

DOI: 10.20103/j.stxb.202406181403

鲁滋道, 马彩虹, 李聪慧, 宋婉怡, 段睿铭. 基于改进的三步移动搜索法城市公园绿地供需水平测度及公平性研究——以成都市主城区为例. 生态学报, 2025, 45(23): - .

Lu Z D, Ma C H, Li C H, Song W Y, Duan R M. Measurement of supply and demand level and equity of urban park green space based on an improved three-step floating catchment area: case study of the main urban area of Chengdu. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(23): - .

基于改进的三步移动搜索法城市公园绿地供需水平测度及公平性研究

——以成都市主城区为例

鲁滋道¹, 马彩虹^{2,*}, 李聪慧², 宋婉怡¹, 段睿铭³

¹ 西北大学城市与环境学院, 西安 701000

² 宁夏大学地理科学与规划学院, 银川 750021

³ 成都市建筑设计研究院有限公司, 成都 610031

摘要: 公园绿地对提升城市居民幸福感, 推动地区可持续发展起着关键性的作用。在生态公平的背景下, 探究公园绿地供需水平情况及公平性问题意义重大。本研究以成都市主城区为例, 采用细粒度网格划分城市空间, 基于城市居民出行意愿, 结合多源数据, 改进的三步移动搜索法、供需水平标准化衡量模型评价地区公园绿地供需水平, 利用参数最优地理探测器模型和多尺度地理加权回归模型剖析公平性情况。研究发现: (1) 成都市主城区公园绿地供需水平整体呈现出明显的“圈层结构”, 一环内区域存在供给匮乏或不足问题, 三环外区域处于供给饱和状态。 (2) 不同出行方式下供需水平存在差异, 公共交通出行方式最优, 步行出行方式供需水平呈现出点状集聚态势。 (3) 成都市主城区内各辖区供需水平存在差异, 金牛区、成华区供需水平较高, 青羊区供给匮乏或不足现象显著。 (4) 社会经济地位较低的群体普遍面临公园绿地供需不公平问题, 但整体不公平性等级较低, 住房价格是导致不公平性问题的主要原因。本研究为公共服务设施公平性研究提供新的视角, 并对地区实现公园绿地资源合理配置及规划布局提供了决策参考。

关键词: 公园绿地; 供需水平; 公平性; 改进的移动三步搜索法; 成都市主城区

Measurement of supply and demand level and equity of urban park green space based on an improved three-step floating catchment area: case study of the main urban area of Chengdu

LU Zidao¹, MA Caihong^{2,*}, LI Conghui², SONG Wanyi¹, DUAN Ruiming³

¹ College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xian 701000, China

² College of Geographic Science and Planning, Ningxia University, Yinchuan 750021, China

³ Chengdu Architectural Design and Research Institute Limited Company, Chengdu 610031, China

Abstract: Parks and green spaces are instrumental in elevating the quality of life for urban dwellers and fostering sustainable development. Attention to the supply, demand levels, and equity of parks and green spaces is of paramount importance. This research assessed the central urban area of Chengdu, employing a high-resolution grid to segment the urban space. Drawing on the travel intentions of urban residents, the supply and demand levels of local parks and green

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41961034); 宁夏自治区科技攻关(支撑)计划项目(2021BEG03019); 宁夏自然科学基金重点项目(2020AAC02008)

收稿日期: 2024-06-18; 网络出版日期: 2025-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mchyanni@163.com

spaces were appraised through the integration of multi-source data, an enhanced three-step floating catchment area approach, and a standardized model for measuring supply and demand levels. Optimized geographic detector models and multi-scale geographic weighted regression models were utilized to dissect the equity scenario. The findings revealed that: (1) The supply and demand levels of parks and green spaces in urban Chengdu displayed a distinct “circular pattern.” The supply was insufficient in the areas within the first ring road, whereas areas within the third ring road exhibited a state of supply-demand balance, and areas outside the third ring road demonstrated supply saturation. (2) The supply and demand levels varied under different modes of transportation, with public transportation being the optimal mode, whereas cycling modes showed point-like clustering trends in supply and demand levels. (3) There were significant differences in the supply and demand levels among different districts within the main urban area of Chengdu. The Jinniu and Chenghua Districts had higher supply and demand levels, whereas the Qingyang District exhibited a more significant shortage in supply. (4) Those of lower socio-economic status generally face problems with inequity supply and demand; however, the overall level of inequity is relatively low and housing prices are the main reason for the inequity. This study contributes to knowledge on this topic, by evaluating the fairness level of parks and green spaces from the perspective of supply and demand based on the actual travel intentions of residents. This provides a new perspective for equitable access to public facilities and supports decision-making for the rational management of the layout of parks and green spaces in the region.

Key Words: park green space; level of supply and demand; equity; enhance 3-step floating catchment area model; main urban area of Chengdu

公园绿地是向公众开放、具有生态和经济价值的绿地^[1-2]。作为城市基础设施的有机组成部分,不仅具有减轻热岛效应、吸收温室气体^[3-4]和改善城市生态环境^[5]等作用,同时,对提升居民生活幸福感、缓解心理压力具有重要意义^[6-7]。随着我国城乡二元制度和市场化转型,城市化进程快速推进,城市面临着人口快速增长和建设用地大规模扩张的双重挑战,不平衡不充分的公园绿地供给与人民日益增长的需求之间矛盾日益加剧,不公平问题日渐显著^[8]。2022年发布的《成都建设践行新发展理念的公园城市示范区总体方案》(简称《总体方案》)明确指出良好生态环境是最普惠的民生福祉,公园绿地作为城市生态环境最重要载体,实现公园绿地供需公平,是生态公平的重要前提,也是可持续发展的必然要求^[9],是地方政府亟需解决的重要议题。

公园绿地供需水平及公平性是近年来的研究热点。主要聚焦于供需关系衡量与公平性研究两方面。在供需关系衡量方面,一是通过构建供给和需求指标^[10],利用耦合协调度模型,衡量供需关系水平^[11],二是通过卫星影像和 ArcGIS 获取公园绿地及居民点的空间位置,利用空间分析方法衡量供需水平^[8],研究发现公园绿地供给数量和供给质量始终滞后于城市发展水平,错配现象显著^[12]。在公平性评价方面,国外研究起步较早,研究视角从数量公平发展到社会公平,认为无论当地的自然环境、地理位置或社会经济地位如何^[13],城市居民应平等获得公园绿地,分析了由居民属性导致的不公平性现象,发现老人、儿童、低收入等社会经济地位较低群体拥有较低的供需水平^[1,14],不公平问题严重,形成了一定的理论框架。近年来国内研究逐渐从公园绿地的空间分布^[15]、可达性水平测度逐渐转向公平性问题的探讨^[16],手机信令、API 数据等新技术也不断被应用其中,使研究结果更加精确真实^[9],并从交通条件^[16]、土地政策^[17]、住房价格^[18]等方面探讨公园绿地公平性的影响因素,形成了初步的评价指标体系。面对城市公园绿地公平性问题,专家学者试图从增加公园绿地数量^[19]、提倡紧凑发展提高使用效率^[20]、关注非正式绿地^[21-22]、财政转移及提高城市治理能力^[23]等方面改善不公平问题。

