

DOI: 10.20103/j.stxb.202407281778

卢晓强, 臧明月, 徐徐, 马月, 胡志锋, 李宇航, 刘立, 刘燕. 城市化与生物多样性: 打造友好型城市的实践路径. 生态学报, 2025, 45(18): 9141-9149.
Lu X Q, Zang M Y, Xu X, Ma Y, Hu Z F, Li Y H, Liu L, Liu Y. Urbanization and biodiversity: practical pathways to creating friendly cities. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(18): 9141-9149.

城市化与生物多样性: 打造友好型城市的实践路径

卢晓强^{1,2}, 臧明月^{1,2}, 徐徐^{1,2}, 马月^{1,2}, 胡志锋³, 李宇航³, 刘立^{1,2}, 刘燕^{1,2,*}

1 生态环境部南京环境科学研究所生物多样性保护与生物安全研究中心, 南京 210042

2 生态环境部生物多样性与生物安全重点实验室, 南京 210042

3 金华市生态环境局磐安分局, 磐安 322300

摘要: 随着全球城市化进程的加速, 城市生态环境面临着前所未有的挑战。生物多样性友好城市作为一种新型的城市发展理念, 通过保护和恢复城市生物多样性, 为实现可持续城市发展提供了重要的路径。分析了生物多样性友好城市的概念、组成要素及其建设途径, 并通过一些国内外的实践案例, 展示了城市在生物多样性保护方面的有效实践和创新途径。结果表明, 多元化的建设途径对于实现生物多样性友好城市具有重要意义。提出了一系列建议, 包括加强政策引导、推进绿色基础设施建设、促进生物资源产业发展、完善智能监测系统以及加强生态教育和公众参与, 以期在城市生物多样性保护提供理论支持和实践指导。

关键词: 生物多样性友好城市; 城市化; 生态系统服务; 绿色基础设施; 智能监测系统; 生物资源产业

Urbanization and biodiversity: practical pathways to creating friendly cities

LU Xiaoliang^{1,2}, ZANG Mingyue^{1,2}, XU Xu^{1,2}, MA Yue^{1,2}, HU Zhifeng³, LI Yuhang³, LIU Li^{1,2}, LIU Yan^{1,2,*}

1 Research Center for Biodiversity Conservation and Biosafety, Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China

2 Key Laboratory of Biodiversity and Biosafety, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China

3 Pan'an Branch of Jinhua Municipal Ecology and Environment Bureau, Pan'an 322300, China

Abstract: The rapid pace of global urbanization has created significant challenges for urban ecosystems, where biodiversity and natural habitats are confronted with immense pressures from habitat fragmentation, pollution, and climate change. These impacts compromise ecological stability and reduce the quality of urban life. However, biodiversity is a critical element in ensuring the health and resilience of urban ecosystems, providing essential ecosystem services that directly enhance human well-being and support sustainable urban development. The concept of biodiversity-friendly cities offers a vital pathway for sustainable urban development by protecting and restoring urban biodiversity, emphasizing the integration of biodiversity protection and ecological sustainability within urban growth. These cities are designed to support coexistence between human activities and biodiversity, allowing natural ecosystems to thrive within urban areas. This paper examines the concept, components, and strategies for constructing biodiversity-friendly cities, highlighting effective practices and innovative methods in urban biodiversity conservation through a range of international and domestic case studies. Key frameworks such as the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework underscore the importance of safeguarding urban biodiversity as an integral component of sustainable development. In China, programs like "National Garden Cities," "Eco-Cities," and "Low-Carbon Cities" are central to urban biodiversity preservation efforts, showcasing pathways for cities to achieve

基金项目: 国家自然科学基金项目(国际(地区)合作与交流)(41961144022)

收稿日期: 2024-07-28; 网络出版日期: 2025-07-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuyan@nies.org

ecological health. The study highlights the main components of biodiversity-friendly cities, including the protection and restoration of natural habitats, establishment of blue and green infrastructure, sustainable water management, and ecological education and community engagement. These elements collectively form the backbone of biodiversity-friendly urban systems, fostering connectivity between fragmented habitats, enhancing urban climate resilience, and supporting a diverse array of species within city boundaries. The paper proposes several strategies for creating biodiversity-friendly cities under rapid urbanization conditions. The development of urban green spaces such as parks, green roofs, and rain gardens is discussed as a fundamental strategy for mitigating urban heat islands, managing stormwater, and improving air quality. Strategic water management practices, such as permeable surfaces and rainwater collection systems, are essential in maintaining aquatic ecosystems and promoting biodiversity within cities. The construction of ecological corridors, linking green spaces to support wildlife movement and genetic exchange, is identified as an effective means of enhancing urban ecosystem stability. Community engagement and environmental education are vital to fostering a public consciousness around biodiversity preservation, promoting citizen involvement in urban ecological management. Advanced monitoring systems utilizing Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and big data offer real-time insights into air and water quality and biodiversity metrics, equipping city planners with data to make informed decisions on ecosystem management. The study concludes by recommending an integrated approach to urban biodiversity preservation, encompassing supportive policy frameworks, public participation, and a focus on sustainable industries such as eco-tourism and green agriculture. By adopting these strategies, cities can transition towards sustainable development models that balance urban growth with ecological preservation, contributing significantly to global biodiversity goals and fostering a harmonious coexistence between urban populations and natural systems.

