

澳门城市绿色基础设施生态系统服务供需匹配*

许超^{1,2} 孟楠² 王文静³ 逯非² 石炆¹

- 1 北京建筑大学 北京未来城市设计高精尖创新中心 城市大数据应用研究中心
建筑与城市规划学院 北京 100044
- 2 中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室 北京 100085
- 3 中国城市建设研究院有限公司 北京 100120

摘要:厘清城市绿色基础设施生态系统服务供需匹配情况,对建立高质量的城市生态系统、满足人们对美好人居环境的需求具有重要意义。本研究针对水源涵养、雨洪调节、热岛调节、固碳、休闲游憩5项生态系统服务,选取和构建等量纲的供需评估指标及方法,基于多源数据评估澳门城市绿色基础设施生态系统服务的供给量和需求量,以分区为单元分析明确各服务的供需关系、供需类型及多指标的内在关联,最后通过聚类分析总结不同类别分区的供需匹配特征。结果表明:5项服务多处于供需赤字状态,半岛较离岛显著;供需类型以低供给-高需求、高供给-低需求、低供给-低需求3种为主;供给、需求和供需比3个指标在空间上均存在不同程度的协同效应;分析得到的4类分区具有不同的供需匹配和相关特征。

关键词:生态系统服务,城市绿色基础设施,供需关系,供需类型,供需优化

DOI: 10.12169/zgcsly.2021.11.25.0001

Supply-Demand Matching of Ecosystem Services from Urban Green Infrastructure in Macao

Xu Chao^{1,2} Meng Nan² Wang Wenjing³ Lu Fei² Shi Yang¹

- (1. Beijing Advanced Innovation Center for Future Urban Design, Research Center for Urban Big Data Application, School of Architecture and Urban Planning, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China;
2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Central for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;
3. China Urban Construction Design & Research Institute Co. Ltd., Beijing 100120, China)

Abstract: Clarifying the supply-demand matching of ecosystem services provided by urban green infrastructure (UGI) is of great significance for creating a high-quality urban ecosystem and meeting urban residents' needs for a better living environment. Taking the five ecosystem services of water conservation, rain-flood regulation, carbon sequestration, heat island regulation, leisure and recreation as the study objects, this study selects and constructs equidimensional indicators and methods to evaluate the supply and demand of these ecosystem services by the UGI in Macao based on multi-source data. Then the supply-

收稿日期: 2021-11-25

* 基金项目: 澳门特别行政区政府环境保护局项目“澳门生态调查及管理规范研究”(2066/090/DPA/DPAA/2017); 北京建筑大学青年教师科研能力提升计划资助(X21088); 住建部科技项目“多源数据下的特大城市中心城区更新评估技术研究: 北京为例”(2021-K-014)

第一作者: 许超(1988-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为城市绿色基础设施、生态系统服务、城市更新。E-mail: xuchao@bucea.edu.cn

通信作者: 石炆(1985-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为城市更新与城市历史保护。E-mail: shiyang@bucea.edu.cn

demand relationship, the types of supply and demand, and the internal correlations of multiple indicators are analyzed and identified with partition as a unit. Finally, cluster analysis is used to summarize the supply-demand matching characteristics of different types of partitions. The results show that the five ecosystem services are generally in the state of supply-demand deficit, and this state in the peninsula is more significantly evident than that in the outlying island. The main supply-demand types include low supply and high demand, high supply and low demand, and low supply and low demand. The indicators of supply, demand and supply-demand ratio (ESDR) present varying degrees of spatial synergistic effect. The four types of partitions obtained from the analysis have different supply-demand matching and related characteristics.

Keywords: ecosystem service, urban green infrastructure, supply-demand relationship, type of supply and demand, supply-demand optimization

城市绿色基础设施 (urban green infrastructure, UGI) 是可以提供多种生态系统服务的“基础设施”^[1], 包含城市内部及周边的自然、人工或半人工的植被、水域等区域^[2]。人类对生态系统服务的依赖既源于生态系统的供给能力, 也源于社会对这些服务的需求^[3], UGI 构成了生态系统服务的供给端, 生态系统服务的需求即为社会要求或期望得到的生态系统服务量^[4], 供需两端是互相影响且存在关联的体系。随着城市化对生态系统过程和社会需求的影响^[5], 生态系统服务供需体系出现不平衡, 主要包括供需总量和空间配置两个方面的失衡^[6], 这将导致生态系统服务可持续供给能力下降^[7]、绿色资源的浪费和不公平分配^[8]、影响人类福祉^[9]等诸多问题。通过生态系统服务供给和需求评估量化, 分析二者的关联性和耦合机制, 明确供需匹配的平衡关系及空间特征, 有助于调节供需失衡现状、合理分配 UGI 资源, 促进生态系统服务的可持续管理^[10]。

