

DOI: 10.5846/stxb202005171259

曾瑜哲, 钟林生, 虞虎. 气候变化背景下青海省三江源地区游憩功能格局演变. 生态学报, 2021, 41(3): 886-900.

Zeng Y X, Zhong L S, Yu H. Spatial and temporal evolution of recreational function in the Sanjiangyuan region of Qinghai Province under climate change. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(3): 886-900.

气候变化背景下青海省三江源地区游憩功能格局演变

曾瑜哲¹, 钟林生^{1,2,*}, 虞 虎¹

¹ 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

² 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049

摘要:在气候变化背景下, 青海三江源地区游憩功能格局发生改变。综合运用 PC (Pairwise Comparison) 法、AHP (Analytic Hierarchy Process)、指标模型、相关分析等方法, 构建三江源地区游憩功能评价框架, 研究 1978—2012 年三江源地区 3 类游憩功能格局的演变, 以及这种演变与气候变化之间的关联。研究表明: (1) 气候条件、独特景观、植被条件、地表覆被与地形条件等要素影响着三江源地区游憩功能的形成, 不同要素在美感、参与机会与适宜环境 3 类游憩功能形成过程中发挥的作用不同, 且具有非线性贡献; (2) 三江源地区的美感功能较强, 其次是参与机会功能, 而适宜环境功能较弱; (3) 气候变化在不同程度上改变了三江源地区的 3 类游憩功能, 其中, 适宜环境功能的响应最强烈, 主要表现为提升; 参与机会功能的响应程度最弱。该研究完善了游憩功能的理论与应用, 并为气候变化背景下三江源地区旅游可持续发展决策提供参考。

关键词:游憩功能; 空间格局; 气候变化; 三江源地区

Spatial and temporal evolution of recreational function in the Sanjiangyuan region of Qinghai Province under climate change

ZENG Yuxi¹, ZHONG Linsheng^{1,2,*}, YU Hu¹

¹ Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

² College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: In the context of climate change, the pattern of recreational functions in the Sanjiangyuan region has changed. This paper comprehensively uses the PC (Pairwise Comparison) method, AHP (Analytic Hierarchy Process) method, index model, correlation analysis, and other methods to construct a framework for evaluating recreational functions. On this basis, the change of the three types of recreational function patterns in the Sanjiangyuan region from 1978 to 2012 was traced, and the relationship between this evolution and climate change was examined. Results shows that: (1) factors such as climatic conditions, unique landscapes, vegetation conditions, surface cover, and terrain conditions affect the formation of the recreational function in the Sanjiangyuan region. The different factors play different roles in the procedure of such formation, and these factors have nonlinear contributions. (2) The aesthetic function of the Sanjiangyuan region is stronger, followed by the participation function, and the suitable environment function is the weakest. (3) Climate change has changed the three types of recreational functions in the Sanjiangyuan region to various degrees. Among them, the response of the suitable environment function is the strongest which has been improved, while the response of the participation function is the weakest. The study expands the theory and application of recreational functions, and can help tourism decision-makers of the Sanjiangyuan region towards a sustainable development under climate change.

基金项目:国家自然科学基金项目(41671527); 国家重点研发计划项目(2017YFC0506401); 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0401); 三江源国家公园联合研究专项(LHZX-2020-05)

收稿日期: 2020-05-17; 修订日期: 2020-12-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhongls@igsrr.ac.cn

Key Words: recreational function; spatial pattern; climate change; the Sanjiangyuan region

青海省三江源地区素有“中华水塔”之称,是长江、黄河、澜沧江的源头汇水区,在水源涵养、生物多样性维持、气候调节等方面具有重要价值^[1-2]。生态旅游发展带来的经济效益能提高当地社会发展水平,是三江源地区生态价值转化的重要路径之一,极具重要意义,但也给当地脆弱的生态系统造成一定的压力^[3]。

三江源地区生态系统具有的游憩功能不仅在一定程度上决定了生态旅游发展水平,还能指示未来旅游业发展前景。游憩功能是一类生态系统服务功能,也是地域功能的一种,是区域凭借其自身生态地理要素形成的、优化人类游憩体验的能力^[4],如美感体验、活动参与体验等。这种能力是由生态地理要素自身产生的,是“潜在的”,反映了区域凭借生态地理要素吸引旅游市场的能力^[5-6]。正因为三江源地区旅游业十分依赖区域生态地理要素,其对气候变化的敏感性也较高。位于青藏高原腹地的三江源地区是全球气候变化的放大器^[7-8],其气候变化具有超前性。三江源地区的气候变化主要表现为气温升高,近 50 年来,三江源地区增温幅度明显高于全球,并且与周边地区相比,增温幅度要大于整个青藏高原^[9]、大于青海东部农业区^[10]、横断山区^[11]和藏北地区^[12]。在气候变化的影响下,三江源地区的生态地理要素发生了剧烈变化,给游憩功能的形成及旅游业发展带来很大的不确定性。一方面,草地退化、冰川消融、湖泊萎缩等^[13]会降低对部分旅游者的吸引力,给当地旅游经济发展造成负面影响;另一方面,气温升高、植被恢复明显、部分水体扩张^[14],导致适游期延长、适游人群范围扩大,在一定程度上增加对部分旅游者的吸引力。因此,研究三江源地区游憩功能格局及其对气候变化的响应,有助于促进气候变化背景下旅游地可持续发展和完善气候变化对旅游地影响的相关理论。

本文综合运用 PC、AHP、指标模型、相关分析等方法,研究 1978—2012 年三江源地区游憩功能格局,力图回答 3 个问题:(1)生态地理要素在区域游憩功能形成过程中如何发挥作用,(2)1978—2012 年间,三江源地区的游憩功能格局发生了怎样的变化,(3)这种变化与气候变化之间有什么关联。旨在完善游憩功能相关理论与应用,并为三江源地区旅游可持续发展建设提供支撑。

1 研究方案

1.1 研究区

三江源地区位于青藏高原腹地(图 1),是典型的高海拔地区。行政区域涉及玉树、果洛、海南、黄南 4 个藏族自治州的 16 个县和格尔木市的唐古拉山镇(16 县 1 乡),面积约 36.3 万 km²,坐标界于 89°45′—102°23′E,31°39′—36°12′N 之间。

三江源地区具有典型的高原山地气候特征:气温低,年较差小,日较差大;辐射强,日照丰富,降水少,冬半年风力强劲。独特的气候与地形孕育了多样化的生态系统,包括森林、草原、湿地、雪山冰川、高山峡谷等。三江源地区拥有可可西里、年保玉则、昆仑山、阿尼玛卿雪山、扎陵湖—鄂陵湖等生态旅游资源,宜游季为 6—9 月。自 1999 年以来,三江源地区开展了生态观光、科考探险、野生动物观赏、森林峡谷观光、民族文化生态体验等生态旅游活动,旅游人数和旅游收入不断增加,但目前旅游业发展水平仍然较低^[15]。

1.2 三江源地区游憩功能的类型与评价

1.2.1 指标选取

人们在开展依托生态系统的游憩活动时,主要是为了体验景观美和参与户外游憩活动,并希望这些活动的开展能够处在适宜的游憩环境中。游憩者在与生态系统的互动过程中,不管人口特征如何,人们普遍关注景观美感质量与游憩机会^[16-17]。游憩机会与审美价值是一个区域吸引旅游者的核心因素;而游憩环境条件构成了旅游体验的基础^[18-19]。也就是说,大部分旅游者在旅游情境中,感受到的游憩功能包括优化美感体验,提供亲水、徒步、爬山等游憩活动的机会,提供适宜的旅游气候、适宜地形等方面的能力^[20-25]。本文探究

三江源地区的美感、参与机会、适宜环境 3 类功能及其对气候变化的响应(图 2)。其中,美感功能反映了区域提供、维持与优化人类审美体验的能力,参与机会功能反映了区域提供游憩活动参与机会的能力,适宜环境功能反映了区域提供适宜人类游憩活动开展的环境的能力。

