

DOI: 10.5846/stxb202203310820

庄思冰, 龚建周, 陈康林, 李江涛. 粤港澳大湾区小型公园绿地生态系统文化服务的供需匹配特征. 生态学报, 2023, 43(14): 5714-5725.

Zhuang S B, Gong J Z, Chen K L, Li J T. Supply and demand matching characteristics of cultural ecosystem services of small parks and greenbelts in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(14): 5714-5725.

# 粤港澳大湾区小型公园绿地生态系统文化服务的供需匹配特征

庄思冰, 龚建周<sup>\*</sup>, 陈康林, 李江涛

广州大学地理科学与遥感学院, 广州 510006

**摘要:** 小型公园绿地是城市生态系统文化服务的重要载体, 自新冠疫情爆发以来, 这类型公园绿地更是成为提供重要文化服务的场所。以粤港澳大湾区为研究区域, 从潜在供给和潜在需求两个方面量化小型公园绿地文化服务, 利用空间自相关与耦合协调度模型, 探讨粤港澳大湾区文化服务供需的空间分布及匹配特征。结果如下: ①生态系统文化服务供给具有明显的梯度分布, 大致呈现中间低、四周高的特点; 文化服务需求在城市中心区域呈连片分布。②文化服务供给在城市之间连片、以高-高聚集区域为主, 需求则以低-低聚集为主, 连片集中于城市中心, 供需双变量则以高供给-低需求的聚集态为主, 集中于研究区四周。③52.2%的区域属于文化服务需求不足, 5.2%的区域供给不足。从小型公园绿地文化服务来看, 粤港澳大湾区存在一定比例的生态系统文化服务供需错配现象, 为提升人类在抵御重大突发事件过程中的生活质量, 可分区管理自然生态系统。

**关键词:** 生态系统文化服务; 小型公园绿地; 供需匹配; 空间分布; 粤港澳大湾区

## Supply and demand matching characteristics of cultural ecosystem services of small parks and greenbelts in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

ZHUANG Sibing, GONG Jianzhou<sup>\*</sup>, CHEN Kanglin, LI Jiangtao

School of Geography and Remote Sensing, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China

**Abstract:** The small park greenery is an important carrier of the cultural ecosystem services in urban area. Since the outbreak of the COVID-19, this kind of park greenery has become a venue for providing important cultural services and playing irreplaceable benefits for public health. Taking the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area as the study area, this paper quantifies the cultural services of small park greenery in terms of potential supply and total demand by constructing indicator systems for recreational potential, accessibility and demand of residents, respectively. It also uses spatial autocorrelation and coupling coordination degree models to explore the spatial distribution and matching characteristics of the potential supply and demand of cultural services in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area in order to provide scientific support for the management of ecosystem cultural services in the Greater Bay Area. The results are as follows: ①the supply of cultural ecosystem services has an obvious gradient distribution, which is generally low in the middle and high in the surrounding areas; the demand of the cultural services is distributed in a contiguous area in the central area of the city. ② The supply of the cultural services is contiguous between cities, with high-high agglomeration, while the demand is low-low agglomeration, with contiguous concentration in the city centers, the dual variables of supply

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42071123)

收稿日期: 2022-03-31; 网络出版日期: 2023-03-23

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gongjzh66@126.com

and demand are high-supply-low-demand agglomeration, with concentration around the study area. ③On the whole, about 52.2% of the regions belong to insufficient demand for cultural services, and 5.2% of the regions have insufficient supply. From the perspective of cultural services of small parks and green spaces, the spatial mismatch between supply and demand is more obvious, and the mismatch between supply and demand varies in different regions, which is a comprehensive reflection of the differences in the spatial distribution of regional natural and socio-economic conditions in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. ④It is necessary to identify the natural and geographical distribution, which can be divided into five CES supply and demand matching types: shared region, agglomeration region, balanced region, under-supply region and under-demand region. Among them, the under-demand region of cultural services accounts for 52.2%, and the shared region accounts for 31.6%. There is a certain proportion of mismatch between supply and demand of ecosystem cultural services in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. In order to improve the quality of human life in the process of resisting major emergencies, the natural ecosystem can be managed in a zone manner so as to create a livable urban environment. In the future, the influencing factors of the cultural services of small parks and green spaces should be further explored to promote the quantitative research of human well-being, with the view of provide lessons for the urban system management of the harmonious coexistence between human and nature in the mesoscale urban agglomeration.

**Key Words:** cultural ecosystem services; small parks and green spaces; matching supply and demand; spatial distribution; Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

在快速城市化的进程中,城市人口激增使人们对生态空间的需求成为问题<sup>[1-2]</sup>。城市公园绿地是城市生态景观的重要组成部分,除具有调节局部气候等固有的生态功能外<sup>[3]</sup>,还在防灾减灾和教育科普等重要生态系统等方面发挥重要作用<sup>[4]</sup>。自 2020 年全球新冠疫情爆发以来,在减少人群聚集接触的疫情防控措施下,公园绿地更是在生理、心理、社会三个维度<sup>[5]</sup>与公共健康紧密联系,为城市居民提供了重要的生态系统文化服务<sup>[6-7]</sup>。城市人口在空间分布的不均匀性及区域经济基础的不均衡,产生了公园绿地文化服务的供需格局差异与空间匹配的错位,不同区域的人口可享受的绿地在质量数量上不同,导致公园绿地空间分布的“不公平性”<sup>[8]</sup>。生态系统及其提供的生态系统服务(ES)是人类福祉的基础<sup>[9]</sup>,诸多学者基于供需视角对城市公园绿地的公平性进行探讨<sup>[8-10]</sup>,指出城市公园绿地供需关系匹配直接影响到居民福祉。探讨公园绿地文化服务供需空间匹配,是提高人类福祉和促进城市可持续的重要环节。

生态系统主要提供供给、调节、支持及文化四大服务<sup>[10]</sup>。其中,生态系统文化服务(CES)指“人类通过精神满足、认知能力的发展、反思、娱乐以及审美体验等从生态系统中所获取的非物质效益”<sup>[11]</sup>。目前,有关公园绿地生态系统的供给、调节、支持服务已有较多研究<sup>[12-14]</sup>,但其文化服务评估尚未形成相对统一的评价体系。在 CES 供给层面上,部分学者采用视觉吸引力指数<sup>[15]</sup>、娱乐设施场所数量<sup>[16]</sup>等指标,对美学、游憩等特定文化服务的评估;在需求层面上,传统城市规划常选用人均绿地拥有量、绿地服务半径等相关指标<sup>[17]</sup>。概括起来,CES 评估方法包括货币化价值评估、非货币化定量评估与定性描述等<sup>[18]</sup>。如:利用条件价值法和旅行成本法对北京市绿地 CES 评估<sup>[19]</sup>,利用多源大数据<sup>[20]</sup>、公众参与制图<sup>[21]</sup>进行定性描述,运用问卷调查<sup>[22]</sup>、指标体系<sup>[23]</sup>等方法的非货币化定量评估。尽管如此,已有方法都存在这样或那样的不足,由于特定文化服务之间边界较为模糊,这可能导致价值评估时存在重叠计算,影响到文化服务的精准估算;货币价值数据来源广且易量化,但该方法难以通过经济或货币价值体现文化服务的社会关系、地方感、灵感获取等价值<sup>[22]</sup>;定性描述方法较详尽地结合了不同人群的实际需求,但是结果的可信度或存在质疑,同时调查问卷往往需通过语义处理和问卷问题转换等处理,限制了方法的适用范围,实际操作中也存在诸多不确定因素<sup>[24]</sup>。因此,厘定城市公园绿地 CES 评估指标体系,开展不同城市公园绿地 CES 案例评估,有利于夯实文化服务的研究基础。

