

DOI: 10.5846/stxb202005111187

付晶,高峻,李杰,张中浩,李巍岳,鲍燕妮,马施彤.珠穆朗玛峰保护地生态系统文化服务空间分布及评价.生态学报,2021,41(3):901-911.

Fu J, Gao J, Li J, Zhang Z H, Li W Y, Bao Y N, Ma S T. Spatial analysis and assessment of cultural ecosystem services at the protected area of the Mt. Qomolangma. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(3): 901-911.

珠穆朗玛峰保护地生态系统文化服务空间分布及评价

付晶^{1,2}, 高峻^{1,2,*}, 李杰^{1,4}, 张中浩^{1,2,5}, 李巍岳^{1,2}, 鲍燕妮¹, 马施彤³

1 上海师范大学环境与地理科学学院, 上海 200234

2 上海师范大学城市发展研究院, 上海 200234

3 上海师范大学生命科学学院, 上海 200234

4 美国普渡大学林业与自然资源系, 印第安纳州西拉法叶 47907

5 美国亚利桑那州立大学可持续发展学院, 亚利桑那州坦佩 85287

摘要:珠穆朗玛峰保护地是全球重要的生态保护地和享誉世界的生态旅游目的地,开展该区域的生态系统文化服务研究将有助于了解人与环境相互作用产生的无形价值收益。通过近 10 年的实地调查,结合网络大数据采集,建立了覆盖珠峰南北坡 6 个保护地的生态系统文化服务 POI 数据库,合计 116 处 18 个类型。运用生态系统服务制图、线性回归模型等方法,开展研究区文化服务 POI 空间分布特点分析及评价。研究表明:(1)珠峰北坡保护地的文化服务 POI 共 76 处,定日县占总数的 73.68%,珠峰南坡保护地的文化服务 POI 共 40 处,萨加玛塔国家公园占总数的 67.5%,珠峰自然保护区定日县境内和尼泊尔萨加玛塔国家公园是珠峰南北坡保护地文化服务 POI 的集中区域,文化服务 POI 在珠峰保护区核心区和尼泊尔国家公园占 57.75%,珠峰南北坡保护地的核心区域也是文化服务价值最高的区域;(2)文化服务价值排序为美学价值(280 分)>经济价值(213 分)>信仰价值(200 分)>治疗价值(188 分)>游憩价值(169 分),为游客提供精神享受的美学价值是该区域提供的最重要的文化服务价值类型;(3)通过高程、NDVI 和坡度 3 个环境因子与 116 个文化服务 POI 进行皮尔森显著性检验,高程与文化服务总价值呈现高相关性($P=0.004$)。通过回归关系计算,高程与美学价值、生命可持续价值、生计价值等回归结果可信度较高。文化服务价值及其各个方面受高程因子的影响最为显著。研究结果为进一步开展生态系统服务研究,促进中国-尼泊尔在珠峰南北坡保护地的可持续发展,推进第三极生态安全屏障建设提供科学支持。

关键词:文化服务;生态系统服务制图;空间分布;评价;保护地;珠穆朗玛峰

Spatial analysis and assessment of cultural ecosystem services at the protected area of the Mt. Qomolangma

FU Jing^{1,2}, GAO Jun^{1,2,*}, LI Jie^{1,4}, ZHANG Zhonghao^{1,2,5}, LI Weiyue^{1,2}, BAO Yanni¹, MA Shitong³

1 School of Environmental and Geographical Sciences, Shanghai Normal University Shanghai, 200234, China

2 Institute of Urban Studies, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China

3 School of Life Science, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China

4 Department of Forestry and Natural Resources, Purdue University, West Lafayette, IN 47907, USA

5 School of sustainability, Arizona State University, Tempe, AZ 85287, USA

Abstract: The protected area of the Mt. Qomolangma is an important ecological protected area in the world and a world-renowned eco-tourism destination too. Research of cultural ecosystem services (CES) in this area will help us to understand the intangible value benefits generated by the interaction between people and environment. In this study, through nearly 10

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0401);中国科学院 A 类战略性先导科技专项(XDA2002030103);国家重点研发计划项目(2017YFC0506404)

收稿日期:2020-05-11; 修订日期:2020-12-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gaojun@shnu.edu.cn

years of field investigation, combined with online big data collection, we made points of interesting (POI) database of CES including 6 protected areas at the north-south of Mt. Qomolangma, with 116 points and 18 types. Using the mapping of ecosystem service and linear regression model, we analyzed the spatial distribution of the POIs and calculated the value of CES. We found that: (1) there were 76 POIs in the northern area. Tingri County has the largest number of POIs (73.68%). In the south, the Sagarmatha National Park owns 67.5% of the 40 POIs. Tingri County and the Sagarmatha National Park are the most important areas in the study area. The POIs of CES account for 57.75% in the core functional area, which is also the area with the highest CES value. (2) The CES value is ranked as aesthetic value (280 points) > economic value (213 points) > faith value (200 points) > therapeutic value (188 points) > recreation value (169 points). Therefore, the aesthetic value is the most important CES value provided by this area which also provided spiritual enjoyment to the tourists. (3) Through Pearson's significance test, the coefficient of the elevation and total value of CES showed a high correlation ($P=0.004$). The linear regression results showed that the elevation and aesthetic value, sustainable value of life and livelihood value are more credible. So, the value of CES and its various types are most significantly affected by the elevation factor. The results of this study may provide scientific support for the further development of China-Nepal transboundary cooperation in the protected areas at the north-south of Mt. Qomolangma, together with pushing the construction of the third polar ecological security barrier in the future.

