

不同社区生活圈范围的绿色环境暴露水平 与房价的空间分布关系研究

王秋实^{1,2},董玉宽^{1,2},梁志鹏^{1,2},陈希^{1,2}

(1. 沈阳建筑大学建筑与规划学院,辽宁 沈阳 110168; 2. 辽宁省城市信息与空间感知重点实验室,
辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 研究不同社区生活圈范围绿色环境暴露水平与房价之间的空间关系。
方法 以人本视角为切入点,通过机器学习和空间自相关的方法,选取沈阳长白岛地区为研究单元,对不同社区生活圈的绿色环境暴露水平与房价的空间分布关系进行分析。
结果 不同社区生活圈的绿色环境暴露水平与房价具有空间自相关,不同生活圈的绿色环境感知水平差异明显。5 min、10 min、15 min 生活圈范围的绿色环境暴露水平与房价双变量冷热点集聚空间分布基本重合,“高-高”、“低-低”的冷热点均出现明显集聚。
结论 受城市功能结构、街道绿色环境质量的影响,社区的绿色环境暴露水平呈现先离散再集聚的空间分布关系。

关键词 多源数据;机器学习;空间自相关;绿色环境暴露;莫兰指数

中图分类号 TU398.1 文献标志码 A

Relationship between the Green Environmental Exposure Level in Different Community Living Circles and the Spatial Distribution of Housing Prices

WANG Qiushi^{1,2}, DONG Yukuan^{1,2}, LIANG Zhipeng^{1,2}, CHEN Xi^{1,2}

(1. School of Architecture and Urban Planning, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China 110168; 2. Key Laboratory of City Information and Spatial Perception in Liaoning, Shenyang, China 110168)

Abstract: Taking the humanistic perspective as the starting point, Changbai island in Shenyang taken as the research unit, the spatial relationship between green environmental exposure level and house price in different community living circles was studied by the method of machine learning and spatial autocorrelation. This relationship is spatial autocorrelation, and the perception level of green environment in different life circles is significantly different. The green environmental exposure within the 5 min, 10 min and 15 min living circle basically coincides with the spatial distribution of the bivariate cold and hot spots of house prices, and the cold and hot spots of "high-

收稿日期:2022-02-27

基金项目:国家自然科学基金项目(52178045);住房和城乡建设部软科学项目(R20210795)

作者简介:王秋实(1990—),男,博士研究生,主要从事环境行为与空间感知等方面研究。

high" and "low-low" are obviously concentrated. Affected by the urban functional structure and the quality of street green environment, the green environment exposure level of the community presents a spatial distribution relationship of first dispersion and then agglomeration.

Key words: multi-source data; machine learning; spatial auto-correlation; green environmental exposure; Moran's

社会对于公众健康的关注为风景园林学科提供了前所未有的机遇和挑战,城市街道也开始承载更多健康服务功能^[1-2]。街道空间日益成为高频接触的活动空间,其环境特征对身心产生一定影响^[3]。高可见度的城市街道空间有助于提升空间感受和可步行性^[4],继而促进体力活动、增强安全感等^[5-8]。针对环境暴露的相关研究起源于医学研究领域,蓝绿环境、气象因素等已经被证实对城市居民心理健康造成直接影响^[9]。绿色暴露作为环境暴露学的重要部分已逐渐进入学者讨论范畴当中^[10-11],传统研究主要集中在其面积、形态、可达性等方面^[12],也有学者最近开始从暴露时间、到访频率角度与绿色环境暴露进行研究^[13]。日本学者提出根据真实场景感受的绿视率为研究对象,研究表明高绿视率街道可以释放市民压力,不同收入水平的空间分布将影响景观公正^[14]。近年来,依托于测度方式的转变人本尺度的暴露研究备受各交叉学科研究的关注^[15]。随着计算机技术的快速发展,卷积神经网络^[16]、弱监督多任务学习^[17]等技术可对图片数据进行语义分割^[18],继而识别城市图像中的关键信息,使得人本尺度街景数据分析成为可能^[19-20]。因此,笔者以人本视角为切入点,选取沈阳长白岛为研究单元,用机器学习和空间自相关的方法,建立快速描述城市街道空间绿色环境暴露水平的模型与方法,以此表征其与房价水平的空间分布关系。

