

DOI: 10.5846/stxb202106151586

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.

Chen Y, Zhang L L, Ma R F, Li G, Zhuo Y F, Xu Z G. Spatial match between urban residents' distribution and green space accessibility and its driving force. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(24): 9971-9980.

城市绿色空间可达性与居民分布的空间匹配与影响因素

陈 阳¹, 张琳琳^{2,*}, 马仁锋³, 李 冠¹, 卓跃飞¹, 徐忠国¹

¹ 宁波大学 法学院, 宁波 315211

² 浙大城市学院 法学院, 杭州 310015

³ 宁波大学 地理科学与旅游文化学院, 宁波 315211

摘要: 城市居民的绿色空间可达性是衡量城市基础设施公平分配的指向标, 关乎城市民生福祉。以宁波为研究区, 基于高德地图路径规划 Application Programming Interface (API) 测度了绿色空间可达性, 融合多源数据模拟了人口空间分布, 分析了绿色空间可达性与人口分布的空间匹配状态, 并采用地理探测器探讨其影响因素。研究表明: ①宁波绿色空间可达性由各区中心向郊区衰减, 高可达性空间占比不高, 反映了绿色服务供给不足的现状。高可达性空间集中于三江口、鄞州新城、北仑城区和镇海老城区, 低可达性空间则主要分布在东部郊区、西部山区和南部农业区。②宁波居民的绿色空间可达性在空间上表现为市中心高人口密度-高可达性和郊区低人口密度-低可达性的空间匹配特征, 在规模上仅不及半数的居民享有 15min 绿色空间可达性, 在乡镇尺度上呈现显著的城区—郊区二元类型分异。③城市居民绿色空间可达性受多重影响因子驱动, 按照重要性依次为区位特征、人类活动、开发强度、社会经济和地形条件。

关键词: 绿色空间; 可达性; 居民分布; 空间匹配; 影响因素; 高德地图 API

Spatial match between urban residents' distribution and green space accessibility and its driving force

CHEN Yang¹, ZHANG Linlin^{2,*}, MA Renfeng³, LI Guan¹, ZHUO Yuefei¹, XU Zhongguo¹

¹ School of Law, Ningbo University, Ningbo 315211, China

² School of Law, Zhejiang University City College, Hangzhou 310015, China

³ School of Geography and Tourism Culture, Ningbo University, Ningbo 315211, China

Abstract: The accessibility of urban residents to green spaces is not only an essential indicator of equitable distribution of urban infrastructure but also a basic component to build livable city, which is linked with urban resident's well-being. In this study, taking Ningbo urban area as a case, we calculated the accessibility of urban green space using the Amap route planning Application Programming Interface. We also simulated the spatial distribution of urban resident based on multi-source data, including land use, nightlight, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Point of Interest (POI), and road network. The spatial match between green space accessibility and urban residents' distribution was thus analyzed on the grid scale with a resolution of 100 m. Furthermore, the drivers for the accessibility of urban residents to green spaces was explored using the GeoDetector. The results show that the accessibility of green space in Ningbo is descending from each district's downtown to peripheral area, with a large proportion of poor accessibility coverage, indicating the weak green

基金项目: 浙江省哲学社会科学规划课题青年项目 (20NDQN294YB); 国家社会科学基金项目 (20FYB054); 浙江省自然科学基金项目 (LQ20D010004); 宁波市社会科学基地课题 (JD5-ZD41)

收稿日期: 2021-06-15; **网络出版日期:** 2022-07-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhanglinlin@zju.edu.cn

service on the whole. The area with good accessibility to green space is concentrated in the confluence of Yao River, Fenghua River and Yong River, Yinzhou new city, Beilun downtown, and Zhenhai old urban area, while the area with poor accessibility is distributed in the eastern and western mountainous area and the southern agricultural region. The accessibility of urban residents to green spaces in Ningbo shows two characteristics: high-density population and good green space accessibility in the downtown and low-density population and poor green space accessibility in the urban periphery. Also, it tends to evolve into an urban-rural dual structure at sub-district scale, which can be classified as three types including downtown, urban periphery, and industrial cluster/agricultural region/ecological conservation area. The proportion of urban residents living with green space accessibility within 15 min is less than 50%, reflecting the limited green service for urban residents in Ningbo. The drivers for the accessibility of urban residents to green spaces analyzed by the GeoDector show that five indicators as proxies for drivers are both significant. The ranking of drivers for the accessibility of urban residents to green spaces is location, human activity, development intensity, social economy, and terrain condition.

Key Words: green space; accessibility; resident distribution; spatial match; driving force; Amap API

城市绿色空间是人居环境的基本要素,广义上指由绿色植物构成的绿地、公园、园林等场所,是支撑城市可持续发展的重要保障^[1-2]。绿色空间为居民提供丰富的生态效益和社会效益,不仅能够降低空气污染、隔离噪音影响、缓解热岛效应、疏导雨水排泄^[3-6],也可以提供休憩场所、保障生理健康和舒缓精神压力^[7-8]。作为一种公共资源,绿色空间具有全民共享和社会服务的属性,意味着绿色空间越充足,越能保障城市民生福祉。随着生态文明、绿色发展、以人为本等发展理念普及,城市发展不仅需要关注绿色空间数量分配和质量提升,更需重视全民能否便捷地享有绿色空间提供的服务。因此,城市居民绿色空间可达性逐渐成为建设宜居城市和提升居民福祉的重要内容^[9]。

