

城市绿地休闲服务供需失衡关键区识别与 规划干预优先级划分

辛儒鸿¹, 曾 坚², 梁 晨³

(1. 西南大学园艺园林学院, 重庆 400700; 2. 天津大学建筑学院, 天津 300100;
3. 河北工业大学建筑与艺术设计学院, 天津 300130)

摘要: 城市绿地休闲服务是与城市居民关系最为紧密的城市生态系统服务类型之一。识别城市绿地休闲服务供需失衡关键区并划分规划干预优先级, 对于精准提升城市绿地休闲服务供给效率、满足城市居民高品质休闲功能需求具有重要作用。本文以厦门岛为例, 利用2019年遥感影像数据、兴趣点数据和统计数据等多源数据, 应用InVEST模型、ArcGIS平台和GeoDA等空间分析工具, 构建了城市绿地休闲服务供需评价指标体系和研究框架, 评价了供需水平及空间聚类特征, 并识别划分出供需失衡关键区和规划干预优先级。结果表明: ① 厦门岛生境质量和植被生长状态均呈现“南优北劣”的空间分布特征; 城市绿地休闲服务供给能力存在显著的空间集聚特征, 高一高热点区集中于南部和西部片区。② 常住人口密度与POI核密度均呈现出“总体均质、片区集中”的空间集聚特征; 特殊人群人均绿地资源享有率差异较大; 城市绿地休闲服务需求水平与供给能力的空间集聚特征相反, 高一高热点区分散于西南部及中部片区。③ 识别出387个“低供—高需”失衡关键区单元, 主要分布于厦门岛中部及北部片区的居住区, 该类区域面临城市绿地休闲服务供不应求的严峻挑战, 需要重点修复和优化。④ 划分出5个规划干预优先级, 有44个单元处于IV-V级优先区, 该类区域需要优先干预, 以精准缓解城市绿地休闲服务供需矛盾。

关键词: 城市绿地; 休闲服务; 供需; 优先级; 厦门岛

DOI: 10.11821/dlxb202303016

1 引言

城市是以人为中心的“社会—经济—自然”复合生态系统, 城市扩张和人口膨胀造成两方面的普遍现象: 一是城市绿地系统被不断压缩和碎片化, 城市居民与自然环境严重脱离; 二是城市居民对城市绿地休闲服务的需求数量、质量和多样性明显增强^[1]。以上现象导致城市绿地休闲服务供给能力与城市居民需求水平之间的供需失配严重。这种供需失配涉及地域平等、社会公平和环境正义等深层社会问题, 需要高度重视并进行合理优化^[2]。城市绿地是保障城市生态系统稳定性的关键基底, 是城市居民亲近自然、参与户外休闲活动的主要场所。城市绿地所产生的休闲服务功能作为与城市居民关系最为紧密的城市生态系统服务类型之一, 被视为自然环境对人类社会享有的各种休闲、娱乐和体验机会的贡献^[4]。大量研究表明, 城市绿地休闲服务对改善居民身心健康、促进邻里互

收稿日期: 2021-07-23; 修订日期: 2023-02-23

基金项目: 中央高校基本科研业务费项目(SWU-KQ22030) [Foundation: Fundamental Research Funds for the Central Universities, No.SWU-KQ22030]

作者简介: 辛儒鸿(1990-), 男, 甘肃酒泉人, 博士, 副教授, 研究方向为生态系统服务评价与绿色基础设施规划。
E-mail: ruhongx@163.com

动、提升幸福感及提高生活品质等方面具有积极作用^[5-6]。因此,评价识别城市绿地休闲服务供需失衡关键区,在矛盾最突出、问题最显著、干预最迫切的区域进行精准规划,对于有效提升城市人居环境品质和可持续发展水平具有重要意义。

早在20世纪60年代初, Jacobs^[7]、Seymour^[8]、Wilkinson^[9]等社会活动家和规划师就开始思考城市绿地资源分配对城市可持续发展的重要意义。经过长期的理论和实践积淀,现已形成较为丰富的成果,可总体概括为两个层面:①在研究视角层面,大量研究调查了城市绿地的可达性^[10]、服务半径^[3]、内部条件(如面积^[11]、植被质量^[12]、休闲设施^[13])等方面的内容;也有研究讨论了城市绿地的用户体验^[14]、便捷性、舒适性、满意度^[15]及休闲活力^[16];②在研究方法层面:部分研究基于遥感数据和GIS平台评价绿地休闲服务的空间绩效^[3],部分学者使用公众参与地理信息系统(PPGIS)绘制城市绿地休闲服务的空间分布,弥补了以主观认知为驱动的休闲服务映射方法的局限^[17];部分研究使用货币化经济模型^[18]或生物物理指标来衡量城市居民对城市绿地休闲服务的需求期望,尤其在局部空间尺度^[19]。总体而言,既有研究提高了数据获取及评价结果的效率,但尚不能精准反映不同社会群体及社会功能主导的人群分布对城市绿地休闲服务的实际需求^[20];单方面考虑城市绿地休闲服务的“供给能力”或“需求水平”的研究较多,但对于供需体系间的互动关系论证不足;有限的休闲服务供给能力与日益增长的需求水平之间的矛盾现实尚未得到根本解决。生态文明战略引领下,“以人为本”新型城镇化更加重视人本需求,强调人与自然的互利共生,以及城市绿地休闲服务的质量提升与分配正义。因此,探究城市绿地休闲服务的供需关系,是提升城市休闲服务供给能力、满足城市居民多元需求的重要突破口。

厦门岛是闽南金三角经济区的中心城市,城市发展建设成熟,具有高密度城区的典型特征;同时,厦门岛城市绿地资源趋紧,休闲服务供需矛盾典型。鉴于此,本文以厦门岛为例,重点探讨休闲服务供给和人本需求之间的空间匹配关系,旨在精准识别城市绿地休闲服务供需失衡关键区,并明确规划干预优先级,为有效提升城市绿地休闲服务供给效率提供科学依据。研究结果在指导城市绿地系统规划、促进“以人为本”新型城镇化目标方面具有重要实用价值。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究区概况

厦门岛位于闽三角城市群的核心地带,是厦门市的政治、经济、文化、商业中心。国土面积157.76 km²,四周环海,是典型的岛屿型城市。同时,厦门岛位于亚热带河口海湾区域,具有丰富的城市绿地资源。近年来,城市发展带来的高密度人口和高强度活动已严重影响到城市绿地休闲服务供给能力,人本需求和生态供给之间的矛盾不断凸显,亟需借助科学方法进行优化调控。