目前, 关于生态系统服务供需匹配的研究多聚焦于区域或市域尺度, 主要涉及绿地生态网络建设分区^[11]、揭示城市化对城市群生态系统服务供需的影响^[5]、土地利用管理^[3, 12]、优化区域生态系统服务供需格局^[13]等方面。但在供需矛盾特别突出的高密度城区, 由于数据类型和精度不足, 需求端难以量化评估和空间制图, 供需单位不易匹配, 供需耦合机制复杂等局限因素, 相关研究相对较少。近年来, 等量纲供需服务量化评估方法构建^[8]、基于需求阈值的额外需求评估^[4]、供需匹配指标构建^[14]等方面研究的开展, 为解决这

些问题提供了思路。

随着澳门城市和经济快速发展, 出现了诸如淡水资源匮乏、台风和暴雨引起的内涝频发、城市热岛效应加剧、二氧化碳排放逐年增加^[15]、休闲游憩空间压力增大等一系列问题。在建设美丽大湾区, 实现绿色低碳循环发展的背景下^[16], 日趋严重的生态环境问题亟待解决, 人居环境亟需改善, 城市生态系统质量有待提高, 人们对多种生态系统服务的需求更需要满足^[17], 因此明确澳门 UGI 生态系统服务供需两端的匹配情况尤为重要。

本研究针对 5 项生态系统服务, 选取和构建供需评估指标及方法, 评估各服务的供给量和需求量, 明确供需关系和供需类型, 总结不同分区的供需匹配特征, 提出针对性的优化建议, 为 UGI 的保护、更新和建设提供科学依据和参考。

1 研究区概况

澳门特别行政区位于我国南部沿海地区, 属于亚热带海洋性季风气候, 全年雨水较多, 年温差较小, 土地资源稀缺, 是世界上人口密度最高的地区之一。本研究在 24 个分区^[18]的基础上, 将研究区分为半岛和离岛 2 个组成部分 (图 1), 总面积为 30.87 km²。

2 研究方法

2.1 研究数据

本研究主要使用的数据有: 土地利用数据 (1 m 分辨率)^[19], 包括 UGI (林地、灌丛、草地、湿地、人工水面、湖/塘/库)、不透水地表 C (建筑、道路、广场) 和未利用地; 土地属性矢

量数据 (澳门土地工务运输局), 包括住宅用地、公共设施用地、商业金融业用地、工业用地等; 数字高程模型 (DEM) 数据^[20]; 根据 landsat 影像处理得到的归一化植被指数数据 (NDVI) 和地表温度反演数据 (LST); 气象数据 (澳门地球物理暨气象局); 统计数据^[21] (澳门统计暨普查

局); 由高德地图爬取的建筑 (含楼层数) 矢量数据; 人口密度空间化数据^[22] 等。

2.2 生态系统服务供需评估

研究选取 5 项关键生态系统服务进行供需评估, 并针对每项服务构建相同量纲的供给量和需求量评估指标 (表 1)。

表 1 研究区生态系统服务评估类型及供需指标

生态系统服务类型		供给指标	需求指标	单位
供给服务	水源涵养 (WC)	水源涵养量	用水量	$m^3 \cdot m^{-2}$
调节服务	雨洪调节 (FR)	雨洪调节量	目标径流控制量	$m^3 \cdot m^{-2}$
调节服务	固碳 (CS)	固碳量	碳排放量	$kg \cdot m^{-2}$
调节服务	热岛调节 (HIR)	降温量	达到舒适温度所需降温量	$^{\circ}C \cdot m^{-2}$
文化服务	休闲游憩 (LR)	绿地面积	规划目标的绿地面积	$m^2 \cdot m^{-2}$

2.2.1 水源涵养

使用水量平衡方程^[23] 评估水源涵养服务的供给量 (式 1)。需求量由 2017 年澳门水务局和环境统计的住宅用水、商业用水、工业用水和公共机构用水量^[24] 构成 (式 2), 结合各类用地地块上的建筑面积 (占地面积乘以楼层数) 进行水量需求空间分配。

$$S_{WP} = \sum_{i=1}^n A_i \times (P - R_i - ET) \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$D_{WP} = D_{domestic} + D_{commercial} + D_{industrial} + D_{public} \quad (2)$$

式(1)中: S_{WP} 为水源涵养供给量 (m^3); P 为年均降雨量 (mm); R_i 为地表径流量 (mm); ET 为蒸散发量 (mm); A_i 为 i 类土地利用类型 (林地、灌丛、草地和湿地) 的面积 (m^2); i 为研究区第 i 类土地利用类型; n 为研究区土地利用类型总数。

式 (2) 中: D_{WP} 为水源涵养需求量 (m^3); $D_{domestic}$ 、 $D_{commercial}$ 、 $D_{industrial}$ 、 D_{public} 分别是住宅用地、商业用地、工业用地和公共机构用地的耗水量 (m^3)。