国内外学者对公园绿地供需水平及公平性研究已取得较为丰富的成果,在研究尺度方面,多从市域^[24]、县域^[25]、街道^[8]等角度展开研究,同时发现过大的研究尺度可能导致难以发现城市内部的不公平性问题^[26]。其次,在出行意愿方面,多采用同一套出行意愿权重^[17,27],少量研究开始注意不同居民前往公园绿地的出行意愿有较大差距,但主要基于不同年龄阶段的出行距离。再次关于可达性衡量方面,多使用缓冲区分析^[28]、

OD 成本矩阵^[25]、最小邻近距离法^[25]、两步移动搜索^[8]等方法,存在对真实情况复杂性考虑不足的情况,且计算结果为无量纲值^[29],难以评价供需水平。最后,在公平性研究方面,多使用空间计量模型^[18]、双变量莫兰指数^[17]、地理探测器模型^[30],指标选取多基于人口属性视角,鲜有对城市空间中社会经济地位情况的考虑。

基于此,为进一步拓展既有理论研究,提供更加真实准确的研究经验证据,本文以成都市主城区为研究区域,以边长为 300m 的细粒度六边形网格为研究单元,运用改进的三步移动搜索法,在充分考虑公园绿地竞争关系和居民出行意愿的基础上,从供给和需求两方面计算可达性,借助供需水平测度模型,测度公园绿地供需水平,使用参数最优地理探测器模型,揭示供需水平公平性影响因素,同时引入多尺度地理加权回归模型在有效识别空间异质性的基础上,尝试为公平性研究提供了一个更好的研究视角,进一步提高公平性评价的准确度并揭示其空间分异规律,为公园绿地配置提供参考意见,提高城市居民生活质量,促进城市可持续发展。

1 研究区域、数据与方法

1.1 研究区域

成都市是四川省省会,成渝城市群的核心城市、中国西部经济发展的重要支点,具有十分重要的战略地位,作为公园城市建设首个示范城市,发展情况备受关注。随着成都市的快速发展,城市用地不断扩张,破坏生态用地情况时有发生。根据成都市第七次人口普查数据(简称“七普”)结果,至 2020 年底成都市主城区人口已达 634.88 万,居民对良好生态环境需求的快速增长与建设用地扩张之间产生了巨大矛盾。成都市主城区作为典型的高密度地区,具有空间异质性强、社会经济环境复杂等特征,因此选择成都市主城区作为研究区具有较强代表性。根据 5min 生活圈范围大小,考虑到六边形网格比四边形网格拥有更好的空间连接性,也能够更加准确反映城市居民分布情况,提高可达性结果的精确度^[31],准确测度供需水平^[18],识别不公平现象。因此本文将成都市主城区划分为边长为 300m 的六边形细粒度网格作为研究单元(图 1)。

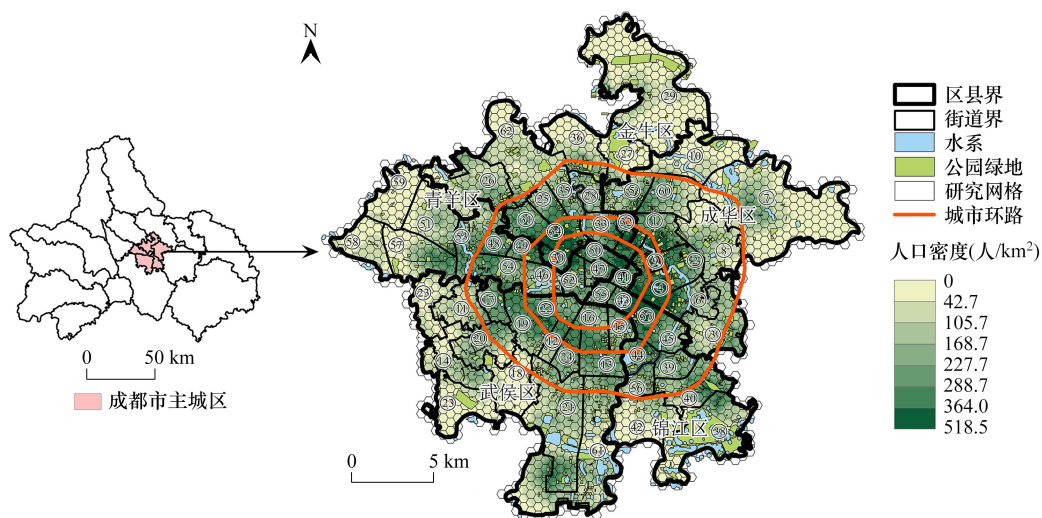


图 1 成都市主城区区位图

Fig.1 Map of main urban districts in Chengdu

1. 府青路街道;2. 跳蹬河街道;3. 保和街道;4. 双桥子街道;5. 双水碾街道;6. 万年场街道;7. 龙潭街道;8. 二仙桥街道;9. 猛追湾街道;10. 白莲池街道;11. 机投桥街道;12. 肖家河街道;13. 火车南站街道;14. 簇桥街道;15. 望江路街道;16. 羽林街道;17. 晋阳街道;18. 华兴街道;19. 红牌楼街道;20. 簇锦街道;21. 石羊街道;22. 浆洗街街道;23. 金花桥街道;24. 芳草街街道;25. 营门口街道;26. 金泉街道;27. 凤凰山街道;28. 五块石街道;29. 天回镇街道;30. 西安路街道;31. 茶店子街道;32. 驷马桥街道;33. 荷花池街道;34. 抚琴街道;35. 九里堤街道;36. 沙河源街道;37. 牛市口街道;38. 三圣街道;39. 狮子山街道;40. 成龙路街道;41. 书院路街道;42. 柳江街道;43. 锦官驿街道;44. 东湖街道;45. 沙河街道;46. 草堂街道;47. 西御河街道;48. 金沙街道;49. 府南街道;50. 草市街街道;51. 黄田坝街道;52. 少城街道;53. 苏坡街道;54. 光华街道;55. 春熙路街道;56. 锦华路街道;57. 蔡桥街道;58. 康河街道;59. 文家

1.2 数据来源及处理

行政边界数据主要来源国家地理数据云网站(<https://www.gscloud.cn/>)。经济人口数据主要来源于成都市各区县七普数据。公园绿地数据、建筑数据主要运用 python 从高德开放平台(<https://lbs.amap.com/>)批量获取。住宅小区数据主要利用 python 通过安居客网站(<https://chengdu.anjuke.com/>)获取。

