

DOI: 10.5846/stxb201806221378

赵志国, 栾晓峰, 陈君帜, 叶菁, 李婧昕, 张超, 李苗苗, 王贺崑元, 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): - .

Zhao Z G, Luan X F, Chen J Z, Ye J, Zhang C, Li M M, Wang H K Y, Yang L. Improving management of Giant Panda National Park by quantitative assessment of ecological management. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(11): - .

基于信息熵量化评价大熊猫国家公园生态系统管理成效

赵志国¹, 栾晓峰², 陈君帜¹, 叶菁¹, 李婧昕², 张超², 李苗苗², 王贺崑元², 杨立^{2, *}

1 国家林业和草原局调查规划设计院, 北京 100714

2 北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083

摘要: 生态系统管理绩效的量化评价是保护区域生态安全、合理利用自然资源、实现可持续发展的重要前提。选取大熊猫国家公园四川片区作为研究对象, 从生态系统服务潜力、人为活动强度、旗舰种保护和生态管理实际情况出发, 构建生态系统管理评估指标体系。指标体系包含 16 个因子。对指标体系构建的数据集, 基于熵理论定量评价系统无序程度、发展方向。结果表明: (1) 大熊猫国家公园生态系统总熵流值为-0.8309, 系统整体健康; 其中五个市县总熵流为正, 生态系统无序性较大, 为非健康状态。(2) 生态系统管理的正熵流主要受第一产业影响; 负熵流的产生主要来自旗舰种保护和区域保护绩效。在空间尺度上, 不同区域间总熵流存在差异, 宝兴县总熵流最高, 达到 0.0880; 九寨沟县最低, 为-0.1826。综合农村居民收入与总熵流评价结果, 研究认为试点期内大熊猫国家公园管理可以考虑选取示范点, 总结管理经验; 在生态管理热点区域优先推广, 如平武县、宝兴县和茂县。在管理过程中谨慎对待社区发展与生态保护的关系。

关键词: 生态服务流; 熵; 大熊猫国家公园; 管理

Improving management of Giant Panda National Park by quantitative assessment of ecological management

ZHAO Zhiguo¹, LUAN Xiaofeng², CHEN Junzhi¹, YE Jing¹, ZHANG Chao², LI Miaomiao², WANG Hekunyuan², YANG Li^{2, *}

1 Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry and Grassland Administration, Beijing 100714, China

2 School of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Quantitative evaluation of ecosystem management is a primary premise to protect regional ecological security, rationally exploit resources, and achieve sustainable development. In this study, we collected information on potential ecosystem service, human influence, conservation for flagship species, and ecological management. We developed an assessment indicator system for quantitative evaluation of ecosystem management in the Giant Panda National Park (Sichuan Area); Sixteen indicators were included. According to the entropy theory, the dataset created by indicators were selected to evaluate disorder or development tendency of the system quantitatively. The results showed the following. (1) Entropy flow of ecosystem management in the Giant Panda National Park was-0.8309, indicating that the degree of order of ecosystem is increasing and the health status is optimum. Entropy flow on five prefectures were positive; the ecosystem tended to be

基金项目:

收稿日期: 2018-06-22; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: m15915718469@163.com

disordered and on the verge of degradation. (2) Negative entropy flow was from the primary industry (agriculture), whereas, the positive entropy was from flagship species conservation and effective environmental management. Entropy flow varied among different prefectures. The system received the maximum value in Baoxing Xian (0.0880) and the minimum value in Jiuzhaigou Xian (-0.1826). Based on rural residents' income and entropy flow assessment, several actions should be carried out as soon as possible. Management experience from demonstration area should be the priority, and it should be applied at hotspot for management, including Pingwu Xian, Baoxing Xian, and Mao Xian. The tradeoff between regional development and conservation should be balanced for management.

