主持人：宋希强，任明迅　Open Access

基于 SolVES 的吊罗山生态系统文化服务价值评估

赖恢铿[1,2#]，闫雅琦[3]，曹凌仪[4]，杨　帆[3]，何荣晓[1,3*]

（1. 海南国家公园研究院/海南国家公园保护与发展重点实验室，海南 海口 570203 中国；2. 三亚市林业科学研究院，海南 三亚 572000 中国；3. 海南大学 热带农林学院，海南 海口 570228 中国；4. 海南大学 生态学院，海南 海口 570228 中国）

摘　要：生态系统文化服务（cultural ecosystem services, CES）价值反映了人类在特定情境下对生态系统非物质惠益的感知与偏好。以海南热带雨林国家公园吊罗山为研究对象，于 2024 年上半年获得有效问卷 231 份（有效率 94.67%），提取社会价值点 12 167 个。基于生态系统服务社会价值（social values for ecosystem services, SolVES）模型，结合加权核密度估计构建 0 ~ 10 的价值指数栅格，并通过平均最近邻分析与全局 Moran's *I* 检验其空间聚集显著性，同时耦合最大熵模型（maximum entropy model, MaxEnt）评估环境因子对 CES 价值格局的约束。结果表明：1）社会价值热点主要集中于后山景区、房车营地、吊罗小镇等少数游憩节点，冷点集中于小妹水库与大里瀑布附近，呈现“节点集聚—外围稀疏”的总体格局；在 24 个景点中，山地雨林社会价值点最多（655 个，5.38%），其次为天湖与枫果山瀑布（合计 617 个，5.07%），大森林酒店最少（390 个，3.21%）。2）7 类价值均表现为聚集分布：平均最近邻比率均小于 1 且 *Z* 值为负值；全局 Moran's *I* 表明各价值类型价值指数均呈显著正空间自相关（$P < 0.001$）。3）SolVES–MaxEnt 模型表现良好，各价值类型训练集受试者工作特征曲线下面积（area Under the receiver operating characteristic curve, AUC）为 0.942 7 ~ 0.966 6，测试集 AUC 为 0.944 6 ~ 0.966 4。4）环境响应表明“可达性—亲水可感知性”是 CES 价值集聚的关键约束：距道路距离对多数价值类型贡献突出，距水体距离（distance to waterbodies, DTW）呈现明确偏好阈值，多数文化价值类型的最大价值指数对应的 DTW 约 39 m。结合价值点数量（*N*），受访者偏好及重要程度排序为：美学价值 > 生物多样性价值 > 经济价值 > 娱乐价值 > 历史文化价值 > 科研教育价值 > 康体疗养价值。研究为国家公园游憩分区管控与游客流线组织提供空间化依据。

关键词：生态系统文化服务价值；社会价值点；SolVES–MaxEnt；海南热带雨林国家公园

中图分类号：G127；X826　**文献标志码：**A　**文章编号：**1674 − 7054(2026)05 − 0760 − 15

赖恢铿，闫雅琦，曹凌仪，等. 基于 SolVES 的吊罗山生态系统文化服务价值评估[J]. 热带生物学报(中英文), 2026, 17(5): 760−774.　DOI: 10.15886/j.cnki.rdswxb.20250154　CSTR: 32425.14.j.cnki.rdswxb.20250154

生态系统文化服务（cultural ecosystem services, CES）是生态系统服务体系的重要组成部分，其概念在《千年生态系统评估》所构建的框架中被系统提出，用于表征人类从生态系统中获得的精神、审美与认知等非物质收益，包括美学观赏、休闲游憩与科研教育等[1−2]。联合国《环境—经济核算体系：生态系统核算》进一步将其内涵界定为“与生态系统的感知或实现特性相关的体验性和非物质性服务，其存在和功能使个人能够获得多样化的文化效益”[3]。相较于供给、调节与支持服务，文化服务具有明显的非物质性与主观感知性，并表现出显著的空间异质性，使其难以被单一生物物理指标或市场价格加以衡量[4−5]。因此，CES 价值并非单纯由生态系统供给能力决定，而是环境空间属性与公众感知共同作用的结果[6]。近年来，CES 价值逐渐成为生态系统服务研究的重要议题，其评估被认为是连接生态系统功能、人类福祉与空间治理决策的关键环节，但在国家公园等以严格保护

CC BY 4.0
收稿日期：2025−10−28　**修回日期：**2026−03−28

基金项目：海南热带雨林国家公园体制试点区社区规划研究项目（421QN200）

#**第一作者：**赖恢铿（1999—），男，硕士。研究方向：国家公园生态资源挖掘与利用。E-mail: laihuikengstudy@163.com

*__通信作者：__何荣晓（1987—），男，讲师博士生导师。研究方向：景观生态规划与生物多样性保护。E-mail: rx.he@hainanu.edu.cn

为主、分区管控明确的区域内, 如何将公众感知的 CES 价值进行评估并解释其影响机制仍有待进一步研究[7−8]。

CES 价值评估方法主要包括货币化评估与非货币化评估两大类[9−11]。货币化评估通常通过支付意愿法、旅行成本法或条件价值评估法等手段对部分游憩价值进行间接估值[9−12], 但其对精神性、象征性与体验性价值反映仍存在局限[10, 13]。非货币化评估则强调公众感知的空间化表达, 常借助参与式制图、问卷赋值与空间统计等方法将主观认知转化为可制图的价值分布[14−16]。为提升非货币化 CES 评估的空间表达能力, 美国地质调查局开发了生态系统服务社会价值(social values for ecosystem services, SolVES)模型[17], 用于量化公众感知的非市场社会价值, 形成可比较的价值指数与空间格局, 与环境因子耦合可揭示公众偏好与环境特征之间的关系[18−19]。相关研究多以自然保护地与国家公园等管理边界相对清晰的单元为研究对象, 从而便于将价值热点与分区管控、游线组织等管理需求对接[20−21]。国内研究亦主要集中于城市公园、湿地公园与典型游憩区等, 侧重公众赋值与点位标注驱动的社会价值制图及其规划启示[22−25]。然而, 在国家公园的管理中, 仍缺少将价值热点的显著性检验、关键环境约束机制识别与可操作的分区和游线管理措施相整合的研究。

现有国家公园规划与评估实践仍偏重自然价值与生物物理指标, 对公众在精神、象征与情感层面的感知与体验关注不足, CES 价值在正式管理体系中的系统整合相对有限[26]。同时, 针对国家公园开展 CES 价值的空间量化评估研究仍相对缺乏[27]。海南热带雨林国家公园以保护海南岛热带雨林生态系统完整性为目标, 为热带雨林国家公园 CES 价值研究提供典型样本[28]。其中, 吊罗山片区具有代表性的热带雨林景观格局, 地形起伏与降雨条件共同塑造了河谷、瀑布等关键景观要素, 为审美体验与生态游憩提供重要载体[29]。同时, 该片区已开展自然体验与科普教育活动, 并配套建设以物种保育和科普教育为核心功能的设施体系。一方面, 这为公众感知数据的获取与价值评估的实施提供了条件保障; 另一方面, 也有利于将评估结果进一步用于分区管控、承载量控制与游线分流等管理实践。在景观资源、公众体验与教育研学相互耦合的复合情境下, 吊罗山片区能够更为清晰地表征不同文化价值类型的空间分异特征。

基于此, 本研究以吊罗山片区为研究对象, 结合社会调查与地理信息数据, 借助 SolVES 模型开展 CES 价值的空间量化评估。该模型以受访者的感知赋值与社会价值点标注为输入, 耦合最大熵模型(maximum entropy model, MaxEnt)与环境变量栅格, 实现公众感知与自然环境约束之间的空间耦合表达。在 SolVES–MaxEnt 框架下, 进一步反映 CES 价值空间格局的环境响应关系, 并量化关键因子的相对贡献与重要性。旨在揭示 CES 价值的空间分布格局及其影响机制, 并据此提出面向国家公园管理的 CES 价值优化策略, 为国家公园分区管控、游憩承载优化与分流组织、科普教育设施布局及生态修复等空间优化提供依据, 同时为生态补偿的证据化讨论与精细化管理提供参考。

