

青藏高原国家公园群功能评价与结构分析

陈东军^{1,2}, 钟林生^{1,3}, 樊杰^{1,3}, 虞虎^{1,3}, 杨定^{1,3}, 曾瑜哲^{1,3}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 江西财经大学旅游与城市管理学院, 南昌 330013; 3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 国家公园群是青藏高原推动生态安全屏障与区域绿色发展协同提升的重要模式探索。深入研究青藏高原国家公园群的功能结构特征, 是推进国家公园有序组织、协同建设的关键科学问题。本文综合 PSR 评价模型、位序—规模法则、耦合协调度模型构建国家公园群功能结构识别评价方法, 解析青藏高原国家公园群的多元功能类别、等级结构与功能结构特征。结果表明: ① 青藏高原国家公园群要维护内生和外延两类关系, 对内要促进生态保护、游憩利用和社区发展之间的利益合理配置, 对外要通过单体国家公园之间的有序组织来推进生态安全屏障功能和区域绿色发展, 在功能发挥的尺度跨越过程中处理好协同演化关系; ② 青藏高原国家公园群生态保护、游憩和社区发展功能的重要性突出, 科研和教育功能发展空间较大, Zipf 指数表明多元功能等级符合位序—规模法则且呈现均衡发展特征, 单体国家公园需根据特色定位强化其优势功能项; ③ 青藏高原国家公园群各项功能之间的耦合度为 0.7809、协调度为 0.6227, 呈较高强度耦合、中级协调状态, 单体国家公园的多元功能耦合强度及协调程度差异较大, 呈现不同的功能结构特征, 可分为全面协调型、优势发展型、一般发展型和一般滞后型。本文深化了国家公园(群)功能评价研究, 为青藏高原国家公园群功能优化与可持续发展提供科学参考。

关键词: 国家公园群; 功能结构; 功能评价; 青藏高原

DOI: 10.11821/dlxb202201014

1 引言

青藏高原具有“世界屋脊”“第三极”之称, 是一个独特的地理单元^[1], 不仅是全球生物多样性保护区域、中国与东亚气候系统稳定的重要屏障, 分布有丰富多样、独具特色的特殊生态系统类型和珍稀动植物种类^[2], 也是中国面积最大的集中连片深度贫困区, 基础设施薄弱、少数民族人口集中、教育卫生等公共服务发展滞后^[3]。与其他国家公园相比, 青藏高原国家公园群建设与区域可持续发展之间的关联更加紧密。2017年习近平总书记在致第二次青藏高原综合科学考察研究的贺信中指出: “揭示青藏高原环境变化机理, 优化生态安全屏障体系……着力解决青藏高原资源环境承载力、灾害风险、绿色发展途径等方面的问题”。国家公园群建设既是青藏高原生态屏障体系优化和自然资源合理利

收稿日期: 2021-01-08; 修订日期: 2021-06-24

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0401); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA20020302)

[Foundation: The Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program, No.2019QZKK0401; Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA20020302]

作者简介: 陈东军(1992-), 男, 江西寻乌人, 博士, 讲师, 主要从事自然保护地教育利用及文化与旅游地理研究。

E-mail: dongjun925@163.com

通讯作者: 钟林生(1971-), 男, 江西于都人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事生态旅游与旅游地理研究。

E-mail: zhongls@igsnr.ac.cn

用的重要模式探索^[4],也是青藏高原地区在历经农牧业社会发展阶段后,在绿色发展和生态优先前提下优化区域经济发展模式的有效路径,能够促进青藏高原自然生态资源的价值化和普惠化,推动“两山理论”在青藏高原的落地实践^[5],并已得到青海省和西藏自治区的积极响应。国家公园群建设需要构建合理有序的功能结构,本文评价分析国家公园群多元功能及结构特征,对认识和促进青藏国家公园群建设目标及功能优化具有积极作用。

国家公园群是自然保护地的一种组织模式,通过个体特色化、定位差异化和整体有序化在特定地理单元形成稳定的功能组织。它是面向大规模区域的自然生态巨系统,采用连片保护、整合发展的模式有效解决斑块化、碎片化保护问题,为生态系统完整性保护和区域协调发展发挥重要作用,例如美国—加拿大边境的落基山国家公园群。国家公园群的研究具有一定的前沿性,目前相关研究侧重于单体国家公园,关于国家公园群的功能组织研究较为少见。国外研究集中于国家公园运营管理^[6]、气候变化影响^[7]、旅游发展^[8]、生物多样性保护^[9]等议题,国内研究重点关注国家公园的生态系统服务价值评估^[10]、社区管理^[11]、可持续旅游发展^[12]及功能分区管理^[13]等内容,均侧重于单体国家公园的单一功能价值研究。对国家公园功能的探讨集中于:①功能实效评估,通过国家公园建设前后或与其他(非国家公园)区域的生态环境或经济社会发展对比,评价分析某一功能实效,例如树种多样性^[14]、区域经济发展^[15];②功能价值评估,多从生态系统服务视角评估国家公园的多元功能服务价值,例如游憩价值^[16]、教育价值^[17];③功能管理优化,主要通过实地调研、功能评价模型构建等方法对国家公园的多元功能进行综合衡量与监测,据此提出功能优化对策^[18-19]。国家公园是中国国土空间开发保护格局中的一种新地域功能类型,国家公园群具有功能组合性,整合发挥国家公园单体和国家公园群两级体系的功能协调发展,能更有效实现综合目标。青藏高原国家公园群作为自然—人文生态紧密结合的综合体与有机体,需要同时强调生态保护功能、生活保障功能和公众公益服务功能之间的综合关系,迫切需要开展多元功能发育状态及等级结构、功能结构的深入剖析,科学认识青藏高原国家公园群的基本特点和功能组织规律。

基于此,本文以第二次青藏高原综合科学考察研究队提出的青藏高原国家公园群草案为研究对象,采用PSR评价模型构建国家公园多元功能评价体系,综合评测国家公园群多元功能发育;结合功能评价运用位序—规模法则探究各项功能的等级结构,使用耦合协调模型剖析多元功能相互关系,最后归纳总结单体国家公园功能结构类型,从“群”层面优化单体国家公园的功能定位和国家公园群整体结构组织。

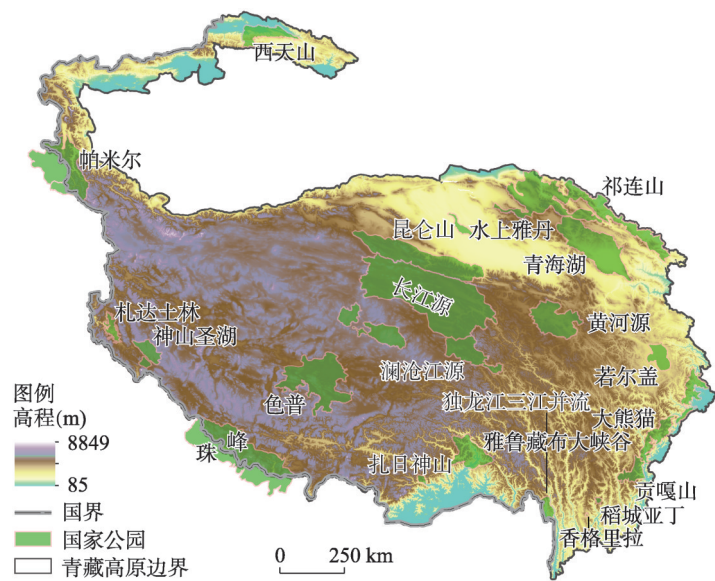
2 青藏高原国家公园群及其功能

2.1 青藏高原国家公园群

“群”是人文地理学中的重要概念,指同类地理事物通过中介渠道形成特定的空间组织和内部联系,例如城市群、产业群、港口群等,群表征地理要素的空间集聚及相互作用^[20]。《建立以国家公园为主体的自然保护地体系指导意见》提出“自然保护地群”建设目标,国外也提出美国国家公园生态廊道、欧洲生态网络、落基山脉国家公园群等类似概念^[21]。国家公园群包含单体国家公园节点、通道和网络的内涵,是国家公园系统保护规划的具体体现^[22],是推动地域功能重塑的重要空间组织方式。

第二次青藏高原综合科学考察研究队基于国家公园群生态安全屏障功能、合理容量、资源景观价值、原真性和人文代表性等评价研究,识别出包括21个单体国家公园的青藏高原国家公园群名单和潜力区范围^[5]。拟建的青藏高原国家公园群依托于青藏高原独

特的自然和人文景观，结合跨境和边缘系列国家公园所组成^[23]（图1），被认为是推动生态安全保障、生态文明建设、社会福祉提升、绿色产业发展的综合性创新体制和动力^[24]。青藏高原国家公园群表现以下特征^[25]：① 地域功能多样性：青藏高原国家公园群权衡自然保护、社区发展及公众游憩服务等功能，具有空间异质性、时间变异性、多样复合性和相互依附性等地域功能特性；② 层级结构特性：根据行政区跨及规模面积、资源景观价值，青藏高原国家公园群分为跨国国家公园、旗舰国家公园和一般国家公园；③ 面一线一点空间结构：青藏高原国家公园群在自然保护地区域格局基础上，叠加区域性通道和服务性节点，从面域、线域和点域的整体统筹推动功能目标的实现。