改革开放以来,绿色空间可达性在我国空间规划中广受关注,形成了人均绿地面积、建成区绿地率、15min生活圈等指标,但仍面临与居民需求失配的严峻挑战^[10]。一方面,城市内部的绿色空间供给差异逐渐凸显。城市扩张与空间规划的人为干预加速建成区绿色空间的“增量式”发展^[11],而逐步压缩郊区自然绿色空间^[12-14]。同时,为配合城市景观设计和功能组织,优先将绿色空间布局在城市中心和黄金地段,塑造便捷的绿色空间可达性。另一方面,城市人口增长极大地刺激了对绿色空间的需求。在快速城镇化过程中,农村向城市的人口流动推动城区的高强度建设和郊区住宅开发,促进城区和郊区的人口汇集^[15-17];这迫切需求充足的绿色基础设施配套和完善的绿色可达性网络,以支撑城区和郊区居民的绿色服务供给。在这双重挑战下,精细刻画绿色空间可达性和居民分布的空间匹配,研判城市居民是否便捷地享有绿色空间,既是评估绿色空间规划绩效的重要内容,也是城市空间精细化治理亟待开展的任务。

目前,国内对城市居民与绿色空间可达性的匹配研究方兴未艾,集中于以下三方面:一是关注绿色空间可达性与人类活动强度的空间匹配关系^[18-20];二是在某一行政区划尺度下(例如街道),探讨绿色空间可达性与人口密度的关联^[21-23];三是基于绿色空间服务范围阈值,估算人口规模^[24-27]。然而,已有研究难以有效匹配绿色空间可达性与居民分布的空间精度,无法精确阐述城市居民是否便捷享有绿色空间这一问题。特别是对城市居民的表征多依赖普查数据且停留于乡镇街道尺度,缺乏对居民分布的空间化模拟^[28-29]。尽管部分研究采用居住小区^[30]、居民点^[31]、居住建筑^[32]等来表征,但无法覆盖全域,尚不能满足刻画居民分布的空间粒度需求。鉴于此,本研究以宁波市主城区为例,基于高德地图路径规划 API 测度城市绿色空间步行可达性,融合多源数据模拟人口空间分布,精细地诊断绿色空间可达性与居民分布的匹配关系,进而揭示居民绿色空间可达性的影响因素,以期为城市绿色空间规划提供决策支撑。

1 研究区概况

宁波地处浙江省东部,北隔杭州湾与上海相望,南面毗邻台州,西接绍兴,东临舟山。2019年,宁波人均

GDP 达到 14.32 万元,人口城镇化率为 63.34%,居民人均可支配收入达 5.70 万元,是中国经济较发达地区。宁波作为长三角经济开放的重要城市,依托宁波-舟山港群发展,孕育了港城共生的发展模式,是中国外向型经济的典型^[33—35]。

研究以宁波主城区为案例区,包括鄞州区、海曙区、江北区、镇海区和北仑区(图 1)。研究区属于亚热带季风气候,拥有余姚江、奉化江、东钱湖等水系,加之四明山、翠屏山、太白山等山脉环绕,产生了自然绿色空间环城分布的特征。2003 年,宁波被评为“国家园林城市”,并于十年间通过数轮考核。然而,囿于城区土地资源有限且增量不足,导致公园绿地面积小、增量少、类型单一,加剧绿色空间资源分布不均^[36]。尽管《宁波市城市绿地系统规划》、《宁波市生态绿地系统专项规划》、《宁波市中心城绿线控制规划》等相继提出优化公园绿地的规划蓝图,但考虑到区域人口密集,绿色空间服务能否全面覆盖居民仍是区域可持续发展面临的现实挑战。

