

广东省各区县绿地服务水平分析*

黄银萱¹, 关展亮², 廖威林¹

1. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510006
2. 广州普邦园林股份有限公司, 广东 广州 510630

摘要: 绿地被认为是促进健康和可持续发展的重要因素, 能够为区域提供生态服务、社会服务和经济服务。不同区域气候、社会经济要素与绿地的空间聚集类型具有一定差异, 不同组合带来了绿地服务水平的差异。本研究基于气候和社会经济因素, 使用双变量空间自相关分析, 探讨了2020年广东省区县尺度下绿地在气候和社会经济方面的空间聚集特征和服务水平情况。结果表明, 珠三角和粤东核心的部分区县绿地与各指标的空间聚集为连片的“高-低”聚集; 条带状的“低-高”聚集主要分布在粤北地区。在4大分区中, 粤北地区绿地服务水平高, 绿地服务基本满足气候和社会经济需求; 珠三角和粤东地区绿地服务水平偏低, 绿地在气候、社会经济方面的不公平性凸显。本研究分析结果反映了广东省各分区绿地的服务水平及供需关系, 为完善城市绿地规划建设提供科学指导。

关键词: 绿地; 双变量空间自相关; 莫兰指数; 服务水平

中图分类号: K90 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137(2025)03-0083-09

Analysis of green space service level in districts and counties of Guangdong

HUANG Yinxuan¹, GUAN Zhanliang², LIAO Weilin¹

1. School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China
2. PB Holdings Ltd, Guangzhou 510630, China

Abstract: Green space is recognized as a crucial factor in promoting health and sustainable development, as it provides ecological, social, and economic benefits to a region. Various regional climates, social and economic conditions, and spatial aggregation types of green space exhibit distinct differences, leading to variations in the service levels of green areas. Focusing on climate and socio-economic factors, a bivariate spatial autocorrelation analysis was conducted to investigate the spatial aggregation characteristics and service level of green space at the district and county scale in Guangdong Province in 2020. The results indicate that green space and its associated indices display a continuous “high-low” aggregation pattern in certain districts and counties within the core of Pearl River Delta and East Guangdong. Conversely, the “low-high” banded clusters are primarily distributed in northern Guangdong. Among the four regions analyzed, northern Guangdong boasts a high level of green space service that adequately meets the climate and socio-economic needs. In contrast, the Pearl River Delta and eastern Guangdong region exhibit lower service levels of green space, highlighting

* 收稿日期: 2024-09-22 录用日期: 2025-01-14 网络首发日期: 2025-04-02

基金项目: 国家自然科学基金(42271419); 广州市青年科技人才托举项目(QT-2023-010);
中山大学创新人才培养计划(23lgbj014)

作者简介: 黄银萱(2003年生), 女; 研究方向: 地理信息科学;
E-mail: huangyx357@mail2.sysu.edu.cn

通信作者: 廖威林(1990年生), 男; 研究方向: 城市气候, 气候变化;
E-mail: liaoweilin@mail.sysu.edu.cn

全文阅读



ZR20240288

prominent inequalities of climate, social, and economic factors. The results reflect the varying service levels and the supply-demand relationships of green space in each district of Guangdong Province and provide scientific guidance for further urban green space planning and development.

Key words: green space; bivariate spatial autocorrelation; Moran index; service level

绿地在城市生态系统中起着重要的作用,是促进区域可持续发展的重要因素(Yuan et al., 2023)。已有研究证实了绿地在减少空气污染(苟爱萍等, 2024)、降低地表温度(Xi et al., 2023; Li et al., 2024)、促进居民健康(吴蓉等, 2021)以及提高居民生活幸福感(Bertram et al., 2015)方面发挥着重要的作用。良好的绿色空间分布有助于促进城市的健康发展并减轻健康不平等(Akpinar, 2016), 营造更加舒适的生产、生活环境。我国重视城市绿化的建设, 中华人民共和国国务院2021年发布关于科学绿化的指导意见, 以及关于推动城乡建设绿色发展的意见, 强调“完善城市绿地系统, 合理布局绿化用地, 满足城市健康、安全、宜居的要求”, 绿地合理规划建设成为城市可持续、高质量发展、低碳转型的关键环节。

从空间分布来看, 绿地与区域的气候、经济社会因素的相互作用情况具有一定的空间差异。大多数研究主要探究绿地与社会经济、气候因素的关联(Yang et al., 2022; Beele et al., 2024), 量化绿地的环境、经济社会效益。如, Li et al. (2024) 揭示了绿地在城市降温中的潜力以及全球南北城市在绿地降温能力上的显著差异。在评估绿地的服务水平方面, 相关研究主要从绿地的可用性、可达性和可见性的角度量化并评估了绿地的不平等性。如, Liu et al. (2022) 从社会经济影响的角度探讨了绿地可达性的空间差异, Yang et al. (2022) 从弱势群体的角度探讨了绿地可用性的空间差异。绿地与其它要素之间不同的空间聚集类型形成不同的供需关系, 目前研究集中在绿地对其它要素的作用, 较少从要素空间的供需角度对其服务水平进行评价。此外, 大多数研究仅根据经济社会因素与绿地的空间关系评估绿地的服务水平, 较少综合气候、经济社会因素进行评价。