1　材料与方法

1.1　研究区域　海南热带雨林国家公园吊罗山片区位于海南岛东南部、海南热带雨林国家公园东部, 地跨陵水黎族自治县、万宁市、保亭黎族苗族自治县与琼中黎族苗族自治县 4 个市县, 面积约 447 km^2。本研究以吊罗山(18°38'58.81" ~ 18°51'0.07" N, 109°40'41.47" ~ 110°4'7.04" E)为对象, 在吊罗山片区选取游客可进入游憩的一般控制区及其周边区域作为研究范围, 总面积约 245 km^2(图 1)。区内景观类型多样, 包含热带雨林、山间河谷、瀑布与水库等自然资源, 并兼具历史人文与自然教育基地等文化资源。周边交通便捷, 园内道路体系清晰, 基础设施较为完善, 具有较好的研究典型性[30]。

1.2　调查数据与社会价值点获取　为掌握吊罗山游憩资源现状及游客对 CES 的感知特征, 本研究在正式问卷调查前开展实地游憩资源踏勘与预调研, 通过拍照、路径记录与地图标注, 核实景点分布、道路通达性、基础设施与典型景观要素, 并结合半结构式访谈, 形成问卷设计并为价值类型提供依据。正式调查采用纸质问卷(游玩特征与体验、CES 偏好赋值与价值类型选择、基本信息 3 部分), 参考 SolVES 典型案例框架并结合预调研反馈, 确定 7 类 CES 价值类型(表 1)[31−34]。受访者

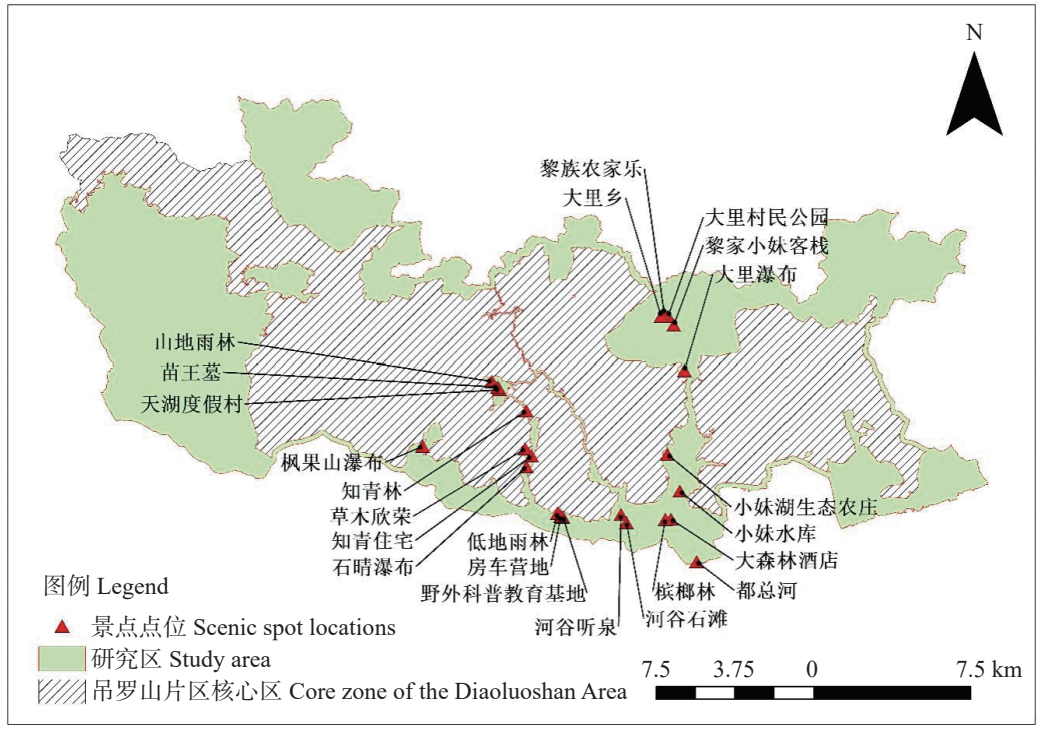

图 1 研究区域

Fig. 1 Study area

表 1 CES 价值类型与描述

Tab. 1 Types and descriptions of CES

价值类型 Value types	价值描述 Value description
美学价值 Aesthetic value	通过形态、色彩、声音等感官特质，带来精神层面的审美愉悦与情感共鸣的价值
生物多样性价值 Biodiversity value	维持物种、基因及生态系统多样性，保障生态平衡的基础价值
历史文化价值 Historical-cultural value	记录历史记忆、承载地域文化，维系文化认同与遗产传承的价值
经济价值 Economic value	与游憩消费便利性、服务获取、地方服务节点等相关的经济性文化效益
科研教育价值 Scientific-educational value	作为天然实验室与教育载体，支撑科学研究、知识获取及公众认知提升的价值
娱乐价值 Recreation value	为公众提供休闲娱乐活动空间，满足身心放松与愉悦体验的价值
康体疗养价值 Health and wellness value	依托自然环境承载户外徒步、慢跑等活动，改善身体健康与心理健康的价值

在 100 元的假定总金额下对各价值类型进行分值分配以表征相对偏好强度，并在研究区底图上标注相应社会价值点[35]。调查于 2024 年上半年实施，共获得有效问卷 231 份（共发放 244 份，有效率为 94.67%）。社会价值点由问卷第二部分的底图标注信息在 ArcGIS 中量化生成点状矢量图层（SURVEY_POINTS），并在属性表中记录价值类型与分值等字段。问卷内容同步整理为 Attitude_Types、Use_Attitude、Use_Types、Value_Allocation 和 Value_Types 等表格数据，并按 SolVES 模型数据结构要求导入[35]。其中，Value_Allocation 用于记录受访者对各价值类型的 100 元分配结果，Attitude_Types 和 Use_Attitude 表按模型默认字段采用 1 ~ 5 整数编码态度信息。

1.3 数据来源与预处理 本研究所需的地理数据包括研究区边界、社会价值点点状矢量图层及相关的空间环境变量。结合吊罗山的地理环境特征，研究选取高程（elevation, ELEV）、坡度（slope, SLOPE）、距水体的距离（distance to waterbodies, DTW）、距道路的距离（distance to roads, DTR）、土地利用覆被（land use and land cover, LULC）、归一化植被指数（normalized difference vegetation index, NDVI）作为环境变量（表 2）对研究区 CES 价值进行量化与分析。

表 2　数据来源

Tab. 2　Data sources

数据类型 Data type	空间分辨率/m Spatial resolution	来源 Source
NDVI	30	https://earthengine.google.com/
DTR	30	http://www.webmap.cn
LULC	30	http://www.resdc.cn
SLOPE	30	http://www.gscloud.cn/
ELEV	30	http://www.gscloud.cn/
DTW	30	http://www.webmap.cn

注: 为保证多源数据的一致性与可比性, 所有矢量与栅格数据统一至同一投影坐标系; 栅格变量统一重采样至30 m, 并裁剪至研究区范围。高程由DEM中获取; DTR与DTW由欧氏距离计算获得。

Note: To ensure the consistency and comparability of multi-source data, all vector and raster datasets were unified to the same projected coordinate system. All raster variables were resampled to 30 m and clipped to the study area. Elevation was derived from the DEM, while DTR and DTW were calculated using the Euclidean distance method.

1.4　研究方法　本文在 SolVES–MaxEnt 框架下进行 CES 价值的评估, 并结合空间自相关检验分析其聚集显著性, 主要步骤如下:

1.4.1　SolVES 价值制图与热点识别　基于受访者在研究区底图上标注的社会价值点, 在 ArcGIS 中采用平均最近邻分析(average nearest neighbor, ANN), 计算最邻近比率(nearest neighbor ratio, R)及其标准化统计量(Z-score, Z)与显著性概率(P 值), 以分析不同价值类型点位分布的聚集趋势。同时对社会价值点开展加权核密度估计, 权重采用受访者对各价值类型的分值分配结果生成各价值类型核密度栅格。随后将其导入 SolVES 中进行标准化处理, 构建 0 ~ 10 的价值指数(value index, VI)栅格, 并提取最大价值指数(maximum value index, M-VI)及其空间位置, 实现不同价值类型之间的可比化表达与热点定位。本研究进一步以各价值类型的 VI 栅格为对象, 采用 ArcGIS 计算全局 Moran's I, 并通过置换检验获得 Z 值与 P 值, 以判断 VI 的空间分布是否显著偏离随机格局。空间权重采用反距离并进行标准化处理, 当 Moran's I 显著大于 0($P < 0.05$)时, 表明存在显著正空间自相关; 当 Moran's I 显著小于 0 时, 表明呈离散格局; 若不显著($P \geqslant 0.05$), 则认为空间分布与随机格局无显著差异。