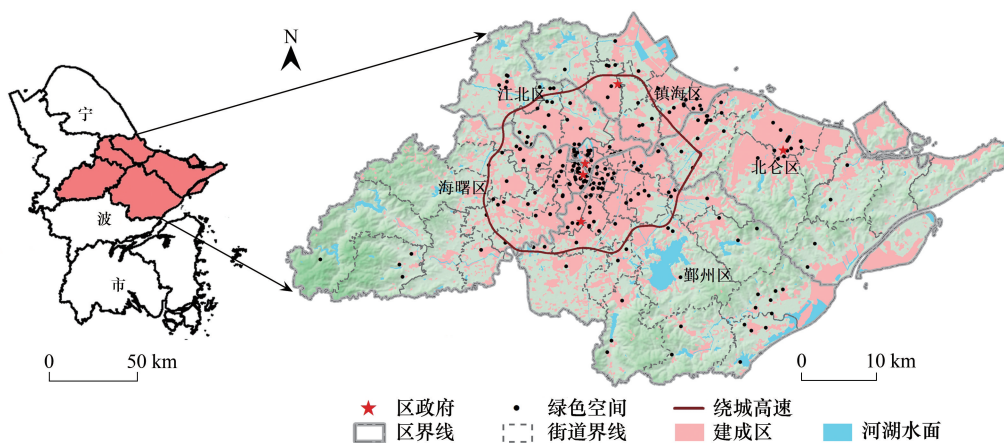


图 1 宁波绿色空间分布

Fig.1 The layout of green space in Ningbo

2 数据来源与研究方法

2.1 数据源

研究数据包括土地覆被、卫星影像、社会统计、网络大数据、基础地理信息等五类。①土地覆被数据来源于国家基础地理信息中心 GlobeLand30 数据产品 (<http://www.globallandcover.com>), 监测年份为 2000 年和 2020 年,分辨率为 30m。②数字影像包括夜间灯光和 NDVI 数据。夜间灯光数据下载自科罗拉多矿业大学夜灯数据集 (<https://eogdata.mines.edu/products/vnl/>), 为 VIIRS 夜灯 2020 年合成数据,已完成大气、火光、云等噪声处理,分辨率约为 500m。NDVI 来源于美国地质调查局 (<https://earthexplorer.usgs.gov>) eMODIS NDVI 系列产品,时序为 2020 植物生长季(6 月到 9 月),分辨率为 250m。③社会统计数据包括人口统计和社会经济两类,来源于海曙区、江北区、鄞州区、镇海区和北仑区 2020 年统计年鉴。由于少数乡镇街道数据缺失,采用历史数据外推法获取。④网络大数据包括 POI 和城市道路,来源于 2020 年高德地图。POI 包括餐饮、购物、交通设施等 15 类。本研究的绿色空间定义是为城市居民提供供给、支撑、调节、社会文化等生态系统服务的人工或半人工绿色基础设施,包括绿地、公园、广场等。经过数据清洗,提取 237 个 POI。城市道路数据包含了快速路、主干路、次干路、支路四个级别道路。⑤基础地理信息数据包括数字高程模型和行政区划。数字高程模型下载自地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>),分辨率为 30m。行政界线来源于宁波地理信息中心的 2018 年宁波城区街道界线。

2.2 研究方法

本文采用的方法包括基于高德地图路径规划 API 的可达性测度、融合多源数据的人口空间化模拟和地

理探测器(图2)。首先,基于高德地图 API 和 POI 数据,估算绿色空间可达性。其次,集成 POI、路网、建设用地、NDVI 和夜灯数据,改进人居指数,模拟人口空间分布。随后,叠加绿色空间可达性和人口分布的 100m 栅格尺度图层,分析两者的空间匹配度。最后,针对城市居民的绿色空间可达性(15min),采用地理探测器,从乡镇街道尺度甄别影响因子。

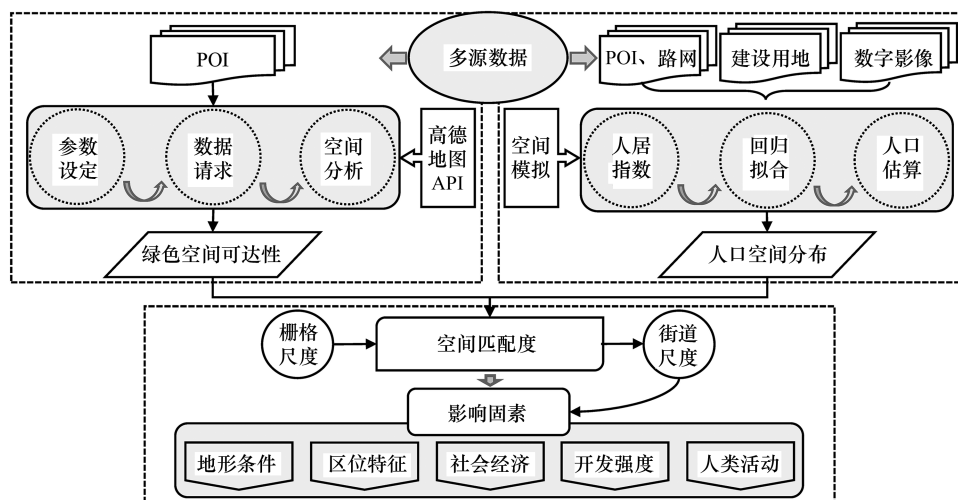


图2 技术路线

Fig.2 Research methodologies

2.2.1 基于高德地图路径规划 API 的可达性测度

研究基于高德地图路径规划 API,借助 Python 语言代码,构建可达性时耗模型。相较指标法、最短距离、引力模型、网络分析等传统方法,基于高德地图规划路径 API 的可达性测度优势在于^[37-38]:高德地图搭载了城市地理要素和路径算法,用户通过调用路径规划接口即可从服务器端返回数据结果,实现可达性的“云计算”;路径规划可达性是综合城市道路走向、出行方式、交通障碍等信息的选择结果,以最优路径可达性替代传统直线距离,反映了复杂的城市空间肌理;测度结果体现的是两地实时路况下的可达性状态,并非是匀速的交通运行状态,且具有现势性。

该方法包括以下三个步骤(图3)。首先,将绿地公园 237 个 POI 设为终点,将覆盖终点周围 36km²矩形区域的 100m×100m 点阵列设为起点,将出行方式设为步行。其次,面向 237 个终点,采用迭代算法,于平峰时段向高德地图 API 发起路径规划数据申请,获取覆盖每个终点的点阵列数据,其单位为 min。最后,利用克里金插值将覆盖 237 个终点的时耗点阵列依次转换为栅格面。由于不同终点的可达性栅格存在重叠,本文采用最小时耗原则,将所有时耗栅格面镶嵌至一个可达性栅格,获取宁波市绿色空间的步行可达性。

2.2.2 融合多源数据的人口空间化模拟

研究结合建设用地、道路网络和 POI,改进 Lu 等^[39]构建的人居指数,模拟宁波人口空间分布。人居指数通过集成夜间灯光和 NDVI 进行估算,表征的是像元尺度上人类空间分布的相对规模强度。其计算公式如下:

$$HSI = \frac{(1 - NDVI_{\max}) + NL_{\text{nor}}}{(1 - NL_{\text{nor}}) + NDVI_{\max} + NL_{\text{nor}} \times NDVI_{\max}} \quad (1)$$

其中,HSI 表示人居指数,NDVI_{max} 表示生长季(6 月到 9 月)所有 NDVI 最大值,NL_{nor} 表示夜间灯光标准化值。HSI 越大,表示人类居住或人口布局越密集,反之则相反。HSI 重采样为 100m 分辨率,与绿色空间可达性保持一致。

