

DOI: 10.20103/j.stxb.202312062653

陈利顶, 孙然好, 孔繁花, 张志明, 肖荣波, 白伟岚, 孙涛. 城市社区生态功能提升与智慧管理技术研发及示范. 生态学报, 2025, 45(10): 4591-4598.
Chen L D, Sun R H, Kong F H, Zhang Z M, Xiao R B, Bai W L, Sun T. Research and demonstration on ecological function improvement and intelligent management technologies in urban community. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(10): 4591-4598.

城市社区生态功能提升与智慧管理技术研发及示范

陈利顶^{1,2,4,*}, 孙然好^{1,2}, 孔繁花³, 张志明⁴, 肖荣波⁵, 白伟岚⁶, 孙涛¹

1 中国科学院生态环境研究中心区域与城市生态安全全国重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023

4 云南大学生态与环境学院, 昆明 650500

5 广东财经大学地理与环境经济学院, 广州 528100

6 中国城市建设研究院有限公司, 北京 100120

摘要: 社区作为城市居民生活和社会治理的基本单元, 是满足城市居民日常生活需求、实现城市健康发展的重要载体。快速城市化将会导致生态用地流失、热岛效应增强、内涝风险加剧、生物多样性下降、致敏性植物花粉增多等突出问题, 辨识城市社区生态空间演变特征及其关键影响因素, 研发城市社区更新过程中生态功能提升关键技术和模式, 对于改善城市人居环境质量、提升生态系统服务能力具有重要意义。研究拟围绕城市社区空间格局-过程及其与生态功能耦合机理, 以及城市社区三维景观格局对水热过程、植物花粉传播、生物多样性维持的影响机制等关键科学问题, 开展以下重点研究: 1) 辨识我国不同生态类型区城市社区空间特征及其存在的问题, 阐明城市社区空间格局-过程-服务的耦合机理; 2) 研发水热过程协同和致敏性植物花粉防控的三维景观优化配置与友好环境空间营造技术, 开发生物多样性监测技术与生态功能智慧管理平台; 3) 集成城市社区生态功能提升技术, 开展典型城市社区生态更新与管理技术示范与应用。研究成果将为宜居、韧性、智慧城市建设提供科学依据和技术支持。

关键词: 城市社区; 水热协同; 致敏性植物花粉; 三维景观格局; 友好环境空间; 智慧监测与管理

Research and demonstration on ecological function improvement and intelligent management technologies in urban community

CHEN Lidong^{1,2,4,*}, SUN Ranhao^{1,2}, KONG Fanhua³, ZHANG Zhiming⁴, XIAO Rongbo⁵, BAI Weilan⁶, SUN Tao¹

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

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China

4 School of Ecology and Environment, Yunnan University, Kunming 650500, China

5 School of Geography & Environmental Economics, Guangdong University of Finance & Economics, Guangzhou 528100, China

6 China Academy of Urban Planning & Design Co., Ltd., Beijing 100120, China

Abstract: As the fundamental spatial unit of daily life and social governance for urban residents, the urban community plays a crucial role in shaping the quality of life and promoting sustainable urban development. It serves as an essential carrier for meeting human needs, fostering social interactions, and ensuring the healthy and sustainable growth of cities. However, with the rapid pace of urbanization, significant environmental challenges have emerged, including the loss of

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFF1303100)

收稿日期: 2023-12-06; 采用日期: 2025-03-11

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

ecological land, the intensification of the urban heat island effect, an increased risk of waterlogging, a decline in biodiversity, and the spread of allergenic plant pollen. These issues not only degrade urban living environments but also pose serious threats to public health and ecosystem stability. Given these pressing challenges, it is imperative to thoroughly investigate the changes in green infrastructure within urban communities and to identify the key driving factors influencing these changes. Understanding these dynamics will help in the development of effective strategies for improving urban living environments and enhancing ecosystem services. This study aims to explore the complex interactions between landscape patterns, ecological processes, and ecosystem services in urban communities. Specifically, it seeks to uncover the coupling mechanisms between 3-D landscape patterns and critical ecological processes such as hydrothermal regulation, allergenic plant pollen transmission, and biodiversity maintenance. The primary objectives of this study are as follows: To analyze the spatial characteristics of urban communities in different ecological regions across China and to investigate the intricate relationships between landscape patterns, ecological processes, and ecosystem services. By doing so, we aim to establish a scientific foundation for urban ecological research and planning. To develop innovative technologies for optimizing 3-D landscape patterns and creating environmentally friendly urban spaces. This includes designing solutions for hydrothermal balance, mitigating allergenic plant pollen dispersion, and advancing intelligent monitoring systems for biodiversity conservation and ecosystem service management. To implement and demonstrate urban community renewal and management strategies by integrating ecosystem service improvement technologies in typical urban communities. Through pilot projects and case studies, we seek to provide scalable and practical models for sustainable urban development. By addressing these objectives, this study aspires to contribute to the advancement of urban ecological science and the implementation of sustainable urban planning practices. The findings will not only support the creation of healthier and more resilient urban communities but also offer valuable insights for policymakers, urban planners, and environmental scientists. Ultimately, by integrating ecological principles into urban development, we can foster a more harmonious relationship between urbanization and nature, ensuring a sustainable and livable future for all.