Key Words: biodiversity-friendly cities; urbanization; ecosystem services; green infrastructure; intelligent monitoring systems; biological resource industries

随着全球城市化进程的加速,城市生态环境面临着前所未有的挑战^[1]。城市化不仅带来了资源的高效利用和经济的快速发展,同时对自然环境和生物多样性造成了巨大的压力^[2]。城市生态系统的破坏、生物栖息地的丧失、环境污染和气候变化等问题,严重威胁着城市居民的生活质量和可持续发展^[3]。根据联合国的数据,预计到 2050 年,全球将有超过三分之二的人口居住在城市^[4]。生物多样性保护在城市发展中扮演着至关重要的角色,对生态系统健康、居民福祉以及城市的可持续发展都有深远的影响^[5]。为了实现城市可持续发展,采取城市层面的行动是重要的^[6],因此,如何在快速城市化背景下保护生物多样性,成为了当今城市规划 and 生态管理的重要议题^[7]。为了应对上述挑战,国际社会持续努力,通过了多项旨在保护城市生态环境或生物多样性的倡议,比如《斯德哥尔摩宣言》^[8]《21 世纪议程》^[9]《伊斯坦布尔人类住区宣言》^[10]《爱知生物多样性目标》^[11]《地方可持续发展 2012:全球回顾》^[12]《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》等^[13],强调环境保护对人类健康和福祉的重要性,呼吁在城市化进程中重视生物多样性保护。

为了应对城市化,中国政府对城市生态建设和生物多样性保护给予了高度重视,采取了一系列政策和措施,促进了城市生态环境的改善。自 20 世纪 90 年代初,国家通过相当部分的城市称号创建,推动城市生物多样性和生态保护,比如“国家园林城市”^[14]“国家环保模范城市”^[15]“国家生态市”^[16]“国家低碳城市”^[17-18]等。然而,当前城市生态建设和生物多样性保护仍面临一些不足与误区。许多城市在生态建设中片面追求景观美化,忽略城市的人居属性及生产生活对自然的相互作用,缺乏对生物多样性复杂性及其在城市可持续发展中重要性的深刻认识。随着全球生物多样性保护新形势新要求,开展城市生物多样性保护不仅是应对生态环境挑战的有效途径,也是实现可持续城市发展的重要手段,城市生物多样性保护已经成为全球可持续发展目标的重要组成部分^[19]。以生物多样性直接命名的城市类型逐渐产生,2020 年,《生物多样性公约》第十五次缔约方大会,首次提出了“生物多样性魅力城市”。2021 年,浙江省金华磐安在全国首次探索生物多样性友

好型城市建设,“生物多样性友好城市”的概念逐渐浮现,强调通过在城市规划、建设和管理过程中,保护和恢复自然栖息地、支持多样化的本地物种、为市民提供便捷的绿色空间,提升居民的生活质量和健康水平,鼓励公众参与环境保护行动,减少对野生生物的干扰和威胁,采用综合生态管理方法,促进可持续发展,最终实现人与自然和谐共生的城市环境。

1 生物多样性友好城市的概念及其组成

1.1 生物多样性友好城市的概念与内涵

“生物多样性友好城市”这一术语尚未在全球范围内形成统一的定义,但其概念可以从现有的一些城市称号、概念或标准中提炼出来,包括国家园林城市、国家环保模范城市、国家生态城市、全国文明城市、国家森林城市、国家低碳城市、国家气候适应型城市和国家海绵城市等(表 1)。生物多样性友好城市的核心体现在两个方面:一方面是对生物的友好,为城市生物提供适宜的栖息地,保护和恢复自然栖息地,优先使用本地物种,有助于维持和增强本地生态系统的稳定性和多样性^[20]。引入多样化的植物群落,提供丰富的食物和栖息地资源,支持城市中的昆虫、鸟类和其他野生动物^[21-22]。另一方面是对人类的友好,提供充足的绿色空间、健康的生活环境和良好的社会服务^[23]。发展绿色经济和可持续产业,创造就业机会和经济增长点,同时减少对环境的负面影响。在此内涵解读下,“生物多样性友好城市”的概念逐渐形成,即“立足于城市生物多样性保护需求,基于‘山水林田湖草’系统治理,加强生物多样性保护、可持续利用与惠益分享,将生物多样性融入城市建设与发展整体进程,实现生物多样性丰富、城市景观优美、人与自然和谐、绿色高质量发展的新型城市”。简言之,生物多样性友好城市是指生物多样性丰富、城市景观优美、人与自然和谐、绿色高质量发展的新型城市。