Key Words: cultural ecosystem services; mapping ecosystem services; spatial distribution; assessment; protected area; Mt. Qomolangma

珠穆朗玛峰(以下简称“珠峰”)位于青藏高原南缘,中国和尼泊尔两国交界处,北坡为中国珠穆朗玛峰国家级自然保护区(Mt. Qomolangma Nature Reserve),南坡为尼泊尔马纳斯鲁自然保护区(Manaslu Conservation Area)、朗塘国家公园(Langtang National Park)、高里三喀自然保护区(Gaurishankar Conservation Area)、萨加玛塔国家公园(Sagarmatha National Park)、马卡鲁坝润国家公园(Makalu Barun National Park)。这六处自然保护区和国家公园构成了覆盖珠峰南北坡的保护地,成为世界第一高峰重要的生态安全屏障,被认为是世界上海拔最高的保护地^[1]。自20世纪80年代以来,珠峰南北坡逐步成为跨越喜马拉雅山脉的全球著名生态旅游地,其中萨加玛塔国家公园珠峰大本营徒步线(Everest Base Camp Trek, EBC)、珠峰自然保护区珠峰东-北坡徒步线(East & North Faces of Everest Trek, ENFE)等都是闻名世界的高山徒步线路。珠峰北坡所在的日喀则市积极推进以珠峰为特色的旅游业,2019年全年接待国内外旅游者871.39万人次,比上年增长25.43%^[2];据尼泊尔国家旅游局统计,2018年进入珠峰南坡国家公园的徒步旅行客近8万人次,并有898人获得从南坡登顶珠峰的许可^[3],生态旅游成为当地经济和社会发展的重要支柱。

随着人类活动越来越频繁地在此区域开展,珠峰面临着保护与发展协调的挑战,开展珠峰南北坡保护地生态系统服务研究,对于促进珠峰地区可持续发展具有重要意义。已有的研究表明,珠峰南北坡所处的青藏高原生态系统变化对全球环境演变和人类可持续发展起到了不可忽视的重要作用^[4-8]。近年来,生态系统文化服务(Cultural ecosystem services, CES)在整个生态系统服务研究中变得越来越重要^[9-11]。千年生态系统评估^[12]将文化服务定义为生态系统提供的多种无形价值和收益,被认为是人类实现马斯洛需求层次理论的高级阶段,是人们通过精神丰富,认知发展,反思自省,游憩娱乐,审美体验等从生态系统中获得的非物质利益^[13-14]。经过近10年在珠峰保护地的野外调查发现,该区域的自然和人文生态系统具有稀有性、唯一性、不可替代性等特点,人与环境相互作用产生的非物质收益具有独特性和无形性。因此,在珠峰保护地开展生态系统文化服务研究,需要采用遥感数据产品、网络大数据等来支持定量评价,这些数据可以帮助人们了解保存与保护标志性景观的多样性和重要性^[15-16]。

运用生态系统服务制图方法对珠峰保护地开展生态系统文化服务研究,利用实地调查数据和网络大数据,重点研究珠峰保护地文化服务兴趣点(Points of interesting, POI)的空间分布、与保护地功能分区之间的关

系、环境因子对文化服务 POI 的影响等,深入认识和理解珠峰保护地生态系统文化服务价值的空间分布特征,确定跨行政边界生态系统管理和恢复的优先对象^[17-18],为进一步开展中国-尼泊尔在珠峰保护地的跨境合作,推进第三极生态安全屏障建设提供科学支持。

1 研究区概况

研究区珠峰保护地位于喜马拉雅山脉中段,北纬 27°32′26.88″—29°19′1.20″,东经 84°26′36.35″—88°21′29.63″。该区域分布着全球 14 座 8000 m 以上高峰中的 5 座,包括世界第一高峰珠穆朗玛峰(8848.68 m)、第四高峰洛子峰(8516 m)、第五高峰马卡鲁峰(8463 m)、第六高峰卓奥友峰(8201 m)和第十四高峰希夏邦马峰(8027 m)。20 世纪 70 年代以来,中国、尼泊尔两国政府陆续在该区域设立各类自然保护区和国家公园保护脆弱的高山生态系统。

珠峰北坡为中国珠穆朗玛峰国家级自然保护区,成立于 1988 年,1994 年晋升为国家级自然保护区,2004 年加入联合国教科文组织生物圈保护区。保护区内有着丰富多彩的高山、冰川地貌类型,独特和完整的喜马拉雅山脉南北坡高山生态系统,区域旗舰物种雪豹,以及其他珍稀野生动植物资源,并保存着瑰丽的藏族文化和生活方式^[1,19]。珠峰自然保护区在空间上覆盖了日喀则地区的定结县、定日县、聂拉木县和吉隆县,形成保护地与当地村镇混合分布的格局。考虑到珠峰保护区内有较多的城镇和居民点,因此功能分区中设置了核心区、缓冲区和实验区 3 种类型。2018 年经国务院批准,保护区调出部分县乡镇所在地,并调入叶如藏布源头湿地、多布扎湖及周边地区,保持总面积 33819 km²不变,核心区为 10094.42 km²,缓冲期为 5928.39 km²和实验区为 17796.19 km²(表 1 和图 1)^[20]。

表 1 珠穆朗玛峰保护地面积/km²

Table 1 Area coverage of protected area in Mt. Qomolangma

区域 Area	保护地面积 Total	核心区 Core zone	缓冲区 Buffer zone	实验区 Experiment zone
定结县	3733.04	737.79	109.15	2886.08
定日县	13601.03	4132.87	2276.75	7191.40
聂拉木县	7718.19	1589.09	936.80	5192.28
吉隆县	8766.72	3634.65	2605.66	2526.40
珠峰北坡	33819.00	10094.42	5928.39	17796.19
马纳斯鲁自然保护区*	1663.00	0	0	0
朗塘国家公园*	1710.00	0	420.00	0
高里三喀自然保护区*	2179.00	0	0	0
萨加玛塔国家公园*	1148.00	0	275.00	0
马卡鲁坝润国家公园*	1500.00	0	830.00	0
珠峰南坡	8200.00	0	695.00	0

* 由于功能划分不同,尼泊尔境内保护地与缓冲区互相独立,并且没有划分核心区和实验区

珠峰南坡尼泊尔一侧为喜马拉雅山脉湿润山地森林生态系统^[19],自西向东分布着马纳斯鲁自然保护区(1998 年建立)、朗塘国家公园(1976 年建立,缓冲区设立于 1998 年)、高里三喀自然保护区(2010 年建立)、萨加玛塔国家公园(1976 年建立,缓冲区设立于 2002 年)、马卡鲁坝润国家公园(1992 年建立,缓冲区设立于 1999 年),北与中国珠穆朗玛峰自然保护区衔接,形成喜马拉雅山脉南坡最重要的国家公园群,保护地面积均值为 1640 km²,比较紧凑,管理有效性较好。萨加玛塔国家公园位于珠峰南坡核心地段,1979 年被联合国教科文组织列入世界自然遗产名录,是尼泊尔仅有的 4 个世界自然遗产之一。依据保护地管理目标的不同,珠峰南坡保护地分为自然保护区和国家公园两种类型,其中国家公园内保留当地夏尔巴人村落,成为徒步旅行者最重要的食宿点,夏尔巴村民是珠峰南坡生态旅游发展的重要支撑;国家公园外侧设立缓冲区,主要目的是管理自然资源,鼓励生态友好型土地使用方式,并积极推动当地人参与生态保护,以实现长期可持续性发