Key Words: urban community; hydro-thermal coordinated development; allergic plant pollen; 3-D landscape pattern; friendly environmental space; intelligent monitoring and management

社区是城市有机体的基本单元,是实现城市健康与可持续发展的重要保障。一般认为:城市社区的空间范围是指居民 15min 的生活圈及其邻里空间,是满足城市居民日常生活基本需求和实现社会本地化治理与管理的基本单元。社区也是实现城市生态系统服务供需平衡、提升居民福祉的基本评价单元,通过建设宜居和弹性社区,从空间上形成有机的网络体系,实现韧性城市建设和健康发展。然而在全球气候变化和高强度人类活动共同影响下,城市生态用地流失和生物多样性下降导致热岛效应增强、热射病频发、城市内涝加剧、致敏性植物花粉增多等突出问题,直接影响到城市社区生态系统服务与居民福祉^[1-2]。与此同时,城市社区人居环境质量较差、公共设施不完善、智能化信息水平不高以及管理机制不健全等问题,严重制约了社区治理和老旧社区更新改造^[3]。

到 2035 年,我国将有 70% 的人口生活在城市,人民群众对宜居生活环境的要求也将不断提升^[4]。但在过去 40 多年的快速城市化历程中,老旧社区的生态要素配置及生态系统服务供需缺乏考虑,无法满足居民对宜居生活环境的迫切需求。现有研究中,主要根据城市社区所处的地理位置和生态环境现状特征,通过闲置用地优化、社区空间扩容、现有设施更新等手段提升老旧社区的便利性和生活功能;但对于城市社区生态功能的形成机理及其与空间格局的关系关注不够。因此,如何通过社区三维景观格局优化提升生态系统服务、有效缓解城市热岛、内涝,以及致敏性植物花粉发生的风险是目前亟待解决的关键科学问题和技术难点。

1 研究现状与特点

1.1 水热协同与景观格局优化配置

近年来,基于自然的解决方案提升城市社区水文调控功能、改善微气候与热舒适性的研究不断增多,特别

是基于生态系统适应性方法 (Ecosystem-based Adaptation, EbA)^[5]、近自然治理 (Natural-based Solution, NbS)^[6-7] 以及长期示范监测 (Urban Long-term Research Areas, ULTRA) 等手段^[8], 已经成为提升城市生态功能的重要举措^[9]。但由于城市下垫面类型、建筑材质、地形与气候等环境因素差异, 以及不同社会群体户外活动与绿地使用需求差异, 致使现有城市社区生态系统服务供需失衡。目前关于城市社区水热环境调控的研究多集中于二维空间和宏观尺度, 涉及到的指标较为单一, 且缺乏考虑社会、生态系统服务需求与绿地生态系统服务在不同空间尺度上的供需, 而面向城市社区水热过程协同调控与生态系统服务综合提升的三维景观优化配置研究则更为少见^[10-11]。因而, 阐明城市社区三维景观格局对水热过程的影响机理, 研发基于绿地供需关系与水热过程协同调控的城市社区三维景观优化配置技术, 探寻多目标不同情景下典型社区三维景观优化配置方案, 将是增强城市社区应对气候变化的韧性、实现可持续发展目标亟需解决的重要科学技术难题。