2.2.2 雨洪调节

使用暴雨径流方程^[25] 评估雨洪调节服务的供给量 (式 3)。结合澳门土地资源稀缺的实际情况, 雨洪调节的需求程度以能够改善区域的可行性优先级来反映。因此, 本研究依据《海绵城市建设技术指南》^[26] 内的年径流总量控制率要求来量化雨洪调节的服务需求。澳门属于《指南》内划分的 V 区, 其年径流量控制率目标 α 为 $60\% \leq \alpha \leq 85\%$ 。结合澳门城市建设实际情况, 取 60% 作为需求目标和总控制率进行指标分解, 通过控制指标分解^[27] 可以将总控制目标落实分解到各类用

地, 这既体现了不同地块控制目标的合理性和差异性, 也实现了需求量的空间化 (式 4)。

$$S_{FR} = \sum_{i=1}^n A_i \times (P_{ri} - R_{ri}) \times 10^{-3} \quad (3)$$

$$D_{FR} = \sum_{j=1}^n A_j \times P \times \rho_j \times PCR_j \times 10^{-3} \quad (4)$$

式 (3) 中: S_{FR} 为雨洪调节供给量 (m^3); P_{ri} 为暴雨降雨量 (mm); R_{ri} 为暴雨径流量 (mm); A_i 为 i 类土地利用类型 (林地、灌丛、草地和湿地) 的面积 (m^2); i 为研究区第 i 类土地利用类型; n 为研究区土地利用类型总数。

式 (4) 中: D_{FR} 为雨洪调节需求量 (m^3); P 为年均降雨量 (mm); ρ_j 为 j 类土地利用类型的径流系数; PCR_j 为 j 类土地属性类型的年径流总量控制率 (%); A_j 为 j 类土地属性类型面积 (m^2); j 为研究区第 j 类土地属性类型; n 为研究区土地属性类型总数。

2.2.3 固碳

在 InVEST 模型的固碳模块^[28] 中输入澳门的土地利用分类数据和不同类型的碳密度数据^[29-31], 评估固碳服务供给量 (式 5)。碳排放的评估参考了 IPCC 的方法^[32] 和类似研究^[12], 由 2017 年居民日常生活、交通运输和工业生产 3 个主要的碳排放来源^[24] 作为总需求量 (式 6)。将居民日常生活排放量按照人口数量分配到各住宅和商住地块, 将交通运输产生的碳排放量按照地块面积分配给除居住和工业地块之外的其他地块, 将工业、发电、废物焚化、燃料供应、污水处理的碳排放量按照建筑面积分配到各工业用地地块。

$$S_{CS} = \sum_{i=1}^n C_{above_i} + C_{below_i} + C_{soil_i} + C_{dead_i} \quad (5)$$

$$D_{CS} = D_{domestic} + D_{traffic} + D_{industrial} \quad (6)$$

式(5)中: S_{CS} 为固碳供给量 (kg); C_{above_i} 为第 i 个栅格的地上部分的碳储量 (kg); C_{below_i} 为第 i 个栅格地下部分的碳储量 (kg); C_{soil_i} 为第 i 个栅格土壤碳储量 (kg); C_{dead_i} 为第 i 个栅格死亡有机质碳储量 (kg)。

式(6)中: D_{CS} 为固碳需求量 (kg), $D_{domestic}$, $D_{traffic}$, $D_{industrial}$ 分别是居民生活碳排放 (kg)、交通运输碳排放 (kg) 和工业生产碳排放 (kg)。

2.2.4 热岛调节

UGI 的降温能力与内部及周边的自然环境类型、土地利用方式及规模等因素密切相关。本研究使用综合土地利用数据、NDVI 和 DEM 构建地表温度评估模型^[33]的方法对研究区 UGI 的降温能力进行评估量化。通过对比有无 UGI 时地表温度的变化情况评估热岛调节服务供给量 (式 7)。根据马盼等^[34]的研究方法计算得出澳门的舒适体感温度范围为 17.85~22.85℃, 并以此作为热岛调节需求的目标取值范围。由于影响体感温度的气温与地表反演温度不同, 进一步采用公式换算^[33]得出热岛调节服务需求的地表温度目标区间为 22.59~28.90℃, 并将 28.90℃ 作为判断降温需求与否的阈值 (式 8)。

$$S_{HR} = \sum_{i=1}^n (Ha_i - Hb_i) \quad (7)$$

$$D_{HR} = \sum_{i=1}^n (T_i - T') \quad (8)$$

式(7)中: S_{HR} 为热岛调节供给量 (℃); Ha_i 为第 i 个栅格模拟无 UGI 时的地表温度 (℃); Hb_i 为第 i 个栅格模拟真实地表温度 (℃)。

式(8)中: D_{HR} 为热岛调节需求量 (℃); T_i 为第 i 个栅格真实地表温度 (℃); T' 为热岛调节需求量阈值 28.90℃, 当差值为负数时取 0。

