



喀斯特山地旅游地生态系统文化服务的空间 分异及其影响因素 ——以黔西南州万峰林景区为例

李 瑞^{1,2}, 黄 梅¹, 王忠玲¹, 贺一雄³, 钟林生²

(1. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210023)

摘要 喀斯特山地旅游地是一个典型的社会-生态系统,具有较高的生态系统服务价值,但针对其为公众提供的非物质收益却鲜有研究。该研究以黔西南州万峰林景区为典型案例地,采用 Amazon Rekognition 图像识别技术,结合社交媒体照片内容分析法、GIS 空间分析法、地理探测器模型等方法,识别和分析喀斯特山地旅游地生态系统文化服务(CES)空间分异与影响因素。研究表明:① 喀斯特山地旅游地具有美学、游憩、生物多样性、地方认同感、文化多元性和教育价值6种CES类型;② 景区CES均存在显著的空间正相关性,总体CES热点区呈多核心分布态势,主要集聚在景区北部、中部和南部,且面积由北向南逐渐增大,形成了公众感知喀斯特峰林群和布依族文化景观的集聚区,而冷点区则少量集聚在景区中部东北向和南部东南向等区域;③ 距水系距离、距道路距离、高程和NDVI因子是影响总体CES的主导因子,土地利用类型、服务设施密度、村庄密度因子为次要因子,总体CES的多因子交互作用呈现出非线性增强多于双因子增强的交互类型特征,且自然与社会维度交互因子均提高了总体CES空间分异的解释力度。该研究为明晰和提升公众对喀斯特山地旅游地生态系统的非物质收益和社会文化福祉提供了实践参考。

关键词 喀斯特;山地旅游;生态系统文化服务;照片内容分析法;万峰林

中图分类号: TU984 **DOI:** 10.16152/j.cnki.xdxzbzr.2024-04-004

The spatial differentiation and influencing factors of ecosystem cultural services in karst mountainous tourism destinations: Taking Wanfenglin scenic spot in Southwest Guizhou of China as an example

LI Rui^{1,2}, HAUNG Mei¹, WANG Zhongling¹, HE Yixiong³, ZHONG Linsheng²

(1. School of Geographical and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

3. School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract Karst mountainous tourism destinations are typically social-ecological systems with high ecosystem

收稿日期:2023-11-21

基金项目:国家自然科学基金(42061028);贵州省教育厅人文社会科学研究项目(2022JD006);贵州师范大学学术
新苗基金项目(黔师新苗[2021]A21)。

第一作者:李瑞,男,博士,副教授,从事旅游地开发与影响研究, liruigznu2008@163.com。

service values, but there is little research on the intangible benefits they provide to the public. This study takes the Wanfenglin scenic spot in Southwest Guizhou of China as a typical case, combined with social media photo content analysis, GIS spatial analysis, geographic detector to identify and analyze the spatial differentiation and influencing factors of CES in karst mountainous tourism destinations using Amazon Rekognition image recognition technology. The results have shown that: ① Karst mountainous tourism destinations have six types of CES: aesthetics, recreation, biodiversity, local identity, cultural diversity, and educational value. ② There is a significantly and spatially positive correlation in the CES of scenic spot. The hot spots of overall CES show a multi-core distribution, mainly concentrated in the northern, central, and southern parts of the scenic spot. The covered area gradually increases from north to south, forming a gathering area for the public to perceive the karst peak forest group and Buyi minority cultural scenery. However, the cold spots are slightly concentrated in the northeast and southeast areas of the central and southern parts of the scenic spot. ③ The factors such as distance from the river system, distance from the road, elevation, and NDVI are the dominant factors affecting the overall CES; the factors such as land use type, service facility density, and village density factors are secondary factors. The multi-factor interaction of overall CES exhibits a non-linear enhancement rather than a dual factor enhancement, and natural and social dimension of interaction factors enhance the explanatory power of the spatial differentiation of overall CES. This study provides the practical reference for clarifying and enhancing the public's understanding of the intangible benefits and social-cultural well-being of the ecosystem for karst mountainous tourism destinations.

Keywords karst; mountainous tourism; ecosystem cultural services; photo content analysis; Wanfenglin

党的二十大报告指出,“中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化”^[1],明确了我国新时代生态文明建设的战略任务,推进了人与自然和谐共生的生态系统服务体系建设。Holdren 和 Ehrlich 首次提出“生态系统服务”概念,是指人类从生态系统中获得的所有收益,包括供给服务、调节服务、支持服务、文化服务等^[2]。作为连接自然生态与人类福祉的关键纽带^[3],生态系统文化服务(cultural ecosystem services, CES)是人们通过接触生态系统而获得的非物质收益^[4],其在供给生态游憩服务和提升公众文化福祉等方面具有重要的理论与实践价值^[5]。喀斯特山地旅游地是一个典型的社会-生态系统,其禀赋独特的喀斯特景观契合公众的生态文化需求^[6]。同时,喀斯特山地旅游地在公众体验文化服务的集散行为扰动下也呈现出游憩资源环境承载力弱、游憩空间结构过度集聚、公众联结环境互动不充分等实践特征^[7-9]。因此,亟需通过识别和刻画喀斯特山地旅游地 CES 空间分异与影响因素,以充分满足喀斯特山地旅游地的公众与生态系统互动获得的非物质收益^[10]。

本研究议题涉及的国内外相关文献主要聚焦在山地旅游地 CES 和喀斯特山地旅游研究两大领域。通过梳理山地旅游地 CES 研究领域的相

关文献发现以下问题。①在研究内容方面,学者们重点围绕城市绿色空间 CES 绩效评价^[11]、游憩乡村 CES 供需关系^[12]、游憩湿地 CES 遗产价值^[13]、森林公园 CES 功能价值^[14]、农业景观 CES 市场转化^[15]、河湖景观 CES 供给调查^[16]等角度开展实证研究,但多集中在城乡和流域尺度的山地旅游地生态系统景观要素 CES 的供给调查和绩效评估方面^[17],缺乏从需求感知角度对小尺度山地旅游地多类型 CES 空间分异进行特征刻画。②在研究方法方面,早期学者们借助货币化方式间接地估算山地旅游地 CES 价值^[18],由于货币评估法针对主观感知较强的 CES 类型难以精确量化,德尔菲调查法^[19]、重要性绩效分析法^[20]、参与式制图法^[21]、SolVES 模型^[22]等非货币化评估方法受到学者们的关注和应用,但仍存在案例研究的实证结论与公众对案例反映的 CES 感知偏差问题;随着社交媒体的深入发展,部分学者将计算机视觉学习技术用于识别和映射公众对 CES 需求偏好的案例实证研究^[23-24],但其在山地旅游地 CES 要素识别与空间转化分析中的运用尚显不足。通过对喀斯特山地旅游研究相关文献梳理进一步发现,目前主要聚焦在喀斯特山地旅游资源变异与可持续利用^[25]、喀斯特山地旅游环境承载力和生态系统评价^[26]、旅游干扰对典型喀斯特

山地生物多样性和地质环境的影响^[27-28]、喀斯特山地乡村旅游社区恢复力和环境稳定性^[29-30]、喀斯特山地旅游产业与生态环境耦合协调关系^[31]、喀斯特世界遗产地社区旅游扶贫效应^[32]等喀斯特山地旅游地生态系统服务的供给、支持、调节等物质收益方面,然而从CES视角探测喀斯特山地旅游地公众感知的文化服务等非物质收益研究尚未受到学界关注。

因此,本研究选取黔西南布依族苗族自治州(以下简称黔西南州)兴义市万峰林景区为典型案例地,通过获取带地理坐标的社交媒体照片,利用Amazon Rekognition图像识别技术开展景观标签识别并进行CES分类与估算,借助ArcGIS软件与地理探测器模型分析CES空间分异与影响因素,以期明晰和提升公众对喀斯特山地旅游地生态系统的非物质收益和社会文化福祉提供实践参考。