局部双变量空间自相关分析能够获取两个变量在空间上的聚集特征, 以此分析不同变量对某一指标在空间上的影响。已有相关研究运用该方法揭示了闽南地区城镇发展与地表温度的空间关系(沈中健等, 2021), 评估了公园绿地供需差异(Liu et al., 2022)和绿地与地表温度之间的空间配置关系(沈中健等, 2020)。双变量空间自相关方法适用于

表征两类事物在空间上的聚集关系, 在探究变量空间上相互作用、供需协调的方面具有较大潜力。

绿色空间丰富、气候适宜、经济发达的共同作用能够促进区域健康、可持续发展(Yuan et al., 2023)。本研究关注绿地与气候、经济社会因素之间局部尺度的空间相关性, 使用双变量空间自相关分析, 以广东省各区县为研究对象, 探究绿地与气候、社会经济因素之间的空间聚集关系, 分析不同要素与绿地在空间上的供需关系。综合气候和社会经济要素评估不同区域绿地的服务水平, 为广东省绿地合理规划、建设提供科学指导, 更好地发挥绿地在建设宜居宜业城市中的作用。

1 研究区域、数据与方法

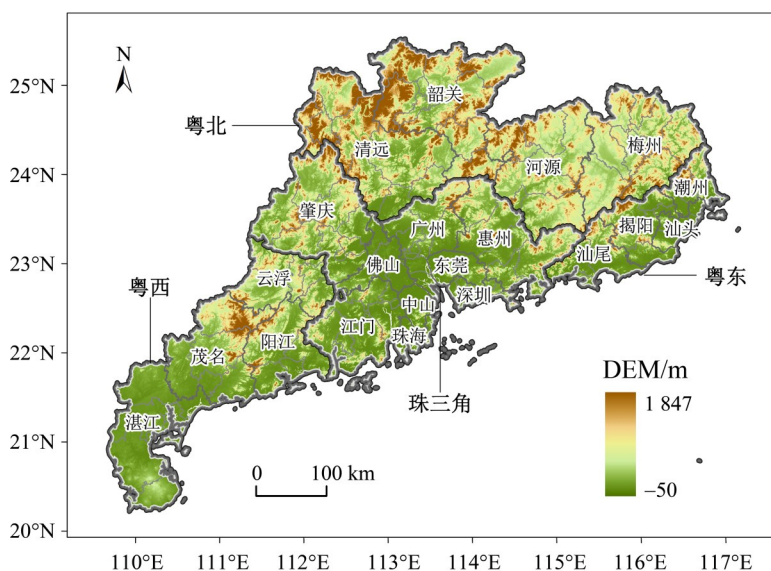
1.1 研究区域

广东省地处我国东南沿海, 经济发达、人口密集, 包括65个市辖区、20个县级市、34个县、3个自治县共122个县级行政区划(2020年), 中山市和东莞市不设区县, 故在后续研究中以市的区域进行分析。广东省内根据地理位置和行政区划可划分为珠三角、粤东、粤北、粤西4个区域(表1), 沿海地区高程较低, 珠三角西部、粤北及粤西的北部山区高程较高(图1)。自改革开放以来, 珠三角的经济社会水平迅速提升(林中立等, 2018; 张佰瑞等, 2024), 广东省不同区域、不同区县之间经济社会发展的异质性突出。根据城市化进程规律(钱纳里等, 1988), 城市化率低于30%为初期发展阶段, 在30%~70%为中期加速阶段, 70%以上为后期成熟发展阶段(鲁春阳等, 2010)。综合人口和产业结构, 珠三角城市化水平高, 达89.44%, 而粤东、粤北、粤西的城市化水平分别为66.80%、59.18%、52.72%(鲁春阳等, 2010), 各区域的城市发展程度存在较大差异。随着人口聚集和城市发展, 下垫面发生了剧烈的改变, 导致城市局地气候改变。然而, 不同区域的变化程度有所不同, 在区县尺度上, 广东省的社会经济水平、气候和绿地分布具有一定的空间差异。本研究将以广东省各区县为例, 探究研究区2020年绿地与其他要素的空间聚集特征, 并评估不同区县的绿地服务水平。

表1 广东省4大区域基本情况¹⁾
Table 1 The base situation of four region in Guangdong

区域	范围	常住人口/万人	城镇人口比例/%	GDP/亿元	非农产值占比/%
粤东	汕头、潮州、揭阳、汕尾	1 632	61	7 054	92
粤北	韶关、河源、梅州、清远	1 354	53	5 441	85
粤西	湛江、茂名、阳江、云浮	1 815	46	8 742	80
珠三角	广州、深圳、中山、东莞、佛山、惠州、珠海、肇庆、江门等9市	7 825	87	89 524	98

1)表中数据均由2021年广东统计年鉴整理计算所得。



高程数据(DEM, 90 m×90 m)来自地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/search>)。

图1 研究区概况

Fig. 1 Characteristics of the study region

1.2 研究数据

1.2.1 绿地数据 归一化植被指数(NDVI, normalized difference vegetation index)可以准确反映地表植被覆盖度,常被用于表征绿地的分布和变化趋势(Yang et al., 2022; Yuan et al., 2023)。本研究使用中国年度NDVI空间分布数据集(徐新良, 2018)获取绿地分布数据。该数据基于2020年期间MODIS 16天250 m连续时间序列NDVI数据产品,采用最大值合成法、重采样生成了年度植被指数,空间分辨率为1 km。

