(3)美国地质勘探局与美国科罗拉多州立大学合作开发的生态系统服务社会价值评估工具(SolVES);(4)美国林业局开发的 i-Tree 套件;(5)中国城市生态智慧管理系统(IUEMS)。经济效益评价工具为上述提到的 InVEST 工具和 IUEMS 工具,二者为更全面的生态系统服务评估平台,可输出空间化的生态系统服务评估结果或通过进一步加工得到结果^[42]。

4 城市生物多样性提升路径

城市化对生物多样性既是挑战也是机会,一方面城市化使生物栖息地和环境因子较自然生态系统发生明显变化,导致许多物种灭绝或种群数量大大减少;另一方面城市具有创新和开发治理工具的巨大潜力。

表 3 深圳生物多样性生态效益(生态系统服务)评价方法

Table 3 Evaluation of benefits (ecosystem services) of biodiversity in Shenzhen

一级指标 First-level indicators	二级指标 Second-level indicators	生态效益 Biodiversity benefits	评价方法概述 Evaluation method
物质产品 Provision services	农林牧渔产品	初级农林牧渔产品产值	查阅当地统计年鉴或农业部门数据
	生态能源	各类生态能源生产数量	查阅当地统计年鉴或能源部门数据
	水资源	本地自然水体供水量	总供水量中,由当地自然水资源供给的量;查阅当地水资源公报或水务部门数据。
调节服务 Regulation services	减少泥沙淤积	减少泥沙淤积量	在产流降雨条件下,由通用土壤流失方程计算得出土壤保持量,再乘以泥沙形成系数。
	减少面源污染	减少各类面源污染物量	减少泥沙淤积量乘以单位重量泥沙中的面源污染物含量。
	气候调节	消耗的热量	在高于适宜温度时期,本地各类生态系统单位面积蒸散发消耗热量乘以面积,并加总。
	固定二氧化碳	二氧化碳固定量	根据两年间的植被生物量变化计算二氧化碳固定量,或根据不同生态系统类型固碳速率和面积计算。
	洪水调蓄	区域调蓄洪水量	在城市范围内利用调蓄模型计算削减径流量;以及利用监测数据计算湖泊、水库的滞留水量。
	水源涵养	水源涵养量	本地降雨量减去径流量,再减去蒸散发量。
	交通噪声消减	路侧绿化带平均消减噪声分贝量	根据在不同路段的典型样地监测数据,评估道路绿化(两侧及内部)平均消减噪声量。
	海岸带防护	达到人工岸线强度的自然岸线长度	根据监测数据计算生态系统防护的海岸带长度。
	空气净化	净化各类大气污染物量	根据本地大气污染物达标水平,选择污染物排放量或者净化量(每类生态系统单位面积净化量乘面积)为实物量。
	水体净化	净化各类水体污染物当量	根据本地水质达标水平,选择水体污染物排放量或者净化量(每类生态系统单位面积净化量乘面积)为实物量。
文化服务 Cultural services	旅游休闲服务	旅游休闲人次与时间	根据抽样调查统计获取的自然风景旅游与休闲人数和平均滞留时间。
	自然景观溢价	景观溢价价值	根据抽样调查统计获取当年房屋交易中的景观溢价价值,以及酒店交易中的景观溢价价值。
	康养服务	减少呼吸道疾病就医量和死亡量	根据中国城市大气污染健康终端效应时间序列的 Meta 分析和世界卫生组织的“污染物浓度-死亡风险”变化曲线,计算暴露人口的变化量。

4.1 城市生物多样性管理的特殊性

传统的生物多样性保护方法包括调查、鉴别、编目、就地保护、迁地保护和外来物种的控制与管理等,而在城市中传统的保护方法主要是在植物园和动物园中开展,对城市生物多样性提升存在一定局限性。相较传统区域的生物多样性保护与提升工作,城市工作的特殊性在于:(1)城市生物多样性研究需要考虑生态系统的连续性,存在管理边界与行政区划不一致的问题;(2)城市生物多样性的保护与恢复需要考虑不同层面下所面临的管理问题;(3)城市生物多样性保护短期内一般难以取得显著成效,需要进行长期的保护工作;(4)快速扩张的城市硬化地表不断挤占动植物的原生生境,从而导致高度的景观破碎化。因此,针对城市生物多样性保护的特点,下文从国际合作、国家政策、城市规划、专项保护以及基于自然的解决方案等方面梳理了城市生物多样性的提升路径。