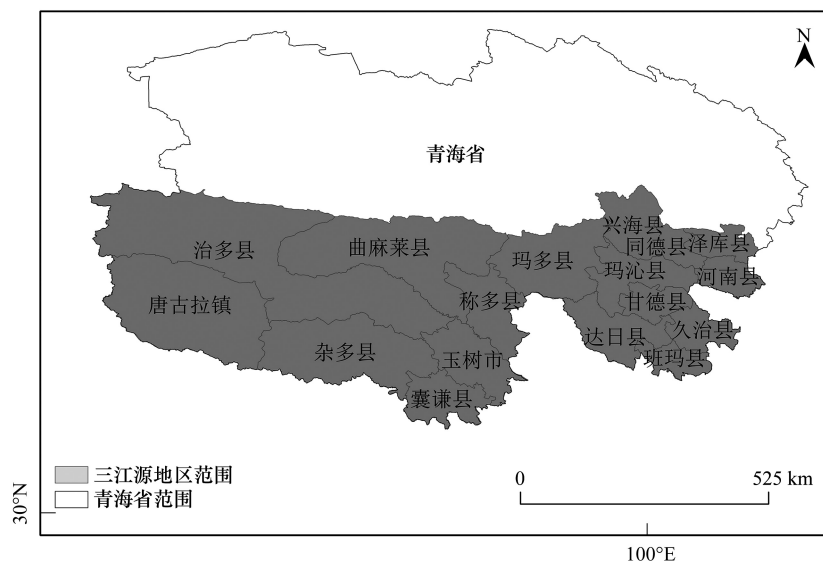


图 1 青海省三江源地区区位

Fig.1 Location of the Sanjiangyuan region of Qinghai Province

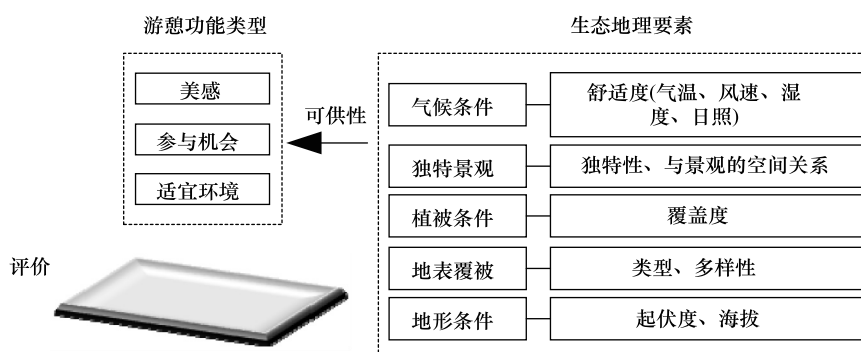


图 2 三江源地区游憩功能评价指标

Fig.2 Recreational potential indicators of the Sanjiangyuan region

遵循科学性、可行性原则,采用两步法选取三江源地区游憩功能评价指标。首先,采取频度分析法,对国内外游憩功能评价研究中常用指标及其评价方法进行统计分析,选择使用频度较高的指标;其次,结合地理环境与生态旅游特点,筛选适合三江源地区的指标及其评价方法。根据分析,三江源地区游憩功能主要取决于 5 类生态地理要素:气候条件、独特景观、植被条件、地表覆被与地形条件。其中,气候条件采用气候舒适度指标测度^[26];独特景观具体探讨评价单元与保护区的空间关系^[25,27];植被条件采用植被覆盖度指标测度^[28];地表覆被主要分析类型^[24-25]、多样性^[28];地形条件主要分析起伏度^[22]、海拔^[29]。各要素的具体释义如下:

(1)气候条件。气候条件反映区域气候特征对游憩的支持程度。旅游气候舒适度综合考虑了人类体表与近地面大气之间的热交换原理,能直接反映游憩者体感舒适度,是影响游憩活动开展与体验质量的重要因素^[22]。旅游气候舒适度越高,游憩功能越大。本文采用马丽君等提出的气候舒适度综合指数(TCS)^[26, 30-31]。其计算式如下:

$$TCS = 0.6 \times THI + 0.3 \times WCI + 0.1 \times ICL \quad (1)$$

$$THI = T - 0.55 \times (1 - F) \times (T - 14.4) \quad (2)$$

$$WCI = - (10 \sqrt{V} + 10.45 - V) \times (33 - T) + 8.55 \times S \quad (3)$$

$$ICL = (33 - t) / 0.155H - (H + aR \cos \alpha) / (0.62 + 19.0 \sqrt{V})H \quad (4)$$

式中, T 为摄氏气温($^{\circ}\text{C}$), F 为空气相对湿度(%), V 为风速(m/s), S 为日照时数(h/d); H 代表人体代谢率的 75% (W/m^2), 取轻活动量下的代谢率($H = 87 \text{ W/m}^2$); a 表示人体对太阳辐射的吸收情况, 取 0.06; R 表示垂直阳光的单位面积土地所接受的太阳辐射(W/m^2); α 是太阳高度角。借鉴曹伟宏等方法^[31], 确定各类气候指数的适宜度等级, 计算 TCS 取值, 并将计算结果采用 Z-score 方法映射到 $[0, 1]$ 区间。TCS 越接近 1, 气候适宜度越高; 反之, 则越低。

(2) 独特景观。三江源自然保护区具有较高的观赏价值^[32], 能带来优质的美感体验, 但由于保护区实施严格的管制, 核心区禁止开展游憩活动; 缓冲区开展少量对生态保护有严格要求的活动; 试验区开展少量活动。因而基于保护区空间管制要求, 将保护区条件分为“位于缓冲区、位于实验区、邻近保护区、与保护区较远、与保护区很远”5 种状态。一般来说, 与保护区相隔越远, 美感体验越低^[24]。保护区外的 3 种状态属性采用欧式距离计算, 根据自然断点法划分等级^[33], 3 种属性的取值区间分别为: 邻近保护区 ($\leq 36.85 \text{ km}$)、与保护区较远 ($36.85 - 121.39 \text{ km}$)、与保护区很远 ($\geq 121 \text{ km}$)。

(3) 植被条件。植被条件包括物种结构、树龄结构、植被覆盖等。其中, 植被覆盖度是反映区域生态环境状况的重要指标^[34], 与游憩体验密切相关, 其对游憩体验的影响是非线性的。植被覆盖度较高能获得较好的美感体验, 但高植被覆盖度可能会减少参与机会供给。Bjerke 等研究了公园植被密度与游憩之间的关系, 发现相较于更低或更高的植被覆盖率, 覆盖率中等的林地具有较高的游憩吸引力^[35]。本文采用归一化植被指数 (NDVI) 来测度地表植被的覆盖程度。该指数削弱了大气层和地形阴影的影响, 对地表植被的覆盖程度非常敏感, 是检测和指示植被覆盖状况和动态的常用指标^[36]。根据石焱等研究, 将植被覆盖度划分为“低 ($\text{NDVI} < 0.34$)、较低 ($0.35 < \text{NDVI} < 0.41$)、中 ($0.42 < \text{NDVI} < 0.50$)、较高 ($0.51 < \text{NDVI} < 0.64$)、高 ($\text{NDVI} > 0.65$)”5 个等级^[37]。

(4) 地表覆被。地表覆被是空间单元的景观基底, 反映了空间的主体景观形态。本文探究地表覆被类型与多样性对游憩功能的作用。通常, 自然度较高的覆被类型能带来更好的美感体验, 如森林、水体等; 反之, 美感度较低, 如工矿用地、居民点等。此外, 地表覆被类型对游憩活动适宜性有一定的影响。例如, 草地适宜开展滑草、骑马等, 湿地适宜开展观鸟、划艇等。本文根据徐新良等提出的方案进行分类^[38]。该方案根据地表覆被遥感分类体系, 结合 1:100 万植被图、青海三江源地区自然保护区总体规划、三江源地区自然保护区生物多样性科考报告、三江源地区自然保护区生态环境等相关资料, 识别出三江源地区的 6 类地表覆被: 森林、草地、水体与湿地、农田、荒漠与其他。

地表覆被多样性与游憩体验密切相关。多样性丰富的空间单元能提供的参与机会较多, 同时有助于提升美景度。但过高的景观多样性可能会影响旅游者对景观规模与连续型的感知, 尤其是在以大尺度景观为特色的地区, 高度的景观多样性可能会对美感体验造成负面影响。因而论文采用景观多样性来反映景观格局。景观多样性指标根据一定空间范围内的地表覆被多样性进行计算。采用 ArcGIS 10.2 软件中的“焦点统计”工具, 窗口类型选择矩形, 根据汤国安和杨昕的建议, 窗口大小选择“ 3×3 ”单元, 统计类型采用“variety”^[39]。由于三江源地区的地表覆被类型主要有 6 类, 因此。当 $\text{variety} = 1$, 表示以该空间单元为核心的窗口内不同景观类型的数量为 1, 景观多样性低; 同理, 当 $\text{variety} = 5$, 景观多样性高。