1 数据采集

笔者选定城市核心区中的沈阳和平区长白岛地区进行研究,面积约为 10.8 km²,外围的城市道路与地块内道路相对独立(见

图1)。长白岛北侧为城市滨河公园、岛中有带状公园环绕,长白岛从 2007 年开始建设,建筑及人口密度较大,公共服务设施分布较为均等,城市街景成为影响日常个体居民使用的主要环境暴露因素之一。

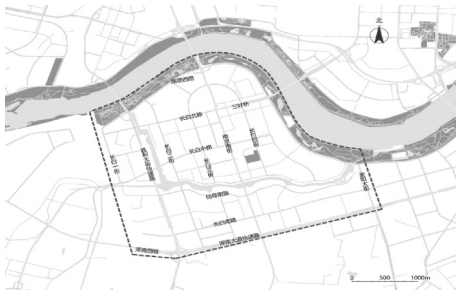


图1 沈阳市长白岛

Fig.1 The map of Changbai island in Shenyang

1.1 路网数据采集

笔者通过 OSM (Open Street Map) 对城市道路进行爬取,并依据百度地图路网进行复核和补全。通过对两种平台爬取的路网坐标进行转换和校对,尽量避免单一数据源的城市路网存在误差。研究范围由于主要测度城市街景环境暴露对固定居住地个体的影响,所以仅对城市道路的路网进行爬取和分析,并对城市路网中不具有百度街景的数据点位进行人工复核,补齐相关数据。

1.2 街景数据采集

笔者以爬取的 HDRI (360°) 街景图片作为后续进行环境暴露水平测度研究的源数据。通过百度地图云平台 API,将研究范围内的 193 个街道节点按照 100 m 间隔进行数据采集,共获取 670 个观测点数据,覆盖研究对象的全部城市街道范围。并通过 SegNet 深度学习,识别出天空、建筑、植物等信息要素。

1.3 居住区及房价数据采集

笔者将不同居住区的实际边界和主入口

进行复核。通过 python 工具的 requests 模块模拟浏览器向房谱网服务器发送请求,并获取页面数据,用 Beautiful Soup 库对获取到的数据进行解析后保存到本地,共爬取了 85 个居住区的历史平均房价数据。

2 数据分析与模型建构

2.1 机器学习技术的街景图片语义分割

传统研究普遍采用 photoshop、HSV 等软件对图片中的像素比例进行计算^[21-22]。笔者采用 SegNet 对爬取的街景 HDRI 图片提取图像特征进行语义分割,量化识别出同一点位街景图片中不同方向的植物要素占比,并计算该点的绿视率平均值(见图 2)。

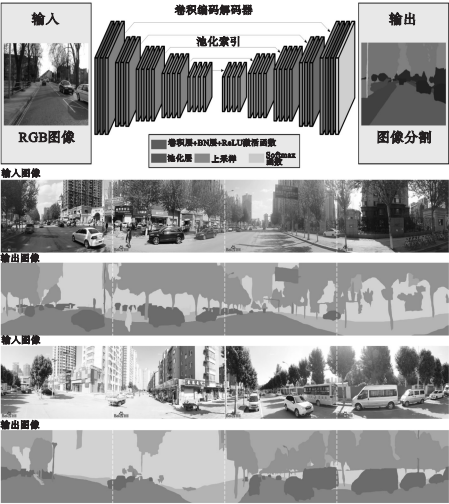


图2 机器学习技术的街景图片语义分割技术框架
Fig. 2 Semantic segmentation technology framework for street view images based on machine learning

定义观测点的绿视率为 4 个视线方向绿视率的平均值^[23],若个别点位的采样点数据不全,该采样点绿视率计为 0。

$$G_v = \frac{G_{vN} + G_{vE} + G_{vS} + G_{vW}}{m} \tag{1}$$

式中: G_v 为采样点的平均绿视率, G_{vN} 、 G_{vE} 、 G_{vS} 、 G_{vW} 为不同方向的采样街景图片的绿视率, m 为有效采样点图片的数量。