粤港澳大湾区(后文简称为“大湾区”)在我国战略地位不断上升,健康生态系统是区域经济进一步发

展的基础和保证。李婧贤等<sup>[16]</sup>在对生态系统服务的识别中,从游憩的视角对大湾区文化服务进行评估,表明游憩服务以海岸线附近的珠海、深圳和香港分布最为集中。目前,大湾区内部人口仍趋于集聚,用地更为紧张,在人口稠密区内建设新的大型公园绿地来满足人们对文化服务的需求,既不现实也不符合生态要求,挖掘小型公园绿地的服务潜力成为可能。本文选取了生物物理指标与社会经济指标,采用非货币定量方法进行粤港澳大湾区小型公园绿地 CES 供需空间匹配分析,以期为提高区域人类福祉提供研究支撑。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况与数据源

粤港澳大湾区地处 21°25'N—24°30'N、111°12'E—115°35'E 之间,由香港、澳门、珠海、江门、中山、深圳、东莞、广州、佛山、肇庆、惠州 11 个城市组成(图 1)。大湾区属亚热带海洋性季风气候,终年温暖湿润,地势起伏较大,呈现中部低、四周高的特点,中部为平原,四周多丘陵、山地、岛屿。

研究中主要使用的数据包括 2020 年土地利用数据、公园绿地、水域面积、归一化植被指数(NDVI)、各类兴趣点(POI)、人口密度等数据。其中,土地利用数据(30m 矢量数据)、NDVI 数据(1km)、POI 数据(矢量数据)来源于中国科学院资源环境科学与数据中心网站

(<https://www.resdc.cn/>);公园绿地与水域面积都基于 2020 年的土地利用数据进行提取;人口密度栅格数据来源于世界人口网站(<https://www.worldpop.org/>),空间分辨率为 1km。

### 1.2 数据处理与分析方法

分析粤港澳大湾区小型公园绿地 CES 的供需匹配特征,研究内容如下:基于 GIS 技术直观表达各单指数(指标)的空间分布;运用 Moran's I 空间自相关模型,分析供给、需求以及供需匹配的空间聚集特征;运用  $k$  均值聚类方法,将研究区划分为不同的子区单元,再基于耦合协调度模型,计算各子区单元内供需耦合协调的程度,探测二者在空间上的匹配程度与特征。其中,核密度分析以任意一点周围的一定规则区域作为搜索范围,计算观测数据的加权平均密度,从而生成观测对象的空间分布图<sup>[25]</sup>。核密度分析已是应用较为广泛的空间分析方法,利用该方法生成核密度分布图的过程可以直接在 ArcGIS 平台完成。本文涉及的其余方法分别介绍如下:

#### 1.2.1 极差归一化

为消除数据单位不一致及样本极差化的影响,运用极差化方法,对所有需求与供给指数的原始数值,首先进行归一化处理。计算公式为:

$$X = \frac{X_n - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

式中, $X$  表示指数归一化后的数值结果, $X_n$  表示该指数的原始数值, $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$  分别为原始数据集的最小值和最大值。

#### 1.2.2 空间自相关方法

空间自相关是地理实体空间依赖性的重要表现形式,是指研究对象特征和其空间位置之间存在的相关性<sup>[26]</sup>。Moran's I 是应用最为广泛的一种空间自相关测量模型,可以测量研究区域全局和局部空间自相关性,其中全局空间自相关分析可以揭示空间相似性的整体情况,局域空间自相关分析则可直观呈现集聚区的具体空间位置和范围,以解释局部区域的空间差异<sup>[27]</sup>。对于全局空间自相关测量, $I$  值计算式如下<sup>[26]</sup>:

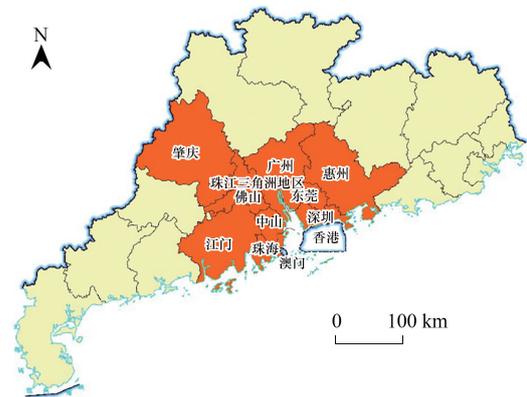


图 1 粤港澳大湾区行政区划示意图

Fig. 1 Sketch map for Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area and its administrative boundary

$$I = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X}) \right) / \left( \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} (X_i - \bar{X}) \right) \times \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} \right) \right) \quad (2)$$

式中,  $n$  为计算单元的数目,  $m$  为某计算单元邻近单元的数目,  $X_i$  为单元  $i$  的数值,  $X_j$  为单元  $i$  的邻近单元  $j$  的数值,  $\bar{X}$  为所有单元值的均值,  $W_{ij}$  为空间邻接矩阵,  $I$  指数计算结果范围为  $[-1, 1]$ , 大于 0 表明存在空间的正相关, 反之为负相关, 等于 0 则表明不存在空间相关性。

1985 年, Wartenberg 构建了双变量自相关 Moran's I 模型, 之后, 该模型被广泛运用于揭示两空间数据集之间的空间相关性<sup>[28]</sup>, 双变量空间相关性与单变量空间相关性类似, 用于两个变量在高值和低值方面的聚类情况, 继而判断两个变量之间是否存在空间相关性<sup>[27]</sup>。双变量全局空间自相关性计算中, Moran's I 值计算式如下<sup>[29]</sup>:

$$I = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} (X_i^a - \bar{X}_a)(X_i^b - \bar{X}_b) \right) / \left( \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_i^a - \bar{X}_a)(X_i^b - \bar{X}_b) \right) \times \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} \right) \right) \quad (3)$$

