

DOI: 10.20103/j.stxb.202403240598

张诗阳, 邹宜孜, 姚思丹, 曹旭卿. 居民视角下乡村地区生态系统文化服务评估与优化——以浙江四十里河河谷为例. 生态学报, 2024, 44(21): 9458-9469.

Zhang S Y, Zou Y Z, Yao S D, Cao X Q. Evaluation and optimization of cultural ecosystem services in rural areas from the perspective of residents: a case study of Sishili River Valley in Zhejiang Province. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(21): 9458-9469.

## 居民视角下乡村地区生态系统文化服务评估与优化 ——以浙江四十里河河谷为例

张诗阳\*, 邹宜孜, 姚思丹, 曹旭卿

北京林业大学园林学院, 北京 100083

**摘要:** 阐明乡村地区居民生态系统文化服务的空间感知特征及其与环境的互动关系, 对于支撑乡村环境品质和居民福祉的持续提升具有重要价值。以浙江四十里河河谷为对象, 将支付意愿法与 PPGIS 相结合, 并利用 MaxEnt 模型开展乡村地区的生态系统文化服务评估。研究结果表明: (1) 乡村居民对休闲娱乐、美学、历史文化的的需求较高, 年龄与居住环境特征会进一步影响居民的偏好。(2) 丰惠古镇所在的乡镇中心区、通明闸以南乡野片区、四明湖畔的东明山景区以及红色资源丰富的横坎头村是区域生态系统文化服务的热点, 而生态系统负面文化影响则多分布于乡镇、村落集中建设片区内部和部分景区、采石场区域。(3) 对生态系统文化服务影响最大的是距文保单位和景区的距离, 其他还包括距河渠、湖泊、居委会和村委会的距离, 以及高程和人造地表、耕地等土地利用类型, 与生态系统负面文化影响紧密相关的则是距文保单位、景区以及居委会和村委会的距离。(4) 研究结合居民偏好和 MaxEnt 制图结果, 提出划定乡村地区生态系统文化服务高值保护区与潜力提升区的方法, 以支撑 3 类空间优化策略的针对性实施。研究能够为乡镇级小尺度乡村地区的生态系统文化服务评估及其规划应用提供方法参考。

**关键词:** 生态系统文化服务; MaxEnt 模型; 公众参与地理信息系统; 价值评估; 乡村地区

## Evaluation and optimization of cultural ecosystem services in rural areas from the perspective of residents: a case study of Sishili River Valley in Zhejiang Province

ZHANG Shiyang\*, ZOU Yizi, YAO Sidan, CAO Xuqin

School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

**Abstract:** The perception of cultural ecosystem services (CES) among rural residents and its interaction with the environment is crucial for enhancing environmental quality and the well-being of residents. Taking Sishili River Valley in Zhejiang as a case study, by utilizing the Willingness to Pay method, Public Participation Geographic Information Systems (PPGIS), and the MaxEnt model, we evaluate CES in rural areas. The key findings are as follows: (1) Rural residents have high demands for recreation, aesthetics, and historical culture, with preferences further influenced by age and residential environment characteristics. (2) Hotspots of regional CES include the town center area where Fenghui Ancient Town is located, the rural area south of Tongming Sluice, the Dongming Mountain Scenic Area by Siming Lake, and Hengkantou Village rich in red resources. In contrast, cultural ecosystem disservices (CEDs) are mostly distributed within the densely built-up areas of towns and villages, as well as some scenic spots and quarry areas. (3) The most significant factor affecting CES is the distance to cultural heritage sites and scenic spots, followed by the distance to rivers, lakes, neighborhood committees, and village committees, as well as elevation and land use types such as artificial surfaces and

基金项目: 国家自然科学基金项目 (52008023)

收稿日期: 2024-03-24; 采用日期: 2024-08-29

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangshiyang@bjfu.edu.cn

farmland. CEDS are closely related to the distance to cultural heritage sites, scenic spots, and neighborhood and village committees. (4) Combining residents' preferences and MaxEnt mapping results, the study proposes methods for delineating high-value conservation zones and potential enhancement zones for CES in rural areas, supporting the targeted implementation of three types of spatial strategies. The research provides a methodological reference for CES assessment and its planning applications in small-scale rural areas at the township level.

**Key Words:** cultural ecosystem services; MaxEnt model; public participation geographic information systems; value evaluation; rural areas

生态系统文化服务(Cultural Ecosystem Service, CES)是人们从生态系统中获得的非物质收益,包括精神、认知、娱乐及审美等<sup>[1]</sup>。相较于其他类型的生态系统服务, CES 更容易被人直接感知与体验,是人类福祉的重要组成部分<sup>[2]</sup>。较之城市,独特的景观特征和土地利用方式塑造了乡村居民特有的价值观、文化信仰和生活方式<sup>[3]</sup>。同时,乡村地区受自然条件的影响和约束也更为显著,使得乡村居民从生态系统获取文化服务的需求也更为迫切<sup>[4]</sup>。中国广大乡村地区的自然景观与文化特色具有多样的特征,同时也面临着环境污染、土地利用低效、资源保护与利用冲突等环境问题和传统空间形态、社会关系和地域精神日渐消解等文化问题<sup>[5]</sup>。《二十大报告》指出,要统筹乡村基础设施和公共服务布局,建设宜居宜业和美乡村。因此,开展乡村地区 CES 评估,阐明其特征与规律,对于支撑乡村土地格局优化、环境品质提升和乡村居民福祉的增长具有重要价值。

目前,中国乡村地区 CES 研究大多以市县行政区划<sup>[6-8]</sup>和流域单元<sup>[9-10]</sup>为对象,对乡镇一级的小型乡村地区研究相对较少<sup>[11]</sup>。乡镇是农村地区行政区划管理的基层单元,往往环境特征清晰且社会文化同源性较强。因而亟需探索与之相匹配的研究和实践方法,精准化的揭示不同类型乡村环境与 CES 的互动机理。同时,现有研究对作为乡村生活生产主体的居民关注不足,少量研究开展了居民与游客的比较分析<sup>[11-12]</sup>,但缺乏对居民偏好特征的深入挖掘与空间优化方法的探索。此外,现有乡村研究对环境可能带来的生态系统负面影响(Ecosystem Disservice, EDS)关注不足,尤其是其中与 CES 相对应的生态系统负面文化影响(Cultural Ecosystem Disservice, CEDS),如给人带来不悦感等<sup>[13]</sup>。识别热点负面区域、揭示其环境特征对于当前乡村环境的精细化治理提升有着重要作用。

CES 的主观性和非物质性使得其难以评估<sup>[14]</sup>。当前研究获取 CES 感知信息的典型方式包括调查访谈和社交媒体数据采集与分析,前者包括开放式的深度访谈<sup>[15]</sup>、半结构化访谈<sup>[16]</sup>和支付意愿法<sup>[17]</sup>等。利用社交媒体数据<sup>[18-19]</sup>开展 CES 研究虽然数据量大、覆盖面广,但存在数据来源平台使用人群的局限性和人群信息的模糊性等问题。传统访谈法能够全面、深入的获得调查对象的相关信息和看法,但受限于数据规模和调查环境的可达性限制。支付意愿法作为传统访谈方式的补充,能够以量化的方式获取调查对象 CES 偏好特征。随着公众参与地理信息系统(Public Participation Geographic Information System, PPGIS)在 CES 研究中的广泛应用<sup>[12, 20]</sup>,能够有效补充传统访谈法中地理信息缺失的问题,同时与支付意愿法相结合,一定程度上提升了数据规模和信息集成能力。MaxEnt(SolVES)模型<sup>[6, 21-22]</sup>的出现进一步弥补了 PPGIS 采集数据地点缺失的缺陷,能够预测 CES 的完整空间分布,其运行报告也能够解释环境变量对 CES 分布的影响特征。