2.2 数据来源与处理

研究数据主要涵盖栅格数据、普查数据和网络数据3种类型。① Landsat8 OLI/TIRS遥感影像数据源自地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn>),选取成像时间为2019年9月22日(植被生长季),云量为0.61%,条带号为119/43,空间分辨率为30 m;使用ENVI 5.3平台对遥感影像进行校正、裁剪和目视解译,将研究区用地分为:林地、草地、耕地、水体、裸地和建设用地6大类型。② 常住人口,青少年(≤14岁)及老年人口(65岁以上)等特殊人群数据源自第六次人口普查,统计单元为居委会。③ 兴趣点

(Point of Interest, POI) 数据源自百度地图 API 接口, 利用 Python 获取。为契合研究需要, 根据《城市用地分类与规划建设用地标准》, 对既有 POI 指标进行数据清洗和重分类, 最终获得 1433 个具有代表性的 II 级 POI 指标 (表 1)。

④ 行政边界、街道办、社区行政归属名称源自厦门市官方网站。

⑤ 城市路网数据 (OSM 路网) 源于 Open Street Map 官网, 利用 ArcMap10.8 软件对各等级路网进行融合处理和拓扑修正, 利用线转面工具, 将道路线状矢量转化为街区面状矢量, 获得街区地块单元。

表 1 基于土地利用类型的 POI 分类及数量特征

Tab. 1 POI classification and quantitative characteristics based on land use types

用地分类	I级 POI	II级 POI	POI 数(个)
公共管理与公共服务设施用地	文化设施	博物馆、展览馆、会展中心等	39
	教育科研	高等院校、中学、小学、幼儿园、科研单位等	554
	医疗卫生	综合医院、专科医院等	89
商业服务业设施用地	商务商业	大型写字楼、办公楼、购物中心等	155
绿地与交通设施用地	交通枢纽	火车站、长途汽车站、港口码头等	19
绿地与广场用地	绿地广场	公园广场、植物园、风景区等	577

2.3 指标体系与技术路线

城市绿地的丰富水平及空间分布合理性, 直接关系到城市休闲服务分配的公平正义问题。本文构建了城市绿地休闲服务供需评价指标体系与研究框架 (图 1), 主要分为 4 个步骤: ① 从供给韧性维度和供给潜力维度两个层面, 构建城市绿地休闲服务的供给能

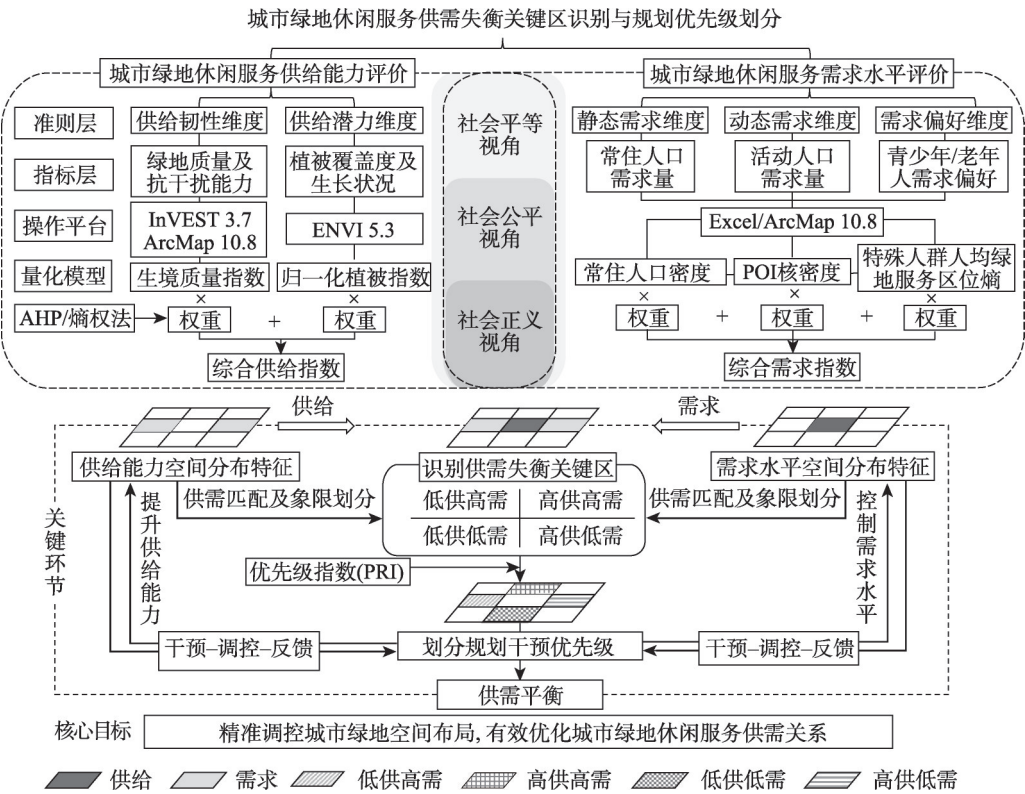


图 1 城市绿地休闲服务供需评价指标体系与技术路线

Fig. 1 Supply and demand evaluation index system and technical route of urban green space recreational service

力评价指标,具体包括:生境质量指数和归一化植被指数两项指标;②从静态需求、动态需求,以及特殊社会群体的需求偏好3个层面,构建城市绿地休闲服务的需求水平评价指标,具体包括:常住人口密度、POI核密度和特殊人群人均绿地区位熵3项关键指标;③基于各项指标评价结果及权重,确定供需综合指数;使用象限划分和优先级指数,识别供需失衡关键区,划分规划干预优先级。

本文的基本研究单元为城市路网划分而成的街区地块,主要基于两方面的背景支撑。首先,街区是城市形态结构、城市功能、城市管理的基本组织单元,以街区地块为研究单元可与规划体系无缝衔接,是城市规划领域的重要分析尺度。其次,街区地块是重要的人文地理单元,也是地理学空间单元划分的重要类型之一^[21],从街区尺度探究城市绿地休闲服务供需机理,是对地理学范畴研究尺度的细化和推进落实。综上,基于街区尺度解决城市绿地休闲服务失衡问题具有重要的理论基础和现实意义。

2.4 城市绿地休闲服务供给能力评估

2.4.1 生境质量指数 生境质量是指表征绿地生态系统健康程度及其生态系统服务供给能力的重要指标之一^[22]。本文使用InVEST 3.7.0模型对城市绿地生境质量进行定量评估。其中,InVEST-Habitat Quality(生境质量)模块基于土地利用数据、胁迫因子及权重、胁迫影响距离等因子,分析生境对外部胁迫因子的敏感程度,人类活动强度越大,生境所承受的威胁越大,城市绿地休闲服务供给能力越弱,反之亦然。计算过程为:首先计算出生境质量的退化度,进而计算出生境质量^[22]。生境退化度指数计算公式如下^[23]:

$$D_{xy} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^{Y_r} \left(W_r / \sum_{r=1}^R W_r \right) r_y \times i_{rxy} \times \beta_x \times S_{jr} \quad (1)$$