2.2.5 休闲游憩

将基于澳门自然网^[35]、《澳门特别行政区绿化区》地图和澳门地图绘制暨地图局公开的绿地矢量数据^[36]整合为休闲游憩服务评估的绿地数据, 以各分区的绿地面积代表休闲游憩服务的供给量 (式 9)。基于各分区人口总数和人均绿地面积计算休闲游憩服务需求量, 人均绿地面积参考澳门特别行政区城市总体规划 (2020—2040)^[37]

的规划目标取 3.6 m² (式 10)。

$$S_{RR} = A_{partitioned\ green\ space} \quad (9)$$

$$D_{RR} = \sum_{i=1}^n POP_i \times 3.6 \quad (10)$$

式(9)中: S_{RR} 为休闲游憩供给量 (m²); $A_{partitioned\ green\ space}$ 为各分区的绿地面积 (m²)。

式(10)中: D_{RR} 为休闲游憩需求量 (m²); POP_i 为第 i 个栅格的人口密度 (人·m⁻²); 3.6 为规划目标人均绿地面积 (m²/人)。

2.3 生态系统服务供需匹配评价

使用供需比 (ESDR) 指标^[14]反映生态系统服务供给与需求的匹配关系, 包括供不应求 (赤字)、供过于求 (盈余) 和供需相等 (平衡) 3 种关系 (式 11):

$$ESDR = \frac{S - D}{(S_{max} + D_{max})/2} \quad (11)$$

式(11)中: $ESDR$ 为每项生态系统服务供需比; S 为生态系统服务供给量; D 为生态系统服务需求量; S_{max} 为供给最大值; D_{max} 为需求最大值。当 $ESDR$ 值小于 0 时表示供需处于供不应求的赤字状态, 大于 0 时表示供需处于供过于求的盈余状态, 等于 0 时表示供需处于相等的平衡状态。

将供给量与需求量评估值进行 z-score 标准化^[11], 基于标准化结果划分象限反映供给与需求的匹配类型。以供给为 x 轴, 需求为 y 轴划分 4 个象限, I 象限代表高供给-高需求, II 象限代表低供给-高需求, III 象限代表低供给-低需求, IV 象限代表高供给-低需求。

在 R 语言统计分析软件中, 分析各分区的 5 项生态系统服务供给值、需求值、ESDR 值及分区 UGI 占比、C 占比之间的相关性, 明确各项指标之间的关联; 基于各分区的 5 项服务 ESDR 值进行 K-means 聚类分析, 总结不同类别分区的供需匹配特征。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务供需关系和类型

由图 1 可知, 整体上各项服务在多数分区处于供不应求的赤字状态, 半岛比离岛更显著, 每项服务赤字最显著的分区都在半岛。水源涵养服务的所有分区供不应求, 高士德及雅廉访区 (a) 最显著; 热岛调节服务只有圣方济各堂区 (b)、固碳服务

只有东望洋区 (c) 和海洋及小潭山区 (d) 处于供过于求的盈余状态, 部分分区赤字严重; 雨洪调

节和休闲游憩服务供需状况稍好, 有近一半分区供过于求, 盈余最显著的分区是圣方济各堂区。

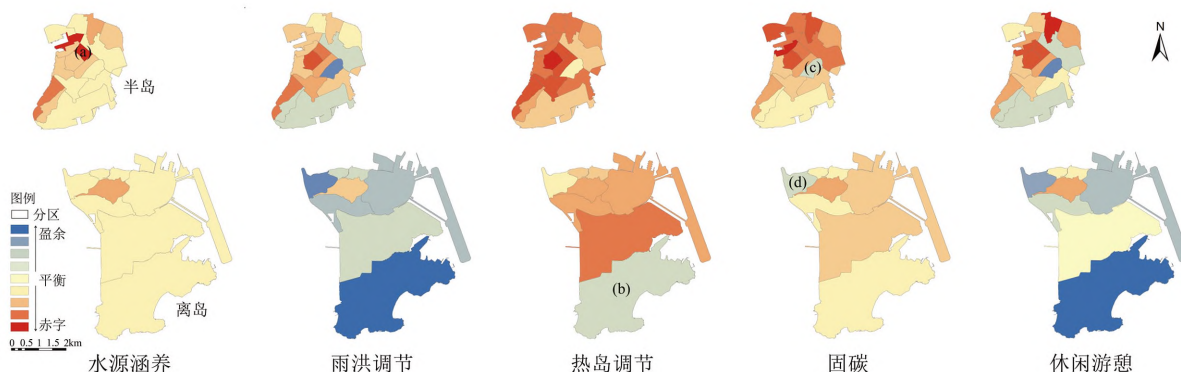


图 1 分区尺度的各项生态系统服务供需关系

由图 2 可知, 研究区的供需类型以低供给-高需求、高供给-低需求、低供给-低需求 3 种为主。水源涵养服务方面, 没有分区为高供给-高需求类型, 各分区较平均的分布于其他 3 个类型; 雨洪调节服务方面, 只有台山区为高供给-高需求类型, 外港及南湾湖新填海区及望厦及水塘区为低供给-低需求类型, 其他分区都为低供给-高

