

DOI: 10.5846/stxb201907191527

秦青, 刘晶茹, 于强, 马奔, 谭宏利, 解林红, 温亚利. 四川省大熊猫保护地生态安全及其时空演变. 生态学报, 2020, 40(20): 7255-7266.

Qin Q, Liu J R, Yu Q, Ma B, Tan H L, Xie L H, Wen Y L. Ecological security and spatio-temporal evolution of giant panda protected areas in Sichuan Province. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(20): 7255-7266.

四川省大熊猫保护地生态安全及其时空演变

秦 青¹, 刘晶茹¹, 于 强², 马 奔³, 谭宏利⁴, 解林红⁴, 温亚利^{3,*}

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 北京林业大学林学院, 北京 100083

3 北京林业大学经济管理学院, 北京 100083

4 国家林业与草原局森林与草原病虫害防治总站, 沈阳 110034

摘要:大熊猫是生态保护的旗舰物种, 保护大熊猫及其栖息地具有重要的示范作用和科学价值。中国致力于建设以国家公园为主体的自然保护地体系, 分析大熊猫保护地生态安全, 为建立大熊猫国家公园提供理论依据, 具有重要意义。以四川省为例, 选取被划入或将来可能被划入大熊猫保护地的典型县域, 构建大熊猫保护地生态安全评价指标体系, 采用熵权法、层次分析法进行综合评价, 并结合空间相关性分析, 从时间和空间两个维度对大熊猫保护地生态安全状况进行时空动态分析。结果表明: (1) 2003—2017 年四川省大熊猫保护地生态安全综合指数呈波动性上升趋势, 生态环境改善显著, 但仍有部分县域出现不同程度的环境恶化现象。(2) 各县域生态安全状况表现出较强的差异性, 并且相邻县域生态安全指数存在显著的空间正相关性和空间集聚性。(3) 大熊猫保护地生态安全与周边社会经济发展之间矛盾依然尖锐, 相邻县域之间的经济发展和生态保护状况相互影响的作用明显, 需联合治理, 共同促进生态平衡, 提高大熊猫及其栖息地保护效果。

关键词:大熊猫; 生态安全; 保护地; PSR; 时空演变; 四川省

Ecological security and spatio-temporal evolution of giant panda protected areas in Sichuan Province

QIN Qing¹, LIU Jingru¹, YU Qiang², MA Ben³, TAN Hongli⁴, XIE Linhong⁴, WEN Yali^{3,*}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 The College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

3 The School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

4 Forest and Grassland Pest Control Station, National Forestry and Grassland Administration, Shenyang 110034, China

Abstract: Giant panda is the flagship species for priority ecological protection. The demonstration effect as well as scientific values in protecting giant pandas and their habitats are of great significance. China is committed to building natural reserve system with national parks as the main body, aiming at restoring the integrity and connectivity of giant panda habitats. Therefore, analyzing the ecological security of the giant panda reserves and providing theoretical basis for the establishment of the giant panda National Park are very important. Taking Sichuan Province as an example, this paper, based on data from 20 typical counties that would be included as the conservation areas of giant pandas in the future, is to establish an ecological security evaluation index system for giant panda protected areas. The comprehensive evaluation was carried out by using entropy weight and analytic hierarchy process method, and temporal and spatial dynamic analysis of the ecological security of the giant panda protection site, as well as spatial correlation analysis. The results showed that: (1) From 2003

基金项目: 中国博士后基金项目(2019M650870), 国家自然科学基金项目(71861147001)

收稿日期: 2019-07-19; 网络出版日期: 2020-08-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wenyali2003@163.com

to 2017, the comprehensive index of ecological security of giant panda conservation areas in Sichuan Province showed a volatility upward trend and the ecological environment improved significantly, whereas environmental degradation in some counties still exists. (2) The ecological security status of each county showed strong differences, and there was significant spatial positive correlation and spatial clustering in the ecological security index of adjacent counties; (3) The contradiction between the ecological security of the giant panda conservation area and the surrounding social and economic development levels is still serious, and the interaction between economic development and ecological protection status of the adjacent counties is obvious. Therefore, the paper suggests to promote ecological balance with the solution of joint management to protect and improve giant pandas and their habitats.

Key Words: giant panda; ecological security index; protected areas; PSR; spatio-temporal evolution; Sichuan Province

大熊猫作为生物多样性保护的旗舰物种,具有伞保护作用。保护大熊猫不仅仅是保护一个物种,而是保护复杂的生态系统,确保区域生态安全。由于保护力度不断加大,近年来大熊猫野外种群和栖息地面积都有了较大增长^[1],2016年世界自然保护联盟将大熊猫的受威胁级别从“濒危”降为“易危”,可见大熊猫保护成效显著。但是大熊猫保护地森林和物种资源十分丰富,周边社区发展仍然高度依赖自然资源^[2]。大熊猫保护地周边经济社会系统仍从大熊猫同域分布的自然生态系统中获取资源,占据土地^[3]。随着社会经济发展提速,资源开发、土地利用、基础设施建设等经济活动仍在持续^[4]。由于人为干扰和自然隔离等原因,野外大熊猫种群被分割成33个局域种群,其中有24个局域种群具有较高的生存风险^[5]。人类经济活动对大熊猫栖息地的干扰压力从未消减,大熊猫保护的形势依然严峻^[6]。

大熊猫保护地位于长江中上游重要集蓄水区,是中国重要的生态脆弱区,这一地区的生态安全状况直接关系到广大地区的国土生态安全。2017年,国务院印发了《大熊猫国家公园体制试点方案》,旨在增加大熊猫栖息地的连通性、完整性。2018年,大熊猫国家公园管理局正式挂牌。2019年,中央全面深化改革委员会第六次会议审议通过了《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系指导意见》,强调把具有国家代表性的重要自然生态系统纳入国家公园体系,实行以国家公园为主体、自然保护区为基础、各类自然公园为补充的自然保护地体系。中国社会经济高速发展过程中,维护区域生态安全,协调发展与保护的关系,是国家生态保护战略的重点和难点问题。近年来国家通过各种保护政策,在发展经济的同时大力宣传保护生态环境,如何处理大熊猫保护与区域经济发展也是学术界研究的热点。