关于数据处理,主要包括以下方面:(1)人口数量。利用 ArcGIS 10.6 统计落入网格内住宅小区的数量,结合成都市 12%的房屋空置率,根据各区七普数据平均每户人口数,计算网格人口数量。(2)公园绿地数据。本文以《成都建设践行新发展理念的公园城市示范区行动计划(2021—2025 年)》《关于支持成都建设践行新发展理念的公园城市示范区的意见》以及《成都建设践行新发展理念的公园城市示范区总体方案》中对公园绿地的划分标准,将公园绿地划分为游园($<1\text{hm}^2$)、社区公园($[1,3)\text{hm}^2$)、专类公园($[3,10)\text{hm}^2$)、综合公园($>10\text{hm}^2$)4 类,并计算公园绿地面积、周长。(3)出行距离。首先获取以公园出入口为中心,统计出行半径内所有的网格中点。其次,利用高德地图 API 接口进行路径规划,获取需求点和供给点之间的真实出行距离。(4)出行意愿。以七普人口年龄结构划分为依据,通过问卷调查的方式统计成都市主城区 62 个街道居民对出行方式的选择意愿。最终收回问卷 4952 份,其中有效问卷 4763 份,通过层次分析法确定各街道不同年龄段出行意愿的权重值(附表 1)。结合现有研究确定各类出行方式的出行时间阈值(表 1),并设定当居民出行时间超过 10min,将不再前往面积小于 5hm^2 的公园绿地^[1]。

表 1 各类出行方式出行半径

Table 1 Travel radius for various modes of transportation

出行方式 Travel mode	出行时间 Travel time/min	出行速度 Travel speed/(km/h)	出行半径 Travel radius/m
步行 Walk ^[32]	30	5	2500
骑行 Ride ^[33]	25	15	6250
公共交通 Public transportation ^[34]	35	30	17500
自驾 Self driving ^[32]	18	50	15000

1.3 研究方法

1.3.1 改进的三步移动搜索法

三步移动搜索法通过引入竞争关系^[35],使得可达性的计算更加真实客观。本文引入居民出行意愿和公园绿地综合服务能力对模型进行改进,计算成都市公园绿地可达性,具体计算方法如下:

第一步,计算竞争系数。根据出行半径,确定范围内所有的公园绿地,根据前往每个公园绿地的距离,计算选择权重(图 2a)。公式如下:

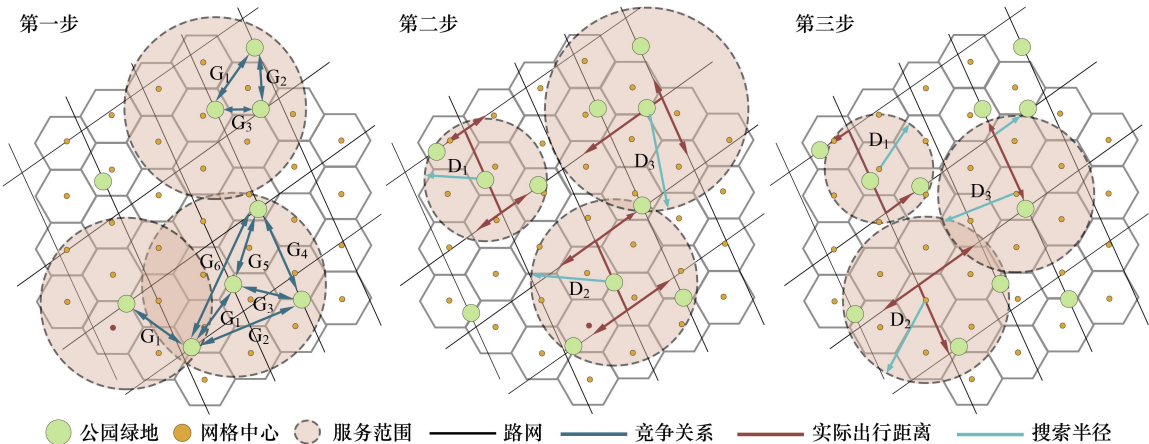


图 2 改进的三步移动搜索算法示意图

Fig.2 Schematic diagram of the improved three-step floating catchment area algorithm

$$G_{ij} = \frac{W_{ij}}{\sum_{j \in [d_{ij} < d]} W_j} \quad (1)$$

式中: G_{ij} 为网格 i 对公园绿地 j 的选择权重; W_{ij} 选择权重; W_j 为搜索半径内所有公园绿地权重之和; d 为搜索半径; d_{ij} 为网格中心 i 与公园绿地 j 之间的距离。其中 W_{ij} 利用高斯衰减函数进行赋值。

第二步,计算供需比。以网格为中心,根据所确定的服务半径,搜索公园绿地,计算供需比(图 2b)。公式如下:

$$R_j = (PDF_j S_j + EVS_j / [(\alpha_{i1} \beta_1 \sum_{i \in [d_{ij} < d]} P_i W_r G_{ij} + \alpha_{i1} \beta_2 \sum_{i \in [d_{ij} < d]} P_i W_r G_{ij} + \alpha_{i1} \beta_3 P_i \sum_{i \in [d_{ij} < d]} + \alpha_{i1} \beta_4 P_i \sum_{i \in [d_{ij} < d]} P_i W_r G_{ij}) + (\alpha_{i2} \beta_1 \sum_{i \in [d_{ij} < d]} P_i W_r G_{ij} + \alpha_{i2} \beta_2 \sum_{i \in [d_{ij} < d]} P_i W_r G_{ij} + \alpha_{i2} \beta_3 P_i \sum_{i \in [d_{ij} < d]} + \alpha_{i2} \beta_4 P_i \sum_{i \in [d_{ij} < d]} P_i W_r G_{ij}) + (\alpha_{i3} \beta_1 \sum_{i \in [d_{ij} < d]} P_i W_r G_{ij} + \alpha_{i3} \beta_2 \sum_{i \in [d_{ij} < d]} P_i W_r G_{ij} + \alpha_{i3} \beta_3 P_i \sum_{i \in [d_{ij} < d]} + \alpha_{i3} \beta_4 P_i \sum_{i \in [d_{ij} < d]} P_i W_r G_{ij})]) \quad (2)$$

式中: R_j 为供需比; S_j 为公园绿地面积;PFD 为公园绿地的斑块分形维数^[36];EVS 为公园绿地生态系统服务价值^[37]; P_i 为网格 i 的人口数量; W_r 为高斯衰减函数; α_{i1} 、 α_{i2} 、 α_{i3} 为网格 i 中 3 个年龄段人口的比例,用街道各年龄段人口比例代替; β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 为网格 i 每类人群对 4 种出行方式的选择意愿。

第三步,以需求点 i 为中心,计算搜索半径范围内的供需比累加,最终求得公园绿地可达性 A_i (图 3c)。公式如下:

$$A_i = \sum_{j \in [d_{ij} < d]} W_r R_j G_{ij} \quad (3)$$

1.3.2 供需水平标准化衡量模型

使用 Teleai^[38]等提出的供需水平测度方法,计算成都市公园绿地供需水平。公式如下:

$$E_i = \frac{\max(R_j)}{\max(A_i)} \times A_i \quad (4)$$

式中: E_i 为网格 i 的供需水平。以 0.25 为间隔,根据计算结果,将供需关系划分为 6 个等级^[35](表 2)。

表 2 供需水平分级标准

Table 2 Grading standards for supply and demand levels

供需水平等级 Supply and demand level level	E_i 取值范围 E_i value range	供需水平情况 Supply and demand level situation
VI	$1 < E_i$	供给饱和
V	$0.75 < E_i \leq 1$	供给充足
IV	$0.5 < E_i \leq 0.75$	供需均衡
III	$0.25 < E_i \leq 0.5$	供给不足
II	$0 < E_i \leq 0.25$	供给匮乏
I	$E_i = 0$	无供给关系