(5) 地形条件。本文探究地形起伏度、海拔在区域游憩功能形成中的作用。地形起伏度是描述区域地形特征的宏观性指标, 是指在特定区域内, 最高点海拔与最低点海拔的差值^[40]。一方面, 地形起伏度对美感体验产生影响, 适度起伏的地形有利于增加美景度^[20]; 另一方面, 随着地形起伏度的变化, 能提供的参与机会会有所差异。如对于大部分旅游者, 平地提供的参与机会数量较多, 起伏较大的山地提供的参与机会数量相对较少。本文采用地形起伏度来反映地形条件。其计算采用窗口分析法, 公式为^[41]:

$$RA_i = E_{\max} - E_{\min} \quad (5)$$

式中, RA_i 表示以第 i 个栅格为中心的窗口内的相对高差值, $E_{\max}$ 和 $E_{\min}$ 分别表示该窗口的最大高程值、最小高程值。邻域分析中窗口大小的设定参照汤国安和杨昕的研究^[39]。按照地形起伏度自然断裂点, 划分为“低(0—21)、较低(21—50)、中(50—85)、较高(85—130)、高(130—598)”5个等级。

鉴于三江源地区高海拔环境的特殊性, 选取海拔适宜度指标来考虑高原反应对人体的影响。海拔适宜度取决于海拔高度。随着海拔的上升, 空气含氧量降低, 人体会出现血氧过少的现象, 产生不适感。根据长安等的研究, 海拔越低, 适宜度越高, 越有利于为游憩者提供适宜的游憩环境^[29]。

1.2.2 指标评级

进一步计算气候条件、独特景观、植被条件、地表覆被、地形条件在区域游憩功能形成中的具体作用, 即游憩功能的可供性(affordance)(表1)。(1)运用PC(图3)、AHP(图4)分别评价各项指标的美感功能、参与机会功能(均采用1—9标度)。最后, 将评价结果采用离差标准化方法进行线性转换, 将结果映射在 $[0, 1]$ 区间内, 得到各要素的对于不同游憩功能的可供性(表1)。可供性数值越接近1, 可供性越大; 反之, 则越小。转换函数如下:

$$x^* = (x - \min) / (\max - \min) \quad (6)$$

式中, $\max$ 为样本数据的最大值, $\min$ 为样本数据的最小值。

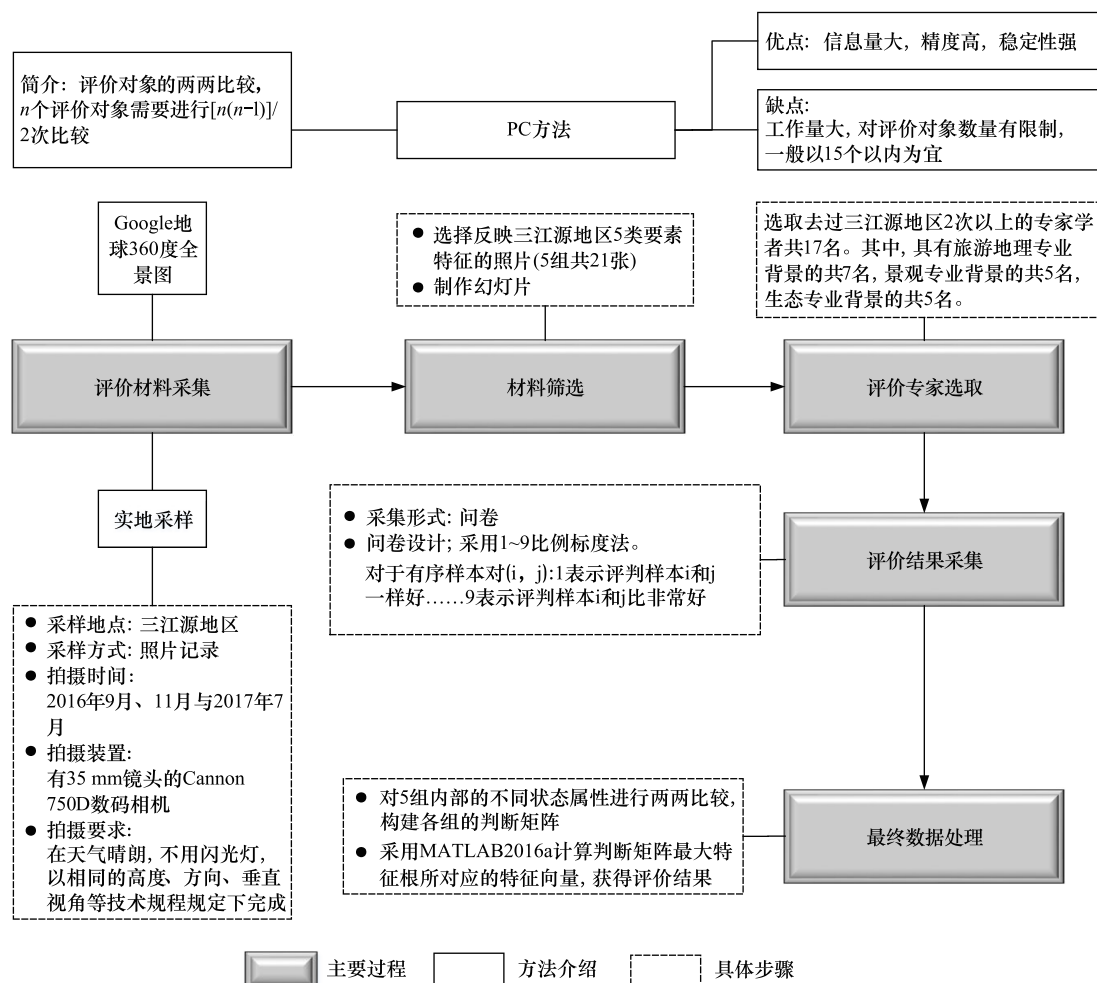


图3 PC方法的步骤

Fig.3 The procedure of PC

PC: 成对比较法 Pairwise comparison

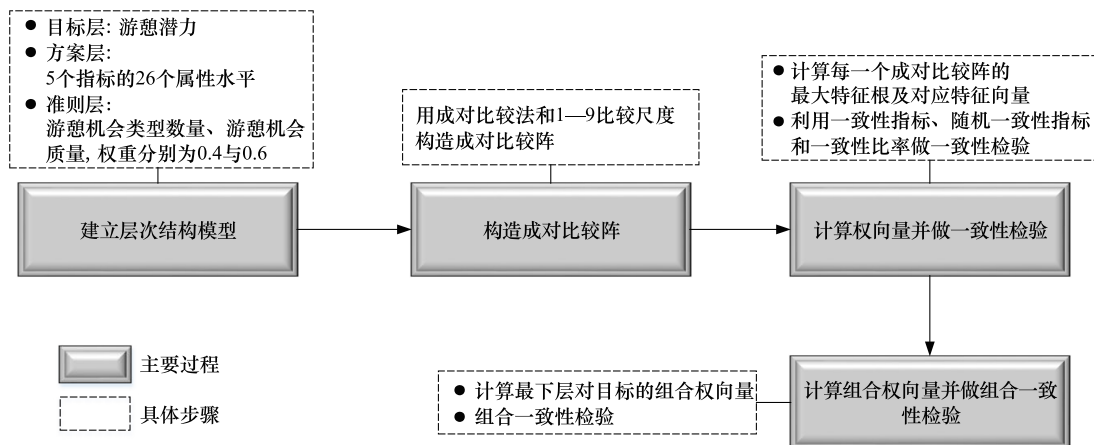


图4 AHP 方法的步骤

Fig.4 The procedure of AHP

AHP: 层次分析法 Analytic hierarchy process

表1 生态地理要素的游憩功能可供性评价结果

Table 1 Aesthetic potential availability evaluation results

生态地理要素 Factors	指标 Indicators	值/区间 Value/types	美感 Aesthetics	参与机会 Recreational opportunities	适宜环境 Suitable environment
气候条件 Climate	气候舒适度	0—100	—	—	线性递增
独特景观 Unique landscapes	与保护区的空间关系	位于缓冲区 位于实验区 邻近保护区 (≤36.85 km) 与保护区较远 (36.85—121.39 km) 与保护区很远 (≥121 km)	1.00 0.75 0.50 0.24 0.05	0.96 1.00 0.15 0.13 0.00	— — — — —
植被条件 Vegetable	植被覆盖度	低 (<0.34) 较低 (0.35—0.41) 中 (0.42—0.50) 较高 (0.51—0.64) 高 (0.65 以上)	0.00 0.15 1.00 0.85 0.66	0.00 0.03 0.66 1.00 0.34	— — — — —
地表覆被 Land cover	类型	森林 草地 水体与湿地 农田 其他 荒漠	0.84 0.70 1.00 0.09 0.02 0.00	0.76 0.37 1.00 0.23 0.01 0.00	— — — — — —
	多样性	低 (1) 较低 (2) 中 (3) 较高 (4) 高 (5)	0.00 0.04 0.79 1.00 0.18	0.00 0.07 0.69 1.00 0.36	— — — — —
地形条件 Terrain	起伏度	低 (0—21) 较低 (21—50) 中 (50—85) 较高 (85—130) 高 (130—598)	0.00 0.71 1.00 0.67 0.58	0.52 1.00 0.40 0.11 0.00	— — — — —
	海拔	2610—6795 m	—	—	线性递增