Key Words: ecosystem services flow; entropy; Giant Panda National Park; management

生态系统是地球生物赖以生存的基础,也是人类社会可持续发展的根基^[1-2]。生态系统可认为是具有等级结构,且内部具有若干有序对层次结构的相互作用复合体。因此,生态系统虽然具有高度复杂性,但对其中关系、组成问题的探讨,可以使用熵理论对系统内部组成与关系进行量化解释^[3-4]。在系统内部,正熵或负熵产生、输入或输出的过程伴随着熵流的形成,熵流可以作为系统变化的度量,描述系统内部不同层次之间的相关关系和系统整体状态^[4-7]。生态系统内部各组分在空间上的耦合连接,也是生态系统物质循环和能量流动在时空尺度上的体现。本质上,生态系统内部特征与信息熵和熵流在系统科学上的相似性,为熵理论在生态系统管理的量化评价上的应用提供基础^[8-12]。近几年来,基于熵理论量化、开展生态系统评价的研究逐步受到重视,但多局限在土地利用变化、栖息地评价和城市生态系统评价^[3, 9, 13-20],在保护地管理方面鲜有涉及^[21-22]。因此,量化生态系统管理绩效能为揭示生态服务与自然资源管理、功能分区区划、自然环境教育开展、生态系统服务功能提升提供理论支持。

保护地是我国生态环境保护的重要载体。经过 60 余年的发展,我国逐步形成以自然保护区、风景名胜区、地质公园、森林公园、世界自然遗产为代表的多样化保护地体系^[23-24]。2013 年 11 月,《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》指出:“坚定不移实施主体功能区制度,建立国土空间开发保护制度,严格按照主体功能区定位推动发展,建立国家公园体制。”国家公园建设正式进入国家层面。以国家公园为代表的管理理念创新、管理体制创新,均在进行积极的探索,这是未来保护地一个重要的发展方向^[25]。建立国家公园的核心目的是保护自然生态系统的原真性、完整性,因此保证国家公园区域的生态服务功能将是国家公园管理的重中之重。大熊猫国家公园作为首批国家公园试点之一,总面积 27134km²,涉及四川、陕西、甘肃 3 省,是目前所有国家公园中涉及省份最多、人口最多、保护地类型和数量最多的国家公园。其中,大熊猫国家公园四川省片区内有大熊猫 1205 只,占整个大熊猫国家公园野生大熊猫种群总数的 74.66%,全国野生大熊猫种群数量的 64.65%。四川省片区是大熊猫国家公园的重点管理区域。量化评价生态系统管理绩效能为未来大熊猫国家公园管理结构优化、升级、政策引导提供理论支持。因此,根据系统科学、熵理论,我们将大熊猫国家公园四川省片区涉及的各个市县作为子系统,提取生态系统管理评价关键因子,结合已有生态数据和经济指标,评估该区域生态管理,将为权衡自然资源科学保护和合理利用的程度、优化管理目标设定、政策制定和相关工程项目立项提供理论支持。

1 研究方法

1.1 研究区域

大熊猫国家公园总面积 27134km²,涉及四川、陕西、甘肃 3 个省。其中大熊猫国家公园四川省片区面积 20177km²,占总面积的 74.36%,四川省片区内部又分为岷山片区、邛崃山一大相岭片区。涉及成都市(彭州市、都江堰市、崇州市、大邑县)、德阳市(绵竹市、什邡市)、绵阳市(安州区、北川县、平武县)、广元市(青川县)、阿坝州(九寨沟县(不包含九寨沟风景名胜区)、松潘县(不包含黄龙风景名胜区)、茂县、汶川县)、眉山