1.3.3 参数最优地理探测器模型

地理探测器可以探测空间分异性^[39]。但在使用过程中确定空间分层异质性缺乏准确定量评估,因此使用参数最优地理探测器模型来探究成都市主城区公园绿地公平性的驱动力^[40]。公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (5)$$

式中: q 为解释程度; h 为解释变量的分层; N_h 和 N 分别为层 h 和 h 单元数; σ_h^2 和 σ^2 为层 h 和全区方差。

1.3.4 多尺度地理加权回归(Multiscale Geographically Weighted Regression, MGWR)

使用多尺度地理加权回归剖析不同影响因素对公园绿地供需水平在成都市主城区空间上的异质性,该方

法可以更好的反映不同解释变量的影响尺度,提高结果可信性^[41-42]。公式如下:

$$y_i = \beta_o(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^k \beta_{bwj}(u_i, v_i) x_{ij} + \varepsilon_i \quad (6)$$

式中: y_i 为被解释变量; x_{ij} 为解释变量; k 为样本数; (u_i, v_i) 为样本坐标; β_{bwj} 为回归系数。

本研究在使用 MGWR 模型探究不公平分布的空间异质性的同时,对每个系数显著为负的网格编码为 1, 不满足显著性要求则编码为 0, 通过累加获得网格不公平性等级。根据研究,将不公平性等级划分为 6 个等级。此外,通过对每类影响因素负系数进行标准化,描绘遭受不公平性问题最严重的群体。

2 结果分析

2.1 成都市主城区公园绿地供需水平空间差异性

根据居民对不同出行方式的选择意愿,计算供需水平并进行可视化表达(图 5)。结果显示成都市主城区整体供需水平较高,这主要得益于成都市几年来开展的城市绿化行动,仅在一环路内和城市西部仍存在供给不足现象,向外供需水平不断提高,呈现出明显的圈层结构。从不同出行方式来看,供需水平空间分布存在显著差异。步行方式受到出行半径的影响,供需水平呈现出“点状”聚集分布态势,城市南北郊区呈现供给饱和现象,而供给匮乏或不足地区则主要集中在城市西部区域,以玉林、晋阳、红牌楼街道最为显著;对于骑行出行,供给匮乏、不足地区主要集中在城市中部由西向东的带状区域内;当选择公共交通出行时,供需水平基本未出现供给匮乏现象,仅一环路内和主城区西部部分区域出现供给不足现象,可能原因是成都市公共交通覆盖率高,且出行半径较大;对于自驾出行,同样在主城区一环路内和西三环周边地区出现了供给匮乏现象。

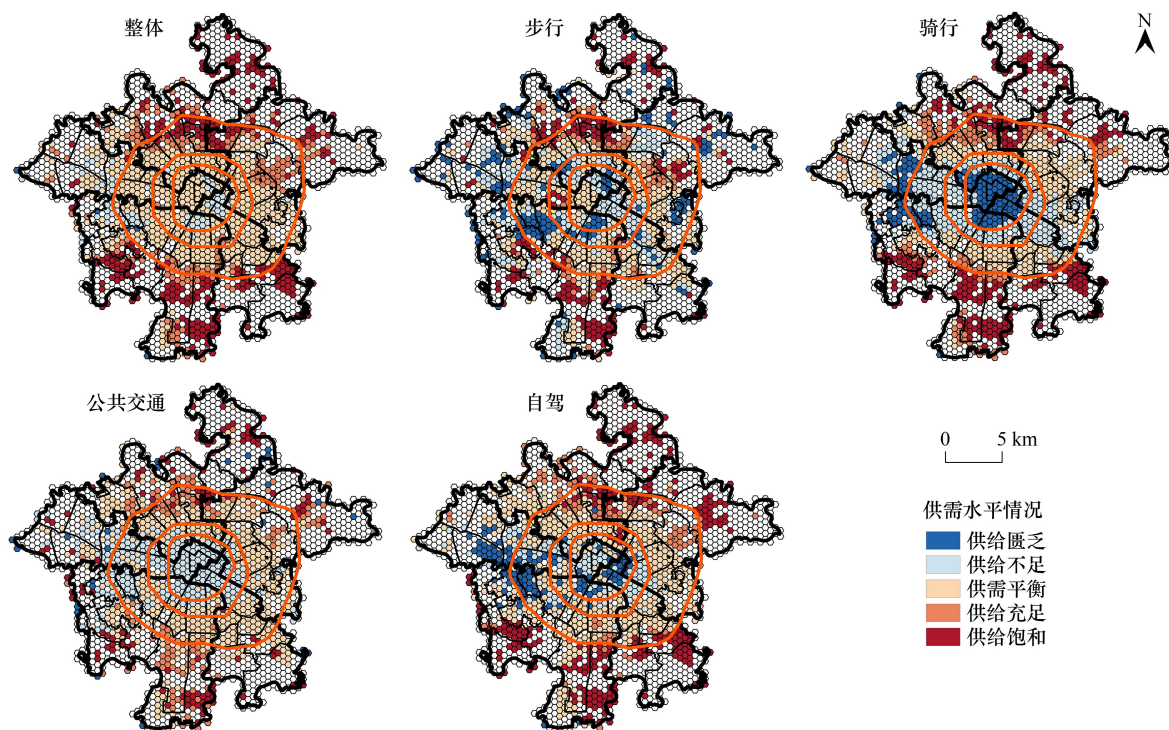


图 3 不同出行意愿下成都市主城区公园绿地供需水平情况分布

Fig.3 Distribution of supply and demand levels of parks and green spaces in the main urban area of Chengdu under different travel preferences

通过统计主城区各区供需水平情况(图 4),发现各区供需水平存在显著差异,青羊区整体供需水平较差,有 71.72%的地区出现供给不足现象,成华区、金牛区供需水平表现较好。选择步行出行时,由于锦江区和青

羊区公园绿地数量较少,供给匮乏和不足现象较为严重;选择骑行出行时,成华区、金牛区、武侯区供需水平均有显著改善,但青羊区出现了供需水平下降情况,供给匮乏和不足区域占全区的 83.32%;选择公共交通出行时,青羊区供给匮乏地区较步行和骑行出行显著减少,但仍有 66.67%的区域面临供给不足问题;选择自驾出行时,由于出行半径的增加,成华区、金牛区、锦江区和武侯区供给饱和地区明显增加,而青羊区的大部分地区仍面临供给匮乏和供给不足问题,约占地区面积的 65.15%。