考虑到城市人口分布往往以居住用地为单元,夜灯与 NDVI 像元尺度较大,难以精确反映城市内部人口

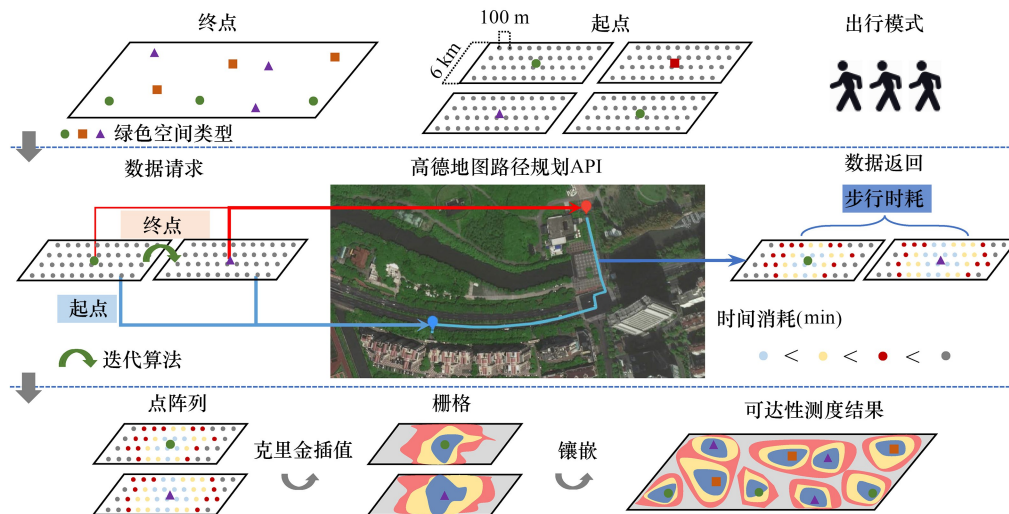


图3 基于高德地图规划路径 API 的可达性测度思路

Fig.3 The accessibility measurement based on Amap route planning API

居住差异。为此,本文通过改进人居指数精细表征人口空间分布,其步骤包括:①采用城市四级道路分割建设用地,将建成区划分为 16093 个地块;②提取住宅小区和生活服务相关类型的 POI,计算地块的 POI 密度,将地块 POI 密度转化为 100m 栅格,表征精细尺度的人类居住强度差异;③参考 Yang 等^[40]提出的优化思路,以乡镇街道为单元,采用回归拟合某一修正要素与人口密度的关系,以修正要素的回归系数为修正项,改进人居指数。本文以乡镇街道 POI 密度为修正要素,作为自变量参与回归拟合(公式 2),将其回归系数作为修正项,改进人居指数(公式 3):

$$y = 28.453 x^{0.875} \quad (2)$$

$$MHSI = \frac{(1 - NDVI_{\max}) + NL_{\text{nor}}}{(1 - NL_{\text{nor}}) + NDVI_{\max} + NL_{\text{nor}} \times NDVI_{\max}} \times PD^{0.875} \quad (3)$$

式中, y 为乡镇街道人口密度, x 为乡镇街道 POI 密度, MHSI 为改进人居指数, PD 为栅格像元 POI 密度值。公式 2 回归 R^2 为 0.916, 具有较高拟合优度。

最后,采用线性回归验证乡镇街道 MHSI 均值和人口密度的关系, R^2 高达 0.88, 表明 MHSI 具有良好适用性。基于乡镇街道人口数据,以每个像元 MHSI 强度与乡镇街道总强度的比例为依据,估算像元尺度的人口数量。

2.2.3 地理探测器

地理探测器是一种揭示地理空间分异性及其驱动因子的统计方法,其核心思想是根据空间异质性,分析自变量与因变量分布格局的一致性,探测自变量对因变量的解释程度^[41-42]。研究借助地理探测器,采用因子探测模块,辨识绿色空间与居民分布适配性的影响因子。地理探测器采用 q 统计量表征影响因子的解释度,其方法为:

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

其中, L 为变量 Y 或因子 X 的分类或分区, N_h 和 σ_h^2 分别为层 h 的样本数和方差, N 和 σ^2 分别为研究区的样本数和方差。 q 取值范围为 $[0, 1]$, 值越大表示影响因子 X 的解释力越强,反之则相反。

研究基于已有文献^[43-45],以 67 个乡镇街道为研究单元,采用绿色空间 15min 可达性的居民覆盖率为因变量,选择地形条件、区位特征、社会经济、开发强度、人类活动为自变量(表 1)。考虑到地理探测器中自变量为类型量,需对原始数据进行分级或分类处理。根据区域条件与专家经验,将地形条件 50m、150m、300m 断

点分为 4 类,其余变量采用自然断点法分为 5 类。

表 1 变量定义

Table 1 The definitions of variables

类型 Types	变量名称 Variables	变量定义 Definitions
因变量 Dependent variable	15min 可达性的居民覆盖率	绿色空间 15min 步行范围覆盖的人口占乡镇街道总人口的比例
自变量 Independent variable	地形条件	乡镇街道平均高程值
	区位特征	乡镇政府或街道办事处到各区 CBD 的欧氏距离
	社会经济	乡镇街道 GDP/建设用地面积
	开发强度	建设用地面积/乡镇街道行政区面积
	人类活动	POI 数量/乡镇街道行政区面积