(2) 运用加权综合法计算环境适宜度。三江源地区的海拔介于 2610—6795 m 之间, 因而以 2610 为分子, 以评价单元的海拔高度为分母, 计算海拔适宜性, 并采用离差标准化方法将海拔适宜度映射到 $[0, 1]$ 之间。由此, 海拔适宜度越接近 0, 海拔越高, 越容易引发人体的高原反应, 环境适宜性越低。反之, 海拔适宜度越接近 1, 环境适宜性越高。同理, 采用离差标准化方法将气候舒适度映射到 $[0, 1]$ 区间。气候舒适度越接近 1, 气候越适于旅游业发展; 气候舒适度越接近 0, 气候条件越不适于旅游业发展。气候舒适度、海拔适宜度与环境适宜性均呈正相关, 气候舒适度与海拔适宜度越高, 环境条件越有利于旅游业发展, 适宜环境功能越高; 反之, 则越低

1.2.3 指标综合

函数模型法能较好体现游憩功能的内涵及各构成要素之间的相互作用关系, 应用广泛^[42]。论文借鉴 Nahuelhual 等提出的综合考虑了生态地理要素作用的游憩功能评价模型^[43], 构建三江源地区游憩功能评价模型, 计算公式为:

$$ATH_{it} = \sum_{i=1}^5 a_i \quad (7)$$

$$OPP_{it} = \sum_{i=1}^5 a_i \quad (8)$$

$$ACE_{it} = \sum_{j=1}^2 a_j \quad (9)$$

式中, ATH_{it} 为美感功能, 取值范围为 $[0, 5]$; OPP_{it} 为参与机会功能, 取值范围为 $[0, 5]$; ACE_{it} 为适宜环境功能, 取值范围为 $[0, 2]$; a_i 为生态地理要素 i 对相应功能的贡献值。为了进一步明晰区域差异, 将美感功能与参与机会功能分为 4 级: 低 $[0, 1]$, 次低 $(1, 2]$, 次高 $(2, 3.5]$, 高 $(3.5, 5]$; 将适宜环境功能分为 4 级: 低 $[0, 1]$, 次低 $(1, 1.3]$, 次高 $(1.3, 1.5]$, 高 $(1.5, 2]$ 。

1.3 游憩功能对气候变化的响应分析

根据联合国政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 研究, 气温上升是全球气候变化的最突出特征^[44]。因此, 本文主要考察三江源地区气温变化与各类游憩功能演变之间的关系。对研究区每个评价单元, 使用 AML (Arc Macro Language) 宏语言建立游憩功能与气温的线性关系模型, 从而计算出每个像元的游憩功能与气候因子间的单相关系数^[45], 即:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

式中, $\bar{x}$, $\bar{y}$ 分别为变量 x, y 的均值; r_{xy} 为变量 x, y 的单相关系数, n 为样本量。不同相关系数所对应的变量相关程度如表 2 所示^[46]。

表 2 相关系数取值及其表征关系

Table 2 Correlation coefficient values and their indications

相关程度 Correlation	无相关 Uncorrelated	微弱相关 Weak correlation	低度相关 Low correlation	中度相关 Median correlation	较高相关 The second-high correlation	高度相关 High correlation
$ r_{xy} $	0	<0.3	$[0.3, 0.5)$	$[0.5, 0.8)$	$[0.8, 0.95]$	>0.95

1.4 数据来源

本文研究时段为 1978—2012 年, 分为 4 期: 第 1 期 (1978—1985 年)、第 2 期 (1986—1995 年)、第 3 期 (1996—2004 年)、第 4 期 (2005—2012 年)。数据包含: ①土地利用与覆被数据。来自中国科学院资源环境数据中心。该数据是基于 20 世纪 70 年代末期至 2012 年获取的 Landsat TM/ETM+ 遥感影像人工交互目视解译获得, 数据质量可靠, 空间分辨率为 100 m。在 ArcGIS 软件中进行按属性特征提取、重采样等处理; ②气象

数据。三江源地区现有气象台站共 18 个,为保证气象数据的完备性和一致性,参照李林等^[7]、易湘生等^[47]的做法,选取其中 11 个气象站作为数据来源,即伍道梁、兴海、沱沱河、杂多、曲麻莱、玉树、玛多、清水河、达日、久治、囊谦。鉴于三江源地区仅在温暖季节适合人类开展游憩活动,故选取 1978—2012 年每年 6—9 月份的每日数据,气象变量选取气温、相对湿度、风速与日照时数。地面气象站的气象资料均来自于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)。首先,将 11 个气象站的气象资料按年份、月份、日进行整理,个别站点缺失的数据按照线性回归法进行插补^[47];然后,利用气象要素插值专用软件 ANUSPLIN 生成气象要素空间数据;③植被数据。采用 MODIS NDVI 数据与 GIMMS NDVI 数据。1998—2012 年 NDVI 数据来源于美国宇航局(NASA)的 MODIS 植被指数产品数据 MOD13Q1。该数据基于最大合成法,产品数据经过几何和大气校正,每 16 天合成,空间分辨率为 30 m。选取 1998—2012 年 4—10 月影像,利用 ENVI 5.3 对原始影像进行预处理,在 ArcGIS 软件中进行投影栅格、重采样等处理;1978—1996 时段数据在 8km 栅格的 GIMMS NDVI 数据的基础上,结合全国第一次、第二次森林资源清查数据得到;④地形数据。来自中国科学院计算机网络信息中心,空间分辨率为 90 m;⑤保护分区数据。包括三江源地区的索加-曲麻莱保护区、扎陵湖-鄂陵湖保护区等 18 个保护分区的核心区、缓冲区、试验区的面状矢量数据,数据来自中国科学院资源环境数据中心。此外,三江源地区行政边界矢量数据来自 1:400 万中国基础地理信息数据库。所有栅格数据空间分辨率统一为 100 m,投影方式借鉴封志明等^[40],采用 ALBERS 等积圆锥投影(Krasovsky_1940_Albers)。

2 研究结果

2.1 气候变化背景下各类游憩功能格局演变

2.1.1 美感功能

1978—2012 年,三江源地区美感功能格局表现为:东部和南部高、西部和北部低,呈现中等强度的空间变异。近年来,空间变异程度有所减缓,向空间均衡化方向发展。

1978—2012 年,各美感功能类型区面积呈现不同的变化趋势(图 5)。第 1 期,各类型区面积占比从高到低依次为:次高美感功能区、次低美感功能区、低美感功能区、高美感功能区。第 4 期,各类型区面积占比位序依然不变,但不同类型区面积变化方向和幅度均存在差异。从第 1 期到第 4 期的期间平均变化率来看,面积变化幅度最大的是高美感功能区,呈现“持续缩小”趋势,缩小了 35.74%。其次是低美感功能区,呈现“缩小-扩大-缩小”的趋势,缩小了 2.17%。次低美感功能区呈现“缩小-扩大-缩小”趋势,增加了 3.43%。面积最稳定的是次高美感功能区,呈现“扩大-缩小-扩大”的趋势,增长了 1.31%。由此可见,三江源地区的美感功能逐渐向“中等”方向发展,具有极高和极低美感功能的空间单元数量正逐步减少,尤其是具有极高美感功能的空间单元。