1 研究设计

1.1 研究区概况

万峰林景区位于贵州省黔西南州兴义市,总

面积约15.62 km²,是我国最大的喀斯特峰林。景区地形属于典型的锥状喀斯特地貌,峰丛、峰林景观分布范围广、发育完整,地形富于变化,最高处海拔为1 633 m,最低处海拔为1 086 m。景区亚热带山地季风气候特征显著,年均气温17℃,雨量充沛。景区内自然景观资源丰富,不仅集溶洞、漏斗、地下暗河于一体,更有秋沙鸭、猕猴等珍稀动物和苏铁、兜兰等100多种珍稀植物。景区内历史文化资源丰富,既有民族文化浓郁的服饰、语言、生活习俗,亦有万佛寺、纳灰桥、八音坐唱、碑刻等人文艺术。作为国家重点风景名胜区和国家4A级旅游景区,景区自然生态和民族文化要素丰富,能够真实地反映出公众通过审美体验、文化娱乐、精神满足等与喀斯特山地生态系统互动获得的非物质收益。

1.2 研究方法

1.2.1 照片内容分析

借鉴Andrea等学者采用照片内容分析识别CES的思路方法^[33],以万峰林景区为典型案例地,通过构建喀斯特山地旅游地CES类型识别体系,针对爬取的照片景观元素进行CES的场景匹配与类型识别(见表1)。

表1 喀斯特山地旅游地CES类型识别体系

Tab.1 Identification system of CES types for karst mountainous tourism destinations

类型	内涵	网络文本高频词	场景分类	景观标签
美学	感受喀斯特山地风光,满足审美要求	峰林、湖泊、云雾、美景、俯瞰、迷人、壮观、险峻、秀美	地貌景观 水体景观 植物景观 气候气象景观	峰林等 湖泊、溪流等 野生植物、珍稀植物等 云、雾等
游憩	开展娱乐和游憩活动的场所,具有喀斯特山地或人文景观的特征	观景台、峰峦、纵横、阡陌、漫步、骑行、渡船、民宿、精致	地貌景观 娱乐公园 娱乐活动 特色建筑	峰林等 地质景观等 观光、登山、渡船、戏水、徒步等 古桥、古村等
生物多样性	喀斯特山地动物和植物等生物资源	动植物、油菜花、秋沙鸭、猕猴、苏铁、兜兰	动物景观 植物景观	野生动物、珍稀动物等 野生植物、珍稀植物等
地方认同感	与喀斯特山地相关的本性或特性,能产生联结感和归属感	村落、农舍、坝子、田野、淳朴、悠闲、清新、宜人	物质文化 精神文化 乡村景观 特色建筑	歌舞、工具、服饰、佛像等 图腾、刻字石、祭祀活动等 牛、马、狗及与人们生活相关的地方元素等 古桥、古村等
文化多元性	展示喀斯特山地文化和宗教景观或建筑,提供进行反思的对象化情境	纳灰桥、碾坊、碑刻、景观亭、徐霞客游记、布依族、八音坐唱、万佛寺、神奇、乡愁、意境	物质文化 精神文化 特色建筑	文物、服饰、佛像、歌舞等 图腾、刻字石、节日风俗、祭祀活动等 古桥、古村等

续表 1

类型	内涵	网络文本高频词	场景分类	景观标签
教育价值	为正式和非正式教育提供喀斯特山地研学基地,传递智慧和知识	喀斯特地貌、地质公园、八卦田、博物馆、布依文化、传统工艺、解说标识、道路指示	地貌景观	峰林等
			水体景观	湖泊、溪流等
			动物景观	野生动物、珍稀动物等
			植物景观	野生植物、珍稀植物等
			物质文化	歌舞、工具、服饰、佛像等
			精神文化	图腾、刻字石、祭祀活动等

由于社会-生态地域条件存在禀赋差异,学者们重点针对联合国千年生态系统评估报告(MEA)提出的 CES 类型体系开展不同案例地的实证研究^[34-35]。结合万峰林景区的社会-生态特征及其公众网络文本高频词,重点参照 Clemente 等^[36]和赵雨晴等^[37]学者针对山地旅游地 CES 案例研究,构建了涵盖美学、游憩、生物多样性、地方认同感、文化多元性、教育价值 6 种类型的喀斯特山地旅游地 CES 识别体系。针对爬取的社交媒体照片数据,确定照片中景观所处的地理位置,借助亚马逊图像识别技术(<https://aws.amazon.com/cn/>)对其景观元素进行标签识别,以上述喀斯特山地旅游地 CES 类型识别体系为理论依据,将所识别的景观标签进行场景聚类,并将其与 CES 类型进行内涵匹配,判断不同景观标签的照片所属的 CES 类型。

1.2.2 空间自相关分析

采用空间自相关分析 CES 的整体空间和局部冷热点区的集聚态势^[38]。Moran's I (式中简记为 I)指数测度 CES 的整体空间关联模式,计算如下,

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mathbf{W}_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mathbf{W}_{ij} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

(1)

式中: X_i, X_j 为第 i, j 单元空间上 CES 数量; $\bar{X}$ 为平均量; $\mathbf{W}_{ij}$ 为空间权重矩阵,当 i, j 单元空间相互毗邻时, $\mathbf{W}_{ij} = 1$; 当 i, j 单元空间互不相邻时, $\mathbf{W}_{ij} =$

0。Moran's I 指数为 $[-1, 1]$, 当 $I > 0$ 时, 空间呈正相关性, 其值越大, 空间相似性越明显; 当 $I = 0$ 时, 空间分布则呈随机态势; 当 $I < 0$ 时, 空间呈负相关性, 其值越小, 空间差异性越明显。

利用 Getis-Ord G_i^* 对 CES 的局部冷热点区特征进行测度, 计算公式如下,

$$Z(G_i^*) = G_i^* - E(G_i^*) / \sqrt{\text{var}(G_i^*)}$$

(2)

式中: $E(G_i^*)$ 是 G_i^* 的数学期望值, $\text{var}(G_i^*)$ 为其变异系数; 当 $Z(G_i^*)$ 为正值时, 表明 CES 的热点区呈集聚态势, 当 $Z(G_i^*)$ 为负值时, 表明 CES 的冷点区呈集聚态势。

1.2.3 地理探测器模型

采用地理探测器模型中的因子探测和交互探测子模型分析各因子与因子相互作用对 CES 空间分异的影响^[39]。因子探测子模型用于分析自变量对因变量的解释程度, 计算公式如下,

$$q = 1 - \frac{\sum_{i=1}^L n_i \sigma_i^2}{n \sigma^2}$$

(3)

式中: q 为探测因子对因变量的影响力值, 区间为 $[0, 1]$, q 值越接近 1, 表示该因子的解释力越强; n, σ^2 分别表示样本总量和方差; n_i, σ_i^2 分别表示第 i 层 ($i = 1, 2, \dots, L$) 的样本量和样本方差。

交互探测子模型分析双因子 X_a 和 X_b 的交互作用值 $q(X_a \cap X_b)$ 对因变量 Y 的解释力, 并与 X_a 和 X_b 的单一因子作用值对比, 以此判定交互作用类型(见表 2)。

表 2 交互作用类型

Tab. 2 Types of interaction

判定依据	交互作用类型
$q(X_a \cap X_b) < \min(q(X_a), q(X_b))$	非线性减弱
$\min(q(X_a), q(X_b)) < q(X_a \cap X_b) < \max(q(X_a), q(X_b))$	单因子非线性减弱
$q(X_a \cap X_b) > \max(q(X_a), q(X_b))$	双因子增强
$q(X_a \cap X_b) = q(X_a) + q(X_b)$	独立
$q(X_a \cap X_b) > q(X_a) + q(X_b)$	非线性增强