式中: D_{xy} 为土地利用类型 j 中栅格单元 x 的生境退化度; R 为生境胁迫因子数量,根据厦门岛的实际情况,本文选取机场、港口、铁路、主干道、次干道、城市建设用地作为生境胁迫因子; Y_r 为生境胁迫因子 r 栅格单元的总数; W_r 为生境胁迫因子 r 的权重; r_y 为土地利用类型 y 栅格中生境胁迫因子的个数; i_{rxy} 为胁迫因子 r 的最大影响距离; β_x 为法律准入程度或到达度,反映土地资源或生态系统保护程度,考虑厦门岛的实际情况,本文将该因素视为均等; S_{jr} 为土地利用类型 j 对于胁迫因子 r 的敏感程度,取值范围为 $[0, 1]$ 。

生境质量指数计算公式如下^[23]:

$$Q_{xy} = H_j \times \left[1 - \left(\frac{D_{xy}^z}{D_{xy}^z + k^z} \right) \right] \quad (2)$$

式中: Q_{xy} 为土地利用类型 j 中栅格 x 的生境质量, Q_{xy} 取值范围为 $[0, 1]$,其值越大表明生境质量越好; H_j 为土地利用类型 j 的生境适宜度; k 为半饱和系数; z 为系统固有换算系数,值为2.5。

2.4.2 归一化植被指数 城市绿地休闲服务供给能力还与绿地空间自身的植被覆盖度、植被生长状况等密切相关^[24]。归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)与绿叶密度、光合有效辐射、植被生产力以及累积生物量等呈线性或近线性关系,能够有效反映植被覆盖度、植物生物量及叶面积指数等植被生长信息,现已成为监测植被覆盖度和生长状况的常用指标之一^[25]。本文使用NDVI指数评价城市绿地植被生长状况^[26]。

2.5 城市绿地休闲服务需求水平评价

2.5.1 常住人口密度 城市居民对城市绿地休闲服务的需求水平取决于人口数量及其空间集聚特征。城市是一个动态、多样的复杂系统,人口的空间集聚主要包括以居住功能主导的“静态集聚”和以商业、游憩、通勤流动功能主导的“动态集聚”^[27]。常住人口密

度能够准确表征常住人口对城市生态资源及其生态系统服务的需求程度^[28]。因此, 本文使用常住人口密度表征市民对城市绿地休闲服务的“静态需求”。

2.5.2 POI核密度 POI数据不仅可以表征人口聚集与城市活力等动态特征^[29], 而且可以与常住人口共同反映城市人口的“职住关系”^[30]。因此, 本文选择基于POI数据的人口活动强度表征市民对城市绿地休闲服务的“动态需求”。本文重点关注城市居民的到访空间、驻足场所、公共交往及休闲游憩等实际功能需求, 筛选出6类Ⅰ级POI指标, 共计1433个具有代表性的Ⅱ级POI指标(表1)。基于POI数据, 采用核密度分析来计算地理要素在其所在空间及周围领域中的密度分布状况, 所生成栅格像元的数值即可表征人口活动强度^[31]。计算公式如下^[32]:

$$f_x = \sum_{i=1}^n \frac{1}{h^2} k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \tag{3}$$

式中: f_x 为 x 处要素的密度估计值; h 为带宽, $x-x_i$ 为第 i 个要素与被估计要素 x 的距离; $k(x)$ 为核的权重函数。

2.5.3 特殊人群人均绿地区位熵 本文借鉴区位熵方法^[33], 使用青少年/老年人人均绿地区位熵(LQ_z)评价特殊社会群体对城市绿地休闲服务的需求水平。计算公式如下:

$$LQ_z = \frac{T_{ds}/P_{dw}}{T_{qs}/P_{qw}} \tag{4}$$

式中: T_{ds} 为空间单元内的公园绿地面积; P_{dw} 为空间单元内的特殊人口数量; T_{qs} 为研究区域内的公园绿地总面积; P_{qw} 为研究区域内的特殊人口总数。如果一个空间单元的 LQ_z 小于1, 则表明该空间单元内的特殊人群人均城市绿地休闲服务需求水平高于研究区域内的特殊人群人均城市绿地休闲服务需求水平; 反之亦然。

2.6 供需失衡关键区识别与干预优先级划分

2.6.1 城市绿地休闲服务供需综合评价 基于单项指标因子, 构建城市绿地休闲服务供需综合指数(BI), 计算公式为^[34]:

$$BI = a \times \beta_1 + b \times \beta_2 + c \times \beta_3 \tag{5}$$

式中: a 、 b 、 c 为休闲服务供/需指标因子, 采用标准化处理以消除不同指标之间的量纲差异。 β_1 、 β_2 、 β_3 为各指标因子所对应的权重系数, 权重由层次分析法(AHP)和熵权法确定(表2)。

表2 指标含义及权重
Tab. 2 Indicator meaning and weight

指标类型	指标含义	属性	权重
供给指标	生境质量指数	绿地系统对外部胁迫因子的敏感程度	正向 0.53
	NDVI指数	绿地系统自身植物的生长状况	正向 0.47
需求指标	常住人口密度	以居住功能主导的休闲服务静态需求	正向 0.34
	POI核密度	以商业功能主导的人口集聚所产生的休闲服务动态需求	正向 0.34
	特殊人群人均绿地服务区位熵	特殊社会群体对城市绿地休闲服务的需求偏好	负向 0.32

2.6.2 城市绿地休闲服务供需空间集聚特征识别 局部空间自相关模型可反映某一空间单元的属性值同其邻接空间单元上同一属性值的相关性和空间聚集程度, 有助于识别属性值的显著性热点和冷点^[35]。本文使用单变量局部空间自相关模型, 识别城市绿地休闲服务综合供/需指数的空间集聚特征。具体操作过程通过GeoDA软件实现。

2.6.3 城市绿地休闲服务供需失衡关键区识别 探究城市绿地休闲服务的供需耦合状态是供需研究的关键点和难点, Z-score标准化方为供需耦合研究提供了媒介^[36]。该方法会在一定程度上改变供/需综合指数的实际值, 需要引起重视, 但鉴于本文的最终目的在于探析供/需关系的相对状态, 而非绝对值, 故使用该方法进行供需匹配与象限划分。Z-score标准化公式具体参照文献^[37]。

