孙一帆,那悦琪,马海涛,等.生态功能转化导向下的城乡园林绿化高质量发展路径[J].华中农业大学学报,2026,45(1):1-12.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2026.01.001

生态功能转化导向下的城乡园林绿化高质量发展路径

孙一帆,那悦琪,马海涛,朱春阳

华中农业大学园艺林学学院,武汉 430070

摘要 为明晰我国生态文明建设背景下城乡园林绿化高质量发展与实施路径,对2005—2025年以生态功能转化导向下的城乡园林绿化高质量发展为检索主题得到的4 160篇期刊文献进行知识图谱分析,系统梳理了城乡园林绿化高质量发展的“功能机制-传导路径-福祉效益”间的衔接融合关系。结果表明,生态功能转化导向下城乡园林绿化高质量发展路径,是通过一系列复杂的生物物理过程,经由特定的环境效应传导,最终转化为涵盖个体健康、社群活力与城市永续发展的多层次人类福祉的完整转化过程。基于生态功能外释转化提出城乡园林绿化高质量发展的多功能协同模式,将着力深化福祉效益转化机制,即推动人类福祉从基础保障向感知增益的深层实现。建立“规划引领-过程监测-系统评估-动态管理”多层面的实施路径,强化城乡园林绿化的生态系统服务韧性。在生态功能协同增效与动态反馈的基础上,推动城乡园林绿化由绿量向绿质、融绿、人本转变,持续推进落实生态文明建设与高质量发展的重大战略。

关键词 园林绿化;高质量发展;城乡绿化一体化;生态功能;实施路径

中图分类号 TU986 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2026)01-0001-12

在全球气候变化与城镇化进程的双重挑战下,城乡生态环境退化、公共健康风险加剧等问题日益凸显,已成为限制城乡可持续发展的关键瓶颈。党的十八大以来,党中央高度重视生态文明建设,提出了一系列关于生态文明建设的新思想、新理念和新战略,将高质量发展置于核心战略地位,驱动城乡建设从规模扩张转向对内涵、韧性和福祉的追求。因此,城乡园林绿化在提供自然生态、游憩、科普和文化等服务的同时,更加凸显其作为战略性的城乡生态基础设施地位,对优化城市空间结构、隔离防护各种危险和污染将具有重要意义。这一认知转变,不断涌现出以“基于自然的解决方案”为代表的生态规划思想,强调基于自然系统应对社会挑战[1]。探索以生态功能外释转化为核心导向的城乡园林绿化高质量发展路径,已成为响应时代需求的关键科学问题。城乡园林绿化高质量发展的内涵超越了绿地率、绿化覆盖率等传统量的增长方式,更多致力于效益最大化、系统化和长效化的生态系统服务导向下的城乡园林绿化建设,其本质上是对传统范式的革新,更强调城乡园林绿化由绿量向绿质、融绿、人本的转变。

作为典型的城乡自然生态系统,园林绿地具有减缓城市热岛、净化空气、雨洪管理、生物多样性保护、传播授粉、固碳释氧、降尘减噪、抑制空气微生物等多重生态功能,其功能机制、生态效益与适用条件已有较为深入的探讨[2-6]。然而,面对复杂的城市自然-社会复合生态系统,针对多功能协同增效的系统性探讨尚显不足[7-8],如针对绿色雨水基础设施,更多聚焦于其水文性能(如径流削减率、峰值延迟时间)和/或水质净化效果,但在支持本地生物(如土壤微生物、昆虫、两栖类)、固碳或小气候调节等方面的贡献评估存在不足或缺失考虑[9-10];如城市行道树选择常设定单一或有限目标、增加遮荫以降低热岛效应、美化街道景观,但可能未充分考虑所选树种对城市生态网络的贡献(如是否为本地种、能否支持特定昆虫/鸟类、能否与其他绿地形成连接廊道等),尚缺乏在规划阶段就系统性整合遮荫、固碳、生物多样性支持、减少基础设施冲突、文化价值等多重功能并进

收稿日期:2025-09-14
基金项目:国家自然科学基金项目(32371950);北京市园林绿化科学研究院项目(YKYZD202512);新疆兵团财政科技计划项目(2023CB008-24)
孙一帆,E-mail:15953377@qq.com
通信作者:朱春阳,E-mail:zhuchunyang@mail.hzau.edu.cn

行协同优化设计的综合性研究框架[11]。该框架的形成将着力深化福祉效益转化机制，即推动人类福祉从基础保障向感知增益的深层实现。

因此，从城乡园林绿化高质量建设到人类福祉的最终效益，其间的转化机制与传导路径尚需清晰梳理，否则将难以精准响应城乡园林绿化高质量发展面临的复杂挑战以及人们对美好生活的多样化需求。本研究结合文献计量，系统梳理该领域的研究热点与理论基础，阐明城乡园林绿化如何通过一系列关键的生物物理过程和生态功能，经由与人类的直接或间接接触，最终转化为可感知的、多层次的人类福祉，构建以生态功能外释转化为导向的城乡园林绿化高质量发展路径的整合分析框架，以期为中国式现代化构建健康、安全、韧性的人居环境提供坚实的理论参考与实践指引。

1 研究热点与文献计量

1.1 文献检索

英文文献数据基于Web of Science TM核心合集，以主题TS=(urban green space OR green infrastructure)AND TS=(ecosystem services)AND文献类型=(Article or Review)AND语言=(English)共获取2005年1月—2025年7月英文文献4 160篇，包括Environmental Sciences Ecology(环境科学生态学)、Plant Sciences(植物科学)、Biodiversity Conservation(生物多样性保护)、Urban Studies(城市研究)等相关专业学科20类。文献计量工具使用Citespace统计绘制Dual-map图谱、关键词主题聚类等可视化分析图谱，系统梳理城乡园林绿化高质量研究的热点与发展趋势。