式中,  $X_i^a$ 、 $X_i^b$  分别为单元  $i$  中变量  $a$ 、 $b$  的数值,  $W_{ij}$  为单元  $i$  的邻近单元  $j$  之间的权重矩阵, 其余符号及  $I$  指数含义如公式(8)。通过查看 Moran's I 值, 可把握两变量之间整体空间相关性的正负和大小。

局部空间自相关分析, 是指局部空间某一要素与其邻域要素的相关性程度, 揭示空间要素在局部范围内的空间聚集或分散特征<sup>[29-30]</sup>。进一步地, 进行评价单元与其邻近单元的 Moran's I 指数大小的比较, 将空间相关关系划为高高、低低、低高、高低或不明显 5 种聚集类型。

### 1.2.3 耦合协调指数及供需匹配类型

耦合协调指数是用来衡量两个或多个变量之间相互影响与协调一致性程度的模型<sup>[31]</sup>, 运用此指数表征小型公园绿地 CES 供给与需求二者空间分布的一致程度。由于 CES 空间分布异质特性<sup>[32]</sup>, 本研究首先采用  $k$  均值聚类方法, 对研究区进行子区域的划分; 然后计算各子区单元 CES 供需的耦合协调指数, 确定 CES 供给与需求之间匹配等级及类型。

$k$  均值聚类是基于数据特征将其分组的方法。该方法以相似性为基础, 采用距离作为相似性指标, 通过迭代计算探测数据的内部差异, 并将给定数据划为  $k$  个类(组)<sup>[33]</sup>。包括确定聚类数和实现算法两个步骤。鉴于双变量空间自相关分析已确定的空间聚集关系类型数, 运用  $k$  均值聚类方法进行迭代算法, 将研究区域进行子区划分。耦合协调指数计算公式如下:

$$x = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (4)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (5)$$

$$C = 2 \times \sqrt{\frac{x_d \times x_s}{(x_d + x_s)^2}} \quad (6)$$

$$T = \alpha \times x_s + \beta \times x_d \quad (7)$$

式中,  $x$  为小型公园绿地 CES 供给量( $x_s$ )或需求量( $x_d$ ),  $x_i$  为第  $i$  个栅格供给量或需求量;  $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$  为大湾区最大值和最小值。  $D$  为供需耦合协调指数, 它是供需耦合度( $C$ )和协调指数( $T$ )的函数, 二者分别都是  $x_s$  和  $x_d$  的函数,  $\alpha$ 、 $\beta$  为待定系数, 本文假设文化服务供给与需求同等重要, 故取  $\alpha = \beta = 0.5$ 。  $D \in [0, 1]$ ,  $D$  值越大表明供需匹配越好, 反之,  $D$  值越小表明供需匹配越差。采用等分法将  $D$  值划分为 10 个值域区间, 分别表示 CES 供需匹配的 10 个等级<sup>[31]</sup>: ①  $D \in [0, 0.1]$ , 表明供需处于极度失调; ②  $D \in (0.1, 0.2]$ , 处于严重失调; ③  $D \in (0.2, 0.3]$ , 处于中度失调; ④  $D \in (0.3, 0.4]$ , 处于轻度失调; ⑤  $D \in (0.4, 0.5]$ , 表明供需处于濒临失调; ⑥  $D \in (0.5, 0.6]$ , 处于勉强协调; ⑦  $D \in (0.6, 0.7]$ , 处于初级协调; ⑧  $D \in (0.7, 0.8]$ , 处于中级协调; ⑨  $D \in (0.8, 0.9]$ , 处于良好协调; ⑩  $D \in (0.9, 1]$ , 处于优质协调。

### 1.3 小型公园绿地 CES 供需指标与量化

生态系统服务的供给和需求分为潜在供给、实际供给、总量需求和实现需求。公园绿地文化服务潜在供

给指公园绿地能为人们提供 CES 的总量,实际供给指在特定的时空范围内能够被人们实际利用的 CES 量;总量需求指基于人们意愿、偏好而需求的 CES,实现需求则指特定的时空范围内被人们实际使用的 CES 量<sup>[34]</sup>。本研究从大湾区小型公园绿地潜在供给与总量需求角度,构建指标体系(表 1),揭示公园绿地 CES 供需空间匹配特征。

表 1 小型公园绿地文化服务供给与需求评价的指标体系

Table 1 Evaluating indices for the supply and demand of cultural ecosystem services of small urban parks and greenbelt

| 类别<br>Types | 一级指标<br>First Indicators | 二级指数<br>Secondary Indexes | 指数选取的原因及其含义<br>The reason for the selection of the index and its meaning                     |
|-------------|--------------------------|---------------------------|--|
| 供给 Supply   | 娱乐潜力                     | 小型公园绿地面积                  | 反映了开敞空间活动的可能性,影响文化服务的供给质量与数量 <sup>[35]</sup> 。其值越大,文化娱乐潜力供给越大。                               |
|             |                          | 800m 内可获得的水域面积            | 休闲步行到达水域适宜距离范围内的水域面积 <sup>[36]</sup> 。其值越大,文化服务供给的潜力越大。                                      |
|             |                          | NDVI 指数                   | 植被生产力的指数,与文化服务的美学功能、人群幸福感呈正相关联系 <sup>[6]</sup> 。   |
|             | 可达性                      | 公交车站 POI 密度               | 公交站 POI 密度指数,作为反映公共交通系统可达性程度的指数。   |
|             |                          | 汽车服务 POI 密度               | 新冠疫情使得人们对公共卫生的要求提高,汽车服务 POI 密度指数也成为人们到达小型公园的可达性指标之一。   |
| 需求 Demand   | 居民需求                     | 步行可达性                     | 周围居民步行到小型公园的可达性 <sup>[37]</sup> 。  |
|             |                          | 人类活动强度                    | 通过揭示人类活动开发程度、人群需求大小,表征人类对陆地表层影响和作用程度的综合指标 <sup>[38]</sup> 。                                  |
|             |                          | 人口密度                      | 单位面积上的人口数。其值越大,反映居民对公园需求也越大;反之,其值越小,居民需求也越小。   |
|             |                          | 商业服务 POI 密度               | 单位面积上人群经济活动开发强度的反映。其值越大,居民文化服务需求越大;反之,其值越小,居民文化服务需求越小。                                       |
|             |                          | 医院 POI 密度                 | 新冠疫情冲击下,人们前往医院进行核酸检测、病情筛查的次数增多,对医院周围的文化服务需求可能上升,但城市群内部的医疗设施水平与分布存在一定的差异,因而选取医院 POI 作为需求指数之一。 |

POI: 指兴趣点数据 Point of interest; NDVI: 指归一化植被指数 Normalized difference vegetation index