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1838号的标准地图制作,底图边界无修改。

图1 青藏高原国家公园群分布范围示意图

Fig. 1 Distribution of Qinghai-Tibet Plateau National Park Cluster

2.2 青藏高原国家公园群功能特性

国家公园具有全民公益性、国家主导性和科学性^[26]，以生态保护、科研宣教和游憩利用为管理目标，在一定空间范围和资源利用上为游憩和社区发展留有余地^[13]，其功能分区统筹生态保护、文化服务与社区发展^[27]。国家公园具有生态保护、科研、教育、游憩、社区发展等功能^[28]。青藏高原国家公园群建设是筑牢西部生态屏障、促进区域绿色发展的重要模式^[29]，其发展面向3个主体对象：面向生态保护的首要功能，面向公益性发挥的科研、教育和游憩功能，以及面向当地农牧民增收致富的社区发展功能^[5, 30]。其中生态保护功能为首要功能，兼顾科研、教育、游憩和社区发展功能^[5, 28]。具体而言，青藏高原国家公园群多元功能表现为：

- （1）生态保护功能。青藏高原具有全球独特的自然生态和人文生态系统，地域范围广、海拔高、生态系统极为脆弱，拥有国家或国际重要意义的自然及人文资源景观，国家公园以生态保护为首要功能^[4]，希望以强度小于1%的土地低密度开发、实现对99%以上的国土空间严格的生态保护^[30]。
- （2）社区发展功能。青藏高原高寒、干旱、低氧、气温低、积温少和强辐射的恶劣气候条件不利于人类社会经济活动外，还伴随着高发的自然灾害，贫困程度较深，属于

孤立封闭的连片贫困区域, 区域内缺乏有效的经济增长极。国家公园建设通过改革土地及自然资源使用、财政资金投放机制, 对社区生计及发展造成较大影响, 促进生态保护与经济社会协调发展的一致性^[11, 31]。

(3) 科研、教育、游憩等文化功能。国家公园为科学研究提供研究对象与实验场所, 通过科研实验基地建设、科研平台构建推动科学研究发展^[32]; 依托丰富的自然及人文景观, 国家公园开展各类教育活动, 为公众提供自然体验及教育机会^[33]; 国家公园源于自然审美的荒野思想, 游憩功能在各国国家公园体制中均有立法保障^[34]。

3 研究方法 with 数据来源

综上所述, 青藏高原国家公园群拥有的多元功能比一般地区更为明显。根据上文分析, 综合PSR评价模型、位序—规模法则和耦合协调度模型, 构建解析青藏高原国家公园群的多元功能发育、等级结构及功能结构的方法(图2)。首先, 采用PSR评价模型构建国家公园多元功能评价体系, 结合熵值法综合评价各项功能并使用自然断点法确定评价等级; 其次, 在功能评价基础上, 对各项功能的位序、规模(各项功能评价指数)进行散点对数模拟, 根据Zipf指数 q 判定各项功能的等级结构关系; 最后, 使用耦合协调度模型分析各项功能的耦合强度及协调程度, 并归纳总结各单体国家公园的功能结构类型。

3.1 功能评价体系

3.1.1 PSR评价模型 “压力—状态—响应”(Pressure-State-Response, PSR)模型最初为评价环境质量而提出, 认为人类活动与自然干扰对生态系统施加的压力导致生态系统健康状态发生变化, 生态系统自身的抵抗与恢复机制及人类主观意愿为此做出响应^[35]。该模型较为清晰阐释了人类—自然复合生态系统可持续性变化的因果关系, 在区域生态安全^[36]、生态经济管理^[37]等评价研究中得到广泛应用。基于该模型思想构建国家公园功能评价指标体系, 评测青藏高原国家公园群的多元功能发育情况。其中压力指标表征自然干扰或人类活动对国家公园各项功能产生的负荷, 状态指标反映各项功能的当前状况, 响应指标则是为功能优化而采取的对策与措施。

3.1.2 功能评价指标 结合PSR评价模型及青藏高原国家公园群功能分析, 基于科学性、主导性、代表性和可操作性原则并参考相关研究^[38], 选取人类活动干扰度等21项指标构建国家公园多元功能评价指标体系(表1)。指标选取如下:

(1) 生态保护功能。人类活动是造成生态系统压力的主要因素, 以人类足迹指数指代人类活动对生态系统的干扰程度^[39]。国家公园保护代表性生态系统及珍稀物种, 以国家保护物种的级别、数量以及植被状况反映生态保护状态^[40]。生态系统在受到外界干扰时具有自我调节能力, 即生态弹性, 以生态弹性和社区及管理者的生态保护意识及力度表征生态系统自身及人类社会对生态保护的响应^[41]。

(2) 科研功能。科研基础设施如监测网络、科研设备等是国家公园科研功能实现的前提, 以科研基础设施现状表征科研功能压力。科研论文的被引频次是科研价值评估的公认指标^[42], 以相关论文的总被引频次表征科研功能状态。科研经费投入对科研功能的实现必不可少, 以相关科研基金项目经费总额表征对科研功能的响应^[43]。

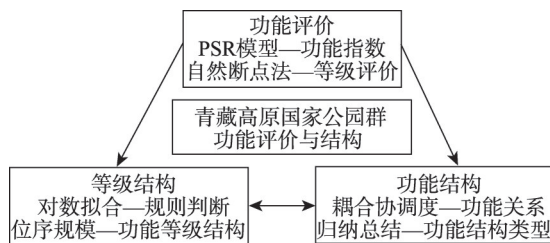


图2 本文建构的研究方法逻辑框图

Fig. 2 The logic diagram of analyzed methods in this paper

表 1 国家公园多元功能评价指标体系

Tab. 1 Evaluation system for multi-function of national parks

系统层	准则层		指标层	指标解析与影响性质	权重
生态保护	压力	P1	人类足迹指数	人类活动对生态系统的干扰程度(-)	0.0703
	状态	P2	生态代表性	国家保护物种的级别与数量(+)	0.0342
	状态	P3	植被指数(NDVI)	植被覆盖及其生长活力(+)	0.0495
	响应	P4	生态弹性指数	生态系统抵抗外界压力和扰动的调节能力(+)	0.0364
	响应	P5	生态保护意识及力度	社区及管理者对生态保护的重视程度(+)	0.0221
科研	压力	R1	科研基础设施	监测站等科研基础设施状况(+)	0.0578
	状态	R2	科研价值	相关论文的被引频次(+)	0.0452
	响应	R3	科研经费支持	相关科研项目基金的经费总额(+)	0.0453
教育	压力	E1	教育设施及服务	讲解、牌示等教育服务及设施状况(+)	0.0382
	状态	E2	景观教育价值	景观所蕴含的自然科学及社会文化知识(+)	0.0565
	响应	E3	教育场所数量	教育场所数量/人口总量(+)	0.0446
游憩	压力	T1	交通可达性	通车里程/区域面积(+)	0.0481
	压力	T2	游憩环境适宜性	区域平均海拔(-)	0.0459
	状态	T3	旅游人次密度	旅游人次/区域面积(+)	0.0588
	状态	T4	旅游经济密度	旅游收入/区域面积(+)	0.0537
	响应	T5	第三产业就业比	第三产业就业人数/人口总量(+)	0.0440
社区发展	压力	C1	城乡可支配收入差距	城乡居民可支配收入差异(-)	0.0474
	状态	C2	人均GDP	地区生产总值/人口总量(+)	0.0624
	状态	C3	城镇化率	县城人口/户籍人口(+)	0.0507
	响应	C4	人均存款余额	居民储蓄存款余额/人口总量(+)	0.0395
	响应	C5	产业结构	第一二产业增加值/GDP(-)	0.0494

(3) 教育功能。教育设施及服务的不足是国家公园教育功能发挥的主要限制因素^[44], 以教育设施及服务状况表征教育功能压力。资源景观蕴含的科学知识及文化内容体现教育价值^[33], 以自然科学及社会文化相关性评估教育功能状态。教育受众数量受限于教育场所, 以教育场所数量作为教育功能响应。

(4) 游憩功能。旅游经济与交通具有显著相关性, 交通是青藏高原旅游发展的主要限制性因素^[45]; 高原反应关系到游客的游憩体验和生命安全, 高原环境是制约多数内地游客高原旅游的障碍因素^[46], 以交通可达性、区域海拔表征游憩功能压力。旅游人次、旅游收入是旅游现状的直面反映, 以旅游人次及经济密度衡量游憩功能状态。第三产业发展为旅游业发展营造良好的经济产业环境^[47], 以第三产业就业比衡量游憩功能响应情况。

(5) 社区发展功能。城乡收入差距引发社会分层, 以城乡居民可支配收入差异表征社区发展压力。地区生产总值和城镇化率反映区域经济社会发展水平, 以人均GDP和城镇化率表征社区发展状态。居民储蓄存款余额及产业结构转型升级利于扩大内需及促进区域经济增长^[48], 以人均存款余额和产业结构评估社区发展响应情况。

3.1.3 指标权重及评价方法 熵值法根据指标项的原始信息确定指标权重, 既反映指标信息的效应价值也克服指标间的信息重叠, 是较为客观的多指标评价方法^[49]。使用熵值法确定各指标权重, 具体步骤为:

(1) 原始数据标准化, 公式为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_j}{\max x_j - \min x_j}$$

(1)

$$x'_{ij} = \frac{\max x_j - x_{ij}}{\max x_j - \min x_j} \quad (2)$$

式中: X_{ij} 表示第*i*个国家公园的第*j*项指标值; X'_{ij} 为标准化后结果; $\min x_j$ 、 $\max x_j$ 为该指标最小值与最大值; 正向指标使用公式(1), 负向指标使用公式(2)。

(2) 信息熵计算, 公式为:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n Y_{ij} \ln Y_{ij} \quad (3)$$

$$Y_{ij} = x'_{ij} / \sum_{i=1}^n x'_{ij} \quad (4)$$

式中: E_j 为信息熵; n 为国家公园数量; k 为常数, $k=1/\ln n$; Y_{ij} 表示第*i*个国家公园的第*j*项指标的比重。

(3) 权重计算, 公式为:

$$W_j = (1 - E_j) / \sum_{j=1}^n (1 - E_j) \quad (5)$$

式中: W_j 为指标权重。由公式(5)可得各项指标权重, 进行加权求和计算得到各项功能评价指数, 公式为:

$$F_j = \sum_{i=1}^n W_j x'_{ij} \quad (6)$$

式中: F_j 即为各项功能评价指数, 使用自然断点分级方法将各项功能评价分为优、良好、一般3个等级。

3.2 位序—规模法则

位序—规模法则一般用于表征国家或区域城市规模分布规律, 即城市的位序和规模之间呈现出理想的直角双曲线关系, 该规律被称为Zipf法则^[50]。研究表明, Zipf法则能准确刻画城市规模分布规律, 由此引发进一步理论与实证探索^[51]。使用该法则分析国家公园群多元功能的等级结构特征。计算公式为^[52]:

$$\ln F_i = \ln F_1 - q \ln R_i \quad (7)$$

式中: F_i 为第*i*个国家公园单项功能评价指数; F_1 为首位功能评价指数; q 为弹性系数(常数, 即为Zipf指数); R_i 为第*i*个国家公园功能评价位序。基于上式判定各项功能是否符合位序—规模法则。将各项功能评价指数排序, 绘制相应的位序、规模对数散点图并进行双对数曲线的线性拟合, 计算出Zipf指数 q 。拟合过程中, 对散点图中曲线拟合最好的一段称为无标度区, 反映位序—规模分布结构; q 反映各项功能规模分布结构, 当 $q = 1$ 、 $q > 1$ 、 $q < 1$ 时, 国家公园群的功能等级分别处于自然状态下的最优分布、帕累托分布(集中化)和正态分布(均衡化)模式^[53]。

3.3 功能耦合协调度

运用耦合协调度模型计算分析各个单体国家公园多元功能的耦合强度及协调程度, 公式为^[54]:

$$C = \sqrt[5]{(P_i \times R_i \times E_i \times T_i \times C_i) / [(P_i + R_i + E_i + T_i + C_i) / 5]} \quad (8)$$

$$T = \alpha P_i + \beta R_i + \gamma E_i + \delta T_i + \epsilon C_i \quad (9)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (10)$$

式中: C 为功能耦合度, $C \in (0, 1]$; P_i 、 R_i 、 E_i 、 T_i 、 C_i 分别表示第*i*个国家公园的生态保护、科研、教育、游憩、社区发展功能评价指数; T 为国家公园多元功能综合评价指数;

α 、 β 、 γ 、 δ 、 ε 为各项功能的权重系数,结合国家公园多元功能的重要顺序(即生态保护最为优先,社区发展次之,科研和教育、游憩置尾^[28])分别取值为0.3500、0.2500、0.1333、0.1333、0.1333。 D 为功能协调度, $D \in (0, 1]$, D 值越低,表明功能协调性越差。根据功能耦合度 C 及协调度 D 计算值,作评价等级划分如表2^[55]。

3.4 功能结构类型

综合多元功能评价及耦合协调分析,总结归纳国家公园功能结构类型为全面协调型、优势发展型、一般发展型和一般滞后型(表3)。

以多元功能评价分类,以耦合协调分析定型。基于经验判断及相关研究参考^[55],根据多元功能评价将功能结构分为“全面”“优势”“一般”3类,具有3项及以上功能评价为优,为全面类,两项为优势类,一项或无为一般类;根据各项功能协调程度分“协调”“发展”“滞后”3型,协调度 ≥ 0.8 为协调型、0.6~0.8为发展型、 < 0.6 为滞后型,据此判定国家公园功能结构类型分为全面协调型、优势发展型、一般发展型和一般滞后型4种类型。其中全面协调型特征为具有3项及以上功能发育较好(评价结果为优)且各项功能高级协调($D \geq 0.8$);优势发展型具有两项功能发育较好且各项功能中级协调($0.6 \leq D < 0.8$);一般发展型具有1项功能发育较好且各项功能中级协调($0.6 \leq D < 0.8$);一般滞后型没有发育较好的功能项或各项功能协调性差($D < 0.6$)。

表3 国家公园功能结构类型
Fig. 3 Types of functional structure in national parks

类型	功能判定标准		特征
	功能评价	协调度	
全面协调	3项及以上功能评价为优	≥ 0.8	3项及以上功能评价为优且各项功能高级协调。
优势发展	2项功能评价为优	≥ 0.6	2项功能评价为优且各项功能中级协调。
一般发展	1项功能评价为优	≥ 0.6	1项功能评价为优且各项功能中级协调。
一般滞后	没有功能评价为优	< 0.6	没有功能评价为优或各项功能协调性差。

3.5 数据来源及处理

研究数据包括:①地理信息数据,包括人类足迹指数、土地利用数据、中国县域行政区划、DEM,分别源于IUCN-WDPA数据库(www.iucn.org)、中国科学院资源环境科学数据中心(www.resdc.cn)、全国地理信息资源目录服务系统(www.webmap.cn),基于上述地理信息数据及各国家公园空间范围计算 $P1$ 、 $P3$ 、 $P4$ 、 $T2$ 等指标值。本文所指的21个国家公园边界由第二次青藏高原综合科学考察研究队基于实地调研及相关文献资料并结合遥感影像数据,经过多次讨论修改后最终确定^[5]。②实地调研数据, $P2$ 、 $P5$ 、 $R1$ 、 $E1$ 、 $E2$ 等指标由14位参与青藏科考的专家学者在实地调研基础上进行1-10分值评分确定。③经济社会发展统计数据,包括《中国县域统计年鉴(县市卷)(2019年)》、《中国县城建设统计年鉴(2019年)》及各地2018年国民经济和社会发展统计公报和年度政府工作报告等。由于 $E3$ 、 $T1$ 、 $T3\sim T5$ 、 $C1\sim C5$ 等指标暂没有国家公园统计数据,因此采用所涉县区为准进行数据搜集与替代,这些县区为青藏科考国家公园科考队基于县区所占国家公园面积比重、自然生态系统代表性准则讨论确定,涉及多个代表县区以平均值为最终指标值。④另有 $R2$ 、 $R3$ 指标数据源于中国知网、科学网检索统计。

4 结果分析

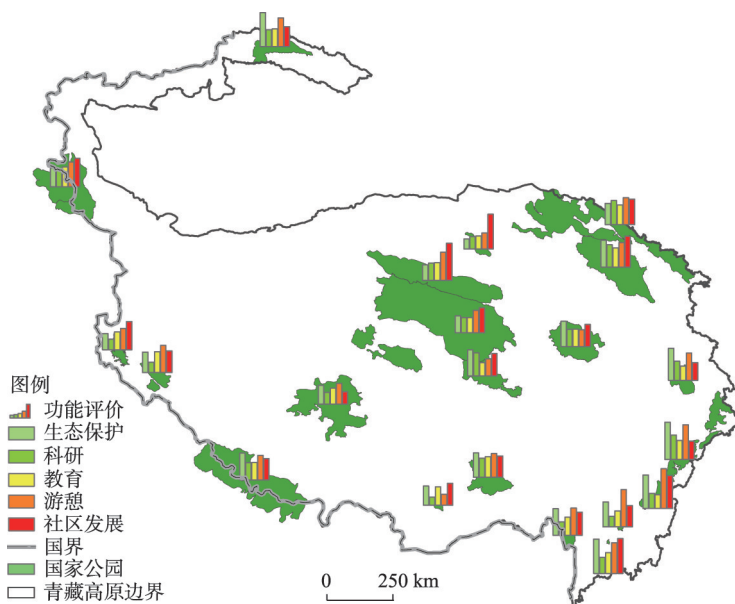
4.1 功能评价分析

基于PSR评价模型及熵值法得到青藏高原21个国家公园的各项功能指数, 并利用ArcGIS 10对评价结果进行可视化处理, 得到各单体国家公园的多元功能评价结果(图3)。

(1) 生态保护功能。青藏高原国家公园群生态保护功能指数为1.3188, 从单体国家公园看, 评价结果为优的国家公园有大熊猫、香格里拉、西天山、贡嘎山、若尔盖、青海湖, 指数平均值为1.7950; 评价结果为一般的国家公园有神山圣湖、扎日神山、色普、帕米尔、长江源、扎达土林、昆仑山、水上雅丹, 指数平均值为0.9242; 其他国家公园评价结果为良好, 指数平均值为1.3615。