2.6.4 规划干预优先级划分 为进一步指导规划实践, 引入优先级指数 (Priority Index, PRI)^[38]对“供需失衡”关键区进行优先级划分, 计算公式如下:

$$PRI = \frac{D_p \times f_x \times LQ_z}{Q_{xy} \times N} \quad (6)$$

式中: D_p 为常住人口密度; f_x 为POI核密度指数; LQ_z 为特殊人群人均绿地区位熵, 三者共同反映城市绿地休闲服务综合需求水平。 Q_{xy} 为生境质量指数; N 为NDVI指数, 二者共同反映城市绿地休闲服务综合供给能力。当需求越大, 供给越小时, PRI 越大, 表明该地区的规划干预优先级越高。

3 结果分析

3.1 城市绿地休闲服务供给能力及空间分布特征

3.1.1 单项供给指标及空间分布特征 将生境质量划分为5个等级, 结果显示, 在外部胁迫因子影响下, 厦门岛的生境质量总体呈现出“南优北差, 点状分布”的空间特征, “良好”级别以上的生境面积占21.57%。同时, NDVI高值区与生境质量高值区主要分布在厦门园林植物园、御屏山、厦门大学、狐尾山公园、五缘湾湿地公园等地, 表明这些区域不仅具有良好的生境基础条件和适应外部环境胁迫因子的能力, 而且具有较高的植被覆盖度和较好的植物生长状况。综合生境质量和NDVI指数结果发现, 厦门岛南部和西部片区具有较好的城市绿地休闲服务供给基础, 而中部、北部和东部片区的供给基础整体较为薄弱 (图2)。

3.1.2 综合供给能力及空间分布特征 基于单项供给指标评价结果及权重, 得到厦门岛城市绿地休闲服务的综合供给能力。结果显示 (图3a), 厦门岛城市绿地休闲服务供给能力低值区 ($BI_s < 0.091$) 主要集中在北部港口码头、高崎国际机场及部分居住区; LISA结果显示 (图3b), 在95%的置信区间内, 厦门岛的城市绿地休闲服务供给能力具有明显的

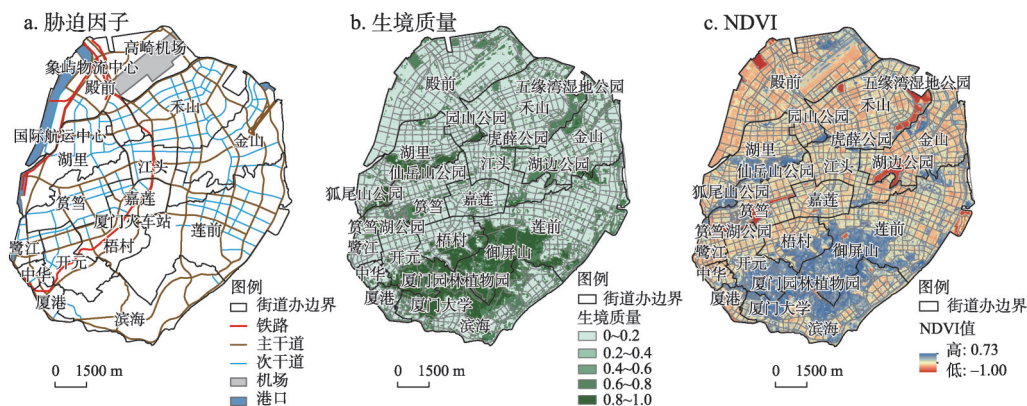


图2 厦门岛胁迫因子、生境质量及NDVI空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of impact factors, habitat quality and NDVI

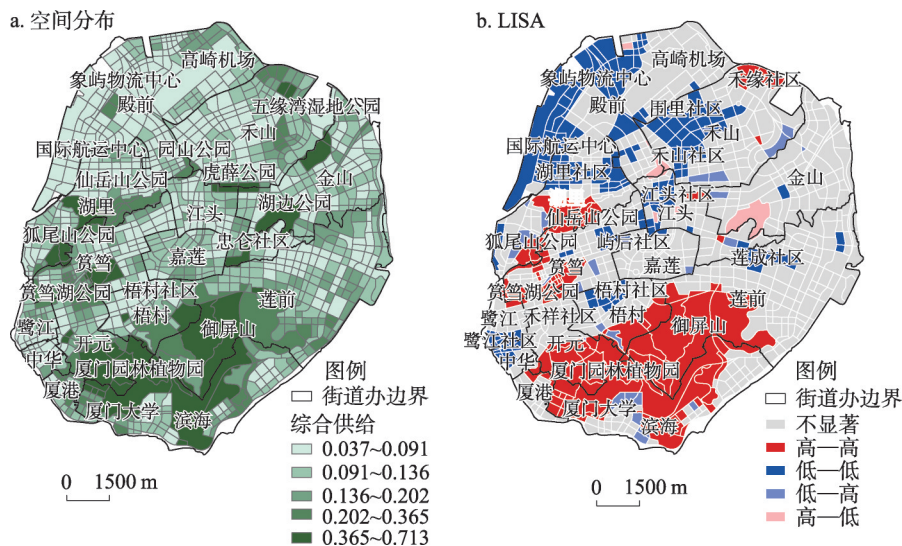


图3 厦门岛城市绿地休闲服务供给能力空间分布及LISA
Fig. 3 Spatial distribution of urban green space recreational service supply and distribution map of LISA

局部空间集聚特征。低—低冷点区分布于北部物流中心、国际航运中心、湖里社区、围里社区，及西南部的鹭江社区，以上片区的城市绿地休闲服务供给能力整体偏低，应当重点优化提升。

3.2 城市绿地休闲服务需求水平及空间分布特征

3.2.1 单项需求指标及空间分布特征 单项需求指标结果显示，厦门岛常住人口密度在空间分布上差异较大，呈现出由城市中心向周边地区梯度递减的空间分布趋势（图4a）。高密度区（ $D_r > 500$ 人/hm²）主要分布于中部及西南部片区，包括塘边社区、江村社区、屿后社区及鹭江社区等片区；低密度区（ $D_r < 200$ 人/hm²）主要分布于北部、南部及环岛片区。POI核密度与常住人口密度具有空间分布差异，呈现“总体均质、片区集中”的空间集聚特征（图4b）。高密度（ $f_i > 15$ ）地区主要分布于北部的殿前社区、围里社区、马垵社区，中部的屿后社区、龙山社区，以及西南部的禾祥社区、思南社区及厦门大学片