1.4.2　SolVES–MaxEnt 耦合建模　将环境变量栅格导入 SolVES–MaxEnt 模块, 耦合社会价值点进行潜在分布模拟, 并在 ArcGIS 中输出空间分布图。同时利用 MaxEnt 输出的响应曲线反映环境变量与模型输出之间的非线性关系。环境因子重要性综合采用百分贡献率与置换重要性: 百分贡献率用于表征变量在训练过程中对模型增益提升的相对贡献; 置换重要性通过随机置换单一变量取值并比较模型预测性能(曲线下面积(area under the curve, AUC))变化来衡量该变量对判别能力的独立贡献[36]。鉴于百分贡献率可能受变量相关性与训练路径影响, 而置换重要性在一定程度上更能体现变量信息的独立性, 本文采用二者联合判读的方法: 优先关注两项指标同时较高的关键因子, 并结合响应曲线解释其作用方向及阈值区间[37]。

MaxEnt 模型在 SolVES 平台中调用其集成的 MaxEnt 引擎进行建模。关键参数设置如下: 背景点数为 10 000, 特征类型为 LQHPT(线性、二次、乘积、阈值与铰链特征), 正则化系数为 1.0, 最大迭代次数为 500, 收敛阈值为 0.000 01, 重复运行 10 次, 训练/测试划分方式为 75%/25%(训练集/测试集)。重复运行采用 subsample 方式进行 10 次重复, 以降低单次训练/测试带来的不确定性; 除上述关键项外, 其余设置均保持 SolVES/MaxEnt 默认配置(包括输出类型等)。模型性能采用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic, ROC)及 AUC 进行评价。ROC 曲线以假阳性率为横轴、真阳性率为纵轴, 曲线越贴近左上角表明模型判别能力越强[38]; 若曲线接近对角线则表明判别能力接近随机。AUC 取值范围为 0.5 ~ 1.0, AUC< 0.7 表示模型性能较弱, 0.7 ~ 0.8 为可接受, 0.8 ~ 0.9 为较好, >0.9 为优秀[39]。

2　结果与分析

2.1　受访者人口统计学特征　对 231 份有效问卷进行统计分析(表 3), 结果表明受访者中男性占 51.52%, 女性占 48.48%, 男女比例为 1.06:1, 比例基本持平; 96.11% 的受访者年龄在 50 岁以下, 其中 20 ~ 30 岁的受访者占比最高(34.2%), 其次为 30 ~ 40 岁(23.38%)和小于 20 岁(22.51%); 受访者中, 具有大专或本科学历者占 49.35%, 研究生及以

表 3 受访者基本情况

Tab. 3 Basic information of respondents.

项目 Item	类别 Category	频数 Frequency	百分比/% Percentage
性别 Gender	男 Male	119	51.52
	女 Female	112	48.48
年龄 Age	<20	52	22.51
	21 ~ 30	79	34.20
	31 ~ 40	54	23.38
	41 ~ 50	37	16.02
	51 ~ 60	4	1.73
	>60	5	2.16
学历 Level of education	高中以下 Below high school	53	22.94
	高中学历 High school diploma	38	16.54
	专科 Junior college education	33	14.29
	本科 Bachelor's degree	81	35.06
	硕士及以上 Master's degree or above	26	11.26
职业 Occupation	公司职员 General company employee	47	20.35
	商业服务业人员 Commercial service worker	11	4.76
	企事业单位管理人员 Managerial staff in enterprises and public institutions	21	9.09
	个体经营者 Self-employed	32	13.85
	公务员 Civil servant	9	3.90
	学生 Student	73	31.60
	科教文卫工作者 Professionals in science, education, culture, and health	10	4.33
	军人 Military personnel	6	2.60
	其他职业 Other occupations	22	9.52
客源地 Visitor origin	吊罗山本地及周边县镇 Diaoluoshan local area and surrounding counties/towns	113	48.92
	海南省内其他地区 Other areas within Hainan Province	77	33.33
	其他省 Other provinces	41	17.75

上学历占 11.26%，两者合计占比为 60.61%；职业分布广泛，以学生(31.6%)和公司普通员工(20.35%)为主；地理分布方面，吊罗山本地及周边县镇占比 48.92%，省内其他地区及省外占比 51.08%，比例为 1:0.94，基本相当。

2.2 空间聚类分析

2.2.1 文化服务价值点的空间分布 通过对受访者标记的不同类型的社会价值点进行核密度分析，得到其空间分布情况(图 2)。分析结果显示，社会价值点主要分布在三大区域：后山景区、房车营地及吊罗小镇，其中后山景区包括度假村、天湖、苗王墓及山地雨林，房车营地部分包括房车营地、野外科普教育基地及低地雨林，吊罗小镇部分包括大里乡、大里村民公园及黎族农家乐。这 3 大区域的景点呈现出空间聚集特征，形成了明显的热点区域。在 24 个景点中，山地雨林社会价值点数量最多，高达 655 个，占社会价值点总数的 5.38%。其次是天湖和枫果山瀑布，社会价值点数共 617 个，占总数的 5.07%；而大森林酒店的社会价值点数量最少，为 390 个，占总数的 3.21%(图 3)。

2.2.2 文化服务价值类型的空间聚集性检验 根据 ANN 统计结果(表 4)，7 种 CES 价值类型的点位分布均呈聚集格局(R<1 且 Z 值为负)，其中美学价值的聚集程度最高。进一步以各价值类型的 VI 栅格计算全局 Moran's I(表 5)，结果显示 7 类价值的 Moran's I 均为正且达到显著水平(P<0.001)，表明 VI 在空间上存在显著正空间自相关。根据 M-VI 排序得出：美学价值>生物多样性价值=经济价值>历史文化价值=科研教育价值=娱乐价值>康

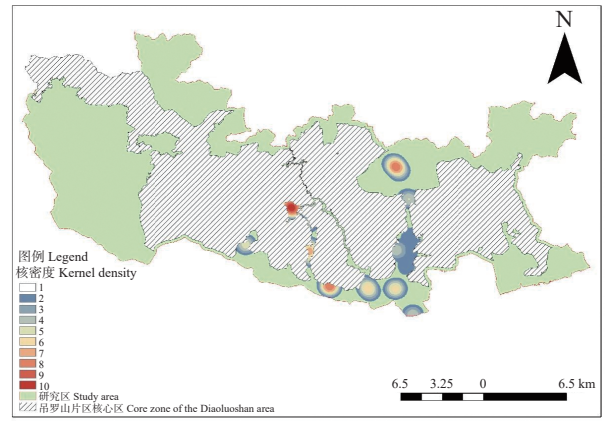

图 2 研究区 CES 价值点核密度分析

Fig. 2 Kernel density map of mapped CES value points in the study area

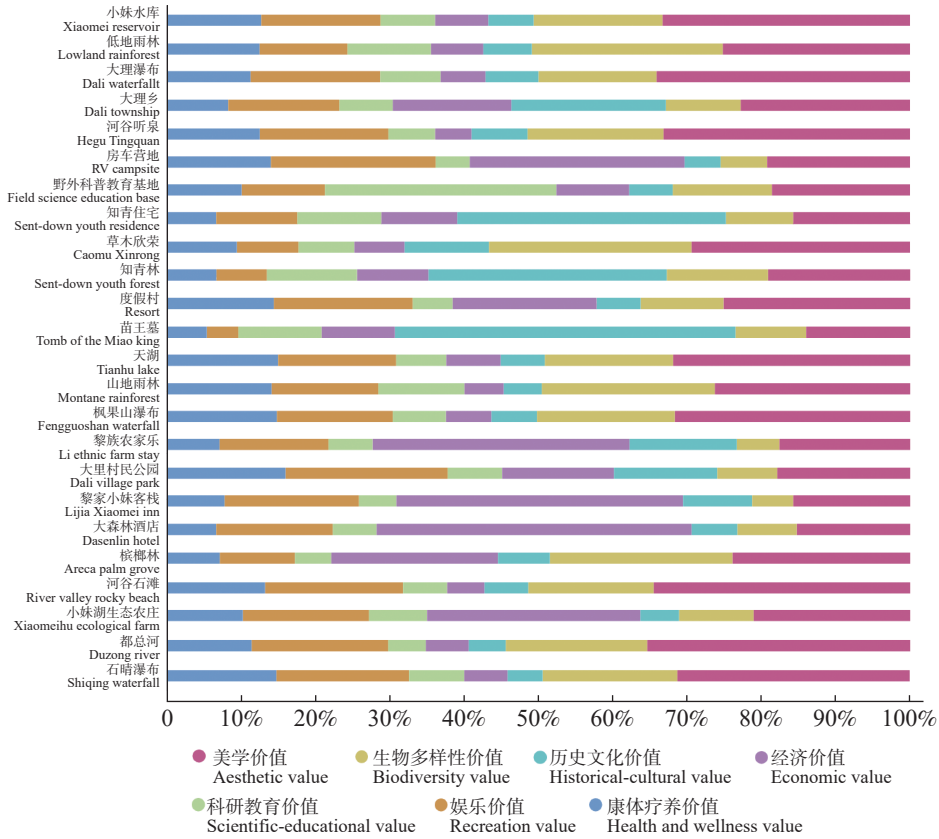

图 3　不同价值类型价值点占比及所在景点

Fig. 3　Proportions of value points by CES type and associated scenic spots in the study area