“生态安全”概念,国际应用系统分析研究所于1989年首次提出,指由自然生态安全、经济生态安全、社会生态安全组成的复杂生态系统。国外关于生态安全的研究主要集中于理论研究^[7-8]、生态系统持续健康发展^[9]、生态安全预警^[10]、环境可持续性^[11-12];区域环境管理^[13]等方面,奠定了生态安全研究的理论基础。国内学者关于生态安全的研究起步稍晚但发展迅速,从研究内容来看,大多利用统计数据 and 监测数据,构建评价指标体系进行区域生态安全评价;宁立新^[14]对江苏省海岸带19年间的生态系统健康状况进行综合评价和动态变化分析;米锋^[15]利用31个省(市、自治区)年鉴数据,分析森林生态安全状况及其变化趋势;乔卫芳等^[16]对焦作市生态安全进行了综合评价;郗希等^[17]分析了城镇化的可持续发展;刘雅爱^[18]对张家口市生态安全进行评价。从研究方法来看,冯彦^[19]等采用熵权法和G1法并结合综合指数法,选取人口密度、SO₂排放量、森林覆盖率、森林火灾及病虫害发生率等指标构建PSR模型,对湖北省县域森林生态安全进行动态评价;毛旭鹏^[20]采用熵权法和模糊综合评价法,选取人口增长率、开荒面积、有林地面积、农民年纯收入等指标构建PSR模型,对湖南省长沙、株洲、湘潭等地区森林生态安全进行评价;吴晓等^[21]采用熵权法赋值,结合灰色关联度评价模型,选取城市化比例、人均耕地面积、水土流失面积等指标,对巫山县山地城市生态安全进行评价;郑晖等^[22]采用生态承载力评价模型对甘肃省生态承载力进行动态分析。左伟等^[23]构建了层次分析-变权-模糊-灰色关联复合模型对区域生态安全进行综合评价。刘海龙等^[24]采用集成熵权法和灰色关联评价模型,并结合空间分析方法,评价并分析山西省生态安全时空演变规律。

本文在中国建立自然保护区体系的背景下,基于 PSR 模型,构建大熊猫保护地生态安全评价指标体系,以四川省为例,选取大熊猫分布的已被划入或将来可能被划入保护地管理体系的 20 个典型县域,系统分析大熊猫保护地 2003—2017 年生态安全状况及其变化趋势。在此基础上,运用空间分析法研究四川省大熊猫保护地典型县域生态安全的时空变化,通过空间相关性分析,识别县域之间的相互影响关系,为建设大熊猫保护地体系提供理论依据,进一步维护大熊猫保护地生态系统安全,具有重要的科学价值和实践意义。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域

四川省是野外大熊猫分布的主要区域,根据中国第四次大熊猫调查,四川省的野生大熊猫数量是 1387 只(不包括 1.5 岁以下幼体),占全国总数 74.4%。四川省境内的大熊猫栖息地面积有 202.72 万 hm^2 ,占全国 78.29%。分布在岷山、邛崃山、大相岭、小相岭、凉山和秦岭六大山系,地理位置介于东经 $101^{\circ}55'$ — $105^{\circ}27'$ 、北纬 $28^{\circ}12'$ — $33^{\circ}34'$ 之间^[25]。自 20 世纪 90 年代以来,四川省陆续实施大熊猫及其栖息地保护、天然林保护、退耕还林以及野生动植物保护与自然保护区建设等生态工程以来,大熊猫数量及其栖息地面积上升,但仍有 38.5% 的野生大熊猫和 50.5% 的大熊猫栖息地未得到保护,部分栖息地严重退化。

本文选取了大熊猫密集分布的 20 个具有代表性的典型县域,具体见图 1,部分县域已经被划入保护地管理体系和大熊猫国家公园管理范围内,另有部分县域具有重要的保护价值,未来有可能被划入保护地管理范围内。这 20 个县域涵盖四川省 75.59% 大熊猫栖息地和 87.96% 大熊猫野外种群。各县域的经济的发展处于不同水平,平武县大熊猫保护地水电站密布,松潘县社区居民以放牧和采药为生。九寨沟县、汶川县以旅游业为主要收入来源,宝兴县、石棉县以采矿业为主要经济支柱,马边县和雷波县经济发展水平较低,以农耕、放牧为主。大熊猫保护地多数分布在少数民族聚居、地理位置偏远、交通不便,但自然资源丰富的县域。

1.2 数据来源

本研究所涉及的指标数据来源分两类,一类来源于课题组多年的调查积累,另一类来源于统计年鉴和相关调查报告。其中,农林收入、保护资金投入、自然保护区面积、退耕还林等生态工程面积等数据来源于课题组多年的实地问卷调查、在各县保护区调研中所获取的基础数据资料以及相关部门管理者问卷访谈数据。平均气温、降雨量、GDP、行业产值、 SO_2 排放量、公路里程、景区面积等数据主要来源于相关各县的《县统计年鉴》,并参考这些县域所在市(州)的统计年鉴,包括阿坝州、绵阳市、雅安市等 9 个市(州)。以及《四川省统计年鉴》、《四川农村年鉴》、《四川省环境状况公报》、《林业统计年鉴》。大熊猫种群数量、栖息地面积、主食竹面积等源于国家林业与草原局、四川省林业与草原局提供的《全国第三次大熊猫调查报告》、《四川省第四次大熊猫调查报告》。

2 研究方法

2.1 PSR 评价指标体系构建

2.1.1 指标的选择

作为一个针对复杂评价对象而进行的综合性评价,保护地生态安全评价指标体系的构建十分复杂,如何构建指标体系是关键,指标的选择科学与否直接决定评价结果的意义。因此,考虑到相关指标的实用性、科学性、可获取性等原则,课题组内部进行了多次研讨并向相关专家进行了咨询,结合四川省大熊猫保护地的环境特征和社会经济发展状况,兼顾可获取性等原则,构建的大熊猫保护地生态安全评价指标体系的基本框架,包含人类活动对生态系统产生的压力(P),生态系统自身状态(S),人类管理和保护行为响应(R)。所选择的指标包括原始指标和构建指标。原始指标,是直接查阅统计年鉴等可以获取的,如人口数量、森林覆盖率等;构建指标,是利用原始数据进行计算后得来的指标,如林业产值占 GDP 比例等。其中,全国大熊猫调查每十年开展一次,森林资源清查每五年开展一次,因此相关数据按照年增长率换算得到。具体指标见表 1 所示:

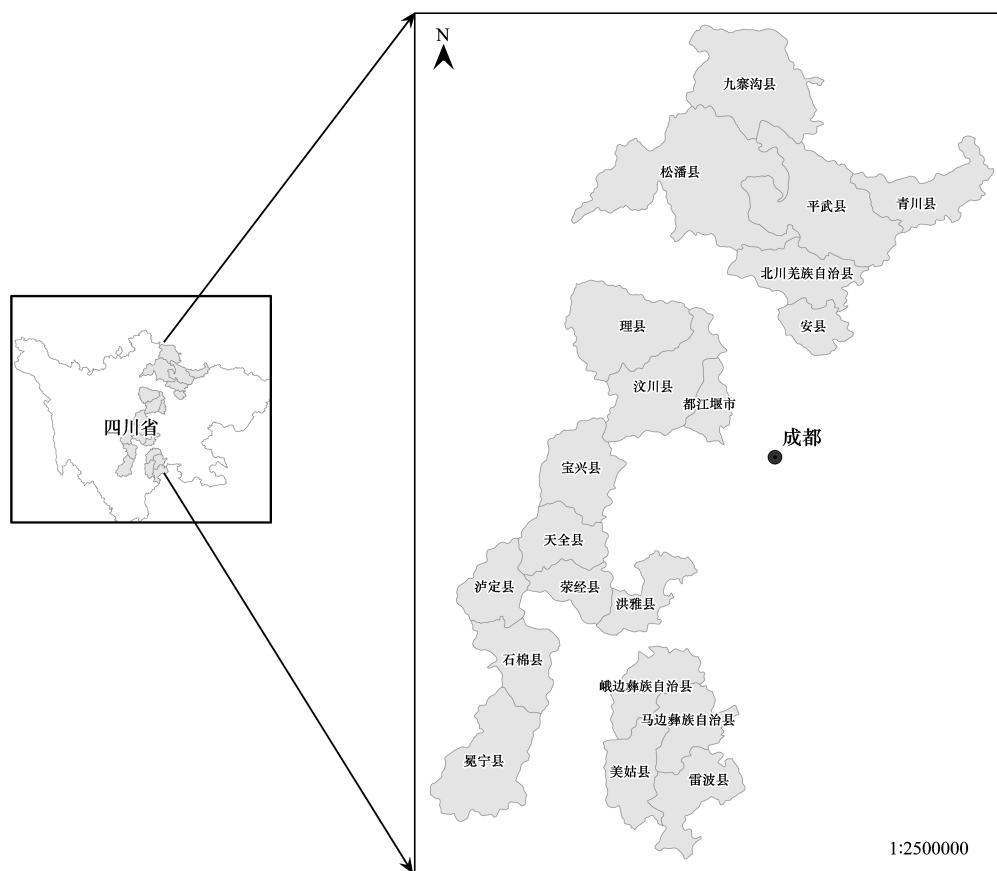


图1 研究区域

Fig.1 Research area

第一,压力指标(P)。用资源、环境污染和人文社会指标反映,显示自然过程和人类活动给大熊猫保护地生态环境所带来的影响和压力。压力的产生与区域经济发展程度和人口结构指标有密切关系。反映一定时期内栖息地资源的利用强度和环境的破坏程度,以及今后区域经济发展的变化趋势。本研究选取的压力指标主要包括以下部分:人口增长和经济发展压力(C1)、土地及资源占用压力(C2)、环境污染的压力(C3)。

第二,状态指标(S)。主要是指大熊猫分布区生态环境在一定时期内的状态和变化趋势,展示其结构、功能和稳定性,主要包括资源、环境及大熊猫栖息地状况等。本研究选取的状态指标主要包括以下部分:森林资源状态(含竹林状态)(C4)、环境状态(C5)、大熊猫及栖息地状态(C6)。其中,森林面积,尤其是竹林面积是大熊猫保护地生态环境的重要影响因子,此处不再赘述。

第三,响应指标(R)。人类活动对环境造成一定干扰,给生态系统的稳定带来压力,为缓解资源压力、改善环境、维持生态平衡,采取一系列管理措施,从政府、公众等不同层次出发,主要包括以下方面:资金投入(C7)、保护工程实施(C8)。

2.1.2 指标权重的确定

确定评价指标权重是进行生态安全评价的关键,现有的指标权重计算方法已经相当成熟,主要分为主观赋权法和客观赋权法两种。前者最为广泛的是层次分析法(AHP),因其对各指标之间重要程度的分析更具逻辑性,定性与定量相结合,具有较强的可信度,是一种多准则决策方法^[26]。后者最具代表的是熵权法,主要是利用各指标所提供信息量的大小(熵值)来决定指标权重,是一种科学客观的赋权方法,成功排除了人为因素的主观影响^[27]。

由于主观赋权法带有主观色彩的缺点,存在随意性较大的可能。而客观赋权法确定的权数,有时无法排

除与指标的实际重要程度相悖的可能性。因此,综合主客观赋权法的优缺点,采用层次分析法与熵权法相结合来确定指标权重,具体计算步骤如下:

(1)熵权法对指标权重进行客观赋值计算,计算公式见何逢标^[28]对综合评价方法的研究,得到客观权重向量 $a=(a_1, a_2, \dots, a_{23})$ 。

(2)层次分析法进行指标主观权重赋值计算,确权原理及具体步骤可参考杜栋等^[29]对层次分析法的研究,在此不再赘述。本研究中,主要通过 YAAHP 生成的调查问卷,来构造层次分析模型的判断矩阵,然后对判断矩阵进行一致性检验。采用 YAAHP 软件对专家问卷进行标记修正与补全,全部通过一致性检验,通过群决策 AHP 方法,采用算数平均的方法计算出各指标的权重 $b=(b_1, b_2, \dots, b_{23})$ 。