市(洪雅县)、雅安市(宝兴县、芦山县、天全县、荣经县),共 7 市(州)19 县。

1.2 生态系统熵流与大熊猫国家公园

国家公园管理辖区可认为是一个不断与外界交流的开放系统,整体处于受人类干扰下,由自然生态系统和社会经济系统相互影响的复合体。其中自然生态系统为社会经济活动和区域可持续发展提供必要的资源和生态环境服务,而社会经济活动又决定区域内人类生存和发展的趋势,影响对自然生态环境索取物质和能量的强度。同时基于政策引导、法规条例等手段的主动管理和制约,辖区内部各个县区(或管理片区)可认为是区域生态系统下的子系统,各个子系统间在空间上通过物质、能量和信息相互关联、制约,又与外界发生联系,推动整体生态系统的变化发展。因此,该区域符合耗散结构特点,适合运用熵理论解释变化过程^[1,7]。若该区域生态系统得到有效管理,则区域内生态系统趋于稳定,各子系统间资源、能量和信息流通有序,旗舰种得到有效保护,整体系统稳定有序发展,逐步促进结构升级,此过程将抑制系统内熵过快增长;反之,不利因素将加大资源管理难度、旗舰种保育风险,导致系统向无序化发展,生态环境恶化。

根据熵理论,系统总是自发向着熵增大的方向演化,是系统内部不可逆因素产生的正熵,该熵增过程通常难以观测和量化。因此,对开放复合系统的观测中,前人研究将内部正熵流和通过系统与外界能量交换产生的正熵流合并^[11, 15, 17],将生态系统熵流计算公式定义为:

$$dS = dSp + dSn$$

式中, dS 为系统总熵流; dSp 为系统与外界能量交换产生的负熵流之和; dSn 为系统与外界能量交换及系统内部熵产生的正熵流之和。当 $dS > 0$ 时,表示生态系统正处于增熵环境,消极因素累积增多,生态系统正在朝着不健康的方向发展;当 $dS < 0$ 时,表示生态系统正处于减熵环境,积极因素累积增多,生态系统正在朝着健康的方向发展;当 $dS = 0$ 时,表示生态系统处于一种相对平衡状态。

1.3 评价指标构建与数据搜集

在空间尺度上,重点考虑旗舰种——大熊猫的保育因子和生态管理,简化过程,构建指标。由于辖区内各个市县在生态环境特征和社会经济结构上存在差异,适合运用统一指标评价生态系统服务,将各市县作为各个子系统独立对待。公园内部数据要求精度高、获取困难,现有数据资料难以满足。为保证评价结果对公园管理的现实意义,文中市县数据主要为公园范围内的数据,仅森林覆盖率、大熊猫食物供给(即竹林面积)为全县数据。

土地利用类型变化是影响生态系统服务功能最重要的因素^[11, 14, 22, 26]。不同土地利用类型不仅反映生态系统服务功能,而且与生态管理难度相关。本文以面积表示土地覆盖属性,面积大小与干扰强度或管理难度相关,如城镇村及工矿用地面积、耕地面积、集体林面积;或以数量表示区域环境影响强度,如矿点数量。同时考虑人口和第三产业对环境的影响,如人口数量和年游客数量。另外,气候环境、旗舰种需求和管理难度,并不直接与生态服务特性相关,但是气候因子与生态系统稳定性相关,是维持生态系统稳定的重要保障;旗舰种的保护是降低区域生物多样性下降风险,也是保障生物多样性管理绩效的重要因子(如栖息地)^[27];生态系统管理与生态保护领域投入力度、社区居民保护意识、管理单位保护绩效相关,是人类直接或间接干涉生态环境来影响生态环境服务的因素(如保护区数量)。因此根据指标特征,我们具体考虑该指标产生的熵流的正负。本文构建指标体系相对全面,既考虑生态环境因素和社会经济因素,又考虑管理因素,对国家公园未来评价与管理具有参考价值。由此,参考城市生态系统^[9, 11, 19]、海洋生态系统^[12, 17]、保护有效性指标^[21-22]研究成果,提取关键因子,建立评价指标。十六个指标中,提供正熵流和负熵流的指标均为八个(表 1)。系统中正负熵流的和作为系统生态管理绩效评价。因此,本文以大熊猫国家公园生态系统为中心,提取生态系统评价、生态管理难度相关因子,评价区域生态管理难度。