体疗养价值。结合价值点数量(N),受访者对 7 类 CES 价值的偏好及重要程度排序为:美学价值>生物多样性价值>经济价值>娱乐价值>历史文化价值>科研教育价值>康体疗养价值。

2.2.3　文化服务价值的空间分布　不同价值类型的空间分布结果显示(图 4),研究区 CES 价值总体呈现显著空间异质性。各价值类型的高值区主要表现为沿主要游憩节点的斑块状或带状集聚分布,美学价值的高值等级与高值区边界更为清晰,空间梯度变化更明显。

分类型来看,美学价值高值区主要集中于后山景区与吊罗小镇相关节点。生物多样性价值、科研教育价值与娱乐价值的高值区整体偏向后山景区,体现出自然景观与游憩活动空间的较强叠置特征。历史文化价值与经济价值的高值区则更多出现在吊罗小镇及周边节点(如大里乡、大里村民公园及相关服务设施),反映出社区生活空间与旅游服务功能对该类价值表达的支撑作用。相比之下,康体疗养价值的整体水平相对较低,其高值区规模较小且呈局部集聚特征,主要分布于后山景区及知青林等节点。

2.3　文化服务价值与地理环境因素的关系

2.3.1　模型性能评估　本研究的 ROC 曲线整体明显偏离对角线并更贴近左上角区域,各价值类型训练与测试 AUC(表 6)均大于 0.90,表明模型具有较高判别能力,能够有效支持后续对 CES 价值空间分布及其环境驱动因素的分析。

2.3.2　地理环境因素对文化服务价值的影响　由图 5 可知,各环境因子与 CES 的 VI 之间普遍呈现非线性响应关系。总体上,可达性与邻水性因素对多数价值类型表现出更一致的响应特征,而地形与植被因子则体现出更强的类型差异。在距道路 0 ~ 700 m 内,各类文化服务 VI 整体随距离增加而降低;超过 700 m 后,VI 变化幅度减小并趋于稳定。该结果反映 CES 价值表达与游憩活动集聚及可进入性密切相关。

DTW 结果显示,除科研教育价值外,其余价值类型的 M-VI 多出现在距水体约 39 m 处:0 ~ 39 m 内 VI 随 DTW 增大而上升,39 ~ 1 500 m 内转为下降,且 DTW 大于 1 600 m 后趋于平稳;科研教育价值的 M-VI 出现在 DTW 为 49 m 处。表明水体邻近性对 VI 呈现分段(阈值)响应特征,且不同价

表 4 研究区 7 种 CES 价值的 ANN 分析结果及 M-VI

Tab. 4 ANN analysis results and M-VI of seven CES types in the study area.

价值类型 Value types	价值点数量 Number of value points	最大价值指数 M-VI	*R*值 *R* score	*Z*值 *Z* score
美学价值 Aesthetic value	3 084	10	0.081 752	−87.710 594
生物多样性价值 Biodiversity value	1 849	7	0.080 085	−68.385 942
历史文化价值 Historical-cultural value	1 316	6	0.068 578	−55.094 237
经济价值 Economic value	1 669	7	0.061 905	−68.667 021
科研教育价值 Scientific-educational value	1 038	6	0.069 505	−51.253 360
娱乐价值 Recreation value	1 849	6	0.075 808	−69.180 000
康体疗养价值 Health and wellness value	1 362	5	0.075 980	−59.343 624

表 5 各 CES 的全局 Moran's *I*

Tab. 5 Global Moran's *I* of seven CES value indices

价值类型 Value types	Moran's *I* 指数 Moran's *I* index	*Z*值 *Z* score	*P*值 *P* value
美学价值 Aesthetic value	0.806 011	599.020 133	$P < 0.001$
生物多样性价值 Biodiversity value	0.734 500	489.865 847	$P < 0.001$
历史文化价值 Historical-cultural value	0.646 566	382.542 516	$P < 0.001$
经济价值 Economic value	0.508 502	288.845 988	$P < 0.001$
科研教育价值 Scientific-educational value	0.654 585	384.218 241	$P < 0.001$
娱乐价值 Recreation value	0.658 793	403.419 343	$P < 0.001$
康体疗养价值 Health and wellness value	0.684 837	423.935 089	$P < 0.001$

值类型的敏感位置不同。

地形因子方面，各价值类型高值主要集中于海拔约 50 m 和 930 m 附近，且坡度约 2°时 VI 达到峰值后总体下降；美学与康体疗养价值在约 25°后小幅回升，并在 34°左右形成局部峰值。表明地形影响呈分段与类型差异特征，缓坡与较易进入地形更利于价值表达，而局部陡坡可能因特定景观体验形成高值。

LULC 方面，林地 VI 分布范围最广，耕地、裸地与水体在多类价值类型中呈相对较高 VI，灌木地高值分布相对有限；NDVI 在 −0.7 ~ −0.2 及 −0.2 ~ 0.2 内 VI 较高，随 NDVI 增大 VI 整体下降。一定程度上说明 VI 高值更可能与水体景观、开阔空间及游憩设施节点叠置有关，而非随植被覆盖度单调上升。

2.3.3 地理环境因素对模型结果的影响 MaxEnt 模型结果（表 7）显示，DTR 与 DTW 为模型中较为关键的影响因子。除生物多样性价值外，DTR 对其余 6 类价值类型的百分贡献率均为最高。而 DTW 对生物多样性价值的贡献最大，百分贡献率为 43%。LULC 在所有价值类型中的置换重要性均低于 1%，但在历史文化价值、经济价值与康体疗养价值中，其百分贡献率位居前三，表明 LULC 在模型拟合过程中具有一定贡献，但其对预测结果的敏感性相对较弱。

3 讨 论

3.1 文化服务价值的空间分布特征 从空间格局来看，吊罗山社会价值热点主要集中于后山景区、吊罗小镇及房车营地周边，整体呈现少数节点集聚、外围相对稀疏的分布特征。该格局可能与游憩节点的集聚格局以及道路可达性空间的约束相一致。在林地占比高且通行条件受限的背景下，访客更倾向于在可进入性较强、设施相对完善的景点与游线周边形成高频停留与体验，进而在空间上表现为热点集聚[40−41]。冷点区则集中于小妹水库和大里瀑布附近，可能与标识系统不完善、游线连通性不足及局部安全条件受限等因素有关。