3 城市居民的绿色空间可达性分布特征

3.1 城市绿色空间可达性分布

宁波主城区绿色空间可达性呈现由海曙区、江北区、鄞州区和北仑区中心向外围逐渐递减的分布规律(图 4)。市中心区域绿色空间分布密集,特别是余姚江、奉化江和甬江的三江口片区,基本为公园 5min 或 15min 可达性覆盖区。同时,鄞州新城、北仑城区和镇海老城区的 15min 绿色空间可达性覆盖范围较为集中,也属于绿色空间服务便捷区域。三江沿岸区域接连分布梁祝文化公园、甬江公园、翻石渡公园等河滨绿色空间,形成 15min 可达性分布的连片区,为宁波绿色空间可达性的次优势带。相反地,镇海区政府周边为新城开发区所在,绿色基础设施配套尚不完善,暂未形成连片的绿色空间高可达性区域。西部四明山-天明山区、东部太白山区和南部农业区仅有零散公园分布,出现绿色空间可达性的空白地带,基本为大于 45min 步行可达性的区域。

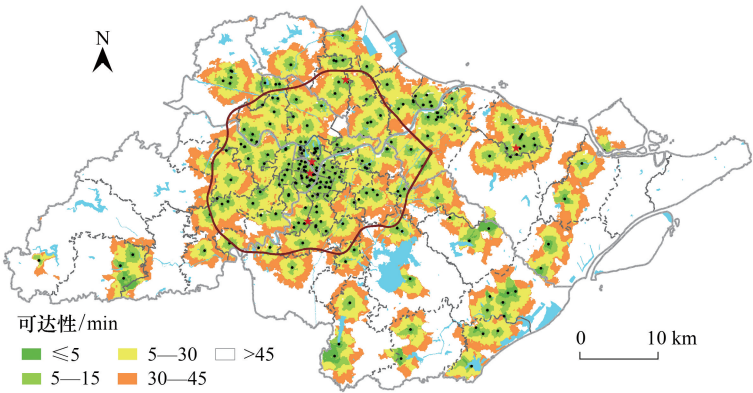


图 4 宁波绿色空间可达性分布

Fig.4 The distribution of green space accessibility in Ningbo

同时,宁波绿色空间低可达性覆盖面积大,反映了绿色服务不足的现状。绿色空间可达性 $\leq 15\text{min}$ 的建成区面积为 170.49km^2 ,仅占建成区的 22.66%。然而,15—45min 绿色空间低可达性覆盖的建成区面积高达 369.59km^2 ,占比为 49.11%;仍有 28.23%建成区需要花费超过 45min 时间到达最近的绿色空间。同时,低可达性空间多集中于绕城高速外的郊区。在绕城高速内,绿色空间可达性 15min 和 15—30min 的建成区面积分别为 109.17km^2 和 141.85km^2 ,比例分别为 35.55%和 46.19%;而在绕城高速外分别为 61.32km^2 和 94.61km^2 ,占比仅为 13.77%和 21.25%,集中于北仑城区和镇海老城区。绕城高速内超过 30min 可达性的建成区面积和比例仅为 56.09km^2 和 18.26%,而绕城高速外这一规模与比例则高达 289.31km^2 和 64.98%。

3.2 城市绿色空间可达性与居民分布的空间匹配

图 5 展示了绿色空间可达性与人口分布的空间匹配。从空间格局上看,居民分布密度与绿色空间可达性的空间匹配程度高,体现为高密度-高可达性和低密度-低可达性双重特征,存在明显的城郊二元化现象。城市居民分布最密集的区域为三江口地区,人口密度超过 400 人/hm²,是 15min 可达性覆盖的核心区域。市中心外围镇海老城区、北仑城区、慈城镇、五乡镇等中心人口密度也超过 200 人/hm²,也多为 15min 可达性覆盖区域。大部分郊区乡镇中心为 15min 可达性覆盖区域,但人口密度较低。相反地,除城区外围区域外,大于 30min 绿色空间可达性覆盖的居民密度均不超过 100 人/hm²;在郊区乡镇,大于 30min 绿色空间可达性覆盖区域主要为山地或农业区,不适宜居民居住,居民密度基本不超过 5 人/hm²。

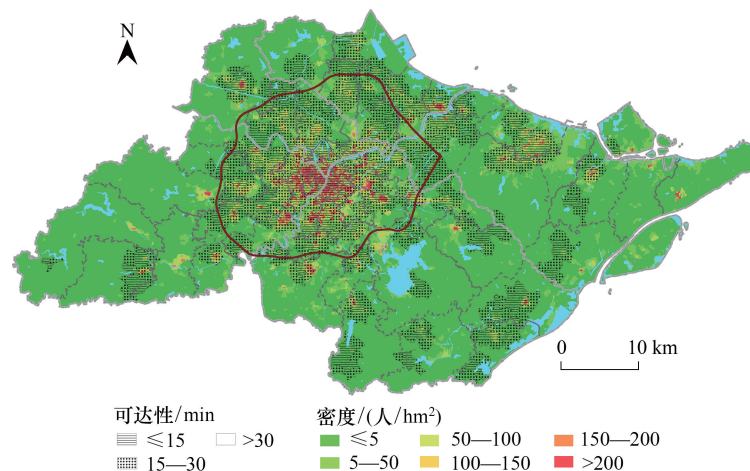


图 5 不同等级绿色空间可达性覆盖的居民密度

Fig.5 The distribution of residents within the coverage of different level green space accessibility

从规模结构上看,宁波绿色空间高可达性区域覆盖居民有限,在绕城高速内外的覆盖居民比例差异大。宁波有 163.52 万居民需花费 15min 步行时间到达最邻近的绿色空间,仅占居民总数的 46.28%。15—30min 和大于 30min 绿色空间可达性覆盖的居民分别为 114.75 万人和 75.06 万人,占比分别为 32.48% 和 21.24%。然而,绿色空间高可达性仅覆盖人口密集的市区。在绕城高速内,15min 绿色空间可达性覆盖的城区居民高达 132.23 万人,比例高达 80.86%,而绕城高速外的 15min 可达性服务居民仅为 31.29 万人,占比仅为 19.14%。相反地,大于 30min 绿色空间可达性的服务居民在绕城高速内为 21.9 万,而在绕城高速外则高达 53.16 万人。