需求和高供给-低需求类型; 热岛调节服务方面, 只有氹仔旧城及马场区为高供给-高需求类型, 大部分分区为低供给-高需求和高供给-低需求类型; 固碳服务方面, 只有台山区为高供给-高需求类型, 剩余分区为其他 3 个类型; 休闲游憩服务方面, 只有台山区和沙梨头及大三巴区为高供给-高需求类型, 剩余分区为其他 3 个类型。

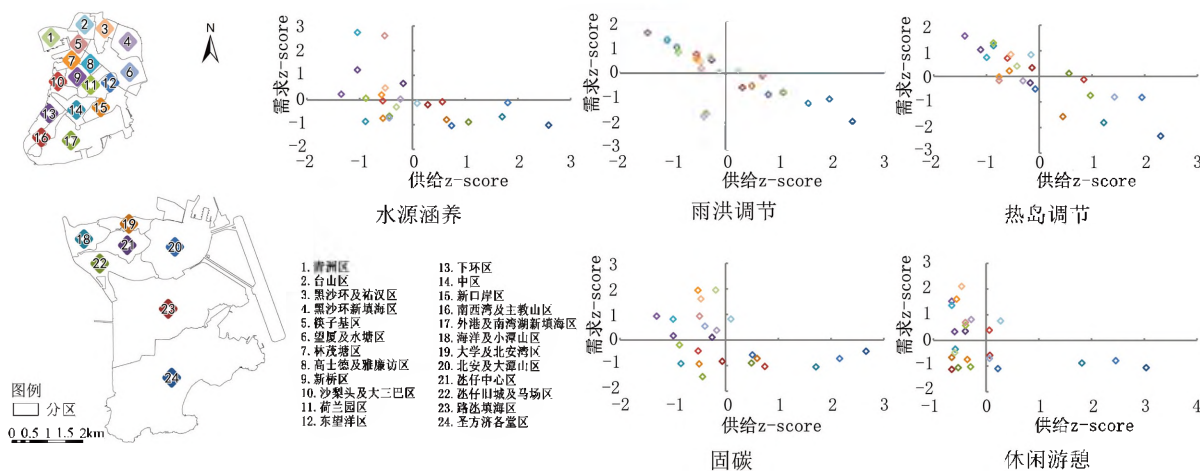


图 2 分区尺度的各项生态系统服务供需象限分布

3.2 相关性分析

由图 3 可知, 在供给方面 5 项服务的协同性最强, 尤其是水源涵养、雨洪调节和固碳之间; 5 项服务与 UGI 占比都有较显著正相关关系, 与 C 占比有较显著负相关关系。需求方面只有部分服务的协同性较强, 如热岛调节与雨洪调节之间, 雨洪调节与水源涵养之间, 休闲游憩与其他 4 项服务之间; 5 项服务与 UGI 占比、C 占比之间的关系则与供给方面相反。ESDR 方面的总体情况

与供给相似, 即各服务之间是协同关系, 与 UGI 占比正相关, 与 C 占比负相关。

3.3 生态系统服务供需匹配特征

通过 K-means 聚类分析后将 24 个分区分为 4 类 (表 2), 随着 4 类分区 UGI 占比的降低和 C 占比的增加, 供需赤字的服务类型有所增加, 供需类型由高供给-低需求向低供给-低需求、低供给-高需求转变。

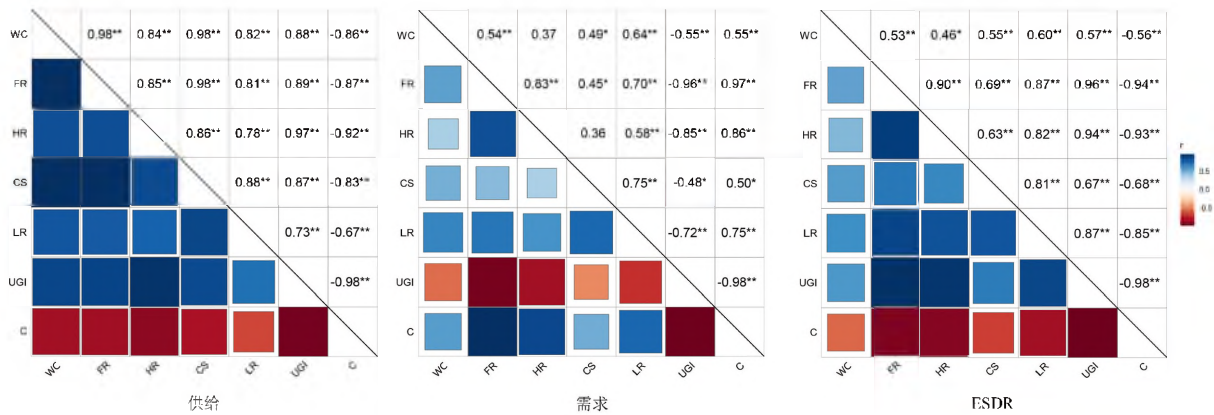


图3 分区尺度的供给、需求、ESDR等各项指标的相关性矩阵 (**代表 $P < 0.01$; *代表 $P < 0.05$)