2.2 不同生活圈的绿色环境暴露水平测算

当以固定居住地的生活圈作为计算对象

时,按照 GIS 中的网络分析法计算其生活圈范围,并将不同范围内的采样点进行计算(见图 3)。即可得到不同生活圈范围内的平均绿视率,其平均绿视率近似代表其绿色视觉环境暴露的强度。

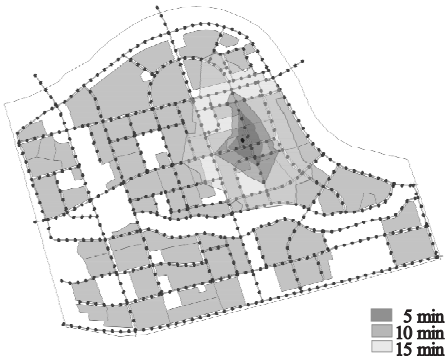


图3 不同生活圈的绿色环境暴露水平测算范围
Fig. 3 Measured range of exposure level sampling points in different life circle ranges(5,10,15 min)

$$\overline{G_v} = \frac{\sum_{i=1}^N G_{vi}}{N} \tag{2}$$

式中: $\overline{G_v}$ 为不同生活圈范围内的平均绿视率; G_{vi} 为单个采样点的绿视率; N 为观测点数量。

2.3 双变量空间自相关分析模型

空间自相关分析包括全局空间自相关和局部空间自相关。用全局空间自相关描述整个长白岛上所有对象之间的平均关联程度、空间分布模式及其显著性。局部空间自相关统计变量可以识别不同空间位置上可能存在的空间关联模式,从而发现空间局部不平稳性,更为准确地把握局部空间要素的聚集性和分异特征,为分类和决策提供依据。空间自相关分析可确定某一变量在空间上是否相关、其相关程度如何,其中全局空间自相关着重刻画空间上的聚集状态和相关程度,而局部空间自相关则可判断出空间上的热点区域^[24]。笔者引入 Moran's I 和 Local Moran's I 指数来描述全局空间自相关和局部空间自相关性^[25]。其中,Moran's I 指数的计算式为

$$I = \frac{\sum_i \sum_{j \neq i} w_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_i \sum_{j \neq i} w_{ij}} \quad (3)$$

其中,对单个空间单元*i*的Local Moran's I指数为

$$I_i = \frac{Y_i - \bar{Y}}{S_i^2} \cdot \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij} \cdot (Y_j - \bar{Y}) \quad (4)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_i (Y_i - \bar{Y})^2 \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (5)$$

式中:*Y_i*和*Y_j*分别为单元*i*和单元*j*的属性值;*n*为空间单元数量;*W_{ij}*为基于欧式距离与K-近邻算法(k-Nearest Neighbor, KNN)建立的空间权重矩阵。

为了刻画多个变量之间的空间相关性,相关学者^[26]在Moran's I指数的基础上进一步拓展了双变量全局自相关和局部自相关,为揭示不同要素空间分布的相关性提供了可行方法。