研究以乡村居民为视角,选择浙江省宁绍平原上的四十里河河谷地区为对象,该地区是自然结构相对完整的小型独立河谷单元,并在传统水网景观和历史文化上具有典型性<sup>[23]</sup>。研究将支付意愿法与 PPGIS 相结合,并利用 MaxEnt 模型开展乡村地区的 CES 评估。研究旨在验证以上方法在乡镇级小尺度乡村地区中的适用性,揭示乡村居民 CES 偏好、空间分布特征与关键环境变量,并为该地区 CES 的维持与提升提出空间指引和优化策略。

## 1 研究区域概况

研究区域位于姚江西段四十里河河谷地区,地处浙江省绍兴、宁波两个地级市市域过渡地带。区域总面

积约 307.98 km<sup>2</sup>, 包含绍兴上虞区的梁湖街道、丰惠镇、永和镇和宁波余姚市的梁弄镇, 总人口约 12.55 万人 (图 1)。区域地处宁绍平原南缘, 大体以两侧山脊界定, 四十里河流经其间, 耕地覆盖率 35.7%, 森林覆盖率 42.57%, 是山水结构清晰且相对独立完整性的小型乡村单元。区域城市化程度较小, 人造地表覆盖率 10.84%, 同时河网水系丰富, 呈现出河湖水系、农田与村落交织的传统水网景观特征。四十里河还曾是浙东运河的重要航段, 沿线聚落多因运而兴, 分布有大量运河文化遗存, 梁湖街道和梁弄镇还分别是越窑青瓷遗存代表地和浙东抗日根据地所在, 具有丰富的历史文化基础。

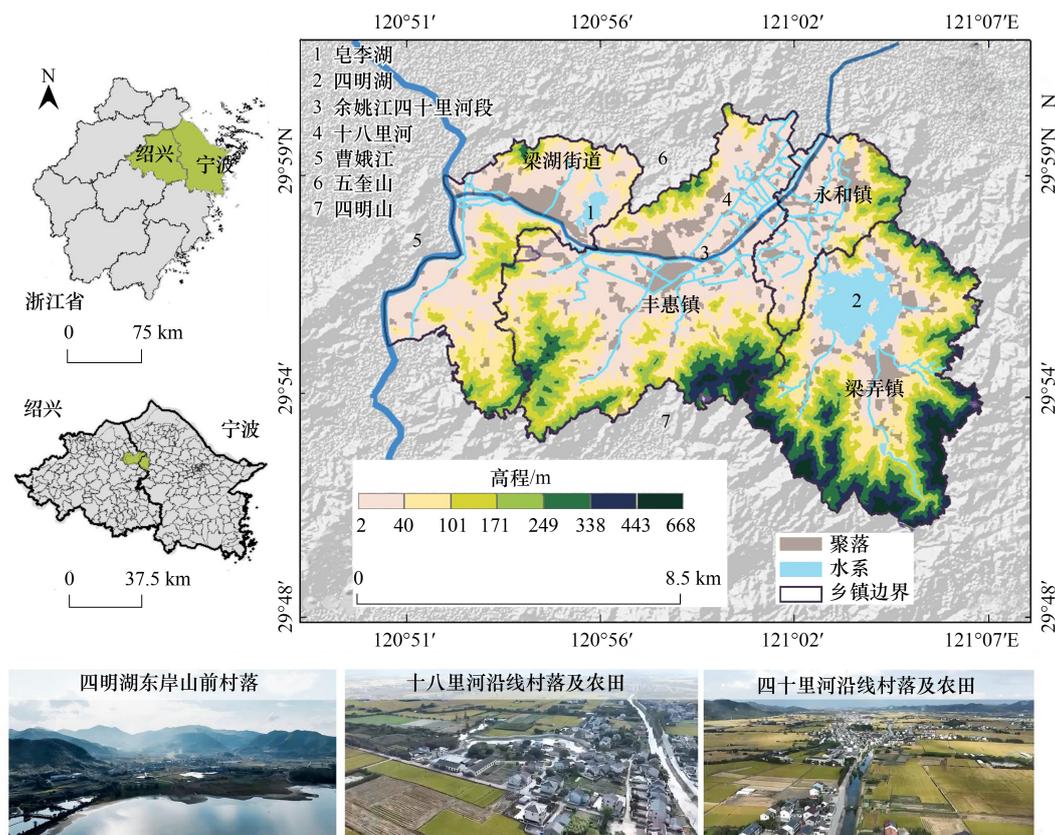


图 1 研究区域位置和环境特征

Fig.1 Location of the study area and environmental characteristics

## 2 研究方法与数据来源

研究分为 3 个主要步骤: (1) 通过 PPGIS 平台收集乡村居民 CES 与 CEDS 感知点数据和 CES 的支付意愿信息, 并分析人口学特征对偏好的影响; (2) 运用 MaxEnt 模型对 CES 与 CEDS 进行空间预测, 得到价值分布图, 阐明空间热点分布特征, 并依据 MaxEnt 运行报告探讨关键环境变量; (3) 结合乡村居民偏好与 CES 制图结果, 完成空间应用导向下的乡村地区 CES 高值保护区与潜力提升区制图, 为乡村居民 CES 维持与提升提供空间引导和优化策略。

研究中 CES 指标参考联合国《千年生态系统评估报告》, 并结合对区域前期预调查, 选定与本研究关联性较强的 7 种类型。CEDS 指标选取则依据生态系统对人类福祉造成感知上的消极影响这一标准, 选择给乡村居民带来不安感和不悦感 2 种典型类型 (表 1)。

### 2.1 融合支付意愿的 PPGIS: 乡村居民的感知点获取与偏好调查

PPGIS 是一种利用地理信息系统技术来增强公众参与和决策支持的工具, 并广泛应用于生态系统服务研究中, 以识别服务的空间热点区域<sup>[24]</sup>。支付意愿法通常用来了解人们愿意为某种商品或服务支付的金额分

配情况,以明晰公众的需求偏好<sup>[25]</sup>。因此,研究将支付意愿法融入 PPGIS 平台,用以实地收集乡村居民对 CES 和 CEDS 感知的空间点位,同时也得到对不同 CES 的支付意愿数据。

表 1 研究中生态系统文化服务和生态系统负面文化影响指标体系

Table 1 The index system of CES and CEDS in the study

属性 Attributes	类型 Types	说明 Description
生态系统文化服务 Cultural ecosystem service	休闲娱乐	开展散步、户外运动等休闲娱乐,或是感受到身心放松、释放压力的地方
	社会交往	与亲戚、朋友相聚开展社交活动的地方
	教育	开展生态与文化教育,或者增长生态文化知识的地方
	精神	神圣的、精神上特殊的地方,或让人感到尊敬、敬畏的地方
	美学	风景优美、秀丽或者独特的地方
	地方感	感受到当地文化、地方氛围,或对人来说有归属感、依恋感的地方
	历史文化	重要文物遗址遗迹、古建筑所在地,或者能感受到浓厚历史氛围的地方
生态系统负面文化影响 Cultural ecosystem disservice	不安感	产生不安全感(如认为存在危险、感到安全得不到保障等)的地方
	不悦感	产生不愉悦心理(如心情不好、感到难过、不适等)的地方