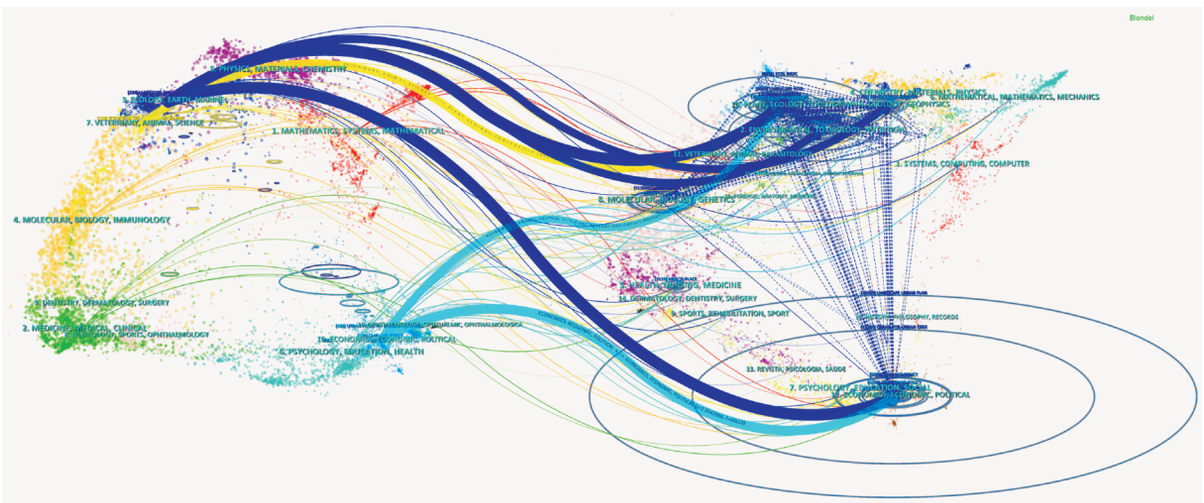
1.2 研究热点与文献计量

1)学科知识来源。为探究本研究领域的学科构成与知识流动脉络，绘制了期刊来源的学科双图谱叠加。由图1可知，关于城乡园林绿化生态系统服务的知识基础可分为2类，一类是以生态学、环境科学和地球科学为主导的自然科学研究，重点关注园林绿化的生物物理过程，为理解其降温增湿、滞尘净化和雨水调控等核心生态功能提供了坚实的理论与数据基础。另一类是以心理学、健康科学和社会科学为主导的人本主义研究，聚焦于园林绿化对人类身心健康、社会福祉的积极影响，是衡量生态价值最终能否惠及于人类的关键。经引证路径(图1中青色引线)分析表明，针对人类福祉的研究多引鉴环境科学和生态学的研究成果，通过对生态功能的量化揭示其对人类的健康效益。同时，相关研究逐步向经济学与政治学领域深入，标志着该领域逐渐从单纯的机制探讨转向价值评估与政策实践的综合发展阶段。图1中大量虚线引证路径表明了知识整合的广泛性与复杂性，生态功能转化导向下的城乡园林绿化高质量发展不仅需要深化核心理论的应用，更需要关注整合新兴的交叉知识点、统筹其生态、社会与经济等多重效益，从而形成更加系统、韧性的理论与实践框架。

2)研究方向及主题。通过Citespace工具将文献关键词绘制成知识图谱(图2)。“生态系统服务”构成了该领域的基础理论框架，“绿色基础设施”和“绿色空间”是其主要的物理载体和研究对象。研究主题重点围绕生物多样性、城市规划与治理、气候变化、空气污染、人类福祉等方面展开。城乡园林绿化生态功能研究已成为广泛关注的研究热点。同时，学科背景的广泛性及其研究现状的差异化，使得城乡园林绿化高质量发展研究由于切入点的不同而呈现出碎片化的态势。因此，在推动城乡园林绿化高质量发展的需求下，如何系统集成生物多样性保护、气候变化、空气污染、雨洪调蓄、人类福祉等多重目标，将其转化为具有系统性、针对性、先进性与可操作性的规划策略，仍是当前面临的巨大挑战。

3)研究进展及趋势分析。结合关键词时间线图谱和关键词突现(图3)，梳理本领域研究的演进脉络大致可分为3个阶段：研究早期(约2008—2013年)聚焦于“生态系统服务”“生物多样性”等核心概念的构建。研究内容重点阐述了城市化梯度对生物多样性的影响[12]，以及将绿色基础设施作为连接生态系统与人类福祉的桥梁，使其成为承载生态系统服务的核心载体[13]；应用深化阶段(约2014—2019年)，研究焦点逐渐转向“城市热岛效应”“空气污染”等具体环境问题；以“基于自然的解决方案”(nature-based solutions)为代表的综合框架(2020年至今)，研究重点从城乡绿色基础设施单一生态功能，逐渐转向多重功能的系统性整合，兼顾生态、文化服务价值与社会经济效益。

基于2005—2025年文献计量中关于生态功能转化导向下的城乡园林绿化高质量发展研究的系统梳理，理解从“功能认知”到“系统整合”再到“综合解决方案”的发展脉络，深度聚焦其实现机制、传导路径及其与人类福祉的深层联系，旨在为推动生态功能转化导向下的城乡园林绿化高质量发展提供坚实的



左侧以施引文献学科分布作为信息服务研究现状，右侧以被引文献所属学科作为信息服务的研究基础；曲线连接研究现状与研究基础之间的关系；椭圆形的大小表示各学科发文量；右侧虚实线分别表示低频次要、高频核心知识流动路径。The left side takes the disciplinary distribution of citing documents as the research status of information services, while the right side takes the disciplines of cited documents as the research foundation of information services. Curves connect the relationships between research status and research foundation. The size of ellipses represents the number of publications in each discipline. The dashed and solid lines on the right represent the low-frequency secondary and high-frequency core knowledge flow paths, respectively.

图 1　WOS 期刊双图叠加分析

Fig.1　Overlay analysis of two graphs for WOS journals

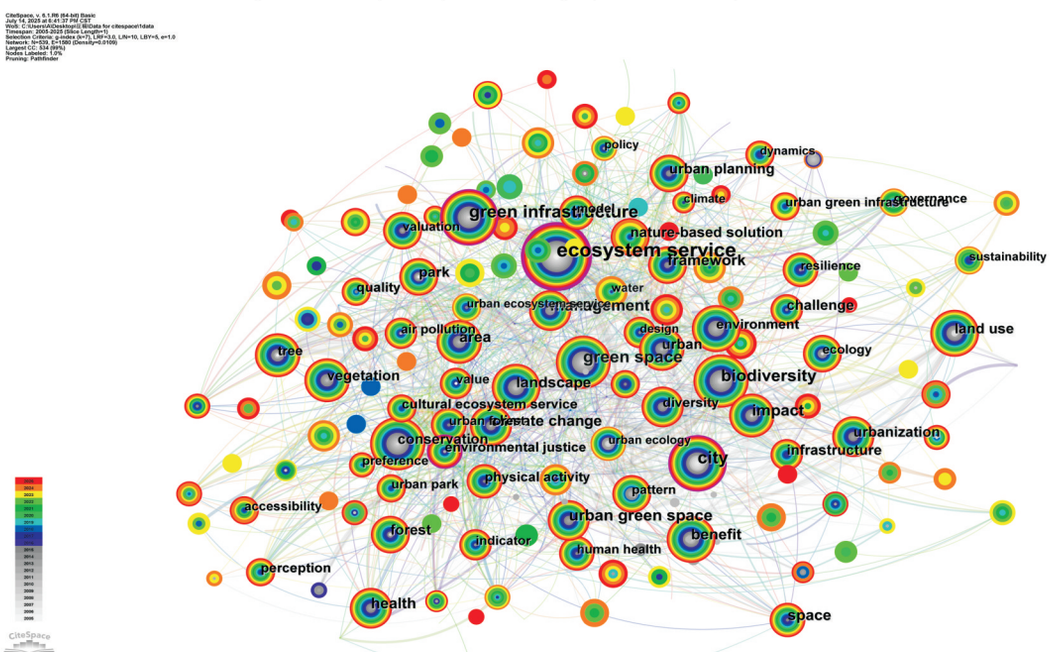


图 2　WOS 期刊关键词共现图谱分析

Fig.2 Keyword co-occurrence mapan alysis of WOS journals

理论支撑与建设路径。

2　城乡绿地生态功能转化的理论梳理与机制解析

城乡是一个以人类活动为中心的社会-经济-自然复合生态系统，城乡园林绿化为建成环境提供多种类型的生态调节和支持服务，具有巨大的环境效益。生态功能转化导向下的城乡园林绿化高质量发展的本质是通过一系列复杂的生物物理过程，经由特定的环境效应传导路径，最终转化为可感知的、与人息息相关的人本福祉效益。结合上述国内外文献