生态本底与人类活动影响生态保护功能。从生态本底来看, 西天山国家公园保存有中国西部最大的原始针叶林和天山仅存的带状分布的阔叶林, 若尔盖草原是中国三大湿地、川西三大草原之一, 两者均有良好的生态本底条件; 而生态本底条件较差的国家公园, 例如扎达土林、色普等, 以荒漠、土林、冰川为主要土地覆盖面, 生态服务功能较差。从人类活动来看, 大熊猫国家公园整合了80余个自然保护地, 香格里拉国家公园整合了国际重要湿地碧塔海自然保护区和“三江并流”世界自然遗产哈巴片区之属都湖景区, 且已建立较为完善的基础设施和管理制度^[56-57], 两者均有良好的生态保护基础; 神山圣湖、水上雅丹等国家公园受宗教转山或旅游活动的人为影响较大, 生态保护功能受到一定损害。

(2) 科研功能。青藏高原国家公园群科研功能指数为0.8808, 从单体国家公园看, 评价结果为优的国家公园有大熊猫、祁连山、澜沧江源、青海湖、若尔盖, 指数平均值为1.2268; 评价结果为一般的国家公园有水上雅丹、色普、扎达土林、稻城亚丁、神山圣湖、扎日神山, 指数平均值为0.5773; 其他国家公园评价结果为良好, 指数平均值为0.8900。



注: 基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1838号的标准地图制作, 底图边界无修改。

图3 青藏高原国家公园群功能评价

Fig. 3 Evaluation of multi-function in Qinghai-Tibet Plateau National Park Cluster

青藏高原国家公园群的科研基础普遍较弱,各个国家公园的科研功能差异主要体现在相关论文及科研项目基金经费支持方面。生态系统较为典型、受关注度较多的国家公园科研基础相对较好。大熊猫是中国特有种及世界生物多样性保护的旗舰物种,大熊猫国家公园栖息全国野生大熊猫总量的87.50%;祁连山是中国第一二阶梯分界线、200 mm年等降水量线、内外流区分界线等众多地理分界线的组成部分;澜沧江源是国际河流澜沧江(湄公河)的源头区,是重要亚洲旗舰物种雪豹的最大连片栖息地,且拥有青藏高原发育最完整的白垩纪丹霞地质景观;青海湖是中国最大内陆湖泊、微咸水湖,中国七大国际重要湿地之一;若尔盖是黄河、长江两大河流重要的水源涵养地,是世界高山带物种最丰富的地区之一。这些国家公园较易受到科研关注,受资助基金项目和主题论文相对较多。

(3) 教育功能。青藏高原国家公园群教育功能指数为0.9484,从单体国家公园看,评价结果为优的国家公园有香格里拉、神山圣湖、雅鲁藏布大峡谷、帕米尔、祁连山、青海湖、大熊猫、扎日神山,指数平均值为1.0771;评价结果为一般的国家公园有若尔盖、贡嘎山、澜沧江源、水上雅丹,指数平均值为0.7402;其他国家公园评价结果为良好,指数平均值为0.9266。

尽管青藏高原作为独特地理单元存在,其自然资源环境及社会文化背景具有全球意义,社会教育价值巨大。但因教育设施及服务落后、教育场所建设滞后,青藏高原国家公园群的教育功能未能有效发挥。教育场所及设施服务是限制青藏高原国家公园群教育功能发挥的主要因素,各个国家公园的教育场所建设、教育设施及服务均有待完善。

(4) 游憩功能。青藏高原国家公园群游憩功能指数为1.3742,从单体国家公园看,评价结果为优的国家公园有贡嘎山、稻城亚丁、大熊猫、香格里拉,指数平均值为1.9355;评价结果为一般的国家公园有色普、澜沧江源、黄河源、水上雅丹、扎日神山,指数平均值为0.8860;其他国家公园评价结果为良好,指数平均值为1.3906。

青藏高原拥有全球独特的自然及文化景观,吸引着越来越多的游客,为公众提供休闲娱乐、户外活动等服务功能,可达性和进入性是游憩功能发挥的主要影响因素。贡嘎山、稻城亚丁、大熊猫、香格里拉均为川藏地区的代表性旅游目的地,均位于青藏高原东部边缘地区,能够有效发挥生态系统的游憩服务功能。

(5) 社区发展功能。青藏高原国家公园群社区发展功能指数为1.3502,从单体国家公园看,评价结果为优的国家公园有昆仑山、香格里拉、水上雅丹、贡嘎山、青海湖、帕米尔、扎达土林,指数平均值为1.7637;评价结果为一般的国家公园有若尔盖、色普,指数平均值为0.8242;其他国家公园评价结果为良好,指数平均值为1.1966。

青藏高原地区经济社会发展普遍落后,新疆南疆三地区、西藏全区、四省藏区等集中连片特困地区几近覆盖整个青藏高原。各国家公园的经济社会发展水平都较为滞后,有待通过国家公园建设促进区域经济社会发展。

4.2 功能位序—规模分析

功能位序—规模分析揭示青藏高原国家公园群多元功能等级结构。基于国家公园群各项功能指数及位序绘制位序—规模散点图,并对散点进行函数拟合,结果如图4所示。

4.2.1 青藏高原国家公园群多元功能等级验证 函数拟合优度 R^2 值($R^2 \in (0, 1]$, 值越大表示拟合效果越好)反映青藏高原国家公园群多元功能的等级结构特征。生态保护、科研、教育、游憩和社区发展等各项功能的位序—规模函数拟合方程的 R^2 值分别为0.8586、0.8639、0.8084、0.8329、0.8259,拟合效果较好,反映出上述函数方程对国家公园群多元功能等级分布的适用性,青藏高原国家公园群多元功能符合位序—规模法则。

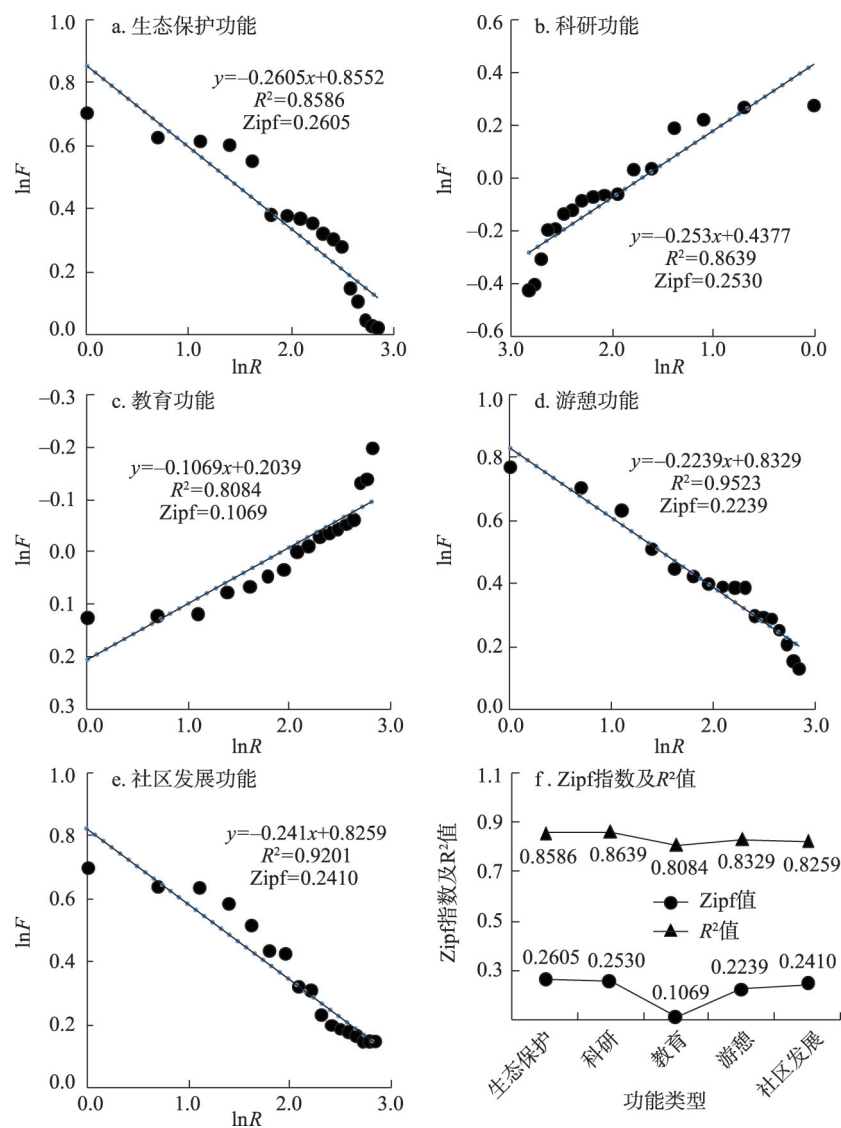
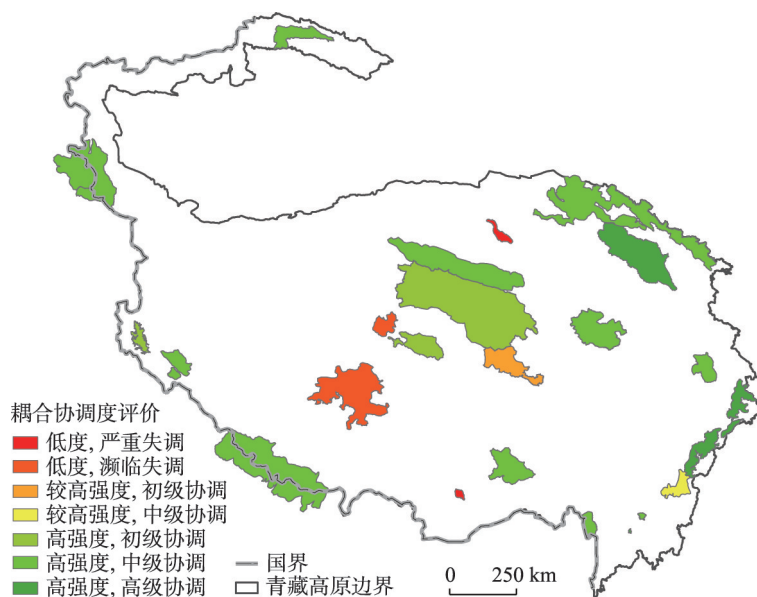