1.2.2 气候指标 酷热指数(HI, heat index)是一种综合空气温度和相对湿度来确定体感温度的指数,能够更好地表征人体对温度的真实感受。在高温高湿的天气下,人体感受的不舒适程度会增加,绿地的覆盖具有缓解城市热岛效应、提高区域气候舒适度的作用。酷热指数使用Zhang et al. (2023)发布的2003年1月至2020年12月中国逐月

1 km体感温度数据集。本研究从中选取了2020年的数据并将其合成为年数据。

1.2.3 社会经济指标 随着社会经济水平的提高,人们对环境的需求日益提高。因此,从发展情况、经济水平出发,选取了衡量经济发展情况的地区生产总值(GDP, gross domestic product)和反映人口空间分布特点的人口密度(Pop, population density)2个指标作为社会经济因素。

中国GDP空间、人口分布公里网格数据集(徐新良, 2017a, b)分别基于全国区县GDP和人口统计数据,综合考虑土地利用类型、夜间灯光强度、居民点密度进行空间插值,空间分辨率为1 km,时间为1995、2000、2005、2010、2020、2019和2020年共7期,本研究选取了2020年的数据进行计算。

1.3 研究方法

1.3.1 数据预处理 对获取到的栅格数据以均

值进行栅格统计, 得到研究区内各区县的数值。为保证数据之间的可比性, 消除量纲的影响, 对 4 个指标进行 Z-score 标准化处理得到标准化后的值

$$v = \frac{m - \mu}{\sigma},$$

式中 m 为原始值, μ 为总体的均值, σ 为总体的标准差。最终统计得到 2020 年广东省 4 个指标在区县尺度的数据。

1.3.2 全局双变量空间自相关分析 全局双变量空间自相关是描述一个变量与另一个变量的空间滞后之间的相关性, 能够反映某一变量与另一变量之间是否存在空间集聚特点 (Anselin, 1995)。本研究始终将 NDVI 指标作为第二变量, 在第一变量中依次选取气候和社会经济指标 (Liu et al., 2022), 探究不同气候、经济社会情况下绿地的供应情况, 以此评价不同区域绿地对不同指标的服务水平。计算广东省双变量全局莫兰指数 (Moran index) (徐冬等, 2019)

$$I_{x,y} = \frac{\sum_i \sum_{j \neq i}^n w_{ij} v_i^x v_j^y}{\sum_i \sum_{j \neq i}^n w_{ij}},$$

式中 n 为研究区内区县的总个数; w_{ij} 为空间权重矩阵, 选择 K -Nearest ($k=5$) 定义 (陈江平等, 2011); v_i^x 为第 i 个区县的第一变量标准化值, v_j^y 为第 j 个区县 (除 i 区县外的其他区县) 对应的第二变量标准化值; x 代表第一变量, y 代表第二变量。

$I_{x,y}$ 取值范围为 $[-1, 1]$, 正值表示空间正相关, 负值表示空间负相关; 绝对值越大表示空间相关性越明显, 0 表示空间呈随机性。此外, 评估双变量全局莫兰指数的显著性 p 值和 Z 得分。 p 值表示观测到的空间模式产生于随机过程的概率, Z 得分表示标准分数, 反映数据集的离散程度, 结合 p 值和 Z 得分能够得到实验结果的置信度, 见表 2。

表 2 p 值与 Z 得分对应的置信度水平
Table 2 The confidence level corresponding to the p value and Z score

Z 得分	p 值	置信度/%
$Z < -1.65$ 或 $> +1.65$	< 0.1	90
$Z < -1.96$ 或 $> +1.96$	< 0.05	95
$Z < -2.58$ 或 $> +2.58$	< 0.01	99

1.3.3 局部双变量空间自相关分析 全局空间自相关统计量是对整体研究区域概括的统计量, 为探究空间自相关的空间差异性, 可以进行局部双变量空间自相关, 进而获取空间集聚的分布特征。

空间联系的局部指标 (LISA, local indicators of spatial association) 通常用局部莫兰指数 (local Moran index) 表示。同样将 NDVI 设为第二变量, 其他指标依次输入第一变量, 计算局部莫兰指数 (Anselin, 1995; 徐冬等, 2019)

$$I'_{x,y} = v_i^x \sum_{j=1}^n w_{ij} v_j^y.$$

计算结果可划分为“高-高”、“高-低”、“低-低”、“低-高”共 4 种聚集类型。其中, “高-高”表示空间单元的自变量值 (HI / GDP / Pop) 与邻近单元的因变量值 (NDVI) 均较大, “低-低”表示空间单元的自变量值 (HI / GDP / Pop) 与邻近单元的因变量值 (NDVI) 均较小, “高-低”表示空间单元的自变量值 (HI / GDP / Pop) 较大而邻近单元 (NDVI) 的因变量值较小, “低-高”表示空间单元的自变量值 (HI / GDP / Pop) 较小而邻近单元 (NDVI) 的因变量值较大。