展^[21](表 1 和图 1)。



图 1 珠穆朗玛峰保护地区位及其包含的自然保护区和国家公园

Fig.1 Protected areas of Mt. Qomolangma location in Asia and region, the nature reserves and national parks in the study area

目前,珠峰保护地范围内的中国一侧道路系统包括 318 国道至珠峰北坡大本营 112 km 的车行道路,同时,318 国道经聂拉木县至樟木口岸,216 国道经吉隆县至吉隆口岸;尼泊尔一侧除连接中国这两个口岸和加德满都的公路外,大部分地区因为地处国家公园和自然保护区,没有公路通达。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2.1.1 自变量选取依据

地形因子是多数涉及山地研究、国家公园和自然保护区研究时首先考虑的环境因子^[15,22-24]。本研究区是全球平均海拔最高的区域,高海拔是形成地貌变化的重要因素,高程和坡度很大程度上限制了高山徒步的范围,因此地形因子是本文考虑选择的自变量。保护地的自然状态是另一个值得考虑的环境因子,土地利用数据常被运用于表征这个因子^[22-24],而近年来的研究表明,珠穆朗玛峰地区的植被长势趋好^[25-27],所以本文选取植被生长指数来表示保护地的自然状态。从生态系统文化服务的角度来看,高程(Elevation)、坡度(Slope)和植被归一化指数(NDVI)3 个环境因子可能对文化服务产生比较直接的影响。

2.1.2 数据获取与处理

(1) DEM 数据

本文采用美国地质勘探局(USGS)2010 年发布的全球多分辨率高程数据模型 GMTED2010,WGS-1984 地理坐标投影,分辨率为 30 弧秒。经过阿尔伯斯等积投影纠正,使用填注工具(Hydrology-Fill)对 DEM 数据进行填注处理,利用表面分析模块,获得研究区域范围内高程和坡度数据。

(2) 植被指数数据产品

植被对于生物多样性保护和自然景观塑造至关重要,是产生文化服务的另一个环境影响因子。植被归一化指数 (NDVI) 可以指示植被生长状态,以及植被覆盖度,是应用较为广泛的植被指数之一。珠峰自然保护区的植被覆盖度总体特征是南部和北部高,中部低,并可推断保护区成立对植被恢复起到了显著作用^[22]。本文采用中分辨率成像光谱仪 MODIS 植被指数产品 MOD13Q1,空间分辨率 250 m,时间为 2020 年 1 月。

以上遥感数据产品经过数据检查与预处理后,统一为 0.025° 栅格分辨率, WGS84 地理坐标投影。

2.1.3 文化服务 POI 数据库

根据研究团队在珠穆朗玛峰自然保护区历时 10 年的野外考察,选择山峰、冰川、温泉、沙丘土林、观景点、居民点、寺庙等,共 116 个 POI 作为文化服务研究的具体对象。首先选取在陈塘-嘎玛沟、绒辖沟、樟木沟、吉隆沟、珠峰北坡大本营等地开展调查中形成的资源图志中三级以上的旅游资源点,结合猫途鹰、马蜂窝、定结县政府新闻网、定日县政府新闻网、聂拉木县政府新闻网、吉隆县政府新闻网等网站中,旅行者和当地政府上传的照片和文字材料,确定 76 处珠峰北坡文化服务 POI。珠峰南坡境内的文化服务 POI 是通过选取在尼泊尔萨加玛塔国家公园野外科学考察时记录的资源点,并结合 Tripadvisor 和 Flickr 网站中,当地国家公园管理部门和旅游者提供的相关照片和文字材料,确定尼泊尔境内 3 个国家公园共 40 处珠峰南坡文化服务 POI。每一处文化服务 POI 均配有 5 张以上图像,通过考察队自己拍摄的照片,或网络照片大数据,共获得有效图像合计 834 张。运用谷歌虚拟地球对上述文化服务 POI 进行地理标签验证,确认经纬度位置,再通过图像识别地理特征,如植被类型、土地覆被类型、地貌形态、水文、野生动物生境等,初步构建珠峰保护地文化服务 POI 数据库。

2.2 研究方法

2.2.1 文化服务空间制图

在 Brown 和 Reed 对国家森林公园文化服务的研究中,形成了文化服务的 13 种具体价值类型^[28],用于对美学、游憩、遗产等文化服务进行较为全面地量化制图,并被吸收开发为生态系统服务社会价值评估模型,该模型被国内外同类研究 CES 所使^[29-31]。根据珠峰保护地文化服务的多元表现形式,确定研究区生态系统文化服务评价指标体系,共 12 种价值类型(表 2)。

表 2 珠穆朗玛峰保护地文化服务评价指标体系

Table 2 Indicators of cultural ecosystem services (CES) types in the protected areas of Mt. Qomolangma

价值类型 Value type	说明 Definition	价值类型 Value type	说明 Definition
美学价值 Aesthetic value	景观所提供的美的享受	信仰价值 Spiritual value	宗教信仰、遵从自然
生物多样性价值 Biological value	为野生动植物资源提供庇护场所	游憩价值 Recreation value	为访客提供户外游憩场所
生命可持续价值 Life sustaining value	有助于净化空气、水、土壤	文化价值 Cultural value	传授祖辈生活知识
生计价值 Subsistence value	维持当地人基本生活的食物来源	学习价值 Learning value	提供科考和实验环境
经济价值 Economic value	为当地人提供生态旅游就业机会	历史价值 Historic value	保存已发生的自然或人类事件
治疗价值 Therapeutic value	使人的身体和精神状况得到改善	未来价值 Future value	保存给下一代完整的生态系统

本次调查通过访谈方式开展,被访谈人须具有去过珠峰南坡或北坡旅行的背景,熟悉该区域国家公园和自然保护区旅行方式、管理模式、资源价值等方面,于 2019 年 11 月至 2020 年 4 月当面或在线视频访谈了 7 位专家。本次调查打分采用 0—5 级的分级定量方式,其中 0=没有价值,1=价值非常低,2=价值较低,3=价值中等,4=价值较高,5=价值非常高。