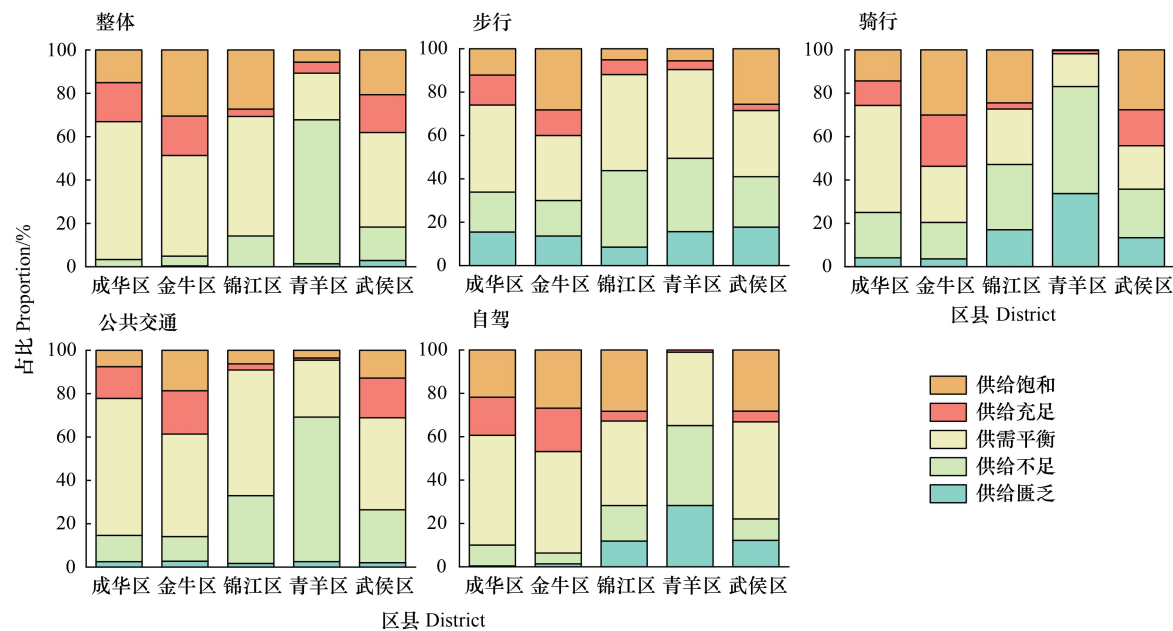


图 4 成都市主城区公园绿地供需水平百分比

Fig.4 Percentage of supply level of parks and green spaces in various districts and counties

2.2 成都市主城区公园绿地供需水平公平性分析

2.2.1 参数最优地理探测器结果

通过现有研究发现,社会经济地位较低的群体可能面临公园绿地供需水平不公平问题^[17,43],归纳已有研究,发现人口年龄、教育水平、住房价格、建筑密度、户籍情况^[18,44—45]等因素是不公平现象产生的重要原因。因此,本文引入 14 岁以下儿童数量、60 岁以上老人数量、大专及以下学历人口数量、外来人口比例、住房价格、建筑密度 6 个变量探究社会经济地位与公园绿地供需水平之间的相关性。

根据参数最优地理探测器分析结果显示(表 3),6 个变量均通过了显著性检验。从 q 值来看,指标排名分别为:60 岁以上老人、建筑密度、14 岁以下儿童、大专及以下学历人口数量、外来人口比例、住房价格。

表 3 成都市主城区公园绿地供需水平与社会经济地位因子探测结果

变量 Variable	决定力 q Decisive power q	显著性水平 P Significance level P
14 岁以下儿童 Children under 14 years old	0.129	0.000
60 岁以上老人 Elderly people aged 60 and above	0.178	0.000
大专及以下学历人口 Population with college education or below	0.111	0.000
住房价格 Housing prices	0.033	0.000
外来人口比例 Proportion of migrant population	0.033	0.000
建筑密度 Building density	0.141	0.000

2.2.3 多尺度地理加权回归模型结果

为进一步剖析不同变量在城市空间中对公园绿地供需水平影响的异质性,利用 MGWR 模型,对 6 个指标进行探讨。首先对数据进行多重共线性检验,结果显示方差膨胀因子值均小于 7.5(平均值为 5.139),符合回归条件。比较普通最小二乘回归 (Ordinary least squares, OLS)、地理加权回归 (Geographically weighted regression, GWR)、MGWR 拟合效果,发现 MGWR 模型拥有更好的解释力(表 4)。

对 MGWR 结果进行可视化表达(图 5),结果表明不同变量在城市空间中的作用效果有较大差异,具体而言:

(1) 在人口年龄结构方面。儿童数量和老年人口数量分别造成了 75.27% 和 83.60% 的网格呈现负相关

表 4 公园绿地供需水平与社会经济地位 OLS、GWR 及 MGWR 模型结果

Table 4 Results of OLS, GWR, and MGWR models for the supply-demand level and socio-economic status of parks and green spaces

变量 Variable	OLS	GWR	MGWR
AICc	-3981.612	-4175.140	2678.905
R^2	0.041	0.208	0.621
R_{adj}^2	0.036	0.187	0.544