4.2 国际合作层面

城市生物多样性保护存在管理边界(敏感区域、敏感物种)与行政区划不一致的问题。为此,需要积极且广泛的开展跨国、跨地区、跨城市的生物多样性保护合作,使生物多样性保护工作能够形成生境空间上的完整性、物种保护的时空连续性,使所有参与者都能够获得保护效果的最大化。

多个国家政府以及国际组织发起了各类行动计划,城市间互相交流经验、借鉴做法。《生物多样性公约》缔约方大会是国际合作层面最广泛和最有效的提升城市生物多样性途径,除此以外,还有一些关键的国际城市生物多样性保护的合作行动(表 4)。然而,当前全球生物多样性保护依然存在治理赤字,主要面临生态体系持续恶化、未能完成保护目标、国际谈判动力不足、缺乏科学认知等治理困境^[64]。未来国际生物多样性治理需要重点协调生物多样性资源拥有大国和使用大国之间的立场鸿沟,结合科学的解决方案,联合全球社会各界的共同力量逆转生物多样性的丧失。

表 4 国际城市生物多样性保护的合作行动
Table 4 International Cooperative action on Urban Biodiversity Conservation

年份 Year	国家或国际组织 National or international organizations	城市行动 International cooperative action
1995	欧盟	提出欧洲生物和景观多样性战略,计划建立跨欧洲的生物保护网络体系,并将城市地区作为重要组成部分 ^[65] 。
2006	宜可城-地方可持续发展协会	发起城市生物多样性保护活动,是城市生物多样性管理方面的全球性活动 ^[37] 。
2007	实现 2010 年生物多样性目标大会	发起城市和生物多样性全球伙伴关系,支持城市对城市生物多样性资源进行可持续管理,提供执行国家和国际战略的协助以及提供平台使城市分享最佳实践 ^[66] 。
2008	《生物多样性公约》第九次缔约方大会	鼓励各国政府让城市参与《生物多样性公约》的实施,承认城市在扭转全球生物多样性丧失危机上所扮演的重要角色。
2010	《生物多样性公约》第十次缔约方大会	鼓励使用新加坡指数作为监测工具,协助地方政府评估其在城市生物多样性保护方面的进展,并将评估结果纳入国家报告中。
2012	联合国环境署	建立生物多样性和生态系统服务政府间科学-政策平台,作为生物多样性保护的政府间科学研究平台体现了世界各国对于生态系统服务的高度关注 ^[67] 。
2012	《生物多样性公约》第十一次缔约方大会	《生物多样性公约》缔约方进一步鼓励“生物多样性指标伙伴关系”使用新加坡指数监测城市地区在实现爱知生物多样性目标上的进展。
2018	世界银行	制定城市可持续发展框架,为实现城市可持续发展及城市内的生物多样性保护提供行动指南 ^[68] 。
2021	《生物多样性公约》第十五次缔约方大会	制定《2020 年后全球生物多样性框架》,鼓励采取积极的管理行动,通过生物多样性的可持续利用和惠益分享满足人类的需求。

4.3 国家政策层面

城市生物多样性保护工作面临的另一个主要挑战是保护工作的长期性,生物多样性的恢复速度由其物种发育的客观自然规律约束,短期内一般难以取得显著成效。因此,有必要从政策(甚至法律)层面对这项工作

进行约束,使其能够常态化和制度化。

目前,在国家或相关地区将生物多样性保护纳入制度和政策体系,主要包括生物多样性调查规范、生态系统保护制度、生态权益交易制度和生态补偿制度等方面。(1)生物多样性调查规范方面,国际生物多样性计划(DIVERSITAS)将生物多样性调查与监测列为重要内容^[69]。2020 年中国绿发会发布《生物多样性调查与监测标准》,规定了生物多样性调查与监测的范围、周期、内容及方法^[70]。(2)在生态系统保护制度方面,建立保护地是世界各国保护生态系统的通行做法^[71]。但大多数自然保护地并未经过科学系统的整体规划,完整性、联通性和有效性不够,一度出现空间分割、生态系统破碎、孤岛化现象,极大影响了生态系统服务功能的充分发挥。为解决这些问题,中国构建了以国家公园为主体的自然保护地体系,对保护生物多样性和保障国家生态安全起到至关重要的作用^[72]。除此以外,中国提出实行生态保护红线管理,将极其重要的生态功能