1.2 城市致敏性植物花粉防控与宜居社区建设

城市绿地在提供生态系统服务时, 亦会产生不利的服务。研究发现约 30% 的城市人口目前遭受致敏性植物花粉的困扰, 严重影响了社区环境质量和人群健康^[12]。不合理的城市绿化树种选择和群落配置, 以及气候变化、空气污染和热岛效应等, 进一步加剧了致敏性植物花粉对社区人群健康的影响^[13-14]。近年来, 针对致敏性植物花粉来源、空间扩散特征和监测开展了较多研究^[15-16]。研究发现对人体健康有显著影响的致敏性花粉植物多达 400 余种, 这些植物致敏率高、花粉数量大、传播范围广, 其中有很多是城市园林绿化的常见树种^[17-18]。这些树种在城市绿化中的不当使用成为城市致敏性花粉的重要来源^[15], 如: 在全球城市广泛栽种的行道树悬铃木就是一种有重要影响的致敏花粉源植物^[19]。与此同时, 不合理的城市社区空间布局也增加了致敏性植物花粉的暴露时间和空间传播范围, 成为导致城市致敏性植物花粉严重的重要原因^[15-16]。当前主要花粉防控措施包括: 减少致敏性植物使用、降尘增湿、提高物种多样性、花粉实时监测与预警等^[20]。在防控技术方面主要包括利用图像识别技术实现致敏花粉的实时鉴定^[21-22], 以及利用雷达图像与建模对花粉致敏风险评估^[23]。但在致敏性植物花粉防控中仍然存在以下三个突出问题: 一是缺乏对植物花粉传播过程、扩散机理及其影响因素的准确解析, 难以从花粉传播的空间路径上制定有针对性防控措施; 二是缺乏针对不同致敏性植物花粉的城市社区防控技术指导, 降低居民对致敏性植物花粉的暴露风险; 三是环境友好型社区构建重视景观观赏度, 而忽略致敏性植物花粉对人群健康的困扰。为了提高城市社区人居环境质量、保障居民身心健康, 亟需通过解析致敏性植物花粉的“源-流-汇”特征, 研发适合城市社区的致敏性植物花粉防控技术和适宜策略。

1.3 城市社区功能评估与老旧社区更新改造

城市社区功能的准确评估直接影响到社区更新与改造, 但目前针对城市社区功能的评估和监测仍然十分欠缺, 尤其是针对城市社区尺度的生态要素监测技术与生态系统服务评估方法薄弱, 且与社区人类生态服务需求和福祉相脱节。随着卫星、无人机遥感监测、地面定位观测技术的迅速发展, 生态环境监测已逐渐从分散封闭向多要素天地空一体化监测转变。自 20 世纪 80 年代起, 我国陆续建立了中国生态系统研究网络 (CERN)、中国生物多样性监测与研究网络 (Sino BON) 和中国生物多样性观测网络 (China BON) 等, 形成了一系列生态监测领域相关技术标准。基于以上监测技术成果, 利用 XGBoost 等集成深度学习模型, 融合多源卫星遥感数据和地面监测数据, 形成高分辨率数据集, 进一步构建社区尺度生物多样性监测与生态系统服务评估指标体系, 集成物联网、图像识别、声纹智能识别及模型模拟等技术, 实现城市社区生物多样性精细化监测与自动化监管, 从而推动城市社区生态空间治理由理论探索迈向实践应用^[24-25]。目前, 我国老旧社区更新改造由城建部门主导, 尤为强调城市居民的日常生活需求和社会保障功能; 无论是联合国环境署 (UNEP), 还是欧美等发达国家, 均把提升城市社区的生态功能作为重要发展方向, 对此我国也先后提出了创建绿色社区、健康社区、低碳社区等^[26-27]。将生态融入城市、实现城市社区生态化改造已经成为全社会的普遍共识^[28-29]。因此, 梳理城市社区生态系统服务供需及其尺度关联特征, 探讨从生态系统服务需求出发的关键指标体系和数据获取技术, 以及城市社区更新改造过程中生态功能的量化指标, 将成为目前亟待研究的新课题和技术难点^[30-31]。

2 总体思路与研究重点

2.1 总体思路

目前,我国城市社区更新改造侧重于生活功能改善、社区海绵化改造、花园式社区建设、关注单一生态功能与服务研究,由此导致格局-过程-服务相脱节,社会需求与生态服务供给缺乏协同,理论与实践衔接不紧密。在此背景下,亟需耦合社会需求与生态系统服务供给,开发适用我国老旧社区生态更新-监测评估-智慧管理的技术体系。针对上述问题,本研究以典型城市社区为研究对象,基于“格局-过程-服务”关联机制,揭示不同类型城市社区生态系统服务与人居环境需求的关系;以社会-经济-自然复合生态系统理论为指导,研发面向水热过程协同调控、致敏性植物花粉防控、生态服务供需相匹配的友好环境空间营造和三维景观优化配置技术;研发基于人工智能-声纹识别-大数据挖掘的城市社区生物多样性监测技术与生态功能智慧管理平台。在此基础上,选择典型城市社区开展生态功能提升技术集成与应用示范,编制老旧社区生态更新与管理技术规程,为提升城市社区生态功能、构建和谐社会和生态文明建设提供科学支持。