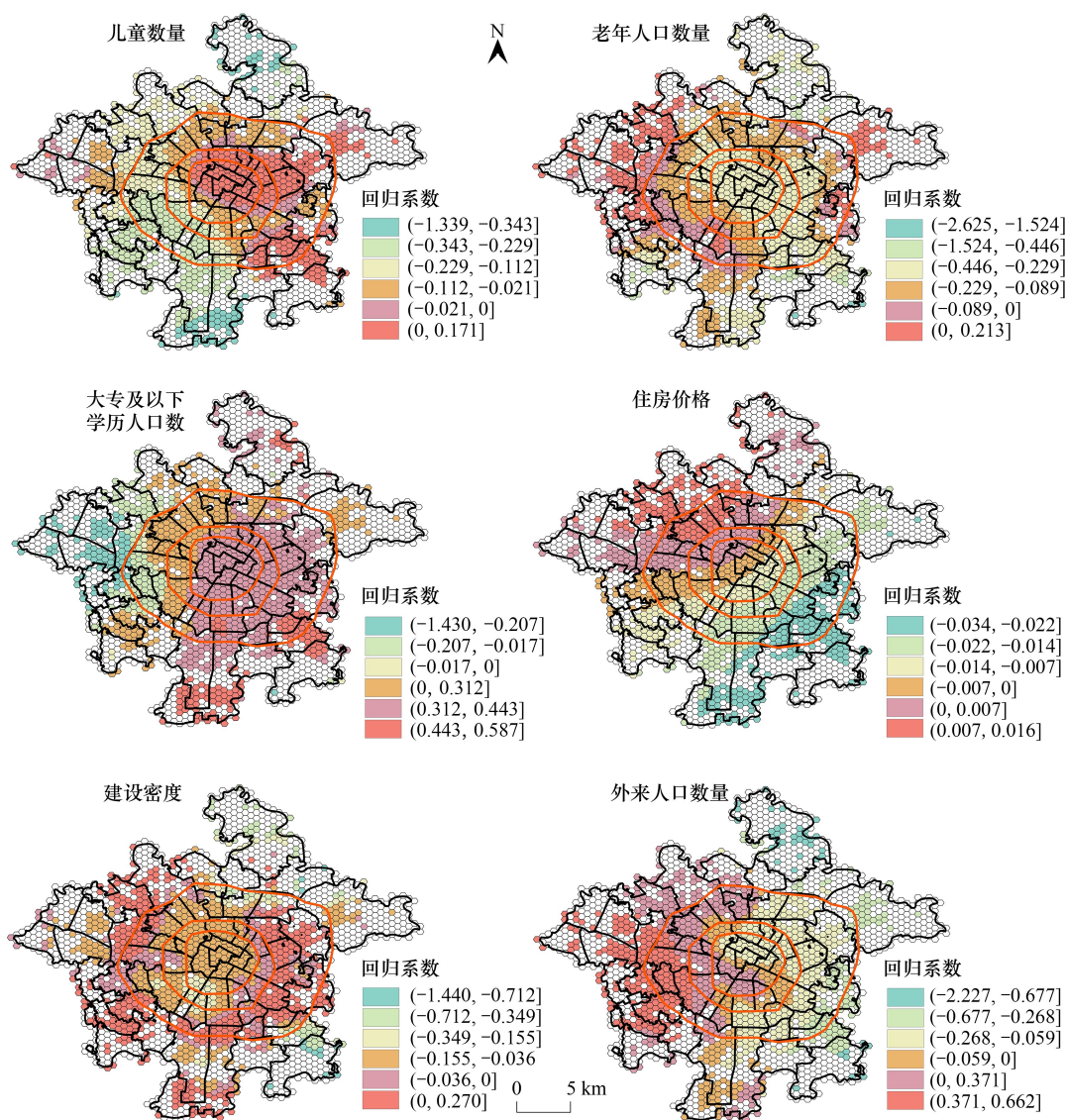


图 5 成都市主城区公园绿地供需水平 MGWR 结果

Fig.5 MGWR results of factors influencing the supply and demand level of parks and green spaces

性。这反映了在成都市主城区,大部分地区儿童和老年人群体遭受了不平等现象,与现有研究发现一致^[2]。值得注意的是,儿童和老人在面临不公平性问题的地区存在一定差异,这可能与城市人口的分布情况有关。

(2)在受教育程度方面。低教育水平群体并没有遭受大面积的供需不公平性问题,仅有 19.37%的网格面临因受教育水平而导致的不公平性问题,并且主要集中在主城西部地区。

(3)在住房价格方面。呈现出了较为明显的空间分异现象,主城区西北地区呈现出显著的正相关性,说明房价较高的居住区,居民公园绿地供需水平更高,意味着公园绿地的供需水平存在不公平性问题。而在主城区东南地区,则表现为负相关,可能是这些地区居住小区本身较少,但分布了较多的公园绿地。

(4)在建筑密度方面。主城区二环内外产生了显著的空间差异,具体表现为二环以内地区公园绿地的供需水平与建筑密度表现为负相关,而二环外则主要表现为正相关。究其原因,二环内较高的建筑密度,导致难以建设更多的公园绿地。而在二环以外的地区,人口、公园绿地的分布通常都依赖于建筑的分布,因此供需水平与建筑密度呈现出正相关性。

(5)在外来人口比例方面。成都市主城区 55.05%的地区面临着因外来人口比例产生的不公平性问题,并且主要集中在城市东部地区。可能的原因是,在主城区东部,尤其是成华区,居住小区密度极高,住房价格相对较低,吸引了更多的外来人口。

图 6 显示了公园绿地供需水平不公平性等级。结果发现,成都市主城区一半以上的地区不公平性等级都属于较低或极低水平。低不公平性等级的地区主要集中在春熙路街道、书院路街道、双子桥街道、牛市口街道等。相较之下,极低不公平性水平地区主要分布在城市北部二环和三环之间的地区。图 7 为各地区所面临不公平性最严重的群体。结果发现,55.73%的地区都因住房价格受到最严重的不公平性问题,主要集中在主城区东南地区。主城区西北部地区受到最严重不公平的群体则表现较为复杂,但主要是儿童、老年人和低学历人口数量三个群体,表明这些处在社会经济地位较低的弱势群体面临着严重的公园绿地资源剥夺问题。

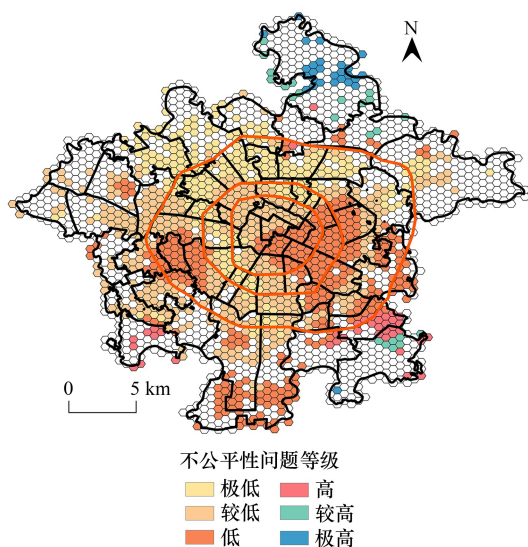


图 6 成都市主城区公园绿地供需水平不公平问题等级

Fig.6 The level of unfairness in the supply and demand of parks and green spaces in the main urban area of Chengdu City

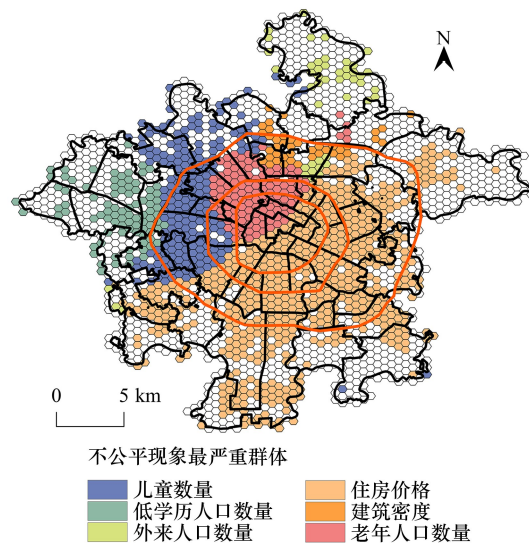


图 7 成都市主城区公园绿地供需水平不公平现象最严重群体

Fig.7 The group with the most severe inequality in the supply and demand level of parks and green spaces in the main urban area of Chengdu

3 结论与讨论

3.1 结论

基于出行意愿和公园绿地服务能力,使用改进的三步移动搜索法,探究成都市主城区公园绿地的供需水平及空间分异格局,并探讨供需水平不公平性现象。主要结论如下:

(1)成都市主城区公园绿地供需水平呈现出“圈层”结构的空间格局,由城市一环内的“供给匮乏”向外逐渐过渡为“供给饱和”,供给水平较高的地区并非集中在主城区中心,而是位于主城区边缘地区。主城区中心虽然拥有较为便利的交通条件,但其公园绿地的数量与质量难以匹配较高的需求,而在主城区边缘地区,得益于成都市环城绿道的建设,使得这些地区获得了较为充足的公园绿地供给。