$$I_{lm}^p = z_l^p \sum_{q=1}^n W_{pq} z_m^q \quad (6)$$

$$z_l^p = \frac{X_l^p - \bar{X}_l}{\sigma_l} \quad (7)$$

$$z_m^q = \frac{X_m^q - \bar{X}_m}{\sigma_m} \quad (8)$$

式中:*X_l^p*为空间单元*p*的属性*l*的值;*X_m^q*为空间单元*q*的属性*m*的值;*̄X_l*和*̄X_m*分别为

属性*l*和*m*的平均值;*σ_l*和*σ_m*分别为属性*l*和*m*的方差。

3 空间分布关系分析

3.1 全局空间自相关分析

笔者分别将不同生活圈范围内的绿色环境暴露水平按照距离成本的方式进行平均计算,并运用ArcGIS进行可视化呈现(见图4)。莫兰指数(Moran's I)分为全部莫兰指数(Global Moran's I)和局部莫兰指数(Local Moran's I)。其中,前者由PAP Moran提出,用来度量空间是否出现集聚或异常值;后者由Luc Anselin提出,用来度量哪里出现了集聚或异常值^[27]。因此,笔者分别对不同社区生活圈范围的绿色环境暴露水平和房价分别进行全局自相关统计。全局自相关指数随着社区生活圈范围的扩大逐渐增大,分别为0.158 479、0.263 657、0.625 467,标准差倍数*z*值分别为2.474 326、3.969 278、9.060 818(见图5)。其结果表示随着生活圈范围的扩大,社区绿色环境暴露水平集聚程度不断增加。另外,房价的全局自相关指数为0.292 518,标准差倍数*z*值为4.394 343,其相关数值符合空间正相关的标准,可以开展后续多变量的空间自相关研究。

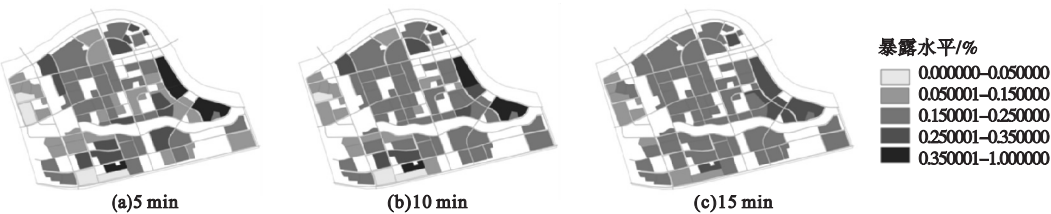


图4 不同生活圈范围的绿色环境暴露水平的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution map of the green environmental exposure levels in different living circles

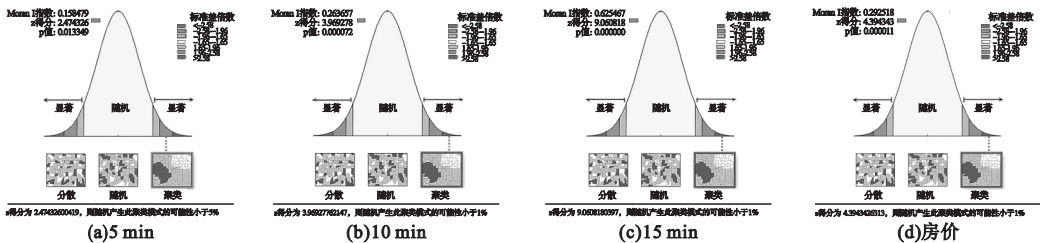


图5 不同社区生活圈范围的绿色环境暴露水平及房价的全局空间自相关

Fig. 5 Global spatial autocorrelation analysis of green environmental exposure levels and housing prices in different community living circles