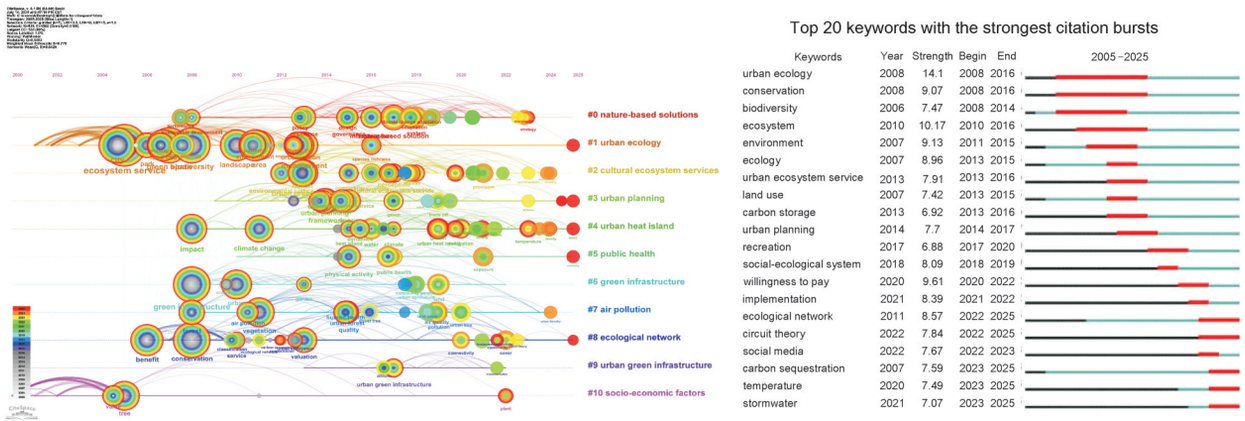


图3 WOS期刊关键词Timeline View图谱分析(A)和WOS期刊关键词突现分析(B)

Fig.3 Keyword Timeline View map analysis of WOS journals(A) and keyword burst analysis of WOS journals(B)

计量聚焦城乡绿地生态功能转化机制的系统性和层次性,具体过程可分解为“功能机制-传导路径-福祉效益”三部分内容(图4)。

2.1 功能机制

功能机制是生态价值得以产生的生物物理过程与物质基础,源于园林植物的生命个体、空间格局和生态过程的综合作用,其复杂的生物物理过程决定了对生态环境和人居系统的调节能力。丰富的物种多样性和健康稳定的植物群落,将为城乡生态系统的可持续发展提供保障,气候、土壤和水分等非生物要素的协同作用推动了能量流动与物质循环的高效运行。

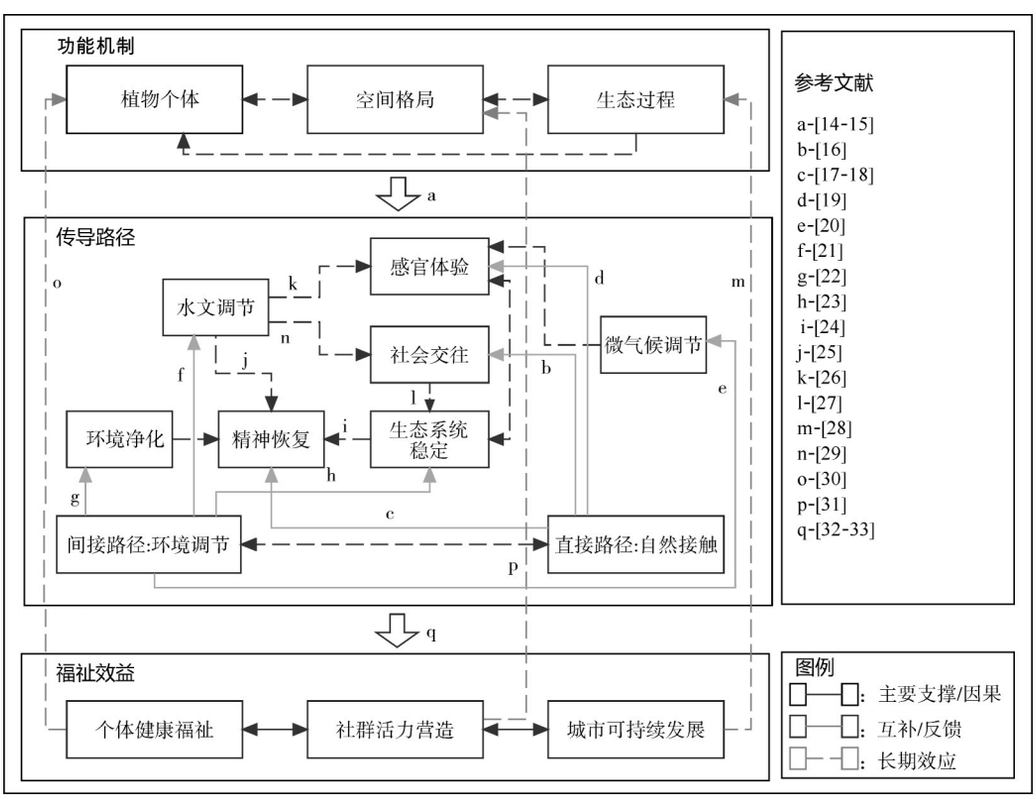


图4 城乡园林绿化生态功能“机制-路径-效益”理论框架与机制解析

Fig.4 “Mechanism-Path-Benefit” theoretical framework and mechanism analysis for ecological function of urban and rural landscape greening

植物叶片和树皮的微观结构所产生的物理过滤能力[22]、以及叶片气孔的主动吸收与代谢转化、部分植物通过释放挥发性物质触发空气中的分解反应[14],均是其净化大气污染这一核心机制的体现,为后续转化路径中改善人居环境质量和提升居民生理健康提供了前提条件。Zhang等[34]以武汉市解放公

园为对象，探讨了城市公园绿地消减空气颗粒物能力，结果表明解放公园（42.6 hm^2）年降减 PM_{10} 颗粒物约 1.5 t、$PM_{2.5}$ 约 0.4 t；夏季 30 mm 强度降雨可冲刷 18%～35% 的叶片颗粒物滞留量，并沉降于土壤予以转化。同时，复杂的垂直植被结构与异质的水平格局构成了调节区域微气候的重要基础。相较于单一草坪，植物群落具有较高叶面积指数和多层冠层植物群落，凭借更高的生物量积累和多层遮阴效果，可在单位面积上表现出更强的降温能力[30]。此外，植被冠层的截留与蒸发可延缓雨水汇流，枯枝落叶层和多孔土壤进一步促进下渗和蓄积，根系蒸腾持续释放土壤水分以削减径流[15,21,35]。王萌茜等[36]通过SWMM雨洪模拟结果显示，武汉市南湖汇水分区 20%～30% 绿地实施下凹式绿地改造，可使年径流控制率实现 65% 的海绵城市建设目标，以有限的海绵绿地改造面积实现显著的雨洪调蓄效果。