表2 4类分区的供需匹配及相关特征

分类	所含分区	主要供需关系	主要供需类型	UGI平均占比(%)	C平均占比(%)
第1类	圣方济各堂区	WC,CS 赤字	高供给-低需求	75	21
第2类	东望洋区、海洋及小潭山区	WC,HR 赤字	高供给-低需求	61	38
第3类	青洲区等10个分区(1,6,14,15,16,17,19,20,22,23)	WC,CS,HR 赤字	高供给-低需求,低供给-低需求	40	56
第4类	台山区等11个分区(2,3,4,5,7,8,9,10,11,13,21)	WC,FR,CS,HR,LR 赤字	低供给-高需求,低供给-低需求	20	78

根据表2,从供给端看,第1类和第2类分区的UGI占比虽处于较高水平,供给能力较强,但各项服务的高供给并没有匹配到高需求区域上,且存在2项服务供需赤字,需要在关注赤字服务的供需关系优化的同时,做好现有UGI保护,增加向周边分区服务流动的可能性^[38]。第3类分区的UGI占比处于一般水平,各项服务整体处于低需求状态,存在一定的高供给-低需求错配,需要针对处于赤字状态的服务类型,探讨相应的UGI更新策略。第4类分区的UGI占比处于较低水平,集中在研究区主要的高需求区域,所有服务都处于供需赤字状态,并存在低供给-高需求的空间错配。基于相关性分析(图3)可知,所有服务供给均是协同关系,因此,通过UGI建设提升其占比来协同优化多项服务的供需匹配是最直接高效的策略。从需求端看,一方面可以通过调整优化各分区不同土地属性类型如住宅、商业金融业、工业等用地的布局 and 规模,以减少分区内在服务需求量或引导供需空间匹配。另一方面,在土地调整受限或收效甚微的情况下,通过制定宏观策略以减少整体服务需求量会是更有效的优化途径。如通过节约用水,提高水资源利用率,建设节水型社会以减少水源涵养服务的需求量;通过节能减排,提高能源利用率,打造绿色低碳

城市以减少固碳服务的需求量等。

4 结语

研究区各服务的供需关系存在空间异质性且需要进一步优化,特别是半岛的供需赤字关系亟待改善;各服务的供需空间错配较为明显,应同步考虑协调空间匹配;在供给、需求和ESDR3个方面,各服务总体上都是协同关系,存在同时促进多项服务供需匹配的可能性;建议根据4类分区的供需匹配特征从供需两端进行针对性优化。

研究聚焦的是生态系统服务供需矛盾最为突出的高密度城区,在关键服务类型选择上侧重考虑研究区的突出问题和主要诉求。为了更真实地反映供需匹配的数量和空间差异,通过整合建筑楼层数据、人口空间化数据和土地属性等方面重点探索了与供给等量纲的需求量化评估和空间制图方法。基于供需关系及类型的异质性、关联性等内容,尽可能充分揭示研究区供需匹配的内在特征,提出的优化建议可以服务于澳门UGI的保护、更新和建设。目前研究仍存在一定的局限,未来需从供给端深入探讨UGI规模、类型以及位置等因素对服务供给的影响机制,从需求端关联行为偏好、满意程度、支付意愿等更多社会经济因素,寻求更加精细和准确的量化评估和制图方