注: X_a 和 X_b 表示影响因子; $\cap$ 表示影响因子 X_a 和 X_b 的交互作用。

1.3 数据来源

1.3.1 社交媒体数据

采用 Python 编程语言,以万峰林为关键词,通过“两步路”官网平台 (<https://www.2bulu.com/>)爬取轨迹照片及其源数据(截至2023年08月31日),包括官网平台发布的照片ID、拍摄时间、轨迹链接、照片链接、照片经纬度、内容文本等相关的轨迹信息。

1.3.2 影响因素数据

参考 Sonter 等^[40]、付晶等^[41]、王坤等^[42]、郭向阳等^[43]学者开展的山地旅游地影响因素相关成果,并结合喀斯特山地旅游地社会-生态系统状态,重点选取高程、坡度、坡向、归一化植被指数(NDVI)、距水系距离、距道路距离、村庄密度、服务设施密度、土地利用类型为自然和社会影响因素。值得说明的是,从地理空间数据云平台 (<https://www.gscloud.cn>)获取高程数据;基于高程数据在 ArcGIS 分析工具中提取坡度和坡向数据;从地理空间数据云平台发布的遥感影像数据获取 NDVI 数据;基于 Open Street Map (<https://www.osm.group>)提取的水系路网数据并利用 ArcGIS 欧式距离工具进行测算并获取距水系距离和距道路距离数据;从高德 API 中获取村庄密度与服务

设施密度的 POI 数据;从中国科学院资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn>)获取土地利用类型数据。

2 结果分析

2.1 CES 类型识别

采用亚马逊图像识别技术对照片内容进行景观标签检测,共获取 7 915 张轨迹照片;经过数据清洗,获取景区范围内照片共 4 037 张;根据表 1 提取和识别 4 037 张照片的标签主题,聚类至 11 类场景,最终获取具有 CES 内涵特征的照片共 3 878 张。图 1 为喀斯特山地旅游地 CES 类型识别数量图,通过图 1 可知:在 3 878 张照片中具有游憩 CES 的照片数量为 3 424 张,占比最高;具有文化多元性 CES、生物多样性 CES、地方认同感 CES、美学 CES 的照片数量占比处于 54.20% ~ 63.23% 之间;具有教育价值 CES 的照片数量占比低于 25%。不难看出,游憩 CES 是公众对喀斯特山地旅游地 CES 感知的主导类型,文化多元性 CES、生物多样性 CES、地方认同感 CES 和美学 CES 次之,而教育价值 CES 最低。

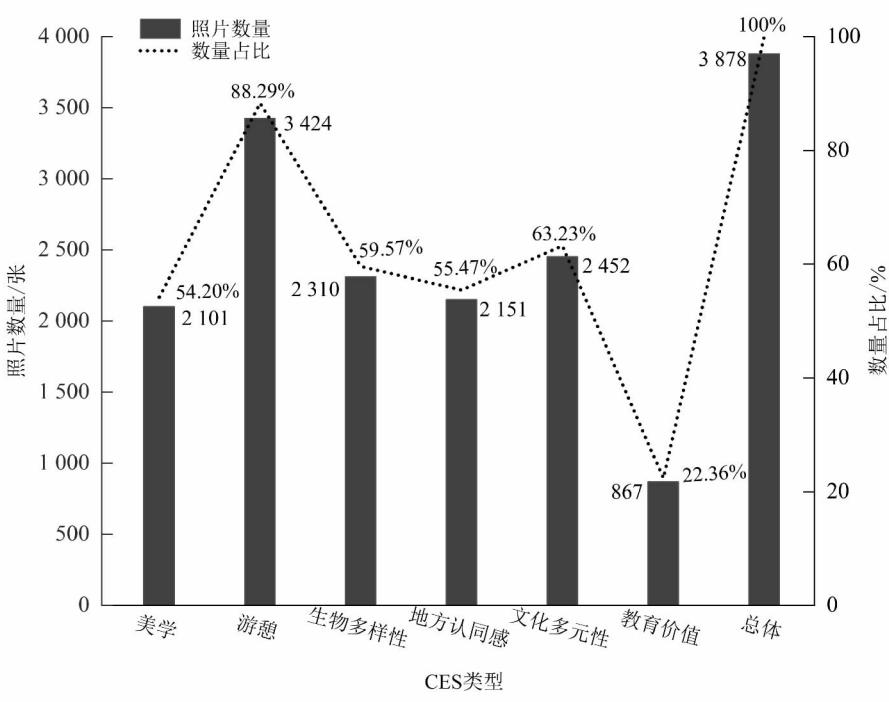


图1 喀斯特山地旅游地 CES 类型识别数量

Fig.1 Number of CES types identification for karst mountainous tourism destinations

2.2 CES 空间特征

运用 ArcGIS 将研究区面域数据转换为 200 m×200 m 像素的渔网单元格,并将 CES 照片点数据与对应的渔网单元格连接,获取每个格网内的 CES 照片数量,以揭示 CES 空间特征。

2.2.1 全局空间集散特征

利用 ArcGIS 分别计算出 CES 空间分布的 Moran's I 指数,检验其全局空间关联性。由表 3

表 3 CES 全局 Moran's I 指数
Tab. 3 Global Moran's I index of CES

CES	Moran's I	Z 值	p 值	集散状态
美学	0.167	6.728	0.00	集聚
游憩	0.190	7.638	0.00	集聚
生物多样性	0.194	7.755	0.00	集聚
地方认同感	0.185	7.728	0.00	集聚
文化多元性	0.190	7.666	0.00	集聚
教育价值	0.115	4.846	0.00	集聚
总体	0.193	7.775	0.00	集聚

2.2.2 局部冷热区特征

全局空间自相关分析展现了 CES 的整体空间集散状态,本研究基于 Getis-Ord G_i^* 从 90%、95%、99% 置信度水平进一步刻画 CES 冷热点区特征,如图 2 和表 4 所示。

1) 美学 CES 和游憩 CES 热点区分布特征相似,集聚在景区北部、中部及西南部,仅游憩 CES 存在冷点区。具体分析图 2(a) 和图 2(b) 可知,美学 CES 的极显著热点区集聚在景区换乘点、将军峰、众星捧月、田园锦绣、观峰台西北部、落水天坑的核心吸引物附近,面积占比为 7.69%。其显著热点区和较显著热点区主要集聚在荣源生态园区东南部、上纳灰村、田园织锦南部、布依寨东南部、放牛山附近,面积占比为 10.51%。游憩 CES 的极显著热点区集聚在万峰林广场、游客休息区、田园锦绣西部、观峰台附近以及落水天坑、万福村一带,面积占比为 7.17%。其显著热点区和较显著热点区集聚在众星捧月、八卦田附近以及极显著热点区的外围区,面积占比为 10.42%。游憩 CES 冷点区则主要集聚在鱼龙碑刻东北向、浪马水坝东南向以及地眼东部延伸区域,面积占比为 4.61%。

2) 生物多样性 CES 和地方认同感 CES 的热点区与冷点区均具有相似的空间集聚特征。具体分析图 2(c) 和图 2(d) 可知,生物多样性 CES 和

可知:①CES 的 Z 值在 4.846~7.775 之间,p 值均为 0.00,即在 99% 的水平上均通过显著性检验,均存在显著的空间正相关性;②CES 的 Moran's I 指数在 0.115~0.194 之间,均呈现出正相关集聚态势;③生物多样性 CES 的 Moran's I 指数最大,而教育价值 CES 的 Moran's I 值最小,表明两者空间集聚态势分别呈最高和最低。