赵士洞等[37]、徐炜等[38]指出，生物多样性是维系生态系统稳定性与抵御干扰能力的核心要素，物种间互补性和冗余性能够增强生态系统对气候变化与外部干扰的响应韧性。城市绿地具有生物多样性保育功能，并通过“物种功能互补性”提升了城市绿地生态系统的稳定性和抗干扰能力[23,39-42]，不同植物在水分利用和生物量积累方面的差异使群落能够适应多变的气候条件，维持较高的生产力和服务功能。研究表明，面积大于 30 hm^2 的城市绿地可承担鸟类多样性核心保育功能，10～30 hm^2 的城市绿地在提升生境异质性后可显著增强鸟类物种多样性，而小于 10 hm^2 的斑块可作为“踏脚石”，在城市生态网络中支撑鸟类迁徙和中转休憩[43]。因此，从核心保育功能区到作为迁徙“踏脚石”，不同规模与质量的绿地斑块共同构成了城市生态网络，这一机制不仅是生态系统自身健康的基础，更是传导路径中提供丰富自然体验和心理恢复效益的直接来源。

2.2　传导路径

城乡园林绿化的生态功能并非直接呈现，而是通过特定传导机制作用于人类福祉，转化为可感知的环境改善与健康效益。传导路径既包含人与自然互动所产生的接触，也包括生态系统服务在生态环境层面的调节作用，二者相互补充，共同实现园林绿化生态功能的外释与转化[33]。

前者强调人类通过直接或间接、主动或被动的方式进入绿地，形成感官、心理与社会层面的多维体验。接触方式、维度和频率决定了自然暴露的持续性与强度。研究显示，长期规律性的自然接触有助于缓解心理压力、改善认知功能并促进社会交往[16,24]。有研究表明，在邻近水域和多层结构植被的公园绿地中，由多物种鸟鸣形成的丰富自然声景，相较于单物种的声音，更能引发积极情绪，有效恢复注意力并缓解焦虑[17-18,44]；植物多样性的增加与人的反思能力及场所认同感的提升呈正相关；而鸟类多样性则有助于增强个体的过往连续性和情感依恋[19]。在此路径中，高生物多样性环境通过多感官刺激可营造恢复性氛围，将生态功能转化为心理健康与精神福祉的直接效益，实现了从生态属性到精神福祉的价值升华。

后者则强调园林绿化通过一系列生物物理过程对环境产生实质性调节，间接改善人居环境质量和公共健康水平[32]。如城市公园作为有效的“城市冷岛”，其降温效应已得到广泛证实。有研究表明公园绿地平均可降低周边地表温度（2.71±1.52）℃，平均冷岛效应的影响范围可达（182.34±117.51）m[20]。这种降温效应的强度与绿地规模普遍呈正相关[45]，但并非简单的线性增长，而是存在效率阈值效应[46]。此外，还受到城市纬度与气候带、建成环境及绿地自身的植被构成等多种因素的共同影响。还有研究表明紧凑的绿地形状可增强内部降温强度，狭长、不规则的绿地形状往往易形成通风廊道，使降温效应向邻近建成区扩展[31]。在此路径中，城市绿地通过削减环境风险、改善居住舒适度和提升城市韧性，从而促进人类福祉累积。因此，城乡园林绿化生态功能通过“人与自然接触体验-生态环境调节”的多路径耦合与功能叠加，在生理、心理与社会层面共同强化个体对福祉提升的主观感知，实现生态价值向人类福祉的系统转化。

2.3　福祉效益

城乡园林绿化为公众健康提供了从生理到心理的系统性保障。福祉效益的产生清晰地体现了双路径的协同作用。在生理健康层面，通过环境调节路径营造的舒适微气候有效缓解城市热岛效应，为老人、儿童等脆弱群体构筑起抵御热浪等极端天气的健康屏障。此外，城市绿地通过对大气颗粒物和有害气体的物理过滤与生化吸收，有效改善了局地空气质量，从而可显著降低居民罹患呼吸系统与心血管疾病的风险。在心理健康层面，基于压力消减理论与注意力恢复理论，高生物多样性的绿地可提供高效的恢复性环境[47-48]。直接自然接触路径提供的

高品质恢复性环境，丰富的鸟鸣声景与和谐的植物群落景观，通过多感官的积极刺激，可有效帮助人们缓解精神压力，对抗城市生活带来的心理疲劳，提升精神福祉。同时，高品质的公园绿地为不同年龄、背景的居民创造了日常互动和开展集体活动的机会，增强邻里间的沟通与信任，培育了社区认同感与归属感。推动绿色资源在城乡、社区间的均衡布局，保障居民平等享有其带来的环境与健康红利，是生态惠民理念的核心体现，也是促进社会和谐与公平正义的重要途径。

张永民等[49]指出，生态系统通过调节气候、水文与环境质量，为人类健康福祉提供支撑，其结构与过程的稳定性直接关系到社会韧性和人居环境安全。面对日益严峻的气候变化挑战，城乡园林绿化在保障城市安全、构建韧性城市方面发挥着战略性作用。作为城市“海绵体”的核心，园林绿化系统通过冠层截留、入渗和蒸散等多种途径，在源头可有效削减雨水径流总量、延缓洪峰，从而保障居民的生命与财产安全[25-26]。可见，城乡园林绿化的生态效益可从被动的灾害防御演进为主动的韧性构建。通过将园林绿化作为城乡绿色基础设施与灰色、蓝色基础设施进行系统性整合，并辅以智慧化的预警调控体系，使城市能够更好地适应、缓解和应对未来不确定的极端气候事件，强化了城市生态系统在遭遇冲击后的快速恢复能力，为城乡长期、安全、可持续发展构筑了坚实的生态防线[29]。

傅伯杰等[50]指出生态系统服务是人类从生态系统中所获得的各种的惠益，应遵循从生态系统结构与过程，到功能，再到人类福祉的“级联”框架，系统地揭示价值转化的全过程。基于此，城乡园林绿化生态功能实现过程完整体现了“功能机制-传导路径-福祉效益”逻辑链条。基于该理论框架与机制解析，可进一步推动城乡园林绿化作为生态补偿、碳汇交易、康养旅游和绿色就业等途径的生态价值外溢，生态效益与经济效益相互支撑，将为城乡园林绿化高质量发展提供新的增长点。在此基础上，通过城乡园林绿化直接的自然接触与间接的环境调节相互叠加，使居民在心理、健康与安全层面的收益愈加明显[27]。同时，城乡园林绿化生态功能所产生的经济效益可又反过来驱动环境调节与直接体验效益的优化与融合，共同将生态功能转化为普惠的公共财富和长期福祉。多路径协同的转化机制揭示了生态价值实现的复杂性，深化了对园林绿化生态功能的理解，为城乡园林绿化的高质量发展与综合治理提供了系统性的机制解析。

3 生态功能转化导向下城乡园林绿化高质量发展的实施路径

3.1 多功能协同导向的城乡园林绿化高质量发展建设模式

面对当前城乡绿地增量向存量转变的过程，应着力于强化城乡绿地作为生态基础设施在国土空间修复和城市更新中的重要地位。生态功能转化导向下的城乡园林绿化高质量发展，重点在于推动城乡园林绿化建设模式从功能割裂、目标单一的传统视角，转向以功能协同、系统耦合与动态调节为核心的整体性模式。人类活动与自然环境的动态互动是实现福祉的基础。园林绿化对人类福祉的真正价值来自多种生态系统服务的协同作用与正向耦合。自然对人类健康的影响机制已被证实具有多重性和协同性[51]。多功能协同是绿色基础设施规划的核心原则[28]。因此，城乡园林绿化高质量建设应充分考量其提供的多种生态、社会及经济效益，亟需探索一系列建设模式，以推动其多功能性、协同性和可持续性(图5)。