1.3.4 绿地服务水平评价 依据气候、经济社会及绿地之间的供需关系对绿地服务水平进行评价, 评价原则如表 3 所示。人体感温高 (或经济水平高、人口密度大) 的区域对绿地的降温、生活舒适性需求大, 当绿地覆盖率高时 (“高-高”聚集), 绿地能够为区域的气候、经济社会提供必要的服务, 绿地服务水平高; 而当绿地覆盖率高而区域气候适宜、经济社会水平较低时 (“低-高”聚集), 高覆盖率的绿地能够更好地满足降温、生活舒适性的需求, 绿地服务水平高。在气候、经济社会对绿地需求低的情况下, 低覆盖率的绿地 (“低-低”聚集) 能够适应区域需求, 绿地服务水平较高。当绿地与其他指标不呈现显著空间聚集关系时, 绿地在一定程度上能够为气候、经济社会的服务, 但存在随机性和不确定性, 故绿地服务水平为中等。若气候、经济社会对绿地需求大, 而绿地覆盖率低 (“高-低”聚集), 绿地难以满足调节气温、提供休憩空间、增加绿地暴露度等需求, 服务水平低。

为综合分析绿地的服务水平, 分别对气候、

表 3 绿地服务水平评价原则

Table 3 Evaluation principles of green space service level

绿地服务水平	集聚类型	得分
高	高-高、低-高	4
较高	低-低	3
中	不显著	2
低	高-低	1

经济社会指标相应的服务水平进行赋值(表3)。此外, 本研究中认为绿地对气候、经济社会的服务具有一致的重要性, 即绿地对各要素服务水平的权重为1:1:1(陈倩等, 2017), 最终得到绿地对广东省各区县的综合服务水平

$$S = \frac{S_{HI} + S_{Pop} + S_{GDP}}{3},$$

式中 S_{HI} 、 S_{Pop} 、 S_{GDP} 分别表示绿地对 HI、Pop、GDP 的服务水平得分, $S \leq 10$ 为低服务水平, $10 < S \leq 20$ 为中服务水平, $20 < S \leq 30$ 为较高服务水平, $30 < S \leq 40$ 为高服务水平。

2 结果与分析

2.1 绿地与气候、社会经济的双变量空间自相关分析

图2展示了绿地、气候指标、社会经济指标均

存在空间分布的差异性。其中, 珠三角区域的绿地覆盖率明显低于其他地区, 且呈现连片的低绿地覆盖; 除珠三角外的区域NDVI值分布较高且均匀, 低值区域较为分散。气候指标方面, 酷热指数呈现由沿海向内陆降低的趋势, 高值区域主要分布在雷州半岛、珠三角和粤东地区。社会经济指标方面, 人口密度呈现出在高值零星分布的情况, 与城市人口集中有关, 高值区域在珠三角和粤东地区呈现聚集特征; 地区生产总值高值集中在珠三角, 且与其他区域的差异较大, 广东省区内经济水平存在明显差异。

综合各指标的空间分布关系, 可以发现不同指标存在明显的空间分异特点, 且高、低值区域与绿地的覆盖高、低值区域有一定的关联, 不同区域不同水平的绿地为气候、社会经济提供了不同的支撑服务和生态服务。

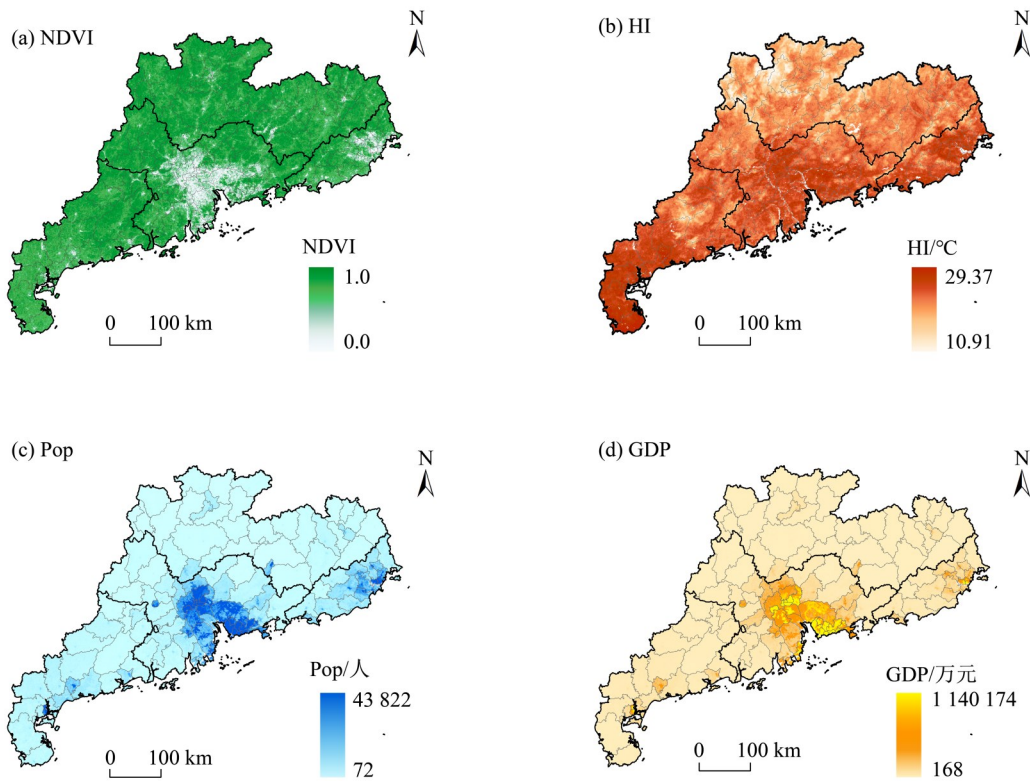


图2 绿地与气候、社会经济指标的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of green space, climate and socio-economic indicators