地方认同感 CES 的极显著热点区主要集聚在万峰林广场、将军峰以北、众星捧月和田园锦绣过渡区、观峰台及落水天坑外围区,面积占比分别为 7.43% 和 7.94%。两者显著热点区和较显著热点区均集聚在荣源生态园区、下纳灰村外围,以及布依寨、田园织锦南部区域,与极显著热点区毗邻呈带状空间分布,面积占比分别为 11.02% 和 10.23%。生物多样性 CES 与地方认同感 CES 冷点区的集聚空间也极为相似,主要分布在四轮碑东北向与大顺峰东南向区域,面积占比分别为 4.10% 和 3.84%。

3) 文化多元性 CES 的热点区主要分布在景区北部和中部,但无冷点区分布。文化多元性 CES 的极显著热点区主要集聚在万峰林广场、田园锦绣、落水天坑的核心吸引物附近,面积占比为 6.40%。其显著热点区和较显著热点区则集聚在将军峰、八卦田、布依寨、万福村以及万佛寺北部区域,面积占比为 7.24% [见图 2(e)]。

4) 教育价值 CES 的热点区主要集聚在景区北部、中部、西南部,也无冷点区分布。教育价值 CES 的极显著热点区集聚在万峰林广场、龙堡水坝、双龙电站遗址、荣源生态园区东部、八卦田、布依寨的核心吸引物附近,面积占比为 5.59%。其显著热点区和较显著热点区在鱼龙碑刻、双龙电站遗址西南部、四轮碑、落水洞、观峰台与落水天

坑附近集聚,面积占比为 9.11%〔见图 2(f)〕。

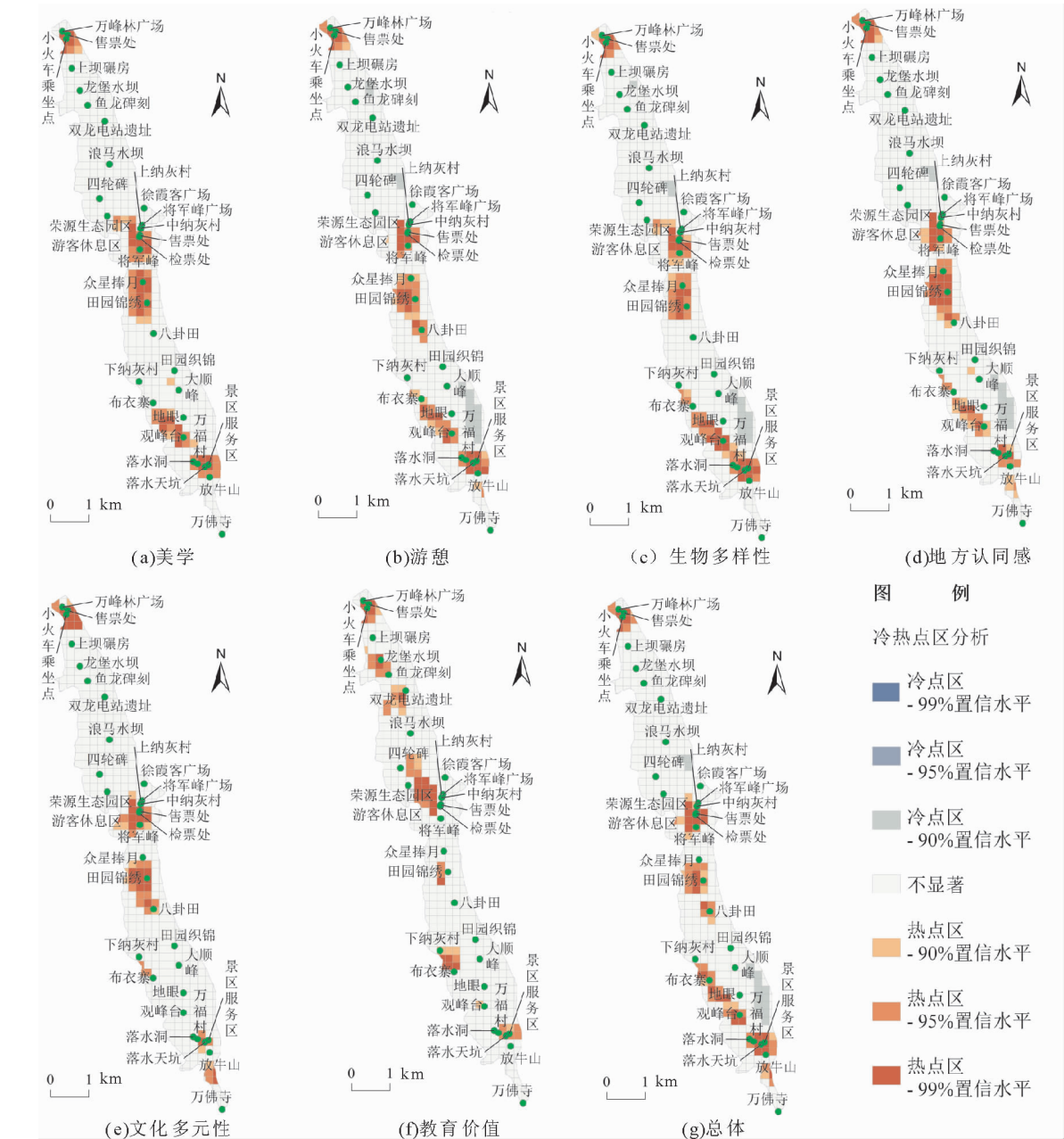


图 2 CES 冷热点区空间格局

Fig. 2 Spatial patterns of hot and cold spots of CES

总体 CES 热点区集聚在景区北部、中部和南部,且面积由北向南逐渐增大,冷点区则少量集聚在其中部东北向和南部东南向等区域。总体 CES 极显著热点区呈多核心分布态势,主要集中在景区北部的票务中心及入口处,将军峰、田园锦绣、八卦田、上纳灰村、中纳灰村等景区中部的喀斯特峰林、盆地、田园及其观光车停靠点的核心吸引物附近,以及景区南部的观峰台、落水天坑和布依寨的核心吸引物附近,形成了公众感知喀斯特峰林群和布依族文化景观的集聚区。总体 CES 显著

热点区和较显著热点区则集聚在万峰林广场、中纳灰村、将军峰、田园锦绣、八卦田、布依寨以及落水天坑南端外围。冷点区则主要分布在大顺峰的东南方向以及四轮碑的东北方向〔见图 2(g)〕。

2.3 影响因素分析

采用 ArcGIS 中的创建渔网工具,结合万峰林景区面积,以创建的 200 m × 200 m 渔网单元格内的 CES 照片数量为因变量,以自然影响因素与社会影响因素为自变量,采用地理探测器模型测算 CES 空间分异的单因子与多因子交互作用的影响

力值。

表 4 CES 冷热点区面积统计
Tab. 4 Area statistics of hot and cold spots of CES

CES	冷点区		不显著区		较显著热点区		显著热点区		极显著热点区	
	(90% 置信度)				(90% 置信度)		(95% 置信度)		(99% 置信度)	
	面积	占比	面积	占比	面积	占比	面积	占比	面积	占比
	/km ²	/%	/km ²	/%	/km ²	/%	/km ²	/%	/km ²	/%
美学	—	—	12. 78	81. 80	0. 40	2. 56	1. 24	7. 95	1. 20	7. 69
游憩	0. 72	4. 61	12. 15	77. 80	0. 46	2. 97	1. 16	7. 45	1. 12	7. 17
生物多样性	0. 64	4. 10	12. 10	77. 45	0. 54	3. 48	1. 18	7. 54	1. 16	7. 43
地方认同感	0. 60	3. 84	12. 18	77. 98	0. 75	4. 80	0. 85	5. 43	1. 24	7. 94
文化多元性	—	—	13. 49	86. 36	0. 37	2. 35	0. 76	4. 89	1. 00	6. 40
教育价值	—	—	13. 32	85. 30	0. 48	3. 10	0. 94	6. 01	0. 87	5. 59
总体	0. 64	4. 10	12. 21	78. 16	0. 49	3. 16	1. 08	6. 94	1. 19	7. 63