表 1 中国城市称号定义/标准

Table 1 Definitions/Standards of titles for Chinese cities

序号 No.	城市称号 City title	定义/标准 Definition/Standard
1	国家园林城市	根据中华人民共和国住房和城乡建设部《国家园林城市标准》评选出的分布均衡、结构合理、功能完善、景观优美,人居环境清新舒适、安全宜人的城市。
2	国家环保模范城市	在强化城市环境保护工作、推动经济发展方式转变、构建和谐社会等方面发挥了积极示范作用的模范的城市。
3	生态城市	一种趋向尽可能降低对于能源、水或是食物等必需品的需求量,也尽可能降低废热、二氧化碳、甲烷与废水的排放的城市。
4	全国文明城市	经济建设、政治建设、文化建设、社会建设和生态文明建设协调发展,综合实力强、公共服务体系完善、生态环境优良的城市。
5	国家森林城市	指城市生态系统以森林植被为主体,城市生态建设实现城乡一体化发展,各项建设指标达到以下指标并经国家林业主管部门批准授牌的城市。
6	国家生态文明建设示范市	在生态环境保护、资源合理利用、生态修复、绿色发展等方面展现了领先水平和示范作用,为全国其他地区提供了可借鉴的经验和模式的城市。
7	国家智慧城市	通过信息技术与城市发展深度融合,提高城市管理、民生服务和经济发展的智慧化、现代化水平的城市。
8	国家气候适应型城市	通过制定和实施气候变化适应策略,增强城市在气候变化中的适应能力,保护自然环境和居民健康的城市。
9	国家海绵城市	通过“渗、滞、蓄、净、用、排”等措施,提升城市雨水管理能力,减少城市内涝,恢复自然水循环的城市。

1.2 生物多样性友好城市的组成

生物多样性友好城市的组成要素涵盖多个方面,确保城市生态系统的健康和居民的生活质量^[24]。一是自然栖息地,如湿地、森林和草地等,这些自然区域不仅为动植物提供栖息和繁衍的空间。有助于提升生物多样性,增强生态系统的稳定性和适应能力,还为居民提供亲近自然的机会。二是蓝色和绿色基础设施,包括公园、绿地和屋顶花园等,这些设施通过增加城市绿地面积来改善城市微气候,提供生态系统服务,如碳汇和雨水管理,促进生物栖息环境的提升。三是水资源管理,通过雨水收集和处理系统、绿色屋顶等措施,提高水资

源利用效率,维护城市水生态系统的健康,确保生态环境的可持续性。四是社区参与生态教育,通过提升居民的生态意识和环保行为,鼓励公众参与生态建设,形成全社会共同支持生物多样性保护的氛。五是政策与法规支持,如绿地保护条例和生物多样性保护政策,确保生态保护措施的有效实施,为生物多样性友好城市的发展提供保障。

2 生物多样性在城市中地位的演变历程

2.1 城市与生物多样性

生物多样性在城市中的地位经历了从早期环境保护的初步理念,到可持续发展的系统性规划,再到具体保护措施和政策落实的全过程。这一历程不仅展示了国际上的推动力,还突显了全球在生物多样性保护方面的积极响应和逐步深入。生物多样性保护已逐渐成为城市建设的一个重要内容(表 2)^[25]。1972 年的《斯德哥尔摩宣言》首次强调了环境保护对人类健康和福祉的重要性,呼吁在城市化进程中重视环境保护^[26]。这一理念在 1992 年的《21 世纪议程》中得到进一步发展,明确指出城市和乡村地区需要协调发展,以确保自然资源的可持续利用和生物多样性的保护^[27]。1996 年的《伊斯坦布尔人类住区宣言》在推动可持续城市发展的同时,提出了在城市发展中结合环境保护的愿景^[28]。2002 年的世界可持续发展峰会进一步强调了生物多样性保护在城市可持续发展中的基础地位,呼吁各国在城市化进程中采取措施保护生物多样性^[28]。2010 年,《爱知生物多样性目标》将生物多样性保护纳入全球议程,强调城市在生物多样性保护中的关键角色^[29]。2012 年,国际地方环境倡议理事会(ICLEI)世界大会通过的《地方可持续发展 2012:全球回顾》具体化了这一理念,提出了通过城市规划、绿色基础设施和公众参与来保护和恢复城市生态系统的行动指南。2016 年,联合国《生物多样性公约》发布的《城市生物多样性指数》(新加坡指数)为评估和促进城市生物多样性保护提供了标准^[30]。近年来,中国也逐步加强了生物多样性友好城市的建设。此外,2022 年通过的《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》(“昆蒙框架”)为全球生物多样性保护设立了新的目标,特别强调在城市化进程中保护生态系统连通性和功能,推动城市生态系统的恢复和可持续管理^[31]。该框架鼓励各国在城市规划中纳入自然基础设施,增强城市的生物多样性和生态服务功能,确保在城市化过程中实现人与自然的和谐共生。

表 2 文件关于城市生物多样性保护相关要求/目标

Table 2 Requirements/Objectives related to urban biodiversity conservation in documents

序号 No.	文件 Document	时间 Time	相关要求/目标 Related requirements/objectives
1	《斯德哥尔摩宣言》(联合国人类环境会议)	1972 年	强调环境保护对人类健康和福祉的重要性,呼吁在城市化进程中重视环境保护。
2	联合国人居环境奖(联合国人居委员会、联合国人类住区委员会)	1989 年	社会文明度、经济富裕度、环境优美度、资源承载力、生活便宜度、公共安全度较高,城市综合宜居指数在 80 以上且没有否定条件的城市。
2	《21 世纪议程》(联合国环境与发展会议)	1992 年	指出城市和乡村地区需要协调发展,以确保自然资源的可持续利用和生物多样性的保护。
3	《伊斯坦布尔人类住区宣言》(第二届联合国人类住区会议)	1996 年	推动可持续城市发展,提出在城市发展中结合环境保护的愿景。
4	《可持续发展世界首脑会议执行计划》(第一届可持续发展世界首脑会议)	2002 年	强调生物多样性保护在城市可持续发展中的基础地位,呼吁各国在城市化进程中采取措施保护生物多样性。
5	《爱知生物多样性目标》(生物多样性公约第十次缔约方会议)	2010 年	将生物多样性保护纳入全球议程,强调城市在生物多样性保护中的关键角色。
6	《地方可持续发展 2012:全球回顾》(ICLEI 世界大会)	2012 年	提出通过城市规划、绿色基础设施和公众参与来保护和恢复城市生态系统的行动指南。
7	《城市生物多样性指数》(新加坡指数)(联合国《生物多样性公约》)	2016 年	为评估和促进城市生物多样性保护提供了标准。
8	《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》(“昆蒙框架”)	2022 年	为全球生物多样性保护设立新的目标,特别强调在城市化进程中保护生态系统连通性和功能,推动城市生态系统的恢复和可持续管理。