### 1.3.1 CES 供需指标

基于《城市绿地分类标准》(CJJT 85—2017)<sup>[39]</sup>中对口袋公园与社区公园的定义,参考田逢军<sup>[40]</sup>对公园绿地范围的划定,考虑大湾区内部的实际情况,本文将小型公园绿地的面积范围确定为小于 4 公顷,大湾区内部共 960 个研究对象。从潜在供给与潜在需求两个方面分别确定公园绿地文化服务评价的指标体系(表 1)。指标体系内均为正向指标,即二级指数计算结果与一级指标呈现正向关系。

### 1.3.2 CES 需求指标量化

在假设需求各方面等权重的前提下,对人类活动强度、人口密度、商业服务 POI 密度和医院 POI 密度需求指数,运用加权平均的方法进行公园绿地文化服务需求测算。计算为:

$$D = \frac{HAILS + PD + SD + HD}{4} \quad (8)$$

式中, $D$ 代表公园绿地文化服务需求, $PD$ 为人口密度, $SD$ 为商业服务密度, $HD$ 为医院密度, $SD$ 和 $HD$ 都由基于 POI 数据,运用核密度分析方法而获得, $HAILS$ 为陆地表层人类活动强度。参照徐勇<sup>[38]</sup>等研究成果, $HAILS$ 计算式如下:

$$HAILS = \frac{\sum_{i=1}^n (SL_i \times CL_i)}{S} \times 100\% \quad (9)$$

式中, $S$ 为区域总面积, $n$ 为各土地利用类型数, $SL_i$ 、 $CL_i$ 分别为土地利用类型  $i$  的面积及其建设用地当量折算系数。对于耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地类型,其建设用地当量折算系数  $CL_i$ 分别为 0.2、0、0.067、0.6、1 和 0<sup>[38]</sup>。建设用地折算系数的大小体现各土地利用类型的人类活动强度大小,系数越大则表明

人类活动对陆地表层作用越强,反之则较弱。

### 1.3.3 CES 供给指标量化

基于潜在供给的角度,从娱乐潜力与可达性 2 个方面选择指标<sup>[23]</sup>。其中,文化服务娱乐潜力可理解为在不受人类干预的前提下,公园绿地生态系统潜在提供娱乐机会<sup>[36,41]</sup>。分别选择公园绿地面积、休闲步行到达水域的适宜距离、NDVI 共 3 个指数。公园绿地面积大小反映了开敞空间活动的可能性,影响文化服务的供给质量与数量<sup>[35]</sup>,在疫情影响下,水域面积大小更与人群幸福感的强弱紧密联系<sup>[42]</sup>。结合步行调查数据(950m)与步行累计使用率(787m)计算得到的极限步行距离阈值<sup>[43]</sup>,将人群到达水域的适宜步行阈值设置为 800m,作为小型公园绿地供给娱乐潜力的一个指标。NDVI 是衡量植被生产力的指标<sup>[44]</sup>,同时被广泛用于表征城市植被质量<sup>[45]</sup>,也有学者指出 NDVI 与新冠疫情下的人群幸福感紧密联系<sup>[6]</sup>,因此,NDVI 是视觉感知的重要组成部分,可成为美学功能的衡量指标之一。

可达性是人群流动的前提<sup>[46]</sup>,更是将城市绿地潜在娱乐机会转换为人类可获取实际供给的前提,因此可成为公园绿地供给的测算指标<sup>[47]</sup>。由于小型公园为研究对象,可从步行、私家车和公共汽车三个方面来反映小型公园的可达性。其中,小型公园设计主要考虑步行可达性<sup>[37]</sup>,因此小型公园绿地的步行可达性可较好地表征人们到达该等级公园的可能性。由于新冠疫情使得人们对公共卫生的要求提高,为减少人流密接触传染病毒的可能性,更多人们愿意以私家车出行,因此汽车服务 POI 密度指数也可成为新冠疫情间人们到达公园的可达性指标之一。此外,由于经济条件的差异,仍有部分人群将选取公共交通出行,为减少湾区内各城市地铁系统发展不均衡对结果的干扰,仅选取各城市公交站 POI 密度作为其中一个可达性的指数。类似地,在假设可达性与娱乐潜力具有同等重要性的前提下,公园绿地文化服务供给的计算式可表达如下:

$$S = \frac{A + R}{2} \quad (10)$$

$$R = 0.239 \times GA + 0.67 \times WA + 0.092 \times NDVI \quad (11)$$

$$A = 50\% \times GSA + 25\% \times (BD + CD) \quad (12)$$

$$GSA = \begin{cases} 0, & \text{dis} > 300 \text{ m} \\ 1 - \frac{\text{dis}}{300}, & \text{dis} < 300 \text{ m} \\ 1, & \text{dis} = 300 \text{ m} \end{cases} \quad (13)$$

式中, $S$  表示公园绿地 CES 供给, $R$ 、 $A$  为公园绿地娱乐潜力和可达性。其中,① $R$  由小型公园绿地面积( $GA$ )、800m 可获得水域面积( $WA$ )、归一化植被指数( $NDVI$ )组成;采用熵值法<sup>[48]</sup>,可避免多指标间可能存在的信息重叠,则分别赋予  $GA$ 、 $WA$  和  $NDVI$  三个指标 0.239、0.67 和 0.092 的权重。② $A$  由公交车站点密度( $BD$ )、汽车服务点密度( $CD$ )和步行可达性( $GSA$ )加权计算而得。小型公园主要服务于步行方式能到的周围居民,因而  $BD$ 、 $CD$  和  $GSA$  的权重分别设定为 25%、25% 和 50%。参考相关文献<sup>[37]</sup>,小型公园的步行可达性选取 300m (4 分钟舒适步行)距离,距离( $dis$ )等于 300m,步行可达性为 1,大于 300m 是为 0,小于 300m,则可达性为  $1 - dis/300m$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 小型公园绿地 CES 的空间分布特征

#### 2.1.1 CES 供给的区域差异

公园绿地文化服务供给的空间分布如图 2 所示(供给子图为基于公式 1 得到的研究区公园绿地文化服务供应量的空间分布图,可达性和娱乐潜力都为归一化后的指标分布图;图中单元格的值越大,表明对应的供给量越大,反之则供给量越小)。总体而言,大湾区小型公园绿地 CES 供给大致呈现中东部低、四周高的梯度分布。供给高值分布在地势较高的地区,区域内生态良好,植被覆盖率较高;供给的低值区主要分布在城镇地

区,该区域内建设用地的占比大,受人类活动的干扰较大,因而提供娱乐的潜力较小。但值得关注的是,极高值区也分布在城市内,如主要集中在广州、深圳、佛山、香港与澳门等城市的中心城区,这些区域虽然人类活动频繁,但可达性一般较大,交通便利,使得文化服务的供给得以实现,因而形成供给的极高值区域。