法, 同时还应考虑不同服务之间的重要性权衡, 加强多尺度、多维度的综合研究。

参考文献

- [1] 张炜, 杰克·艾亨, 刘晓明. 生态系统服务评估在美国城市绿色基础设施建设中的应用进展评述[J]. 风景园林, 2017, 24(2): 101-108.
- [2] 戴菲, 毕世波, 孙培源. PM_{2.5} 消减效应导向下的城市绿色基础设施网络优化: 以湖北省武汉市江汉区为例[J]. 风景园林, 2020, 27(10): 51-56.
- [3] CHEN J, JIANG B, BAI Y, et al. Quantifying ecosystem services supply and demand shortfalls and mismatches for management optimisation[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 650(Pt 1): 1426-1439.
- [4] 吴雪飞, 谭传东. 武汉中心城区生态系统服务额外需求量化评估: 缘起绿色基础设施供需错配[J]. 中国园林, 2020, 36(5): 127-132.
- [5] ZHANG Z, PENG J, XU Z, et al. Ecosystem services supply and demand response to urbanization: A case study of the Pearl River Delta, China[J]. *Ecosystem Services*, 2021, 49(1): 101274.
- [6] 王云才, 申佳可, 彭震伟, 等. 适应城市增长的绿色基础设施生态系统服务优化[J]. 中国园林, 2018, 34(10): 45-49.
- [7] 严岩, 朱捷缘, 吴钢, 等. 生态系统服务需求、供给和消费研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2489-2496.
- [8] LARONDELLE N, LAUF S. Balancing demand and supply of multiple urban ecosystem services on different spatial scales[J]. *Ecosystem Services*, 2016, 22(Pt A): 18-31.
- [9] 肖华斌, 何心雨, 王玥, 等. 城市绿地与居民健康福祉相关性研究进展: 基于生态系统服务供需匹配视角[J]. 生态学报, 2021, 41(12): 5045-5053.
- [10] WEI H, FAN W, WANG X, et al. Integrating supply and social demand in ecosystem services assessment: A review [J]. *Ecosystem Services*, 2017, 25: 15-27.
- [11] 彭建, 杨旸, 谢盼, 等. 基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区[J]. 生态学报, 2017, 37(13): 4562-4572.
- [12] CUI F, TANG H, ZHANG Q, et al. Integrating ecosystem services supply and demand into optimized management at different scales: A case study in Hulunbuir, China [J]. *Ecosystem Services*, 2019, 39(10): 100984.
- [13] 刘立程, 刘春芳, 王川, 等. 黄土丘陵区生态系统服务供需匹配研究: 以兰州市为例[J]. 地理学报, 2019, 74(9): 1921-1937.
- [14] LI J, JIANG H, BAI Y, et al. Indicators for spatial-temporal comparisons of ecosystem service status between regions: A case study of the Taihu River Basin, China[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 60: 1008-1016.
- [15] 澳门环境保护局. 澳门环境状况报告 2017[R/OL]. (2018-10-23) [2021-07-20]. http://www.dsqa.gov.mo/richtext_report2017.aspx.
- [16] 中共中央国务院. 中共中央国务院印发《粤港澳大湾区发展规划纲要》[EB/OL]. (2019-02-18) [2021-10-20]. http://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5370836.htm.
- [17] 许超, 孟楠, 逯非, 等. 生态系统服务需求视角下的澳门城市绿色基础设施管理研究[J]. 中国园林, 2020, 36(9): 104-109.
- [18] 许超, 孟楠, 阳焯, 等. 澳门土地利用变化对陆地生态系统服务价值的影响[J]. 中国城市林业, 2020, 18(3): 24-29.
- [19] 孟楠, 韩宝龙, 王海洋, 等. 澳门城市生态系统格局变化研究[J]. 生态学报, 2018, 38(18): 6442-6451.
- [20] 中国科学院计算机网络信息中心. 地理空间数据云[DB/OL]. [2021-07-20]. <http://www.gscloud.cn/>.
- [21] 澳门统计暨普查局. 2017 年统计年鉴[R/OL]. [2021-07-20]. https://www.dsec.gov.mo/getAttachment/851d9df1-0668-4409-8058-8c16dde6631e/C_AE_PUB_2017_Y.aspx.
- [22] 许超, 孟楠, 张岩, 等. 城市生态保护红线划定与管理: 以澳门特别行政区为例[J]. 生态学报, 2021, 41(22): 9103-9117.
- [23] 环境保护部, 国家发展和改革委员会. 生态保护红线划定指南[S/OL]. (2017-05-27) [2021-07-20]. <http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgt/201707/W020170728397753220005.pdf>.
- [24] 澳门统计暨普查局. 2017 年环境统计[R/OL]. (2018-04-18) [2021-07-20]. https://www.dsec.gov.mo/getAttachment/982f10a0-7ead-454d-a04d-ce3019a62267/C_AMB_PUB_2017_Y.aspx.
- [25] 孔令桥, 王雅晴, 郑华, 等. 流域生态空间与生态保护红线规划方法: 以长江流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(3): 835-843.
- [26] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海绵城市建设技术指南: 低影响开发雨水系统构建(试行)[S/OL]. (2014-11-03) [2021-07-20]. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/fdzdgknr/tzgg/201411/20141103_219465.html.
- [27] 康丹, 叶青. 海绵城市年径流总量控制目标取值和分解研究[J]. 中国给水排水, 2015, 31(19): 126-129.
- [28] 丛文翠, 孙小银. 基于 GIS 和 InVEST 模型的日照市固碳能力研究[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 200-205.
- [29] 罗薇, 张会化, 陈俊坚, 等. 广东省土壤有机碳储量及分布特征[J]. 生态环境学报, 2018, 7(9): 1593-1601.
- [30] 张修玉, 许振成, 曾凡棠, 等. 珠江三角洲森林生态系统碳密度分配及其储量动态特征[J]. 中国环境科学, 2011, 31(增刊 1): 69-77.
- [31] 吴佩君, 刘小平, 黎夏, 等. 基于 InVEST 模型和元胞自动机的城市扩张对陆地生态系统碳储量影响评估: 以广东省为例[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(5): 22-28, 36.
- [32] IPCC. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: volume [R]. Japan: The Institute for Global Environmental Strategies, 2006.