3.2 局部空间自相关分析

3.2.1 单变量局部空间自相关关系分析

笔者通过 Geoda 对绿色环境暴露水平

和住房价格两个单变量分别进行局部自相关分析,并进行可视化表达(见图6)。

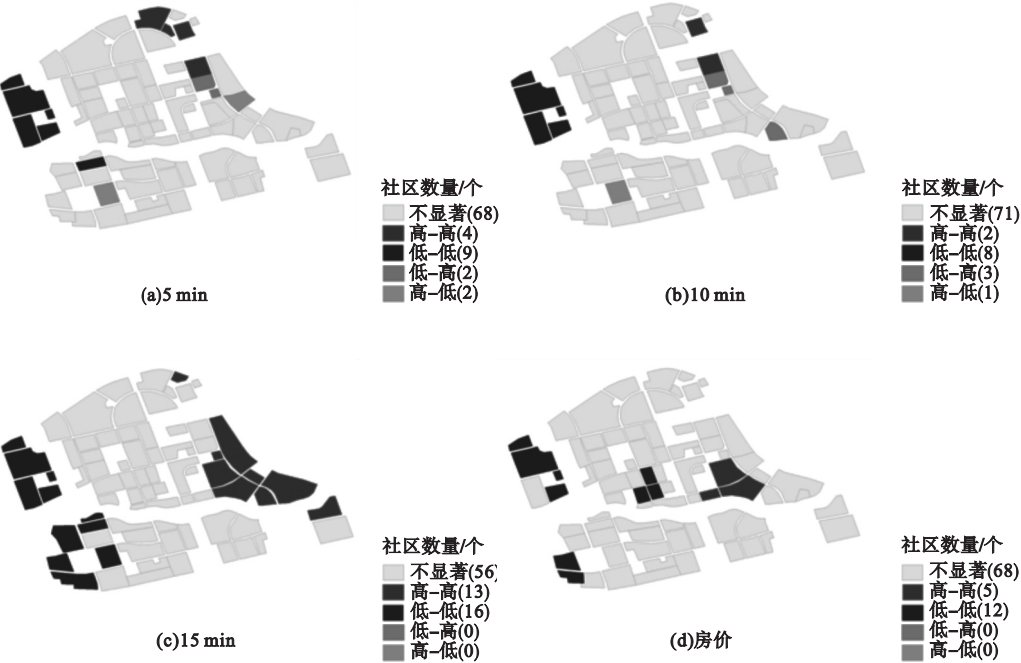


图6 单变量局部空间自相关的社区绿色环境暴露水平及房价的空间分布

Fig. 6 Spatial distribution map of community green environmental exposure levels and housing prices in univariate local spatial autocorrelation

(1) 伴随生活圈范围不断扩大,绿色环境暴露水平热点和冷点集聚趋于明显。热点集聚从岛内东北侧散落分布,逐渐转化为东侧集中分布;冷点集聚从西北侧集中分布,逐渐转为为西侧集中分布。房价水平的局部空间自相关,热点集聚主要分布在岛内中轴线毗邻的东侧区域,如中海龙湾、中海国际社区二期东区等;冷点集聚主要分布在西北侧、西南侧和岛内中轴线西侧,如中冶上河湾、长白新城等。

(2) 5 min、10 min 生活圈范围的冷热点集聚均出现异常值,15 min 生活圈范围内异常值消失。5 min、10 min 的“低-高”异常值主要出现在外滩三号、中航城两河流域。“高-低”异常值主要出现在新加坡城二期,其异常值主要受到该生活圈范围内的街道绿色环境影响,15 min 以上异常值消失,说明较大范围的长白岛内的绿色环境与房价水平

呈现空间正相关。

(3) 15 min 生活圈范围的社区绿色环境暴露水平与房价的冷-热点集聚耦合比较显著。房价的热点集聚被包含于 15 min 生活圈范围的热点集聚中,与 5 min、10 min 生活圈范围的热点集聚无明显耦合关系;该结果说明 15 min 生活圈范围的绿色环境暴露水平与房价的正向影响显著。反观,房价的冷点集聚与不同生活圈范围均出现局部耦合,说明房价的负向影响只存在部分影响关系。

3.2.2 双变量局部空间自相关关系分析

通过双变量自相关 LISA 图对绿色环境暴露水平与房价两个变量的局部莫兰指数进行空间可视化分析,继而探讨由房价代偿的收入情况是否正向或者负向显著影响了绿色环境暴露水平的公平性。采用 GeoDa 对双变量的空间自相关关系进行分析^[28],建立基于欧式距离与 K-近邻算法(k-Nearest

Neighbor, KNN)的空间权重矩阵,对5 min、10 min、15 min生活圈范围的绿色环境暴露水平与房价进行双变量局部空间自相关分析(见图7)。

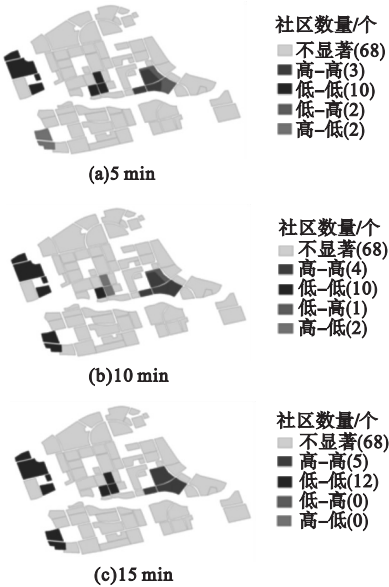


图7 双变量局部空间自相关的社区绿色环境暴露水平与房价的空间分布

Fig.7 Spatial distribution map of community green environmental exposure level and housing price in bivariate local spatial autocorrelation