图4 青藏高原国家公园群多功能位序—规模双对数拟合曲线及Zipf指数折线图
Fig. 4 The multi-functional rank-size double logarithm fitting curve and Zipf exponential curve of Qinghai-Tibet Plateau National Park Cluster

4.2.2 青藏高原国家公园群多元功能等级结构 在判定多元功能符合位序—规模法则基础上，进一步验证多元功能的等级结构。Zipf指数 q 反映各项功能规模分布结构，由图4可知，生态保护、科研、教育、游憩和社区发展等各项功能的拟合方程斜率（即Zipf指数）分别为0.2605、0.2530、0.1069、0.2239、0.2410，Zipf指数均小于1，表明各项功能呈现正态分布模式，青藏高原国家公园群的各项功能发展处于自然状态下的均衡化。国家公园群在青藏高原生态环境恶劣及经济社会发展普遍落后背景下，各项功能在各单体国家公园的发育相对均衡，单体国家公园未能发育绝对优势功能项。

4.3 功能耦合协调分析

基于耦合协调度模型计算得到21个国家公园的功能耦合度 C 值及协调度 D 值，并使用ArcGIS 10对评价结果进行空间可视化处理（图5）。



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1838号的标准地图制作,底图边界无修改。

图5 青藏高原国家公园群功能耦合协调度评价

Fig. 5 Evaluation of coupling and coordinating degree in Qinghai-Tibet Plateau National Park Cluster

4.3.1 国家公园群功能较高强度耦合,单体国家公园功能耦合差异较大 各项功能耦合度 C 平均值为0.7809,表明青藏高原国家公园群的各项功能处于较高强度耦合状态;耦合度 C 值范围为[0.0495, 0.9820],表明各国家公园的功能耦合差异较大。其中水上雅丹、扎日神山、色普3个国家公园的功能耦合度 C 值偏低,分别为0.0495、0.0551、0.2477,处于低度耦合状态,后续发展应注重提升各项功能的关联协同关系。其他国家公园的功能耦合度 C 值均高于0.5,处于较高强度耦合状态。

4.3.2 国家公园群功能中级协调,单体国家公园功能协调差异较大 各项功能协调度 D 平均值为0.6227,表明青藏高原国家公园群的各项功能处于中级协调状态;协调度 D 值范围为[0.1186, 0.8976],表明国家公园间的功能协调差异较大。其中水上雅丹国家公园的协调度 D 值最低,为0.1186,原因在于生态保护、科研、教育及游憩功能的相对滞后。香格里拉国家公园的协调度 D 值最高,为0.8976,各项功能发展处于高级协调状态,其原因在于香格里拉国家公园建设较早,各项功能发展较为充分且相对协调,共振作用进一步促进各项功能的协调一致发展。

4.4 功能结构类型分析

上述分析表明,青藏高原国家公园群的多元功能发育符合位序—规模法则,呈正态均衡发展状态。具体到各单体国家公园,各项功能的发育及其耦合协调程度存在一定差异,表现出不同特征的功能结构。基于上述功能评价和耦合协调分析,综合考虑各单体国家公园的多元功能发育及耦合协调情况,可得各单体国家公园的功能结构类型如表4所示。青藏高原21个单体国家公园中,全面协调型国家公园有3个,分别为大熊猫、青海湖、香格里拉;优势发展型国家公园有4个,分别为帕米尔、贡嘎山、祁连山、若尔盖;一般发展型国家公园有5个,为神山圣湖、雅鲁藏布大峡谷、稻城亚丁、昆仑山、西天山;一般滞后型国家公园有9个,分别为珠峰、黄河源、色普、长江源、独龙江三江并流、澜沧江源、水上雅丹、扎达土林、扎日神山。

表 4 青藏高原国家公园群功能结构

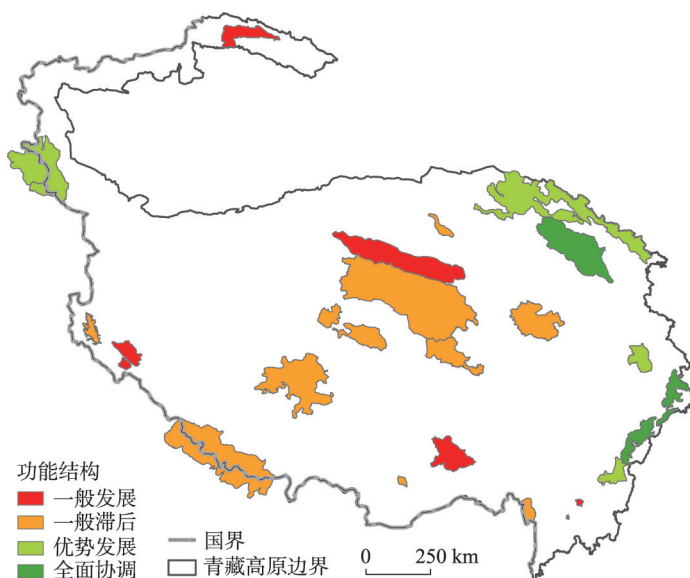
Tab. 4 Functional structure of Qinghai-Tibet Plateau National Park Cluster

国家公园	优势功能	功能协调	结构类型
帕米尔	教育，社区发展	中级协调	优势发展
珠峰	—	中级协调	一般滞后
大熊猫	生态保护，科研，教育，游憩	高级协调	全面协调
黄河源	—	中级协调	一般滞后
色普	—	濒临失调	一般滞后
神山圣湖	教育	中级协调	一般发展
雅鲁藏布大峡谷	教育	中级协调	一般发展
长江源	—	初级协调	一般滞后
稻城亚丁	游憩	中级协调	一般发展
独龙江三江并流	—	中级协调	一般滞后
贡嘎山	生态保护、游憩，社区发展	中级协调	优势发展
青海湖	生态保护，科研，教育，社区发展	高级协调	全面协调
昆仑山	社区发展	中级协调	一般发展
澜沧江源	科研	初级协调	一般滞后
祁连山	科研，教育	中级协调	优势发展
若尔盖	生态保护，科研	中级协调	优势发展
水上雅丹	社区发展	严重失调	一般滞后
西天山	生态保护	中级协调	一般发展
香格里拉	生态保护，教育，游憩，社区发展	高级协调	全面协调
扎达土林	社区发展	初级协调	一般滞后
扎日神山	教育	严重失调	一般滞后

各类功能结构国家公园表现明显的空间分布特征（图6）：全面协调型及优势发展型国家公园均位于青藏高原东部边缘地区，一般发展型及一般滞后型位于高原内陆及南部地区。这再次验证了生态本底及经济社会条件对国家公园多元功能发育的交互影响作用。青藏高原东部边缘地区海拔较低且受东部季风影响而降水较多，靠近川渝城市群且交通可达性及可进入性较好，较好的生态本底及经济社会条件促进国家公园多元功能的全面协调发展，如大熊猫、青海湖、香格里拉、贡嘎山、若尔盖等国家公园；而青藏高原内陆及南部海拔较高，东部及南部季风的水汽难于输送而降水较少，且交通可进入性差，较差的生态本底及经济社会条件影响国家公园各项功能发育，如扎达土林、色普、澜沧江源等国家公园。

5 结论与讨论

（1）国家公园是独具特色的地域综合体，综合了生态保护、科研、教育、游憩及社区发展等多元功能。国家公园群通过多个国家公园的空间集群发展，连同其他自然保护地一起，可以促进生态保护功能的带状保护和生态系统文化服务功能的有效发挥，进而激活区域经济发展活力，实现多元功能的综合协调发展。这体现了中国生态文明建设阶段将国家公园作为主体功能区中一类重要的特色空间进行引导发展的战略思路。青藏高原经过现代农牧业建设、城镇化和新农村建设等发展阶段后，虽然人口和城镇化发展得到有效提升，但是仍面对生态脆弱性约束、人口贫困化等困境，在自然保护的弹性区间内进行有效利用和生态产品供给，能够有效激发地方发展积极性，保障社会公平性和公