2. 3. 1 单因子探测分析 响力值如表 5 所示。

测算 CES 空间分异的单因子交互作用的影

表 5 CES 影响因子 q 值
Tab. 5 The q -value of impact factors of CES

CES	值	高程 (X1)	坡度 (X2)	坡向 (X3)	NDVI (X4)	距水系距 离(X5)	距道路距 离(X6)	村庄密 度(X7)	服务设 施密度 (X8)	土地利 用类型 (X9)
美学	q	0. 148 6	0. 031 0	0. 056 1	0. 096 4	0. 274 1	0. 204 7	0. 030 0	0. 157 8	0. 057 3
	p	0. 000 0**	0. 044 0*	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 062 1	0. 000 0**	0. 000 0**
游憩	q	0. 175 4	0. 029 9	0. 047 2	0. 109 1	0. 293 6	0. 271 3	0. 027 9	0. 148 8	0. 067 1
	p	0. 000 0**	0. 022 0*	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 042 0*	0. 000 0**	0. 000 0**
生物多样性	q	0. 179 8	0. 029 2	0. 050 0	0. 283 3	0. 096 2	0. 234 8	0. 025 6	0. 154 9	0. 070 9
	p	0. 000 0**	0. 058 4	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 109 8	0. 000 0**	0. 000 0**
地方认同感	q	0. 028 8	0. 030 1	0. 042 8	0. 099 6	0. 060 3	0. 267 6	0. 180 4	0. 177 0	0. 239 8
	p	0. 000 0**	0. 021 0*	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 071 1	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**
文化多元性	q	0. 026 0	0. 024 3	0. 027 2	0. 135 2	0. 235 2	0. 141 3	0. 129 7	0. 120 6	0. 042 5
	p	0. 112 5	0. 102 3	0. 057 5	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 025 0*
教育价值	q	0. 350 4	0. 082 0	0. 041 8	0. 166 5	0. 184 1	0. 067 7	0. 085 2	0. 120 8	0. 112 6
	p	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**
总体	q	0. 219 4	0. 027 6	0. 038 4	0. 201 1	0. 292 4	0. 272 0	0. 126 8	0. 159 0	0. 173 3
	p	0. 000 0**	0. 032 0*	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**	0. 000 0**

注：**、* 分别表示 p 值在 q 为 1% 和 5% 水平下显著。

1) 在美学 CES 影响因子中,除村庄密度因子 (X7) 未通过显著性水平检验外,其余因子均通过显著性水平检验。其中,距水系距离 (X5)、距道路距离 (X6)、服务设施密度 (X8) 和高程 (X1) 因子的 q 值高于 0. 1,且在 0. 148 6 ~ 0. 274 1 之间,影响力位居前 4。在游憩 CES 影响因子中,所有

因子均通过显著性水平检验。其中,距水系距离(X_5)、距道路距离(X_6)、高程(X_1)和服务设施密度(X_8)因子的影响力也位居前4, q 值高于0.1,且处于0.148 8~0.293 6之间。不难看出,距水系距离(X_5)和距道路距离(X_6)是影响美学CES和游憩CES空间分异的主导因子,其次分别为服务设施密度(X_8)和高程(X_1)因子。主要表现在景区的景观步道、观景台和换乘点的选点布局受到了喀斯特山地海拔起伏的影响;景区的主干步道和分支步道系统性地连通了纳灰河、万峰湖等喀斯特水体景观;沿岸的峰林、石林、溶洞、天坑、森林密布,尤其是列阵峰林、宝剑峰林、群龙峰林、罗汉峰林、叠帽峰林及其林间的农耕田园等喀斯特盆谷峰林地貌和农业景观,以及片区的油菜花、苏铁、兜兰等喀斯特植物景观,为公众驻足观赏和动态体验喀斯特自然与人文景观提供了审美和游憩的体验场所。

2)在生物多样性CES影响因素中,除坡度因子(X_2)和村庄密度因子(X_7)未通过显著性水平检验外,其余因子均通过显著性水平检验。其中NDVI(X_4)、距道路距离(X_6)、高程(X_1)和服务设施密度(X_8)因子的 q 值高于0.1,且处于0.154 9~0.283 3之间。而在地方认同感CES中, q 值高于0.1的因子则分别为距道路距离(X_6)、土地利用类型(X_9)、村庄密度(X_7)、服务设施密度(X_8),处于0.177 0~0.267 6之间。可以看出,虽然生物多样性CES和地方认同感CES的空间分布特征相似,但其对应的影响因素存在差异,也表明同一类型的喀斯特自然社会要素具有综合性和多元性的CES特征。主要表现在生物多样性CES和地方认同感CES的热点区既是喀斯特中低海拔地区的山地和水体动植物资源高度禀赋的集聚区,也是喀斯特山地民族物质文化景观生产的分布区,公众既可在极显著热点区观赏到中华沙秋鸭、猕猴、苏铁、兜兰等稀有动植物,也可在其显著热点区和较显著热点区与村落、坝子、农舍、古桥、步道等生产生活相关的地方性元素相接触,促使公众与景区产生自然回归的联结感与民族文化的归属感。

3)在文化多元性CES影响因素中,除高程、坡度、坡向3项因子未通过显著性水平检验外,其余因子均通过显著性水平检验, q 值高于0.1的因子分别为距水系距离(X_5)、距道路距离(X_6)、NDVI(X_4)、村庄密度(X_7)、服务设施密度(X_8),

处于0.120 6~0.235 2之间。具体分析看出,文化多元性CES的热点区集中分布在喀斯特森林植被覆盖密集的山地和水体周围的人类活动区域,沿主干道路和分支步道串联了纳灰桥、景观亭、碾坊、万佛寺、洞穴寺院、徐霞客游记碑刻、布依村寨等历史文化遗迹和民族文化场域,嵌入特色建筑、历史文物、布依文化、节日风俗等物质文化和精神文化,通过自然与文化交织展现出喀斯特生境下独一无二的民族乡愁意境。

4)在教育价值CES影响因素中,所有因子均通过显著性水平检验。其中,高程(X_1)、距水体距离(X_6)、NDVI(X_4)、服务设施密度(X_8)、土地利用类型(X_9)因子的 q 值高于0.1,且处于0.112 6~0.350 4之间。具体分析看出,教育价值CES热点区的地貌形态从北至南呈峰林盆地、峰林洼地和峰丛山地的演变过程。其中,峰林洼地集聚了雨古鲁、洋坪、吊井坝、下发励等天坑地貌,峰丛山地环抱着喀斯特地漏景观演化形成的坡立谷和间歇泉,以及嵌入着地球上最古老的种子植物群落,提供了喀斯特山地的地貌演替过程以及植物起源与演化等丰富的自然生态教育价值CES。同时,喀斯特生境下孕育出传统村落的社会人文景观体现着人类与自然的高度和谐,八卦田园、石木房屋、炊烟渺渺等场景向公众展示着当地居民质朴悠然的生活方式,并在喀斯特聚落为主题的民族文化博物馆得以集中展示,提供了喀斯特山地的农耕生态知识和布依技艺文化等潜在的生产生活教育价值CES。

从总体CES的单一影响因素来看,所有因子均通过显著性水平检验。其中,距水系距离(X_5)、距道路距离(X_6)、高程(X_1)和NDVI(X_4)因子的 q 值高于0.2,且处于0.201 1~0.292 4之间,是影响总体CES的主导因子;土地利用类型(X_9)、服务设施密度(X_8)、村庄密度(X_7)的 q 值高于0.1且处于0.126 8~0.173 3之间,是影响总体CES的次要因子;坡向(X_3)和坡度(X_2)因子的影响则较弱。