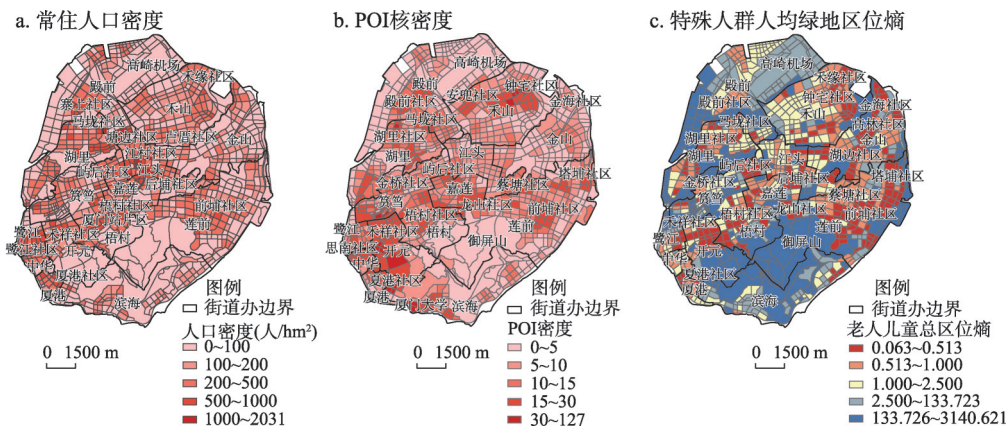


图4 厦门岛常住人口密度、POI核密度及特殊人群人均绿地服务区熵空间分布
Fig. 4 Spatial distribution of permanent population density, POI kernel density and per capita green space location entropy for special populations

区; 低值区 ($f_x < 10$) 主要分布于高崎国际机场、湖边水库、御屏山及厦门园林植物园片区。特殊人群人均绿地服务区位熵空间分布结果显示 (图 4c), 高需求区 ($LQ_2 < 1.000$) 相对分散, 点状分布于厦门岛中部、东部及西部片区, 表明以上片区中, 青少年和老年人等特殊社会群体的人均城市绿地休闲服务需求水平高于研究区总体需求水平。

3.2.2 综合需求水平及空间分布特征 基于单项需求指标评价结果及权重, 得到厦门岛城市绿地休闲服务综合需求水平 (图 5a)。结果显示, 厦门岛城市绿地休闲服务需求水平的空间分布不均, 高值区 ($BI_d > 0.188$) 主要集中在北部的殿前社区、寨上社区、马垵社区和钟宅社区, 中部的屿后社区、蔡塘社区、龙山社区、梧村社区, 及西南部的思南社区和夏港社区。表明以上片区中居民对城市绿地休闲服务的需求水平较高。同时, LISA 结果显示 (图 5b), 在 95% 的置信区间内, 城市绿地休闲服务综合需求的 Moran's I 指数为 0.335, 表明在街区尺度的城市绿地休闲服务需求水平具有明显的局部空间集聚特征。高一高热点区主要分散于西南部及中部片区, 以上片区中城市居民对城市绿地休闲服务的需求水平整体偏高, 需要重点优化调控; 低一低冷点区主要集中在南部山区、北部机场、港口及东部湿地片区。

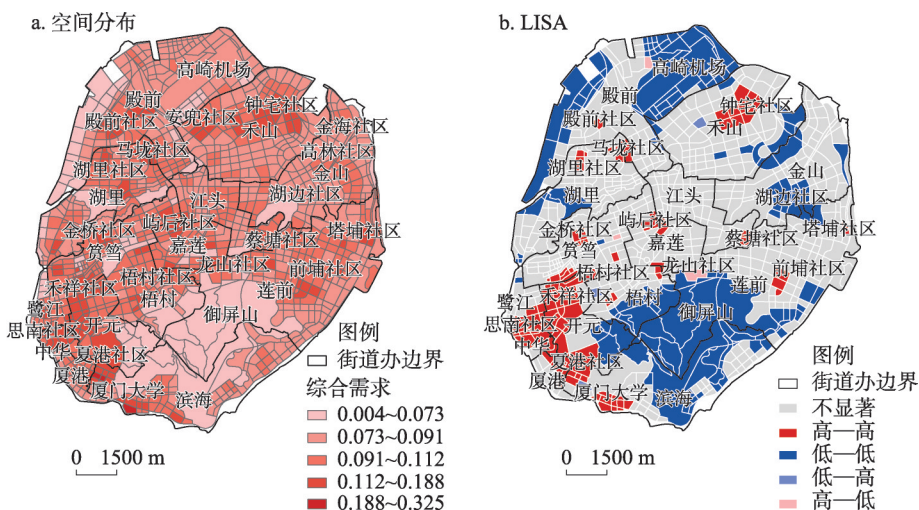


图5 厦门岛城市绿地休闲服务需求水平空间分布及LISA

Fig. 5 Spatial distribution of urban green space recreational service demand and distribution map of LISA

3.3 供需失衡关键区识别

基于 Z-score 标准化后的城市绿地休闲服务供需象限分布结果表明 (图 6), 有 387 个研究单元处于低供—高需状态 (第 II 象限), 90 个研究单元处于高供—低需状态 (第 IV 象限)。同时, 城市绿地休闲服务供需空间匹配结果显示, 低供—高需失衡关键区主要分布于北部的殿前社区、马垵社区、安兜社区、围里社区; 中部的屿后社区、金桥社区、梧村社区; 西南部的鹭江社区、思南社区、夏港社区; 以及东部的蔡塘社区、何厝社区、前埔社区, 这些区域面临城市绿地休闲服务供不应求的严峻挑战, 是需要重点进行城市绿地修复与优化的关键区。高供—低需失衡关键区主要分布于南部的御屏山, 中部的筭筭湖、狐尾山公园、仙岳公园、湖边公园及五缘湾湿地公园片区, 这些区域是需要重点进行城市绿地保护与维持的关键区。

3.4 规划干预优先级划分

使用优先级指数 (PRI) 在供需象限划分的基础上进一步揭示供需失衡的程度, 从而

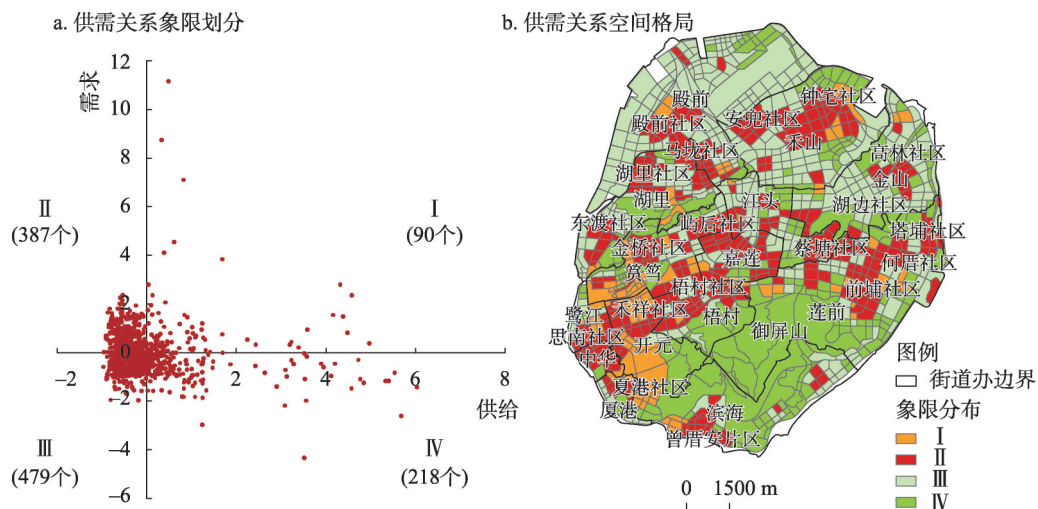


图6 厦门岛城市绿地休闲服务供需失衡关键区空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of key areas of urban green space recreational service supply and demand imbalance