1978—2012 年,各类美感功能区的分布格局发生了一定程度的变化(图 5)。西部的低美感功能区逐渐缩小,东部的低美感功能区逐渐增多,主要发生在玛多县和兴海县;各县的次低美感功能空间单元数量都有增长,尤其是中部的称多县、达日县等;次高美感功能区逐步向北部和西部蔓延。例如曲麻莱县和玛多县境内的次高美感功能空间单元逐渐从南部扩散到北部,治多县境内的次高美感功能空间单元逐渐从东南部扩散到西北部;除了治多县、曲麻莱县的高美感功能空间单元有少量增加以外,其余各区的高美感功能空间单元均有减少,尤以东部地区的减少趋势最为明显。

2.1.2 参与机会功能

1978—2012 年,三江源地区的游憩参与机会功能格局表现为:参与机会功能的整体水平较低,呈现中等强度的空间变异,向空间均衡化方向发展。

1978—2012 年,各参与机会功能类型区的面积变化趋势各不相同(图 6)。第 1 期,各类型区面积占比从高到低依次为:次低参与机会功能区、次高参与机会功能区、低参与机会功能区、高参与机会功能区。第 4 期,各类型区面积占比位序依然不变,但不同类型区面积变化方向和幅度均存在差异。从第 1 期到第 4 期的期间

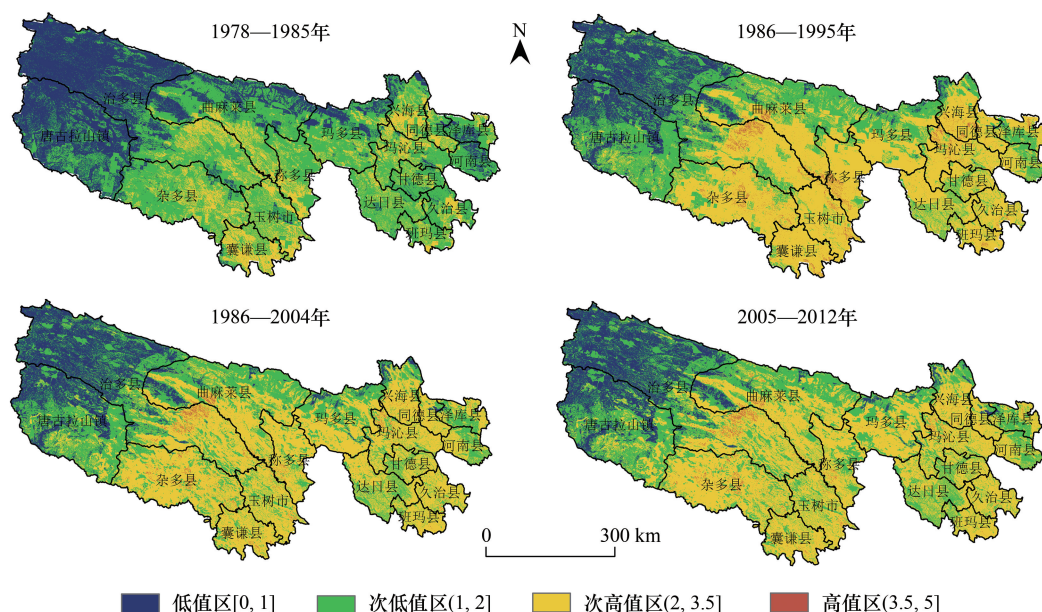


图5 三江源地区美感功能空间格局演变(1978—2012年)

Fig.5 Spatial pattern change of aesthetic function in Sanjiangyuan from 1978 to 2012

平均变化率来看,面积变化幅度最大的是高参与机会功能区,呈现“先小幅缩减、后大幅扩张”的趋势,增加了59.86%。其次是低参与机会功能区,经历了“先增加,后缩减”的过程,累积扩大了4.28%。次高参与机会功能区呈现“先缩小、后扩大”的趋势,扩张了6.40%。次低参与机会功能区,经历了“先增加,后缩减”的过程,缩小了4.04%。

1978—2012年间,南部的低游憩功能区增长趋势明显,如中南部的玉树市、囊谦县,东南部的班玛县、久治县等,北部的曲麻莱县、玛多县、兴海县的低游憩功能空间单元的数量逐渐减少;次低参与机会功能区面积发生了缩减,缩减主要发生在杂多县西部,中部的曲麻莱县、玛多县,东部的兴海县等地,此外,在中部的囊谦县、玉树市、称多县,以及东部的玛沁县、甘德县、达日县等地也有所增加;次高参与机会功能区面积经历了小幅增加,扩张主要发生在曲麻莱县中部、玛多县北部、杂多县西部与唐古拉山镇东部,此外,也有部分县域的次高参与机会功能区面积发生了小幅缩减,主要发生在玉树市、甘德县与达日县;高参与机会功能区面积经历了大幅增加,主要发生在杂多县与玛多县。

2.1.3 适宜环境功能

1978—2012年间,三江源地区总体上适宜环境功能较低,且由东南向西北递减,呈现中等强度的空间变异,近年来逐渐向空间均衡的方向发展。

1978—2012年间,4种适宜环境功能类型区的面积变化趋势如图7。第1期,各类型区面积占比从高到低依次为:次低适宜环境功能区、低适宜环境功能区、次高适宜环境功能区、高适宜环境功能区。第4期,部分类型区面积占比位序发生了变化:次低值区仍然保持首位;次高值区位序超过低值区成为第2;高值区占比依然最小。面积增加幅度最大的是次高值区,增加了124.63%,期间持续扩张;次低值区面积增加了62.49%,期间经历了“扩张-缩减”的过程。减少幅度最大的是低值区,缩小了44.79%,期间持续缩小;其次是高值区,缩小了26.81%,期间经历了小幅缩小、大幅扩张。

1978—2012年间,低值区分布范围从“主要分布在三江源地区西部,包括唐古拉山镇西部与治多县西部,少量分布在称多县东北部”缩小至治多县西北部,面积大幅减少。次低值区主要向西部扩张,尤其以唐古拉山镇、治多县的向西扩张趋势最为明显。同时,在南部的玉树市、中部的玛多县也有小面积的缩减现象。次高

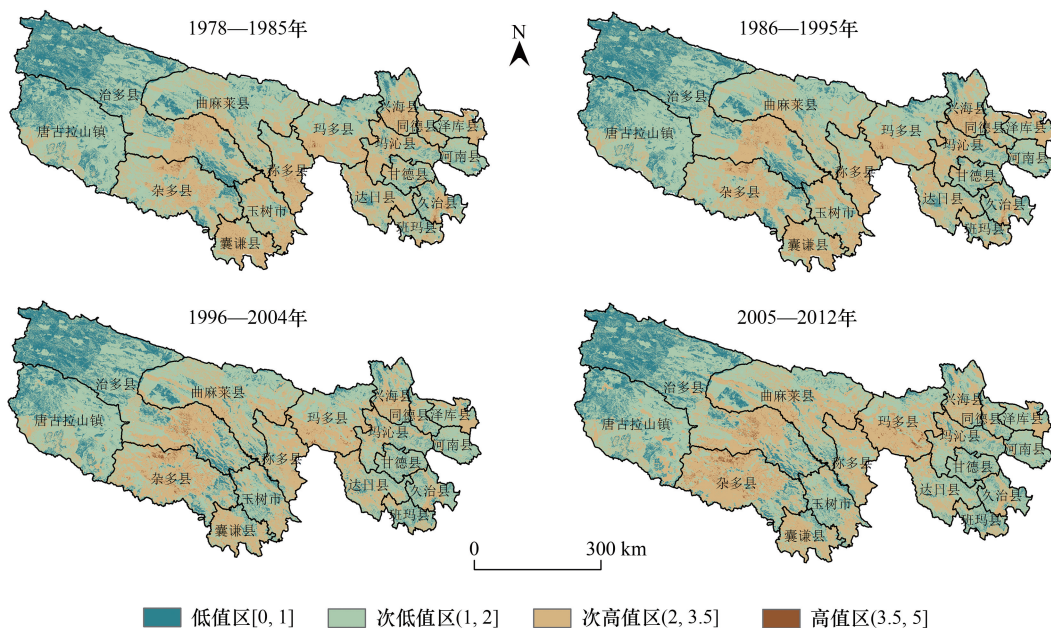


图6 三江源地区参与机会功能空间格局演变(1978—2012年)