该项研究具有以下突出特点:(1)综合多生态要素与生态过程,研发城市社区景观优化配置技术。从城市空间格局-过程耦合出发,综合考虑城市降雨-产流过程、水热协同过程、植物花粉空间传播过程等不同要素和不同过程的耦合作用机理,研发三维绿地景观优化配置与友好环境空间营造技术。(2)耦合社会需求与生态系统服务供给,研发城市社区生态更新与功能提升技术。面向城市社区生态更新国家需求,既重视社区绿地景观和人体健康的社会需求,也考虑微气候调节、水文调蓄以及生物多样性维持等生态功能,构建友好环境空间,提升社区生态系统服务能力。(3)融合声纹识别、人工智能等新技术,研发城市社区生物多样性监测与生态功能智慧评价技术。集成应用声纹识别、环境物联网以及机器学习等技术,研发社区生物多样性智能精准识别与评估技术,为科学准确评价城市社区生态功能提供技术手段。

本研究通过耦合格局-过程-服务机理,将多要素-多过程相关联,创新运用声纹/图像识别方法,从问题诊断,到技术研发、示范应用,重点开展城市社区空间格局-过程-服务耦合机理、水热过程协同调控与三维景观优化配置、致敏性植物花粉防控与友好环境空间营造、生物多样性与生态系统服务智慧监管技术研究,以及城市社区生态功能技术集成与示范。研究的技术路线如图 1 所示。

2.2 研究重点

本研究主要包括以下五个方面的研究内容。

(1)城市社区格局-过程-服务耦合机理。选择我国 30—50 个典型城市社区,基于多源遥感影像解译和实地监测,解析我国不同建筑气候区城市社区主导类型及其空间格局演变特征;揭示城市社区空间格局、过程与生态系统服务的关联特征及其形成机制;基于社区关键生态过程和典型人类活动耦合分析,辨识不同气候背景社区主要生态环境问题,构建城市人居环境健康诊断模型;基于源-流-汇景观模型和生态系统服务权衡模型,从社区服务的时空格局优化、生态功能提升和韧性管控体系层面,分析不同建筑气候区城市生态系统服务提升潜力。研究内容包括:城市社区空间格局演变及分类指标体系、人居环境健康与问题诊断技术、生态系统服务供需与提升潜力。

(2)城市社区水热过程调控与三维景观优化配置。针对城市生态用地不足、城市内涝频发、热舒适度下降、生态系统服务供需失衡等突出问题,基于高分、热红外与高光谱遥感、无人机与 LiDAR、社会经济等多源数据,结合实地调查与水热环境定点观测,阐明典型城市社区三维景观格局对水热过程的影响机理,从时空量构序角度探讨城市社区景观定量测度方法,结合源-流-汇景观格局分析和水流路径识别,研发城市社区水文调控功能提升和微气候与热舒适度改善技术,以及基于水热过程协同调控的城市社区三维景观优化配置技术;在此基础上,形成城市社区水热过程协同调控与生态系统服务优化提升的技术方法体系。研究内容包括:城市社区三维景观时空量构序测度技术、基于源-流-汇景观的城市社区水文过程调控功能提升技术、基于三维景观模型构建的城市社区微气候与热舒适度改善技术、基于水热过程协同调控的城市社区三维景观优化配置技术。