从行政单元上看(图 6),城市居民的绿色空间可达性呈现显著的城区-郊区类型分异,大致可分为三类。第一类为城市中心区,绿色空间数量多、类型全、分布密集,且汇集了城市居住、商业、娱乐等功能,居民密度大。其中,25 个城区中心街道的 15min 可达性服务居民比例均超过 50%;11 个街道 15min 可达性的居民覆盖率超过 90%,仅招宝山街道位于绕城高速外。第二类为市中心向郊区延伸的城市扩张区,人口分布较为密集、建成区规模大但绿色资源不足,15min 和 15—30min 可达性服务居民比例均处于 30% 到 55% 区间内,包括甬江街道、庄桥街道、骆驼街道、集市港镇等 18 个乡镇街道。第三类为产业集聚、生态保护或农业开发功能集中的郊区乡镇,15min 可达性覆盖的居民比例小于 30%。产业集聚区集中于宁波港北仑沿海一带,包括大榭开发区、春晓街道、梅山街道等;农业开发区由于耕地广布而绿色空间仅覆盖于镇区一隅,15min 可达性的居民比例处于 5% 到 10% 之间,如姜山镇、洞桥镇、云龙镇等。生态保护地区多为山地自然绿色植被覆盖,但缺乏绿色基础设施且人口分散,大于 45min 可达性的居民比例在 75% 以上,包括章水镇、龙观乡、东吴镇、塘溪镇等。

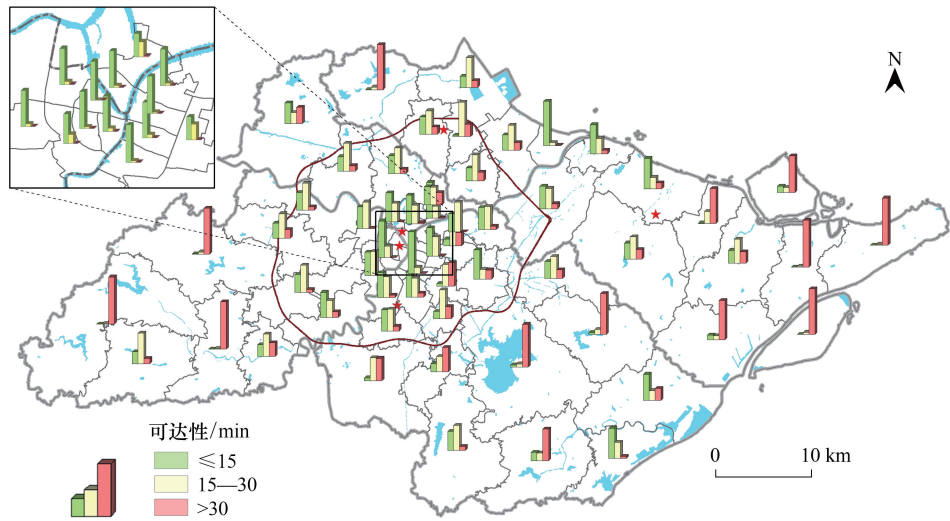


图 6 各乡镇街道不同绿色空间可达性的服务居民比例

Fig.6 The ratios of the residents within different-level green space accessibility at each sub-district

4 城市居民绿色空间可达性的影响因素

根据地理探测器分析,获得城市居民绿色空间可达性的影响因子探测结果(表 2)。结果显示,地形条件、区位特征、社会经济、开发强度和人类活动均通过 0.01 水平的显著性检验。区位特征是解释城市居民绿色空间可达性的首要影响因子,其 q 值高达 0.567,表明到城市 CBD 距离对居民绿色空间可达性的影响最为显著。这与中国“先城区后郊区”规划模式有关^[46]:《宁波城市总体规划(2004—2020 年)》、《宁波市生态绿地系统专项规划》、《宁波市城市生态规划》相继明确以三江口为起点,以余姚江、奉化江和甬江“三江六岸”为核心的发展蓝图,目前形成了以中心城区绿地核心、以三江两岸绿化为主线的空间结构;但相关规划仅涉及经济生产、自然保护、防护等郊区自然绿色空间,尚未给出绿色基础设施的规划方案。开发强度和人类活动为次要影响因子,其 q 值分别为 0.501 和 0.533,表明城市开发对居民绿色空间可达性的刺激作用^[47—48]。这源于中国城市长期遵循“建成区绿地率与人均公园绿地面积”的指标思维,关注绿色空间与建成区、人口的协同发展,意味着建成区与人口规模越大,对绿色空间布局的倒逼效应越强。社会经济 q 值为 0.408,证实了社会经济能够有效支撑居民绿色空间的供给^[49]。经济活跃的市中心街道能够提供充足的设施建设资金,且也承担了城市“门面”的职责,能够获得更多的财政青睐,支撑绿色空间建设。地形条件的因子解释性较弱, q 值仅为 0.233,但也说明了是否为平原或山地影响绿色基础设施的布局选择与可达性提升。

表 2 城市居民绿色空间可达性的因子探测

Table 2 Factor detection for urban residents' accessibility to green space

参数 Parameters	区位特征 Location	人类活动 Human activity	开发强度 Development intensity	社会经济 Social economy	地形条件 Terrain condition
q	0.567	0.533	0.501	0.408	0.233
P	0	0	0	0.007	0