森林覆盖率、大熊猫种群密度、大熊猫栖息地面积、大熊猫潜在栖息地面积、保护区数量、大熊猫食物供给、矿业影响、水利工程影响均来自《四川的大熊猫——四川省第四次大熊猫调查报告》^[28],数据时间为 2014 年;国有土地面积、集体土地面积、城镇影响、道路面积、耕地面积来自相关市县国土局提供的土地利用现状

图。年降雨量、人口数量和农村居民人均收入来自各市县 2016 年统计年鉴,数据资料主要来自万方 (<http://www.wanfangdata.com.cn/index.html>)、中国知网 (<http://www.cnki.net/>) 和读秀数据库 (<http://www.duxiu.com/>)。

表 1 生态系统管理评估体系指标

Table 1 The indicators for quantitative evaluation of ecosystem management

影响因子 Variables	描述 Describe	熵流 Entropy flow	数值 (均值 (最小值-最大值)) Value (mean (min-max))
森林覆盖率/% Percentage of forest cover	森林覆盖率作为当地生态系统的主要指标,反映森林生态系统的生物生境、物质循环与能量流动等支持服务和气候、污染、水流调节等调节服务的潜力	-	48.9 (26.2—77.9)
大熊猫种群密度/(只/km ²) Population density for giant panda	区域范围内,种群大熊猫数量	-	0.8 (0.0—0.1)
大熊猫栖息地面积/km ² Suitable habitat for giant panda	大熊猫适宜生境	-	802.6 (162.8—2883.2)
潜在栖息地面积/km ² Potential habitat for giant panda	大熊猫适宜生境,在生态恢复或者熊猫种群扩大的前提下,可能出现熊猫分布	-	52.2 (0.0—624.4)
保护区数量 Number of nature reserve	自然保护区是众多保护地中管理最为严格的一类,是大熊猫保护的主要载体,与大熊猫国家公园管理关系密切	-	1.5 (0.0—3.0)
国有土地面积/km ² State-owned land	《建立国家公园体制总体方案》明确表示:确保全民所有的自然资源资产占主体地位	-	715.5 (72.3—2582.2)
年降雨量 Annual precipitation	森林植被、物种繁衍相关,与森林生态系统服务潜力相关	-	931.4 (709.9—1317.1)
大熊猫食物供给/km ² Food supplement for giant panda	取食竹林面积是大熊猫生存繁育的基础条件	-	629.8 (60.8—1917.0)
道路面积/km ² Road area	道路仅计算国道、省道、县道、高速公路和铁路,此类道路车流量大,引发的边缘效应、隔离等风险不利于大熊猫种群及栖息地保护	+	0.4 (0.0—1.8)
矿业影响 Mining industry influence	作为人为活动或设施设备集中地区和地点,对周边环境具有负面影响。《建立国家公园体制总体方案》明确表示:国家公园区域内不符合保护和规划要求的各类设施、工矿企业等逐步搬离。干扰因子虽然在逐步撤离的基础上干扰强度不断下降,但试点期内仍具有较强干扰。本文以采矿点数量代表采矿业影响。	+	18.4 (0.0—73.0)
水利工程影响 Hydraulic engineering influence	作为人为活动或设施设备集中地区和地点,对周边环境具有负面影响。《建立国家公园体制总体方案》明确表示:国家公园区域内不符合保护和规划要求的各类设施、工矿企业等逐步搬离。干扰因子虽然在逐步撤离的基础上干扰强度不断下降,但试点期内仍具有较强干扰。本文以水利水电设施数量代表水利工程影响。	+	21.4 (0.0—65.0)
人口数量/人 Human population	公园内常住人口众多,大部分不具备搬迁条件,且当前生活方式将长期影响周边生态环境,增大管理压力	+	9064.7 (0.0—33430.0)
年游客接待量/(万人次) Annual Tourists	公园内景点众多,造成区域人口聚集,对野生动植物和生态系统保护造成影响,提高管理难度	+	30.3 (0.0—125.3)
集体土地面积/km ² Collective-owned land	《建立国家公园体制总体方案》明确表示:集体土地可通过合作协议等方式实现统一有效管理。探索协议保护等多元化保护模式,但短期内仍有较大管理压力。	+	346.5 (7.4—1341.1)
城镇影响/km ² Urbanization influence	城镇影响可以利用土地覆盖作为指标,本文采用城镇村用地面积代表。此类土地利用类型主要为区域社会发展提供服务,在生态管理方面存在较大压力。《建立国家公园体制总体方案》明确表示:重点保护区域内居民要逐步实施生态移民搬迁,其他区域内居民根据实际情况,实施生态移民搬迁或实行相对集中居住。但在试点期内,现有土地类型具有较强人为干扰,影响周围生态系统的服务功能。	+	2.3 (0.0—11.0)