(3)结合熵权法确定的客观权重和层次分析法确定的主观权重,再利用乘法归一化公式,计算出生态安全指标的综合权重 ω_i , 计算公式如下:

$$\omega_i = \frac{\alpha_i b_i}{\sum_{i=1}^{23} \alpha_i b_i} \quad (1)$$

式中, α_i 是第 i 项指标的主观权重, b_i 是第 i 项指标的客观权重, ω_i 是第 i 项指标的综合权重。

采用熵权法和层次分析法分别计算指标权重,可以克服主客观不足之处,各指标的客观权重、主观权重与综合权重如表 1 所示。

表 1 PSR 模型指标体系
Table 1 PSR Model index system

目标层 A Target	项目层 B Item	准则层 C Standard	指标层 D Index	客观权重 Objective weight	主观权重 Subjective weight	综合权重 General weight
生态安全指数 Ecological security index	压力 B1	人口增长和经济 发展压力 C1	人口密度/(人/km ²) D1	0.019	0.024	0.023
			农村人口/万人 D2	0.028	0.026	0.029
			平均文化程度/年 D3	0.021	0.023	0.025
			单位 GDP 能耗/(tce/万元) D4	0.029	0.032	0.031
			农林收入占 GDP 比重/% D5	0.038	0.033	0.036
			采矿业产值占 GDP 比重/% D6	0.041	0.047	0.042
			水电产值占 GDP 比重/% D7	0.045	0.043	0.041
			旅游业收入占 GDP 比重/% D8	0.042	0.035	0.039
		土地及资源占用 压力 C2	农林业用地面积/hm ² D9	0.031	0.032	0.029
			县境内公路总里程/km D10	0.046	0.051	0.045
	状态 B2	环境污染的压力 C3	工业用水量/t D11	0.039	0.033	0.037
			景区面积/hm ² D11	0.049	0.042	0.041
			农用化肥施用量/t D13	0.035	0.029	0.032
			二氧化硫排放量/t D14	0.026	0.021	0.029
		森林资源状态 C4	工业废水排放总量/t D15	0.032	0.043	0.035
			全县森林覆盖率/% D16	0.032	0.045	0.042
			全县竹林面积/hm ² D17	0.042	0.049	0.045
			全年平均气温/℃ D18	0.027	0.032	0.035
			年总降雨量/mm D19	0.022	0.025	0.026
			自然灾害发生频率/次 D20	0.036	0.041	0.038
		大熊猫及栖息地 状态 C6	全县大熊猫主食竹面积/hm ² D21	0.039	0.036	0.035
			全县大熊猫数量/只 D22	0.047	0.051	0.048
			全县大熊猫栖息地面积/hm ² D23	0.051	0.055	0.052
	响应 B3	资金投入(C7)	保护资金投入/万元 D24	0.042	0.041	0.039
			生态补偿资金投入/万元 D25	0.037	0.021	0.026
		保护工程实施(C8)	全县自然保护区面积/hm ² D26	0.038	0.035	0.031
			全县天然林面积/hm ² D27	0.035	0.032	0.037
			全县退耕还林面积/hm ² D28	0.031	0.023	0.032

2.2 生态安全指数测算

为计算生态安全指数,本文采用综合评价法,将每个指标的得分值与其权重进行加权求和,公式如下:

$$F_I = \sum_{i=1}^{20} \omega_i p_i \quad I = 1, 2, \dots, 20 \quad (2)$$

式中, p_i 是第 i 个县域在第 i 项指标的得分值, F_I 是第 i 个县域的生态安全得分。

2.3 空间相关性分析

空间自相关,指在地理位置上,相邻的两个区域的某一观测值是否具有相关性^[30-31]。常用的方法有全局自相关和局部自相关。

2.3.1 全局自相关

全局自相关,指整个区域的某一属性值是否具有相关性。一般常用 Moran's I 指数和 Geary's C 指数来衡量, Moran's I 指数受偏离正态分布的影响较小,本文采用全局 Moran's I 指数^[30]来检验各县域生态安全指数的全局自相关性,计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right) \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

式中, n 为格数据数目, y_i 、 y_j 分别为空间地理事物在第 i 、第 j 两点的属性值, $\bar{y}$ 为 y 的均值, w_{ij} 为空间权重矩阵,表示某空间地理事物在第 i 、第 j 两点之间的连接关系。Moran's I $\in [-1, 1]$, 绝对值越大表明空间相关性越强。

2.3.2 局部自相关

在使用全局自相关检测各县域生态安全指数整体空间相关性后,再利用局部自相关性分析其局部相关性。将全局 Moran's I 分解,局域 Moran's I 公式为:

$$I_i = \frac{y_i - \bar{y}}{S^2} \sum_j w_{ij} (y_j - \bar{y}) \quad (4)$$

式中, S^2 为 y_i 为离散方差, $\bar{y}$ 为 y 的均值, w_{ij} 为空间权重矩阵,通过 Z-score 得分来检验局域 Moran's I。

3 结果与分析

3.1 大熊猫保护地生态安全的变化趋势

在前面确定了指标权重的基础上,计算大熊猫保护地分布的 20 个典型县域的生态安全指数如表 2 所示。具体分析大熊猫保护地生态安全状况:

3.1.1 生态安全综合指数变化趋势

整体来看,四川省大熊猫保护地 2003—2017 年生态安全综合指数呈现波动上升的变化趋势,说明生态环境整体保持不断改善的状态。2003 年平均生态安全指数为 0.3872,2003—2007 年处于缓慢上升阶段。2009 年出现小幅下降,这一变化可能汶川地震有关,汶川县是大熊猫高密度分布区,强烈的地壳运动造成植被的破坏以及物种数量的下降(但是这种自然因素不是本文探讨的重点,本研究主要是分析区域经济发展对大熊猫保护地生态安全的影响)。2013—2017 年上升速度较快,生态环境改善显著,说明近年来国家及地方政府生态工程成效显著,大熊猫栖息地整体得到恢复。

3.1.2 生态压力指数变化趋势

本文对压力指数中的逆向指标做了标准化处理,压力指数越大,说明保护地环境面临的压力越小。表 2 可以看出,2003—2007 年研究区域的生态压力指数总体处于上升趋势,其中 2003—2009 年有所波动,2011—2017 年基本处于平稳上升趋势,表明人类活动对生态的环境的干扰压力在减小。近十几年来为改善区域生态环境,保护大熊猫及栖息地,国家和地方政府作出了很大的努力^[32]。栖息地周边社区居民生态搬迁和进城

务工,减少了自然资源的开发^[33]。但是因地方经济发展需要,基础设施建设速度加快,部分县域因为缺乏科学规划,修路、建水电站、开发景区等活动仍然给大熊猫保护带来较大压力,依然威胁着大熊猫保护地生态环境。

3.1.3 生态状态指数变化趋势

研究区域 2003—2017 年的生态状态指数整体呈波动上升趋势,其中,2003—2007 年保持缓慢上升趋势,2009 年出现下滑,2011—2017 年处于快速恢复趋势,这说明保护地生态环境得到了显著改善,短期的波动下滑可能与自然灾害有关,近十几年来,天然林保护、退耕还林、大熊猫及其栖息地保护等工程,对于大熊猫栖息地的恢复起到了显著作用^[34]。与 2003 年相比,研究区域 20 县的林地面积增加了 28.71%,大熊猫主食竹面积增加了 12.53%,野外大熊猫数量增加了 12.34%,大熊猫栖息地面积增加了 9.81%。