通过对这些文件的梳理可以看出,国际和国内在推动城市生物多样性建设方面取得了显著进展。这些文件不仅确立了生物多样性在城市中的重要地位,还为实际操作提供了指导和标准,从而推动城市生态系统的恢复和可持续管理,为实现人与自然的和谐共生提供了坚实的基础。

2.2 中国城市创建助推生物多样性保护

早在 1992 年,“国家园林城市”创建,提升城市环境质量,促进城市生态建设和生物多样性保护^[14]。此后,1997 年“国家环保模范城市”的创建,通过严格的环保措施和政策,提升城市的环境保护水平,间接保护城市生物多样性^[15]。进入 21 世纪,“国家生态市”创建,推动城市在经济发展过程中注重生态保护,实现生态环境的良性循环,保护生物多样性^[16,32]。2004 年,“国家森林城市”创建,倡导通过大规模植树造林和绿化建设,提高城市森林覆盖率和生物多样性^[33]。2010 年,“国家低碳城市”创建,推动城市采取低碳发展措施,减少温室气体排放,实现可持续发展,并促进生态环境和生物多样性保护^[34]。2012 年,“国家智慧城市”创建,通过信息化和智能化手段,提高城市管理水平和公共服务质量,间接促进生物多样性保护^[35]。2013 年,“国家生态文明建设示范市县”创建,鼓励城市和县域开展生态文明建设示范,推动绿色发展和生物多样性保护^[36]。2015 年,“国家海绵城市”创建,通过“渗、滞、蓄、净、用、排”等措施,提升城市防洪排涝能力,改善城市生态环境和生物多样性^[37]。2016 年,“国家气候适应型城市”创建,推动城市采取适应气候变化的措施,提高城市应对气候变化的能力,保护生物多样性^[38-39]。通过这些不同阶段的称号授予和政策推动,中国城市生物多样性保护不断取得积极进展,反映了国家对城市生物多样性保护的重视,也为各地城市在城市生物多样性保护方面提供了明确的目标和方向(表 3)。

表 3 城市创建的主要建设内容

Table 3 Main construction contents for urban development

序号 No.	称号 City title	时间 Time	主管部门 Main departments	城市生物多样性相关建设内容 Main construction contents for urban development
1	国家园林城市	1992 年	住房和城乡建设部	通过城市园林绿化提升城市环境质量,促进城市生态建设和生物多样性保护。
2	国家环保模范城市	1997 年	生态环境部(原国家环境保护总局)	强调通过严格的环保措施和政策,提升城市的环境保护水平,间接保护城市生物多样性。
3	国家生态市	2000 年	生态环境部	推动城市在经济发展过程中注重生态保护,实现生态环境的良性循环,保护生物多样性。
4	全国文明城市	2005 年	中央文明委	强调文明城市建设,提升市民文明素质和城市文明程度,促进人与自然是和谐共生。
5	国家森林城市	2004 年	国家林业和草原局(原国家林业局)	通过大规模植树造林和绿化建设,提高城市森林覆盖率和生物多样性。
6	国家生态文明建设示范市县	2013 年	生态环境部	鼓励城市和县域开展生态文明建设示范,推动绿色发展和生物多样性保护。
7	国家低碳城市	2010 年	发展和改革委员会	推动城市采取低碳发展措施,减少温室气体排放,促进生态环境和生物多样性保护。
8	国家智慧城市	2012 年	发展和改革委员会、工业和信息化部	推动城市通过信息化和智能化手段,提高城市管理水平和公共服务质量,间接促进生物多样性保护。
9	国家海绵城市	2015 年	住房和城乡建设部	通过“渗、滞、蓄、净、用、排”等措施,提升城市防洪排涝能力,改善城市生态环境和生物多样性。
10	国家气候适应型城市	2016 年	生态环境部	推动城市采取适应气候变化的措施,提高城市应对气候变化的能力,保护生物多样性。

3 生物多样性友好城市建设途径

3.1 传统途径

3.1.1 绿地建设

绿地建设是生物多样性友好城市建设中最基本也是最重要的途径之一^[40]。通过合理规划和布局城市公

园、广场、绿化带和口袋公园等公共绿地,可以有效提升城市的生态环境质量和居民的生活质量。绿地不仅提供休闲娱乐的空间,还能发挥多种生态系统服务功能,如增加碳汇、净化空气、涵养水源等^[41]。以伦敦为例,这座城市通过一系列大型公园和绿地的建设,成功提升了城市的绿化水平,成为国际上著名的园林城市^[42]。绿地建设应注重选择适应本地环境的植物种类,营造多样化的植物群落,支持本地生物多样性保护,提升生态系统的稳定性、多样性、持续性。比如,北京通过引入多种本地植物和花卉,创建了丰富的城市绿地生态系统,吸引了大量的鸟类和昆虫^[43-44]。此外,还可以通过屋顶花园和垂直绿化等创新手段增加城市绿地面积。新加坡作为花园城市的典范,通过大规模推广屋顶花园和垂直绿化,有效增加了城市的绿化覆盖率,改善了城市的微气候环境^[45]。