依托微信小程序制作在线 PPGIS 调查平台,调查内容包含 3 个部分:(1)调查对象信息,包括性别、年龄、居住区域、居住时间、月收入和文化程度;(2)感知点要求被调查者在小程序内置的地图上标出各类 CES 和 CEDS 最具代表性的点位,每类可选 1—3 个点;(3)CES 支付意愿部分,调查对象被给予 100 元,按个人支付意愿分配到 7 类 CES 之中。最终,使用 EXCEL 对收集到的基础信息进行人口学特征统计,分析 7 类 CES 的人均分配价值与选择人数,并基于人口学特征分析其对支付意愿的影响<sup>[26]</sup>。

PPGIS 调查于 2023 年 4 月 8 日至 10 日和 4 月 21 日至 22 日实地开展,问卷发放数量依据各乡镇、街道的人口数量比例,发放地点主要选择各乡镇、街道行政管理部门所在的中心区以及代表性的沿河型、平原型和依山型村落(表 2)。调查共发放问卷 308 份,其中 305 份为有效问卷。问卷数据在 ArcGIS 中剔除研究区域外的点后,剩下 2077 个有效价值标记点(图 2)。

表 2 PPGIS 数据采集位置与数量

Table 2 Locations and quantities of PPGIS data collection

行政单元 Administrative unit	人口/万人 Population	收集地点 Collection area	发放份数 Number of questionnaires distributed		位置类型 Type of settlement
丰惠镇	5	丰惠镇中心	128	74	沿河型镇区
		通明村		28	沿河型村落
		后山村		16	沿河型村落
		三溪村		6	平原型村落
		祝家庄村		4	依山型村落
永和镇	1.5	永和镇中心	34	16	依山型镇区
		新岙村		7	依山型村落
		项家桥村		11	平原型村落
梁湖街道	2.9	梁湖街道中心	67	35	沿河型镇区
		外梁湖村		23	平原型村落
		古里巷村		9	沿河型村落
梁弄镇	3	梁弄镇中心	76	34	沿湖型镇区
		白水冲村		16	依山型村落
		横坎头村		11	平原型村落
		让贤村		15	依山型村落

## 2.2 MaxEnt 模型:CES 价值分布制图与环境变量分析

MaxEnt 模型是一种运用最大熵原理的数学方法,广泛应用于生态学和生物地理学等领域,用以预测物种

或生态系统服务的潜在分布。模型基于已有的物种或服务数据,根据相似的环境变量在缺少点位数据的区域运用价值转化法生成新的点,输出逻辑曲面,曲面中每一个栅格单元都有 0—1 的值,表示该单元中某一物种或服务出现的可能性,从而实现了对区域整体的空间分布预测<sup>[21]</sup>。

为减少数据空间自相关引起的预测偏差,首先使用 ArcGIS 中生成 30 m×30 m 的网格,对所采集到的服务点数据自动剔除距离相近的点<sup>[27]</sup>。将筛选后的感知点数据与环境变量数据一同导入 MaxEnt,模拟迭代 10 次,以结果平均值作为逻辑曲面,并导入 ArcGIS 中以 0.1 为标准生成 10 个等级的价值分布图。MaxEnt 每次模拟还会得到各环境变量的响应曲线,以及环境变量对结果的贡献度和重要度数值。响应曲线可以反应变量对分布的影响规律,而贡献度和重要度则共同反映了变量对结果的重要性,如二者均较高,则说明该变量对结果影响显著,若二者一高一低,则可能是因为变量在模型训练中被频繁使用,但其实影响并不显著<sup>[28]</sup>。此外,每次模拟 Maxent 均会绘制一条受试者工作特征曲线(Receiver Operating Characteristic, ROC)曲线,ROC 曲线下面积(Area under the Curve, AUC)可作为模拟精度指标,以此来判断模拟效果好坏。AUC 值越接近 1,说明模拟效果越好,当其小于 0.5,则说明模拟完全为随机分布。

选择适宜的环境变量是 MaxEnt 模型有效运转的关键。依据 2010 年世界保护监测中心(World Conservation Monitoring Centre, WCMC)发布的报告和现有中国乡村 CES 研究中的环境变量选择<sup>[6,11]</sup>,将环境变量分为自然条件与人类条件 2 种类型。结合前期预调研,选定自然条件变量包括高程(elevation, ELEV)、归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、距河渠距离(distance to river, DTRI)和距湖泊距离(distance to lake, DTL),人为条件变量包括综合土地利用类型(the landuse, LULC)、距道路距离(distance to road, DTRO)、距居委会和村委会距离(distance to village, DTV)、距文保单位距离(distance to cultural heritage, DTC)以及距景区距离(distance to scenic spot, DTS)(表 3)。研究中使用的环境变量数据均来自于 2019—2022 年之间,其中点、线型数据均使用 ArcGIS 欧氏距离运算转化为距其距离,数据均处理为单元大小 30 m×30 m 的栅格数据并进行归一化处理,作为 MaxEnt 模型运算的环境层(图 2)。此外,研究还对环境变量栅格统计值两两进行多重共线性分析,结果显示相关性均小于 0.7,说明各环境变量均可保留。

表 3 环境变量及其数据来源

Table 3 Environmental variables and their data sources

变量类型 Variable types	环境变量 Environmental variables	数据来源 Data sources
自然条件 Natural condition	归一化植被指数	Google Earth Engine 云计算平台 <a href="http://www.nesdc.org.cn">http://www.nesdc.org.cn</a>
	高程	ASTER GDEM V3 (30 m) 数据集 <a href="https://engine.piasat.cn">https://engine.piasat.cn</a>
	距湖泊距离	天地图矢量地图描图 <a href="https://www.tianditu.gov.cn">https://www.tianditu.gov.cn</a>
人为条件 Artificial condition	距河渠距离	天地图矢量地图描图 <a href="https://www.tianditu.gov.cn">https://www.tianditu.gov.cn</a>
	综合土地利用类型	GLC_FCS30 产品 <a href="https://data.casearth.cn">https://data.casearth.cn</a>
	距道路距离	天地图矢量地图描图 <a href="https://www.tianditu.gov.cn">https://www.tianditu.gov.cn</a>
	距居委会和村委会的距离	天地图矢量地图描图 <a href="https://www.tianditu.gov.cn">https://www.tianditu.gov.cn</a> , 行政村名录来自浙江省人民政府网站 <a href="https://search.zj.gov.cn">https://search.zj.gov.cn</a>
	距文保单位距离	天地图矢量地图描图 <a href="https://www.tianditu.gov.cn">https://www.tianditu.gov.cn</a> , 国家级、省级、市县级的文物保护单位来源于各级政府网站公布数据
	距景区距离	天地图矢量地图描图 <a href="https://www.tianditu.gov.cn">https://www.tianditu.gov.cn</a> , A 级景区名录来自浙江省文化和旅游厅 <a href="https://ct.zj.gov.cn">https://ct.zj.gov.cn</a>

### 2.3 CES 高值保护与潜力提升区制图

研究将 CES 划分为 3 种综合价值类型,以引导不同空间策略的落位。(1)活动体验型,包含休闲娱乐和社会交往 2 种 CES;(2)精神感知型,包含教育、美学与精神 3 种 CES;(3)身份归属型,包含地方感与历史文化 2 种 CES。依据居民对 7 类 CES 的偏好选择设置权重,结合 MaxEnt 预测制图结果,运用 ArcGIS 栅格计算器和模糊隶属工具得到活动体验、精神感知和身份归属 3 类逻辑曲面。同样,以 0.1 为标准分 10 档生成价值