从具体指标来看,可达性与娱乐潜力指标在空间上呈现相反分布,可达性指标的分布一定程度上反映了城市交通系统的发展程度高低,供给高值区与经济较发展区呈现出对应关系,且部分高值区呈点状分布,与步行可达性的计算方法相联系,可知是受到小型公园绿地空间分布的影响;娱乐潜力的分布较为集中,高值区域大多位于湾区的外围,生态环境较为良好,东部沿海大部分地区的娱乐潜力也相对较大。

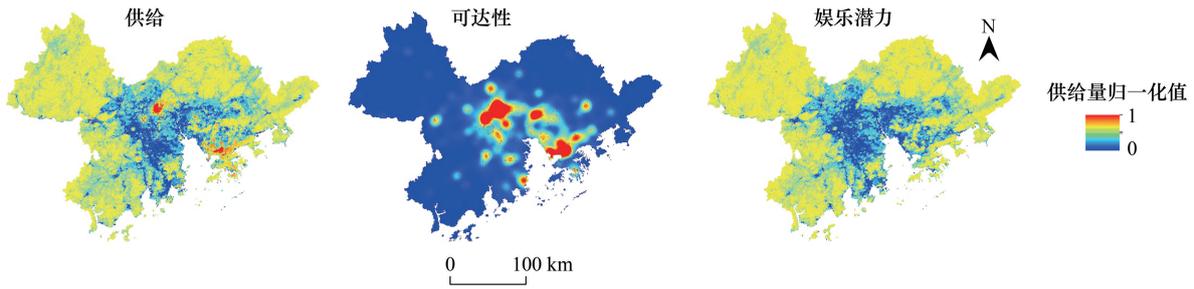


图2 粤港澳大湾区小型公园绿地文化服务供给分布图

Fig.2 The supply of cultural ecosystem services from small park and greenbelt in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

### 2.1.2 CES 需求的区域差异

粤港澳大湾区小型公园绿地文化服务需求(需求总量)向各城市中心聚集,并且在珠江口东岸几乎连片分布,具有明显的空间异质性特征。如图3(包括文化服务需求的5个归一化指标分布图,图中单元格的值越大,表明对应的需求量越大,反之则需求量越小)显示,商业服务POI密度、人口密度、医院POI密度、人类活动强度4种服务需求均呈现向各城市中心区聚集的趋势。除医院POI密度的高值区较为分散,呈点状离散态布局,极大值区主要分布在港澳、广州等市。其余3个指数呈现相似的空间分布格局,湾区中部地区经济发达,人类活动开发强度较大,城市化水平较高,对文化服务的需求也较大。

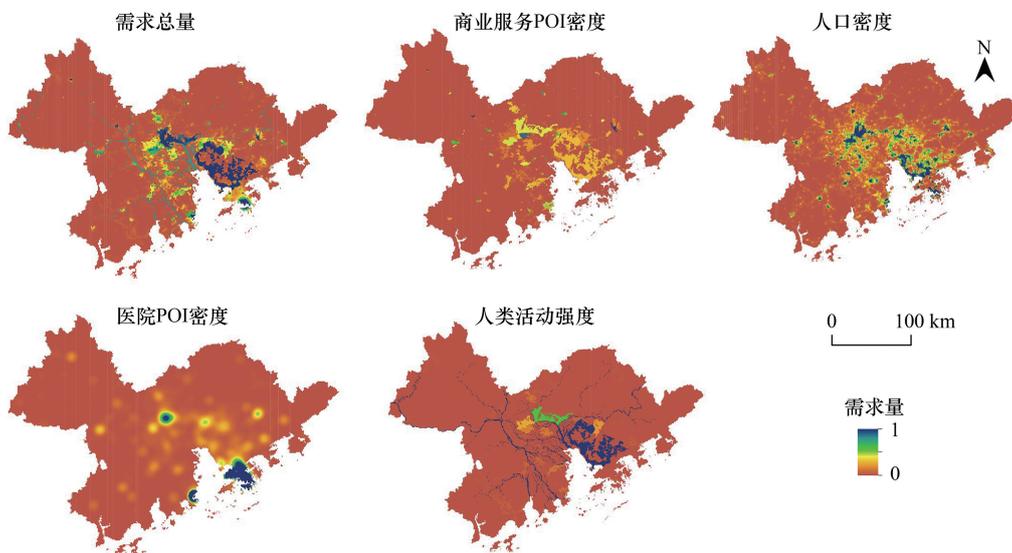


图3 粤港澳大湾区小型公园绿地文化服务需求分布图

Fig.3 The demand of cultural ecosystem services from small park and greenbelt in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area

## 2.2 小型公园绿地 CES 供需的空间聚集特征

分别进行供给、需求单变量以及供需双变量的全局自相关分析, Moran's I 分别为 0.720、0.649、-0.209,  $P$  值均小于 0.05, 表明供给与需求分别呈现较强的正相关性, 而供需则存在负相关关系。接下来, 分别从供给、需求和供需两方面, 分别进行局部自相关分析, 结果如图 4 (包括小型公园绿地 CES 供给量、需求量以及供需聚集类型 3 个子图) 和表 2。

表 2 各聚集类型的面积百分比/%

Table 2 Percentage of area for each clustering type

| 文化服务<br>Cultural ecosystem services | 聚集类型 Clustering types |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                     | 不显著 No                | 高高 HH | 低低 LL | 低高 LH | 高低 HL |
| 供给 S                                | 23.7                  | 49.9  | 23.3  | 1.3   | 1.7   |
| 需求 D                                | 29.0                  | 6.9   | 61.3  | 2.6   | 0.2   |
| 供需 S-D                              | 30.1                  | 3.1   | 6.9   | 7.8   | 52.2  |

供需聚集类型中的高高、低低、低高和高低分别代表高供给-高需求、低供给-低需求、低供应高需求和低供应-低需求的类型; HH: 高高 high-high matching; LL: 低低 low-low matching; LH: 低高 low-high matching; HL: 高低 high-low matching; S: 供给 supply; D: 需求 demand; S-D: 供需 supply-demand

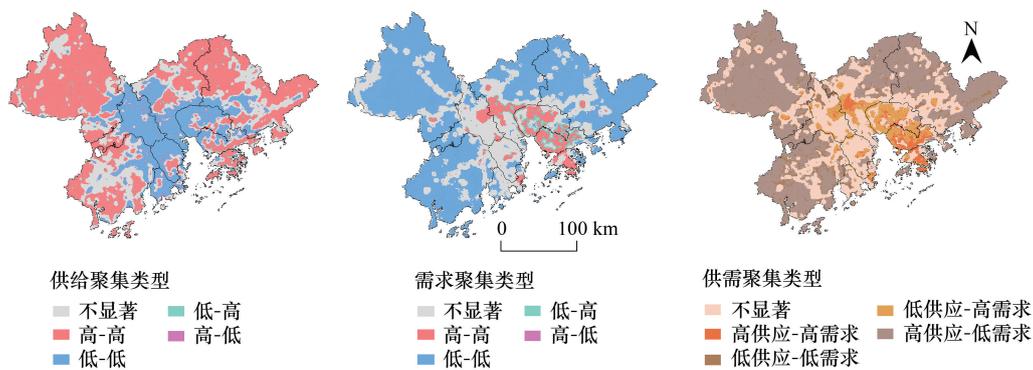


图 4 文化服务供给、需求及供需的空间自相关聚集类型图

Fig.4 The spatial autocorrelation matching type of cultural ecosystem services from small park and greenbelt including for supply, demand, supply and demand