Fig.6 Spatial pattern change of participation function in Sanjiangyuan from 1978 to 2012

值区向中部方向发展,扩张主要发生在玉树市与玛多县。此外,囊谦县东部、泽库县北部也发生了少量的缩减。高值区发生了大幅缩减,主要发生在三江源地区的东北部。此外,囊谦县的高值区扩张趋势明显。

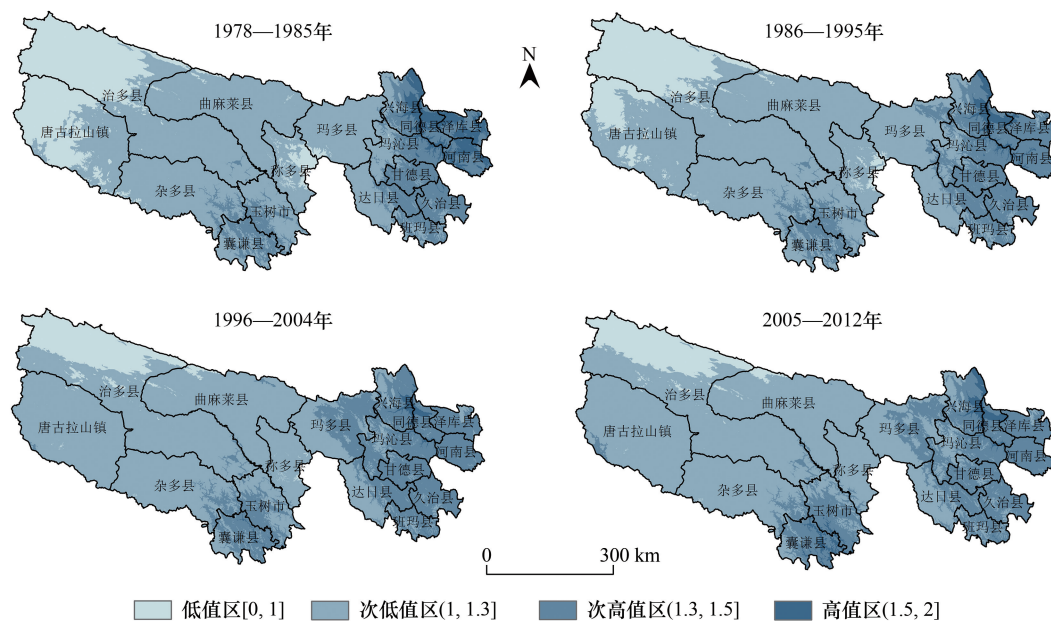


图7 三江源地区适宜环境功能空间格局演变(1978—2012年)

Fig.7 Spatial pattern change of suitable environment function in Sanjiangyuan from 1978 to 2012

2.2 各类游憩功能对气候变化的响应

从各游憩功能来看,1978—2012年间,气温上升对大部分区域的美感功能与参与机会功能产生了负面影响,两种类型下的负相关区面积分别是正相关区的2.13倍、1.06倍;气候变暖对大部分区域的适宜环境功能

普遍产生了正面影响,负相关区面积是正相关区的 33%。

不同游憩功能对气温变化的响应方式呈现不同的空间格局(图 8)。就美感功能而言,正相关区主要分布在西部的唐古拉山镇、治多县北部等,负相关区主要分布在东部与南部的广大县域;就参与机会功能而言,正相关区主要分布在北部与西部,负相关区主要分布在东部与南部;就适宜环境而言,正相关区主要分布在西部与中部的玛多县、称多县等地,负相关区主要分布在东部的河南县、泽库县等以及中西部的曲麻莱县、杂多县;就适宜环境功能而言,正相关区主要分布在西部的唐古拉山镇、治多县西部与中部的玛多县,负相关区主要分布在东部各县与中西部的曲麻莱县、玉树市、囊谦县等地。

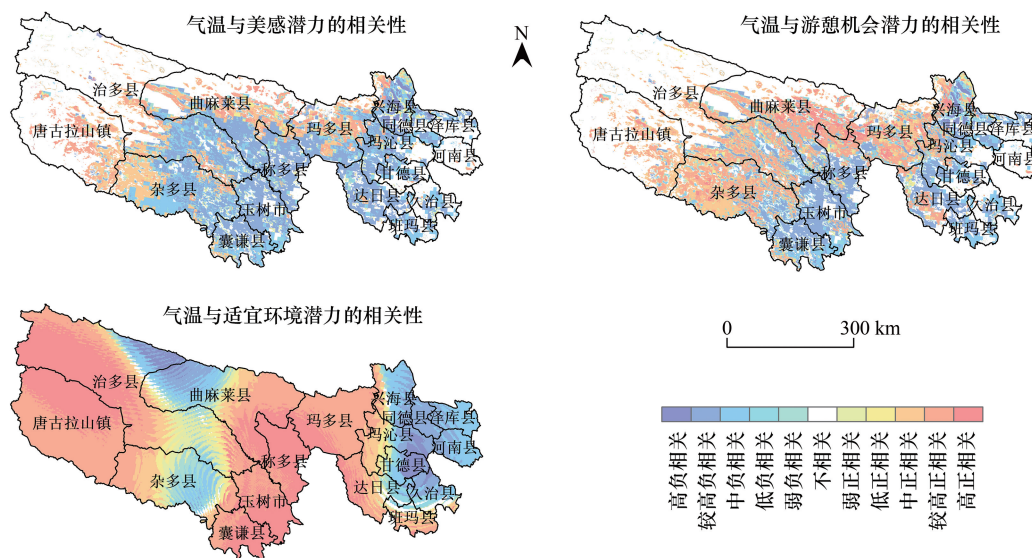


图 8 各类游憩功能对气温变化的响应

Fig.8 Response of each potential components to temperature changes

3 讨论与结论

以青海省三江源地区为研究对象,综合运用 PC、AHP、指标模型、相关分析与空间统计等方法,分析了 1978—2012 年研究区游憩功能的格局演变及其与气候变化的关系,形成的主要结论与相关讨论如下:

3.1 生态地理要素对游憩功能形成的贡献具有非线性

根据生态地理要素对游憩功能形成的贡献分析可知,不同生态地理要素产生的游憩可供性类型有所差异。如独特景观、地表覆被、植物景观、景观格局主要产生美感体验与参与机会方面的可供性,气候条件主要产生环境适宜方面的可供性,地形条件则在 3 个方面均产生可供性。

生态地理要素在不同状态上体现出不同大小的游憩可供性。一方面,对区域形成美感功能的支持能力存在差异。不同类型的地表覆被具有不同的美感功能可供性,其中,水体与湿地的美感功能可供性最大,荒漠最小;植被覆盖度、地形起伏度、景观多样性与美感功能可供性之间存在“倒 U 型”曲线关系;单位空间与保护区的区位关系线性决定其美感功能可供性,随着与核心区距离的增加,单位空间的美感功能可供性逐渐减少;另一方面,对区域形成参与机会功能的支持能力存在差异。不同类型的地表覆被具有不同的参与机会功能可供性,其中,水体与湿地的参与机会可供性最大,荒漠最小;植被覆盖度、地形起伏度、景观多样性与参与机会功能可供性之间存在“倒 U 型”曲线关系;“位于实验区”的单位空间具有最高的参与机会功能可供性,其次是“位于缓冲区”。随着与实验区距离的增加,单位空间的参与机会功能可供性逐渐降低。

随着生态地理要素状态的变化,游憩可供性呈现“梯度变化”。这种变化是非线性的,具有阈值效应,即超出某一值域后,可供性可能发生显著变化。生态地理要素的状态通过一定的指标值来反映,当指标值处于

不同区间时,生态地理要素会产生不同的游憩可供性(图9)。当指数在一定范围内波动时,对游憩体验造成的影响是很小的;当指数的波动范围较大,产生了人体感官可感觉到的差异时,则会对旅游体验产生较大影响。