为研究不同气候、社会经济条件下绿地的服务情况, 分别对绿地与各指标进行双变量全局空间自相关分析(如图3), 所有结果均在0.01水平上显著, 并且Z得分均小于-2.56, 实验结果具有99%的置信度, 说明NDVI与其他指标间均存在显著的空间负相关。

通过全局莫兰指数可以发现, NDVI与HI之间的空间相关性最明显, 全局莫兰指数为-0.61, 体现为植被覆盖率高的地区体感温度较低, 即绿地能够缓解人体受到的热胁迫, 提升人体感受的舒适度。此外, 通过图3散点在4个象限的分布可以发现, NDVI与HI呈现“低-高”聚集、“高-低”

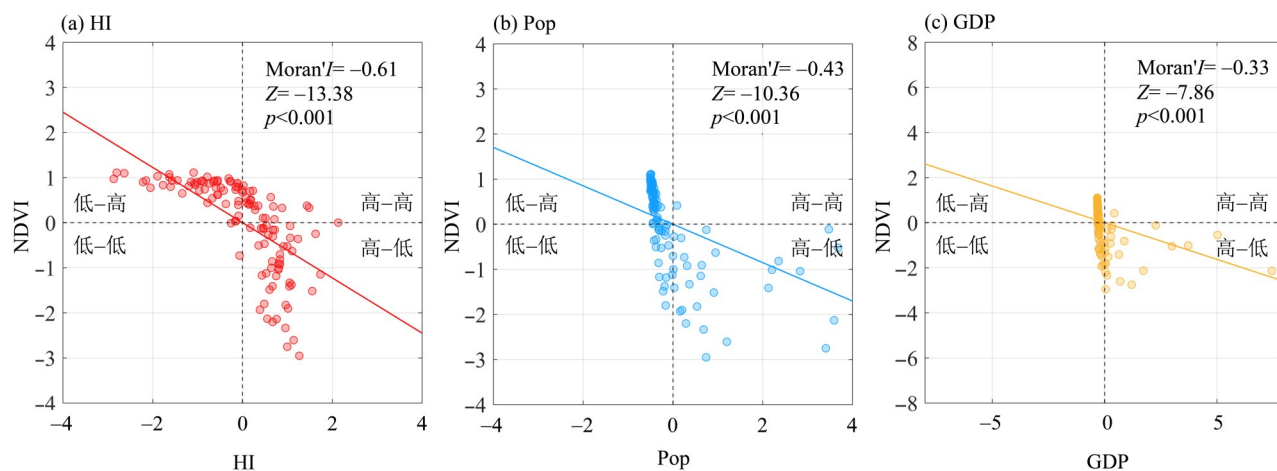


图3 双变量空间自相关散点图

Fig. 3 Bivariate spatial autocorrelation scatter plot

聚集的区域较多,两者空间差异明显,与空间上负相关性结果相一致。

在社会经济方面,GDP、Pop与NDVI之间均存在空间负相关关系,即GDP高的地区植被覆盖率低,人口密度大的区域植被覆盖率低,与图2中三者的数据空间分布特点具有一致性。该空间负相关关系主要与城市化快速发展有关,城市化会带来下垫面的变化(Li et al., 2020)。结合散点图,GDP、人口密度与绿地呈“高-高”聚集的区县少,说明高经济社会水平区域绿地缺乏。城市建设占据大面积土地,绿地覆盖减少,导致经济水平较高、人口密集地区的绿地暴露度较低,人们的绿地需求难以得到满足,绿地供应的公平性较低,不利于城市的可持续发展。

2.2 绿地与气候、社会经济的空间聚集特征

全局双变量空间自相关分析结果展示了在广东省全域NDVI与各指标的空间相关性,局部双变量空间自相关分析能够进一步反映不同区域的空间差异性。根据空间聚类结果得到双变量LISA聚类地图和显著性(图4),可见各指标与NDVI呈现聚集特征的相对一致性,即“高-高”聚集分布少,“高-低”聚集主要分布在珠三角和粤东地区的区县,“低-低”聚集零散分布在“高-低”聚集的周围,“低-高”聚集主要分布在西部、北部的部分区县。

结合高程(DEM)和城市化水平(鲁春阳等, 2010)分析,在酷热指数方面,粤东和珠三角地区的部分区县城市化水平较高,城市化对下垫面的改变导致人体感温升高,但周围的植被覆盖率较低,形成“高-低”聚集;北部区县地形以山地为主,海拔较高,人体感温较低,且周围的植被覆盖率高,形成“低-高”聚集;“低-低”聚集分布

粤东的“高-低”聚集周围,数量少,该类区县位于中心城区的边缘,城市化水平低于中心区域,城市热岛效应较弱,人体感温低,但由于中心区域的植被覆盖率也较低,故呈现“低-低”聚集。