供、需单变量的局部自相关分析结果表明, 供给与需求的空间聚集既有相同特征, 也各有独到之处。高-低、低-高聚集区域均呈碎片化分布, 且分布零散, 此类聚集区域的发展不易受到周围区域的辐射影响, 空间带动性差, 区域发展较为依赖自身的发展模式, 空间异质性强。在文化服务供给方面, 49.9% 的区域呈现高-高聚集, 各个城市内都有呈现连片分布的趋势; 23.3% 的区域呈现低-低聚集, 主要分布在中部地区。在文化服务需求方面, 低-低聚集 (61.3%) 现象较为突出, 主要分布在湾区的外围地区; 高-高聚集 (6.9%) 分布较少, 主要连片集聚在广州、深圳、东莞、香港与澳门的中心区; 不显著聚集 (29.0%) 区域占比较大, 多分布在高-高与低-低聚集区的过渡地区。

基于双变量局部空间自相关分析可知 (图 4、表 2), 高供给-低需求区域 (52.2%) 是最普遍的空间聚集类型, 分布在湾区四周的区域, 多呈现集中分布, 主要是因为该区域内生态环境较为良好, 且受地形、社会经济的影响人类活动开发程度较低, 因而文化服务供给较高; 低供给-高需求区域 (7.8%) 大多分布在高供给-高需求区域的外围, 且在各个城市均有分布, 由于这类区域分布在中心城区的附近, 大规模的建设用地压缩了城市的开敞空间, 人口的密集流动与开发, 使得区域内呈现高需求而低供给的现象。高供给-高需求 (3.3%) 与低供给-低需求 (6.9%) 呈现碎片化的分布, 占比少, 表明小型公园绿地文化服务供给与需求明显的不匹配现象, 较少出现平衡饱和的状态。

### 2.3 小型公园绿地 CES 供需匹配的类型、等级与分布特征

运用  $k$  聚类方法和耦合协调指数, 辨识粤港澳大湾区小型公园绿地 CES 供需匹配类型关系如图 5, 即共享区域、集聚区域、平衡区域、供给不足区域、需求不足区域 5 种 CES 供需匹配类型, 各自所属的匹配等级及其区域面积比重如表 3。

首先, 52.2% 研究区属于小型公园绿地 CES 需求不足区域, 为高供-低需、轻度失调的供需匹配等级, 主要分布在湾区的四周, 呈现北重南轻的趋势。其次, 31.6% 的共享区域为供需匹配类型不明显、濒临失调的匹配等级, 多位于中部和南部区域, 与部分城市中心城区的边缘地带具有重合关系。再次, 余下几种类型的区域面积远远少于前面两种, 如面积相对较多的是平衡区域, 面积占比仅 6.0%; 集聚区域和供给不足区域的区域面积相当, 占比分别为 5.0% 和 5.2%。最后, 从空间分布特征来看, 平衡区域分布则较为零散, 大部分呈点状分布; 集聚区域主要分布在深圳、东莞、香港与广州的部分区域, 是湾区内经济的高速发展区; 供给不足区域主要分布于集聚区域与共享区域的过渡地带。后 3 种类型分别依次为优质协调、轻度失调和中度失调的匹配等级。

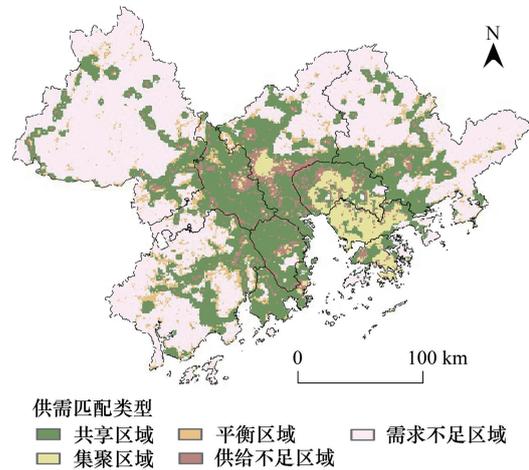


图 5 小型公园绿地文化服务供需匹配关系分布图

Fig.5 Distribution of coupled coordination relationship between supply and demand of small park and greenbelt

表 3 小型公园绿地文化服务供需匹配关系及其区域面积比重

Table 3 Coordination relationship between supply and demand for small park and aera percent

| 分区<br>Zones                | 匹配等级<br>Grade of coupling<br>coordination | 耦合协调度指数<br>Coupling coordination<br>degree | 双变量聚类类型<br>Clustering type of<br>demand and supply | 面积百分比/%<br>Area percentage |
|----------------------------|---|--|--|----------------------------|
| 共享区域 Shared area           | 濒临失调                                      | 0.44                                       | 不明显的类型   | 31.6                       |
| 集聚区域 Clustering area       | 优质协调                                      | 0.95                                       | 高供-高需  | 5.0                        |
| 平衡区域 Balanced area         | 轻度失调                                      | 0.31                                       | 低供-低需  | 6.0                        |
| 供给不足区域 Under-supplied area | 中度失调                                      | 0.26                                       | 低供-高需  | 5.2                        |
| 需求不足区域 Under-demanded area | 轻度失调                                      | 0.35                                       | 高供-低需  | 52.2                       |

### 3 讨论

本文基于小型公园绿地, 探讨粤港澳大湾区 CES 供给与需求的空间匹配关系, 结果显示, 错配与共享特征同在。这与类似文献研究结论较为吻合, 如刘颂等<sup>[34]</sup>认为, 公园绿地 CES 供给空间与需求空间通常分离, 高供给能力区域与高需求水平区域往往在空间上不匹配。大湾区内 CES 供给与需求的这种空间匹配特征, 是区域自然与社会经济条件空间分布差异的综合反映。就人均公园绿地面积而言, 东莞、广州和肇庆最高, 佛山则相对较低, 并且多为零散绿地及道路绿化<sup>[49]</sup>; 基于第六、第七次全国人口普查分区(县)及 2011 和 2021 年香港、澳门人口普查数据, 澳门、香港、广州、深圳部分街道(分区)的人口密度已是我国人口密度最高的地区之一<sup>[50]</sup>。图 5 和表 3 显示, 大湾区小型公园绿地 CES 高供给与高需求的集聚区域也是主要分布在深圳、东莞、香港与广州等市范围内; 紧邻集聚类型的外围区域, 则主要是供给不足的类型; 高供给与低需求则主要是大湾区四周区域。