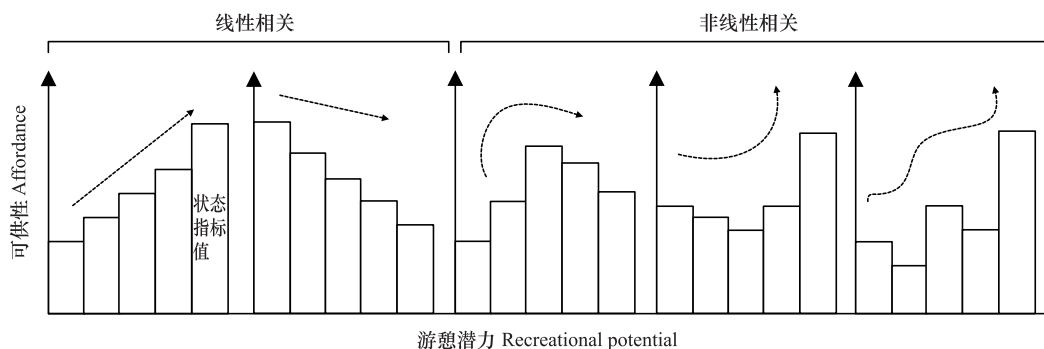


图9 生态地理要素及其游憩功能可供性

Fig.9 State of landscape elements and their recreational affordance

3.2 三江源地区的美感功能较强,适宜环境功能较弱

三江源的美感功能较强,其次是参与机会功能,而适宜环境功能较弱。这些功能的空间格局可以通过地表覆被、植被状况、地形条件、景观格局、保护地条件、海拔条件、气候条件等方面的指标来反映。在多种景观组合中,美感功能最高的组合是水体与湿地、中度地形起伏(50—85)、中度植被指数(0.42—0.50)、较高的景观多样性(variety=4)以及位于缓冲区的保护地区位条件;参与机会功能最高的组合是水体与湿地、较低的地形起伏(21—50)、较高的植被指数(0.51—0.64)、较高的景观多样性(variety=4)以及位于实验区的保护区地区位条件;适宜环境功能最高的组合是高的海拔适宜性(1)和高的气候适宜性(1)。

3.3 气候变化对不同类型游憩功能的影响存在方向差异

已有游憩功能相关研究以描述现状为主,仅有少量学者关注了游憩功能格局对气候变化的响应。气候变化是21世纪地理环境演变的重要驱动力,将对地域功能产生影响。Lane等关于气候变化对游憩服务的研究表明,全球变暖导致淡水鱼减少、更不受欢迎的鱼类增多,珊瑚礁白化和减少,降低区域游憩功能^[48]。Halofsky等认为气候变化将导致落基山脉提供参与机会的能力增强^[49]。

然而,这些研究只考虑了游憩功能规模对气候变化的响应,没有从游憩功能结构的角度进行分析。本研究表明,三江源地区游憩功能在规模与结构上都对气候变化有所响应。过去演变分析表明,三江源地区不同类型的游憩功能对气候变化的响应方式存在差异。1978—2012年间,波动幅度最大的是适宜环境功能,其次是美感功能、参与机会功能。美感功能逐渐下降,适宜环境功能与参与机会功能逐渐上升。次高美感功能区、次低美感功能区、高参与机会功能区、次高适宜环境功能区、次低适宜环境功能区的面积逐步扩大,高美感功能区、低美感功能区、次高参与机会功能区、次低参与机会功能区、低参与机会功能区、高适宜环境功能、低适宜环境功能区的面积逐步缩小。由此可见,就游憩功能类型来看,适宜环境功能对气候变化较为敏感。适宜环境功能的变化主要是由于气候舒适度变化导致的。在气候变化影响下,三江源地区升温明显,提高了三江源地区的旅游气候舒适度。

3.4 政策建议

随着可可西里申遗成功与三江源国家公园建设的推进,三江源地区的知名度有了很大提升,游憩功能格局亟待优化。该研究能够在3个方面为三江源地区游憩功能的发挥提供参考:

(1)根据三江源地区内不同区域游憩功能类型的差异,划分游憩类型区。根据三江源地区游憩功能评估结果,可可西里世界遗产地、三江源国家公园等重要区域内都分布有面积不等的高美感功能区、高参与机会功能区与高适宜环境区。具有较高功能的区域能够支撑、优化的游憩体验类型不同,其发展方向应该根据游憩

功能来确定。在高美感功能区,应该重点开发生态观光类产品。在生态保护原则的基础上,完善观光设施;结合观光与科考旅游,开发特种观光;高参与机会功能区适宜开展少量对环境的影响小的户外活动,如徒步、越野等;高适宜环境区能够提供较舒适的旅游气候条件,适合开展一些能够停留较长时间的游憩活动,放置休憩亭、休憩桌椅等简易设施。值得注意的是,在气候变化的影响下,不同区域的游憩功能会产生变化,例如,在1978—2012年间,除了治多县、曲麻莱县的高美感功能空间单元有少量增加以外,其余各区的高美感功能空间单元均有减少,尤以东部地区的减少趋势最为明显;高参与机会功能区面积经历了大幅增加,主要发生在杂多县与玛多县;高值区向中部方向发展,扩张主要发生在玉树市与玛多县。因此,在气候变化背景下,需要根据区域游憩功能的动态变化对游憩类型区进行调整。

(2)加强虚拟技术在三江源地区生态展示、生态教育方面的应用。三江源地区内大部分地区的适宜环境功能较低,但具有较高的美感功能,这些区域的美感功能可以通过虚拟现实与增强现实技术进行价值转化。虚拟现实技术可模拟三江源地区中受到高度保护或者危险环境下的自然场景,帮助访客跨越时间与空间感受美景,增强游览体验。增强现实技术能够将原本在一定时间空间范围内很难体验到的信息(图像、声音、气味等),通过模拟仿真后叠加到真实世界,为用户带来超越现实的信息与体验。借助于增强现实技术,访客可以实时获取游览过程中动植物识别、景点介绍等更丰富的信息,或与虚拟动物互动等。

(3)加强三江源地区的旅游行为管理。气候是三江源地区发挥游憩功能的重要限制因子。然而,在气候变化背景下,三江源地区的暖湿化趋势增强,旅游气候舒适度逐渐提升,吸引的游客范围可能进一步扩大。在此背景下,自发游客的数量会增多,给可可西里世界遗产地、三江源国家公园等地的游客管理带来挑战。管理者需要发布公园的介绍、交通、容量等最新信息,对园区进行管理和维护,优化园区管理和景区规划,访客人数控制和游憩管理,达到提供更好的游憩管理目的。同时,需要通过生态科普教育,提高自然保护意识。一方面,该地区的实际到访游客可以通过参与生态教育课程、主题营地体验等方式感受其独特魅力;另一方面,无法亲自前往的公众可以通过科普教育平台与科研平台,深入了解该地区的美丽景色、历史演变、自然与文化知识,并时刻掌握其科学发展动态。

3.5 局限性与未来展望

本文分析了3类游憩功能,未来研究应探索更多类型的游憩功能,如支撑某项特殊旅游活动的能力(如观鸟旅游)、促进旅游者身心健康的能力。这有助于了解旅游地的吸引力来源及其结构,掌握旅游地生态地理要素与旅游发展之间的关系,从而有针对性的开展生态地理要素管理。

同时,未来研究还应该进一步探索气候变化对游憩功能季节变化的影响。例如,分析气候变化背景下夏季(传统旺季)、春秋(传统平季)、冬季(传统淡季)之间游憩功能变化趋势的差异,进而分析气候变化对旅游季节性的影响。这有助于了解气候变化背景下传统旅游季节的变迁模式,从而为解决旅游季节性问题的提供决策支持。

参考文献(References):

- [1] 李辉霞, 刘国华, 傅伯杰. 基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究. 生态学报, 2011, 31(19): 5495-5504.
- [2] 刘纪远, 徐新良, 邵全琴. 近 30 年来青海三江源地区草地退化的时空特征. 地理学报, 2008, 63(4): 364-376.
- [3] Meyer L, Pethybridge H, Beckmann C, Bruce B, Huveneers C. The impact of wildlife tourism on the foraging ecology and nutritional condition of an apex predator. *Tourism Management*, 2019, 75: 206-215.
- [4] Cord A F, Roeßiger F, Schwarz N. Geocaching data as an indicator for recreational ecosystem services in urban areas: exploring spatial gradients, preferences and motivations. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 144: 151-162.
- [5] Boyd S W, Butler R W. Managing ecotourism: an opportunity spectrum approach. *Tourism Management*, 1996, 17(8): 557-566.
- [6] TEEB. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: a Synthesis of the Approach, Conclusions and Recommendations of TEEB. Malta: Progress Press, 2010.
- [7] 李林, 李凤霞, 郭安红, 朱西德. 近 43 年来“三江源”地区气候变化趋势及其突变研究. 自然资源学报, 2006, 21(1): 79-85.
- [8] 张士锋, 华东, 孟秀敬, 张永勇. 三江源气候变化及其对径流的驱动分析. 地理学报, 2011, 66(1): 13-24.