在社会经济条件方面,珠三角和粤东部分区县经济发展集中,经济水平较高值、人口密度较高值的周围植被覆盖率较低,呈现“高-低”聚集;其周边区县的经济水平较低,但附近为低植被覆盖率的区域,形成“低-低”聚集;北部山区经济水平较低、人口密度较小,且山区植被覆盖率高,故形成“低-高”聚集。

2.3 绿地服务水平

从广东省整体上看,绿地服务水平为中等偏低,服务水平为中低的占比均超过60%,即绿地与各指标之间在空间上呈随机分布,部分满足区域的绿地需求。绿地在社会经济方面的服务水平略高于在气候方面的服务水平。从区县分布上看(图5),低服务水平的区县呈连片分布,且较集中在珠三角和粤东,与经济发展水平、城市化水平有关,区域对绿地的需求已超过了绿地的供应量。中服务水平涉及的区县多,呈东北-西南方向分布。高服务水平的区县呈带状分布在北部山区,与海拔高度、植被覆盖率有较大联系。较高服务水平的区县主要分布在低服务水平区的周围,即珠三角和粤东“高-低”聚集区县外围区域绿地的服务水平较高,虽然周围植被覆盖率较低,但由于气候、社会经济方面对绿地的需求较低,故绿地服务水平能够达到气候和社会经济的要求。

根据广东省4大分区,计算不同绿地服务水平的区县在各分区内的占比(图5)。珠三角和粤东区域,绿地在人体感温、人口密度和GDP方面的服

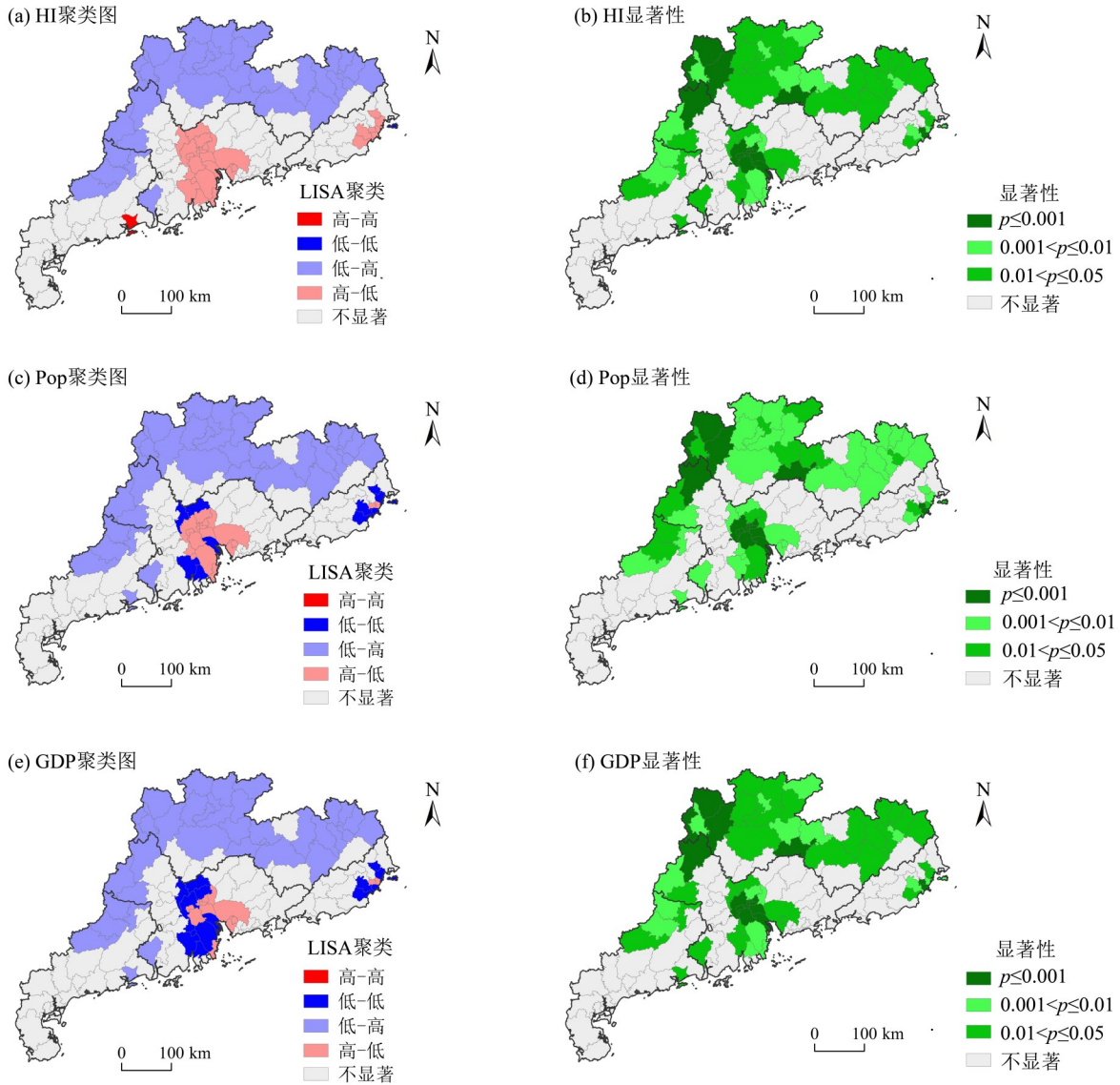


图4 LISA 聚类图及显著性

Fig. 4 LISA cluster map and significance

务水平偏低, 即绿地的空间聚集并未适应气候和社会经济方面对绿地的需求, 如提供降温效应、增加植被景观、美化环境等服务。而粤北地区在气候和社会经济方面绿地服务水平最高, 70%以上的区县的绿地能够满足气候和经济社会的需求, 与人口密度、经济发展水平和人体感温相适应。粤西绝大部分地区为中等服务水平, 极小范围为高服务水平, 总体绿地服务水平为中等。