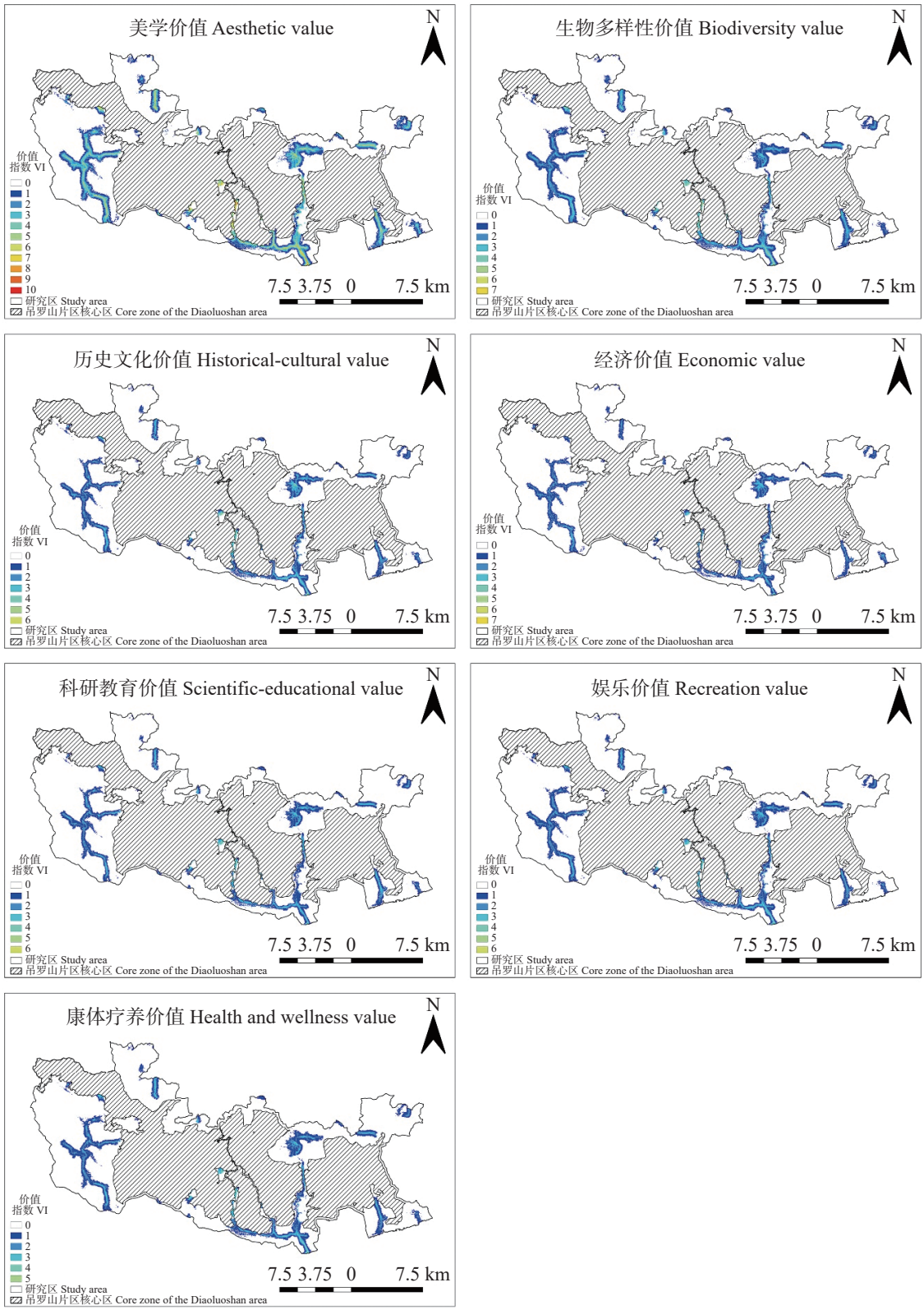

图 4　研究区 CES 价值的空间分布

Fig. 4　Spatial distribution of CES values in the study area

在此情形下，即使这些区域具备潜在景观吸引力，也难以转化为可被感知与表达的社会价值点[42]。

价值类型层面，结合 M−VI 与社会价值点数量的综合结果，受访者对美学价值、生物多样性价值和经济价值表现出较高的偏好，而对科研教育价值和康体疗养价值的感知相对较弱。其中，对美学与生物多样性价值的高偏好与后山景区等区域的雨林景观密度、典型景观要素与观赏体验强

表 6 各 CES 价值类型的统计模型 AUC 参数值

Tab. 6 AUC values of statistical models for CES value types.

价值类型 Value types	训练AUC Training AUC	测试AUC Test AUC
美学价值 Aesthetic value	0.9427	0.9446
生物多样性价值 Biodiversity value	0.9528	0.9507
历史文化价值 Historical-cultural value	0.966	0.9664
经济价值 Economic value	0.9666	0.9633
科研教育价值 Scientific-educational value	0.9645	0.9554
娱乐价值 Recreation value	0.9558	0.9571
康体疗养价值 Health and wellness value	0.9584	0.9591

度相吻合。科研教育与康体疗养价值偏弱，则可能反映当前游憩活动以观赏与休闲为主，解说体系与教育活动供给不足，以及部分游线在高温高湿环境下的舒适性限制，使得访客难以形成“可学”和“可疗养”的持续体验[43−44]。

需要指出的是，本文“经济价值”为 SolVES 框架下基于问卷赋值与社会价值点标注得到的非货币化感知表达，主要反映游憩体验中与服务获取、消费便利性等相关的主观认同，不等同于生态旅游收入或社区增收等财务指标，因此本文不对经济收益进行定量推断。

此外，访谈显示部分居民仍以“普通景区”的视角理解国家公园，可能削弱其对科研教育和康体疗养价值的识别。问卷中的开放题也反映受访者更关注游憩体验相关的设施与项目，这也在一定程度上反映出受访者对非游憩类文化服务价值的关注度较低[45]。

3.2 地理环境因素对生态系统文化服务价值空间格局的作用机制 综合响应曲线与空间分布结果可见，可达性与景观可感知性共同构成吊罗山 CES 价值形成与集聚的关键约束因素。一方面，DTR 对各类价值均表现出显著影响，表明在林地占比高、植被繁茂且离路区域通行受限的山地雨

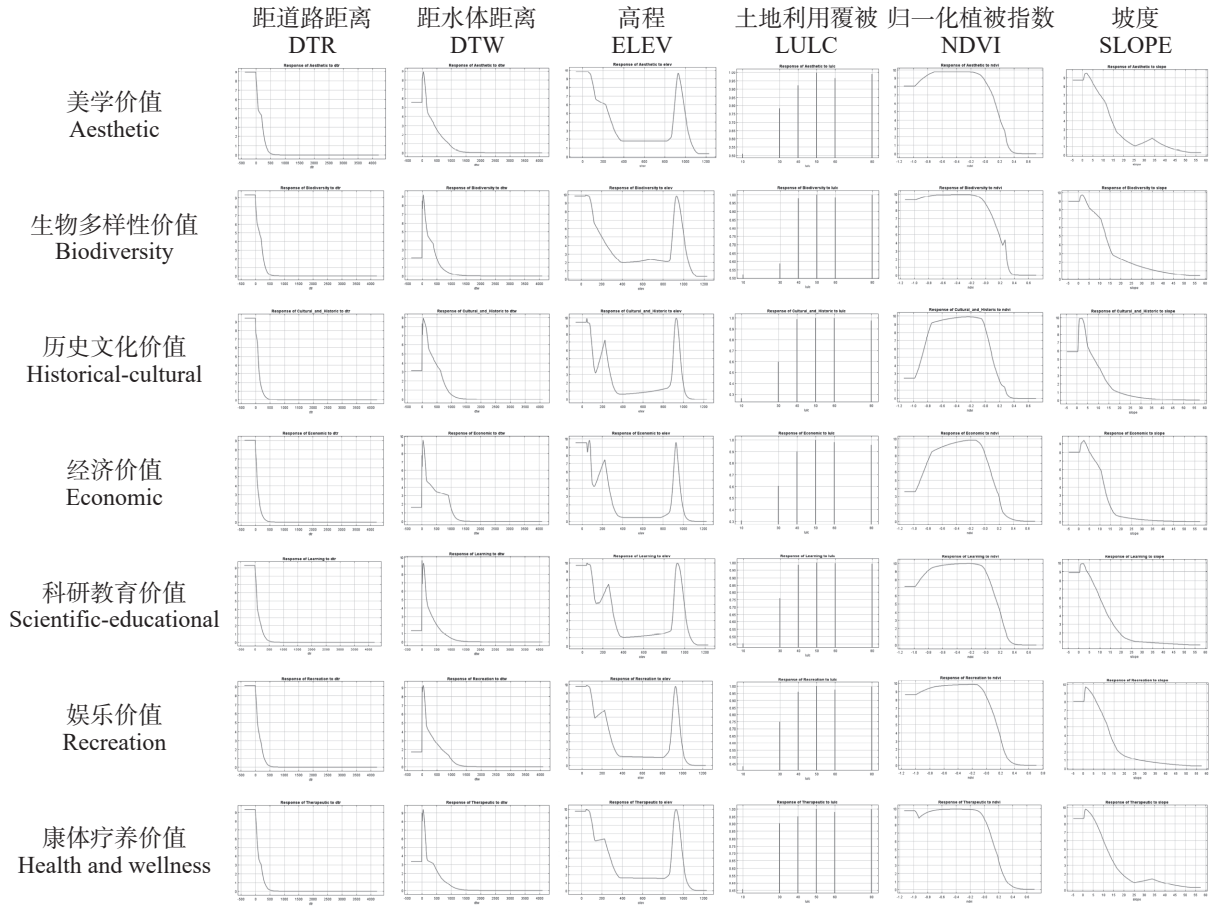

图 5 各 CES 价值类型价值指数与环境变量的关系图

Fig. 5 Relationships between CES value indices and environmental variables in the study area