注：基于自然资源部标准地图服务网站审图号为GS(2019)1838号的标准地图制作,底图边界无修改。

图6 青藏高原国家公园群功能结构

Fig. 6 Functional structure of Qinghai-Tibet Plateau National Park Cluster

益性^[23, 58]。建立国家公园群、单体国家公园两级各类功能的协调发展模式,在较小占地内集中布局居住、服务和娱乐项目^[13],可以实现区域经济社会发展及面向全国的科研、教育及游憩功能服务,并使青藏高原地区脆弱的生态环境得以保护、国家生态安全屏障功能更加稳固^[2],助推青藏高原地区的绿色发展。

(2) 青藏高原国家公园群的多元功能发育符合位序—规模法则的线性函数分布规律,呈正态分布的均衡发展等级结构,功能结构可分为全面协调型、优势发展型、一般发展型和一般滞后型,各功能结构类型国家公园分别有3个、4个、5个、9个。生态本底及经济社会建设相互作用,共同影响国家公园的多元功能发育及功能结构。青藏高原具有较好的生态系统完整性^[59],国家公园群潜在建设区域是青藏高原最具保护价值的生态系统及景观资源集中区^[60],整体相似的生态本底及经济社会条件促使国家公园群功能等级结构的均衡化。具体到单体国家公园,一定的生态本底及经济社会差异使其功能结构异化。全面协调型及优势发展型国家公园多分布在针叶林或草原区等生态本底较好的自然区(表5),例如贡嘎山、香格里拉、大熊猫、祁连山、青海湖等国家公园,在优越的生态本底条件上进一步吸引外界物质、能量及信息等要素的集聚,促进社区发展及科研、教育、游憩等功能发育。经济社会建设活动通过调整相关要素也影响国家公园功能,例如同处于川西藏东高山深谷针叶林区的独龙江三江并流和香格里拉国家公园表现出不同的功能发育及结构特征,反映经济社会建设对国家公园功能的影响。如此国家公园群这一新模式的介入,可通过国家公园多元功能的协调发展,重构青藏高原地区的生态、生产和生活空间结构,建立合理有序的人地关系,实现青藏高原地区的可持续发展。

(3) 区别于城市经济—社会有机体,国家公园是以生态保护为首要目的、兼顾其他多元功能的自然—人文地域综合体。位序—规模法则从本质上反映了城市体系自组织优化的能量分布结果^[61],也适用于国家公园群的多元功能分析。国家公园群通过单体国家公园节点、区域性通道和网络形成特定的空间组织及内部联系^[22],特定结构决定国家公园群生态保护等多元功能的实现。位序—规模法则反映了国家公园群多功能要素的自组

表5 青藏高原国家公园群与自然生态区关系

Tab. 5 The relationship between the Qinghai-Tibet Plateau National Park Cluster and natural ecological zones

自然区	代码	国家公园及其功能结构、优势功能项
天山山地荒漠、草原、针叶林区	IID5	西天山(一般发展, 生态保护)
东喜马拉雅南翼山地季雨林/常绿阔叶林区	VA6	雅鲁藏布大峡谷(一般发展, 教育)
果洛那曲高原山地高寒灌丛草甸区	HIB1	若尔盖(优势发展, 生态保护、科研)、澜沧江源(一般滞后, 科研)
青南高原宽谷高寒草甸草原区	HIC1	长江源(一般滞后)、黄河源(一般滞后)
羌塘高原湖盆高寒草原区	HIC2	色普(一般滞后)、神山圣湖(一般发展, 教育)
昆仑高山高原高寒荒漠区	HIID1	帕米尔(优势发展, 教育、社区发展)
川西藏东高山深谷针叶林区	HIIA/B1	独龙江三江并流(一般滞后)、贡嘎山(优势发展, 生态保护、游憩、社区发展)、香格里拉(全面协调, 生态保护、教育、游憩、社区发展)、稻城亚丁(一般发展, 游憩)、大熊猫(全面协调, 生态保护、科研、教育、游憩)
祁连青东高山盆地针叶林/草原区	HIIC1	祁连山(优势发展, 科研, 教育)、青海湖(全面协调, 生态保护、科研、教育、社区发展)
藏南高山谷地灌丛草原区	HIIC2	珠峰(一般滞后)、扎日神山(一般滞后, 教育)
柴达木盆地	HIID1	水上雅丹(一般滞后, 社区发展)
昆仑北翼山地荒漠区	HIID2	昆仑山(一般发展, 社区发展)
阿里山地荒漠区	HIID3	札达士林(一般滞后, 社区发展)

织现象。实证研究表明, 青藏高原国家公园群的多元功能发育符合位序—规模法则, 且各项功能的Zipf指数均小于1, 反映多元功能的均衡发展。多元功能等级均衡是各单体国家公园绝对优势及特色功能缺失的表现, 这为青藏高原国家公园群的主导功能确定及功能结构优化提供了一定启示。青藏高原国家公园群建设不仅要确定各单体国家公园特定的、核心的生态保护对象, 结合公园资源特色及经济社会条件确定主导功能并确保各项功能的协调发展; 而且要处理好局部—整体关系, 从“群”的角度综合考虑国家公园群整体功能, 优化多元功能结构, 确保国家公园群整体效益的最大发挥。

(4) 本文存在以下不足之处: ① 由于基础数据受限, 本文仅对2018年截面数据进行实证分析, 缺乏多年份、长时序的对比分析, 未来研究将拓长时间进行多期截面数据研究; ② 由于青藏高原国家公园群潜力区边界范围是初步确定, 影响到一些指标数据的精度, 后续研究有待提升; ③ 本文旨在揭示和剖析青藏高原国家公园群的功能结构, 未能对形成机理作深层次探讨, 后续研究有待加强国家公园多元功能结构形成机理的理论探讨。

参考文献(References)

[1] Zhang Yili, Li Bingyuan, Zheng Du. A discussion on the boundary and area of the Tibetan Plateau in China. Geographical Research, 2002, 21(1): 1-8. [张懿锂, 李炳元, 郑度. 论青藏高原范围与面积. 地理研究, 2002, 21(1): 1-8.]

[2] Sun Honglie, Zheng Du, Yao Tandong, et al. Protection and construction of the national ecological security shelter zone on Tibetan Plateau. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(1): 3-12. [孙鸿烈, 郑度, 姚檀栋, 等. 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.]

[3] Zhang Yanzhong, Ning Yafang. The progress, problems and countermeasures of security a decisive victory in building a moderately prosperous society in all respects in ethnic areas in a new era. Management World, 2018, 34(1): 39-52. [王延中, 宁亚芳. 新时代民族地区决胜全面小康社会的进展、问题及对策: 基于2013—2016年民族地区经济社会发展问卷调查的分析. 管理世界, 2018, 34(1): 39-52.]

[4] Zhong Linsheng, Xiao Lianlian. Chinese national park system pilot: Establishing path and research issues. Resources Science, 2017, 39(1): 1-10. [钟林生, 肖练练. 中国国家公园体制试点建设路径选择与研究议题. 资源科学, 2017, 39(1): 1-10.]