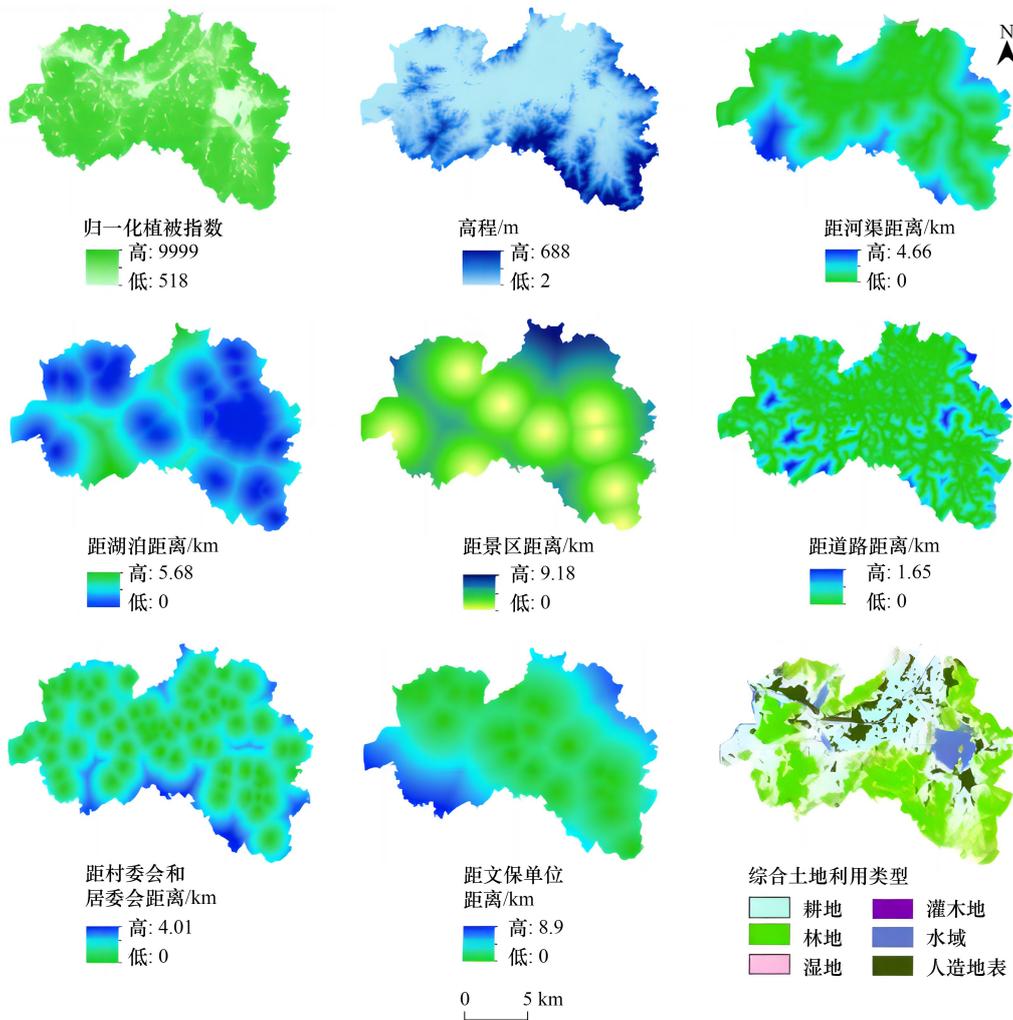


图 2 环境变量栅格数据

Fig.2 Environment variable raster data

分布图,选择 8—10 档区域作为 CES 高值保护区,5—7 档区域作为 CES 潜力提升区,为 CES 导向下的乡村地区精细化治理提供区位引导。

### 3 结果与分析

#### 3.1 受访者人口统计与偏好特征

受访者中男性占 37%,女性占 63%,推测因白天外出工作等原因导致留村镇男性较少。受访者年龄分布较为均衡,基本呈正态分布,其中 31—50 岁最多,占比 53.4%。受访者中居住时长达 5 年以上人口占比 82.5%,符合以乡村居民为视角的研究特征。大部分受访者收入在 2000—10000 元之间,占比 77%。受教育程度方面,超一半受访者学历达到高中以上,占比 60%。

100 元支付意愿调查结果中,人均分配价值体现总体上乡村居民 CES 需求偏好特征,排序前三位的分别是休闲娱乐(43.47)、美学(24.76)和历史文化(11.47)。价值选择人数一定程度体现乡村居民对 CES 需求的必要性,排名前 3 同样为休闲娱乐(240 人)、美学(180 人)和历史文化(98 人)。结合人口学特征分析不同人群在支付意愿平均分配值上的差异(表 4)。年龄方面,50 岁以上乡村居民更加在意休闲娱乐和社会交往,而美学对 50 岁以下居民更为重要。居住地而言,得益于丰惠古镇景区与众多运河遗迹的存在,丰惠镇居民对历

史文化的偏好要远高于其他地区;依山傍湖的梁湖街道、梁弄镇居民对休闲娱乐的偏好相对较高;永和镇历史文化与大型自然风景相对缺乏,居民对社会交往的偏好则要显著高于其他地区。性别、月收入及教育程度对各 CES 偏好影响较小。

表 4 不同人口统计学特征下的人均价值分配

Table 4 Per capita value distribution under different demographic characteristics

人口学特征 Demographic characteristic		休闲娱乐 Entertainment	社会交往 Social interaction	教育 Education	精神 Spirit	美学 Aesthetics	地方感 Sense of place	历史文化 Historical culture
性别 Gender	男	44.91	6.63	6.08	2.92	22.95	5.91	10.57
	女	42.63	5.00	6.07	2.63	25.83	5.82	12.00
年龄 Age	30 岁以下	42.37	2.88	6.79	4.57	26.27	2.86	14.23
	30 岁—50 岁	41.55	4.78	6.82	2.48	27.14	6.01	11.19
	50 岁以上	48.03	9.15	4.09	1.92	19.03	7.68	10.06
居住地 Place of abode	梁湖街道	46.21	1.36	6.36	3.48	31.06	5.61	5.91
	丰惠镇	37.01	6.29	8.03	3.99	21.93	3.54	19.19
	永和镇	41.21	11.21	2.66	0.91	32.18	5.45	6.36
	梁弄镇	49.89	5.00	4.94	2.14	25.87	6.11	6.02
月收入 Monthly income	5000 元以下	43.47	5.61	6.07	2.73	24.76	5.85	11.47
	5000 元以上	42.85	5.71	6.23	2.26	25.11	5.97	11.83
受教育程度 Educational status	初中及以下	43.45	5.62	6.09	2.58	24.84	5.87	11.51
	高中及中专	43.18	5.68	6.13	2.44	24.96	5.93	11.45
	大专及以上	42.99	5.51	6.15	2.77	24.89	5.87	11.62

### 3.2 价值分布特征

依据价值分布制图(图 3)分别统计研究区域 CES 和 CEDS 的价值指数平均值和高值区(0.70 以上)面积,发现 CES 中平均值最高的是地方感(0.20),其次为教育(0.18),最低为美学(0.12)。高值区规模而言,面积最大的同样为地方感(7.82 km<sup>2</sup>),其次是社会交往(6.43 km<sup>2</sup>),最低为历史文化(4.86 km<sup>2</sup>)和美学