3.1.2 自然场馆建设

自然场馆建设是友好城市建设的另一重要途径。通过建设博物馆、自然教育中心、植物园和动物园等自然场馆,可以提高公众的生态意识和环保知识,推动生物多样性保护^[46]。自然场馆不仅是生态教育的重要场所,还是城市的生态景观和旅游资源。比如,纽约的中央公园不仅是市民休闲的好去处,还包含了多个博物馆和自然教育中心,成为城市的重要文化和生态名片^[47]。自然场馆还可以通过展示本地生物多样性、开展科普教育活动,提升公众对生物多样性的关注和认知。深圳的仙湖植物园通过展示丰富的植物种类和举办多种生态教育活动,成为市民了解生物多样性基础知识的重要场所^[48]。为了增强自然场馆的教育功能,还可以开展多种形式的生物多样性体验活动,如自然体验、动植物观察、生物多样性工作坊等,让市民在参与中增强对生物多样性的了解和热爱^[49]。

3.1.3 水生态系统建设

水生态系统建设是生物多样性友好城市建设的重要组成部分,旨在保护和恢复城市水体及其周边生态环境。通过湿地恢复、雨水管理和透水铺装等措施,可以有效提升城市的水资源利用效率和生态功能^[50]。湿地建设作为一种有效的生态工程,能够提供重要的栖息地,支持水鸟和水生植物的生长,同时通过自然过滤功能改善水质。杭州的西溪湿地通过生态恢复和管理,吸引了丰富的水鸟和鱼类,成为市民休闲与观鸟的热门场所^[51]。雨水管理系统的建设同样至关重要。实施雨水收集和利用措施,如雨水花园和地下蓄水池,可以减少地表径流,提高水资源的利用效率,降低城市内涝风险^[52]。这些措施不仅支持植物和动物的生存,还促进生物多样性的提升。透水铺装技术的应用能够有效增加城市表面水的渗透,提升地下水补给能力,降低城市热岛效应,同时为生物提供更多栖息空间。许多城市已开始公共区域和步行道上应用透水材料,以增强水生态系统的健康^[53]。通过这些措施,水生态系统建设不仅为城市提供多样化的生态服务,还能增强生物多样性,实现人与自然的和谐共处。

3.2 创新途径

3.2.1 生物多样性友好单元建设

生物多样性友好单元建设是推进生物多样性友好城市建设的关键举措^[54],在城市特定的特定公共服务单元,比如社区、学校、医院、酒店等,通过综合应用生态技术和管理措施,为生物提供更多的适宜栖息地,将生物“友好”融入市民生活,引导公众参与保护。具体建设中,有以下几种方式:建设雨水花园,开展透水铺装等可以有效地管理雨水,减少径流和洪涝风险,同时为植物生长提供良好的水资源条件^[55];垂直绿化和屋顶花园则可以增加城市绿化面积,提升生物多样性,改善城市微气候^[56];设计和建设多样化的自然栖息地,如湿地、草地、森林等,以支持不同物种的生存和繁衍^[57-58];开展生态教育活动、社区参与项目等,可以提升公众的环保意识和生态素养,增强社区的凝聚力和生态责任感。此外,友好单元的监测和管理体系也是关键^[59]。建立完善的监测系统,定期评估友好型建设效果和生物多样性状况,及时调整管理及建设措施,以确保友好单元生物多样性保护效果及提升生态系统服务功能达到预期目标。

3.2.2 生态廊道建设

生态走廊是连接不同生态区域的重要通道。建设生态走廊,为野生动植物提供更多的栖息地,还可以促

进物种的迁移和基因交流,增强城市生态系统的连通性和稳定性,还能提升城市的生态景观和居民的生活质量^[60-61]。伦敦通过规划和建设多条生态走廊,将市内各大公园、自然保护区和河流沿岸连接起来,形成了一个完整的城市生态网络,为野生动植物提供了良好的栖息和迁徙环境^[62-63]。济南市探讨生物元素在过街天桥的共生方法,挖掘生态价值,以更好地服务改善城市环境,试图走出一条不同城市中心过街天桥生态良性循环发展的特色之路^[64]。在具体实施中,通过在城市道路两侧和河流沿岸种植树木和灌木,形成连续的绿化带及绿色通道。利用河道等线性空间,改造成生态走廊,为动植物提供栖息地和通道^[65]。通过城市更新项目,将旧工业区和荒废土地改造成生态走廊,提升城市绿地面积和生态功能。

3.2.3 生物资源产业发展

通过合理利用和开发城市生物资源,促进城市经济发展,实现生物多样性保护和生态系统服务功能的提升^[24]。生态旅游是城市生物资源产业的重要途径。生态旅游不仅可以带动相关服务业的发展,还能通过旅游收入反哺生态保护工作。通过保护城市自然景观和生态资源,打造生态旅游品牌,吸引游客,促进地方经济的发展,实现环境保护和经济发展的双赢。发展绿色农业和中草药种植等生物资源产业,也是生物多样性友好城市建设的重要途径,通过有机种植和生态养殖,减少对环境的负面影响,提升农产品的质量和市场竞争力。利用城市周边的自然资源,发展中草药种植特色产业,增加农民收入,同时保护和利用本地的生物多样性资源。通过科技创新,推动生物技术产业的发展,提高生物资源的利用效率。发展生物质能源、绿色建材和生物医药等新兴产业,不仅可以减少对传统能源和资源的依赖,还能提升城市的科技水平和产业竞争力。