- [5] Fan Jie, Zhong Linsheng, Huang Baorong, et al. Territorial function and feasibility of the Earth's Third Pole national park cluster. *Chinese Science Bulletin*, 2019, 64(27): 2938-2948. [樊杰, 钟林生, 黄宝荣, 等. 地球第三极国家公园群的地域功能与可行性. *科学通报*, 2019, 64(27): 2938-2948.]
- [6] Jagger P, Sellers S, Kittner N, et al. Looking for medium-term conservation and development impacts of community management agreements in Uganda's Rwenzori Mountains National Park. *Ecological Economics*, 2018, 152: 199-206.
- [7] Grünwald C, Schleuning M, Böhning-Gaese K. Biodiversity, scenery and infrastructure: Factors driving wildlife tourism in an African savannah national park. *Biological Conservation*, 2016, 201: 60-68.
- [8] Ghoddousi S, Pintassilgo P, Mendes J, et al. Tourism and nature conservation: A case study in Golestan National Park, Iran. *Tourism Management Perspectives*, 2018, 26: 20-27.
- [9] van Riper C J, Kyle G T, Sherrouse B C, et al. Toward an integrated understanding of perceived biodiversity values and environmental conditions in a national park. *Ecological Indicators*, 2017, 72: 278-287.
- [10] Sun Xiaoping, Li Shuang, Yu Jianping, et al. Evaluation of ecosystem service value based on land use scenarios: A case study of Qianjiangyuan National Park pilot. *Biodiversity Science*, 2019, 27(1): 51-63. [孙孝平, 李双, 余建平, 等. 基于土地利用变化情景的生态系统服务价值评估: 以钱江源国家公园体制试点区为例. *生物多样性*, 2019, 27(1): 51-63.]
- [11] Gao Yan, Deng Yi, Zhang Hao, et al. Community conflicts of the national park overseas: Performance, tracing origins and enlightenment. *Tourism Tribune*, 2017, 32(1): 111-122. [高燕, 邓毅, 张浩, 等. 境外国家公园社区管理冲突: 表现、溯源及启示. *旅游学刊*, 2017, 32(1): 111-122.]
- [12] Zhang Yujun, Xue Bingjie. Discussion on the suitability of ecotourism and recreation activities in national parks. *Tourism Tribune*, 2018, 33(8): 14-16. [张玉钧, 薛冰洁. 国家公园开展生态旅游和游憩活动的适宜性探讨. *旅游学刊*, 2018, 33(8): 14-16.]
- [13] Yu Hu, Chen Tian, Zhong Linsheng, et al. Functional zoning of the Qianjiangyuan National Park system pilot area. *Resources Science*, 2017, 39(1): 20-29. [虞虎, 陈田, 钟林生, 等. 钱江源国家公园体制试点区功能分区研究. *资源科学*, 2017, 39(1): 20-29.]
- [14] Miller K M, McGill B J, Mitchell B R, et al. Eastern national parks protect greater tree species diversity than unprotected matrix forests. *Forest Ecology and Management*, 2018, 414: 74-84.
- [15] Kulczyk-Dynowska A, Bał-Domańska B. The national parks in the context of tourist function development in territorially linked municipalities in Poland. *Sustainability*, 2019, 11(7): 1996. DOI: 10.3390/su11071996.
- [16] He Siyuan, Su Yang, Wang Lei, et al. Realisation of recreation in national parks: A perspective of ecosystem services demand and willingness to pay of tourists in Wuyishan Pilot. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(1): 40-53. [何思源, 苏杨, 王蕾, 等. 国家公园游憩功能的实现: 武夷山国家公园试点区游客生态系统服务需求和支付意愿. *自然资源学报*, 2019, 34(1): 40-53.]
- [17] Hutcheson W, Hoagland P, Jin D. Valuing environmental education as a cultural ecosystem service at Hudson River Park. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 387-394.
- [18] Austin R, Thompson N, Garrod G. Understanding the factors underlying partnership working: A case study of Northumberland National Park, England. *Land Use Policy*, 2016, 50: 115-124.
- [19] Slocum S L, Curtis K R. Assessing sustainable food behaviours of national park visitors: Domestic/on vocation linkages, and their implications for park policies. *Journal of Sustainable Tourism*, 2016, 24(1): 153-167.
- [20] Pablo C L, Peñalver-Alcázar M, Agar P M. Change in landscape and ecosystems services as the basis of monitoring natural protected areas: A case study in the Picos de Europa National Park (Spain). *Environmental Monitoring and Assessment*, 2020, 192(4): 1-22.
- [21] Yan Shuiyu, Zhao Ke, Xing Zhong. A comparative study on the planning methods of metropolitan eco-corridors among the United States, Europe and China. *Urban Planning International*, 2010, 25(2): 91-96. [闫水玉, 赵柯, 邢忠. 美国、欧洲、中国都市区生态廊道规划方法比较研究. *国际城市规划*, 2010, 25(2): 91-96.]
- [22] Margules C R, Pressey R L. Systematic conservation planning. *Nature*, 2000, 405(6783): 243-253.
- [23] Fan Jie, Zhong Linsheng, Li Jianping, et al. Third Pole National Park group construction is scientific choice for implementing strategy of major function zoning and green development in Tibet, China. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2017, 32(9): 932-944. [樊杰, 钟林生, 李建平, 等. 建设第三极国家公园群是西藏落实主体功能区大战略、走绿色发展之路的科学抉择. *中国科学院院刊*, 2017, 32(9): 932-944.]
- [24] Editorial Office of Forestry Construction. *International Symposium on National Parks held smoothly in Kunming*. Forestry Construction, 2018(5): 204-205. [林业建设编辑部. 国家公园国际研讨会在昆明顺利召开. *林业建设*, 2018(5): 204-205.]
- [25] Yu Hu, Zhong Linsheng, Fan Jie. Regional function and spatial structure of National Park Cluster in Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(3): 823-832. [虞虎, 钟林生, 樊杰. 青藏高原国家公园群地域功能与结构研

- 究. 生态学报, 2021, 41(3): 823-832.]
- [26] Chen Yaohua, Huang Dan, Yan Siqi. Discussions on public welfare, state dominance and scientificity of national park. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(3): 257-264. [陈耀华, 黄丹, 颜思琦. 论国家公园的公益性、国家主导性和科学性. 地理科学, 2014, 34(3): 257-264.]
- [27] Dong Xi, Deng Yi, Gao Yan, et al. Characteristics and management classification of community co-management mode in China's national parks: Based on Social Capital Theory. *Environmental Protection*, 2019, 47(24): 45-49. [董茜, 邓毅, 高燕, 等. 中国国家公园的社区共管模式特征及管理分类: 基于社会资本理论. 环境保护, 2019, 47(24): 45-49.]
- [28] Gao Yan, Deng Yi. The solution to the constraint of land ownership in national parks under the concept of land property bundle. *Environmental Protection*, 2019, 47(Suppl.1): 48-54. [高燕, 邓毅. 土地产权束概念下国家公园土地权属约束的破解之道. 环境保护, 2019, 47(Suppl.1): 48-54.]
- [29] Li Zehong, Bai Yongqing, Sun Jiulin, et al. Ecological civilization construction in ecologically fragile poverty-stricken areas in western China. *Strategic Study of CAE*, 2019, 21(5): 80-86. [李泽红, 柏永青, 孙九林, 等. 西部生态脆弱贫困区生态文明建设战略研究. 中国工程科学, 2019, 21(5): 80-86.]
- [30] Fan Jie, Wang Yafei, Liang Bo. The evolution process and regulation of China's regional development pattern. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2437-2454. [樊杰, 王亚飞, 梁博. 中国区域发展格局演变过程与调控. 地理学报, 2019, 74(12): 2437-2454.]
- [31] Nakakaawa C, Moll R, Vedeld P, et al. Collaborative resource management and rural livelihoods around protected areas: A case study of Mount Elgon National Park, Uganda. *Forest Policy and Economics*, 2015, 57: 1-11.
- [32] Fouke B W. Hot-spring systems geobiology: Abiotic and biotic influences on travertine formation at Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA. *Sedimentology*, 2011, 58(1): 170-219.
- [33] Chen Dongjun, Zhong Linsheng, Xiao Lianlian. Construction and empirical analysis of the suitability evaluation of study travel development in national park. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(20): 7222-7230. [陈东军, 钟林生, 肖练练. 国家公园研学旅行适宜性评价指标体系构建与实证研究. 生态学报, 2020, 40(20): 7222-7230.]
- [34] Zhang Yujun, Xu Yadan, Jia Qian. A study on the cooperative relationship between the ecotourism stakeholders in national parks: A case study of Gongyu Zone in Xianju National Park. *Tourism Science*, 2017, 31(3): 51-64, 74. [张玉钧, 徐亚丹, 贾倩. 国家公园生态旅游利益相关者协作关系研究: 以仙居国家公园公孟园区为例. 旅游科学, 2017, 31(3): 51-64, 74.]
- [35] Peng Jian, Wu Jiansheng, Pan Yajing, et al. Evaluation for regional ecological sustainability based on PSR model: Conceptual framework. *Progress in Geography*, 2012, 31(7): 933-940. [彭建, 吴健生, 潘雅婧, 等. 基于PSR模型的区域生态持续性评价概念框架. 地理科学进展, 2012, 31(7): 933-940.]
- [36] Shen W, Zheng Z C, Qin Y C, et al. Spatiotemporal characteristics and driving force of ecosystem health in an important ecological function region in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(14): 5075. DOI: 10.3390/ijerph17145075.
- [37] Chen Dongjing, Zhang Yunlei, Liu Yu, et al. Measure adaptive management and obstacle factors of marine eco-economic system: A case study of Shandong Province. *Economic Geography*, 2020, 40(6): 185-192. [陈东景, 张运磊, 刘玉, 等. 海洋生态经济系统适应性管理绩效测度与障碍因素诊断: 以山东省为例. 经济地理, 2020, 40(6): 185-192.]
- [38] Tang Fanglin, Zhang Jinchi, Yang Yuming, et al. Study on evaluation system of national park. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(12): 2993-2999. [唐芳林, 张金池, 杨宇明, 等. 国家公园效果评价体系研究. 生态环境学报, 2010, 19(12): 2993-2999.]
- [39] Liu Shiliang, Liu Lumeng, Wu Xue, et al. Quantitative evaluation of human activity intensity on the regional ecological impact studies. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(19): 6797-6809. [刘世梁, 刘芦萌, 武雪, 等. 区域生态效应研究中人类活动强度量化评价. 生态学报, 2018, 38(19): 6797-6809.]
- [40] Chen Yan, Hou Peng, Wang Yuan, et al. Evaluation of protection effect of coordinated management of different kinds of nature reserves. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(4): 779-787. [陈妍, 侯鹏, 王媛, 等. 生态保护地协同管控成效评估. 自然资源学报, 2020, 35(4): 779-787.]
- [41] Liao Liuwen, Qin Jianxin, Liu Yongqiang, et al. Study on ecological elasticity of Hunan Province based on land use transition. *Economic Geography*, 2015, 35(9): 16-23. [廖柳文, 秦建新, 刘永强, 等. 基于土地利用转型的湖南省生态弹性研究. 经济地理, 2015, 35(9): 16-23.]
- [42] Zhang Shile, Gai Shuangshuang, Liu Xueli. Evaluation on effect of National Natural Science Foundation of China and structural features of its research outputs. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(4): 507-515. [张诗乐, 盖双双, 刘雪立. 国家自然科学基金资助的效果: 基于论文产出的文献计量学评价. 科学学研究, 2015, 33(4): 507-515.]
- [43] Kong Dongsheng, Zhang Hao. Economic value of wetland ecosystem services in the Heihe National Nature Reserve of