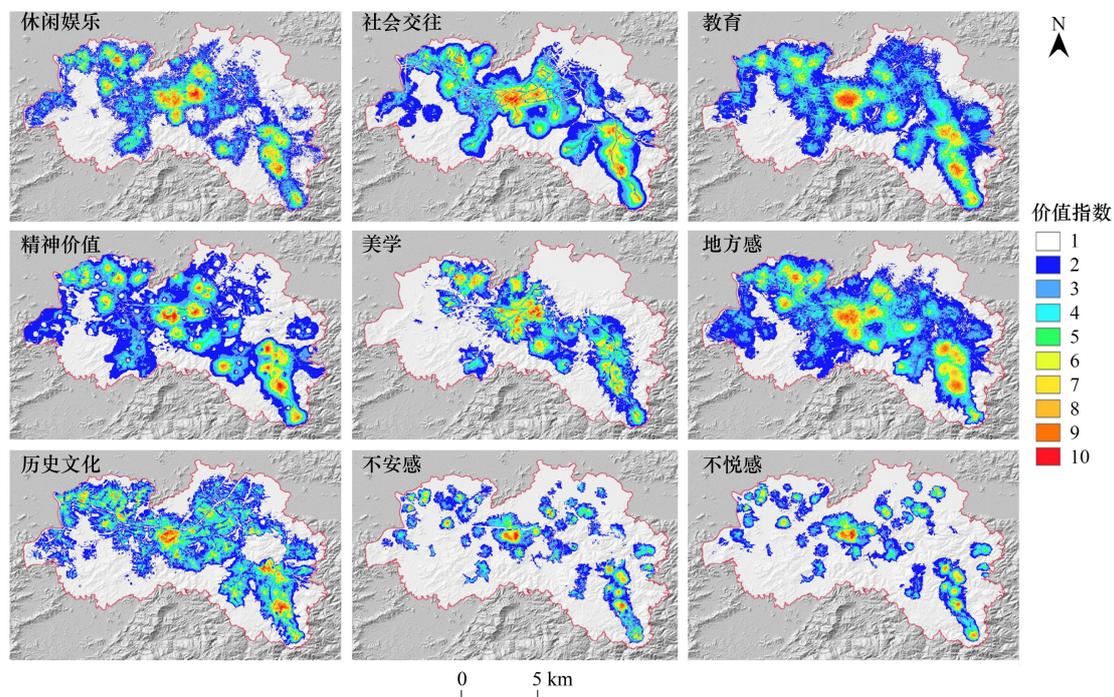


图 3 各类价值分布图

Fig.3 Distribution maps of various values

(3.57 km<sup>2</sup>)。CEDS 中,不安感和不悦感的价值指数平均值均为 0.08,而不安感和不悦感高值区总面积分别为 2.22 km<sup>2</sup>和 2.52 km<sup>2</sup>。

休闲娱乐、社会交往和地方感的高值区分布较为类似,大规模区域包括丰惠古镇所在的中心镇区和通明闸以南村落、农田和河渠棋盘状交织的水网乡野片区,梁弄镇四明湖南岸包含东明山景区在内的带状片区和四明湖上游红色文化资源丰富的横坎头村片区,以及梁湖街道北侧山麓前包含孤丘、湿地和众多古窑址的西华瑶村片区。精神价值高值区规模相对较小但片区较多,主要位于各乡镇、村落中心地带与主要景区。美学高值区主要位于自然与农业风光较好的地区,包括通明闸以南的乡野片区、西华瑶村至皂李湖北景区一带、丰惠镇周边水系沿岸、东明山景区和凤鸣山景区等。教育、历史文化高值区规模大且相对集中,主要位于包含大量运河遗存的丰惠镇中心镇区,浙东革命根据地文保单位群所在横坎头村片区以及东明禅寺所在的东明山周边。CEDS 高值区规模普遍较小,其中不安感高值区主要分布于乡镇、村落集中建设片区内部,不悦感高值区除乡镇、村落外,还包括白水冲瀑布景区与区域东北角的采石场片区。

### 3.3 关键环境变量及其影响机制

研究结果表明 CES 受自然条件与人为条件的综合影响(表 5)。基于贡献度与重要度同等重要这一原则,DTC 在所有 CES 和 CEDS 中都起到了高影响。另一个具有较高影响的环境变量是 DTS,对除了休闲娱乐、精神和教育外的其他 CES 和 2 项 CEDS 均有影响。DTRI 主要影响了休闲娱乐、教育和社会交往;DTV 主要影响了社会交往、历史文化和 2 项 CEDS。此外,部分环境变量对单一 CES 有一定影响,如 ELEV 与地方感,DTL 与美学,以及 LULC 与历史文化。

表 5 环境变量的百分比贡献度和重要度

Table 5 Table of Percent Contribution and Permutation Importance of environment variables

环境变量 Environment variables	休闲娱乐 Entertainment		社会交往 Social interaction		教育 Education		精神 Spirit		美学 Aesthetics	
	贡献度%	重要性%	贡献度%	重要性%	贡献度%	重要性%	贡献度%	重要性%	贡献度%	重要性%
LULC	3.0	1.5	2.8	0.2	11.1	2.1	2.3	2.4	5.4	3.2
NDVI	4.8	6.3	2.2	0.6	0.9	2.8	0.8	0.2	1.7	2.3
ELEV	4.7	5.3	1.0	0.0	2.2	8.4	2.8	18.2	5.5	1.4
DTRO	0.8	2.3	0.1	1.0	5.0	6.9	1.4	7.2	2.7	3.4
DTRI	13.1*	29.5*	15.5*	9.5*	11.4*	27.6*	6.1	15.3	4.0	2.5
DTL	4.9	4.2	2.6	1.8	0.6	3.3	1.8	1.0	8.3*	13.3*
DTC	58.8*	30.6*	48.9*	31.0*	36.4*	33.1*	71.4*	43.8*	55.2*	40.6*
DTV	4.7	12.6	12.3*	37.2*	5.3	0.4	6.1	6.3	0.8	2.7
DTS	5.1	7.8	14.6*	18.6*	27.1*	15.4*	7.3	5.8	16.4*	30.6*

环境变量 Environment variables	地方感 Sense of place		历史文化 Historical culture		不安感 Unsafe		不悦感 Unpleasant	
	贡献度%	重要性%	贡献度%	重要性%	贡献度%	重要性%	贡献度%	重要性%
LULC	5.0	1.2	19.5*	9.8*	14.7	3.6	11.5	1.4
NDVI	1.6	1.9	0.7	4.5	3.7	2.7	2.4	0.8
ELEV	8.1*	23.6*	5.8	19.3	2.3	8.0	4.2	14.3
DTRO	1.2	2.5	4.0	2.5	1.8	14.6	1.1	6.5
DTRI	1.4	3.7	5.2	9.5	2.3	5.8	4.0	7.5
DTL	0.7	5.1	7.0	3.4	4.1	6.3	3.9	6.5
DTC	61.3*	28.4*	34.9*	12.3*	46.9*	12.0*	45.5*	14.0*
DTV	9	12.4	9.3*	31.9*	11.7*	29.1*	11.9*	33.7*
DTS	11.8*	21.2*	13.7	6.7	12.5*	18.0*	15.4*	15.2*

LULC:土地利用类型 the landuse; NDVI:归一化植被指数 Normalized Difference Vegetation Index; ELEV:高程 elevation; DTRO:距道路距离 distance to road; DTRI:距河渠距离 distance to river; DTL:距湖泊距离 distance to lake; DTC:距文保单位距离 distance to cultural heritage; DTV:距居委会和村委会 distance to village; DTS:距景区距离 distance to scenic spot; \* 表示较为显著的关系