- [9] 吴绍洪,尹云鹤,郑度,杨勤业. 青藏高原近 30 年气候变化趋势. 地理学报, 2005, 60(1): 3-11.
- [10] 陈晓光,李林,朱西德,王振宇. 青海省气候变化的区域性差异及其成因研究. 气候变化研究进展, 2009, 5(5): 249-254.
- [11] 李宗省,何元庆,辛惠娟,王春风,贾文雄,张蔚,刘婧. 我国横断山区 1960-2008 年气温和降水时空变化特征. 地理学报, 2010, 65(5): 563-579.
- [12] 盛文萍,高清竹,李玉娥,万运帆,杨凯. 藏北地区气候变化特征及其影响分析. 高原气象, 2008, 27(3): 509-516.
- [13] 董锁成,周长进,王海英. “三江源”地区主要生态环境问题与对策. 自然资源学报, 2002, 17(6): 713-720.
- [14] 邵全琴,樊江文,刘纪远,黄麟,曹巍,徐新良,葛劲松,吴丹,李志强,巩国丽,聂学敏,贺添,王立亚,邴龙飞,李其江,陈卓奇,张更权,张良侠,杨永顺,杨帆,周万福,刘璐璐,祁永刚,赵国松,李愈哲. 三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估. 地理学报, 2016, 71(1): 3-20.
- [15] 李佳,钟林生,成升魁. 民族贫困地区居民对旅游扶贫效应的感知和参与行为研究——以青海省三江源地区为例. 旅游学刊, 2009, 24(8): 71-76.
- [16] Zoderer B M, Tasser E, Erb K H, Stanghellini P S L, Tappeiner U. Identifying and mapping the tourists' perception of cultural ecosystem services: a case study from an Alpine region. Land Use Policy, 2016, 56: 251-261.
- [17] Brown G, Brabyn L. An analysis of the relationships between multiple values and physical landscapes at a regional scale using public participation GIS and landscape character classification. Landscape and Urban Planning, 2012, 107(3): 317-331.
- [18] Van Berkel D B, Verburg P H. Spatial quantification and valuation of cultural ecosystem services in an agricultural landscape. Ecological Indicators, 2014, 37: 163-174.
- [19] Scolozzi R, Schirpke U, Detassis C, Abdullah S, Gretter A. Mapping alpine landscape values and related threats as perceived by tourists. Landscape Research, 2015, 40(4): 451-465.
- [20] 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.
- [21] Clark R N, Stankey G H. The Recreation Opportunity Spectrum: a Framework for Planning, Management, and Research. Portland: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, 1979.
- [22] Colson V, Garcia S, Rondeux J, Lejeune P. Map and determinants of woodlands visiting in Wallonia. Urban Forestry & Urban Greening, 2010, 9(2): 83-91.
- [23] Daniel T C, Boster R S. Measuring Landscape Esthetics: the Scenic Beauty Estimation Method. Colorado: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain and Range Experiment Station, 1976.
- [24] Paracchini M L, Zulian G, Kopperoinen L, Maes J, Schägner J P, Termansen M, Zandersen M, Perez-Soba M, Scholefield P A, Bidoglio G. Mapping cultural ecosystem services: a framework to assess the potential for outdoor recreation across the EU. Ecological Indicators, 2014, 45: 371-385.
- [25] 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.
- [26] 马丽君,孙根年,王洁洁. 中国东部沿海沿边城市旅游气候舒适度评价. 地理科学进展, 2009, 28(5): 713-722.
- [27] Sonter L J, Watson K B, Wood S A, Ricketts T H. Spatial and temporal dynamics and value of nature-based recreation, estimated via social media. PLoS One, 2016, 11(9): e0162372.
- [28] Weyland F, Laterra P. Recreation potential assessment at large spatial scales: a method based in the ecosystem services approach and landscape metrics. Ecological Indicators, 2014, 39: 34-43.
- [29] 长安,葛全胜,方修琦,席建超. 青藏铁路旅游线气候适宜性分析. 地理研究, 2007, 26(3): 533-540.
- [30] 马丽君,孙根年,谢越法,龙茂兴. 50 年来东部典型城市旅游气候舒适度变化分析. 资源科学, 2010, 32(10): 1963-1970.
- [31] 曹伟宏,何元庆,李宗省,王淑新,王春风,常丽. 丽江旅游气候舒适度与年内客流量变化相关性分析. 地理科学, 2012, 32(12): 1459-1464.
- [32] Maes J B, Braat L, Jax K, Hutchins M, Furman E, Termansen M, Luque S, Paracchini M L, Chauvin C, Williams R, Volk M, Lautenbach S, Kopperoinen L, Schelhaas M J, Weinert J, Goossen M, Dumont E, Strauch M, Görg C, Dormann C, Katwinkel M, Zulian G, Varjopuro R, Ratamäki O, Hauck J, Forsius M, Hengeveld G, Perez-Soba M, Bouraoui F, Scholz M, Schulz-Zunkel C, Lepistö A, Polishchuk Y, Bidoglio G. A Spatial Assessment of Ecosystem Services in Europe: Methods, Case Studies and Policy Analysis-phase 1. PEER Report No. 3. Italy: ISPRA, 2011.
- [33] Jenks G F. The data model concept in statistical mapping. International Yearbook of Cartography, 1967, 7: 186-190.
- [34] Lamchin M, Park T, Lee J Y, Lee W K. Monitoring of vegetation dynamics in the Mongolia using MODIS NDVIs and their relationship to rainfall by natural zone. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2015, 43(2): 325-337.

- [35] Bjerke T, Østdahl T, Thrane C, Strumse E. Vegetation density of urban parks and perceived appropriateness for recreation. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2006, 5(1): 35-44.
- [36] Pettorelli N, Vik J O, Mysterud A, Gaillard J M, Tucker C J, Stenseth N C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, 2005, 20(9): 503-510.
- [37] 石垚, 张微, 任景明, 张建平. 生态敏感区旅游开发适宜性评价及生态制图方法. *生态学报*, 2015, 35(23): 7887-7898.
- [38] 徐新良, 刘纪远, 邵全琴, 樊江文. 30 年来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化. *地理研究*, 2008, 27(4): 829-838.
- [39] 汤国安, 杨昕. *ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程(第二版)*. 北京: 科学出版社, 2012.
- [40] 封志明, 唐焰, 杨艳昭, 张丹. 中国地形起伏度及其与人口分布的相关性. *地理学报*, 2007, 62(10): 1073-1082.
- [41] 杨雪, 张文忠. 基于栅格的区域人居自然和人文环境质量综合评价——以京津冀地区为例. *地理学报*, 2016, 71(12): 2141-2154.
- [42] Arriaza M, Cañas-Ortega J F, Cañas-Madueño J A, Ruiz-Aviles P. Assessing the visual quality of rural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 69(1): 115-125.
- [43] Nahuelhual L, Carmona A, Lozada P, Jaramillo A, Aguayo M. Mapping recreation and ecotourism as a cultural ecosystem service: an application at the local level in Southern Chile. *Applied Geography*, 2013, 40: 71-82.
- [44] IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [45] 邢宇. 青藏高原 32 年湿地对气候变化的空间响应. *国土资源遥感*, 2015, 27(3): 99-107.
- [46] 尹锴, 田亦陈, 袁超, 张飞飞, 苑全治, 花利忠. 基于 CASA 模型的北京植被 NPP 时空格局及其因子解释. *国土资源遥感*, 2015, 27(1): 133-139.
- [47] 易湘生, 尹衍雨, 李国胜, 彭景涛. 青海三江源地区近 50 年来的气温变化. *地理学报*, 2011, 66(11): 1451-1465.
- [48] Lane D, Jones R, Mills D, Wobus C, Ready R C, Buddemeier R W, English E, Martinich J, Shouse K, Hosterman H. Climate change impacts on freshwater fish, coral reefs, and related ecosystem services in the United States. *Climatic Change*, 2015, 131(1): 143-157.
- [49] Halofsky J E, Warziniack T W, Peterson D L, Ho J J. Understanding and managing the effects of climate change on ecosystem services in the Rocky Mountains. *Mountain Research and Development*, 2017, 37(3): 340-352.