2.3.2 多因子交互作用探测分析

测算总体CES的多因子交互作用影响力值如表6所示,呈现出非线性增强多于双因子增强的交互类型特征,且两类交互因子均提高了总体CES空间分异的解释力度,说明总体CES空间分异受自然维度因子与社会维度因子的协同作用影响较大。具体分析可知以下几点。

1)从双因子增强的交互类型可知,距水系距离($X5$)与距道路距离($X6$)交互作用对总体 CES 产生最强的解释力为 0.558 5,高程($X1$)与距道路距离($X6$)、距水系距离($X5$)与服务设施密度($X8$)的共同解释力次之,分别为 0.460 5 与 0.416 6,高程($X1$)与 NDVI($X4$)和土地利用类型($X9$)的共同解释力均低于 0.3,表明双因子交互作用可显著增强各单一影响因子对总体 CES 空间分异现象的解释力,也集中表现在受海拔影响的喀斯特山地植被、河流湖泊与道路网络的“点轴”式游憩资源增强了总体 CES 空间分布的组合差异。

2)从非线性增强的交互类型可知,距道路距离($X6$)与村庄密度($X7$)、服务设施密度($X8$)、土地利用类型($X9$)交互作用对总体 CES 产生最强

的解释力。同时,注意到距道路距离($X6$)因子受到坡度($X2$)和坡向($X3$)因子的共同影响,均处于 0.432 8~0.501 4 之间;距水系距离($X5$)与村庄密度($X7$)和土地利用类型($X9$)、村庄密度($X7$)与服务设施密度($X8$)交互作用对总体 CES 也产生了较强的解释力,处于 0.352 5~0.396 2 之间。不难看出,非线性影响因子交互作用的解释力均大于单一影响因子作用时的解释力之和,且社会影响因子的增强效果大于自然影响因素,也表现出喀斯特山地和水系等自然维度因子的非线性交互匹配产生的单类型 CES 转向由山地水系、村落布局、三生用地、游憩步道、商服设施等自然维度与社会维度因子交互匹配产生的多类型 CES。

表 6 总体 CES 影响因子交互作用 q 值
Tab. 6 The q -value of interaction between the impact factors of global CES

总体 CES	高程 ($X1$)	坡度 ($X2$)	坡向 ($X3$)	NDVI ($X4$)	距水系距 离($X5$)	距道路距 离($X6$)	村庄密 度($X7$)	服务设施 密度($X8$)	土地利用 类型($X9$)
$X1$	0.219 4								
$X2$	0.292 5 ↑↑	0.027 6							
$X3$	0.349 0 ↑↑	0.113 3 ↑↑	0.038 4						
$X4$	0.287 2 ↑	0.205 3 ↑↑	0.235 0 ↑↑	0.111 1					
$X5$	0.357 4 ↑	0.223 4 ↑↑	0.234 6 ↑↑	0.375 3 ↑	0.272 0				
$X6$	0.460 5 ↑	0.473 5 ↑↑	0.445 4 ↑↑	0.391 4 ↑	0.558 5 ↑	0.292 4			
$X7$	0.212 9 ↑↑	0.111 8 ↑↑	0.169 4 ↑↑	0.248 6 ↑↑	0.396 2 ↑↑	0.432 8 ↑↑	0.026 8		
$X8$	0.353 9 ↑	0.249 3 ↑↑	0.257 9 ↑↑	0.331 2 ↑↑	0.416 6 ↑	0.501 4 ↑↑	0.353 5 ↑↑	0.159 0	
$X9$	0.252 1 ↑	0.125 1 ↑↑	0.143 1 ↑↑	0.190 0 ↑↑	0.352 5 ↑↑	0.440 2 ↑↑	0.159 8 ↑↑	0.247 2 ↑↑	0.073 3

注:“↑”表示双因子增强,“↑↑”表示非线性增强。

3 结论与讨论

3.1 主要结论

本研究以黔西南州万峰林景区为典型案例地,采用 Amazon Rekognition 图像识别技术,结合社交媒体照片内容分析法、GIS 空间分析法、地理探测器模型等方法,识别和分析喀斯特山地旅游地 CES 空间分异与影响因素,主要结论如下。

1)从类型识别来看,喀斯特山地旅游地具有美学、游憩、生物多样性、地方认同感、文化多元性和教育价值 6 种 CES 类型。其中,游憩 CES 为主导类型,文化多元性 CES、生物多样性 CES、地方认同感 CES 和美学 CES 次之,而教育价值 CES 最低。喀斯特山地旅游地是一个典型的社

会-生态系统,其禀赋独特的喀斯特景观契合公众的生态文化需求,上述结论延伸了已有研究侧重喀斯特山地旅游地生态系统服务的供给、支持、调节等物质收益^[7-9],从 CES 视角系统性地识别了喀斯特山地旅游地公众感知的文化服务等非物质收益类型。

2)从空间特征来看,喀斯特山地旅游地 CES 均存在显著的空间正相关性,总体 CES 热点区呈多核心分布态势,主要集聚在景区北部、中部和南部,且面积由北向南逐渐增大,形成了公众感知喀斯特峰林群和布依族文化景观的集聚区,而冷点区则少量集聚在景区中部东北向和南部东南向等区域。上述结论从需求感知角度对喀斯特山地旅游地 CES 冷热点空间特征进行刻画,延伸了已有学者多从供给调节角度对大尺度喀斯特山地旅游

地生态系统服务开展要素与空间识别的研究^[31,43],也为小尺度喀斯特山地旅游地游憩空间结构过度集聚引致的公众联结环境互动不充分等实践特征提供了优化依据^[29-30]。

3)从影响因素来看,距水系距离、距道路距离、高程和 NDVI 因子是影响总体 CES 的主导因子,土地利用类型、服务设施密度、村庄密度因子为次要因子,而坡向和坡度因子的影响则较弱。总体 CES 的多因子交互作用呈现出非线性增强多于双因子增强的交互类型特征,且两类交互因子均提高了总体 CES 空间分异的解释力度,说明总体 CES 空间分异受自然维度因子与社会维度因子的协同作用影响较大。上述结论弥补了已有研究仅针对公众对喀斯特山地旅游地 CES 开展主观感知因素分析的不足^[32,44],而从自然社会维度角度客观探测了公众对其空间分异的单因子与多因子交互作用的影响效应。

3.2 管理启示

1)充分满足公众的非物质收益需求,合理供给感知较低的 CES。根据公众对喀斯特山地旅游地 CES 的感知程度,主要集聚在景区北部、中部和南部为公众提供游憩、文化多元性、生物多样性、地方认同感和美学为主的 CES 类型,但在景区中部东北向和南部东南向仅提供少量的游憩、生物多样性、地方认同感等 CES 类型。一方面,景区应立足于增强喀斯特山地自净能力以改善喀斯特地表脆弱的生态环境,持续治理景区中北部和西南部石漠化景观,注重喀斯特生态景观的保护性开发与规划。同时,科学监控公众游憩行为以合理引导空间服务分流,充分满足公众对游憩、文化多元性、生物多样性、地方认同感和美学 CES 需求。另一方面,景区应强化喀斯特环境孕育的地方性社会文化的遗产要素挖掘和生态情感教育,针对性地加强公众文化福祉与喀斯特社会-生态环境的联结互动,充分提升潜在的教育价值 CES,以此实现公众对喀斯特山地旅游地 CES 收益的空间平衡。

2)转化影响 CES 的重要因子,优化喀斯特山地 CES 的连通性与感知力。根据喀斯特山地旅游地 CES 影响因子的探测结果,距水系距离、距道路距离、高程和 NDVI 因子是影响总体 CES 空间分异的重要因子。一方面,景区通过喀斯特山地生态环境的保护性开发与生态景观的空间性规划,在严格保证公众对喀斯特生态系统调节、供