响应曲线展示了 CES 预测价值存在概率如何随环境变量的变化而变动, LULC 对 CES 的贡献则以柱状图呈现(图 4)。依据 MaxEnt 模型给出的运行报告, 响应曲线显示了变量的边际效应, 但很难解释强相关变量, 如 DTC, 因此不将其响应曲线纳入讨论范围。休闲娱乐与教育价值随着 DTRI 的增加而下降, 而社会交往在 DTRI 约 600 m 内随着距离增加而下降, 之后则趋于平缓。社会交往、教育、美学和地方感随着 DTS 的增加而减少, 不安感与不悦感在 DTS 约 400 m 范围内随距离的增加而增加, 随后减少。社会交往、不安感与不悦感等在 200 m 内随着 DTV 增加而增加, 而后则快速下降。历史文化价值则一直随着 DTV 的增长而减少。地方感价值随着 ELEV 的增加而下降。DTL 约 3km 范围内美学价值整体较高, 而后下降。LULC 中人造地表、耕地对乡村地区历史文化价值的感知作用较大。

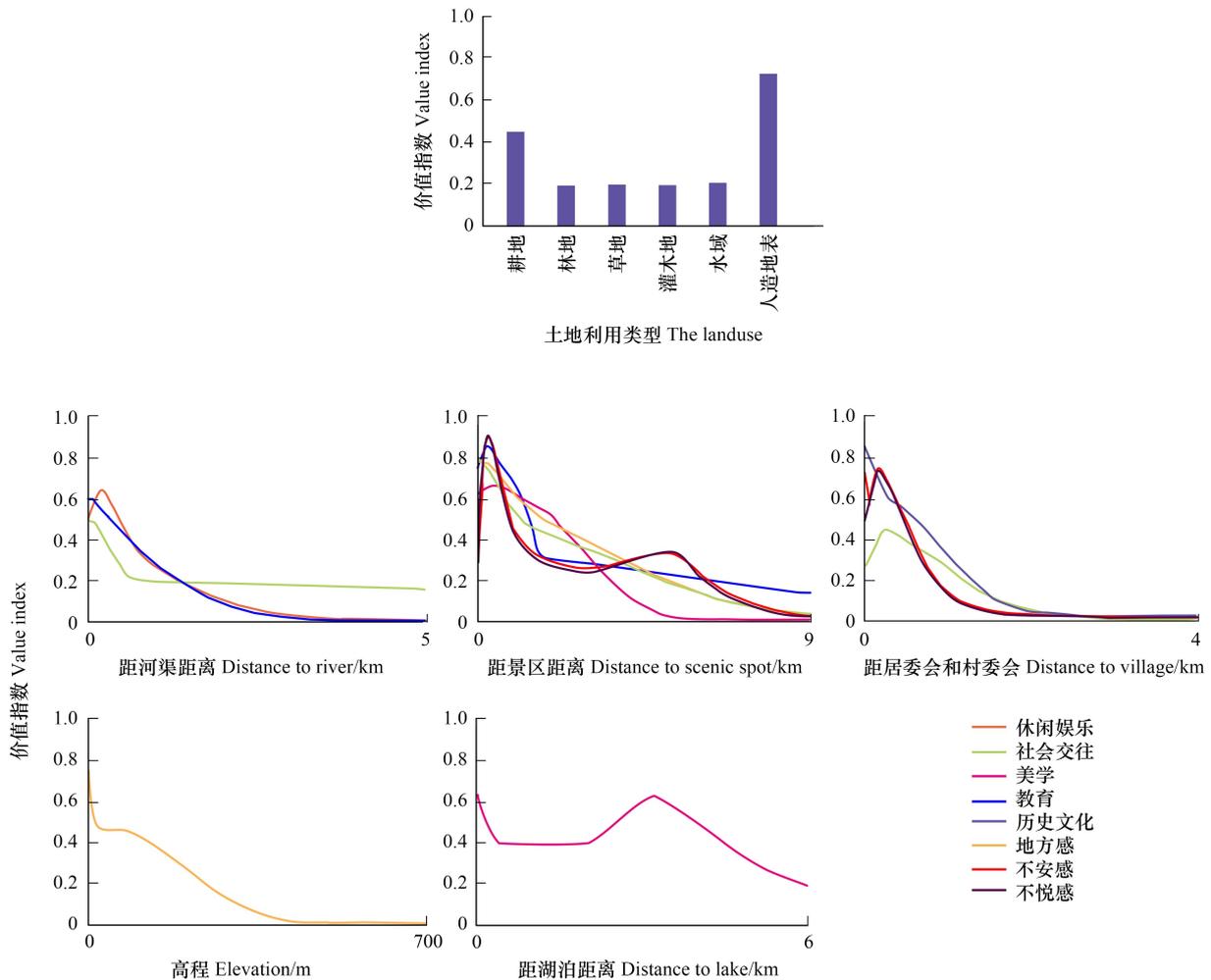


图 4 CES 对各环境变量的响应曲线和柱状图

Fig.4 CES response curve and bar chart for each environment variable

### 3.4 基于居民偏好的 CES 高值保护与潜力提升区

活动体验类保护区主要分布于丰惠镇中心镇区、通明闸南部的乡野片区、西华瑶村、横坎头村、东明山景区、萝岩山山麓村落片区、祝家村以及白水冲瀑布景区。身份归属类保护区分布最为集中, 主要包括丰惠镇中心镇区、东明山景区至梁弄镇中心镇区一带以及横坎头村片区。精神感知类保护区分布最为零散, 主要包括丰惠镇中心区河流沿线、通明闸南部的乡野片区、四明湖南岸片区、四明湖上游溪流沿线村落和西华瑶池村至皂李湖北景区一带。

各类型潜力提升区多分布于高值区周边, 将不同的高值区连接成片。此外活动体验类潜力提升区还包括

梁湖街道中心区、百悬线道路南部山谷段沿线以及四明湖西南山谷村落片区。身份归属类潜力提升区较为零散,主要沿平原区河网、湖泊分布。精神感知类潜力提升区则包括兰芎山山体东南、五癸山萝岩山山体南侧、梁弄镇中心片区、东明山景区和凤鸣山景区。此外,白水冲瀑布景区及其周边东岗山森林公园是 3 类共同的潜力提升区。

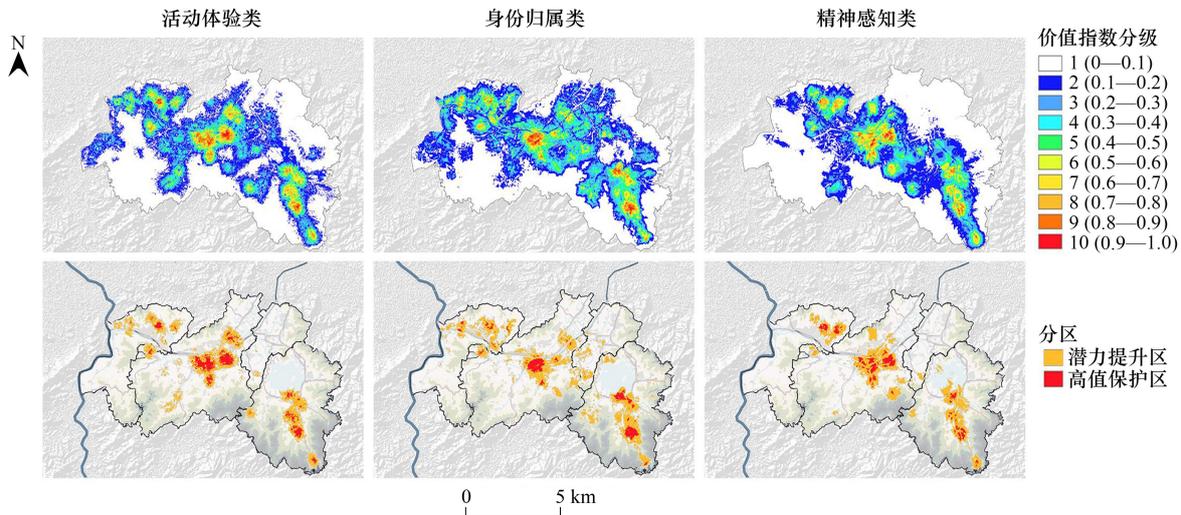


图 5 结合乡村居民偏好的 CES 保护与提升分区制图

Fig.5 Mapping of CES conservation and enhancement zones based on rural residents' preferences