5 讨论与结论

5.1 讨论

本研究通过匹配绿色空间可达性与居民分布,可为绿色基础设施优化布局提供政策启示。近年,宁波正

在研制《15min 社区生活圈规划导则》,明确绿色空间 15min 步行可达性的建设目标。研究发现 15min 绿色空间可达性仅覆盖了 22.66% 建成区,而超过 15min 的低可达性分布于绕城高速周边和郊区。显然,这些区域是未来 15min 生活圈优先布局公园、绿地、绿带的空间。同时,精细匹配绿色空间可达性与居民空间分布,为绿色基础设施分配提供差异化思路。对高人口密度和高可达性的城区而言,提升绿色空间质量是首要任务,需关注景观类型、内部结构、外观等;对低人口密度和低可达性的郊区而言,通过政策倾斜保障绿色空间数量是关键,可依托自然景观设计小规模、分散化、契合居民基本需求的绿色基础设施。

然而,研究存在潜在的提升空间,亟待后续研究深化。在理论上,需结合空间正义与环境公平,诊断绿色空间可达性的社会问题。考虑到社会群体在经济收入、年龄结构、教育层次等特征差异,后续可采用社会经济普查、调查问卷、房价等数据,表征社群的社会经济属性,进一步揭示绿色空间不公平现象。在方法上,受限于 POI 数据,难以甄别绿色空间规模。特别是城市公园或绿地往往拥有多个入口,因而可将入口设为终点,更精确地刻画公园或绿地的服务范围。

5.2 结论

本文以宁波市主城区为研究靶区,基于 POI、夜灯、NDVI、统计年鉴等多源数据,刻画了绿色空间可达性与人口空间分布,分析两者的空间匹配,进一步揭示其影响要素,得到以下结论:

(1) 宁波绿色空间可达性表现为各区中心向外围逐渐衰减的趋势,高可达性空间集中于三江口、鄞州新城、北仑城区和镇海老城区,而西部四明山\天明山区、东部太白山区和南部农业区为低可达性区域。77.34% 的建成区暴露于 15min 绿色空间可达性范围之外,反映了绿色服务供给不足的现状。

(2) 宁波居民分布密度与绿色空间可达性的空间匹配度高,表现为中心城区高人口密度-高可达性和郊区低人口密度-低可达性双重特征。同时,仅有 46.28% 的居民享有 15min 绿色空间可达性,意味着多数居民难以有效享有绿色空间服务。在乡镇街道尺度上,居民的绿色空间服务呈现城市中心区、城市扩张区、产业集聚区、农业开发区、生态保护地区等类型分异。

(3) 宁波居民绿色空间可达性是多重因素交织的结果,按照影响因子的重要性划分,依次是区位特征、人类活动、开发强度、社会经济和地形条件。

参考文献 (References):

- [1] 王保忠,安树青,宋福强,何平,张智俊,李明阳. 美国绿色空间理论、实践及启示. 人文地理, 2005, 20(5): 32-36.
- [2] 尹海伟,孔繁花. 济南市城市绿地可达性分析. 植物生态学报, 2006, 30(1): 17-24.
- [3] 余欣璐,高吉喜,张彪. 基于城市绿地滞尘模型的上海市绿色空间滞留 PM_{2.5} 功能评估. 生态学报, 2020, 40(8): 2599-2608.
- [4] Fang C F, Ling D L. Investigation of the noise reduction provided by tree belts. Landscape and Urban Planning, 2003, 63(4): 187-195.
- [5] 徐丽华,岳文泽. 城市公园景观的热环境效应. 生态学报, 2008, 28(4): 1702-1710.
- [6] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas. Ecological Economics, 1999, 29(2): 293-301.
- [7] Coombes E, Jones A P, Hillsdon M. The relationship of physical activity and overweight to objectively measured green space accessibility and use. Social Science & Medicine, 2010, 70(6): 816-822.
- [8] Wolch J R, Byrne J, Newell J P. Urban green space, public health, and environmental justice: the challenge of making cities 'just green enough'. Landscape and Urban Planning, 2014, 125: 234-244.
- [9] Chen Y, Yue W Z, La Rosa D. Which communities have better accessibility to green space? An investigation into environmental inequality using big data. Landscape and Urban Planning, 2020, 204: 103919.
- [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] 刘志强,王俊帝. 基于锡尔系数的中国城市绿地建设水平区域差异实证分析. 中国园林, 2015, 31(3): 81-85.
- [12] 孙海清,许学工. 北京绿色空间格局演变研究. 地理科学进展, 2007, 26(5): 48-56.
- [13] Chen B, Nie Z, Chen Z Y, Xu B. Quantitative estimation of 21st-century urban greenspace changes in Chinese populous cities. Science of the Total Environment, 2017, 609: 956-965.
- [14] 赵海霞,王淑芬,孟菲,牛铭杰,骆新燎. 绿色空间格局变化及其驱动机理——以南京都市区为例. 生态学报, 2020, 40(21): 7861-7872.
- [15] 岳文泽,章佳民,刘勇,张伟. 多源空间数据整合视角下的城市开发强度研究. 生态学报, 2019, 39(21): 7914-7926.
- [16] Yue W Z, Chen Y, Thy P T M, Fan P L, Liu Y, Zhang W. Identifying urban vitality in metropolitan areas of developing countries from a