(1)5 min、10 min、15 min 生活圈范围的绿色环境暴露水平与房价双变量冷热点集聚空间分布基本重合。15 min 的冷点集聚范围最大,包含 5 min、10 min 的冷点集聚空间范围,说明伴随生活圈范围扩大,冷点集聚点位更加明显。5 min、10 min、15 min 热点集聚范围基本相同,说明不同生活圈范围的绿色环境暴露水平与房价皆呈现空间正相关。

(2)5 min、10 min、15 min 生活圈范围的绿色环境暴露水平与房价双变量冷热点集聚出现明显聚类。不同生活圈范围的分析结果呈现“高-高”和“低-低”的显著聚类特征,其中靠近仙岛北路的中海国际社区组团为典型的“高-高”集聚区,而靠近长大铁路的中冶马总花园、靠近地块西南侧江南时代、地块中心的天河家园等组团呈现“低-低”集聚区。“高-高”集聚主要出现在同时靠近两

个城市带状公园的品牌地产社区组团,“低-低”聚集区分别是回迁组团和新近建设的核心区远端组团。

(3)5 min、10 min 生活圈范围双变量冷热点集聚出现异常值,15 min 生活圈范围异常值消失。5 min、10 min 生活圈范围出现“高-低”“低-高”的异常值,说明绿色环境暴露水平在小尺度生活圈内房价的不具有显著的空间自相关,原因可能是小尺度生活圈内房价受到房屋性质(商品房、经济适用房、小产权房等)、开发商品牌、物业维护水平等多方面影响,出现一定程度的周围低绿化率与高房价或高绿化率与低房价的集聚异常值。由于更大尺度范围住区开发周期的时间连续和品质开放品牌的空间聚集等原因,导致在较大尺度上的绿色环境暴露水平与房价空间自相关趋于稳定,异常值逐渐消失。

4 结 论

(1)不同生活圈范围的绿色环境暴露感知水平差异较明显。伴随生活圈范围增大其绿色环境暴露水平趋近平衡,感知水平较好的居住区数量显著增多。5 min 生活圈范围的绿色环境暴露水平主要受到城市街道绿化的影响相对显著;15 min 生活圈范围的绿色环境暴露水平受到城市带状公园的影响相对显著。其中城市级带状公园对绿色环境暴露水平影响显著,其他级别的带状公园对绿色环境暴露水平的影响相对较弱。

(2)不同社区生活圈范围的绿色环境暴露水平与房价出现显著的热点和冷点集聚。5 min 生活圈范围出现一个显著的热点集聚、两个显著的冷点集聚。10 min 和 15 min 生活圈范围出现 3 个显著的冷点集聚,一个显著的热点集聚。“高-高”集聚的社区同时拥有两个丰富的城市公园,继而反映出比较更高的街道绿色环境暴露水平,与房价形成良好的互促效应。

(3)城市街道空间的绿色环境质量也是

影响房价的重要潜在因素。城市建成空间中的街道绿色环境质量也是影响街道绿地环境暴露水平的潜在因素。房价较高的社区多分布在富有绿地的公园周围。社区与绿地的位置是影响房价高低的重要因素,城市主体结构对房价影响同样显著,临近城际铁路、城市快速路的绿色空间质量也相对较低,其房价相对较低。