3.2.4 生物多样性智能监测系统建设

通过应用物联网、大数据和人工智能等技术,智能监测系统可以实时监测城市生态环境和生物多样性状况,为城市管理者提供科学决策的依据^[66]。智能监测系统包括以下几个方面:空气质量监测系统,实时监测城市空气中的污染物浓度,及时发现和应对污染事件;水质监测系统,监测城市河流、湖泊和湿地的水质变化,确保水生态系统的健康和稳定;生物多样性监测系统,通过布设无线传输红外摄像头、传感器、鸟鸣收集器等设备,监测城市中的植物、哺乳动物、鸟类、两栖爬行动物、昆虫、土壤动物等的多样性以及综合监测城市小型湿地、花园等小型生态系统,评估城市生物多样性的变化趋势。以深圳市为例,通过引入生物多样性智能监测系统,实时监测空气质量、水质和生物多样性,及时发现和解决生态环境问题,显著提升了城市的环境管理水平。另外,通过开放监测数据,市民可以随时了解城市的生态环境状况,增强环保意识和参与度。

4 结论与建议

随着全球城市化进程的加速,城市生态环境面临前所未有的挑战,生物多样性保护在城市可持续发展中扮演着至关重要的角色。本文通过对国内外生物多样性友好城市建设的探讨,提出了适应快速城市化背景下的生物多样性保护策略,包括绿地建设、自然场馆建设、生物多样性友好单元、生态廊道、生物资源产业发展以及智能监测系统建设等多个方面。通过这些措施,可以有效提升城市生态系统的健康和稳定性,促进人与自然的和谐共生,实现城市的可持续发展目标。

为了应对快速城市化带来的生态环境挑战。建议:一是推动友好单元等绿色基础设施建设。城市规划应注重绿色基础设施的建设和优化,包括公园、绿地、屋顶花园、垂直绿化等,提升城市绿化覆盖率和生态服务功能,改善城市微气候和居民生活质量;二是构建生物多样性智能监测系统。利用物联网、大数据和人工智能等技术,建立全面的智慧监测系统,实时监测城市生态环境和生物多样性状况,为科学决策提供依据,提升城市生态管理水平;三是发展多样化的自然栖息地。在城市建设中,应保护和恢复湿地、森林、草地等自然栖息地,为动植物提供适宜的生存和繁衍环境,支持生物多样性的保护和恢复;四是扶持或推广可持续发展的生物资源产业。通过发展生态旅游、绿色农业和中草药种植等可持续产业,实现生态保护和经济发展的双赢,提升城市的生态效益和经济活力。通过以上措施,可以有效推动生物多样性友好城市建设,实现生态环境保护与经济社会的协调发展,为全球可持续发展目标的实现做出积极贡献。五是加强政策支持和法规保障。各级政府应制

定和完善相关政策和法规,为生物多样性友好城市建设提供坚实的法律基础和政策支持,确保各项保护措施的顺利实施;六是提升公众生态意识和参与度。通过广泛的生态教育和宣传活动,提高市民的生态意识和环保行为,鼓励公众积极参与城市生态建设和管理,形成全社会共同支持和参与的氛围。

参考文献 (References):