傅伯杰等[52]指出，生态系统服务之间普遍存在复杂的协同与权衡关系，认知、评估并主动调控这些关系，是实现区域生态可持续性与人类福祉最大化的关键。因此，多功能协同导向下城乡园林绿化高质量发展的核心在于，深刻理解城乡园林绿化对人类健康福祉的影响并非通过单一的线性路径实现，而是经由传导路径、因素网络及动态调节机制等一系列复杂的交互过程而综合体现，同时需要主动管理协同与权衡的关系。如降温和滞尘服务间的协同效应共同塑造了有益于身体健康的物理环境[14,53]，可进一步推动资源节约型、环境友好型园林绿化模式形成。城乡园林绿化生物多样性保育的综合效益体现在微生物群落对免疫系统的调节以及宏观景观对心理的慰藉，跨越生理与心理层面促进健康[54]，为康养、旅游和科普教育等业态融合提供支撑。同时，生物多样性保护和提升离不开公众的广泛参与[55]，应推动居民从“旁观者、受益者”向“实践者、参与者”转变，通过社区共建、生态教育与自然体验等方式增强全民的生态意识和行动力，使生物多样性保护在社会共治和价值共创中实现良性循环。同时，实现协同模式还需要管理手段的现代化转型，城乡园林

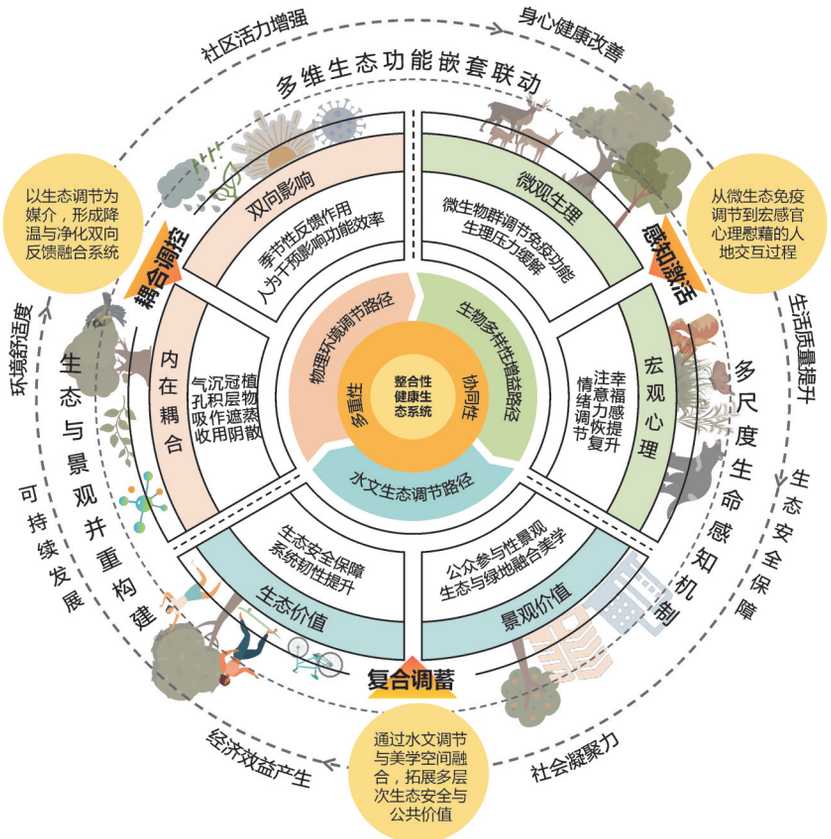


图5　多功能协同导向下的城乡园林绿化高质量发展建设模式

Fig.5　Multi-function synergy-oriented construction mode for the high-quality development of urban-rural landscape greening

绿化降温、滞尘、固碳释氧、释放空气负离子、生物多样性保护与雨洪调节等生态效益均具有动态性、复杂性和空间异质性，难以仅凭经验进行有效管理。随着数字技术的发展，智慧化管理成为贯穿各类生态服务的共同要求，城乡园林绿化的建设和管护还应从“经验管理”向“数据管理”转变，借助物联网传感器网络、遥感监测、植物生理与水文模型、人工智能识别等数字技术，实现对生态服务效益的实时监测、动态评估和精准调控，为城乡园林绿化的高质量发展提供坚实支撑。

城乡园林绿化从“单一功能”到追求“多功能协同”的跨越，其核心目标在于主动培育和增强各项生态服务之间的正向耦合与协同增效关系，其产生的综合健康效益不是各项功能的简单叠加，而是相互催化、彼此增强的系统性效应，将系统推动福祉价值感知的深层实现，即从基础保障到幸福感知赋能的质效跨越，最终为构建“整合性的城市生态系统”提供了坚实的科学依据。

3.2　城乡园林绿化效益实施路径

在深刻认识功能协同、系统耦合是提升城乡园林绿化生态系统服务与人类福祉核心价值基础上，高质量发展亟需从理论认知走向实践建构，系统性地探索和构建能够主动培育、实现并放大协同效应的发展路径。为此，超越传统建设的思维定式，将生态价值的实现贯穿于城乡规划、设计、更新和长期运维的全过程，最终形成“规划引领-过程监测-系统评估-动态管理”的整体路径。

1）规划引领。从源头嵌入协同思维。在具体实践中，需转变规划视角由孤立的绿地建设，提升到对区域整体生态格局的战略性建构。如欧洲 14 个大都市区战略空间的规划实践中均将绿色基础设施视为能够“规范、引导和协调”市级规划的基础性框架并为地方决策提供参考[56]，同时，将城乡园林绿化与生物多样性保护、雨洪管理、污染缓解等多项内容系统协同，作为引导城市生态、社会、经济功能的网络有机布局，可为不同生态功能的耦合与叠加提供物理载体，推动城市多元空间管理边界的融合。这与彭

建等[57]提出的生态安全格局构建理念高度契合，强调在区域尺度上形成人类活动与自然过程协调共存的安全格局，从而为多类型生态系统的稳定供给奠定空间基础。其次，规划须具备“因地制宜”的诊断能力，针对不同地域的气候特征、资源禀赋与社会需求，预判各项生态功能间的潜在协同与权衡关系。具体而言，对于生态资源优势主导的城乡建成环境，可采用“公园 ＋”复合布局模式，以园林绿地系统整合周边土地资源与公共服务设施，顺应居民福祉需求与城市发展导向，强化城乡园林绿化的生态功能场域，进而实现城市品质与居民生活质量的协同提升。对于生态资源存量有限的区域，可采用“＋ 公园”增量优化模式，通过“留白增绿”、见缝插“园”等方式补足生态空间短板，推进城市生态修补。

2)过程监测。全周期保障价值实现。高质量生态系统综合价值的实现需要贯穿全周期的精细化过程管控。传统城市绿地系统规划多属于静态蓝图式[58]，聚焦于单一阶段或静态指标，缺乏全周期动态协同机制探索，难以对规划价值的实现产生有效保障。因此，高质量发展路径需推动管控模式由“静态评估”向“动态调控”转变。实时监测空气污染、温湿度、生物种间互作等核心指标，时空融合土地利用格局、园林绿地现状等要素的变化，构建模型进行预测和调控。推动建立从规划阶段到实施阶段的全周期城市绿地系统评价体系来保障园林绿化的健康稳定发展，有助于实时掌握规划实施情况，及时发现规划问题从而做出调整。如应对极端气候，可结合物种分布模型提取极端气候相关生物气候因子的生态位，面向树种选择和生境优化为缓解城市园林绿化植物气候脆弱性提供指导性策略。针对病虫害问题，可结合乔灌草、乔草、灌草、草地等不同生境飞行性节肢动物的收集、鉴定与分析，建立不同类群飞行性节肢动物适生生境关键阈值与平衡关系，实现生物防治动态调控。在后期管理上，引入“甄别评价”与“适应性管理”理念，通过数字化平台对生态系统的演替过程、服务功能的动态变化进行长期监测与评估，并根据反馈持续优化管理策略，从而确保其生态功能在复杂的现实建设中，随时间推移而稳定发挥并持续增值。