- comparative perspective: Ho Chi Minh City versus Shanghai. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 65: 102609.
- [17] Liu Y, Yue W Z, Fan P L, Song Y. Suburban residential development in the era of market-oriented land reform: the case of Hangzhou, China. *Land Use Policy*, 2015, 42: 233-243.
- [18] 黄应淮, 刘小平, 刘艳平, 张晗. 基于高德地图 API 的多种交通方式下城市公园时空可达性分析——以广州市海珠区为例. *地理与地理信息科学*, 2018, 34(6): 50-57.
- [19] 赵迪先, 徐建刚, 高尚, 徐晗. 基于改进 2SFCA 可达性建模的海绵型公园绿地空间社会效益评价——以镇江市海绵城市建设试点区为例. *生态经济*, 2020, 36(11): 221-227.
- [20] 浩飞龙, 张浩然, 王士君. 基于多交通模式的长春市公园绿地空间可达性研究. *地理科学*, 2021, 41(4): 695-704.
- [21] 马淇蔚, 李咏华, 范雪怡. 老龄社会视角下的绿地空间可达性研究——以杭州市为例. *经济地理*, 2016, 36(2): 95-101.
- [22] 朱古月, 潘宜. 城市绿色空间服务绩效评估及影响机制——基于武汉中心城区的案例. *经济地理*, 2020, 40(8): 86-95.
- [23] 许基伟, 方世明, 刘春燕. 基于 G2SFCA 的武汉市中心城区公园绿色空间公平性分析. *资源科学*, 2017, 39(3): 430-440.
- [24] 余柏菡, 胡志明, 吴健平, 钱杰, 胡春凌, 谈文琦, 过仲阳. 上海市中心城区公园绿地对居住区的社会服务功能定量分析. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(7): 871-879.
- [25] 赵习枝, 吴宾, 吴健平, 余柏菡. 基于实有人口数据的城市公园绿地服务分析——以上海市外环以内区域为例. *华东师范大学学报: 自然科学版*, 2017, (1): 104-112.
- [26] 吴健生, 沈楠. 基于步行指数的深圳市福田区公园绿地社会服务功能研究. *生态学报*, 2017, 37(22): 7483-7492.
- [27] Song Y M, Huang B, Cai J X, Chen B. Dynamic assessments of population exposure to urban greenspace using multi-source big data. *Science of the Total Environment*, 2018, 634: 1315-1325.
- [28] 李鑫, 马晓冬, 薛小同, Ha K M. 城市绿地空间供需评价与布局优化——以徐州中心城区为例. *地理科学*, 2019, 39(11): 1771-1779.
- [29] Nicholls S. Measuring the accessibility and equity of public parks: a case study using GIS. *Managing Leisure*, 2001, 6(4): 201-219.
- [30] 余思奇, 朱喜钢, 刘凤豹, 孙洁, 吴言. 社会公平视角下城市公园绿地的可达性研究——以南京中心城区为例. *现代城市研究*, 2020, (8): 18-25.
- [31] 鄢进军, 秦华, 鄢毅. 基于 Huff 模型的忠县城市公园绿地可达性分析. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2012, 37(6): 130-135.
- [32] 陈秋晓, 侯焱, 吴霜. 机会公平视角下绍兴城市公园绿地可达性评价. *地理科学*, 2016, 36(3): 375-383.
- [33] 张衍春, 唐承辉, 许顺才, 岳文泽. 中国城市群空间规划的历史演化与空间逻辑——基于新国家空间视角. *城市规划*, 2021, 45(5): 21-29.
- [34] 张衍春, 胡国华, 单卓然, 李祯. 中国城市区域治理的尺度重构与尺度政治. *地理科学*, 2021, 41(1): 100-108.
- [35] 庄佩君, 汪宇明. 港—城界面的演变及其空间机理. *地理研究*, 2010, 29(6): 1105-1116.
- [36] 郑剑侠, 牛梦云. 城市绿地系统专项规划编制思维的转变——以宁波市绿地系统专项规划为例. *规划师*, 2016, 32(2): 65-70.
- [37] Zhang J M, Yue W Z, Fan P L, Gao J B. Measuring the accessibility of public green spaces in urban areas using web map services. *Applied Geography*, 2021, 126: 102381.
- [38] 陈阳, 岳文泽, 高佳斌. 城市商业综合体商圈划分及其对住宅的增值效应——以杭州主城区为例. *经济地理*, 2017, 37(11): 68-75.
- [39] Lu D S, Tian H Q, Zhou G M, Ge H L. Regional mapping of human settlements in southeastern China with multisensor remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 2008, 112(9): 3668-3679.
- [40] Yang X C, Yue W Z, Gao D W. Spatial improvement of human population distribution based on multi-sensor remote-sensing data: an input for exposure assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, 34(15): 5569-5583.
- [41] 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.
- [42] Wang J F, Li X H, Christakos G, Liao Y L, Zhang T, Gu X, Zheng X Y. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(1): 107-127.
- [43] Chen W Y, Hu F Z Y, Li X, Hua J Y. Strategic interaction in municipal governments' provision of public green spaces: a dynamic spatial panel data analysis in transitional China. *Cities*, 2017, 71: 1-10.
- [44] Wu L F, Kim S K. Exploring the equality of accessing urban green spaces: a comparative study of 341 Chinese cities. *Ecological Indicators*, 2020, 121: 107080.
- [45] Jin X B, Long Y, Sun W, Lu Y Y, Yang X H, Tang J X. Evaluating cities' vitality and identifying ghost cities in China with emerging geographical data. *Cities*, 2017, 63: 98-109.
- [46] Fan P L, Xu L H, Yue W Z, Chen J Q. Accessibility of public urban green space in an urban periphery: the case of Shanghai. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 165: 177-192.
- [47] Thompson C W. Urban open space in the 21st century. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 60(2): 59-72.
- [48] Xu X G, Duan X F, Sun H Q, Sun Q. Green space changes and planning in the capital region of China. *Environmental Management*, 2011, 47(3): 456-467.
- [49] Li F, Wang R S, Liu X S, Zhang X L. Urban forest in China: development patterns, influencing factors and research prospects. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2005, 12(2): 197-204.