3.1.4 生态响应指数变化趋势

研究区域 2003—2017 年的生态响应指数基本保持上升趋势,并且响应指数的增幅大于压力指数和状态指数,说明为消除人类活动对大熊猫保护地生态环境的干扰,国家及地方政府采取的多项措施取得了显著成效。近十几年内,大熊猫及其栖息地保护工程利用国际合作资金,野生动植物保护与自然保护区建设工程投入资金,开展大熊猫自然保护区保护管理基础设施建设^[35]。四川省全面停止大熊猫栖息地和潜在栖息地内天然起源的森林采伐,有效管护大熊猫栖息地和潜在栖息地内森林 228.82 万 hm^2 。另外,在大熊猫分布区实行森林分类经营,实施《四川省林地保护利用规划》,大熊猫栖息地和潜在栖息地内 84.93% 的林地被纳入国家和四川省重点公益林保护范围^[25]。

表 2 研究区域生态安全综合指数

Table 2 Ecological security index in study area

年份 Year	生态安全综合指数 Ecological security index	压力指数 Pressure index	状态指数 Status index	响应指数 Respond index
2003	0.3872	0.4611	0.4502	0.4502
2005	0.4750	0.4901	0.4720	0.4920
2007	0.4958	0.4883	0.4987	0.5197
2009	0.4524	0.495	0.4758	0.6058
2011	0.5832	0.5511	0.5051	0.6451
2013	0.6310	0.6147	0.5640	0.6640
2015	0.6852	0.6455	0.6263	0.7263
2017	0.7012	0.6525	0.6915	0.7552

3.2 大熊猫保护地生态安全的空间演变特征

3.2.1 大熊猫保护地各县域生态安全的变化趋势

大熊猫保护地各县域不同年份的生态安全综合指数如图 2 所示。同一县域不同年份来看,2003—2017 年间大部分县域生态环境有所好转,生态安全指数上升幅度较大的县是:理县、石棉县、都江堰市、雷波县。这些县域近年来加强保护与管理,取得了一定成效。石棉县加强环境治理,大熊猫栖息地面积增加,同时还拥有较大面积的潜在栖息地。都江堰市因为距离成都较近,具有天然的地理优势和优美的环境条件,地方经济以旅游为主,发展经济的同时,高度重视环境的保护,形成经济发展与生态保护的良性循环,大熊猫数量明显上升。也有部分县域的生态安全指数呈不同程度波动性下降趋势。其中,2003 年和 2017 年相比,生态安全指数下降幅度较大的是:九寨沟县、松潘县、冕宁县、马边县等。这些县域近年来生态保护力度与经济快速发展的速度不匹配,资源开发方式比较原始。

同一年份不同县域来看,2017 年生态安全指数排名前四位的县域依次是宝兴县、天全县、汶川县、平武县,而排名后四位的县域依次是九寨沟县、马边县、冕宁县、松潘县。高安全性的县域森林资源较为丰富,社会经济发展特别是工业发展水平比较低,资源开发和人为破坏较少,保护投入也比较高,如平武县、天全县。但

仍然存在威胁,主要是旅游开发、道路建设和社区农户生计的资源利用,如宝兴县、青川县。低安全性的县域分为两种情况:一是经济较发达的县域,如九寨沟县,因为经济开发力度大,资源利用和环境破坏程度也随之加大,经济活动对大熊猫保护地的干扰加剧。一是经济水平处于低水平的县域,大部分都是国家级贫困县,如马边县,由于这些县域多以粗放式发展为主,资源开发利用方式落后,对环境的破坏力度较大,同时因为地方财力有限,生态保护投入较低,生态恢复能力差。

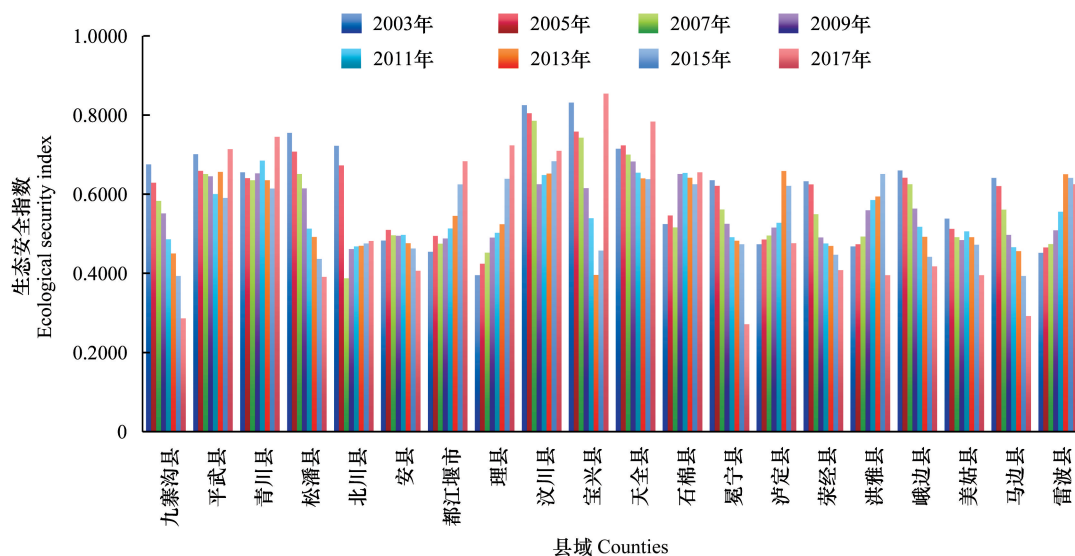


图2 不同年份各县域生态安全指数

Fig.2 Ecological security index of counties in different years

3.2.2 大熊猫保护地各县域生态安全的空间分布

为更好辨识大熊猫保护地生态安全的空间分布状态,根据国内外学者生态安全等级划分标准,将各县域生态安全指数划分为五个等级区间^[36],如表3所示。

表3 生态安全等级

Table 3 Ecological security level

生态安全指数区间 The interval of ecological security index	0.65—1.00	0.50—0.65	0.45—0.50	0.30—0.45	0—0.30
等级 Level	安全	较安全	临界安全	不安全	极不安全