在访谈准备阶段,由访谈人向被访谈人解释调查目的与文化服务价值类型,通过测试以确定被访谈人能

较好地理解 12 种文化服务价值的含义后,开始正式访谈,一次访谈时长在 2 小时左右。首先由被访谈人根据亲身体验感受,辅助现场照片,为曾经到达过的 POI 所提供的 12 种文化服务价值类型进行评价;然后被访谈人根据 POI 的照片对未曾到达的地点进行相应评价。在访谈过程中,访谈人会与被访谈人确认 POI 具体所指的景观类型,每位专家需对所有 POI 进行两次打分;最后由访谈人核对分值,求得两次打分的平均值作为这位专家的打分结果。评分表完成度为 100%。

根据 7 份专家打分结果,计算每个 POI 的每一种文化服务价值的平均值,再累加每个点的 12 种服务类型,求得每个 POI 的文化服务总价值。

2.2.2 线性回归模型

本文利用线性回归模型分别建立文化服务 POI 与三个环境因子之间的回归关系,因变量设定为每个兴趣点的文化服务单项价值(y_i)和总价值(y_{total}),当最小值为 0 时,表示该网格中没有文化服务价值,最大值为同一个点上文化服务价值的累加,该变量不会出现负数。自变量是环境因子(x_k)。回归模型如下所示:

$$y_i = \beta_0 + \beta_k x_k + \varepsilon_i$$

式中, y_i 是第 i 个文化服务单项价值或总价值, β_0 为常数项, β_k 为回归系数, x_k 是第 k 个环境因子, ε_i 是残差项。回归系数的绝对值越大,则说明环境因子对文化服务价值相关作用越强,正值表示为正向相关,负值表示为负向相关。

3 结果与讨论

3.1 珠峰保护地文化服务 POI 与保护地功能分区关系

从珠峰南北坡保护地生态系统文化服务 POI 空间分布可以看出,北坡保护地内 POI 比南坡保护地的数量多(表 3 和图 2)。珠峰北坡保护地的文化服务 POI 共 76 处,其中分布于定结县 3 处、定日县 56 处、聂拉木县 5 处、吉隆县 12 处,定日县成为珠峰保护区内最重要的区域,占总数的 73.68%;珠峰南坡保护地的文化服务 POI 共 40 处,都分布在国家公园内,其中朗塘国家公园有 8 处,萨加玛塔国家公园有 25 处,缓冲区内 2 处,马卡鲁坝润国家公园有 5 处,其中萨加玛塔国家公园文化服务 POI 占总数的 67.5%。因此,珠峰自然保护区定日县和尼泊尔萨加玛塔国家公园是珠峰保护地文化服务 POI 最重要的集中区域。

从与珠峰南北坡保护地功能分区的关系来看,南坡保护地的 POI 分布集中,北坡保护地的 POI 分布均衡(表 3 和图 2)。在北坡珠峰自然保护区境内,文化服务 POI 在核心区内分布有 28 处,在缓冲区内分布有 23 处,在实验区内分布了 25 处,核心区内的 POI 占总数的 36.84%,POI 在 3 个功能分区中占比比较均等。南坡保护地内,文化服务 POI 在缓冲区内分布了 2 处,95%的文化服务 POI 都分布在国家公园核心地带。因此,珠峰南北坡保护地的核心区也是文化服务价值最高的地区,成为珠峰生态旅游最集中的地点。

表 3 珠穆朗玛峰保护地文化服务 POI 在保护地功能分区中的数量
Table 3 Number of CES points of interesting(POI) in the functional areas

保护地区位 Protected area		功能分区 Functional area				总计 Total
		核心区 Core zone	国家公园 National park	缓冲区 Buffer zone	实验区 Experiment zone	
珠峰北坡 North slope of Mt. Qomolangma	定结县	3	0	0	0	3
	定日县	21	0	11	24	56
	聂拉木县	2	0	2	1	5
	吉隆县	2	0	10	0	12
	小计 Subtotal	28	0	23	25	76
珠峰南坡 South slope of Mt. Qomolangma	朗塘国家公园	0	8	0	0	8
	萨加玛塔国家公园	0	25	2	0	27
	马卡鲁坝润国家公园	0	5	0	0	5
	小计 Subtotal	0	38	2	0	40
合计 Total		28	38	25	25	116

珠峰南北坡保护地的文化服务 POI 类型多样,自然类文化服务 POI 有 11 种类别,合计 64 处,其中在北坡境内有 42 处,在南坡境内有 22 处;人文类文化服务 POI 有 7 种类别,52 处,其中在北坡境内有 34 处,在南坡境内有 18 处(表 4)。珠峰景色雄伟壮观,观景点有 13 处,兼具观景功能的垭口和居民点共 14 处,合计 27 处可观景的地点,占总数的 23.28%。这其中有 11 处兼具观景功能的居民点均分布于南坡保护地内,因此,这些居民点可以为徒步客提供多种文化服务功能。北坡保护地内承担观景功能的地点是观景点和垭口,由于功能单一,所能提供的文化服务功能也不够多样化。

表 4 珠穆朗玛峰保护地文化服务 POI 类型空间分布

Table 4 Types of CES POI in the functional areas

类型 Type	亚类 Sub type	总计 Total	珠峰北坡 North slope of Mt. Qomolangma			珠峰南坡 South slope of Mt. Qomolangma	
			核心区 Core zone	缓冲区 Buffer zone	实验区 Experiment zone	国家公园 National park	缓冲区 Buffer zone
自然类 Natural class	冰川遗迹	1	1	0	0	0	0
	高山湖泊	13	3	3	2	5	0
	河流	1	0	0	1	0	0
	温泉	5	0	2	3	0	0
	瀑布	2	0	2	0	0	0
	垭口	6	1	0	0	5	0
	垭口/观景点	3	1	1	1	0	0
	山峰	12	5	0	1	6*	0
	峡谷	5	2	1	0	2	0
	沙丘土地林	3	0	0	3	0	0
	观景点	13	4	1	4	4	0
	小计	64	17	10	15	22	0
人文类 Humanistic class	居民点/观景点	11	0	0	0	11	0
	居民点	12	2	5	1	2	2
	营地	6	3	0	0	3	0
	人文历史遗迹	6	1	4	1	0	0
	寺庙	15	4	4	7	0	0
	宗教活动场所	1	0	0	1	0	0
	界碑	1	1	0	0	0	0
	小计	52	11	13	10	16	2
合计 Total		116	28	23	25	38	2