应、支持服务等物质收益的基础上,重点通过“节点网络”规划结构布局观景基础设施、游憩服务设施与公共服务设施以连通游憩道路系统,加强具有海拔高程差异的游憩景点与道路系统之间的横向与纵向空间可达性,改善因喀斯特山地地表崎岖与破碎特性导致的公众 CES 感知类型的冷点集聚效应。另一方面,水体和植物景观是喀斯特山地社会-生态系统的重要景观构成,公众对游憩、文化多元性、生物多样性、地方认同感和美学 CES 均产生于与水体和植物有关的喀斯特生态人文景观,在游憩空间规划中应在保护水源、水质、水量基础上,增加亲近地表和地下水体及植物景观的游憩机会,改善水域附近的亲水体验设施,持续提高公众对喀斯特山地旅游地 CES 的感知能力。

3)充分实现 CES 供需权衡,提升喀斯特山地生态系统的社会文化福祉。喀斯特山地旅游地是一个典型的社会-生态系统,通过 CES 的非物质收益转化,实现喀斯特自然生态与公众社会文化福祉的供需权衡。在协调喀斯特生态环境保护与生态游憩发展之间的空间规划实践过程中,景区应通过大数据技术对公众在喀斯特山地旅游地社会-生态系统的资源赋存、游憩偏好、审美意向、游憩场所、文化认知、归属感知、教育场域、历史价值、生存智慧、生活经验等方面进行动态性地跟踪与识别,并定期测绘和研判公众对 CES 感知的多核心分布区与冷热点集聚区。一方面可针对喀斯特脆弱的生境区域叠加不合理的生态游憩扰动进行跟踪与分流,同时,建立更广泛的公众支持喀斯特社会-生态系统环保预警机制。另一方面也应通过 CES 感知差异重点分析喀斯特生态植被覆盖、传统村落文化深度挖掘、游憩服务设施合理布局等社会-生态可持续发展态势,充分实现 CES 供需权衡,进一步筑牢山地安全屏障、优化村落人居环境、协调人地互动关系,提升喀斯特山地旅游地生态系统的社会文化福祉。

3.3 研究不足与展望

1)目前 Amazon Rekognition 图像识别技术尚处于探索阶段,机器识别模型的训练程度仍不完善,标签识别与实际结果存在一定的误差,本研究未来应进一步完善标签识别的机器学习程序,提高结果分析的准确性。同时,社交媒体平台发布的照片在一定程度上未能覆盖所有群体,尚未接触社交平台的群体未能充分地分享其文化服务感

知,本研究未来应多途径获取可公开访问的地理坐标信息数据源,更广泛地处理和分析公众对喀斯特山地旅游地 CES 的感知差异。

2) 针对社交媒体照片进行分类时,本研究重点借鉴了部分学者开展的山地旅游地 CES 案例研究,促使喀斯特山地旅游地 CES 的实践阐释深度受限。未来应在充分识别同类型案例地社交媒体照片的基础上,进一步结合喀斯特山地的生态系统结构及其功能特点,构建更加科学的喀斯特山地旅游地 CES 类型识别体系,以致评估结果更为精确和完善。

参考文献

- [1] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[N]. 人民日报, 2022-10-26(01).
- [2] HOLDREN J P, EHRLICH P R. Human population and the global environment[J]. *American Scientist*, 1974, 62(3): 282-292.
- [3] DANIEL T C, MUHAR A, ARNBERGER A, et al. Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda[J]. *Proceedings of the National Academy of Science*, 2012, 109(23): 8812-8819.
- [4] HERNÁNDEZ-MORCILLO M, PLENINGER T, BIELING C. An empirical review of cultural ecosystem service indicators[J]. *Ecological Indicators*, 2013, 29: 434-444.
- [5] 郭晓彬, 姚娟, 付鹏飞. 游客生态系统文化服务价值感知的生态消费行为选择意愿效应[J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2022, 56(5): 882-890.
- GUO X B, YAO J, FU P F. Willingness effect of ecological consumption behavior choices on the perception of cultural service value in tourist ecosystem[J]. *Journal of Central China Normal University (Natural Science Edition)*, 2022, 56(5): 882-890.
- [6] TIAN Y C, WANG S J, BAI X Y, et al. Trade offs among ecosystem services in a typical Karst watershed, SW China [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 566: 1297-1308.
- [7] 苏维词. 滇桂黔石漠化集中连片特困区开发式扶贫的模式与长效机制[J]. *贵州科学*, 2012, 30(4): 1-5.
- SU W C. Development-oriented poverty reduction model and lasting effect mechanism in concentrated karst desertification extreme poverty areas of Yunnan, Guangxi and Guizhou provinces[J]. *Guizhou Science*, 2012, 30(4): 1-5.
- [8] 邹细霞, 杜芳娟, 熊康宁, 等. 石漠化旅游: 生态重建与保护的有效途径[J]. *生态经济*, 2012, 28(10): 101-106.
- ZOU X X, DU F J, XIONG K N, et al. Rocky desertification tourism: The effective way to reconstruct and protect ecology [J]. *Ecological Economy*, 2012, 28(10): 101-106.
- [9] 邹细霞, 杜芳娟, 熊康宁. 喀斯特石漠化地区生态农业与社区旅游系统耦合研究: 以清镇羊昌洞为例[J]. *中国岩溶*, 2009, 28(4): 406-412.
- ZOU X X, DU F J, XIONG K N. Study on coupling eco-agricultural system with community tourist system in karst rock desertification area: A case in Yangchangdong, Qingzhen [J]. *Carsologica Sinica*, 2009, 28(4): 406-412.
- [10] 王巧玲. 居民对文化生态系统服务的感知及其影响路径分析: 以广西喀斯特生态系统为例[D]. 南宁: 广西大学, 2022.
- [11] 李凯, 沈雯, 黄宗胜. 城市绿色空间生态系统文化服务绩效评价: 以贵阳市黔灵山公园为例[J]. *城市问题*, 2019(3): 44-50.
- LI K, SHEN W, HUANG Z S. Performance evaluation of cultural services in urban green space ecosystem: Taking Qianlingshan park as example [J]. *Urban Problem*, 2019(3): 44-50.
- [12] 李永钧, 张单阳, 王珂, 等. 乡村生态系统文化服务供需关系研究: 以浙江省湖州市为例[J]. *生态学报*, 2022, 42(17): 6888-6899.
- LI Y J, ZHANG S Y, WANG K, et al. Supply-demand relationships of cultural ecosystem services in rural areas: A case study of Huzhou City, Zhejiang Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(17): 6888-6899.
- [13] ZHOU L L, GUAN D J, HUANG X Y, et al. Evaluation of the cultural ecosystem services of wetland park [J]. *Ecological Indicators*, 2020, 114(7): 106286.
- [14] 彭婉婷, 刘文倩, 蔡文博, 等. 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[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(2): 439-448.
- PENG W T, LIU W Q, CAI W B. Evaluation of ecosystem cultural services of urban protected areas based on public participation GIS (PPGIS): A case study of Gongqing Forest Park in Shanghai, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(2): 439-448.
- [15] BORRELLO M, CECCHINI L, VECCHIO R, et al. Agricultural landscape certification as a market-driven