- Zhangye. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(4): 972-983. [孔东升, 张灏. 张掖黑河湿地自然保护区生态服务功能价值评估. *生态学报*, 2015, 35(4): 972-983.]
- [44] Chen Dongjun, Zhong Linsheng. Educational use in global national parks: Review and implications. *Biodiversity Science*, 2020, 28(10): 1266-1275. [陈东军, 钟林生. 国外国家公园教育利用研究进展与启示. *生物多样性*, 2020, 28(10): 1266-1275.]
- [45] Chen Rong, Ma Yaofeng, Luo Yunmin. Research on the coordinated development of transportation and tourism economy in Qinghai-Tibet Plateau in the past 20 years. *Qinghai Social Sciences*, 2016(2): 109-114. [陈蓉, 马耀峰, 罗赞敏. 二十年来青藏高原交通与旅游经济协调发展研究. *青海社会科学*, 2016(2): 109-114.]
- [46] Zha Ruibo, Sun Gennian, Dong Zhibao, et al. Assessment of atmospheric oxygen practical pressure and plateau reaction of tourists in the Qinghai-Tibet Plateau. *Ecology and Environmental Sciences*, 2016, 25(1): 92-98. [查瑞波, 孙根年, 董治宝, 等. 青藏高原大气氧分压及游客高原反应风险评价. *生态环境学报*, 2016, 25(1): 92-98.]
- [47] Luo Wenbin, Xu Feixiong, He Xiaorong. Study on the dynamic relationship between tourism expansion and economic growth in China (1978-2008): Based on the cointegration test and granger causality test model. *Tourism Tribune*, 2012, 27(10): 20-26. [罗文斌, 徐飞雄, 贺小荣. 旅游发展与经济增长、第三产业增长动态关系: 基于中国 1978—2008 数据的实证检验. *旅游学刊*, 2012, 27(10): 20-26.]
- [48] Yi Xin, Liu Fengliang. Financial development, technological innovation and industrial structure transformation: Theoretical analysis framework of multi sector endogenous growth. *Management World*, 2015(10): 24-39, 90. [易信, 刘凤良. 金融发展、技术创新与产业结构转型: 多部门内生增长理论分析框架. *管理世界*, 2015(10): 24-39, 90.]
- [49] He Yanbing, Huang Xiaojun, Zhai Lingxin, et al. Assessment and influencing factors of social vulnerability to rapid urbanization in urban fringe: A case study of Xi'an. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(8): 1315-1328. [何艳冰, 黄晓军, 翟令鑫, 等. 西安快速城市化边缘区社会脆弱性评价与影响因素. *地理学报*, 2016, 71(8): 1315-1328.]
- [50] Li Tao, Cao Xiaoshu, Yang Wenyue. Rank-size distribution and evolution of passenger and freight flows in the Pearl River Delta. *Progress in Geography*, 2016, 35(1): 108-117. [李涛, 曹小曙, 杨文越. 珠江三角洲客货运量位序—规模分布特征及其变化. *地理科学进展*, 2016, 35(1): 108-117.]
- [51] Wan G H, Zhu D Q, Wang C, et al. The size distribution of cities in China: Evolution of urban system and deviations from Zipf's law. *Ecological Indicators*, 2020, 111: 106003. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.106003.
- [52] Jiang Yiyi, Wen Xiaojin, Liu Yanxu. Evolutionary characteristics of China's outbound tourism flow in rank-size distribution from 2001 to 2015. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(12): 2468-2480. [蒋依依, 温晓金, 刘焱序. 2001—2015 年中国出境旅游流位序规模演化特征. *地理学报*, 2018, 73(12): 2468-2480.]
- [53] Guo Jianke, Chen Yuanyue, Yu Xuhui, et al. Rank-size distribution and mechanism of port system in the Bohai Rim during the past thirty years. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(10): 1812-1826. [郭建科, 陈园月, 于旭会, 等. 1985 年来环渤海地区港口体系位序—规模分布及作用机制. *地理学报*, 2017, 72(10): 1812-1826.]
- [54] Tang Z. An integrated approach to evaluating the coupling coordination between tourism and the environment. *Tourism Management*, 2015, 46: 11-19.
- [55] Xiao Liming, Zhang Xianpeng. Spatio-temporal characteristics of coupling coordination between green innovation efficiency and ecological welfare performance under the concept of strong sustainability. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(2): 312-324. [肖黎明, 张仙鹏. 强可持续理念下绿色创新效率与生态福利绩效耦合协调的时空特征. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 312-324.]
- [56] Xu Tuoyuan, Zhao Jiacheng, Liu Jinlong. Institutional changes in community tourism management before and after governmental intervention. *Rural Economy*, 2019(1): 73-79. [徐拓远, 赵佳程, 刘金龙. 政府干预前后社区旅游管理制度变迁: 以云南省普达措国家公园为例. *农村经济*, 2019(1): 73-79.]
- [57] Sun Zhengkai. Ecological civilization education of tourists in Pudacuo National Park. *Environmental Engineering*, 2020, 38(5): 225. [孙正楷. 普达措国家公园的游客生态文明教育: 评《生态文明教育》. *环境工程*, 2020, 38(5): 225.]
- [58] Zhong Linsheng, Deng Yu, Chen Tian, et al. New regional space: Discussion on construction of national park system. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2016, 31(1): 126-133. [钟林生, 邓羽, 陈田, 等. 新地域空间: 国家公园体制构建方案讨论. *中国科学院院刊*, 2016, 31(1): 126-133.]
- [59] Deng Ran, Shao Huaiyong, Huang Baorong, et al. Remote assessment on ecosystem integrity of the Qinghai-Tibet Plateau and research on National Parks Group construction sequence. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(3): 847-860. [邓冉, 邵怀勇, 黄宝荣, 等. 青藏高原生态系统完整性远程评价与国家公园群建设时序研究. *生态学报*, 2021, 41(3): 847-860.]
- [60] Zhong Linsheng, Zeng Yuxi, Yu Hu. The natural foundation and realization path of the recreation function of the Qinghai-Tibet Plateau National Park Group. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(3): 861-873. [钟林生, 曾瑜皙, 虞虎. 青藏

高原国家公园群游憩功能的自然基础与实现路径. 生态学报, 2021, 41(3): 861-873.]

- [61] Chen Yanguang. Spatial structure of central-place systems: Fractals and scaling laws. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinesis*, 2004, 40(4): 626-634. [陈彦光. 中心地体系空间结构的标度定律与分形模型: 对 Christaller 中心地模型的数学抽象与理论推广. 北京大学学报(自然科学版), 2004, 40(4): 626-634.]

Function evaluation and structure analysis of Qinghai-Tibet Plateau National Park Cluster

CHEN Dongjun^{1,2}, ZHONG Linsheng^{1,3}, FAN Jie^{1,3}, YU Hu^{1,3}, YANG Ding^{1,3}, ZENG Yuxi^{1,3}

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. School of Tourism and Urban Management, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China; 3. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: National park cluster is an important mode to explore the coordination of ecological security barrier and regional sustainable development of the Qinghai-Tibet Plateau. Thoroughly studying multi-functional structure plays an important part in promoting the orderly organization and coordinated construction of national park cluster in the Qinghai-Tibet Plateau. Based on the Pressure-State-Response Evaluation Model, Rank-Size Rule and Coupled Coordination Degree Model, this study established a functional structure evaluation system to analyze the multiple functional categories, hierarchical and functional structure characteristics of national park cluster. Results show that: (1) To achieve sustainable development, endogenous relationship and denotative relationship should be addressed for the national park cluster. Internally, it is necessary to promote rational allocation of interests among ecological protection, recreational utilization and community development. Externally, the ecological security barrier function and regional green development should be achieved through the orderly organization of individual parks, and the collaborative evolution relationship should be handled in the scale span process of ecological protection, scientific research, education, recreation and community development. (2) The functions of ecological protection, recreation and community development in the Qinghai-Tibet Plateau National Park Cluster are prominent, and there is great potential for improvement of scientific research and education functions. The Zipf index shows the multi-functional level conforms to the Rank-Size Rule and presents a balanced development. Hence, the individual national parks need to strengthen their dominant functions according to their characteristics. (3) The coupling degree and coordination degree of multi-functions of the Qinghai-Tibet Plateau National Park Cluster are 0.7809 and 0.6227, respectively, showing high-intensity coupling and intermediate coordination state. Because of great differences in the coupling strength and coordination level among individual parks, the functional structure is classified into four types of comprehensive coordination, advantage development, general development and general lag. This study not only enriches the function evaluation and structure research of national park, but also provides scientific references for the functional optimization and sustainable development of the national park cluster on the Qinghai-Tibet Plateau.

Keywords: national park cluster; functional structure; function evaluation; Qinghai-Tibet Plateau