参考文献

- [1] 冯刚.人地协同观下的存量用地精细化设计探索[J].城市建筑,2020,17(30):15-18.
(FENG Gang. Exploration on the fined design of stock land under the view of human land cooperation [J]. Urban and architecture,2020, 17(30):15-18.)
- [2] 龙瀛,唐婧娴.城市街道空间品质大规模量化测度研究进展[J].城市规划,2019,43(6):107-114.
(LONG Ying, TANG Jingxian. Large-scale quantitative measurement of the quality of urban street space: the research progress [J]. City planning review, 2019, 43 (6): 107-114.)
- [3] 叶宇,张灵珠,颜文涛,等.街道绿化品质的人本视角测度框架:基于百度街景数据和机器学习的大规模分析[J].风景园林,2018,25(8):24-29.
(YE Yu, ZHANG Lingzhu, YAN Wentao, et al. Measuring street greening quality from humanistic perspective: a large-scale analysis based on baidu street view images and machine learning algorithms [J]. Landscape architecture,2018,25(8):24-29.)
- [4] 余洋,蒋雨芊,李磊.城市公共空间的健康途径:健康街道的内涵、要素与框架[J].中国园林,2021,37(3):20-25.
(YU Yang, JIANG Yuqian, LI Lei. Healthy approaches of urban public space: connotation, elements and framework of the healthy street [J]. Chinese landscape architecture, 2021, 37 (3):20-25.)
- [5] 杨婕,陶印华,刘志林,等.邻里效应视角下社区交往对生活满意度的影响:基于北京市26个社区居民的多层次路径分析[J].人文地理,2021,36(2):27-34.
(YANG Jie, TAO Yinhu, LIU Zhilin, et al. Associations of social interaction with life satisfaction under the notion of neighborhood effect: a multilevel path analysis for residents from 26 residential communities in Beijing [J]. Human geography, 2021, 36 (2): 27-34.)
- [6] O'BRIEN D T, FARRELL C, WELSH B C. Broken (windows) theory: a meta-analysis of

the evidence for the pathways from neighborhood disorder to resident health outcomes and behaviors [J]. Social science & medicine,2019,228(5):272-292.

- [7] 李泽,谢晓晗,张瑶.建成环境与心理健康研究进展的述评与展望:基于疗愈视角的文献综述研究[J].西部人居环境学刊,2020,35(4):34-42.
(LI Ze, XIE Xiaohan, ZHANG Yao. Review and prospect on the research of the relationship between built environment and mental health: literature review based on the perspective of restorative environment [J]. Journal of human settlements in west China, 2020, 35 (4): 34-42.)
- [8] 李春江,马静,柴彦威,等.居住区环境与噪音污染对居民心理健康的影响:以北京为例[J].地理科学进展,2019,38(7):1103-1110.
(LI Chunjiang, MA Jing, CHAI Yanwei, et al. Influence of neighborhood environment and noise pollution on residents' mental health in Beijing [J]. Progress in geography, 2019, 38 (7):1103-1110.)
- [9] 李小平.一个新的交叉学科:环境暴露学[J].国外医学地理分册,2016,37(2):81-84.
(LI Xiaoping. Environmental exposure science: a new interdisciplinary [J]. Foreign medical science section of medgeography, 2016, 37 (2):81-84.)
- [10] 裴昱,阚长城,党安荣.基于街景地图数据的北京市东城区街道绿色空间正义评估研究[J].中国园林,2020,36(11):51-56.
(PEI Yu, KAN Changcheng, DANG Anrong. Street greenspace justice assessment study of dongcheng district in Beijing based on street view data [J]. Chinese landscape architecture, 2020,36(11):51-56.)
- [11] 徐磊青,孟若希,黄舒晴,等.疗愈导向的街道设计:基于VR实验的探索[J].国际城市规划,2019,34(1):38-45.
(XU Leiqing, MENG Ruoxi, HUANG Shuqing, et al. Healing oriented street design: experimental explorations via virtual reality [J]. Urban planning international, 2019, 34 (1):38-45.)
- [12] GRAHN P, STIGSDOTTER U A, GRAHN P, et al. Landscape planning and stress [J]. Urban forestry & urban greening, 2003, 2 (1): 1-18.
- [13] NIELSEN T S, HANSEN K B. Do green areas affect health? results from a danish survey on the use of green areas and health indicators [J]. Health & place, 2006, 13 (4): 839-850.
- [14] 柳林,杨刚斌,何深静.市场转型期中国大城市低收入社区住房分异研究[J].地理科学,2014,34(8):897-906.
(LIU Lin, YANG Gangbin, HE Shenjing. Housing differentiation in low-income neighbourhoods in large Chinese cities under