* 未包括可从尼泊尔境内观看的珠穆朗玛峰、马卡鲁峰、洛子峰和卓奥友峰四座处于两国边境线上的山峰

3.2 珠峰南北坡文化服务 POI 的价值评估

对珠峰南北坡保护地生态系统文化服务 116 处 POI 的 12 种文化服务类型进行评估(图 3),从总分值中可以看到,得分为 30 分以上的有 6 处,分别是珠穆朗玛峰(37 分),卓奥友峰(32 分)、Gokyo(32 分)、马卡鲁峰(31 分)、晓乌错(30 分)、汤湘观景台(30 分)。得分为 20—29 分之间的有 25 处,得分为 10—19 分之间的有 51 处,得分为 10 分以下的有 34 处。

珠峰南坡境内的 POI 文化服务价值总体高于北坡境内。珠峰南坡境内的 POI 有 15 处文化服务得分高于 20 分,加上南北坡共享的珠穆朗玛峰、马卡鲁峰、洛子峰和卓奥友峰,合计为 19 处,占南坡 POI 总数的 43.18%。珠峰北坡有 16 处 POI 的文化服务得分高于 20 分,占北坡 POI 总数的 21.05%。可见珠峰南坡境内 POI 的总体质量较好,形成了小而集中的紧凑形态。

从文化服务功能单项值的总和来看,该区域的文化服务价值排序为美学价值(280 分)>经济价值(213 分)>信仰价值(200 分)>治疗价值(188 分)>游憩价值(169 分)>生命可持续价值(114 分)>生物多样性

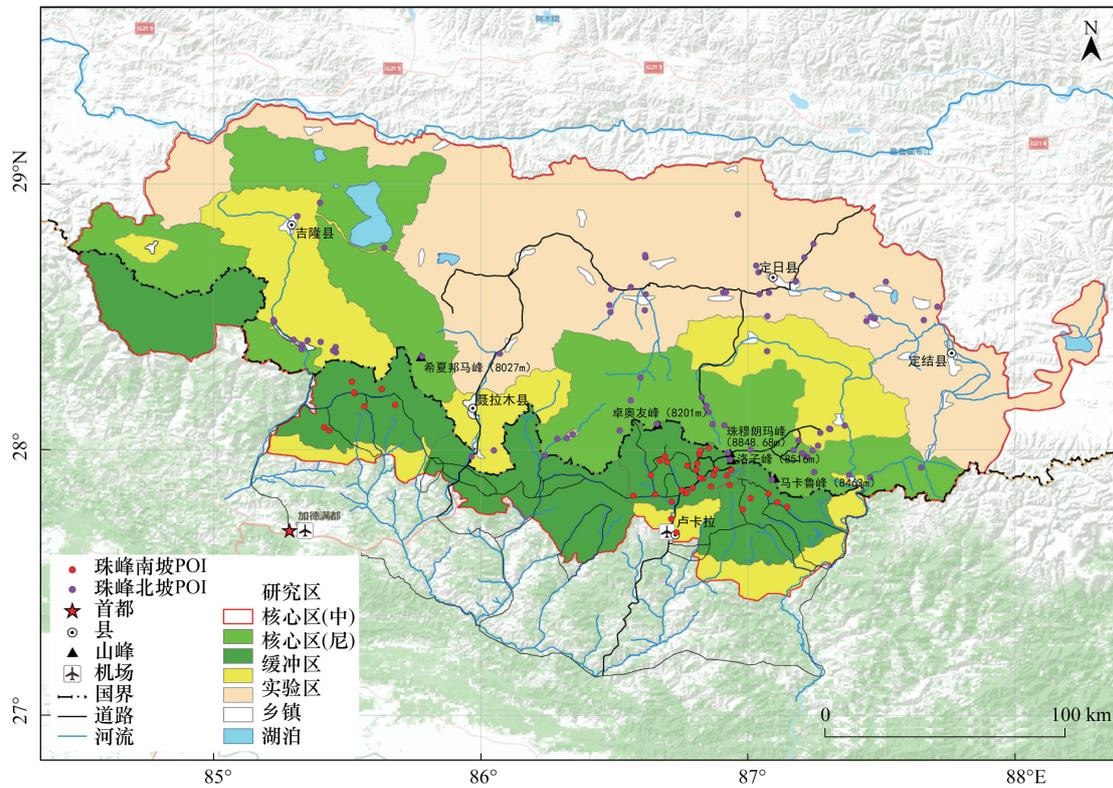


图2 珠穆朗玛峰保护地文化服务 POI 的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of points of interesting (POI) of culture ecosystem services (CES) in the protected areas of Mt. Qomolangma

价值(106分)>历史价值(102分)>学习价值(96分)>未来价值(82分)>文化价值(75分)>生计价值(71分)。在珠峰北坡境内的单项值排序为:美学价值>经济价值>信仰价值>治疗价值>游憩价值>历史价值>生命可持续价值=生物多样性价值>学习价值>未来价值>文化价值>生计价值;珠峰南坡境内的单项值排序为:美学价值>游憩价值>经济价值>治疗价值>信仰价值>生命可持续价值=生计价值>生物多样性价值>学习价值>未来价值>文化价值>历史价值。

由此可得,美学价值是该区域提供的最重要的文化服务类型,其次是经济价值,珠峰北坡境内的 POI 提供的信仰价值和治疗价值较高,珠峰南坡境内提供的游憩服务价值则高于治疗价值和信仰价值。

3.3 环境因子对珠峰南北坡保护地文化服务价值的影响

通过皮尔森显著性检验结果可以看到(表5),高程(Elevation)对文化服务总价值影响表现为高相关性($P=0.004$);植被归一化指数(NDVI)对文化服务总价值($P=0.137$)和坡度(Slope)对文化服务总价值($P=0.124$)的影响不显著。

从单项价值来看,美学价值、生计价值、游憩价值和未来价值与三个环境因子的相关性均较为显著($P<0.05$)。信仰价值与高程的相关性很高($P=0.002$)。生命可持续性价值、治疗价值、文化价值和学习价值与NDVI和高程的相关性较为显著($P<0.1$)。

从环境因子对文化服务价值类型的影响来看,高程与美学价值、生命可持续价值、生计价值、治疗价值、信仰价值、游憩价值、文化价值、学习价值、未来价值的回归结果可信度较高。其中高程与生计价值、文化价值的回归结果为负相关,说明海拔越高,可获得维持生活来源的基本食物越有限,生计价值越低,同时,高海拔也影响了科学考察开展的可能性,因此海拔位置越高,文化价值越低。高程与美学价值、生命可持续价值、治疗价值、信仰价值、游憩价值及未来价值都表现出了较强的正相关,海拔越高,人们获得这些类型的价值也越高,这与该区域独特的海拔高度特征一致。