以上 CES 供给与需求空间特征也进一步验证本研究设计的合理性, 如: 正是以可达性作为供给量的衡量指标之一, 广州、深圳、佛山、香港与澳门等城市的中心区域, 虽然人类活动频繁, 但可达性一般较大, 交通便

利,因而形成供给的极高值区域;再因这些区域的高需求,最后成为 CES 高供-高需的集聚区域。现正值高质量建设粤港澳大湾区的时期,为未来建成“充满活力的世界级城市群,形成宜居宜业宜游的优质生活圈”<sup>[51]</sup>,合理配置公园绿地资源或公园布局意义重大。但是,由于 CES 对空间的依赖性<sup>[32]</sup>、CES 需求的主观性及其供应的非消耗性,难以单纯地运用市场经济手段对 CES 供需空间平衡进行干预<sup>[52]</sup>,加强区域 CES 供需空间分布及匹配关系的研究,分区优化的人为干预供给模式显得必要<sup>[21,53-54]</sup>。

尽管如此,由于文化服务具有无形性、复杂性与动态性,选择具有代表性、有效性和可操作性的指标仍然是研究中的难点和瓶颈<sup>[18]</sup>。为了能够进行相关探索性分析,本研究选定了 4 个需求指标,其中人口密度、商业服务密度或医院密度可能还存在指标共线性,暂时没有能够对共线性问题进行深究,可能一定程度会影响到研究结果的准确性。其次,本研究仅瞄准城市居民这一服务主体,忽略了外来游客的需求,对于定位为世界级城市群的粤港澳大湾区而言,无疑遗漏或弱化了其更广泛的需求量。再次,本研究中尽可能结合不同人群特点来量化人群的可能需求,并未考虑人类的实际使用,未来如结合多源大数据(如社交媒体照片)<sup>[24]</sup>等进行更多的语义识别,从人类实际需求角度来量化小型公园绿地文化服务,研究的适用性可能会更强。最后,小型公园绿地 CES 供需可能受到行政边界、经济发展等多种因素的影响与限制,进行多尺度供需差异的讨论与深究,对指导文化服务管理或分区管理应该是一项十分有意义的工作。

#### 4 结论

在重大公共卫生突发事件发生背景下,城市自然生态系统为居民提供了宝贵的公共休闲空间,绿地更是成为城市居民身心调节的重要场所。为探讨居民对这类小型自然生态系统的需求与满足程度,本文以粤港澳大湾区小型公园绿地为研究对象,构建文化服务潜在供给和总量需求的测算指标;运用空间自相关模型,从供给和需求两个方面探测其提供文化服务的空间聚集特征,据此进行子区域划分;运用耦合协调度模型,进一步测算小型公园绿地 CES 供需的空间匹配关系。得到以下结论:

粤港澳大湾区小型公园绿地 CES 供给呈现中间低、四周高的整体梯度分布特征,以高-高空间聚集类型为主;CES 需求向各城市中心聚集,以低-低空间聚集类型为主;CES 供给和需求双方在空间上呈现出显著、高-高、低-低、低-高、高-低的供需聚集类型区域,双方空间错配状态较为明显,不同区域里面供需错配程度不同,52.2%的 CES 需求不足,属于高供-低需、生态环境状态较好的匹配类型,5.2%的区域供给不足,属于供需中度失调的错配区域,城市中心仍然有一定比例的高供-高需区域。为进一步推进粤港澳大湾区高质量建设,缓解重大公共事件对人群福祉的影响,提升人类在抵御重大突发事件过程中的生活质量,可分区优化城市自然生态系统。

#### 参考文献(References):

- [1] 刘志强, 陈列, 王俊帝, 洪宏伟. 人口规模视角下城市公园绿地增长的差异与潜力——以我国地级及以上城市为例. 地域研究与开发, 2021, 40(2): 40-44, 55.
- [2] 陈玉洁, 袁媛, 周钰荃, 刘晔. 蓝绿空间暴露对老年人健康的邻里影响——以广州市为例. 地理科学, 2020, 40(10): 1679-1687.
- [3] 李素英, 王计平, 任慧君. 城市绿地系统结构与功能研究综述. 地理科学进展, 2010, 29(3): 377-384.
- [4] 陶晓丽, 陈明星, 张文忠, 白永平. 城市公园的类型划分及其与功能的关系分析——以北京市城市公园为例. 地理研究, 2013, 32(10): 1964-1976.
- [5] 张哲. 疫情背景下城市绿地对公共健康的影响及反思. 城乡建设, 2020(15): 42-44.
- [6] Cheng Y Y, Zhang J G, Wei W, Zhao B. Effects of urban parks on residents' expressed happiness before and during the COVID-19 pandemic. Landscape and Urban Planning, 2021, 212: 104118.
- [7] Zhang W T, Li S, Gao Y X, Liu W P, Jiao Y K, Zeng C, Gao L, Wang T W. Travel changes and equitable access to urban parks in the post COVID-19 pandemic period: evidence from Wuhan, China. Journal of Environmental Management, 2022, 304: 114217.
- [8] 吴健生, 司梦林, 李卫锋. 供需平衡视角下的城市公园绿地空间公平性分析——以深圳市福田区为例. 应用生态学报, 2016, 27(9): 2831-2838.