准确划分优先干预的次序^[38]。根据优先级指数,将优先干预区划分为5个等级,级别越高,越需要优先干预。结果表明(图7),厦门岛城市绿地休闲服务优先干预区空间分布差异明显,高级别区集中于中北部。IV~V级优先区主要分布于围里社区、殿前社区、鹭江道社区、思南社区等片区;II~III级优先区主要分布于东渡社区、屿后社区、及前埔社区等片区。这些区域是需要优先规划干预,以缓解城市绿地休闲服务供需矛盾的重点区域。

4. 结论与讨论

4.1 结论

本文以厦门岛为例,从供需视角出发,构建了城市绿地休闲服务供需评价指标体系与研究框架。基于多源数据,应用ArcGIS、ENVI、GeoDA和InVEST等分析工具,评价了城市绿地休闲服务的供需空间特征,识别了供需失衡关键区并划分了规划干预优先级,并得出以下主要结论:

(1) 受城市建设等外部胁迫因子影响,厦门岛绿地生境质量和植被生长状态均呈现“南优北差,点状分布”的空间分布特征;城市绿地休闲服务综合供给能力存在明显的局部空间集聚特征,高一高热点区集中于南部和西部片区,低—低冷点区集中于北部、中部和西南部片区。

(2) 厦门岛常住人口密度呈现由城市中心向周边地区梯度递减的空间分布趋势。POI核密度与常住人口密度存在重叠、互补或错位关系,表明二者共同表征需求水平具

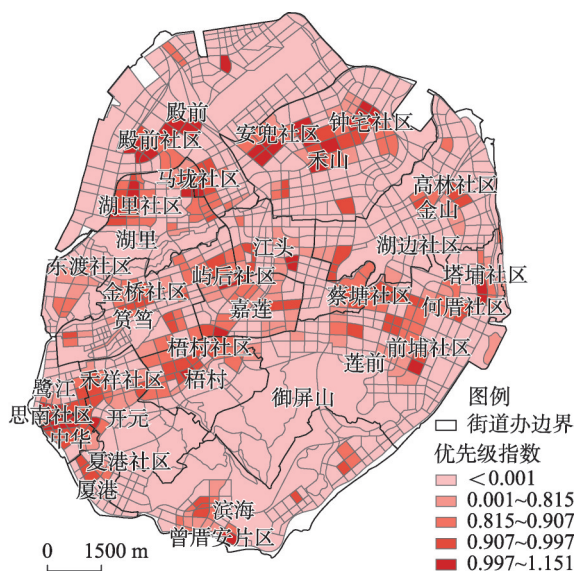


图7 厦门岛城市绿地规划干预优先级空间分布

Fig. 7 Spatial distribution of urban green space planning intervention priorities

有一定的必要性。特殊人群人均绿地服务区位熵呈现“大分散、小集中”的空间分布特征,局部片的特殊人群人均绿地休闲服务享有率有待提高,社会正义尚需加强。城市绿地休闲服务综合需求水平与供给能力存在“空间失配”现象,需求水平高—高热点区主要分散于西南部及中部片区;低—低冷点区主要集中在南部山区、北部机场、港口及东部湿地片区。

(3) 基于供需空间匹配及象限划分,可将城市绿地休闲服务供需关系划分为“高供—高需”“低供—高需”“低供—低需”和“高供—低需”4种类型。共识别出387个“低供—高需”失衡关键区,占厦门岛国土面积的25.78%,主要分布于厦门岛北部、中部、及西南部的部分社区,这些区域面临城市绿地休闲服务供不应求的严峻挑战,是需要重点关注和优化的对象。

(4) 使用优先级指数(PRI)将城市绿地休闲服务供需失衡关键区划分为5个规划干预优先级,有44个单元处于Ⅳ~Ⅴ级优先区,主要分布在围里社区、殿前社区、鹭江道社区、思南社区等片区,这些区域是需要优先规划干预以缓解城市绿地休闲服务供需矛盾的重点区域。

4.2 讨论

人居福祉与城市绿地休闲服务之间的关系不仅取决于绿地生境的供给能力,而且取决于人们的需求水平。目前,专注于高密度城区范围内的城市绿地休闲服务研究尚不成熟,并且多聚焦于供给侧的量化评估;如何构建供需两侧的评价指标体系,并对供需关系进行空间耦合是当前研究的难点。本文从供需视角出发,通过梳理城市绿地休闲服务供给能力与需求水平的内在逻辑,耦合城市生态系统与社会人文系统,构建了城市绿地休闲服务供需评价指标体系与研究框架,是在已有研究基础上的进一步深化和完善。

研究发现,城市绿地休闲服务综合需求水平与单项需求指标因子的空间分布特征存在局部差异,表明综合考虑常住人口静态需求、人口聚集动态需求及特殊人群需求偏好所产生的城市绿地休闲服务综合需求,相较于传统研究中单纯以常住人口人均指标确定需求量的方式更具客观性和全面性。同时,研究发现,并非所有高需求区域都面临低供给挑战;也并非所有低需求区域都面临高供给盈余。因此,统筹供需关系,识别供需失衡关键区的进步意义在于,可以准确定位“低供—高需”街区地块,在供需矛盾最突出、问题最显著、干预最迫切的地块进行重点调控,以大幅度提升高密度城区的土地利用效率,并缓解城市绿地休闲服务供需矛盾。此外,同处于“低供—高需”状态的地块数量较多、分布较广,但其失衡状态的程度存在较大差异,规划干预优先级进一步明确了规划干预次序,从城乡规划的实施过程来讲,更具目标性、精准性和可操作性。同时,本文所构建的城市绿地休闲服务供需评价指标体系和测度方法,是对高密度城区普遍存在的生态资源分配不均问题的探索性应对,因此适用于探究其他地区的城市绿地休闲服务供需状态和优化路径。