3)系统评估。构建综合效益评价体系。绿地率、绿化覆盖率和人均绿地面积等指标衡量城市园林绿化建设成果的模式遵循的是“物本逻辑”，已不再适应当下人们的多元需求，且无法有效预估协同效应产生的综合价值。谢高地等[59]强调生态系统的真正价值并不取决于其物质存量本身，而在于其持续提供与人类福祉密切相关的生态系统服务。因此，基于系统评估构建多维度的综合效益评价体系，并推动评价范式从“生态资源数量”向“生态服务效益”、从“空间供给导向”向“需求响应导向”的深刻转型，将显得十分重要[60]。城市居民的福祉需求是一个复杂且多维的系统，涵盖了从最基础的生命安全与健康保障，到满足社会互动、心理慰藉、精神连接、文化认同，再到提供多样化的休闲娱乐以及确保公平获取等多层次、多方面的诉求。深刻理解、系统梳理并有效平衡这些交织互动的福祉需求，是构建科学、全面的城乡园林绿化综合效益评价体系时考虑的核心问题与根本出发点。在此系统评估框架中，生态效益是基础支撑，是所有福祉需求的物质载体与环境前提。健康的生态系统直接或间接地支撑着空气净化、水源涵养、灾害缓冲、生物栖息地提供等基础功能，是保障生命安全、环境健康，以及更高层次精神文化需求的基石。公共健康效益、社会文化效益、间接经济效益是优化导向，是生态效益服务于人类福祉的具体体现和价值转化。该综合效益评价体系的核心任务，正是通过科学的指标和方法，系统评估城乡绿地在提供生态支撑的基础上，如何协同增效地满足居民在健康、社会文化、经济等层面的多元化福祉需求，从而全面衡量其综合效益。

4)动态管理。打破壁垒形成发展合力。生态系统的整体性与行政管理的分割性之间存在天然矛盾。面对复杂的土地权属、紧缩的财政和多元的社会需求，传统的规划模式已难以应对。为此，在高质量园林绿化建设过程中应引导向治理培育转变，注重多元主体参与和长效机制构建[61]，推动项目共建、信息共享、效益共评。依托移动信息技术、物联网、地理信息系统及大数据分析技术，构建一体化管理服务平台，实现园林绿化全业务流程的数字化管控、服务功能的集成化整合与数据库资源的实时化监控，从而形成覆盖“管理-服务-监测”的闭环体系。高吉喜等[62]指出，依托监管平台实现对生态状况的实时监测与信息更新，可进一步提升治理体系的科学性与协同性。因此，聚焦以各项生态价值指标、空间地理信息等为基础的可视化调度机制，将进一步实现管护资源与人员的动态定位与高效调配。同时，强化公众参与机制，将居民的实际需求和体验融入

规划与管理的全过程；提升园林绿化建设互动式体验功能，增强市民参与园林绿化管理的便捷性与主动性，将形成覆盖园林绿化规划、建设、管护、监测、服务全流程的智慧化解决方案。

4　讨　论

城乡区域社会经济的发展与自然系统相互依赖，城乡园林绿化能够为居民提供多种生态系统服务，从而促进城乡的可持续发展。面对日益严峻的城乡生态环境挑战，推动城乡园林绿化向高质量发展转型已成为核心命题。因此，城乡园林绿化的建设与管理将建立于发展最优系统等相关理论，否则其产出将比预期小得多，尤其对经济欠发达地区更为明显。因此，维护城乡绿地生态系统服务的完整性将成为自然系统可持续管理中的主要挑战。本研究采用Citespace文献计量和知识图谱分析，系统梳理了城乡园林绿化生态功能转化的关键研究焦点，明确了以生态价值外释与人类福祉增进为核心的综合性体系，构建了“功能机制-传导路径-福祉效益”理论框架，揭示了城乡园林绿化从生态功能到人类福祉的价值转化全过程，从城市绿地生态系统环境友好直接关联的空气污染、热环境、生物种间关系等方面，建立多功能协同的城市园林绿化高质量发展共适性建设模式，将着力深化福祉效益转化机制，即推动人类福祉从基础保障向感知增益的深层实现，促进城市园林绿化从绿量向绿质、融绿、人本转变，为城乡园林绿化的高质量建设形成有力支撑。最后，建立“规划引领-过程监测-系统评估-动态管理”的实施路径，可为生态价值转化导向下的城乡园林绿化高质量发展提供理论参考和实践指引。

参考文献 References

[1] COHEN-SHACHAM E, WALTERS G, JANZEN C, et al. Nature-based solutions to address global societal challenges [M]. Gland, Switzerland: International Union for Conservation of Nature, 2016.

[2] VENTER Z S, HASSANI A, STANGE E, et al. Reassessing the role of urban green space in air pollution control [J/OL]. PANS, 2024, 121(6): e2306200121 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1073/pnas.2306200121.

[3] ZHANG X G, HUANG H S, TU K, et al. Effects of plant community structural characteristics on carbon sequestration in urban green spaces [J/OL]. Scientific reports, 2024, 14: 7382 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1038/s41598-024-57789-2.

[4] ROBINSON J M, CANDO-DUMANCELA C, ANTWIS R E, et al. Exposure to airborne bacteria depends upon vertical stratification and vegetation complexity [J/OL]. Scientific reports, 2021, 11: 9516 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1038/s41598-021-89065-y.

[5] HERATH P, BAI X M. Benefits and co-benefits of urban green infrastructure for sustainable cities: six current and emerging themes [J]. Sustainability science, 2024, 19(3): 1039-1063.

[6] SILVA V H D, GOMES I N, BOSENBECKER C, et al. One for all, all for one? pollinator groups differ in diversity and specialization of interactions across urban green spaces [J/OL]. Landscape and urban planning, 2025, 259: 105361 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2025.105361.

[7] HALECKI W, STACHURA T, FUDAŁA W, et al. Assessment and planning of green spaces in urban parks: a review [J/OL]. Sustainable cities and society, 2023, 88: 104280 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104280.

[8] LIU O Y, RUSSO A. Assessing the contribution of urban green spaces in green infrastructure strategy planning for urban ecosystem conditions and services [J/OL]. Sustainable cities and society, 2021, 68: 102772 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102772.

[9] FERZOCO I M C, MCCAULEY S J. Novel habitats for biodiversity? a systematic review and meta-analysis of freshwater biodiversity in stormwater management ponds [J/OL]. Science of the total environment, 2024, 942: 173467 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173467.

[10] SAGRELIUS P Ö, BLECKEN G, HEDSTRÖM A, et al. Sustainability performance of bioretention systems with various designs [J/OL]. Journal of environmental management, 2023, 340: 117949 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117949.

[11] PILLE L, SÄUMEL I. The water-sensitive city meets biodiversity: habitat services of rain water management measures in highly urbanized landscapes [J/OL]. Ecology and society, 2021, 26(2): 23 [2025-09-14]. https://doi.org/10.5751/ES-12386-260223.