表 7　环境变量对各价值类型的贡献

Tab. 7　Variable contributions and permutation importance of environmental variables for CES value types

变量 Variable	变量贡献与重要性 Variable contribution and importance	美学价值 Aesthetic value	生物多样性价值 Biodiversity value	历史文化价值 Historical-cultural value	经济价值 Economic value	科研教育价值 Scientific educational value	娱乐价值 Recreation value	康体疗养价值 Health and wellness value
DTR	百分贡献率/% Percent contribution	45.1	37.2	58.8	66.3	56.6	59.1	55.1
	置换重要性/% Permutation importance	46.2	48.8	53.9	62.9	48.0	53.9	50.3
DTW	百分贡献率/% Percent contribution	29.7	43.0	13.7	8.5	26.8	17.3	24.2
	置换重要性/% Permutation importance	37.9	33.8	30.7	25.4	36.6	32.8	37.3
ELEV	百分贡献率/% Percent contribution	5.5	8.4	2.3	2.2	5.8	4.3	4.7
	置换重要性/% Permutation importance	4.8	5.2	3.1	3.1	4.0	4.2	3.8
NDVI	百分贡献率/% Percent contribution	11.6	6.1	4.7	3.6	4.4	7.6	6.8
	置换重要性/% Permutation importance	6.4	8.6	8.6	3.9	8.2	4.5	5.2
LULC	百分贡献率/% Percent contribution	5.2	2.7	14.8	11.0	4.2	7.4	6.9
	置换重要性/% Permutation importance	0.9	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	0.9
SLOPE	百分贡献率/% Percent contribution	3.0	2.6	5.7	8.4	2.2	4.2	2.4
	置换重要性/% Permutation importance	3.8	3.1	3.2	4.3	2.7	3.8	2.4

林游憩环境中,公众感知与价值表达在很大程度上依赖可进入空间。在此背景下,道路既降低了到达成本,也通过游线组织强化了可停留与可体验的过程,从而促进价值在空间上的显化与集聚[45]。

另一方面,DTW 呈现明确的偏好阈值(最佳观景距离约 39 m),说明亲水景观在适宜距离内能够更有效地触发审美愉悦、停留行为与游憩体验累积,从而促进社会价值点的生成与高值集聚。在此基础上,海拔与坡度对价值指数的调节作用进一步揭示“体验过程”的地形门槛:在海拔约 50 ~ 400 m 及 930 m 前后且坡度相对适中的区域,游线组织与景点相对集中、行走负担较低,价值指数因而更易累积;相反,坡陡、可进入性差或游线舒适性不足的地段,即使具备一定景观潜力,也可能因体验受限而难以形成稳定高值区[46−47]。

需要说明的是,本研究所选环境变量之间可能存在一定相关性(例如 DTR 与 LULC、NDVI 在“道路—建设/植被格局”上具有耦合关系,高程与坡度亦可能共变),因此,MaxEnt 输出的百分贡献率与置换重要性应理解为变量对模型判别能力的相对信息贡献,而非对单一因子的独立因果效应。在存在相关性的情形下,贡献率更易受变量进入路径与冗余信息分配的影响,本文在机制讨论中更侧重于参考置换重要性,并避免将单一指标直接等同于“驱动强度”。

为增强机制解释的稳健性,本文采用“响应曲线的生态学合理性—置换重要性的相对权重—热点/冷点空间一致性”的综合判读口径:当某变量呈现清晰、可解释的响应关系,且在置换重要性上具有较高权重,并能够与社会价值热点的空间位置相互印证时,才将其归纳为更可靠的关键约束因子[48]。基于该口径,道路可达性(DTR)与亲水可感知性(DTW)共同指向到达成本与景观体验相耦合的价值实现链条,是吊罗山社会价值热点形成的重要机制。地形条件(高程、坡度)则通过影响游线舒适性与可进入性,对不同价值类型的空间异质性发挥调节作用。

鉴于本文目的侧重识别关键约束而非开展独

立因果估计，未进行共线性诊断或阈值剔除，后续研究可结合相关矩阵、VIF 或变量筛选等步骤，对变量冗余与独立性开展定量检验，以进一步提升解释的可重复性与稳健性。

3.3 生态系统文化服务价值优化策略

3.3.1 引导社区参与共管 为兼顾自然资源保护与可持续发展，综合保护与开发项目（integrated conservation and development projects, ICDPs）强调以社区参与为核心，在保护目标约束下推动多方利益相关者实现保护、生计与治理的协同。其核心理念在于采用基于社区的参与式路径，引导相关主体共同参与生态保护的经营与管理，并在统筹多方利益的基础上，促进社区居民、科研机构、企业及社会公众等共同参与，进而发挥各自优势与作用[49]。

结合本研究发现的热点主要集聚于吊罗小镇及其周边服务节点的结果，可优先在社区生活区与游憩服务节点的交界带推进共管机制。一方面，可通过社区参与承担游客引导、环境维护、解说服务与秩序管理等工作，将日常管理压力转化为社区就业机会。另一方面，应建立与生态保护目标相一致的经营边界与行为规范，例如明确经营活动范围、实施容量控制并强化垃圾与噪声管控，从而避免服务活动对敏感空间造成挤压。

通过这种多方参与的共管模式，国家公园能够在生态保护和社会经济发展之间找到平衡，确保长期的可持续性和生态系统服务价值的提升[50−51]。同时，针对科研教育价值偏弱的结果，可在共管框架下引入科研机构与社区的协作机制（如社区协助样地维护、科普活动支持、导览志愿者培养），以提升“可学”价值的可达性供给[52]。

3.3.2 加强生态资源利用 首先，应加强生态旅游的宣传教育，传递生态旅游理念，弥补公众对国家公园文化价值认知的空缺。其次，应明确各区域的资源状况，并识别其特色优势资源，从而打造具有地方特色的游憩景点。结合本研究热点集中于后山景区、房车营地与吊罗小镇的空间格局，可将产品供给从“同质化开发”转向“节点化、分区分级”的体验组织。

结合热点/冷点格局实施“分区分级”的游憩产品与设施优化：对后山景区与房车营地等热点区域，以“承载优化与体验提质”为核心，重点完善游线组织、休憩节点与导览解说系统，通过分流与停留点优化降低局部拥挤；对小妹水库与大里瀑布等相对低值区，优先开展安全隐患排查与基础可达条件评估，在不新增高强度开发的前提下，通过标识系统补齐、必要的栈道/节点微修复或设置替代性观景点，降低“到达困难—体验落差”对社会价值表达的抑制效应[53]。

同时，针对科研教育价值偏弱的发现，应将“自然教育活动供给”从原则性倡议落实为可执行安排：依托现有科普教育基地与雨林典型景观，增加定时导览、主题讲解与课程化活动，并与标识系统形成闭环，以提升访客在“可游—可赏”之外的“可学”体验。

3.3.3 实现环境因素耦合 国家公园游憩空间的优化受到多种环境要素共同约束。结合本研究环境变量对 CES 价值空间格局的解释结果，DTR 与 DTW 对多类 CES 价值的影响更为突出，表明“可达性—亲水景观”共同构成 CES 价值实现的重要空间基础。因此，有必要在保护优先前提下，将关键环境因子转化为可操作的空间管理与设施优化路径，以提升 CES 价值的稳定供给。

基于 4.2 节揭示的“可达性—亲水体验”约束链条，本研究将“环境因素耦合”的理念落实为可执行的 3 项管理措施。1）优化道路可达空间与游线组织：以道路可达性为骨架，优化入口、停车场与游线的组织与边界，减少无序进入与空间扩散，优先考虑提高游客接近景点的流动性；2）设置生态友好的停留/观景点：在临水或近水的关键节点布设生态友好的停留/观景点，并配套必要的导览解说服务，使游客的体验集中承载，而非分散踩踏，进而减少游客在生态敏感区域的无序滞留；3）实施游线避让与容量控制：对生态敏感区实施游线避让与容量控制（如限流、分时、季节性管理），并在冷点区域优先补齐安全设施与最小可进入条件后再开展微更新，以降低游客在未充分开发区域的盲目涌入。其中，“补齐最小可进入条件”应以安全与生态敏感性评估为前置门槛，避免因可达性提升带来新的干扰扩散。