然后,采用 ArcGIS 10.0 软件,将各县域的生态安全等级展示如图3所示。2003年处于临界安全等级(0.45—0.50)以下的县域有4个,其所涵盖的大熊猫栖息地面积3.91万 hm^2 占研究区域的2.57%,2017年处于临界安全等级(0.45—0.50)以下的县域有8个,其所涵盖的大熊猫栖息地面积54.26万 hm^2 占研究区域的33.53%。这可能与近年来四川省整体经济发展速度的不断增快有关,人口增长,资源开发,土地占用,使得区域生态承受力下降。

3.2.3 大熊猫保护地各县域生态安全的空间相关性分析

(1) 全局空间自相关

在对生态安全状态的空间分布进行分析后,再对生态安全指数进行空间相关性分析。本文首先采用 GeoDA 对所研究的20个县域建立空间权重矩阵,然后采用蒙特卡罗模拟法检验 Moran'I 是否显著,如表4所示, $P < 0.001$,说明在99.9%置信度下空间显著自相关。研究区域大部分县域生态安全指数表现出明显的空间正相关性。生态安全指数较高的县域相邻生态安全指数较低的县域相邻。

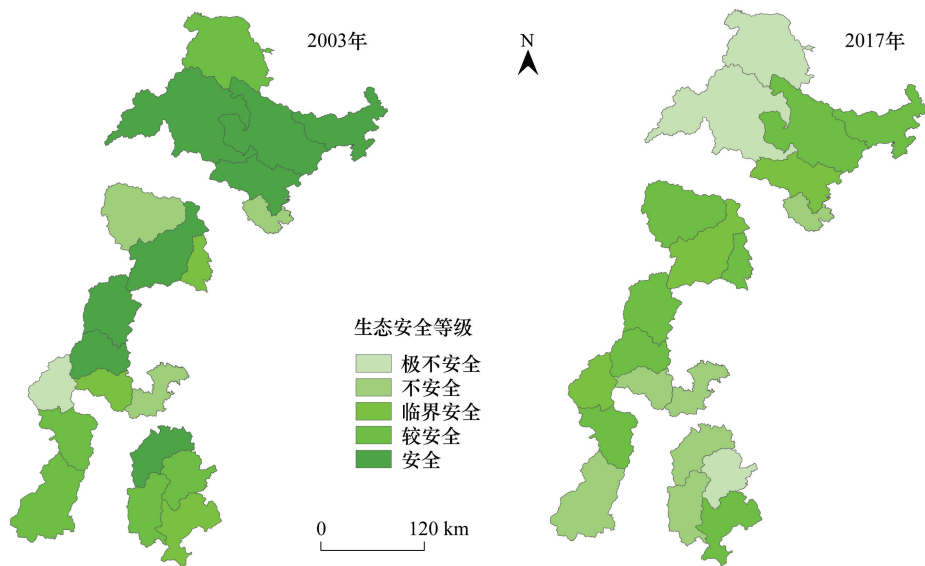


图 3 2003 年和 2017 年各县域生态安全等级空间分布

Fig.3 Spatial distribution of ecological security level of counties in 2003 and in 2017

表 4 不同年份生态安全指数的空间相关性检验结果

Table 4 Spatial correlation test results of ecological security index in different years

年份 Year	莫兰指数 Moran's I	标准差 Standard deviation	Z	P
2003	0.236	0.082	3.201	0.001
2007	0.285	0.078	3.159	0.001
2009	0.297	0.085	3.232	0.001
2011	0.301	0.079	3.180	0.001
2013	0.259	0.087	3.152	0.001
2015	0.302	0.081	3.191	0.001
2017	0.301	0.083	3.121	0.001

随机性检验使用 999permutation

(2)局域空间自相关

进一步,为揭示“邻域空间”自相关性,利用 GeoDA 生成研究区域生态安全指数热点探测(LISA)空间集聚图。如图 4 所示,研究区域生态安全指数呈高低值集聚特点。

2003 年,高-高(H-H)正相关集群的有青川县、平武县、松潘县、九寨沟县、北川县、宝兴县、汶川县、天全县;高-低(H-L):峨边县、马边县;低-高(L-H):泸定县、石棉县;低-低(L-L)负相关集群的有美姑县、雷波县等;其他县域不明显。2017 年,高-高(H-H)正相关集群的有青川县、平武县、宝兴县、天全县;高-低(H-L):石棉县、冕宁县;低-高(L-H):美姑县、雷波县;低-低(L-L)负相关集群的有九寨沟县、松潘县、荣经县、洪雅县;其他县域不明显。整体上,研究区域生态安全状态的布局呈明显的区域性特征,并且随时间的变化,集聚区域也发生了明显变化。这与各区域的自然环境和社会经济发展状态存在直接关系。

4 讨论

四川省是大熊猫分布的主要区域,为保护大熊猫中央和地方各级政府实施了一系列的相关保护工程,同时也投入了大量的人力、物力。2003—2017 年生态安全综合指数呈波动上升趋势,保护地生态环境显著改善,大熊猫数量和栖息地面积大幅上升。随着社会的发展和形势的变化,新的情况不断涌现,还有许多需要