位置	生命可持续性														生物多样性														位置
	总分	美学价值	可持续性	生计价值	经济价值	治疗价值	信仰价值	游憩价值	文化价值	学习价值	历史价值	未来价值	未来价值	历史价值	学习价值	文化价值	游憩价值	信仰价值	治疗价值	经济价值	生计价值	可持续性	生物多样性	美学价值	总分				
Gosainkunda Lake	27	5	2	5	1	2	3	2	4	0	3	0	3	5	0	3	0	3	2	4	3	0	3	3	3	26	洛子峰		
Laurebina Pass	8	2	0	0	0	0	1	1	4	0	1	0	0	5	1	3	0	4	2	4	4	0	4	3	4	31	马卡鲁峰		
Langtang Khola	14	3	3	3	2	0	0	0	2	0	1	0	1	5	1	3	0	4	2	4	4	0	4	3	4	32	卓奥友峰		
Kyanjin Gompa	16	2	1	0	3	4	0	3	0	2	1	2	0	5	3	3	0	3	1	2	3	1	5	3	3	28	绒布冰川		
Ganja La Pass	4	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4	4	3	2	3	1	0	4	2	1	0	2	23	卓湘		
Langtang Lirung	7	3	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	2	2	0	0	0	9	曲当乡轮珠林村		
Yala Peak	10	4	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	2	0	0	0	0	9	曲当乡优帕村		
Gangchenpo	7	3	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	4	3	2	0	3	2	2	3	2	3	0	2	24	措学仁玛		
Lukla	21	2	0	0	3	5	1	1	4	3	0	3	1	3	3	3	0	3	2	1	4	0	0	2	0	19	错朗措		
Namche	17	1	0	1	3	4	0	1	3	3	1	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	3	0	0	7	中尼60号界碑		
Phakding	13	0	1	2	4	2	0	0	1	3	0	1	0	2	1	0	3	3	0	0	3	3	0	0	0	15	绒辖乡陈塘村		
Tengboche	20	3	0	0	1	4	4	5	1	1	1	2	0	3	0	0	0	2	3	4	0	0	0	3	0	14	上绒布寺		
Deboche	12	3	0	0	0	1	2	4	2	0	0	2	0	4	0	0	0	4	0	4	4	0	2	2	0	19	卓奥友峰大本营		
Pangboche	13	2	0	0	2	4	2	1	0	2	0	1	0	0	0	0	2	4	0	1	2	2	0	0	0	10	参木达温泉		
Phorche	24	3	2	2	5	3	1	1	1	3	1	1	2	1	0	0	0	1	2	4	0	2	0	3	0	12	朗果寺		
Dingboche	25	3	1	2	5	4	3	2	1	2	2	1	0	1	1	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	5	奴龙士林		
Chhukung	18	3	2	2	2	1	2	1	3	0	2	0	2	0	0	0	0	2	2	0	1	2	2	0	0	8	鲁鲁温泉		
Amphu Labsta pass	16	3	2	2	0	0	3	2	2	0	0	0	3	3	2	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	7	麻布沟		
Tonak Pokhari	21	3	3	3	1	0	2	3	3	0	3	0	3	2	0	0	0	2	1	0	2	0	3	1	0	9	尼辖新月沙丘		
Imja Tsho	18	3	3	3	1	0	2	2	2	0	3	0	2	2	3	3	0	1	0	2	2	2	3	0	0	16	朋曲河		
Kala Patthar	29	5	2	3	0	3	4	3	4	0	5	1	3	1	0	0	0	1	2	4	0	1	0	2	0	9	翁嘎寺		
Everest Base Camp	21	3	0	0	1	5	3	2	4	0	2	2	0	1	0	0	0	1	3	0	1	2	2	0	0	8	尼辖温泉		
Dughla	12	2	2	1	2	2	0	0	1	2	1	1	1	1	0	0	0	1	2	4	0	1	0	2	0	10	森嘎寺		
Lobuche	9	1	2	1	1	3	1	0	1	0	0	0	1	2	1	2	0	1	2	0	2	2	0	0	0	10	措果湖		
Pheriche	20	4	2	2	1	3	3	1	3	1	0	1	1	0	1	0	0	0	5	0	4	0	3	0	0	11	孜布日神山天葬台		
Dzongla	22	4	3	3	0	1	2	2	3	0	2	0	3	1	0	0	0	1	2	4	0	1	0	2	0	9	索昂寺		
Gokyo	32	5	2	2	0	5	4	3	2	1	4	2	4	3	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	5	盆吉拉山口		
Lunden	23	3	3	3	2	2	2	1	3	2	1	2	2	1	0	0	0	2	2	4	0	1	0	2	0	11	拉东寺		
Thame	20	3	2	2	2	4	0	0	2	3	1	1	1	1	0	0	0	1	2	3	0	1	0	2	0	8	古达子寺		
Parchemuche Tsho	21	2	3	3	0	3	2	2	3	1	2	0	2	1	0	0	0	1	2	4	0	1	0	2	0	10	措果曲德寺		
Renjo La	6	2	0	0	0	0	3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	4	0	1	0	2	0	9	贡达布寺		
Pumuri Lake	12	4	0	2	0	0	2	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	3	1	2	0	2	0	8	扎果查塔		
Iceland Peak BC	12	5	0	0	0	1	2	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	4	0	1	0	2	0	9	查堆寺		
Chhukung Ri	14	5	0	0	0	1	3	2	3	0	1	0	0	1	0	0	0	1	2	4	0	1	0	2	0	9	加曲莫寺		
Ama Dablam	13	5	0	0	0	0	5	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	3	0	1	0	2	0	9	曲当尼泊尔建筑		
Makalu Base Camp	18	3	0	1	2	4	3	1	4	0	2	0	0	1	0	0	0	1	2	4	0	1	0	2	0	9	曲桑寺		
Langmale Kharka	13	3	0	1	2	3	2	0	3	0	1	0	0	2	2	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	7	东巴士林		
Hongku Chuli	12	5	0	0	0	0	3	3	0	0	1	0	0	2	1	0	0	2	1	2	2	0	2	0	1	0	12	沙基塘	
Chamlang	11	5	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	3	4	0	0	0	1	0	3	0	1	0	0	11	上拉则沟		
Shiva Dhara Barun Valley	24	3	4	3	2	3	1	0	4	2	1	0	2	2	3	0	0	2	1	0	1	0	0	0	0	8	鸡冠山		
日屋长城	11	3	0	0	0	2	1	0	2	0	0	5	0	3	0	4	1	1	3	0	2	1	1	0	1	14	绒辖沟五色湖		
曲秀唐嘎湖	16	2	3	3	0	1	2	2	3	0	1	0	1	5	3	4	0	2	2	2	1	0	2	1	4	23	佩枯措		
雪雄玛温泉	10	0	1	0	0	1	4	3	2	0	0	0	0	4	0	2	0	3	1	3	1	0	2	1	3	18	希夏邦马峰观景台		
珠峰北坡大本营	27	4	0	0	0	5	3	5	3	0	3	2	3	2	0	0	2	2	2	0	0	0	1	3	0	10	中尼友谊桥		
绒布寺	14	3	0	0	0	2	3	4	0	0	0	3	0	4	2	4	0	4	3	2	3	0	3	0	3	24	达惹措		
加吾拉山观景台	22	5	2	1	0	3	4	4	3	0	1	0	0	5	1	2	0	1	2	2	0	0	2	0	2	17	希夏邦马峰		
珠穆朗玛峰大门	4	1	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	4	2	3	0	2	3	2	0	0	0	0	0	15	孔唐拉姆山垭口		
岗嘎湿地	23	3	4	4	3	4	1	0	2	0	2	0	2	1	0	0	0	2	1	2	0	0	5	0	0	10	大唐天竺使出铭摩崖石刻		
白垩	7	0	0	0	2	3	2	0	0	0	0	1	0	3	3	3	0	2	3	0	2	0	0	1	0	14	开热瀑布		
晓乌措	30	4	5	5	2	3	2	4	4	0	1	0	3	3	0	0	0	3	0	2	0	0	0	3	0	10	招提壁龛		
汤湘观景台	30	5	3	3	0	3	4	5	3	0	2	2	3	4	0	0	0	2	3	4	0	0	0	4	0	17	帕巴寺		
珠峰东坡大本营	23	5	2	3	0	3	3	3	4	0	2	1	0	3	2	1	0	4	2	1	2	0	0	1	2	16	吉普大峡谷		
普士拉山口	17	4	3	3	0	3	1	3	0	0	0	0	2	4	3	2	3	4	4	2	2	2	1	0	2	28	乃村		
曲嘎寺	13	4	2	0	0	2	0	4	1	0	1	1	0	3	0	0	0	2	1	3	1	0	2	2	1	13	日松贡布摩崖造像		
绒辖乡参木堡村	5	1	0	0	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	3	0	0	0	7	达曼村		
孜布日山观景台	13	4	2	2	0	2	1	3	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	4	崩巴瀑布		
嘉措拉山口	7	2	0	0	0	2	1	1	2	0	0	0	0	3	0	1	0	1	2	0	1	0	0	0	0	7	朗吉措姆加姆神湖		
珠穆朗玛峰	37	5	1	3	0	4	4	5	4	0	4	3	5	1	0	0	0	3	3	0	1	1	1	0	0	9	江村温泉		