(2)通过比较各区公园绿地供需水平,发现青羊区供需水平整体较差,究其原因,可能是青羊区作为成都市“源城”,辖区内老旧小区较多,建筑密度人口密度均高于其他地区,公园绿地数量相对较少,导致辖区内供给水平较低。

(3)成都市主城区不公平性问题等级较低,超半数地区均属于较低或极低不公平性等级。各类群体在公园绿地公平性方面存在较强的异质性,其公平性状况、程度随地点的变化而变化。老年人和儿童在超过 90% 的地区都面临着不公平问题,但程度较浅。相反,住房价格较低的群体在主城区 55.73% 的地区面临相对较为严重的不公平问题。

3.2 讨论

本文使用多种出行方式下的真实出行时间和距离,引入了公园绿地之间的竞争系数,此外还使用斑块分形维数和生态系统服务价值作为公园绿地的服务质量,将各街道不同年龄段的人口数量以及出行意愿融入了需求端,对三步移动搜索法进行改进,并使用供需水平标准化衡量模型衡量地区供需水平,较为真实反映公园绿地的供需水平。为进一步探究供需水平不公平现象及影响因素,基于社会经济地位角度,利用参数最优地理探测模型和多尺度地理加权回归模型更准确的探究公园绿地供需水平不公平现象的异质性,论证公园绿地供需水平与社会经济地位的相关性,探索导致不公平性发生的原因,有利于居民拥有更加公平完善的公共服务资源配置,也为其他城市公共服务设施供需水平的研究提供了更好的研究视角。

根据研究结果发现,成都市主城区公园绿地供需水平空间格局呈“中心低、外围高”的圈层分布格局与当前部分城市研究一致。汪森^[9,46]等人发现南京市主城区公园绿地供给水平低,而郊区供给水平较高。然而于北京^[8]、深圳^[25]、福州^[47]等城市表现出依附于高服务水平公园绿地所呈现出的高供需水平有一定差异。整体而言,成都市主城区公园绿地供需水平公平性较优,得益于主城区公园绿地空间分布较为均衡,也与成都市正在开展的城市环城绿道建设有关。由供需水平公平性结果可知,老年人口数量和住房价格仍是产生不公平性最主要的原因,结果与其他城市一致^[17-18,45]。由于中国住房价格数十年的上涨,公园绿地逐渐成为“环境商品”,较高价格住房拥有公园绿地的数量与质量高于其他地区,并且随着中国老龄化程度的不断加深,如何应对快速增长的老年人数量和有限的公园绿地供应成为城市亟待解决的问题。

针对这一问题,建议城市政府应加强政策的干预和调整,根据不同地区、不同社会群体的具体需求制定精细化的供给策略,进一步优化公园绿地和居住小区的空间布局,并完善城市道路交通系统。具体包括:(1)应重视游园和社区公园对公平性问题的改善,在开发强度大、土地面积紧张的区域,建设口袋公园、街心公园,同时提高荒地、闲置地、棕地等城市非正式绿地利用效率,对改善老年人面临的不公平性问题有重要意义。(2)应在有建设条件的地区,增加公园绿地的规划供给,注重提高公园绿地内部环境质量的改善,以提高服务质量和能力;此外,应合理进行路网规划布局,完善城市公共交通体系,减少居民出行时间,提高公园绿地使用效率,保证社会经济地位较低居民的出行需要。(3)还应拓宽公众参与渠道,了解不同类型人群的需求建议,制定差异化的供给模式,将其纳入城市规划建设的全过程。总之,改善城市公园绿地的供需水平,不应只从城市全局视角出发,应从更精细化的角度审视公园绿地公平性问题,关注城市社会经济地位较低的群体,努力实现生态公平。

本文还存在一些局限性:一是由于数据的可得性的限制,使用边长为 300m 的细粒度网格作为研究尺度,已尽可能的减少了使用网格中心作为需求点所产生的误差问题。二是因为街道的普查数据缺失,仅能使用七普数据,忽略了对供需水平在不同时间上的变化情况,并且无法获取网格内的具体数据。三是难以获取公园绿地内的基础设施建设情况,因此对公园绿地的服务能力的测算还有进一步完善的空间。

参考文献(References):