区、极其脆弱的生态区域、具有潜在重要生态价值的区域等环境敏感区划定为生态保护红线,进行严格保护。同时,先后出台了一系列相关的法律、法规及制度,逐步形成了生态保护红线制度^[73]。(3)生态权益交易制度方面,美国提出“湿地缓解银行”的概念和生态权益交易方式,并在实践中不断完善^[74],中国借鉴国际经验提出生态银行,通过对生物多样性资源进行集中收储和整合提升,实现生物多样性资源的价值增值和效益变现^[75]。(4)生态补偿制度方面,巴西建立了世界上第一个政府间的生态转移支付机制,对各州的生态功能区保护和建设产生了非常积极的影响^[76]。中国国务院印发《关于深化生态保护补偿制度改革的意见》,地方政府及其相关部门按照中央统一部署,积极探索建立生态补偿机制,已经逐步形成了生态补偿的地方政策体系^[77]。

4.4 城市规划层面

快速扩张的城市硬化地表挤占动植物原生生境,成为城市开展生物多样性保护的另一主要挑战。虽然,城市经济建设与生物多样性保护并不是“非此即彼”的硬币两面,可以通过合理的城市规划,实现城市用地的多功能化,兼顾人的发展需求与生物的保护需求。但是,目前城市规划中生物多样性保护往往被忽视,或仅占一小部分,即便是近年来备受关注的“低碳城市”“海绵城市”等生态城市规划,也主要聚焦于交通、能源、建筑等维度的绿色人工环境塑造,而较少涉及城市中生态系统的营造和修复。

将生物多样性纳入城市规划,打造人与自然和谐的城市发展模式至关重要^[78]。基于生物多样性保护的城市规划重点在于保护或恢复栖息地、提高景观连通性、减少人为干扰和促进人与自然良性互动方面^[79]。相关工作主要是在本底评价、空间规划和设计等各阶段对空间规划与物种保护进行整合。主要的规划建议是构建生态网络(生态廊道)。(1)在本底评价方面, Pagdee^[80]提出应识别生态系统退化区域、敏感区域和重要区域,加强对生境质量退化区域的识别和保护修复。中国学者董笑语等^[81]开展了重要物种在城市中热点分布区的辨识工作,并提出保护对策。(2)在规划空间方面,俞孔坚等^[8]基于生物多样性保护提出景观生态安全格局。Beninde 等^[82]认为增加栖息地面积和创建廊道网络是维持高水平城市生物多样性的关键策略。在北京城市最大“绿肺”温榆河公园规划中,明确提出设置 10% 的自然带作为生物廊道,为动物活动、栖息和迁徙留出空间^[83]。(3)在设计内容方面, Kirk 等^[78]提出生物多样性敏感城市设计的概念,旨在通过提供必要的栖息地和食物资源,为本地物种和生态系统提供效益。王云忠^[84]将生物多样性融于景观设计中,提出应用乡土树种、丰富本地物种种类、合理建设景观廊道等建议。

4.5 专项保护层面

在宏观推进城市生物多样性保护工作的同时,也需要重视不同保护目标和类型设定专项的、微观的保护措施,对重要的生物多样性问题开展专项保护。(1)在遗传多样性保护方面,重点关注濒危物种及其基因的延续。Olive^[85]围绕城市中濒危物种的保护,提出设置保护区保护珍稀濒危物种的原生生境及关键进化进程生境区域。深圳政府主导珍稀濒危植物回归自然项目,将德保苏铁、紫纹兜兰野外回归,是联系珍稀濒危植物迁地保护与就地保护的一座重要桥梁,对野生植物保护具有重要意义^[86]。(2)在物种多样性保护方面,重点关注物种丰富程度和具体物种受侵扰的程度。Arrington^[87]提出加强城市中入侵物种的管理,重点识别物种入侵高风险区,平衡入侵物种与生态系统服务之间的关系。近年来频频出现野生动物进城现象,开展人兽接触控制专项研究有助于实现人与自然良性互动^[48]。同时受新冠肺炎疫情的影响,人类活动集聚区应避免营造高风险动物的生境和传播媒介多的场所,如蚊子、蝙蝠等动物生境及大型农贸市场、屠宰场及各类牲畜养殖场。(3)在生态系统多样性保护方面,重点关注生态系统类型的丰富和质量的提升,以及其服务能力的提升。Basnou 等^[88]提出针对城市不同生态系统类型和对应的重点生态系统服务功能开展保护和修复。2018 年以来,北京市充分实践水林田湖草沙一体化保护和系统治理的理念,持续扩大生态空间,建设了城市森林、小微湿地,逐步恢复野生动植物栖息环境,优化整个生态系统的稳定性^[89]。