- market transition [J]. *Scientia geographica sinica*, 2014, 34(8): 897–906.)
- [15] 李文越, 龙瀛. 建成环境暴露测度的方法转变: 从基于固定居住地和 GIS 数据到基于个体移动性和影像数据[J]. *西部人居环境学*, 2021, 36(2): 23–28.
(LI Wenyue, LONG Ying. Revolution in approaches of assessing exposure to built environment: from static residence based approach and GIS data to individual mobility based approach and image data [J]. *Journal of human settlements in west China*, 2021, 36(2): 23–28.)
- [16] 李树青, 闫莉莉, 彭勃. 免训练的卷积神经网络图像处理研究[J]. *工业控制计算机*, 2021, 34(10): 114–115.
(LI Shuqing, YAN Lili, PENG Bo. Research on image processing of training-free convolutional neural network [J]. *Industrial control computer*, 2021, 34(10): 114–115.)
- [17] 李宾皓, 李颖, 郝鸣阳, 等. 弱监督学习语义分割方法综述[J]. *数字通信世界*, 2020(7): 255–257.
(LI Binai, LI Ying, HAO Mingyang, et al. A survey of weak supervised learning semantic segmentation methods [J]. *Digital communication world*, 2020(7): 255–257.)
- [18] 余晓娜. 全景街区影像变化检测方法研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2020.
(YU Xiaona. Research on image change detection method of panoramic block [D]. Kunming: Kunming University of Technology, 2020.)
- [19] 林锦涵, 陈芸芝, 汪小钦. 基于绿视率的福州市鼓楼区道路绿化水平评价[J]. *中国城市林业*, 2021, 19(3): 73–77.
(LIN Jinhan, CHEN Yunzhi, WANG Xiaoqin. Road greening level evaluation of gulou district in fuzhou based on visible green index [J]. *Journal of Chinese urban forestry*, 2021, 19(3): 73–77.)
- [20] 龙瀛, 张恩嘉. 科技革命促进城市研究与实践的三个路径: 城市实验室、新城市与未来城市[J]. *世界建筑*, 2021(3): 62–65.
(LONG Ying, ZHANG Enjia. Three ways to promote urban research and practice with emerging technologies: from the perspective of city laboratory, new city and future city [J]. *World architecture*, 2021(3): 62–65.)
- [21] 肖希, 韦怡凯, 李敏. 日本城市绿视率计量方法与评价应用[J]. *国际城市规划*, 2018, 33(2): 98–103.
(XIAO Xi, WEI Yikai, LI Min. The method of measurement and applications of visible green index in Japan [J]. *Urban planning international*, 2018, 33(2): 98–103.)
- [22] 赵庆, 唐洪辉, 魏丹, 等. 基于绿视率的城市绿道空间绿量可视性特征[J]. *浙江农林大学学报*, 2016, 33(2): 288–294.
(ZHAO Qing, TANG Honghui, WEI Dan, et al. Spatial visibility of green areas of urban greenway using the green appearance percentage [J]. *Journal of Zhejiang A & F university*, 2016, 33(2): 288–294.)
- [23] 李智轩, 何仲禹, 张一鸣, 等. 绿色环境暴露对居民心理健康的影响研究: 以南京为例[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(5): 779–791.
(Li Zhixuan, He Zhongyu, Zhang Yiming, et al. Impact of green space exposure in residents' mental health: a case study of Nanjing city [J]. *Progress in geography*, 2020, 39(5): 779–791.)
- [24] ANSELIN L. The local indicators of spatial association: LISA [J]. *Geographical analysis*, 1995, 27(2): 93–115.
- [25] ORD J K, GETIS A. Local spatial autocorrelation statistics: Distributional issues and application [J]. *Geographical analysis*, 1995, 27(4): 286–306.
- [26] WARTENBURG D. Multivariate spatial correlation: A method for exploratory geographical analysis [J]. *Geographical analysis*, 1985, 17(4): 263–283.
- [27] 姚小微, 曾杰, 李旺君. 武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(9): 249–256.
(YAO Xiaowei, ZENG Jie, LI Wangjun. Spatial correlation characteristics of urbanization and land ecosystem service value in Wuhan urban agglomeration [J]. *Transactions of the Chinese society of agricultural engineering*, 2015, 31(9): 249–256.)
(责任编辑: 王国业 英文审校: 唐玉兰)