生态系统服务的供给与需求关系,是对自然生态系统和社会人文系统间复杂联动状态的表征。受限于社会经济类数据的获取难度,本文对城市绿地休闲服务需求侧的指标选择仅考虑了常住人口密度产生的静态需求,人口集聚活动产生的动态需求,及特殊人群分布所产生的需求偏好,尚未考虑建筑功能(如医院、疗养院、学校、商业)所承载的不同人群类型对城市绿地休闲服务的多元化需求差异,势必会影响需求端评价结果的全面性。同时,本文探索性的构建了城市绿地休闲服务供需评价指标体系,尚未关注各指标因子对供需水平的驱动机制和内在机理,后续研究可在该方面一步拓展延伸,通过精准控制供需变量,有效优化供需失衡状态。此外,本文重点探究了城市绿地休闲服务的供需关系及其空间分布规律,拓展了生态系统服务研究的深度,未来研究还可进一步

探究其它典型城市生态系统服务类型的供需评价指标体系,以及各项服务类型间的权衡协同关系,并制定具有针对性的规划实施策略。从而为优化城市绿地空间布局、提升城市生态系统服务效率提供科学决策依据。

参考文献(References)

- [1] Voigt A, Kabisch N, Wurster D, et al. Structural diversity: A multi-dimensional approach to assess recreational services in urban parks. *AMBIO*, 2014, 43(4): 480-491.
- [2] Xiao Y, Wang Z, Li Z G, et al. An assessment of urban park access in Shanghai: Implications for the social equity in urban China. *Landscape and Urban Planning*, 2017, 157: 383-393.
- [3] Li Jingang. Study on spatial performance evaluation of urban green park space recreational service capability and layout optimization: A case study of the central district of Xi'an city [D]. Northwest University, 2019. [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[D]. 西北大学, 2019.]
- [4] Hermes J, Van Berkel D, Burkhard B, et al. Assessment and valuation of recreational ecosystem services of landscapes. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 289-295.
- [5] Bratman G N, Anderson C B, Berman M G, et al. Nature and mental health: An ecosystem service perspective. *Science Advances*, 2019, 5(7): eaax0903. DOI: 10.1126/sciadv.aax0903.
- [6] Zhang Haixia, Zhou Lingqiang. Factor components and differences of the park-based recreational happiness for urban residents: A case study of Hangzhou. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(9): 1074-1081. [张海霞, 周玲强. 城市居民公园游憩幸福感的因素构成与差异分析: 以杭州市为例. *地理科学*, 2013, 33(9): 1074-1081.]
- [7] Jacobs J. The death and life of great American cities. *New York Times Book Review*, 2021, 126: 25.
- [8] Gold S M. Urban recreation planning. *Journal of Health, Physical Education, Recreation*, 1973, 44(5): 79-79.
- [9] Wilkinson P F. The golden fleece: The search for standards. *Leisure Studies*, 1985, 4(2): 189-203.
- [10] Rigolon A. A complex landscape of inequity in access to urban parks: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 2016, 153: 160-169.
- [11] Giles-Corti B, Broomhall M H, Knuiman M, et al. Increasing walking: How important is distance to, attractiveness, and size of public open space? *American Journal of Preventive Medicine*, 2005, 28(2): 169-176.
- [12] Zhang W J, Yang J, Ma L Y, et al. Factors affecting the use of urban green spaces for physical activities: Views of young urban residents in Beijing. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2015, 14(4): 851-857.
- [13] Wende H E W, Zarger R K, Mihelcic J R. Accessibility and usability: Green space preferences, perceptions, and barriers in a rapidly urbanizing city in Latin America. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 107(3): 272-282.
- [14] Luo Tianqing, Fu Weiyun, Xia Liangju. How to provide recreational services in local parks: A case study in Shanghai, China. *Chinese Landscape Architecture*, 2017, 33(2): 113-117. [骆天庆, 傅玮芸, 夏良驹. 基于分层需求的社区公园游憩服务构建: 上海实例研究. *中国园林*, 2017, 33(2): 113-117.]
- [15] Liu Ruixue, Sun Yichong. Public satisfaction of urban parks and influencing factors based on online comments data. *Areal Research and Development*, 2021, 40(4): 63-68. [刘瑞雪, 孙毅翀. 基于网络点评数据的城市公园公众满意度及其影响因素研究. *地域研究与开发*, 2021, 40(4): 63-68.]
- [16] Zhu J Y, Lu H T, Zheng T C, et al. Vitality of urban parks and its influencing factors from the perspective of recreational service supply, demand, and spatial links. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(5): 1615. DOI: 10.3390/ijerph17051615.
- [17] Brown G, Fagerholm N. Empirical PPGIS/PGIS mapping of ecosystem services: A review and evaluation. *Ecosystem Services*, 2015, 13: 119-133.
- [18] Kulczyk S, Woźniak E, Derek M. Landscape, facilities and visitors: An integrated model of recreational ecosystem services. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 491-501.
- [19] Wei H J, Fan W G, Wang X C, et al. Integrating supply and social demand in ecosystem services assessment: A review. *Ecosystem Services*, 2017, 25: 15-27.
- [20] Scholte S S K, Daams M, Farjon H, et al. Mapping recreation as an ecosystem service: Considering scale, interregional differences and the influence of physical attributes. *Landscape and Urban Planning*, 2018, 175: 149-160.
- [21] Liu Shizhe, Xie Miaomiao, Wu Rongrong, et al. Influence of the choice of geographic unit on the response of urban thermal environment: Taking Beijing as an example. *Progress in Geography*, 2021, 40(6): 1037-1047. [刘诗喆, 谢苗苗, 武蓉蓉, 等. 地理单元划分对城市热环境响应规律的影响: 以北京为例. *地理科学进展*, 2021, 40(6): 1037-1047.]
- [22] Zhang Xueru, Zhou Jie, Li Mengmei. Analysis on spatial and temporal changes of regional habitat quality based on the