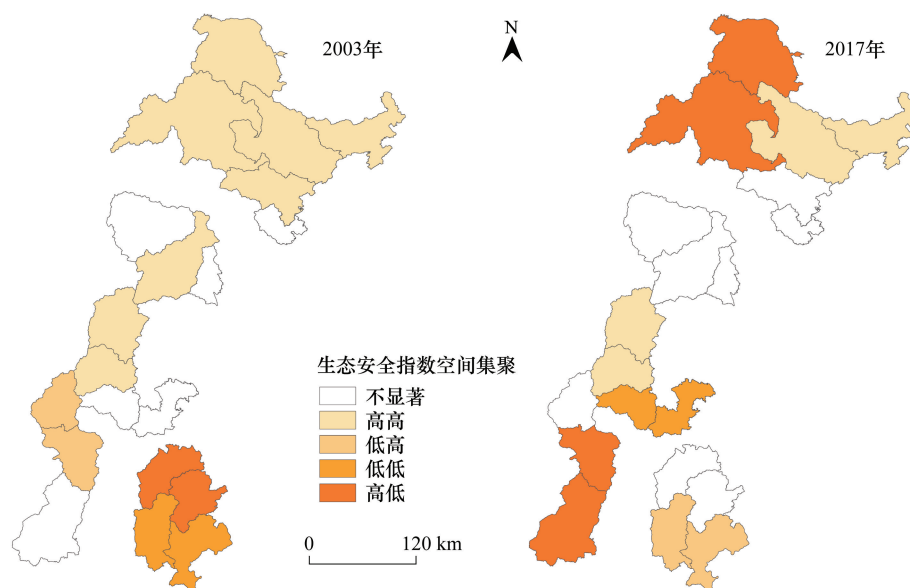


图4 2003年和2017年生态安全指数空间集聚图

Fig.4 Spatial cluster of ecological security index in 2003 and 2017

改进。

研究区域生态环境受人类活动干扰和威胁的压力整体降低,但是部分县域仍然存在干扰大熊猫保护地生态安全的活动。除自然灾害原因外,主要有几方面原因:首先,偏远山区因为交通不便等原因,留在村里的老人、文化程度低的居民、妇女仍然通过薪柴采集、挖笋、割竹、放牧、采药等方式利用周边自然资源,尤其是放牧活动严重干扰大熊猫栖息地环境,需引起关注^[37]。第二,道路修建工程及周边沿线的人口居住和资源开发,阻碍大熊猫基因交流,对物种繁衍造成极大的破坏^[38],如安县、洪雅、峨边、雷波等县域仍有县级公路穿越大熊猫栖息地。第三,部分县域缺少整体规划地发展旅游、建水电站、采矿等给大熊猫保护地带来的威胁应引起重视。旅游业最发达的县有九寨沟、松潘、理、汶川、都江堰。水电发展最多的县有洪雅县、冕宁县、峨边县、都江堰市、九寨沟县。北川县、平武县、松潘县、洪雅县、宝兴县、天全县的矿区和采矿点比较集中。噪声、水体污染、固体废弃物污染等导致环境退化^[39],野生大熊猫不得不向远离开发的区域迁移。

因为保护力度不断加大,2003—2017年大熊猫保护地生态状态指数趋于上升,环境得到了改善,大熊猫种群数量、栖息地面积总体增加,但部分县域有所减少。大熊猫种群数量出现下降的县有九寨沟、北川、汶川、冕宁、峨边、美姑、马边等,大熊猫栖息地面积下降的县有九寨沟、松潘、汶川、宝兴、马边等,除北川、汶川、宝兴因为地震等自然灾害原因外,其他县域主要原因是周边经济活动干扰,大熊猫栖息地破碎化。

研究区域2003—2017年生态响应指数呈上升趋势,尤其是近几年上升速度较快。保护地及周边社区年轻人、文化程度高的居民外出打工或在本地开展自营活动(开商店或搞旅游等),减少了对环境的破坏^[40]。随着近年来环保意识不断加强,地方经济建设规划同时兼顾对环境的保护,高速公路等工程尽可能避开大熊猫栖息地分布区域,废弃部分原有越岭道路,新工程的环评规划等对植被恢复起到一定的作用。同时,地方政府也逐步整顿一些对环境影响较大的工矿企业或景区。

5 结论与建议

5.1 结论

整体来看,四川省大熊猫保护地2003—2017年生态安全综合指数呈现波动上升的变化趋势,说明生态环境整体得到了显著改善,局部地区人类活动对生态环境的压力依然不容忽视。状态指数整体呈波动上升趋势。

势,响应指数基本保持上升趋势,并且响应指数的增幅大于压力指数和状态指数。各县域来看,2003—2017年间大部分县域生态环境有所好转,也有部分县域的生态安全指数呈不同程度波动性下降趋势。县域之间生态安全指数表现出明显的空间正相关性和空间集聚性,说明相邻县域生态环境相互影响,经济发展相互依存,需要联合治理才能取得更高保护成效。

不可否认本文的评估结果存在一定误差:平均气温和降雨量等直接获取栖息地数据难度较大,本文参考统计年鉴数据。研究过程中,数据的获取尤其是实地调研样本点基本以尽可能靠近栖息地为原则。所得结论基本符合各山系不同县域的大熊猫保护地的实际情况,可以为相关部门管理者提供参考依据。

5.2 政策建议

基于以上结论,本文提出几点建议:(1)完善大熊猫保护地体系,将大熊猫国家公园、自然保护区、森林公园等组成保护地网络,整合大熊猫栖息地分布的各类保护地,通过国家公园试点搭建政府主导、社会参与的生态保护平台,将生态保护与经济发展有机结合,促进保护地经济结构转型^[41]。(2)科学划定和管理生态保护红线,开展大熊猫保护地生境调查和评估。统一规划交通建设项目,严禁任何新建道路从大熊猫栖息地穿越,建设交通廊道。建立实行建设项目进入大熊猫遗传交流廊道的影响评估制度,水电站、景区等建设严格按照环境评估要求和区域规划实施。(3)加强大熊猫及其栖息地保护法宣传,建立大熊猫保护地管理联合执法机制。建立四川省大熊猫保护地专项生态补偿机制,以政府提供补贴的方式,在大熊猫保护地周边社区发展沼气、太阳能等,降低薪柴采集。建设友好型社区,优先放开大熊猫保护地周边小城市落户限制,引导保护关键区的居民有序地向城镇流动,发展生态休闲产业,建立大熊猫友好生态小镇,减少大熊猫保护地原住民对自然资源的利用。

参考文献(References):