4.6 基于自然的解决方案

基于自然的解决方案(NbS)是一种跨尺度、跨类型的针对生物多样性保护理念,很好的体现了前述城市

生物多样性保护工作的功能性和系统性要求。世界自然保护联盟(IUCN)将 NbS 定义“保护、可持续管理和恢复自然或改变的生态系统的行动,能有效和适应性地应对社会挑战,同时提供人类福祉和生物多样性效益”^[90]。Castelli 等^[36]通过实验证明以基于自然的解决方案来修复城市生态系统不仅可以节约成本,还可以提高城市应对气候变化的韧性,维持城市空间中较高的生物多样性水平。Xie^[91]提出城市通过基于自然的解决方案,采用具体的、量化的目标,以自然生态工程或近自然生态工程的方式修复城市生态系统,进而提升城市生物多样性。英国塞尔西 Medmerry 区域的海岸重整项目通过基于自然的解决方案为当地带来了积极影响,提升了洪水风险管理、创造野生动物栖息地、提升景观质量并提供娱乐设施^[92]。NbS 和中国的生态文明思想高度重合,是生态文明思想在可持续发展领域的具体应用。在习近平生态文明思想指导下,中国率先提出将生态保护红线与基于自然的解决方案结合的生态保护模式,统筹考虑生态系统服务、生态脆弱性和生物多样性保护的热点区。这种生态保护模式侧重于构建良好的生态系统和生物生境,提高生态系统连通性,以实现气候变化与生物多样性之间的协同作用^[93]。

5 总结与展望

5.1 总结评述

由于城市人口的不断增长和人类经济活动的持续加剧,城市生物多样性仍面临着巨大威胁,城市生物多样性保护已成为当下城市生态建设中重要且紧迫的工作。在进行城市生物多样性评价研究时,当前重点关注评价城市生物多样性的物种状况和生态效益,针对城市生物多样性变化趋势的评价较为鲜见。在评价方法和评价指标设计方面仍缺乏一套城市尺度通用的科学化、系统化和规范化的评价标准。在城市生物多样性提升工作方面,当前已在全球尺度、国家和区域尺度和城市尺度开展大量研究和实践,在规划、设计、管理等基础性和应用性研究的各个方面都展开更为深入的探索,然而在提升城市生物多样性方面,仍缺乏整体性、系统性的工作方案。

5.2 政策建议

在开展城市生物多样性监测、规划与管理过程中,应首先需明确城市管理中面对的实际问题与目标,制定兼顾“底线约束”和“本地需求”的特色生物多样性评价指标体系,不能忽视本地经济发展和自然资源禀赋的异质性。同时,在制定生物多样性保护政策时,需要充分调研国际、国家和地方不同层次下的要求,以寻求更广泛的共识,进一步提高实施的可行性。最后,编制生物多样性保护规划和行动应具有针对性,结合当地具体的生物多样性问题提出解决对策,即使是“生态网络(廊道)”建设,也应该针对不同受保护对象开展差异化的设计和管理。此外,NbS 作为目前系统性较强的生物多样性理念,其实施案例相对全面,可以为各地编制生物多样性保护规划和开展相关工程设计提供借鉴。

5.3 研究展望

城市高度破碎化的景观格局特征决定了城市生物多样性的保护和研究不能拘泥于传统的生态学理念,而应从多水平和多空间尺度开展生物多样性研究,未来城市生物多样性保护要加强城市化进程与生物多样性的内在机制,城市生物多样性的分布格局,外来物种与本地物种的关系等科学问题的研究。

此外,城市生物多样性保护的复杂性远超自然地的生物多样性保护,需要平衡城市生物多样性与社会经济需求、文化倾向之间的关系,科学合理规划城市的生产空间、生活空间、生态空间。只有面向城市经济、社会共同发展的生物多样性保护框架,才能最终实现城市生物多样性保护的目的,实现城市人与自然的协调发展。

参考文献(References):

- [1] Uchida K, Blakey B V, Burger J R, Cooper D S, Niesner C A, Blumstein D T. Urban biodiversity and the importance of scale. *Trends in Ecology & Evolution*, 2021, 36(2): 123-131.
- [2] 李奇, 朱建华, 肖文发. 生物多样性与生态系统服务——关系、权衡与管理. *生态学报*, 2019, 39(8): 2655-2666.
- [3] Leichenko R, O'Brien K. Teaching climate change in the anthropocene: an integrative approach. *Anthropocene*, 2020, 30: 100241.