- [ 9 ] Kosanic A, Petzold J. A systematic review of cultural ecosystem services and human wellbeing. *Ecosystem Services*, 2020, 45: 101168.
- [ 10 ] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展. *资源科学*, 2001, 23(6): 5-9.
- [ 11 ] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [ 12 ] HIRONS M, COMBERTI C, DUNFORD R. Valuing Cultural Ecosystem Services. *Annu Rev Env Resour*, 2016, 41: 545-74.
- [ 13 ] 孙孝平, 李双, 余建平, 方彦君, 张银龙, 曹铭昌. 基于土地利用变化情景的生态系统服务价值评估: 以钱江源国家公园体制试点区为例. *生物多样性*, 2019, 27(1): 51-63.
- [ 14 ] 汤煜, 石铁矛, 卜英杰, 石羽. 城市绿地碳储量估算及空间分布特征. *生态学杂志*, 2020, 39(4): 1387-1398.
- [ 15 ] Cui F Q, Tang H P, Zhang Q, Wang B J, Dai L W. Integrating ecosystem services supply and demand into optimized management at different scales: a case study in Hulunbuir, China. *Ecosystem Services*, 2019, 39: 100984.
- [ 16 ] 李婧贤, 王钧. 粤港澳大湾区生态系统服务识别、分类及制图. *生态学报*, 2019, 39(17): 6393-6403.
- [ 17 ] 谢云慧, 毕凌岚, 李荷. 供需平衡视角下城市小型公园绿地公平性研究-以成都市金牛区为例 // 中国城市规划年会暨 2021 中国城市规划学术季, 中国四川成都, 2021: 198-205.
- [ 18 ] 董连耕, 朱文博, 高阳, 李双成. 生态系统文化服务研究进展. *北京大学学报: 自然科学版*, 2014, 50(6): 1155-1162.
- [ 19 ] 李想, 雷硕, 冯骥, 温亚利. 北京市绿地生态系统文化服务功能价值评估. *干旱区资源与环境*, 2019, 33(6): 33-39.
- [ 20 ] Richards D R, Tunçer B. Using image recognition to Automate assessment of cultural ecosystem services from social media photographs. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 318-325.
- [ 21 ] 彭婉婷, 刘文倩, 蔡文博, 王鑫, 黄智, 吴承照. 基于参与式制图的城市保护地生态系统文化服务价值评价——以上海共青森林公园为例. *应用生态学报*, 2019, 30(2): 439-448.
- [ 22 ] 郑善文, 马默衡, 李海龙, 汪坚强, 张芯蕾. 居民福祉视角下城市中心区生态空间文化服务评价——以北京为例. *城市发展研究*, 2021, 28(4): 21-27.
- [ 23 ] Liu Z H, Huang Q D, Yang H Y. Supply-demand spatial patterns of park cultural services in megalopolis area of Shenzhen, China. *Ecological Indicators*, 2021, 121: 107066.
- [ 24 ] Buchel S, Frantzeskaki N. Citizens' voice: a case study about perceived ecosystem services by urban park users in Rotterdam, the Netherlands. *Ecosystem Services*, 2015, 12: 169-177.
- [ 25 ] 许泽宁, 高晓路. 基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法. *地理学报*, 2016, 71(6): 928-939.
- [ 26 ] 孟斌, 王劲峰, 张文忠, 刘旭华. 基于空间分析方法的区域差异研究. *地理科学*, 2005, 25(4): 393-400.
- [ 27 ] 赵蓓蕾. 广州市制造业与生产性服务业协同集聚的时空演变与影响因素研究[D]. 广州: 暨南大学, 2021.
- [ 28 ] 逯璐, 李丁, 吴静芬, 李田田. 财政收支对人口迁移影响的空间格局和空间效应分析——以长江三角洲地区为例. *资源开发与市场*, 2021, 37(8): 954-961.
- [ 29 ] 郭岩, 杨昌鸣, 张雨洋. 场域视角下清代北京宣南雅文化核心区范围及空间关联特征. *地理研究*, 2020, 39(4): 836-852.
- [ 30 ] 李志芳, 王锐, 沈新磊. 基于质量指数和空间自相关分析的耕地保护分区研究. *土壤通报*, 2021, 52(4): 785-792.
- [ 31 ] 李金刚. 城市公园绿地游憩服务能力空间绩效评价与布局优化研究——以西安市中心城区为例[D]. 西安: 西北大学, 2019.
- [ 32 ] 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.
- [ 33 ] 韩晓红, 胡彧. K-means 聚类算法的研究. *太原理工大学学报*, 2009, 40(3): 236-239.
- [ 34 ] 刘颂, 杨莹, 颜文涛. 基于生态系统文化服务供需平衡的公园绿地配置研究框架. *中国城市林业*, 2021, 19(3): 14-18.
- [ 35 ] 安淇. 健康导向下济南市旧城分区城市绿地生态系统文化服务供需匹配与优化研究[D]. 济南: 山东建筑大学, 2020.
- [ 36 ] Beeco J A, Hallo J C, Brownlee M T J. GPS Visitor Tracking and Recreation Suitability Mapping: tools for understanding and managing visitor use. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 127: 136-145.
- [ 37 ] 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.
- [ 38 ] 徐勇, 孙晓一, 汤青. 陆地表层人类活动强度: 概念、方法及应用. *地理学报*, 2015, 70(7): 1068-1079.
- [ 39 ] 中华人民共和国住房和城乡建设部. CJJ/T85-2017 城市绿地分类标准. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [ 40 ] 田逢军. 城市大型公园绿地游憩功能的综合开发——以上海市为例. *城市问题*, 2009, (07): 52-55.
- [ 41 ] Schirpke U, Meisch C, Marsoner T, Tappeiner U. Revealing spatial and temporal patterns of outdoor recreation in the European Alps and their surroundings. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 336-350.

- [42] Beckmann-Wübbelt A, Fricke A, Sebesvari Z, Yakouchenkova I A, Fröhlich K, Saha S. High public appreciation for the cultural ecosystem services of urban and peri urban forests during the COVID-19 pandemic. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 74: 103240.
- [43] 王宁, 杜豫川. 社区居民适宜步行距离阈值研究. *交通运输研究*, 2015, 1(2): 20-24, 30.
- [44] Myeong S, Nowak D J, Duggin M J. A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 101(2): 277-282.
- [45] Wang J, Zhou W Q, Wang J, Qian Y G. From quantity to quality: enhanced understanding of the changes in urban greenspace. *Landscape Ecology*, 2019, 34(5): 1145-1160.
- [46] 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(2): 421-431.
- [47] Ala-Hulkko T, Kotavaara O, Alahuhta J, Helle P, Hjort J. Introducing accessibility analysis in mapping cultural ecosystem services. *Ecological Indicators*, 2016, 66: 416-427.
- [48] 王富喜, 毛爱华, 李赫龙, 贾明璐. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析. *地理科学*, 2013, 33(11): 1323-1329.
- [49] 王长建. 粤港澳大湾区城市群生态系统及人地关系可持续. *科技管理研究*, 2021, 41(13): 71-76.
- [50] 孙文勇, 徐雨璇, 刘行, 罗彦. 粤港澳大湾区人口空间分布特征与空间治理优化建议. *城市观察*, 2022(3): 77-90, 161-162.
- [51] 国务院办公厅. 中共中央国务院印发《粤港澳大湾区发展规划纲要》.(2019-02-18) [2021-06-10]. [http://www.gov.cn/zhengce/2019-02/18/content\\_5366593.htm#1](http://www.gov.cn/zhengce/2019-02/18/content_5366593.htm#1).
- [52] 严岩, 朱捷缘, 吴钢, 詹云军. 生态系统服务需求、供给和消费研究进展. *生态学报*, 2017, 37(8): 2489-2496.
- [53] 周新宇, 孟士婷, 黄庆旭, 张瀚, 杨梦露, 焦晨泰. 结合生态系统服务供需和人类福祉的区域规划. *生态学报*, 2022, 42(14): 5748-5760.
- [54] 潘芳宏, 胡昂, 干晓宇. 居民的生态系统文化服务需求与公园可达性的关系. *中国城市林业*, 2022, 20(1): 36-42.