4) 游憩成本。游憩成本类要素总体关注度和满意度均较高, 其中社交文本中游憩成本类要素满意度显著高于政府文本。外部交通和餐饮消费的满意度尚可, 且不易引发诉求, 但游客关注度不高, 因此, 需提高公园可达性、在公园增设特色餐饮点, 提高游客关注度。内部交通问题突出, 表现为关注度、满意度均较低, 且易引发游客诉求, 因此, 需要在公园设计时通过丰富游线设计、增设绿道等方式缓解内部交通问题。

参考文献

- [1] 叶阳, 裘鸿菲. 汇水系统绿地雨洪调蓄研究: 以武汉港西汇水系统为例[J]. 中国园林, 2020, 36(4): 55-60.
- [2] 李玺, 叶升, 王东. 旅游目的地感知形象非结构化测量应用研究: 以访澳商务游客形象感知特征为例[J]. 旅游学刊, 2011, 26(12): 57-63.
- [3] 李蕾蕾. 旅游点形象设计初探: 兼析深圳景点旅游形象[J]. 旅游学刊, 1995, (3): 29-31, 61.
- [4] 保继刚. 旅游开发研究: 原理·方法·实践[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [5] 宋章海. 从旅游者角度对旅游目的地形象的探讨[J]. 旅游学刊, 2000(1): 63-67.
- [6] 赵振斌, 党娇. 基于网络文本内容分析的太白山背包旅游行为研究[J]. 人文地理, 2011, 26(1): 134-139.
- [7] 李萍, 陈田, 王甫园, 等. 基于文本挖掘的城市旅游社区形象感知研究: 以北京市为例[J]. 地理研究, 2017, 36(6): 1106-1122.
- [8] 张瑞, 张建国. 基于网络文本与 IPA 模型分析的上海辰山植物园旅游形象感知研究[J]. 中国园林, 2019, 35(8): 83-87.
- [9] 贾威. 基于武汉城市留言板的情感热点监控研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2019.
- [10] KRIPPENDORF K. Content analysis: an introduction to its methodology[M]. London: Sage publications Ltd, 2019.
- [11] 葛钰晔, 黄淑萍, 刘芬菲, 等. 千岛湖风景区旅游形象感知与满意度[J]. 中国城市林业, 2020, 18(1): 104-109.
- [12] 常丽丽, 孟明浩, 张明如. 基于 IPA 方法的山地乡村旅游景观质量的主客感知: 以杭州临安指南村为例[J]. 中国城市林业, 2021, 19(3): 95-100.
- [13] 钟栋娜, 董晓莉, 邵隽. 基于 IPA 分析的中国旅游景区网站发展研究[J]. 旅游学刊, 2012, 27(3): 60-68.
- [14] 敬峰瑞, 孙虎, 龙冬平. 基于网络文本的西溪湿地公园旅游体验要素结构特征分析[J]. 浙江大学学报(理学版), 2017, 44(5): 623-630.
- [15] 王媛, 许鑫, 冯学钢, 等. 基于文本挖掘的古镇旅游形象感知研究: 以朱家角为例[J]. 旅游科学, 2013, 27(5): 86-95.
- [16] 叶阳, 裘鸿菲, 张群. 武汉中心城区湖泊公园服务范围与优化调控研究[J]. 中国园林, 2021, 37(1): 74-79.
- [33] 孟楠. 基于生态系统服务功能的城市绿地格局优化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2019.
- [34] 马盼, 王式功, 张志薇, 等. 基于“黄金分割率”的体感温度计算方法及相应舒适度划分[C]. 创新驱动发展提高气象灾害防御能力: 第 30 届中国气象学会年会, 2013, 136-146.
- [35] 澳门市政署. 澳门自然网休闲设施列表[A/OL]. [2021-07-20]. <https://nature.iam.gov.mo/c/park/list>.
- [36] 澳门地图绘制暨地籍局. 数码化地图[DS/OL]. (2015-12-28) [2021-07-20]. <https://eservice.dscg.gov.mo/epay/chs/Transaction/productSelection.jsp>.
- [37] 澳门土地工务运输局. 澳门特别行政区城市总体规划(2020-2040)草案[EB/OL]. [2020-10-10]. https://www.dssopt.gov.mo/uploads/media/masterplan/consultation_ch.pdf.
- [38] 刘文平. 景观服务及其空间流动: 连接风景园林与人类福祉的纽带[J]. 风景园林, 2018, 25(3): 100-104.

(上接第 35 页)