- [4] 陈婷, 雍娟, 何奥. 新加坡城市生物多样性保护经验对我国的启示. 城市建筑, 2021, 18(24): 163-167.
- [5] Cincotta R P, Wisniewski J, Engelman R. Human population in the biodiversity hotspots. *Nature*, 2000, 404(6781): 990-992.
- [6] 郝日明, 王智, 祝世宇. 论《城市生物多样性规划》的编制. 中国园林, 2010, 26(1): 78-80.
- [7] 钱云, 翁丽珠, 于长明, 朱军. 基于景观生态网络方法的市域生物多样性保护研究——以晋中市为例. 中国园林, 2015, 31(10): 86-90.
- [8] 俞孔坚, 李迪华, 段铁武. 生物多样性保护的景观规划途径. 生物多样性, 1998, 6(3): 205-212.
- [9] Frisvold G B, Condon P T. The convention on biological diversity and agriculture: Implications and unresolved debates. *World Development*, 1998, 26(4): 551-570.
- [10] 蒋志刚, 马克平, 韩兴国. 保护生物学. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1997.
- [11] 陈灵芝, 马克平. 生物多样性科学: 原理与实践. 上海: 上海科学技术出版社, 2001.
- [12] 马克平. 试论生物多样性的概念. 生物多样性, 1993, 1(1): 20-22.
- [13] 吴人韦. 城市生物多样性策略. 城市规划汇刊, 1999, (1): 18-20, 46-46.
- [14] Müller N, Ignatieva M, Nilon C H, Werner P, Zipperer W C. Patterns and trends in urban biodiversity and landscape design//Elmqvist T, Fragkias M, Goodness J, Güneralp B, Marcotullio P J, McDonald R I, Parnell S, Schewenius M, Sendstad M, Seto K C, Wilkinson C, eds. *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*. Dordrecht: Springer, 2013: 123-174.
- [15] Sadeghian M M, Vardanyan Z. The benefits of urban parks, a review of urban research. *Journal of Novel Applied Sciences*, 2013, 2(8): 231-237.
- [16] 李晓文, 胡远满, 肖笃宁. 景观生态学与生物多样性保护. 生态学报, 1999, 19(3): 399-407.
- [17] Hellawell J M. Development of a rationale for monitoring//Goldsmith B. *Monitoring for Conservation and Ecology*. Dordrecht: Springer, 1991: 1-14.
- [18] 国家环境保护总局履行《生物多样性公约》办公室组织. 生态系统与人类福祉: 生物多样性综合报告. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- [19] Humphrey J W, Watts K. Biodiversity indicators for UK managed forests: Development and implementation at different spatial scales. *Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe*, 2005: 79-89.
- [20] Schumacher H, Finck P, Riecken U, Klein M. More wilderness for Germany: implementing an important objective of Germany's National Strategy on Biological Diversity. *Journal for Nature Conservation*, 2018, 42: 45-52.
- [21] 袁莉. 中山市香山自然保护区生物多样性评价与森林景观格局分析[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.
- [22] 郎金顶. 北京市建成区绿地植物多样性结构和功能评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [23] 杨霞, 谷永丽, 臧德奎. 城市绿地植物物种多样性评价体系的构建. 安徽农业科学, 2015, 43(4): 166-168, 170-170.