[12] GODDARD M A, DOUGILL A J, BENTON T G. Scaling up from gardens: biodiversity conservation in urban environments [J]. Trends in ecology & evolution, 2010, 25(2): 90-98.

[13] TZOULAS K, KORPELA K, VENN S, et al. Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure: a literature review [J]. Landscape and urban planning, 2007, 81(3): 167-178.

[14] GROTE R, SAMSON R, ALONSO R, et al. Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential [J]. Frontiers in ecology and the environment, 2016, 14(10): 543-550.

[15] ARMSON D, STRINGER P, ENNOS A R. The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK [J]. Urban forestry & urban greening, 2013,

12(3):282-286.

[16] NGHIEM T P L, WONG K L, JEEVANANDAM L, et al. Biodiverse urban forests, happy people: experimental evidence linking perceived biodiversity, restoration, and emotional wellbeing[J/OL]. Urban forestry & urban greening, 2021, 59: 127030 [2025-09-14].https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127030.

[17] FISHER J C, IRVINE K N, BICKNELL J E, et al. Perceived biodiversity, sound, naturalness and safety enhance the restorative quality and wellbeing benefits of green and blue space in a neotropical city [J/OL]. Science of the total environment, 2021, 755: 143095 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143095.

[18] METHORST J, BONN A, MARSELLE M, et al. Species richness is positively related to mental health: a study for Germany [J/OL]. Landscape and urban planning, 2021, 211: 104084 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104084.

[19] FULLER R A, IRVINE K N, DEVINE-WRIGHT P, et al. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity [J]. Biology letters, 2007, 3(4): 390-394.

[20] LI K, LI X F, YAO K J, et al. Outdoor thermal environments of main types of urban areas during summer: a field study in Wuhan, China[J/OL]. Sustainability, 2022, 14(2): 952[2025-09-14].https://doi.org/10.3390/su14020952.

[21] MA S, ZHOU S, YU B F, et al. Deforestation-induced runoff changes dominated by forest-climate feedbacks [J/OL]. Science advances, 2024, 10 (33): eadp3964 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1126/sciadv.adp3964.

[22] WANG M L, QIN M, XU P J, et al. Atmospheric particulate matter retention capacity of bark and leaves of urban tree species[J/OL]. Environmental pollution, 2024, 342: 123109[2025-09-14].https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123109.

[23] CRAVEN D, EISENHAUER N, PEARSE W D, et al. Multiple facets of biodiversity drive the diversity - stability relationship[J]. Nature ecology & evolution, 2018, 2(10): 1579-1587.

[24] ROBINSON J M, BREED A C, CAMARGO A, et al. Biodiversity and human health: a scoping review and examples of underrepresented linkages [J/OL]. Environmental research, 2024, 246: 118115 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118115.

[25] FOLEY R, KISTEMANN T. Blue space geographies: Enabling health in place[J]. Health & place, 2015, 35: 157-165.

[26] SUN M K, BAO Y Y. Effects of reflecting water on viewers' visual attention, spatial perception, and emotional responses: a case study in Chinese heritage garden[J/OL]. NPJ heritage science, 2025, 13: 26 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1038/s40494-025-01650-w.

[27] ULLAH A. Forest landscape restoration and its impact on social cohesion, ecosystems, and rural livelihoods: lessons learned from Pakistan[J/OL]. Regional environmental change, 2024, 24 (1): 26 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1007/s10113-024-02198-4.

[28] ALVES A, VAN OPSTAL C, KEIJZER N, et al. Planning the multifunctionality of nature-based solutions in urban spaces [J/OL]. Cities, 2024, 146: 104751[2025-09-14]. https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104751.

[29] ENGEN S, HAUSNER V H, GURNEY G G, et al. Blue justice: a survey for eliciting perceptions of environmental justice among coastal planners' and small-scale Fishers in Northern-Norway[J/OL]. PLoS One, 2021, 16(5): e0251467[2025-09-14].https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251467.

[30] ZHOU T T, JIA W X, YAN L, et al. Urban park's vertical canopy structure and its varied cooling effect under continuous warming climate [J/OL]. Urban climate, 2024, 53: 101819 [2025-09-14].https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.101819.

[31] NOROUZI M, CHAU H W, JAMEI E, et al. Design and site-related factors impacting the cooling performance of urban parks in different climate zones: a systematic review [J/OL]. Land, 2024, 13 (12): 2175 [2025-09-14]. https://doi.org/10.3390/land13122175.

[32] HUNTER R F, NIEUWENHUIJSEN M, FABIAN C, et al. Advancing urban green and blue space contributions to public health[J]. The lancet public health, 2023, 8(9): e735-e742.

[33] MARSELLE M R, HARTIG T, COX D T C, et al. Pathways linking biodiversity to human health: a conceptual framework [J/OL]. Environment international, 2021, 150: 106420[2025-09-14].https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106420.

[34] ZHANG B J, ZHOU Y, PAWEŁKOWICZ M, et al. A comparative study of foliar particulate matter wash-off from plants under natural and simulated rain conditions [J/OL]. Scientific reports, 2024, 14: 28409 [2025-09-14]. https://doi.org/10.1038/s41598-024-80071-4.

[35] ZHANG M F, LIU N, HARPER R, et al. A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: importance of scale, climate, forest type and hydrological regime[J]. Journal of hydrology, 2017, 546: 44-59.

[36] 王萌茜,侯东瑞,武静,等.蓝绿协同视角下武汉南湖汇水分区绿地削减雨水径流效应特征与情景模拟[J].华中农业大学学报,2024,43(6):171-181. WANG M X, HOU D R, WU J, et al. Characteristics and scenario simulation of rainwater runoff effect reduction in urban catchment zoning green space from perspective of blue-green synergy: in case of South Lake of Wuhan [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2024, 43(6): 171-181(in Chinese with English abstract).

[37] 赵士洞,张永民.生态系统与人类福祉:千年生态系统评估的成就、贡献和展望[J].地球科学进展,2006,21(9):895-902. ZHAO S D, ZHANG Y M. Ecosystems and human well-being: the achievements, contributions and prospects of the millennium ecosystem assessment[J]. Advances in earth science, 2006, 21(9): 895-902(in Chinese with English abstract).

[38] 徐炜，马志远，井新，等.生物多样性与生态系统多功能性：进展与展望[J].生物多样性，2016，24(1)：55-71. XU W，MA Z Y，JING X，et al.Biodiversity and ecosystem multifunctionality：advances and perspectives[J].Biodiversity science，2016，24(1)：55-71(in Chinese with English abstract).

[39] ISBELL F，CALCAGNO V，HECTOR A，et al.High plant diversity is needed to maintain ecosystem services[J].Nature，2011，477(7363)：199-202.

[40] 李晓文，胡远满，肖笃宁.景观生态学与生物多样性保护[J].生态学报，1999，19(3)：399-399. LI X W，HU Y M，XIAO D N.Landscape ecology and biodiversity protection[J].Acta ecologica sinica，1999，19(3)：399-399.

[41] HOOPER D U，CHAPIN III F S，EWEL J J，et al.Effects of biodiversity on ecosystem functioning：a consensus of current knowledge[J].Ecological monographs，2005，75(1)：3-35.