- spatial pattern reconstruction of land use. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(1): 160-178. [张学儒, 周杰, 李梦梅. 基于土地利用格局重建的区域生境质量时空变化分析. *地理学报*, 2020, 75(1): 160-178.]
- [23] Xie Yuchu, Gong Jie, Zhang Suxin, et al. Spatiotemporal change of landscape biodiversity based on InVEST model and remote sensing technology in the Bailong River watershed. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(6): 979-986. [谢余初, 巩杰, 张素欣, 等. 基于遥感和InVEST模型的白龙江流域景观生物多样性时空格局研究. *地理科学*, 2018, 38(6): 979-986.]
- [24] Grafius D R, Corstanje R, Warren P H, et al. Using GIS-linked Bayesian Belief Networks as a tool for modelling urban biodiversity. *Landscape and Urban Planning*, 2019, 189: 382-395.
- [25] Fu G, Sun W, Li S W, et al. Modeling aboveground biomass using MODIS images and climatic data in grasslands on the tibetan plateau. *Journal of Resources and Ecology*, 2017, 8(1): 42-49.
- [26] Hu Xiang, Bai Wenke, Dong Xin. Evaluation of regional eco-environmental quality before and after earthquake in Jiuzhaigou county, Sichuan province. *Chinese Journal of Ecology*, 2020, 39(3): 969-978. [胡翔, 白文科, 董鑫. 四川省九寨沟县地震前后区域生态环境质量评价. *生态学杂志*, 2020, 39(3): 969-978.]
- [27] Wang Bei, Wang Liang, Liu Yanhua, et al. Characteristics of jobs-housing spatial distribution in Beijing based on mobile phone signaling data. *Progress in Geography*, 2020, 39(12): 2028-2042. [王蓓, 王良, 刘艳华, 等. 基于手机信令数据的北京市职住空间分布格局及匹配特征. *地理科学进展*, 2020, 39(12): 2028-2042.]
- [28] Estoque R C, Ooba M, Seposo X T, et al. Heat health risk assessment in Philippine cities using remotely sensed data and social-ecological indicators. *Nature Communications*, 2020, 11(1): 1581. DOI: 10.1038/s41467-020-15218-8.
- [29] Huang Weili. An analysis of urban spatial structure based on POI: A case study of Beijing. *Modern Urban Research*, 2017(12): 87-95. [黄伟力. 基于POI的城市空间结构分析: 以北京市为例. *现代城市研究*, 2017(12): 87-95.]
- [30] Long Ying, Zhang Yu, Cui Chengyin. Identifying commuting pattern of Beijing using bus smart card data. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(10): 1339-1352. [龙瀛, 张宇, 崔承印. 利用公交刷卡数据分析北京职住关系和通勤出行. *地理学报*, 2012, 67(10): 1339-1352.]
- [31] Liu Yunshu, Zhao Pengjun, Liang Jinshe. Study on urban vitality based on LBS data: A case of Beijing within 6th ring road. *Areal Research and Development*, 2018, 37(6): 64-69, 87. [刘云舒, 赵鹏军, 梁进社. 基于位置服务数据的城市活力研究: 以北京市六环内区域为例. *地域研究与开发*, 2018, 37(6): 64-69, 87.]
- [32] Lu Min, Yang Liu, Wang Jinyin, et al. Applications of pointgroup density cartography based on kernel density estimation. *Engineering of Surveying and Mapping*, 2017, 26(4): 70-74, 80. [卢敏, 杨柳, 王金茵, 等. 基于核密度估计的点群密度制图应用研究. *测绘工程*, 2017, 26(4): 70-74, 80.]
- [33] Wang Min, Zhu Anna, Wang Jieqiong, et al. Supply and demand analysis of urban park distribution based on social equity and justice: A case study of Xuhui District, Shanghai. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(19): 7035-7046. [王敏, 朱安娜, 汪洁琼, 等. 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.]
- [34] Xie Yuchu, Gong Jie, Qi Shanshan, et al. Assessment and spatial variation of biodiversity in the Bailong River Watershed of the Gansu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(19): 6448-6456. [谢余初, 巩杰, 齐姗姗, 等. 基于综合指数法的白龙江流域生物多样性空间分异特征研究. *生态学报*, 2017, 37(19): 6448-6456.]
- [35] Tong Yun, Ma Yong, Liu Haimeng. The short-term impact of COVID-19 epidemic on the migration of Chinese urban population and the evaluation of Chinese urban resilience. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(11): 2505-2520. [童昀, 马勇, 刘海猛. COVID-19疫情对中国城市人口迁徙的短期影响及城市恢复力评价. *地理学报*, 2020, 75(11): 2505-2520.]
- [36] Huang Zhixun, Wang Feifei, Cao Wenzhi. Dynamic analysis of an ecological security pattern relying on the relationship between ecosystem service supply and demand: A case study on the Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou city cluster. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(12): 4327 - 4340. [黄智洵, 王飞飞, 曹文志. 耦合生态系统服务供求关系的生态安全格局动态分析: 以闽三角城市群为例. *生态学报*, 2018, 38(12): 4327-4340.]
- [37] Xin Ruhong, Zeng Jian, Li Kai, et al. Identify key areas and priority levels of urban waterlogging regulation service supply and demand. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(2): 500-512. [辛儒鸿, 曾坚, 李凯, 等. 城市内涝调节服务供需关键区识别与优先级划分. *生态学报*, 2022, 42(2): 500-512.]
- [38] Maragno D, Gaglio M, Robbi M, et al. Fine-scale analysis of urban flooding reduction from green infrastructure: An ecosystem services approach for the management of water flows. *Ecological Modelling*, 2018, 386(24): 1-10.

Identification of key areas of supply-demand imbalance of urban green space recreational service and prioritization of planning interventions

XIN Ruhong¹, ZENG Jian², LIANG Chen³

(1. School of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400700, China;

2. School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300100, China;

3. School of Architecture and Art Design, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: Urban green space recreational service is one of the types of urban ecosystem services that are closely related to urban residents. Identifying the key areas of imbalance between supply and demand of urban green space recreational service and prioritizing the planning intervention will play an important role in accurately improving the supply efficiency of urban green space recreational service and meeting the needs of urban residents for high-quality recreational functions. This paper takes Xiamen Island as the research object, and conducts quantitative analysis using 2019 remote sensing data, point of interest data, statistical data and other multi-source data. And, the spatial analysis tools such as InVEST model, ArcGIS platform and GeoDA are used to build the evaluation index system and research framework of urban green space recreation service supply and demand. On this basis, the supply and demand level and spatial clustering characteristics are evaluated, and the key areas of supply and demand imbalance and the priority of planning intervention are identified. The main results are as follows: (1) The habitat quality and vegetation growth status of Xiamen Island showed the spatial distribution characteristics of "superior in the south and inferior in the north"; there are significant spatial agglomeration characteristics in the supply capacity of urban green space recreational service, and high-high hotspots are concentrated in the southern and western parts of the study area. (2) Both the density of permanent population and the density of POI cores showed the characteristics of spatial agglomeration of "overall homogeneity and concentration of areas"; the per capita enjoyment rate of green space resources among special groups varies greatly; the demand level of urban green space recreational service is opposite to the spatial agglomeration characteristics of supply capacity, and high-high hotspots are scattered in the southwest and central parts. (3) A total of 387 key units of the "low supply-high demand" imbalance were identified, mainly distributed in residential areas in the central and northern parts of Xiamen Island, which faced the severe challenge of insufficient supply of urban green space recreational service and needed to be repaired and optimized. (4) Five planning intervention priorities are divided, and 44 units are in the IV-V priority area, which requires priority intervention to accurately alleviate the contradiction between supply and demand of urban green space recreational service.

Keywords: urban green space; recreational service; supply and demand; priority; Xiamen Island