- [24] Li E J, Parker S S, Pauly G B, Randall J M, Brown B V, Cohen B S. An urban biodiversity assessment framework that combines an urban habitat classification scheme and citizen science data. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2019, 7: 277.
- [25] Hand K L, Freeman C, Seddon P J, Stein A, van Heezik Y. A novel method for fine-scale biodiversity assessment and prediction across diverse urban landscapes reveals social deprivation-related inequalities in private, not public spaces. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 151: 33-44.
- [26] Brunbjerg A K, Hale J D, Bates A J, Fowler R E, Rosenfeld E J, Sadler J P. Can patterns of urban biodiversity be predicted using simple measures of green infrastructure? *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 32: 143-153.
- [27] Jalkanen J, Vierikko K, Moilanen A. Spatial prioritization for urban biodiversity quality using biotope maps and expert opinion. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, 49: 126586.
- [28] Chen Y, Wang Y H, Liew J H, Wang P L. Development of a methodological framework for evaluating biodiversity of built urban green infrastructures by practitioners. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 303: 127009.
- [29] Kohsaka R, Pereira H M, Elmqvist T, Chan L N, Moreno-Peñaranda R, Morimoto Y, Inoue T, Iwata M, Nishi M, da Luz Mathias M, Cruz C S, Cabral M, Brunfeldt M, Parkkinen A, Niemelä J, Kulkarni-Kawli Y, Pearsell G. Indicators for management of urban biodiversity and ecosystem services: city biodiversity index//Elmqvist T, Fragkias M, Goodness J, Güneralp B, Marcotullio P J, McDonald R I, Parnell S, Schewenius M, Sendstad M, Seto K C, Wilkinson C. *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities*. Dordrecht: Springer, 2013: 699-718.
- [30] 干靛. 城市建成环境对生物多样性的影响要素与优化路径. 国际城市规划, 2018, 33(4): 67-73.
- [31] 曾志新, 罗军, 颜立红, 邹建文, 肖绿田. 生物多样性的评价指标和评价标准. 湖南林业科技, 1999, 26(2): 26-29.
- [32] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法: I α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [33] 李果, 吴晓蕾, 罗遵兰, 李俊生. 构建我国生物多样性评价的指标体系. 生物多样性, 2011, 19(5): 497-504.
- [34] 朱万泽, 范建容, 王玉宽, 申旭红, 田兵伟, 魏宗华. 长江上游生物多样性保护重要性评价——以县域为评价单元. 生态学报, 2009, 29(5): 2603-2611.
- [35] 史作民, 程瑞梅, 陈力, 刘世荣. 区域生态系统多样性评价方法. 农村生态环境, 1996, 12(2): 1-5.
- [36] Castelli K R, Silva A M, Dunning Jr J B. Improving the biodiversity in urban green spaces: a nature based approach. *Ecological Engineering*, 2021, 173: 106398.