#### 4 讨论

PPGIS 实地调查的方式适用于对特定区域和人群类型感知数据的精确采集,其局限性在于需要实地发放和专业人员引导填写,以保证对各类 CES 理解的准确性和选点的精准性。MaxEnt 模型运行结果显示,各 CES 模拟得到的平均 AUC 值均在 0.78–0.88 之间,2 类 CEDS 的 AUC 值则都达到 0.9 以上,说明 MaxEnt 模型对中小尺度乡村地区 CES 和 CEDS 预测的有效性。

当地人的具体看法能够为制定可持续土地管理战略提供丰富的基础<sup>[29]</sup>。研究揭示了乡村居民对休闲娱乐、美学和历史文化价值的重视,这与国内外其他乡村地区 CES 偏好研究的结论基本一致<sup>[9,30]</sup>。同时,与范晓赟等人<sup>[31]</sup>研究结论类似,研究揭示了居住环境的自然与文化特色会较大的影响乡村居民的 CES 需求,也说明开展针对性 CES 评估在支撑地方性策略制定中的重要性。此外,本研究还揭示了不同年龄群体偏好的差异性,说明乡村地区 50 岁以上的年长者对邻里公共生活的迫切需求。

丰富的历史文化资源、优美独特的自然风光或田园风光是大多数 CES 高值区的共同特征。休闲娱乐、社会交往与地方感的高值区域更加倾向于聚落所在地及其周边,而精神价值高值区则更进一步缩小到聚落内部,推测前者与居民日常生活活动范围息息相关,后者则与居民住所关系密切。此外,美学价值与自然山水要素的关系十分密切,同时美学也是研究区域高值区范围最小的类型,因此应加强对乡村地区山水资源的保护与利用。教育和历史文化的高值区主要分布于遗产资源丰富集中的地区,因此应加强遗产间的联系,发挥其科普教育的作用。CEDS 的价值平均值、高值区面积较之 CES 都明显偏小,说明对象区域总体上给居民带来的正面文化服务较多。同时,CEDS 制图结果也说明乡镇、村落集中建设片区公共环境质量和设施服务的持续提升对于消减居民的负面情绪最为关键,同时也要通过格局优化、关键区域治理等方式减少乡村地区部分景区、矿业开采区对居民的负面影响。

环境变量对 CES 的影响方面,研究进一步证明了距文化遗产、景区的距离对乡村地区多类型高 CES 感知的重要性<sup>[6,15,32]</sup>,同时距文化遗产、景区的距离也是影响高 CEDS 感知的关键变量。这表明乡村地区应持续

重视对文化遗产、特色自然和文化资源的保护利用,加强其与环境的协同发展,同时也要关注诸如旅游业发展给乡村环境带来的破坏和给居民带来的负面感受。众多研究表明 CES 与距水域距离具有相关性<sup>[11,33-34]</sup>,本研究将水域进一步细分为河流和湖泊,揭示了越靠近河流越有助于休闲娱乐、教育和社会交往的高感知;而距湖泊距离则主要影响了美学价值<sup>[35]</sup>,湖岸开阔的视野和眺望湖光山色的美景使得研究区域在临近湖岸和距离湖岸 3km 两种情况下能享受到最高的美学价值。与居委会、村委会的距离与社会交往、历史文化以及 2 类 CEDS 关系密切,实地调查发现该地区居委会、村委会大多紧邻或利用宗祠等空间,户外有较大规模的开放场地,同时行政属性带来了人口的聚集,从而容易让居民产生负面感受,因此应对乡村高使用频率公共空间开展精细化提升与管理。研究还揭示了耕地对乡村历史文化感知的重要性,这也与相关研究的结论一致<sup>[36]</sup>。此外,众多研究发现距道路距离对 CES 有重要影响<sup>[6,33]</sup>,但在本研究中并不显著,这可能是由于该地区历史文化与水系特色的影响过于显著,有待进一步检验。

CES 高值保护区与潜力提升区制图为不同导向的优化提升策略提供了空间引导。主要的高值保护区多为历史文化资源丰富或自然农业风光优美之处,并大都在交通便捷可达的低地平原区,其他小规模高值保护区也大多在沿山麓、水域分布的平原地带。潜力提升区则表明该地区未来 CES 提升的重要区域是临近平原的山林地和部分不具有优势文化资源的乡镇、村落中心,这说明如何协同山林资源的保护与文化利用,以及如何催生乡村当代文化活力是未来工作的难点。空间优化策略方面,身份归属类区域应强化对村镇、农业、水网与山林构成的整体景观特征的保护与统筹,重视对传统建筑风貌和农业种植方式、典型地域水网肌理以及文化遗产资源的系统化保护;精神感知类区域应强化沿河、沿湖、登山的慢行体系建设,提供丰富多样的自然教育、观水观山场所,加强不同聚落与自然空间的链接关系;活动体验类区域主要围绕街道、乡镇周边,补充开放空间场所的数量和类型,增加多类型公共服务与娱乐设施。

## 5 结论

研究验证了支付意愿法与 PPGIS 相结合,并利用 MaxEnt 模型对乡镇级小型乡村地区 CES 研究的适用性,同时还表明:(1)该地区乡村居民对休闲娱乐、美学和历史文化需求较高,居住地和年龄影响了人群的 CES 偏好;(2)丰惠镇中心、通明闸以南的乡野片区、四明湖畔的东明山景区以及红色资源丰富的横坎头村片区是区域 CES 的热点区域,而 CEDS 则多分布于村镇内部、个别景区和矿业开采区域;(3)对乡村地区 CES 影响最大的环境变量是距文保单位和距景区的距离,其他产生影响的还包括距河流、湖泊、居委会和村委会的距离以及高程和土地利用类型,对 CEDS 影响的主要环境变量则是距文保单位、景区以及居委会和村委会的距离;(4)研究探索了乡村居民偏好和 MaxEnt 评估结果相结合的制图方式,以划定乡村地区 CES 高值保护区与潜力提升区,引导活动体验、身份归属和精神感知 3 类空间优化策略的落位。本研究能够为乡镇级小尺度乡村地区的 CES 评估及其规划应用提供方法参考。

研究调查中发现,诸如农业种植类型、自然空间品质、用地功能属性以及文化遗产类型等都会对 CES 产生更为具体的影响,同时 CES 的感知也与环境整体景观特征息息相关。因此,精细化解析环境变量的属性特征以及环境要素的组合关系对 CES 的影响机制,是未来乡村 CES 评估的重要探索方向。