- [1] Liu B X, Tian Y, Guo M, Tran D, Alwah A A Q, Xu D W. Evaluating the disparity between supply and demand of park green space using a multi-dimensional spatial equity evaluation framework. *Cities*, 2022, 121: 103484.
- [2] 屠星月, 黄甘霖, 邬建国. 城市绿地可达性和居民福祉关系研究综述. *生态学报*, 2019, 39(02): 421-431.
- [3] 陈力行, 邓雅丽, 张樱子, 王妍. 成都市城市公园景观特征的“冷岛效应”研究. *中国园林*, 2023, 39(5): 132-138.
- [4] 侯翠翠, 郭梦源, 杨凡, 蔡明蕾, 王靖, 王华, 申晓萌. 有风条件下典型城市绿地对近地面大气温室气体含量分布的影响. *生态环境学报*, 2018, 27(10): 1908-1915.
- [5] Staddon C, Ward S, De Vito L, Zuniga-Teran A, Gerlak A K, Schoeman Y, Hart A, Booth G. Contributions of green infrastructure to enhancing urban resilience. *Environment Systems and Decisions*, 2018, 38(3): 330-338.
- [6] 高非凡, 刘逸, 李志刚. 中国城市居民心理压力程度时空格局及与休闲设施供给的关系. *地球信息科学学报*, 2024, 26(2): 530-541.
- [7] Brindley P, Cameron R W, Ersoy E, Jorgensen A, Maheswaran R. Is more always better? Exploring field survey and social media indicators of quality of urban greenspace, in relation to health. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2019, 39: 45-54.
- [8] 孟露, 李惊. 基于可达性的北京市海淀区绿色开放空间供需关系分析和优化方向研究. *北京林业大学学报*, 2023, 45(2): 108-119.
- [9] 汪森, 陈振杰, 周琛. 城市绿色开敞空间可达性研究——以南京市中心城区为例. *生态学报*, 2023, 43(13): 5347-5356.
- [10] 桂昆鹏, 徐建刚, 张翔. 基于供需分析的城市绿地空间布局优化——以南京市为例. *应用生态学报*, 2013, 24(5): 1215-1223.
- [11] 骆畅, 王方民, 李高高, 杨朝现. 山地多中心城市公园绿地生态系统文化服务供需匹配特征. *生态学报*, 2024, 44(13): 5816-5827.
- [12] Zhao J J, Chen S B, Jiang B, Ren Y, Wang H, Vause J, Yu H D. Temporal trend of green space coverage in China and its relationship with urbanization over the last two decades. *Science of the Total Environment*, 2013, 442: 455-465.
- [13] 江海燕, 周春山, 高军波. 西方城市公共服务空间分布的公平性研究进展. *城市规划*, 2011, 35(7): 72-77.
- [14] Mears M, Brindley P, Maheswaran R, Jorgensen A. Understanding the socioeconomic equity of publicly accessible greenspace distribution: the example of Sheffield, UK. *Geoforum*, 2019, 103: 126-137.
- [15] 裴新蕊, 郭鹏, 吴佳莉, 孙艳玲, 钟世洋. 基于改进多交通模式两步移动搜索法的天津市公园绿地可达性评价. *地理与地理信息科学*, 2024, 40(4): 74-79.
- [16] 幸丽君, 杜赛南, 仝照民, 张蕾. 环境正义视阈下城市公园绿地时空可达性及其影响因素. *生态学报*, 2023, 43(13): 5370-5382.
- [17] 王子琳, 李志刚, 程哈蓓. 中国大城市公园绿地可达性的公平性研究——以武汉市中心城区为例. *地理科学进展*, 2022, 41(4): 621-635.
- [18] Yang W Y, Yang R Y, Zhou S H. The spatial heterogeneity of urban green space inequity from a perspective of the vulnerable: a case study of Guangzhou, China. *Cities*, 2022, 130: 103855.
- [19] Rigolon A, Gibson S. The role of non-governmental organizations in achieving environmental justice for green and blue spaces. *Landscape and Urban Planning*, 2021, 205: 103970.
- [20] Kikuchi H, Emberger G, Ishida H, Fukuda A, Kobayakawa S. Dynamic simulations of compact city development to counter future population decline. *Cities*, 2022, 127: 103753.
- [21] Gradinaru S R, Onose D A, Oliveira E, Slave A R, Popa A M, Gavrilidis A A. Equity in urban greening: Evidence from strategic planning in Romania. *Landscape and Urban Planning*, 2023, 230: 104614.
- [22] 冯姗姗, 陈怡沁, 寇晓丽, 李成, 常江. 基于城市公园绿地公平性提升的非正式绿地更新时序——以徐州市鼓楼区为例. *生态学报*, 2024, 44(20): 9173-9182.
- [23] Li X, Ma X D, Hu Z N, Li S Y. Investigation of urban green space equity at the city level and relevant strategies for improving the provisioning in China. *Land Use Policy*, 2021, 101: 105144.
- [24] 李坤洋, 鲁琳. 基于 POI 数据的城市绿地服务空间分布研究——以河南省郑州市为例. *地域研究与开发*, 2021, 40(6): 75-80.
- [25] 仝德, 孙裔煜, 谢苗苗. 基于改进高斯两步移动搜索法的深圳市公园绿地可达性评价. *地理科学进展*, 2021, 40(7): 1113-1126.
- [26] 闫苗苗, 韦原原, 邓学锋, 朱琦, 朱睿, 王如意. 郑州绿地公园分布及可达性研究. *地理空间信息*, 2023, 21(4): 46-49.
- [27] 闫水玉, 唐俊. 城市绿色空间生态系统服务供需匹配评估方法: 研究进展与启示. *城市规划学刊*, 2022(2): 62-68.
- [28] 许基伟, 方世明, 刘春燕. 基于 G2SFCA 的武汉市中心城区公园绿地空间公平性分析. *资源科学*, 2017, 39(3): 430-440.
- [29] Krings A, Schusler T M. Equity in sustainable development: Community responses to environmental gentrification. *International Journal of Social Welfare*, 2020, 29(4): 321-334.
- [30] 陈阳, 张琳琳, 马仁锋, 李冠, 卓跃飞, 徐忠国. 城市绿色空间可达性与居民分布的空间匹配与影响因素. *生态学报*, 2022, 42(24): 9971-9980.

- [31] 郑鑫娟, 肖童, 刘晔, 覃茹婧, 柴力行, 姚江春. 基于多出行模式两步移动搜索法的东莞市小学空间可达性研究. 地理科学进展, 2023, 42(7): 1341-1354.
- [32] Niu Q, Wang Y, Xia Y, Wu H, Tang X. Detailed assessment of the spatial distribution of urban parks according to day and travel mode based on web mapping API: a case study of main parks in Wuhan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(8): 1725.
- [33] 徐欣, 胡静, 贾焱焱, 田小波. 武汉市多维度城市公园绿地空间公平性分析. 地理科学, 2021, 41(12): 2138-2148.
- [34] Xu M Y, Xin J, Su S L, Weng M, Cai Z L. Social inequalities of park accessibility in Shenzhen, China: the role of park quality, transport modes, and hierarchical socioeconomic characteristics. *Journal of Transport Geography*, 2017, 62: 38-50.
- [35] 张金萍, 林丹, 周向丽, 李放, 周艳梅, 程叶青, 王平. 基于改进 3SFCA 的乡村地区公共医疗设施空间可达性与公平性评价——以海口市为例. 地理科学进展, 2022, 41(4): 636-647.
- [36] Giles-Corti B, Broomhall M H, Knuiaman M, Collins C, Douglas K, Ng K, Lange A, Donovan R J. Increasing walking How important is distance to, attractiveness, and size of public open space? *American Journal of Preventive Medicine*, 2005, 28(2): 169-176.
- [37] 张百婷, 李宗省, 冯起, 陆志翔, 张百娟, 程文举. 基于土地利用变化的祁连山地区生态系统服务价值演化分析. 生态学报, 2024, 44(10): 4187-4202.
- [38] Taleai M, Sliuzas R, Flacke J. An integrated framework to evaluate the equity of urban public facilities using spatial multi-criteria analysis. *Cities*, 2014, 40: 56-69.
- [39] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.
- [40] Song Y Z, Wang J F, Ge Y, Xu C D. An optimal parameters-based geographical detector model enhances geographic characteristics of explanatory variables for spatial heterogeneity analysis: cases with different types of spatial data. *GIScience & Remote Sensing*, 2020, 57(5): 593-610.
- [41] 岳胜如, 王伦澈, 曹茜, 孙嘉. 塔里木河流域植被动态及潜在因素驱动机制. 地球科学, 2024, 49(09): 3399-3410.
- [42] Oshan T M, Smith J P, Fotheringham A S. Targeting the spatial context of obesity determinants *via* multiscale geographically weighted regression. *International Journal of Health Geographics*, 2020, 19(1): 11.
- [43] Viinikka A, Tiitu M, Heikinheimo V, Halonen J I, Nyberg E, Vierikko K. Associations of neighborhood-level socioeconomic status, accessibility, and quality of green spaces in Finnish urban regions. *Applied Geography*, 2023, 157: 102973.
- [44] Chen J, Kinoshita T, Li H Y, Luo S X, Su D E, Yang X Q, Hu Y Q. Toward green equity: an extensive study on urban form and green space equity for shrinking cities. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 90: 104395.
- [45] 王敏, 朱安娜, 汪洁琼, 卢天凤. 基于社会公平正义的城市公园绿地空间配置供需关系——以上海徐汇区为例. 生态学报, 2019, 39(19): 7035-7046.
- [46] 赵海霞, 顾斌杰, 王俊淇, 范金鼎, 李欣. 绿色基础设施供需适配关系演进特征及其规律——以南京市为例. 生态学报, 2024, 44(02): 463-475.
- [47] 饶钰飞, 邹亚锋, 罗锋, 易呈锋, 杜平平, 吴聘奇, 吕昌河. 基于两步移动搜索法的福州市公园绿地主客观可达性研究. 生态学报, 2024, 44(10): 4064-4080.