- [37] Brierley M, Cockett P. Urban Biodiversity as Strategy for Walkability (breakout presentation). *Journal of Transport & Health*, 2017, 7: S28-S9.
- [38] Farinha-Marques P, Fernandes C, Guilherme F, Lameiras J M, Alves P, Bunce R G H. Urban habitats biodiversity assessment (UrHBA): a standardized procedure for recording biodiversity and its spatial distribution in urban environments. *Landscape Ecology*, 2017, 32(9): 1753-1770.
- [39] Sheikh Goodarzi M, Sakieh Y, Navardi S. Measuring the effect of an ongoing urbanization process on biodiversity conservation suitability index: integrating scenario-based urban growth modelling with Conservation Assessment and Prioritization System (CAPS). *Geocarto International*, 2017, 32(8): 834-852.
- [40] Janse J H, Kuiper J J, Weijters M J, Westerbeek E P, Jeuken M H J L, Bakkenes M, Alkemade R, Mooij W M, Verhoeven J T A. GLOBIO-Aquatic, a global model of human impact on the biodiversity of inland aquatic ecosystems. *Environmental Science & Policy*, 2015, 48: 99-114.
- [41] 陈妍, 乔飞, 江磊. 基于 InVEST 模型的土地利用格局变化对区域尺度生境质量的影响研究——以北京为例. *北京大学学报(自然科学版)*, 2016, 52(03): 553-562.
- [42] 韩宝龙, 欧阳志云. 城市生态智慧管理系统的生态系统服务评估功能与应用. *生态学报*, 2021, 41(22): 8697-8708.
- [43] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系. *生态学报*, 2017, 37(2): 341-348.
- [44] 严陶韬, 薛建辉. 中国生物多样性研究文献计量分析. *生态学报*, 2021, 41(19): 7879-7892.
- [45] Wood P M. Biodiversity as the source of biological resources: A new look at biodiversity values. *Environmental Values*, 1997, 6(3): 251-268.
- [46] Mori A S, Lertzman K P, Gustafsson L. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology. *Journal of Applied Ecology*, 2017, 54(1): 12-27.
- [47] Brandt P, Abson D J, Dellasala D A, Feller R, Von Wehrden H. Multifunctionality and biodiversity: ecosystem services in temperate rainforests of the Pacific Northwest, USA. *Biological Conservation*, 2014, 169: 362-371.
- [48] 李彬彬. 推进生物多样性保护与人类健康的共同发展——One Health. *生物多样性*, 2020, 28(5): 596-605.
- [49] Sandifer P A, Sutton-Grier A E, Ward B P. Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: Opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem Services*, 2015, 12: 1-15.
- [50] Dasgupta P, The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review. London: HM Treasury, 2021.
- [51] Martínez-Espínheira R. A Box-Cox Double-Hurdle model of wildlife valuation: The citizen's perspective. *Ecological Economics*, 2006, 58(1): 192-208.
- [52] 陈琳, 欧阳志云, 王效科, 苗鸿, 段晓男. 条件价值评估法在非市场价值评估中的应用. *生态学报*, 2006, 26(2): 610-619.
- [53] Ridbäck U, Vike E, Dietze-Schirdewahn A. A battle of values: a case study of a blacklisted heritage tree represented by European silver fir *Abies alba* Mill. in a protected landscape in Norway. *Arboricultural Journal*, 2018, 40(2): 92-105.
- [54] 杨娱, 田明华, 秦国伟, 张振宇, 李春晖. 城市古树名木综合价值货币化评估研究——以北京市古树“遮荫侯”为例. *干旱区资源与环境*, 2019, 33(6): 185-191.
- [55] Chillo V, Vázquez D P, Amoroso M M, Bennett E M. Land-use intensity indirectly affects ecosystem services mainly through plant functional identity in a temperate forest. *Functional Ecology*, 2018, 32(5): 1390-1399.
- [56] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 3-15.
- [57] 赵士洞. 新千年生态系统评估——背景、任务和建议. *第四纪研究*, 2001, 21(4): 330-336.
- [58] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 徐卫华, 郑华, 张琰, 肖焱. 生态系统生产总值核算: 概念, 核算方法与案例研究. *生态学报*, 2013, 33(21): 3747-6761.
- [59] De Carvalho R M, Szlafsztein C F. Urban vegetation loss and ecosystem services: the influence on climate regulation and noise and air pollution. *Environmental Pollution*, 2019, 245: 844-852.
- [60] 陈龙, 谢高地, 盖力强, 裴厦, 张昌顺, 张彪, 肖玉. 道路绿地消减噪声服务功能研究——以北京市为例. *自然资源学报*, 2011, 26(9): 1526-1534.
- [61] Liu H X, Ren H, Remme R P, Nong H F, Sui C. The effect of urban nature exposure on mental health—a case study of Guangzhou. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 304: 127100.
- [62] 徐迪航, 欧阳志云, 韩宝龙. 深圳市生态系统日常休憩服务供需关系及其变化趋势特征. *扬州大学学报: 农业与生命科学版*, 2021, 42(5): 104-110.
- [63] 深圳市市场监督管理局. DB4403/T 141—2021 深圳市生态系统生产总值核算技术规范. 深圳: 市场监督管理局标准, 2021[2022-01-20]. <http://amr.sz.gov.cn/attachment/0/753/753300/8567770.pdf>
- [64] Milner-Gulland E J, Addison P, Arldige W N S, Baker J, Booth H, Brooks T, Bull J W, Burgass M J, Ekstrom J, Zu Ermgassen S O S E, Fleming L V, Grub H M J, Von Hase A, Hoffmann M, Hutton J, Juffe-Bignoli D, Ten Kate K, Kiesecker J, Kümpel N F, Maron M, Newing H S, Ole-Moiyoi K, Sinclair C, Sinclair S, Starkey M, Stuart S N, Tayleur C, Watson J E M. Four steps for the Earth: mainstreaming the post-2020