- tool to reward the provisioning of cultural ecosystem services [J]. *Ecological Economics*, 2022, 193: 107286.
- [16] MENG S T, HUANG Q X, ZHANG L, et al. Matches and mismatches between the supply of and demand for cultural ecosystem services in rapidly urbanizing watersheds: A case study in the Guanting Reservoir Basin, China[J]. *Ecosystem Services*, 2020, 45: 101156.
- [17] 戴培超, 张绍良, 刘润, 等. 生态系统文化服务研究进展: 基于 Web of Science 分析[J]. *生态学报*, 2019, 39(5): 1863-1875.
- DAI P C, ZHANG S L, LIU R, et al. Research progress in ecosystem cultural services: Based on Web of Science [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(5): 1863-1875.
- [18] HIRONS M, COMBERTI C, DUNFORD R. Valuing cultural ecosystem services[J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2016, 41: 545-574.
- [19] BRAAT L C, DE GROOT R. The ecosystem services agenda: Bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development and public and private policy[J]. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 4-15.
- [20] SHERROUSE B C, SEMMENS D J, CLEMENT J M. An application of social values for ecosystem services (SolVES) to three national forests in Colorado and Wyoming[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 36: 68-79.
- [21] RUSKULE A, KLEPERS A, VEIDEMANE K. Mapping and assessment of cultural ecosystem services of Latvian coastal areas[J]. *One Ecosystem*, 2018, 3: e25499.
- [22] 霍思高, 黄璐, 严力蛟. 基于 SolVES 模型的生态系统文化服务价值评估: 以浙江省武义县南部生态公园为例[J]. *生态学报*, 2018, 38(10): 3682-3691.
- HUO S G, HUANG L, YAN L J. Valuation of cultural ecosystem services based on SolVES: A case study of the South Ecological Park in Wuyi County, Zhejiang Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(10): 3682-3691.
- [23] RICHARDS D R, TUNÇER B. Using image recognition to automate assessment of cultural ecosystem services from social media photographs [J]. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 318-325.
- [24] CAO H J, WANG M, SU S L, et al. Explicit quantification of coastal cultural ecosystem services: A novel approach based on the content and sentimental analysis of social media [J]. *Ecological Indicators*, 2022, 137: 108756.
- [25] 殷红梅. 贵州喀斯特地区旅游资源的变异与可持续利用[J]. *中国人口·资源与环境*, 1999, 9(2): 26-30.
- YIN H M. The tourist resources' changes and sustainable utilization in Guizhou karst region [J]. *China Population, Resources and Environment*, 1999, 9(2): 26-30.
- [26] 何斌, 李青. 喀斯特山区生态旅游环境承载力评价体系的构建[J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(22): 5643-5647.
- HE B, LI Q. Establishment of evaluation system for eco-tourism environmental carrying capacity in karst mountain areas [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(22): 5643-5647.
- [27] ESCARPINATI S C, SIQUEIRA T, MEDINA P B J, et al. Short-term effects of visitor trampling on macro-invertebrates in karst streams in an ecotourism region [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2014, 186(3): 1655-1663.
- [28] 谷睿, 唐健民, 韦霄, 等. 广西喀斯特天坑资源及其旅游开发研究[J]. *广西科学*, 2021, 28(2): 196-207.
- GU R, TANG J M, WEI X, et al. Study on karst Tiankeng resources and tourism development in Guangxi[J]. *Guangxi Sciences*, 2021, 28(2): 196-207.
- [29] DEMIROVIC D, RADOVANOVIC M, PETROVIC M, et al. Environmental and community stability of a mountain destination: An analysis of residents' perception [J]. *Sustainability*, 2017, 10(1): 70.
- [30] POWELL R B, GREEN T F, HOLLADAY P J, et al. Examining community resilience to assist in sustainable tourism development planning in Dong Van Karst Plateau Geopark, Vietnam[J]. *Tourism Planning & Development*, 2018, 15(4): 436-457.
- [31] 符莲, 熊康宁, 高洋. 喀斯特地区旅游产业与生态环境耦合协调关系定量研究: 以贵州省为例[J]. *生态经济*, 2019, 35(1): 125-130.
- FU L, XIONG K N, GAO Y. Quantitative study on coupling relationship between tourism industry and ecological environment in karst area: A case study of Guizhou province[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(1): 125-130.
- [32] 庄淑蓉, 杜芳娟, 叶仕安. 多维贫困视角下的旅游扶贫与空间正义研究: 以贵州施秉喀斯特世界遗产地社区为例[J]. *人文地理*, 2020, 35(2): 32-38.
- ZHUANG S R, DU F J, YE S A. Research on spatial justice and pro-poor tourism from the perspective of multidimensional poverty: The case study of the community in Shibing Karst Heritage Site in Guizhou Prov-

- ince[J]. *Human Geography*, 2020, 35(2): 32-38.
- [33] GHERMANDI A, CAMACHO-VALDEZ V, TREJO-ESPINOSA H. Social mediabased analysis of cultural ecosystem services and heritage tourism in a coastal region of Mexico[J]. *Tourism Management*, 2020, 77: 104002.
- [34] FINLAYSON M, CRUZ R D, DAVIDSON N, et al. Millennium ecosystem assessment: Ecosystems and human well-being: wetlands and water synthesis[J]. *Data Fusion Concepts & Ideas*, 2005, 656(1): 87-98.
- [35] KO H, SON Y. Perceptions of cultural ecosystem services in urban green spaces: A case study in Gwacheon-Republic of Korea[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 91: 299-306.
- [36] CLEMENTE P, CALVACHE M, ANTUNES P, et al. Combining social media photographs and species distribution models to map cultural ecosystem services: The case of a Natural Park in Portugal[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 96: 59-68.
- [37] 赵雨晴, 游巍斌, 林雪儿, 等. 游客和居民视角下武夷山市生态系统文化服务感知比较研究[J]. *生态学报*, 2022, 42(10): 4011-4022.
- ZHAO Y Q, YOU W B, LIN X E, et al. Perception of cultural ecosystem services in Wuyishan city from the perspective of tourists and residents[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(10): 4011-4022.
- [38] 胡炜霞, 耿梦杰. 黄河流域中部山地旅游景区空间分布格局及归因分析: 以山西省为例[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2023, 53(2): 151-160.
- HU W X, GENG M J. Spatial distribution pattern and attribution analysis of mountain tourism scenic spots in the central Yellow River Basin: A case study of Shanxi Province[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2023, 53(2): 151-160.
- [39] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.
- WANG J F, XU C D. Geodetector: Principle and perspective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.
- [40] SONTER L J, WATSON K B, WOOD S A, et al. Spatial and temporal dynamics and value of nature-based recreation estimated via Social Media[J]. *PLoS One*, 2016, 11(9): e0162372.
- [41] 付晶, 高峻, 李杰, 等. 珠穆朗玛峰保护地生态系统文化服务空间分布及评价[J]. *生态学报*, 2021, 41(3): 901-911.
- FU J, GAO J, LI J, et al. Spatial analysis and assessment of cultural ecosystem services at the protected area of the Mt. Qomolangma[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(3): 901-911.
- [42] 王坤, 雷振仙. 山地骑行旅游的时空特征及形成机理: 以贵州省为例[J]. *旅游科学*, 2023, 37(2): 133-154.
- WANG K, LEI Z X. Spatial and temporal characteristics of mountain biking tourism and the mechanism of its formation: A case study of Guizhou Province[J]. *Tourism Science*, 2023, 37(2): 133-154.
- [43] 郭向阳, 明庆忠, 杨春宇, 等. 喀斯特生态脆弱区旅游生态系统韧性时空变化及多尺度障碍因素: 以贵州省为例[J]. *经济地理*, 2023, 43(10): 190-200, 230.
- GUO X Y, MING Q Z, YANG C Y, et al. Spatiotemporal evolution of tourism ecosystem resilience in karst ecologically fragile areas and its multi-scale obstacle factors: A case study of Guizhou[J]. *Economic Geography*, 2023, 43(10): 190-200, 230.
- [44] 叶仕安, 杜芳娟, 吴克华, 等. 景区依附型社区参与旅游发展的文化限制性分析: 以施秉喀斯特遗产地社区为例[J]. *世界地理研究*, 2023, 32(6): 142-156.
- YE S A, DU F J, WU K H, et al. Cultural limitation analysis of participation in tourism development in scenic area dependent communities: The case study of the communities in Shibing Karst Heritage Site[J]. *World Regional Studies*, 2023, 32(6): 142-156.

(编辑 李静)