[42] HECTOR A，BELL T，CONNOLLY J，et al.The analysis of biodiversity experiments：from pattern toward mechanism[M]//NAEEM E B S，BUNKER D E，HECTOR A，et al.Biodiversity，ecosystem functioning，and human wellbeing.Oxford：Oxford University Press，2009：94-104.

[43] 韩佳璇.城市湖泊公园鸟类群落及其多样性研究[D].武汉：华中农业大学，2024. HAN J X.Bird communities and diversity of ubran lake parks[D].Wuhan：Huazhong Agricultural University，2024(in Chinese with English abstract).

[44] 孟令爽，康宁，宫宸，等.生物多样性水平对心理健康与福祉的影响系统性综述[J].中国园林，2022，38(11)：82-87. MENG L S，KANG N，GONG C，et al.Systematic review on the effect of levels of biodiversity on psychological health and wellbeing[J].Chinese landscape architecture，2022，38(11)：82-87(in Chinese with English abstract).

[45] VARENTSOV M，VASENEV V，DVORNIKOV Y，et al.Does size matter? modelling the cooling effect of green infrastructures in a megacity during a heat wave[J/OL].Science of the total environment，2023，902：165966 [2025-09-14].https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165966.

[46] YU Z W，YANG G Y，ZUO S D，et al.Critical review on the cooling effect of urban blue-green space：a threshold-size perspective[J/OL].Urban forestry & urban greening，2020，49：126630 [2025-09-14].https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126630.

[47] ULRICH R S.Aesthetic and affective response to natural environment[M]//ALTMAN I，WOHLWILL J F.Behavior and the natural environment.Boston，MA：Springer US，1983：85-125.

[48] KAPLAN S.The restorative benefits of nature：toward an integrative framework[J].Journal of environmental psychology，1995，15(3)：169-182.

[49] 张永民，赵士洞.千年生态系统评估项目的后续计划：将知识转化为行动的全球战略[J].自然资源学报，2010，25(3)：522-528.ZHANG Y M，ZHAO S D.The millennium ecosystem assessment follow-up：a global strategy for turning knowledge into action[J].Journal of natural resources，2010，25(3)：522-528(in Chinese with English abstract).

[50] 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[J].生态学报，2017，37(2)：341-348. FU B J，YU D D，LÜ N.An indicator system for biodiversity and ecosystem services evaluation in China[J].Acta ecologica sinica，2017，37(2)：341-348(in Chinese with English abstract).

[51] HARTIG T，MITCHELL R，DE VRIES S，et al.Nature and health[J].Annual review of public health，2014，35：207-228.

[52] 傅伯杰，于丹丹.生态系统服务权衡与集成方法[J].资源科学，2016，38(1)：1-9. FU B J，YU D D.Trade-off analyses and synthetic integrated method of multiple ecosystem services[J].Resources science，2016，38(1)：1-9(in Chinese with English abstract).

[53] CAO W，ZHOU W，YU W D，et al.Combined effects of urban forests on land surface temperature and $PM_{2.5}$ pollution in the winter and summer[J/OL].Sustainable cities and society，2024，104：105309[2025-09-14].https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105309.

[54] SUN X，LIDDICOAT C，TIUNOV A，et al.Harnessing soil biodiversity to promote human health in cities[J/OL].NPJ urban sustainability，2023，3：5[2025-09-14].https://doi.org/10.1038/s42949-023-00086-0.

[55] MARSELLE M R，LINDLEY S J，COOK P A，et al.Biodiversity and health in the urban environment[J].Current environmental health reports，2021，8(2)：146-156.

[56] GRĂDINARU S R，HERSPERGER A M.Green infrastructure in strategic spatial plans：evidence from European urban regions[J].Urban forestry & urban greening，2019，40：17-28.

[57] 彭建，姜虹，徐冬梅，等.区域生态安全格局构建与优化[M].北京：科学出版社，2023. PENG J，JIANG H，XU D M.Construction and optimization of regional ecological security pattern[M].Beijing：Science Press，2023(in Chinese).

[58] 汤大为，韩若楠，张云路.面向国土空间规划的城市绿地系统规划评价优化研究[J].城市发展研究，2020，27(7)：55-60. TANG D W，HAN R N，ZHANG Y L.Research on evaluation and optimization of urban green space system planning oriented to land and space planning[J].Urban development studies，2020，27(7)：55-60(in Chinese with English abstract).

[59] 谢高地，张彩霞，张昌顺，等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学，2015，37(9)：1740-1746. XIE G D，ZHANG C X，ZHANG C S，et al.The value of ecosystem services in China[J].Resources science，2015，37(9)：1740-1746(in Chinese with English abstract).

[60] 于镇涛，陶楠.回应人本需求的中国城市游憩绿地布局研究进展、体系构建与前瞻[J].风景园林，2025，32(11)：79-89. YU Z T，TAO N.Research progress，system construction and prospect of urban recreational green space layout in response to human-oriented demands in China[J].Landscape architecture，2025，32(11)：79-89(in Chinese with English abstract).

[61] 周聪惠,宋銮鑫.城市收缩背景下绿地规划的关键问题及工作框架研究[J/OL].国际城市规划,2025:1-15[2025-09-14].https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=GWCG202505190018&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ.
ZHOU C H,SONG L X.Key issues and working framework of green space planning at the background of city shrinkage[J/OL].Urban planning international,2025:1-15[2025-09-14].https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?filename=GWCG202505190018&dbname=CJFD&dbcode=CJFQ (in Chinese with English abstract).

[62] 高吉喜,翟俊,高海峰,等.生态保护修复监管现状与强化对策建议[J].环境保护,2023,51(18):26-30. GAO J X,ZHAI J,GAO H F,et al.Suggestions and current status of supervision on ecological conservation and restoration[J].Environmental protection,2023,51(18):26-30(in Chinese with English abstract).

High-quality development path of urban-rural greening guided by transformation of ecological function

SUN Yifan,NA Yueqi,MA Haitao,ZHU Chunyang

College of Horticulture and Forestry Sciences,Huazhong Agricultural University,Wuhan 430070,China

Abstract A knowledge graph analysis was conducted on 4 160 journal articles retrieved under the topic of high-quality development of urban-rural greening guided by the transformation of ecological function from 2005 to 2025 to elucidate the high-quality development of urban-rural greening and the implementation path within the context of Ecological Civilization Initiative in China. The connection and integration relationship between the functional mechanisms-transmission pathways-welfare benefits during the high-quality development of urban-rural greening was systematically combed. The results showed that the essence of high-quality development path of urban-rural greening under the guidance of the transformation of ecological function is a process of the complete transformation of multi-level human welfare covering the individual health, community vitality, and sustainable development of urban through a series of complex biophysical processes mediated by specific effects of environment. A multi-functional synergy model for the high-quality development of urban-rural greening was proposed based on the externalization and transformation of ecological function to focus on deepening the mechanism for transforming welfare benefits, promoting the deep realization of human welfare from basic guarantees to perceptual gains. A multi-dimensional implementation path of "planning guidance-process monitoring-systematic evaluation-dynamic management" was established to strengthen the resilience of ecosystem services in urban-rural greening. The transformation of urban- rural greening from green quantity to green quality, integrated green, and people-oriented will be promoted on the basis of the synergistic enhancement and dynamic feedback of ecological functions to continuously advance the implementation of the major strategies of constructing ecological civilization and developing with high-quality.

Keywords landscape greening; high-quality development; integration of urban-rural greening; ecological function; implementation path

(责任编辑:陆文昌)