- global biodiversity framework. *One Earth*, 2021, 4(1): 75-87.
- [65] Jongman R H G, Bouwma I M, Griffioen A, Jones-Walters L, Van Doorn A M. The Pan European Ecological Network: PEEN. *Landscape Ecology*, 2011, 26(3): 311-326.
- [66] Chan L, Hillel O, Werner P, Holman N, Coetzee I, Galt R, Elmqvist T. Handbook on the Singapore Index on Cities' Biodiversity (also known as the City Biodiversity Index). Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2021.
- [67] Larigauderie A, Mooney H A. The Intergovernmental science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: moving a step closer to an IPCC-like mechanism for biodiversity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2010, 2(1): 9-14.
- [68] Global Platform for Sustainable Cities. Urban Sustainability Framework. Washington: World Bank, 2018.
- [69] Loreau M, Olivieri I. *Diversitas*: an international programme of biodiversity science. *Trends in Ecology & Evolution*, 1999, 14(1): 2-3.
- [70] 中国生物多样性保护与绿色发展基金会. T/CGDF 00001—2020 生物多样性调查与监测标准. 2020.
- [71] 赵智聪, 王沛. 中国自然保护区连通性的重要意义与关键议题. *风景园林*, 2022, 29(7): 12-17.
- [72] 欧阳志云, 杜傲, 徐卫华. 中国自然保护区体系分类研究. *生态学报*, 2020, 40(20): 7207-7215.
- [73] 环境保护部, 国家发展改革委. 生态保护红线划定指南. 北京: 环境保护部标准, 2017[2022-01-20]. <https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201707/W020170728397753220005.pdf>
- [74] Robertson M M. The neoliberalization of ecosystem services: wetland mitigation banking and problems in environmental governance. *Geoforum*, 2004, 35(3): 361-373.
- [75] 崔莉, 厉新建, 程哲. 自然资源资本化实现机制研究——以南平市“生态银行”为例. *管理世界*, 2019, 35(9): 95-100.
- [76] Pagiola S, Bishop J, Landell-Mills N. *Selling Forest Environmental Services: Market-Based Mechanisms for Conservation and Development*. London: Earthscan Publications, 2002.
- [77] 孔德帅. 区域生态补偿机制研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [78] Kirk H, Garrard G E, Croeser T, Backstrom A, Berthon K, Furlong C, Hurley J, Thomas F, Webb A, Bekessy S A. Building biodiversity into the urban fabric: a case study in applying Biodiversity Sensitive Urban Design (BSUD). *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 62: 127176.
- [79] Garrard G E, Williams N S G, Mata L, Thomas J, Bekessy S A. Biodiversity sensitive urban design. *Conservation Letters*, 2018, 11(2): e12411.
- [80] Pagdee A, Morgan M. Reimagining the value of degraded ecosystems: From trash to treasure. *Trees, Forests and People*, 2021, 6: 100163.
- [81] 董笑语, 黄涛, 潘雪莲, 孙芳芳. 深圳市陆域野生保护动植物热点分布区辨识及保护对策. *生态学杂志*, 2020, 39(11): 3722-3737.
- [82] Beninde J, Veith M, Hochkirch A. Biodiversity in cities needs space: a meta - analysis of factors determining intra - urban biodiversity variation. *Ecology Letters*, 2015, 18(6): 581-592.
- [83] 周保华, 徐志剑. 生态之脉朝阳之魂——温榆河生态走廊(朝阳段)规划方案. *中国园林*, 2004, 20(9): 14-20.
- [84] 王云忠. 生物多样性理论在城市景观规划设计中的应用研究. *现代园艺*, 2020, 43(13): 122-125.
- [85] Olive A, Minichiello A. Wild things in urban places: America's largest cities and multi-scales of governance for endangered species conservation. *Applied Geography*, 2013, 43: 56-66.
- [86] 周翔, 高江云. 珍稀濒危植物的回归: 理论和实践. *生物多样性*, 2011, 19(1): 97-105.
- [87] Arrington A. Urban foraging of five non-native plants in NYC: Balancing ecosystem services and invasive species management. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2021, 58: 126896.
- [88] Basnou C, Baró F, Langemeyer J, Castell C, Dalmases C, Pino J. Advancing the green infrastructure approach in the Province of Barcelona: integrating biodiversity, ecosystem functions and services into landscape planning. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2020, 55: 126797.
- [89] 国家林业和草原局. 北京: 森林公园与小微湿地交错见绿. *北京晚报*, 2019-11-14.
- [90] IUCN. IUCN Global Standard for Nature-based Solutions. Gland, Switzerland: IUCN, 2020.
- [91] Xie L J, Bulkeley H. Nature-based solutions for urban biodiversity governance. *Environmental Science & Policy*, 2020, 110: 77-87.
- [92] Maplesden C, Gilham A, Callaway T. Medmerry Managed Realignment; Changing the Minds and Coast of Sussex-a Case Study. *Coastal Management*, 2016: 283-292.
- [93] 薛皓, 肖春蕾, 郭艺璇. 基于自然的解决方案对中国生态保护修复工作的启示. *中国地质调查*, 2021, 8(6): 96-104.