3.4 局限性与展望 本研究仍存在一定局限。其一，样本结构方面，本次调查以游客为主，且青年群体占比较高，可能导致不同群体（如本地常住居民、管理者）在价值认知与偏好上的差异未能被充

分展开。未来研究将在保持游客样本的基础上，增加本地常住居民与管理人员等群体样本，并采用分层抽样或配额控制(如年龄、居住身份、到访频次等)，以增强不同主体感知价值的可比性。本文结果主要代表调查期内游客对显性文化服务价值的感知。其二，方法方面，SolVES 以公众感知赋值与社会价值点为输入，能够有效反映“显性、可被体验与表达的文化服务价值”，但对潜在价值维度(如潜在科研教育资源、生态文化遗产重要性等)覆盖不足。未来可在数据条件允许时，引入专家评价或生态资产核算，构建与公众感知结果可对照的潜在价值指标体系，从而实现“公众感知—潜在价值”的互补表达与综合评估。其三，时序维度方面，本研究数据主要来自 2024 年上半年，尚不足以反映季节差异或长期趋势。后续研究将开展跨季节(旱季/雨季、节假日/非节假日)与跨年度的重复调查，并检验游客偏好结构及“环境变量—价值指数”关系在不同时间尺度下的稳定性与变化规律。同时，可进一步比较不同季节/人流情景下热点边界的稳定性，以支撑分时分区管理与承载调控。

4　结　论

基于 SolVES–MaxEnt 框架，本文对吊罗山片区 CES 价值进行了空间量化评估。研究表明：

1)吊罗山片区 CES 价值具有显著空间异质性，总体呈现少数核心游憩节点集聚、外围区域相对稀疏的分布格局，在一定程度上说明国家公园 CES 价值的空间表达具有明显的节点依附性，而非均匀分布的特征。

2)不同类型 CES 价值之间存在明显分异，公众感知主要集中于美学价值、生物多样性价值和经济价值，科研教育价值与康体疗养价值相对偏弱，表明当前吊罗山片区文化服务利用仍以观赏休闲和直接体验为主，深层次教育与健康服务功能尚有提升空间。

3)吊罗山片区 CES 价值的形成并不单纯取决于自然生态本底，而更受到道路可达性与亲水景观可感知性的共同制约，说明 CES 价值的显化本质上是景观资源条件与游憩体验过程耦合作用的结果。

4)研究结果表明，国家公园 CES 价值提升应从单纯资源展示转向热点区域精细化管理、游线组织优化和自然教育功能补强，在保护优先前提下实现 CES 价值的有序引导与合理释放。

参考文献:

[1] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: synthesis[M]. Washington: Island Press, 2005: 40.

[2] Reid W V, Mooney H A, Cropper A, et al. Ecosystems and human well-being-synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment[M]. Washington: Island Press, 2005: 40.

[3] United Nations. System of environmental economic accounting: Ecosystem accounting[EB/OL].[2025-07-01]. https://seea.un.org/ecosystem-accounting.

[4] 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 Sciences of the United States of America, 2012, 109(23): 8812−8819. https://doi.org/10.1073/pnas.1114773109

[5] Fish R, Church A, Winter M. Conceptualising cultural ecosystem services: a novel framework for research and critical engagement[J]. Ecosystem Services, 2016, 21: 208−217. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.09.002

[6] Busch C, Specht K, Inostroza L, et al. Disentangling cultural ecosystem services co-production in urban green spaces through social media reviews[J]. Ecosystem Services, 2024, 70: 101675. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101675

[7] Pu X T, Ding W G, Ye W F, et al. Ecosystem service research in protected areas: a systematic review of the literature on current practices and future prospects[J]. Ecological Indicators, 2023, 154: 110817. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110817

[8] Crouzat E, De Frutos A, Grescho V, et al. Potential supply and actual use of cultural ecosystem services in mountain protected areas and their surroundings[J]. Ecosystem Services, 2022, 53: 101395. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101395

[9] Carson R T. Contingent valuation: a practical alternative when prices aren't available[J]. Journal of Economic Perspectives, 2012, 26(4): 27−42. https://doi.org/10.1257/jep.26.4.27

[10] Venkatachalam L. The contingent valuation method: a review[J]. Environmental Impact Assessment Review, 2004, 24(1): 89−124. https://doi.org/10.1016/S0195-9255(03)00138-0

[11] Pelletier M C, Heagney E, Kovač M. Valuing recre-

ational services: a review of methods with application to New South Wales National Parks[J]. Ecosystem Services, 2021, 50: 101315. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101315

[12] Willis K G, Garrod G D. An individual travel-cost method of evaluating forest recreation[J]. Journal of Agricultural Economics, 1991, 42(1): 33−42. https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.1991.tb00330.x

[13] Cooper N, Brady E, Steen H, et al. Aesthetic and spiritual values of ecosystems: recognising the ontological and axiological plurality of cultural ecosystem 'services'[J]. Ecosystem Services, 2016, 21: 218−229. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.07.014

[14] Brown G, Raymond C. The relationship between place attachment and landscape values: toward mapping place attachment[J]. Applied Geography, 2007, 27(2): 89−111. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2006.11.002

[15] Brown G, Reed P, Raymond C M. Mapping place values: 10 lessons from two decades of public participation GIS empirical research[J]. Applied Geography, 2020, 116: 102156. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102156

[16] Jones L, Holland R A, Ball J, et al. A place-based participatory mapping approach for assessing cultural ecosystem services in urban green space[J]. People and Nature, 2020, 2(1): 123−137. https://doi.org/10.1002/pan3.10057

[17] Sherrouse B C, Clement J M, Semmens D J. A GIS application for assessing, mapping, and quantifying the social values of ecosystem services[J]. Applied Geography, 2011, 31(2): 748−760. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.08.002

[18] Sherrouse B C, Semmens D J. Validating a method for transferring social values of ecosystem services between public lands in the Rocky Mountain region[J]. Ecosystem Services, 2014, 8: 166−177. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.03.008

[19] Sherrouse B C, Semmens D J, Ancona Z H. Social Values for Ecosystem Services (SolVES): open-source spatial modeling of cultural services[J]. Environmental Modelling & Software, 2022, 148: 105259. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105259

[20] 钟敬秋, 彭帅, 高梦凡, 等. 生态系统文化服务流空间多尺度研究——以辽河口国家公园为例[J]. 地理科学进展, 2024, 43(11): 2226−2241. https://doi.org/10.18306/dlkxjz.2024.11.010

[21] Kong I, Sarmiento F O, Mu L. Crowdsourced text analysis to characterize the U. S. National Parks based on cultural ecosystem services[J]. Landscape and Urban Planning, 2023, 233: 104692. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104692

[22] 刘璇, 王思元. 基于参与式地理信息系统的城市绿地生态系统文化服务评价——以北京市核心区为例[J]. 风景园林, 2024, 31(7): 131−136. https://doi.org/10.3724/j.fjyl.202307100311

[23] 席丹丹. 公众认知下的城市荒野景观价值评价与再野化策略研究：以成都青龙湖湿地公园为例[D]. 成都: 四川农业大学, 2024. https://doi.org/10.27345/d.cnki.gsnyu.2024.001148

[24] 庄思冰, 龚建周, 陈康林, 等. 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[J]. 生态学报, 2023, 43(14): 5714−5725. https://doi.org/10.5846/stxb202203310820

[25] 于洋, 杨仙, 李想, 等. 城市公园绿地生态系统文化服务供需匹配评价与耦合协调[J]. 风景园林, 2025, 32(3): 90−99. https://doi.org/10.3724/j.fjyl.202408260483

[26] 欧阳志云, 唐小平, 杜傲, 等. 科学建设国家公园: 进展、挑战与机遇[J]. 国家公园 (中英文), 2023, 1(2): 67−74. https://doi.org/10.20152/j.np.2023.02.001

[27] 杨良健, 章锦河, 王静玮, 等. 国家公园生态系统文化服务研究进展及展望[J]. 国家公园 (中英文), 2024, 2(8): 524−533. https://doi.org/10.20152/j.np.202407300086

[28] 刘钊军. 海南热带雨林国家公园保护价值及高质量建设计划[J]. 国家公园 (中英文), 2023, 1(4): 250−254. https://doi.org/10.20152/j.np.202312260040

[29] 人民网海南频道. 陵水发布 3 条雨林体验精品旅游线路[EB/OL]. (2023-06-21)[2025-07-01]. https://hi.people.com.cn/n2/2023/0621/c231207-40466726.html.