3 结论

本研究使用NDVI表征绿地, 通过双变量空间自相关分析, 发现绿地与气候、社会经济因素空间分布存在异质性, 且具有一定的空间聚集关系。整体上呈空间负相关, 人体感温与绿地的空间负

相关程度最明显, 莫兰指数为-0.61。空间聚集特征方面, 根据LISA聚类结果, 发现绿地与各指标间的聚集关系具有相对一致性, 即“高-低”聚集连片分布在珠三角和粤东地区, “低-低”聚集主要依附在“高-低”聚集的周围, “低-高”聚集条带状分布在北部山区。

最后, 基于气候、社会经济对绿地的需求, 根据空间聚集的特征对绿地服务水平进行评价, 得到广东省大部分区县的绿地在气候、社会经济方面的服务水平为中等。从各服务水平等级的区县空间分布看, 服务水平偏低的区县分布在珠三角和粤东地区, 绿地未能满足气候和社会经济的需求; 绿地服务水平较高的区县分布在北部山区、珠三角和粤东“高-低”聚集区周边, 绿地基本满足

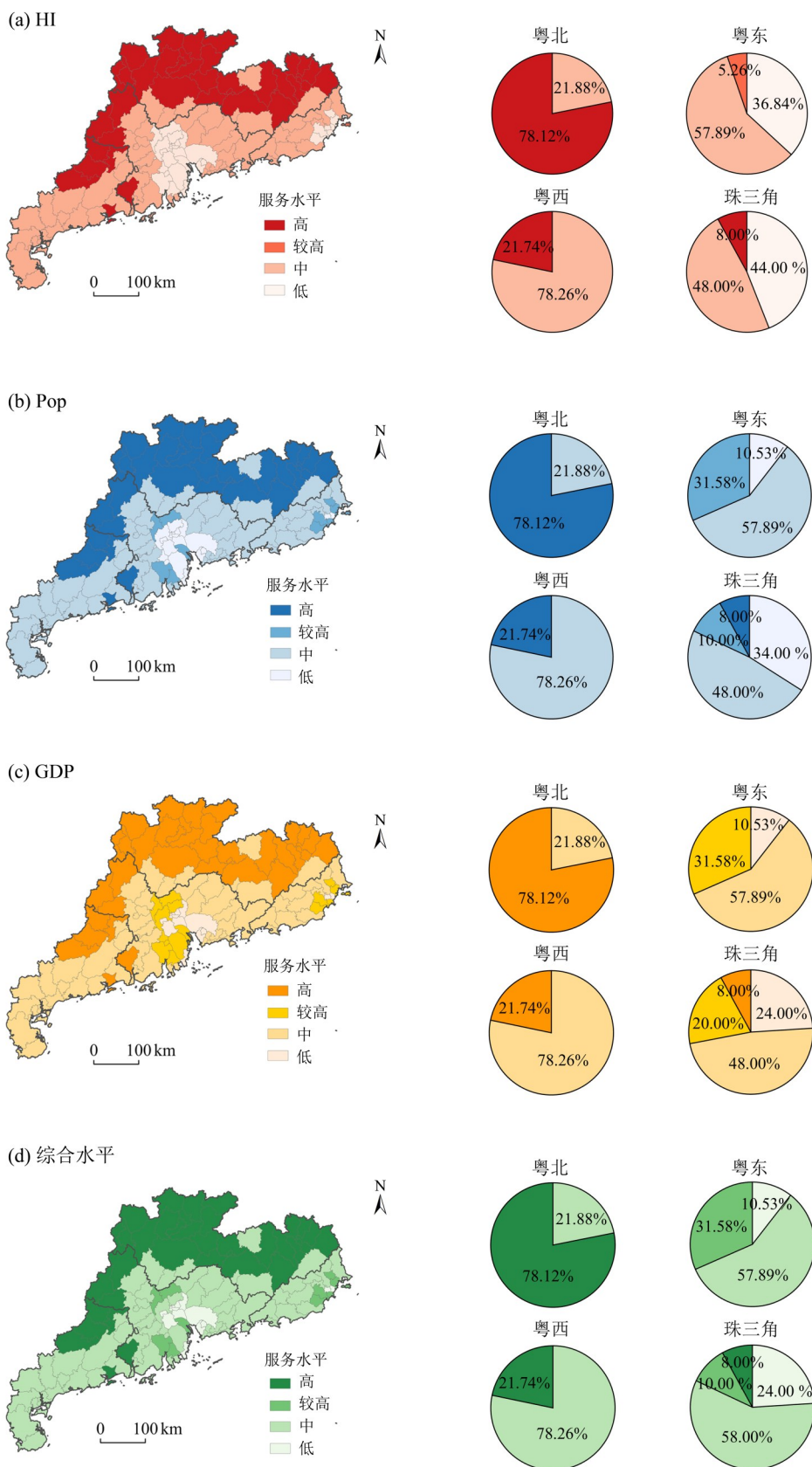


图5 广东省4大分区绿地服务水平分布

Fig. 5 Distribution of green space service level in four districts of Guangdong province