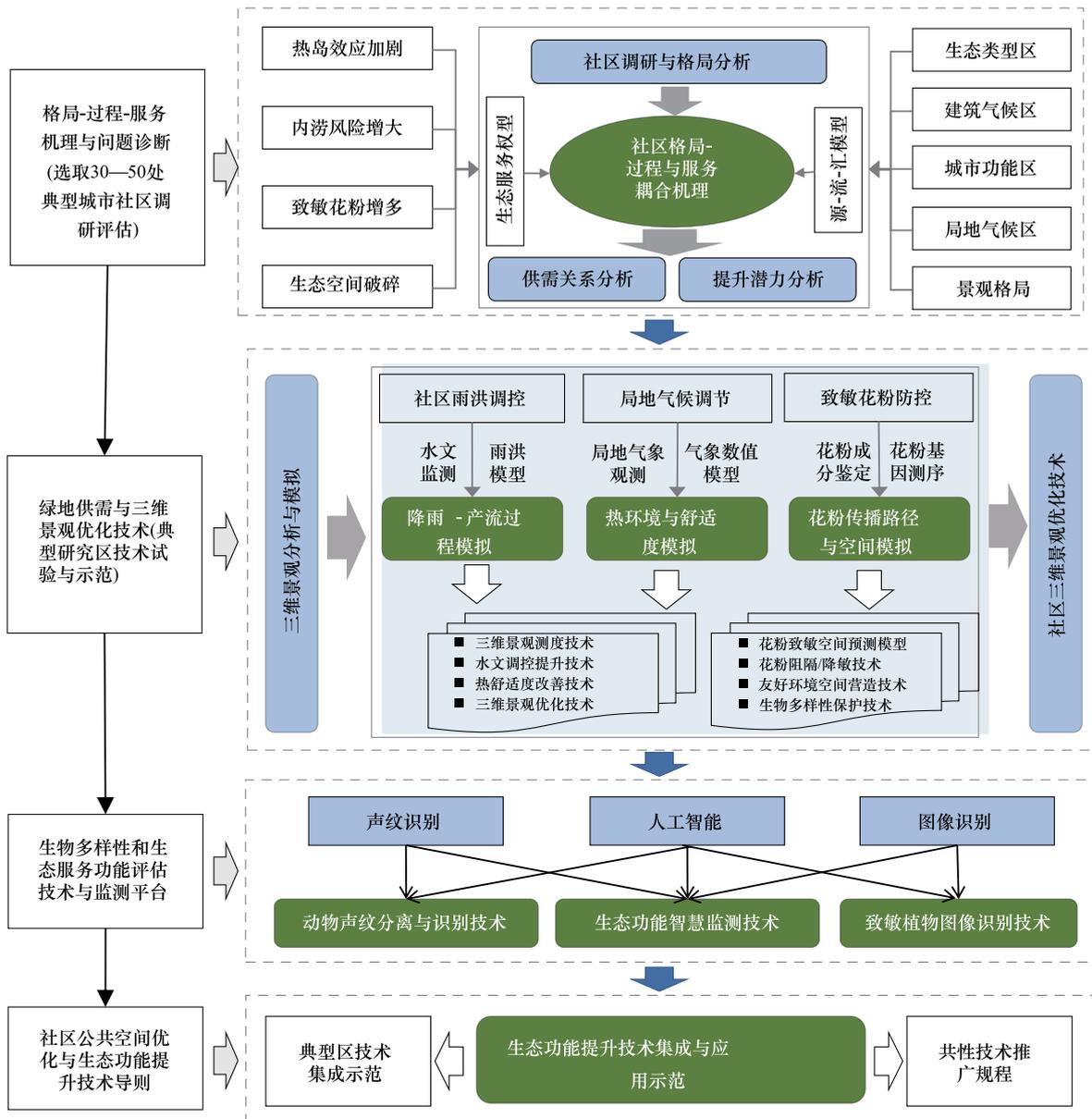


图 1 城市社区生态功能提升与智慧管理技术研发技术路线

Fig.1 Research flowchart on ecological function improvement and intelligent management technology development in the urban community

(3)城市社区致敏性植物花粉防控与友好环境空间营造。针对当前致敏性植物花粉严重影响社区人居环境健康问题,基于社区植物群落调查、花粉特征(纹理)图像 AI 识别等方法,定量辨识致敏性植物花粉的类型、数量、致敏程度及强度;基于社区花粉传播的空气动力学实验,明确致敏性植物花粉的空间扩散路径,分析致敏性植物花粉传播的“源-流-汇”格局及其影响因素,构建社区致敏性植物花粉“源-流-汇”空间过程预测模型;研发花发育和花期调控及致敏性植物花粉失活调控技术、基于物理干扰的致敏花粉降敏技术、基于植物群落配置进行致敏性植物花粉吸附和阻隔的调控技术;通过综合考虑致敏性植物花粉暴露的时空特征,以及社区三维景观结构及生态系统服务需求,构建兼顾致敏性植物花粉防控和热舒适度提升的友好绿色空间营造技术。研究内容包括:致敏性植物花粉识别与空间扩散路径监测技术、致敏性植物花粉空间扩散过程预测模型及致敏风险预报技术、致敏性植物花粉防控与友好绿色空间营造技术。

(4)城市社区生物多样性与生态功能智慧监管。通过耦合社区生态系统服务供给和人民福祉需求,构建

面向人居和谐的城市社区生物多样性和生态系统服务评估指标及方法;选择城市社区生物多样性指示性物种,基于人工智能、声纹识别、大数据分析等技术,建立深度学习算法的城市社区指示性物种特征模型,研发基于细粒度图像特征的致敏植物精准识别技术和高噪声环境下动物声纹分离与识别技术;开发集成监测-评估-模拟-决策一体化的城市社区生态系统服务智慧监管平台,支撑社区生物多样性保护与生态系统服务提升。研究内容包括:城市社区指示性物种选择及其智能识别技术、生物多样性监测与生态系统服务智慧管理平台。

(5)城市社区生态功能提升技术集成与应用示范。针对京津冀、长三角和珠三角三大城市群的社区存在的典型问题,选择代表性的城市社区作为更新改造示范地,基于 CIM(City Information Modeling)平台耦合居民需求,应用社区微气候调节、雨水径流源头减排与热舒适度提升协同技术,以及致敏性植物花粉防控技术及生物多样性提升技术,优化社区户外公共空间生态景观环境,提升生态系统服务,开展三维景观优化及友好环境空间营建技术的示范应用,以及技术应用效果评估。研究内容包括:社区微气候环境耦合分析评估、社区生态功能提升技术示范应用、社区生态更新与管理技术集成,进而总结应用于工程实践的技术方法。