[30] 海南省林业局. 海南陵水书写热带雨林国家公园吊罗山片区新篇章[EB/OL]. (2023-11-24)[2025-07-01]. http://hnlmzm.com/ywdt/mtjj/202311/t20231124_3534017.html.

[31] 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. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.07.008

[32] Chen Y Y, Ke X L, Min M, et al. Disparity in perceptions of social values for ecosystem services of urban green space: a case study in the East Lake Scenic Area, Wuhan[J]. Frontiers in Public Health, 2020, 8: 370. https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00370

[33] Duan H R, Xu N. Assessing social values for ecosystem services in rural areas based on the SolVES model: a case study from Nanjing, China[J]. Forests, 2022, 13(11): 1877. https://doi.org/10.3390/f13111877

[34] Haines-Young R, Potschin-Young M B. Revision of the common international classification for ecosystem ser-

vices (CICES V5.1): a policy brief[J]. One Ecosystem, 2018, 3: e27108. https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e27108

[35] Sherrouse B C, Semmens D J. Social Values for Ecosystem Services, version 3.0 (SolVES 3.0): documentation and user manual[R]. Reston: U. S. Geological Survey, 2015. doi:10.3133/ofr20151008

[36] Merow C, Smith M J, Silander J A, Jr. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter[J]. Ecography, 2013, 36(10): 1058−1069. https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x

[37] Warren D L, Seifert S N. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria[J]. Ecological Applications, 2011, 21(2): 335−342. https://doi.org/10.1890/10-1171.1

[38] Fawcett T. An introduction to ROC analysis[J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(8): 861−874. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010

[39] Swets J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems[J]. Science, 1988, 240(4857): 1285−1293. https://doi.org/10.1126/science.3287615

[40] 孙哲, 王传胜. 青藏高原国家公园群游憩活动可达性与生态保护价值的空间耦合性[J]. 地理研究, 2025, 44(8): 2121−2133. https://doi.org/10.11821/dlyj020240954

[41] Cai C, van Riper C J, Johnson D, et al. Integrating social values with GPS tracks through Denali National Park and Preserve[J]. Applied Geography, 2023, 155: 102958. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.102958

[42] Medina-Chavarria M E, Gutiérrez A, Saladié Ò. Managing visitor flows in protected areas in a context of changing mobilities: an analysis of challenges, responses, and learned lessons during the pandemic in Tarragona Province (Spain)[J]. International Journal of Geoheritage and Parks, 2024, 12(1): 135−146. https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2024.01.005

[43] 张玉钧, 张欣瑶, 刘彦彤, 等. 从全民共享到全民共育：国家公园自然教育的未来发展走向[J]. 国家公园 (中英文), 2024, 2(11): 715−722. https://doi.org/10.20152/j.np.202410160131

[44] 包惠媛, 乌恩. 基于游客期望价值的秦岭国家公园自然教育发展对策[J]. 中国城市林业, 2025, 23(6): 155−161. https://doi.org/10.12169/zgcsly.2025.08.15.0002

[45] Calicis E, Costa J, Pérez-Alberti A, et al. Exploring visitor patterns in Island Natural Parks: the relationship between photo locations, trails, and land use[J]. Land, 2024, 13(12): 2003. https://doi.org/10.3390/land13122003

[46] Pagneux E, Sturludóttir E, Ólafsdóttir R. Modelling of recreational trails in mountainous areas: an analysis of sensitivity to slope data resolution[J]. Applied Geography, 2023, 160: 103112. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103112

[47] Li J Y, Feng X, Li T, et al. Seasonal dynamics of hiking activities in mountainous areas: a topography-aware sequential network modeling approach using crowd-sourced trajectories[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2025, 142: 104726. https://doi.org/10.1016/j.jag.2025.104726

[48] Phillips S. A brief tutorial on Maxent[R]. New York: American Museum of Natural History, 2010.

[49] Abbot J I O, Thomas D H L, Gardner A A, et al. Understanding the links between conservation and development in the Bamenda Highlands, Cameroon[J]. World Development, 2001, 29(7): 1115−1136. https://doi.org/10.1016/S0305-750X(01)00033-X

[50] Ma T, Swallow B, Foggin J M, et al. Co-management for sustainable development and conservation in Sanjiangyuan National Park and the surrounding Tibetan nomadic pastoralist areas[J]. Humanities and Social Sciences Communications, 2023, 10(1): 321. https://doi.org/10.1057/s41599-023-01756-1

[51] Ma T, Swallow B, Foggin J M, et al. Developing co-management for conservation and local development in China's national parks: findings from focus group discussions in the Sanjiangyuan Region[J]. Frontiers in Conservation Science, 2023, 4: 903788. https://doi.org/10.3389/fcosc.2023.903788

[52] 马思静, 张家荣, 张玉钧, 等. 基于扎根理论方法的国家公园社区适应性协同治理机制：以三江源国家公园为例[J]. 自然资源学报, 2023, 38(4): 1089−1103. https://doi.org/10.31497/zrzyxb.20230417

[53] Interagency Visitor Use Management Council (U. S.). Visitor use management framework: a guide to providing sustainable outdoor recreation[M]. Denver: U. S. Department of the Interior, National Park Service, 2016: 30−37, 46−48.

Assessment of ecosystem cultural service values in the Diaoluoshan area of Hainan Tropical Rainforest National Park based on the SolVES model

Lai Huikeng[1,2#], Yan Yaqi[3], Cao Lingyi[4], Yang Fan[3], He Rongxiao[1,3*]

（1. Hainan Institute of National Park/Key Laboratory of Protection and Development for Hainan National Park, Haikou, Hainan 570203, China; 2. Sanya Academy of Forestry, Sanya, Hainan 572000, China; 3. School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 4. School of Ecology, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China）

Abstract: Cultural ecosystem service (CES) values capture how people perceive and prioritize the non-material benefits provided by ecosystems in specific contexts. An attempt was made to assess the CES values at the Diaoluoshan area in Hainan Tropical Rainforest National Park. Questionaires were delivered and 231 valid questionnaires were received in the first half of 2024 (response rate: 94.67%), from which 12,167 social value points were extracted. The Social Values for Ecosystem Services (SolVES) model was used to combine weighted kernel density estimation to generate a 0-10 value index raster. Spatial clustering was assessed with Average Nearest Neighbor analysis and Global Moran's I, and SolVES was coupled with the Maximum Entropy model (MaxEnt) to evaluate how environmental factors constrain CES value patterns. Results show that social value hotspots are mainly concentrated around a few recreation nodes-Houshan Scenic Area, the RV campground, and Diaoluo Town, whereas cold spots occur near Xiaomei Reservoir and Dali Waterfall, forming an overall pattern of "node-based clustering with sparse surroundings". Among 24 attractions, the mountain rainforest contains the largest number of social value points (655; 5.38%), followed by Tianhu Lake and Fengguoshan Waterfall combined (617; 5.07%), while Dasenlin Hotel has the fewest (390; 3.21%). All seven value types exhibit clustered distributions, with Average Nearest Neighbor ratios < 1 and negative Z-scores; Global Moran's I indicates significant positive spatial autocorrelation in value indices for all value types ($P < 0.001$). The SolVES–MaxEnt models perform well, with training AUC values of 0.9427-0.9666 and testing AUC values of 0.9446-0.9664 across value types. Environmental responses highlight accessibility and perceived proximity to water as key constraints on CES clustering: distance to roads contributes highly for most value types, and distance to waterbodies (DTW) shows a clear preference threshold, with the maximum value index for most cultural value types occurring at DTW ≈ 39 m. Based on the number of value points (N), respondents' preference and perceived importance rank in the order of aesthetic value > biodiversity value > economic value > recreation value > historical-cultural value > scientific-educational value > health and wellness value. These findings provide spatially explicit evidence to support recreation zoning, management, and visitor-route design in national parks.

Keywords: Cultural ecosystem service value; social value points; SolVES–MaxEnt; Hainan Tropical Rainforest National Park

(责任编辑:邹游兴)