- [1] 赵志国, 栾晓峰, 陈君帆, 叶菁, 李婧昕, 张超, 李苗苗, 王贺岷元, 杨立. 基于信息熵量化评价大熊猫国家公园生态系统管理成效. 生态学报, 2019, 39(11): 3885-3894.
- [2] Ma B, Lei S, Qing Q, Wen Y L. Should the endangered status of the giant panda really be reduced? The case of giant panda conservation in Sichuan, China. *Animals*, 2018, 8(5): 69.
- [3] 贺超. 基于 LU/LC 的秦岭大熊猫栖息地干扰研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [4] Qin Q, Huang Y, Liu J R, Chen D, Zhang L, Qiu J, Tan H L, Wen Y L. The landscape patterns of the giant panda protection area in Sichuan Province and their impact on giant pandas. *Sustainability*, 2019, 11(21): 5993-5993.
- [5] WWF.第四次全国大熊猫调查专题, www.wwfchina.org
- [6] 秦青, 赵正, 刘梦捷, 冯骥, 温亚利. 栖息地周边社区自然资源依赖度及影响因素分析—以四川省大熊猫栖息地为例. 资源开发与市场, 2017, (3): 301-306.
- [7] Wittemyer G, Elsen P, Bean T W, Burton A C O, Brashares J S. Accelerated human population growth at protected area edges. *Science*, 2008, 321(5885): 123-126.
- [8] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [9] Glinskiy V V, Serga L K, Khvan M S. Environmental safety of the region: new approach to assessment. *Procedia CIRP*, 2015, 26: 30-34.
- [10] Faber J H, Van Wensem J. Elaborations on the use of the ecosystem services concept for application in ecological risk assessment for soils. *Science of the Total Environment*, 2012, 415: 3-8.
- [11] Lundberg K, Balfors B, Folkesson L. Framework for environmental performance measurement in a Swedish public sector organization. *Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(11): 1017-1024.
- [12] Pan T C, Kao J J. Inter-generational equity index for assessing environmental sustainability: an example on global warming. *Ecological Indicators*, 2009, 9(4): 725-731.
- [13] Pirrone N, Trombino G, Cinnirella S, Algieri A, Bendoricchio G, Palmeri L. The Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR) approach for integrated catchment-coastal zone management: preliminary application to the Po catchment-Adriatic Sea coastal zone system. *Regional Environmental Change*, 2005, 5(2/3): 111-137.
- [14] 宁立新, 马兰, 周云凯, 白秀玲. 基于 PSR 模型的江苏海岸带生态系统健康时空变化研究. 中国环境科学, 2016, 36(2): 534-543.
- [15] 米锋, 谭曾豪迪, 顾艳红, 鲁莎莎, 张大红. 我国森林生态安全评价及其差异化分析. 林业科学, 2015, 51(7): 107-115.

- [16] 乔卫芳, 关中美. 压力-状态-响应模型在焦作市生态安全评价中的应用研究. 资源开发与市场, 2014, 30(6): 660-663.
- [17] 郗希, 乔元波, 武康平, 李超. 可持续发展视角下的城镇化与都市化抉择——基于国际生态足迹面板数据实证研究. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(2): 47-56.
- [18] 刘雅爱, 葛京凤, 梁彦庆, 李玉双. 基于 PSR 模型的张家口地区生态安全综合评价. 水土保持通报, 2013, 33(3): 270-274.
- [19] 冯彦, 郑洁, 祝凌云, 辛姝玉, 孙博, 张大红. 基于 PSR 模型的湖北省县域森林生态安全评价及时空演变. 经济地理, 2017, 37(2): 171-178.
- [20] 毛旭鹏, 陈彩虹, 郭霞, 周丹华, 胡焕香. 基于 PSR 模型的长株潭地区森林生态安全动态评价. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(6): 82-86.
- [21] 吴晓, 吴宜进. 基于灰色关联模型的山地城市生态安全动态评价——以重庆市巫山县为例. 长江流域资源与环境, 2014, 23(3): 385-391.
- [22] 郑晖, 石培基, 何娟娟. 甘肃省生态足迹与生态承载力动态分析. 干旱区资源与环境, 2013, 27(10): 13-18.
- [23] 左伟, 王桥, 王文杰, 吴秀芹, 杨一鹏, 杨丽静, 朱晓华. 区域生态安全综合评价模型分析. 地理科学, 2005, 25(2): 209-214.
- [24] 刘海龙, 谢亚林, 贾文毓, 石培基. 山西省生态安全综合评价及时空演化. 经济地理, 2018, 38(5): 161-169.
- [25] 四川省林业厅. 四川的大熊猫——四川省第四次大熊猫调查报告. 成都: 四川科学技术出版社, 2015.
- [26] 李济任, 许东. 基于 AHP 与模糊综合评价法的森林康养旅游开发潜力评价——以辽东山区为例. 中国农业资源与区划, 2018, 39(8): 135-142, 169-169.
- [27] 马文娟, 蒲春玲, 陈前利, 蒋玲, 苏丽丽, 穆飞翔, 刘祥鑫. 基于熵权——集对分析法的乌鲁木齐市土地利用系统健康评价. 中国农业资源与区划, 2018, 39(2): 28-33, 75-75.
- [28] 何逢标. 综合评价方法 MATLAB 实现. 北京: 中国社会科学出版社, 2010: 326-326.
- [29] 杜栋, 庞庆华, 吴炎. 现代综合评价方法与案例精选(第二版). 北京: 清华大学出版社, 2008: 11-11.
- [30] 王劲峰, 廖一兰, 刘鑫. 空间数据分析教程. 北京: 科学出版社, 2010: 101-108.
- [31] Goodchild M F, Anselin L, Appelbaum R P, Harthorn B H. Toward spatially integrated social science. International Regional Science Review, 2000, 23(2): 139-159.
- [32] 王昌海, 温亚利, 杨丽菲. 秦岭大熊猫自然保护区周边社区对自然资源经济依赖度研究——以佛坪自然保护区周边社区为例. 资源科学, 2010, 32(7): 1315-1322.
- [33] 段伟, 任艳梅, 冯骥, 温亚利. 基于生计资本的农户自然资源依赖研究——以湖北省保护区为例. 农业经济问题, 2015, 36(8): 74-82.
- [34] 温亚利. 中国生物多样性保护政策的经济分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2003.
- [35] 谭宏利, 温亚利, 徐钰, 秦青. 四川省栖息地周边社区对大熊猫保护的响应及影响因素——基于农户行为视角. 资源开发与市场, 2019, 35(5): 673-677, 740-740.
- [36] 邓玲, 边燕燕. 基于 PSR 模型的四川省生态安全综合评价. 统计与决策, 2015, (12): 107-109.
- [37] 周世强, 张晋东, Hull V, 黄金燕, 刘巖, 周季秋, 孙萌萌, 张和民. 野生大熊猫与放牧家畜的活动格局比较. 生态学报, 2019, 39(3): 1071-1081.
- [38] 曹巍, 黄麟, 肖桐, 吴丹. 人类活动对中国国家级自然保护区生态系统的影响. 生态学报, 2019, 39(4): 1338-1350.
- [39] 杨渺, 欧阳志云, 徐卫华, 龙泉, 谢强. 卧龙大熊猫潜在适宜生境及实际利用生境评价. 四川农业大学学报, 2017, 35(1): 116-123.
- [40] 张志忠, 李伟, 张明春, 刘定震. 新时期大熊猫保护地可持续发展对策研究. 林业资源管理, 2018, (5): 1-7.
- [41] 安童童, 张玉钧, 丛丽, 李卅, 王志臣, 蒋亚芳, 岳建兵. 基于秦岭大熊猫保护的国家公园规划思考. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2017, 16(2): 43-51.