3 关键科学问题和技术难点

城市社区作为承载城市居民的重点单元,社区环境质量和功能直接影响到居民的日常生活和城市管理。揭示城市社区格局-过程-服务耦合机理,阐明城市社区演变与发展重点问题,探讨城市社区水热过程调控与三维景观优化配置技术,以及致敏性植物花粉防控与友好环境空间营造技术,开展城市社区生物多样性与生态功能智慧监管,为当地居民实时获取与生活密切相关的资讯提供便利。实现上述目标需要重点解决以下关键科学问题和技术难点。

3.1 关键科学问题

快速城市化直接造成生态用地流失和景观连通性下降,由此导致城市热岛效应增强、内涝风险加剧、生物多样性下降、致敏性植物花粉增多等问题。社区作为城市居民生活和城市社会治理的基本单元,已经成为满足城市居民日常生活需求的重要载体。但是,我国城市社区生态空间结构与功能演变及其关键影响因素目前尚不清楚,城市社区生态系统服务供给如何满足日益增长的居民需求,如何开展老旧社区更新改造、提升生态系统服务仍然缺乏技术支持,为此,如何通过社区生态系统评估与问题诊断、技术研发以及典型社区技术应用,实现城市社区生态功能提升与智慧管理,是我国当前面临的重要课题。本研究拟解决以下关键科学问题:

(1)城市社区空间格局-过程及其生态系统服务形成机理。如何通过城市社区格局和类型识别,分析社区空间格局变化的驱动机制,进而辨识社区空间格局变化与生态系统服务的级联效应;通过构建典型社区格局和功能定量辨识技术和方法,深入揭示城市社区格局-过程-服务的耦合作用机理。

(2)城市社区三维景观对水热过程、致敏性植物花粉传播与扩散、生物多样性维持的影响机制。通过构建城市社区三维景观的量化方法体系,分析三维景观格局对水热过程,以及景观配置对致敏性植物花粉空间扩散过程的影响,进而揭示三维景观格局对水热过程、致敏性植物花粉空间传播与生物多样性维持的影响机制。

3.2 技术难点

(1)基于水热过程协同调控的城市社区景观优化配置技术。当前主要侧重于单项技术调控,而集成水文过程分析模型与热环境动态模拟模型是解决城市社区复杂问题的关键。针对人类活动影响下城市水热功能失调问题,重点研发城市社区三维景观时空量构序测度技术、基于源-流-汇景观的城市社区水文调控功能优化提升技术,以及基于水热过程协同调控的城市社区三维景观优化配置技术。

(2)城市社区致敏性植物花粉防控与植物优化配置技术。城市社区致敏性花粉防控需要从致敏风险预警、社区致敏性花粉的源、流、汇过程防控来解决。因此,本研究拟开发耦合社区三维景观结构和空气动力学特征的花粉致敏风险评估和预测技术,并研发利用植物群落配置吸附与空间阻隔致敏花粉传播技术、基于物

理干扰的致敏花粉降敏技术,构建兼顾致敏防控与热舒适度提升的友好环境空间营造技术,是该项研究需要解决的关键技术问题。

(3)城市社区生态系统服务提升与友好环境空间营造技术。城市社区作为一个混合的城市生态空间单元,随着城市化和社会发展,原有的蓝绿空间布局无法满足各位群体的需求,如何适应新形势下城市发展需求和居民生活需求成为当前面临的现实问题。本研究针对当前老旧小区人居环境质量低和生态服务供需失衡等问题,重点研发兼顾致敏性植物花粉防控与热舒适度提升的友好环境空间营造技术、基于三维景观模型构建的城市社区微气候与热舒适度改善技术。

(4)城市社区生物多样性与生态系统服务智慧监管技术。城市社区人口密集,人为噪声与动物声音交织混合一起,声纹信息多源多样、信噪比强,高噪声环境下动物声纹分离与识别难度大。因此,通过高斯混合模型和卷积神经网络算法解译声纹信息,构建声学指标评估指示动物生物多样性,是该项研究需要解决的关键技术。针对社区生物多样性监测技术薄弱,生态系统服务监管缺失,重点研发高噪声环境下动物声纹分离与识别技术、基于人工智能的致敏植物图像识别技术,构建城市社区生物多样性与生态系统服务智慧监管平台。