气候和社会经济的需求。从4大分区角度看,粤北的绿地服务水平最高,珠三角和粤东整体偏低。

针对绿地服务水平的情况,珠三角和粤东核心区域需要增加绿地的供应,以提高居民的绿地暴露度,提升环境的舒适度,满足人们对环境的需求,形成“生态-社会-经济”一体化的格局,促进城市的可持续发展。粤北地区的社会经济水

平明显低于珠三角等发达地区,随着对粤北地区发展的重视,更需要在发展社会经济的同时,兼顾生态环境的保护。粤西地区则需要针对城市发展的核心区域,提高植被聚集程度,更大地发挥绿地对气候、社会经济的作用,创造更可维护、更可持续的绿地服务。

参考文献:

- 陈江平,张瑶,余远剑,2011.空间自相关的可塑性面积单元问题效应[J].地理学报,66(12):1597-1606.
- 陈倩,丁明军,杨续超,等,2017.长江三角洲地区高温热浪人群健康风险评估[J].地球信息科学学报,19(11):1475-1484.
- 苟爱萍,李皖新,王江波,2024.重庆市绿色空间景观格局与PM_{2.5}浓度时空相关性[J].地球科学与环境学报,46(1):25-37.
- 林中立,徐涵秋,陈弘,2018.我国东部沿海三大城市群热岛变化及其与城市群发展的关系[J].环境科学研究,31(10):1695-1704.
- 鲁春阳,杨庆媛,文枫,2010.城市化与城市土地利用结构关系的协整检验与因果分析——以重庆市为例[J].地理科学,30(4):551-557.
- 钱纳里(Chenery H),塞尔昆(Syrquin M),1988.发展的型式:1950-1970[M].李新华等译.北京:经济科学出版社.
- 沈中健,曾坚,2021.闽南三市城镇发展与地表温度的空间关系[J].地理学报,76(3):566-583.
- 吴蓉,潘卓林,刘晔,等,2021.城市街景绿地对居民心理健康的影响——以广州为例[J].地理研究,40(8):2272-2291.
- 徐冬,黄震方,黄睿,2019.基于空间面板计量模型的雾霾对中国城市旅游流影响的空间效应[J].地理学报,74(04):814-830.
- 徐新良,2017.中国GDP空间分布公里网格数据集[DB].<http://www.resdc.cn/DOI>.DOI:10.12078/2017121102.
- 徐新良,2017.中国人口空间分布公里网格数据集[DB].<http://www.resdc.cn/DOI>.DOI:10.12078/2017121101.
- 徐新良,2018.中国年度NDVI、EVI 1KM数据集[DB].<http://www.resdc.cn/DOI>.DOI:10.12078/2018060601.
- 张佰瑞,胡明茜,2024.中国三大城市群生态经济效率的时空演变及收敛性分析[J].生态经济,40(3):83-91.
- AKPINAR A,2016.How is quality of urban green spaces associated with physical activity and health? [J] Urban For Urban Green,16:76-83.
- ANSELIN L,1995.Local indicators of spatial association — LISA[J].Geogr Anal,27(2):93-115.
- BEEL E,AERTS R,REYNIERS M,et al,2024.Spatial configuration of green space matters: Associations between urban land cover and air temperature [J]. Landsc Urban Plan,249:105121.
- BERTRAM C,REHDANZ K,2015.The role of urban green space for human well-being [J]. Ecol Econ, 120: 139-152.
- LI Y F,SCHUBERT S,KROPP J P,et al.,2020.On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity[J]. Nat Commun,11(1):2647.
- LI Y X,SVENNING J,ZHOU W,et al,2024.Green spaces provide substantial but unequal urban cooling globally [J]. Nat Commun,15(1):7108.
- LIU B X,TIAN Y,GUO M,et al,2022.Evaluating the disparity between supply and demand of park green space using a multi-dimensional spatial equity evaluation framework [J]. Cities,121:103484.
- XI C,HAN L,WANG J Q,et al.,2023.How can greenery space mitigate urban heat island? An analysis of cooling effect, carbon sequestration, and nurturing cost at the street scale[J]. J Clean Prod,419:138230.
- YANG W Y,YANG R Y,ZHOU S H,2022.The spatial heterogeneity of urban green space inequity from a perspective of the vulnerable: A case study of Guangzhou, China [J]. Cities,130:103855.
- YUAN H,HE J H,LIU D F,et al,2023.Inequality in urban green provision: A comparative study of large cities throughout the world [J]. Sustain Cities and Soc, 89: 104229.
- ZHANG H,LUO M,ZHAO Y,et al,2023.HiTIC-Monthly: A monthly high spatial resolution (1 km) human thermal index collection over China during 2003-2020 [J]. Earth Syst Sci Data,15(1):359-381.

(责任编辑 秦社彩)