- [1] Kowarik I, Fischer L K, Kendal D. Biodiversity conservation and sustainable urban development. *Sustainability*, 2020, 12(12): 4964.
- [2] Nilon C H. Urban biodiversity and the importance of management and conservation. *Landscape and Ecological Engineering*, 2011, 7(1): 45-52.
- [3] Güneralp B, Seto K C. Futures of global urban expansion: uncertainties and implications for biodiversity conservation. *Environmental Research Letters*, 2013, 8(1): 014025.
- [4] United Nations, World urbanization prospects: the 2018 revision (ST/ESA/SER.A/420). New York: UN, 2019: 23.
- [5] Haase D, Larondelle N, Andersson E, Artmann M, Borgström S, Breuste J, Gomez-Baggethun E, Gren Å, Hamstead Z, Hansen R, Kabisch N, Kremer P, Langemeyer J, Rall E L, McPhearson T, Pauleit S, Qureshi S, Schwarz N, Voigt A, Wurster D, Elmqvist T. A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts, models, and implementation. *AMBIO*, 2014, 43(4): 413-433.
- [6] Azevedo I, Delarue E, Meeus L. Mobilizing cities towards a low-carbon future: tambourines, carrots and sticks. *Energy Policy*, 2013, 61: 894-900.
- [7] Convention on Biological Diversity. Decision adopted by conference of the parties to the convention on biological diversity. (2022-12-19) [2024-10-30]. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf>.
- [8] Handl G. Declaration of the United Nations conference on the human environment (Stockholm Declaration), 1972 and the Rio Declaration on Environment and Development, 1992. *United Nations Audiovisual Library of International Law*, 2012, 11(6): 1-11.
- [9] Jacobi P. Agenda 21 and cities in developing countries. *Politics and the Life Sciences*, 2002, 21(2): 61-65.
- [10] Bindé J. The city summit: The lessons of Istanbul. *Futures*, 1997, 29(3): 213-227.
- [11] Kohsaka R, Okumura S. Greening the cities with biodiversity indicators: experience and challenges from Japanese Cities with CBI//Ecological Research Monographs. Tokyo: Springer Japan, 2014: 409-424.
- [12] Pok A, Kuhn S. Local Sustainability 2012: Taking Stock and Moving Forward; Global Review. ICLEI—Local Governments for Sustainability, Bonn: World Secretariat, 2012.
- [13] Watson JE, Venegas-Li R, Grantham H, Dudley N, Stolton S, Rao M, Woodley S, Hockings M, Burkart K, Simmonds JS, Sonter LJ. Priorities for protected area expansion so nations can meet their Kunming - Montreal Global Biodiversity Framework commitments. *Integrative Conservation*, 2023, 2(3): 140-155.
- [14] 芮昉,唐蓓佩,王兴,马滕,刘晓琼. 国家园林城市时空演变特征及其影响机理. *地理研究*, 2018, 37(1): 20-36.
- [15] 任静,于鲁冀. 国家环境保护模范城市现状分析及展望. *四川环境*, 2011, 30(6): 149-154.
- [16] 蒋艳灵,刘春腊,周长青,陈明星. 中国生态城市理论研究现状与实践问题思考. *地理研究*, 2015, 34(12): 2222-2237.
- [17] 谢园方,赵媛. 国内外低碳旅游研究进展及启示. *人文地理*, 2010, 25(5): 27-31.
- [18] 刘志林,戴亦欣,董长贵,齐晔. 低碳城市理念与国际经验. *城市发展研究*, 2009, 16(6): 1-7, 12.
- [19] 毛齐正,马克明,邬建国,唐荣莉,张育新,罗上华,宝乐,蔡小虎. 城市生物多样性分布格局研究进展. *生态学报*, 2013, 33(4): 1051-1064.
- [20] 牛红玉,陈璐,赵恒月. 城市化对动物的影响: 从群落到个体. *生物多样性*, 2024, 18: 23489.
- [21] Wignall V R, Alton K, Ratnieks F L W. Garden centre customer attitudes to pollinators and pollinator-friendly planting. *PeerJ*, 2019, 7: e7088.
- [22] Wang J W, Poh C H, Tan C Y T, Lee V N, Jain A, Webb E L. Building biodiversity: drivers of bird and butterfly diversity on tropical urban roof gardens. *Ecosphere*, 2017, 8(9): e01905.
- [23] 诸葛鹏,刘珮,刘琮. 生态型园林养护模式在保护提升城市公园生物多样性的策略与实践——以北京城市绿心森林公园生态型园林养护项目为例. *园林建设与城市规划*. 2022, 4(8): 118-120.
- [24] United Nations Environment Programme. Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend-Pathways to a liveable planet as resource use spikes. Nairobi: International Resource Panel, 2024: 91-95.
- [25] 陈天一,赵聪聪,文素洁,胡远东. 城市生境单元制图研究进展及其在生物多样性保护中的应用. *风景园林*, 2022, 29(1): 12-17.
- [26] 柴发合. 我国大气污染治理历程回顾与展望. *环境与可持续发展*, 2020, 45(3): 5-15.
- [27] Xavier L Y, Jacobi P R, Turra A. Local Agenda 21: Planning for the future, changing today. *Environmental Science & Policy*, 2019, 101: 7-15.
- [28] Najam A, Cleveland C J. Energy and sustainable development at global environmental summits: an evolving agenda. *Environment, Development and Sustainability*, 2003, 117-138.
- [29] Convention on Biological Diversity. Decision adopted by conference of the parties to the convention on biological diversity at its tenth meeting. (2010-10-29) [2024-10-30]. <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-10/cop-10-dec-02-en.pdf>.
- [30] 杨文越,邱宇欣. 新加坡“亲生物城市”规划建设经验. *科技导报(北京)*, 2022, 40(22): 33-42.
- [31] 徐靖,王金洲. 《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》主要内容及其影响. *生物多样性*, 2023, 31(4): 3-11.
- [32] Danovitch G M, Al-Mousawi M. The Declaration of Istanbul—early impact and future potential. *Nature Reviews Nephrology*, 2012, 8(6): 358-361.