图3 珠穆朗玛峰保护地文化服务 POI 价值评估矩阵

Fig.3 Assessment matrix of POI of culture ecosystem services (CES) in the protected areas of Mt. Qomolangma

NDVI 与美学价值、生命可持续价值、生计价值、文化价值、历史价值和未来价值的回归结果可信度较高, 并与其中四种文化服务单项值呈负相关, 与总文化服务价值也呈负相关, 可见在该区域植被覆盖度并不重要。NDVI 与美学价值呈负相关, 说明该区域更吸引人的景观是山峰、冰川等没有植被覆盖的地表; 与生命可持续

价值呈负相关,说明植被覆盖度高,才能净化水、空气、土壤等环境要素;与生计价值、文化价值呈正相关,与高程相反,说明有植被覆盖的地方才能供给稳定的人类活动场所;与学习价值、未来价值呈负相关,也与高程相反,说明高海拔带来的价值在该区域更加明显。

坡度因子与文化服务单项值的回归结果在美学价值、生计价值、游憩价值和未来价值中表现的可信度较高($R^2 < 0.25$),呈现为正相关。其中坡度与游憩价值的 R^2 为 0.246,表现为坡度越缓,游憩价值更容易获得。

表 5 珠穆朗玛峰保护地文化服务价值类型与环境因子回归分析结果

Table 5 Linear regression results for culture ecosystem services(CES) types and environmental factors

文化服务价值类型 CES Value type	高程 Elevation (x_1)		植被归一化指数 NDVI (x_2)		坡度 SLOPE (x_3)	
	R^2	P	R^2	P	R^2	P
文化服务总价值(y_{total}) Total value of CESs	0.244	0.004	-0.096	0.137	0.091	0.124
美学价值(y_1) Aesthetic value	0.452	0.000	-0.206	0.005	0.133	0.047
生物多样性价值(y_2) Biological diversity value	-0.019	0.861	-0.083	0.302	-0.017	0.815
生命可持续价值(y_3) Life sustaining value	0.388	0.011	-0.243	0.032	0.048	0.649
生计价值(y_4) Subsistence value	-0.359	0.001	0.270	0.001	0.158	0.035
经济价值(y_5) Economic value	-0.092	0.369	0.108	0.154	0.109	0.118
治疗价值(y_6) Therapeutic value	0.235	0.019	-0.124	0.096	-0.034	0.622
信仰价值(y_7) Spiritual value	0.297	0.002	-0.115	0.106	-0.094	0.152
游憩价值(y_8) Recreation value	0.344	0.028	-0.218	0.061	0.247	0.020
文化价值(y_9) Cultural value	-0.480	0.001	0.242	0.023	-0.073	0.459
学习价值(y_{10}) Learning value	0.554	0.000	-0.292	0.003	0.079	0.397
历史价值(y_{11}) Historic value	-0.027	0.848	0.119	0.252	-0.026	0.786
未来价值(y_{12}) Future value	0.565	0.000	-0.247	0.015	0.191	0.042

由上述分析可见,在所选的 3 个环境因子中,文化服务总价值及其各个方面的价值受高程因子的影响最为显著,也证明了高程是影响该区域文化服务价值高低的特征因子,高程变化造就的独特景观特征是该区域文化服务价值所在;NDVI 的影响次之,坡度的影响最小。

4 结论与建议

珠穆朗玛峰保护地是跨越喜马拉雅山脉,闻名全球的高山生态旅游目的地,虽然中国和尼泊尔两国在设置保护地方面有较大的不同,但珠峰南北坡提供的文化服务价值类型几乎相同,该区域共同为游客提供精神享受,包括美学及信仰实现。同时,高海拔是影响该区域文化服务价值高低的特征因子。