4 结语

(1)有利于促进我国城市社区生态建设与城镇绿色发展。2022年我国城镇化率已超过65%,中国新型城镇化进入下半场。伴随着快速城镇化进程,城市居住区建设数量不断创下新高。随着这些居住区的老化,城市中老旧社区的改造与更新成为各级政府改善民生的重要工作。尤其是2015年以来,围绕15min社区生活圈建设开展了诸多实践,但更多指向设施完善和满足居民的直接需求,对改善社区生态环境、提高生态系统服务重视不足。本研究侧重社区生态功能提升,不仅有利于国家生态文明政策在社区层面的落地生效,也有利于促进我国城镇化的健康发展。

(2)有利于支撑韧性城市建设,促进城市人与自然和谐。按照城市规划建设用地指标,城市建设用地的30%为居住用地,因此加强城市生态功能提升对城市整体生态环境改善将起到重要作用。通过城市绿色基础设施改造、提升雨水资源利用效率,不仅可以促进雨水就地下渗、回补地下水、减少绿化灌溉用水,进而节约水资源,而且可以有效降低城市内涝风险、缓解城市热岛效应,对建设低碳城市、实现“3060”国家双碳目标具有重要意义。

(3)有利于提高公众身心健康、提升居民福祉。通过研发技术的示范与推广应用,在提高社区生物多样性水平、降低致敏性植物花粉发生频率、改善社区生态功能同时,还能够促进人与自然的近距离接触。通过人与自然的充分融合,大大提升环境舒怡性和居民免疫能力,降低发病率,减轻政府医疗公共卫生的投入。本项目成果可在我国同类城市中推广应用,为城市更新提供技术支持,有利于提高社区生态系统服务和宜居水平。

参考文献(References):

- [1] Georgescu M, Morefield P E, Bierwagen B G, Weaver C P. Urban adaptation can roll back warming of emerging megapolitan regions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(8): 2909-2914.
- [2] Sun Y, Zhang X B, Ren G Y, Zwiers F W, Hu T. Contribution of urbanization to warming in China. *Nature Climate Change*, 2016, 6: 706-709.
- [3] Gu C L. Urbanization: positive and negative effects. *Science Bulletin*, 2019, 64(5): 281-283.
- [4] Cao M, Tian Y, Wu K, Chen M, Chen Y, Hu X, Sun Z C, Zuo L J, Lin J, Luo L, Zhu R, Xu Z C, Bandrova T, Konecny M, Yuan W P, Guo H D, Lin H, Lü G N. Future land-use change and its impact on terrestrial ecosystem carbon pool evolution along the Silk Road under SDG scenarios. *Science Bulletin*, 2023, 68(7): 740-749.
- [5] Geneletti D, Zardo L. Ecosystem-based adaptation in cities: an analysis of European urban climate adaptation plans. *Land Use Policy*, 2016, 50: 38-47.
- [6] Debele S E, Leo L S, Kumar P, Sahani J, Ommer J, Bucchignani E, Vranić S, Kalas M, Amirzada Z, Pavlova I, Shah M A R, Gonzalez-Ollauri A, Di Sabatino S. Nature-based solutions can help reduce the impact of natural hazards: a global analysis of NBS case studies. *Science of the Total Environment*, 2023, 902: 165824.
- [7] Kumar P, Debele S E, Sahani J, Rawat N, Marti-Cardona B, Alfieri S M, Basu B, Basu A S, Bowyer P, Charizopoulos N, Jaakko J, Loupis M,