- [33] 程红. 试论基于生态文明建设的国家森林城市创建. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2015, 14(2): 17-20.
- [34] Jiang W, Kang W M. A review on the low-carbon city study: development and trends. *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies*, 2019, 7(2): 1950006.
- [35] Wang A, Lin W, Liu B, Wang H, Xu H. Does smart city construction improve the green utilization efficiency of urban land? *Land*, 2021, 10(6): 657.
- [36] 毛惠萍, 何璇, 何佳, 牛冬杰, 包存宽. 生态示范创建回顾及生态文明建设模式初探. *应用生态学报*, 2013, 24(4): 1177-1182.
- [37] 赵银兵, 蔡婷婷, 孙然好, 倪忠云, 张婷婷. 海绵城市研究进展综述: 从水文过程到生态恢复. *生态学报*, 2019, 39(13): 4638-4646.
- [38] 曹莉萍, 周冯琦. 纽约弹性城市建设经验及其对上海的启示. *生态学报*, 2018, 38(1): 86-95.
- [39] 郑艳. 适应型城市: 将适应气候变化与气候风险管理纳入城市规划. *城市发展研究*, 2012, 19(1): 47-51.
- [40] 张思凝, 吴然. 基于 Citespace 知识图谱分析国际城市生物多样性研究. *生态科学*, 2022, 41(6): 211-221.
- [41] 姜刘志, 杨道运, 梅岑岑, 班远冲, 杨小毛. 城市绿地生态系统服务功能及其价值评估——以深圳市福田区为例. *华中师范大学学报: 自然科学版*, 2018, 52(3): 424-431.
- [42] Barbosa O, Tratalos J A, Armsworth P R, Davies R G, Fuller R A, Johnson P, Gaston K J. Who benefits from access to green space? A case study from Sheffield, UK. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 83(2/3): 187-195.
- [43] Niemelä J. Is there a need for a theory of urban ecology? *Urban Ecosystems*, 1999, 3(1): 57-65.
- [44] Daniels B, Jedamski J, Ottermanns R, Ross-Nickoll M. A “plan bee” for cities: pollinator diversity and plant-pollinator interactions in urban green spaces. *PLoS One*, 2020, 15(7): e0235492.
- [45] Han H. Singapore, a garden city. *The Journal of Environment & Development*, 2017, 26(1): 3-24.
- [46] 焦阳, 邵云云, 廖景平, 黄宏文, 胡华斌, 张全发, 任海, 陈进. 中国科学院现状及未来发展策略. *中国科学院院刊*, 2019, 34(12): 1351-1358.
- [47] 湛东升, 张晓平. 世界宜居城市建设经验及其对北京的启示. *国际城市规划*, 2016, 31(5): 7-13.
- [48] 饶显龙, 喻敏, 何田恬, 楼凌云, 包志毅. 基于群落生态学原理的风景林景观更新策略研究——以深圳市仙湖植物园为例. *中国园林*, 2024, 40(1): 113-118.
- [49] 赵敏燕, 董锁成, 吴忠宏, 李宇, 马红, 邵丹, 高宁, 夏冰. 森林体验教育活动对城市公众环境负责任行为的影响. *资源科学*, 2020, 42(3): 583-592.
- [50] 胜男宋. 基于海绵城市理念的市政道路给排水设计研究. *智能城市应用*, 2023, 6(4): 25-27.
- [51] 李晓文, 李梦迪, 梁晨, 诸葛海锦. 湿地恢复若干问题探讨. *自然资源学报*, 2014, 29(7): 1257-1269.
- [52] 谷超, 郑蓝迪. 城市雨水系统与内涝风险管控分析. *城市建设与规划*, 2024, 1(2): 76-79.
- [53] 崔颖欣, 陈鹏, 靖婧. 生态修复视角下的城市滨水空间规划设计. *智能城市应用*, 2024, 7(9): 4-6.
- [54] 蔡颖莉, 朱洪革, 李家欣. 中国生物多样性保护政策演进、主要措施与发展趋势. *生物多样性*, 2024, 32(5): 23386.
- [55] Nguyen T T, Ngo H H, Guo W S, Wang X C, Ren N Q, Li G B, Ding J, Liang H. Implementation of a specific urban water management-Sponge City. *Science of the Total Environment*, 2019, 652: 147-162.
- [56] 肖姣娣. 城市建筑屋顶绿化探讨. *北京农业职业学院学报*, 2018, 32(4): 27-31.
- [57] McKinney M L, Ingo K, Kendal D. The contribution of wild urban ecosystems to liveable cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, 29: 334-335.
- [58] Aronson M F, Lepczyk C A, Evans K L, Goddard M A, Lerman S B, MacIvor J S, Nilon C H, Vargo T. Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2017, 15(4): 189-196.
- [59] Peng J, Zhao H J, Liu Y X. Urban ecological corridors construction: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(1): 23-30.
- [60] Chen R N, Carruthers-Jones J, Carver S, Wu J Y. Constructing urban ecological corridors to reflect local species diversity and conservation objectives. *Science of the Total Environment*, 2024, 907: 167987.
- [61] 田北辰, 李沛权, 黄千杜. 基于鸟类视角的城市生态廊道构建方法研究综述. *应用生态学报*, 2021, 32(8): 3010-3022.
- [62] Gregory A, Spence E, Beier P, Garding E. Toward best management practices for ecological corridors. *Land*, 2021, 10(2): 140.
- [63] Lu Z, Li W, Zhou S Y. Constructing a resilient ecological network by considering source stability in the largest Chinese urban agglomeration. *Journal of Environmental Management*, 2023, 328: 116989.
- [64] 张蓓蓓, 李路恒, 周先硕. 基于城市生物多样性保护视角下的过街天桥辅助设计策略——以济南市为例. *设计*, 2023, 8(4): 3609-3615.
- [65] 吴媚, 何丹, 杨茅茅. 塑造城乡水生态风貌, 打造富有地域人文特色的亲水景观——以江油市明月岛公园景观方案为例. *四川建筑*, 2020, 40(2): 14-16.
- [66] 吴慧, 徐学红, 冯晓娟, 米湘成, 苏艳军, 肖治术, 朱朝东, 曹垒, 高欣, 宋创业, 郭良栋. 全球视角下的中国生物多样性监测进展与展望. *生物多样性*. 2022, 30(10): 22434.