通过实证研究发现,利用网络大数据获取 POI 数据,采用访谈法调查文化服务价值,两者相结合的方法可以获得较好的可信数据,以满足文化服务的研究具有多重维度和主观性的数据特征。

当前,进一步加强珠穆朗玛峰保护地生态系统服务的研究,对于积极落实联合国 2030 可持续发展议程,促进中尼两国国家公园和自然保护区跨境合作,加强自然保护,发展地方经济,培育和平与友好文化,促进珠穆朗玛峰地区的可持续发展具有重要的意义和作用。

致谢:感谢尼泊尔向导和背夫在萨加玛塔国家公园调查时给予的协助,感谢珠穆朗玛峰自然保护区管理局、定日县人民政府和吉隆县人民政府的帮助。

参考文献 (References):

- [1] 次旦伦珠. 珠穆朗玛峰自然保护区概况. 中国藏学, 1997, 1: 3-22.
- [2] 日喀则市统计局. 2019 年日喀则市国民经济和社会发展统计公报. 2020.
- [3] Government of Nepal Ministry of Culture, Tourism and Civil Aviation. Nepal Tourism Statistics. 2018.
- [4] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196.
- [5] 王根绪, 邓伟, 杨燕, 程根伟. 山地生态学的研究进展、重点领域与趋势. 山地学报, 2011, 29(2): 129-140.
- [6] 孙鸿烈, 郑度, 姚檀栋, 张德铨. 青藏高原国家生态安全屏障保护与建设. 地理学报, 2012, 67(1): 3-12.
- [7] 张宪洲, 杨永平, 朴世龙, 包维楷, 汪诗平, 王根绪, 孙航, 罗天祥, 张扬建, 石培礼, 梁尔源, 沈妙根, 王景升, 高清竹, 张德铨, 欧阳华. 青藏高原生态变化. 科学通报, 2015, 60(32): 3048-3056.
- [8] 张锐, 刘焱序, 赵嵩, 傅伯杰. 中国城市居民对青藏高原生态资产的支付意愿——以中国 27 市为例. 自然资源学报, 2020, 35(3): 563-575.
- [9] Plieninger T, Bieling C, Fagerholm N, Byg A, Hartel T, Hurley P, López-Santiago C A, Nagabhatla N, Oteros-Rozas E, Raymond C M, Van Der horst D, Huntsinger L. The role of cultural ecosystem services in landscape management and planning. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2015, 14: 28-33.
- [10] Hirons M, Combetti C, Dunford R. Valuing cultural ecosystem services. *Annual Review of Environment and Resources*, 2016, 41: 545-574.
- [11] 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.
- [12] Millennium Ecosystem Assessment (MEA). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [13] Daniel T C, Muhar A, Arnberger A, Aznar O, Boyd J W, Chan K M A, Costanza R, Elmqvist T, Flint C G, Gobster P H, Grêt-Regamey A, Lave R, Muhar S, Penker M, Ribe R G, Schauppenlehner T, Sikor T, Soloviy I, Spierenburg M, Taczanowska K, Tam J, von der Dunk A. Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(23): 8812-8819.
- [14] Milcu A I, Hanspach J, Abson D, Fischer J. Cultural ecosystem services: a literature review and prospects for future research. *Ecology and Society*, 2013, 18(3): 44.
- [15] Santarém F, Saarinen J, Brito J C. Mapping and analysing cultural ecosystem services in conflict areas. *Ecological Indicators*, 2020, 110: 105943.
- [16] Van Zanten B T, Van Berkel D B, Meentemeyer R K, Smith J W, Tieskens K F, Verburg P H. Continental-scale quantification of landscape values using social media data. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2016, 113(46): 12974-12979.
- [17] Naidoo R, Balmford A, Costanza R, Fisher B, Green R E, Lehner B, Malcolm T R, Ricketts T H. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(28): 9495-9500.
- [18] Schulp C J E, Burkhard B, Maes J, Van Vliet J, Verburg P H. Uncertainties in ecosystem service maps: a comparison on the European scale. *PLoS One*, 2014, 9(10): e109643.
- [19] 李渤生. 珠穆朗玛峰自然保护区的初步评价. 自然资源学报, 1993, 8(2): 97-104.
- [20] 生态环境部. 辽宁五花顶等 10 处国家级自然保护区的面积和范围. [2018-07-21]. http://www.mee.gov.cn/gkml/sthjbgw/sthjbb/201807/t20180730_447470.htm.
- [21] Bhusal N P. Buffer zone management system in protected areas of Nepal. *The Third Pole: Journal of Geography Education*, 2014, 11-12: 34-44.
- [22] Casado-Arzuaga I, Onaindia M, Madariaga I, Verburg P H. Mapping recreation and aesthetic value of ecosystems in the Bilbao Metropolitan Greenbelt (northern Spain) to support landscape planning. *Landscape Ecology*, 2014, 29(8): 1393-1405.
- [23] Tenerelli P, Demšar U, Luque S. Crowdsourcing indicators for cultural ecosystem services: a geographically weighted approach for mountain landscapes. *Ecological Indicators*, 2016, 64: 237-248.
- [24] Schirpke U, Meisch C, Marsoner T, Tappeiner U. Revealing spatial and temporal patterns of outdoor recreation in the European Alps and their surroundings. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 336-350.
- [25] 聂勇, 刘林山, 张德铨, 丁明军. 1982-2009 年珠穆朗玛峰自然保护区植被指数变化. *地理科学进展*, 2012, 31(7): 895-903.
- [26] 张德铨, 李兰晖, 丁明军, 郑度. 新世纪以来青藏高原绿色度变化及动因. *自然杂志*, 2017, 39(3): 173-178.
- [27] Piao S L, Wang X H, Park T, Chen C, Lian X, He Y, Bjerke J W, Chen A P, Ciais P, Tømmervik H, Nemani R R, Myneni R B. Characteristics, drivers and feedbacks of global greening. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2020, 1(1): 14-27.
- [28] Brown G, Reed P. Validation of a forest values typology for use in national forest planning. *Forest Science*, 2000, 46(2): 240-247.
- [29] 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. *生态学报*, 2018, 38(10): 3682-3691.
- [30] 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.
- [31] Sherrouse B C, Semmens D J, Ancona Z H, Brunner N M. Analyzing land-use change scenarios for trade-offs among cultural ecosystem services in the Southern Rocky Mountains. *Ecosystem Services*, 2017, 26: 431-444.