- Menenti M, Mickovski S B, Pfeiffer J, Pilla F, Pröll J, Pulvirenti B, Rutzinger M, Sannigrahi S, Spyrou C, Tuomenvirta H, Vojinovic Z, Zieher T. An overview of monitoring methods for assessing the performance of nature-based solutions against natural hazards. *Earth-Science Reviews*, 2021, 217: 103603.
- [8] Grimm N B, Grove J G, Pickett S T A, Redman C L. Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems: urban ecological systems present multiple challenges to ecologists—pervasive human impact and extreme heterogeneity of cities, and the need to integrate social and ecological approaches, concepts, and theory. *BioScience*, 2000, 50(7): 571-584.
- [9] Haase D. Integrating ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions—new perspectives in sustainable urban land management: combining knowledge about urban nature for action//Sustainable Land Management in a European Context. Cham: Springer International Publishing, 2020: 305-318.
- [10] Jenerette G D, Harlan S L, Buyantuev A, Stefanov W L, Decler-Barreto J, Ruddell B L, Myint S W, Kaplan S, Li X X. Micro-scale urban surface temperatures are related to land-cover features and residential heat related health impacts in *Phoenix*, AZ USA. *Landscape Ecology*, 2016, 31(4): 745-760.
- [11] Kong F H, Chen J Y, Middel A, Yin H W, Li M C, Sun T, Zhang N, Huang J, Liu H Q, Zhou K J, Ma J S. Impact of 3-D urban landscape patterns on the outdoor thermal environment: a modelling study with SOLWEIG. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2022, 94: 101773.
- [12] Pawankar R. Allergic diseases and asthma: a global public health concern and a call to action. *World Allergy Organization Journal*, 2014, 7(1): 12.
- [13] Lake I R, Jones N R, Agnew M, Goodess C M, Giorgi F, Hamaoui-Laguel L, Semenov M A, Solmon F, Storkey J, Vautard R, Epstein M M. Climate change and future pollen allergy in Europe. *Environmental Health Perspectives*, 2017, 125(3): 385-391.
- [14] Zhang Y X, Steiner A L. Projected climate-driven changes in pollen emission season length and magnitude over the continental United States. *Nature Communications*, 2022, 13(1): 1234.
- [15] Cariñanos P, Casares-Porcel M. Urban green zones and related pollen allergy: a review. Some guidelines for designing spaces with low allergy impact. *Landscape and Urban Planning*, 2011, 101: 205-214.
- [16] 李全生, 江盛学, 李欣泽, 朱晓明, 魏庆宇. 中国气传致敏花粉的季节和地理播散规律. *解放军医学杂志*, 2017, 42(11): 951-955.
- [17] Ravindra K, Goyal A, Mor S. Pollen allergy: Developing multi-sectorial strategies for its prevention and control in lower and middle-income countries. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 2022, 242: 113951.
- [18] 辛嘉楠, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿. 城市中的花粉致敏植物及其影响因素. *生态学报*, 2007, 27(9): 3820-3827.
- [19] Konishi S, Ng C F S, Stickley A, Nishihata S, Shinsugi C, Ueda K, Takami A, Watanabe C. Particulate matter modifies the association between airborne pollen and daily medical consultations for pollinosis in Tokyo. *Science of the Total Environment*, 2014, 499: 125-132.
- [20] Varela S, Subiza J, Subiza J L, Rodríguez R, García B, Panzani R. *Platanus* pollen as an important cause of pollinosis. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 1997, 100(6): 748-754.
- [21] 王建红. 一种抑制植物产生致敏性花粉的方法. 2018, 专利申请号:CN201811458733.4
- [22] Khanzhina N, Filchenkov A, Minaeva N, Novoselova L, Petukhov M, Kharisova I, Pinaeva J, Zamorin G, Putin E, Zamyatina E, Shalyto A. Combating data incompetence in pollen images detection and classification for pollinosis prevention. *Computers in Biology and Medicine*, 2022, 140: 105064.
- [23] Pecero-Casimiro R, Fernández-Rodríguez S, Tormo-Molina R, Monroy-Colín A, Silva-Palacios I, Cortés-Pérez J P, Gonzalo-Garijo Á, Maya-Manzano J M. Urban aerobiological risk mapping of ornamental trees using a new index based on LiDAR and Kriging: a case study of plane trees. *Science of the Total Environment*, 2019, 693: 133576.
- [24] Barbaro L, Sourdriil A, Froidevaux J S P, Cauchoix M, Calatayud F, Deconchat M, Gasc A. Linking acoustic diversity to compositional and configurational heterogeneity in mosaic landscapes. *Landscape Ecology*, 2022, 37(4): 1125-1143.
- [25] Sethi S S, Bick A, Ewers R M, Klinck H, Ramesh V, Tuanmu M N, Coomes D A. Limits to the accurate and generalizable use of soundscapes to monitor biodiversity. *Nature Ecology & Evolution*, 2023, 7(9): 1373-1378.
- [26] Chen L, Huang L, Hua J, et al. Green construction for low-carbon cities: a review. *Environmental chemistry letters*, 2023, 21(3): 1627-1657.
- [27] Shang W L, Lv Z. Low carbon technology for carbon neutrality in sustainable cities: A survey. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 92: 104489.
- [28] 刘璐, 廖雨晴. 城市规划中的生态廊道与生物多样性保护. *城市建设理论研究(电子版)*, 2025, (6): 4-6.
- [29] Bibri S E. Data-driven smart eco-cities and sustainable integrated districts: A best-evidence synthesis approach to an extensive literature review. *European Journal of Futures Research*, 2021, 9(1): 16.
- [30] McPhearson T, Cook E M, Berbés-Blázquez M, et al. A social-ecological-technological systems framework for urban ecosystem services. *One Earth*, 2022, 5(5): 505-518.
- [31] Herreros-Cantis P, McPhearson T. Mapping supply of and demand for ecosystem services to assess environmental justice in New York City. *Ecological Applications*, 2021, 31(6): e02390.