## 参考文献(References):

- [1] Alcamo J, Bennett E M. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Washington, DC: Island Press, 2003.
- [2] Gould R K, Morse J W, Adams A B. Cultural ecosystem services and decision-making: how researchers describe the applications of their work. *People and Nature*, 2019, 1(4): 457-475.
- [3] 孙艺惠, 陈田, 王云才. 传统乡村地域文化景观研究进展. *地理科学进展*, 2008, 27(6): 90-96.
- [4] Hartel T, Fischer J, Câmpeanu C, Milcu A I, Hanspach J, Fazey I. The importance of ecosystem services for rural inhabitants in a changing cultural landscape in Romania. *Ecology and Society*, 2014, 19(2): art42.
- [5] 张玉, 王介勇, 刘彦随. 基于文献荟萃分析方法的中国空心村整治潜力与模式. *自然资源学报*, 2022, 37(1): 110-120.
- [6] 李永钧, 张单阳, 王珂, 黄璐. 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. *生态学报*, 2022, 42(17): 6888-6899.
- [7] Li Y J, Xie L, Zhang L, Huang L Y, Lin Y, Su Y, AmirReza S, He S, Zhu C M, Li S N, Gan M Y, Huang L, Wang K, Zhang J, Chen X M.

- Understanding different cultural ecosystem services: an exploration of rural landscape preferences based on geographic and social media data. *Journal of Environmental Management*, 2022, 317: 115487.
- [ 8 ] 熊鹰, 肖蓉, 张坤, 魏晓, 孙冰, 陈雷. 南方丘陵区山地农户对生态系统服务的感知及其影响因素——以湖南省慈利县为例. *自然资源学报*, 2022, 37(7): 1766-1781.
- [ 9 ] 周昱辰, 尹丹, 黄庆旭, 张玲, 白岩松. 基于生态系统服务参与式制图的“三生”空间优化建议——以白洋淀流域为例. *自然资源学报*, 2022, 37(8): 1988-2003.
- [ 10 ] Meng S T, Huang Q X, Zhang L, He C Y, Inostroza L, Bai Y S, Yin D. 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. *Ecosystem Services*, 2020, 45: 101156.
- [ 11 ] 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. *Forests*, 2022, 13(11): 1877.
- [ 12 ] 赵雨晴, 游巍斌, 林雪儿, 何东进, 文惠. 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. *生态学报*, 2022, 42(10): 4011-4022.
- [ 13 ] Wu S Y, Li B V, Li S C. Classifying ecosystem disservices and valuating their effects - a case study of Beijing, China. *Ecological Indicators*, 2021, 129: 107977.
- [ 14 ] 戴培超, 张绍良, 刘润, 杨永均. 生态系统文化服务研究进展——基于 Web of Science 分析. *生态学报*, 2019, 39(5): 1863-1875.
- [ 15 ] Csurgó B, Smith M K. The value of cultural ecosystem services in a rural landscape context. *Journal of Rural Studies*, 2021, 86: 76-86.
- [ 16 ] Dou Y H, Zhen L, Bakker M, Yu X B, Carsjens G J, Liu J G, De Groot R. Investigating the potential impact of ecological restoration strategies on people-landscape interactions through cultural ecosystem services: a case study of Xilin Gol, China. *Journal of Environmental Management*, 2022, 316: 115185.
- [ 17 ] Häyhä T, Franzese P P. Ecosystem services assessment: a review under an ecological-economic and systems perspective. *Ecological Modelling*, 2014, 289: 124-132.
- [ 18 ] 张怡, 裘鸿菲. 基于 LDA 主题模型的湖泊公园生态系统文化服务公众感知研究. *中国园林*, 2023, 39(7): 121-126.
- [ 19 ] Richards D R, Tunçer B. Using image recognition to automate assessment of cultural ecosystem services from social media photographs. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 318-325.
- [ 20 ] 张红娟, 高艳, 华亚伟, 李言言, 张越, 刘康. SolVES 模型价值转移方法对不同空间尺度的响应评估. *生态学报*, 2019, 39(24): 9233-9245.
- [ 21 ] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 2006, 190(3/4): 231-259.
- [ 22 ] 赵琪琪, 李晶, 刘婧雅, 秦克玉, 田涛. 基于 SolVES 模型的关中-天水经济区生态系统文化服务评估. *生态学报*, 2018, 38(10): 3673-3681.
- [ 23 ] 张诗阳, 王滨鹭, 金爱博. 空间整体性视角下大运河环境关联机制解析与规划启示研究——以浙东运河为例. *中国园林*, 2023, 39(8): 43-49.
- [ 24 ] Brown G, Fagerholm N. Empirical PPGIS/PGIS mapping of ecosystem services: a review and evaluation. *Ecosystem Services*, 2015, 13: 119-133.
- [ 25 ] Clement J M, Cheng A S. Using analyses of public value orientations, attitudes and preferences to inform national forest planning in Colorado and Wyoming. *Applied Geography*, 2011, 31(2): 393-400.
- [ 26 ] Grzyb T. Mapping cultural ecosystem services of the urban riverscapes: the case of the Vistula River in Warsaw, Poland. *Ecosystem Services*, 2024, 65: 101584.
- [ 27 ] 李艳红, 张立娟, 朱文博, 张静静, 徐帅博, 朱连奇. 全球变化背景下南方红豆杉地域分布变化. *自然资源学报*, 2021, 36(3): 783-792.
- [ 28 ] 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. *Ecography*, 2013, 36(10): 1058-1069.
- [ 29 ] Plieninger T, Dijks S, Oteros-Rozas E, Bieling C. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy*, 2013, 33: 118-129.
- [ 30 ] Baylan E, Şehribanoğlu S, Şatır O. Contributions of cultural ESs to human well-being, landscape planning and rural development in border landscapes: local Insights from the Bendimahı River Basin (Eastern Anatolia, Türkiye). *Environment, Development and Sustainability*, 2023: 1-23.
- [ 31 ] 范晓赞, 杨正勇, 唐克勇, 杨怀宇. 农业生态系统文化服务的支付意愿与受偿意愿的差异性分析——以上海池塘养殖为例. *中国生态农业学报*, 2012, 20(11): 1546-1553.
- [ 32 ] Ridding L E, Redhead J W, Oliver T H, Schmucki R, McGinlay J, Graves A R, Morris J, Bradbury R B, King H, Bullock J M. The importance of landscape characteristics for the delivery of cultural ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 2018, 206: 1145-1154.
- [ 33 ] Zuo Y, Zhang L. Research on local ecosystem cultural services in the Jiangnan water network rural areas: a case study of the ecological green integration demonstration zone in the Yangtze River Delta, China. *Land*, 2023, 12(7): 1373.
- [ 34 ] Arslan E S, Nordström P, Ijäs A, Hietala R, Fagerholm N. Perceptions of Cultural Ecosystem Services: spatial differences in urban and rural areas of Kokemäenjoki, Finland. *Landscape Research*, 2021, 46(6): 828-844.
- [ 35 ] Peña L, Casado-Arzuaga I, Onaindia M. Mapping recreation supply and demand using an ecological and a social evaluation approach. *Ecosystem Services*, 2015, 13: 108-118.
- [ 36 ] Zhao Q Q, Chen Y, Gone K P, Wells E, Margeson K, Sherren K. Modelling cultural ecosystem services in agricultural dykelands and tidal wetlands to inform coastal infrastructure decisions: a social media data approach. *Marine Policy*, 2023, 150: 105533.