续表

影响因子 Variables	描述 Describe	熵流 Entropy flow	数值 (均值 (最小值-最大值)) Value (mean (min-max))
耕地面积/km ² Farmland	《建立国家公园体制总体方案》明确表示:集体土地在充分征求其所有权人、承包权人意见基础上,优先通过租赁、置换等方式规范流转,由国家公园管理机构统一管理。但在试点期间,耕地区域仍有较大人为干扰,不利于生物多样性保护。	+	8.3 (0.0—33.2)

出于人类生存、发展需求的生态系统资源供应将产生正熵流,为消极指标,如城镇村及工矿用地,人为影响强烈且对周边生境造成不利影响;维持自然生态系统稳定的因子将产生负熵流,为积极指标,此处因子涉及旗舰种保护的基本环境因子和有利于国家公园生态管理的因素,如森林覆盖率和大熊猫种群密度;系统调节因子,此类因子一般同时包括熵增和熵减过程,应根据实际情况,定义熵流的正负;“+”代表正熵流,“-”代表负熵流

1.4 信息熵、熵流计算

对于大熊猫公园管理辖区的生态系统,系统信息熵计算如下:

(1) 构建 n 个区域(这里特指不同县辖区) m 个指标的初始矩阵 $A_{n \times m}$;

(2) 各指标之间数量级存在差异,故使用极差标准法对初始矩阵进行归一化处理:

$$A_{ij} = \frac{a_{ij} - a_{j,\min}}{a_{j,\max} - a_{j,\min}}$$

式中, a_{ij} 表示初始矩阵中第 i 县第 j 个指标值; $a_{j,\max}$ 表示大熊猫国家公园管理辖区内第 j 个指标的最大值; $a_{j,\min}$ 表示大熊猫国家公园管理辖区内第 j 个指标的最小值。

(3) 第 j 个指标信息熵(S_j)的计算方法为:

$$S_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \frac{a_{ij}}{A_j} \ln \frac{a_{ij}}{A_j}$$

式中, $A_j = \sum_{i=1}^n a_{ij}$, 是大熊猫国家公园管理辖区内各个县市的第 j 个指标之和。

(4) 利用熵权确定指标权重,计算公式如下:

$$W_j = \frac{1 - S_j}{m - \sum_{i=1}^n S_j}$$

式中, m 为指标数, S_j 为指标信息熵。

(5) 系统熵流 Ef 的计算

根据指标的性质将不同来源的熵流归为正、负两类,将指标熵值乘以对应权重。在此基础上,正熵流乘以 1,负熵流乘以-1,所有正负熵流相加得到总熵流。

(6) 指标熵流变异系数,计算公式如下:

$$CV_j = \frac{\sigma_j}{|\mu_j|}$$

式中, $\sigma_j = \frac{\sqrt{\sum (Ef_j - \mu_j)^2}}{n}$ 为第 j 个指标各市县熵流的标准差, $\mu_j = \frac{\sum Ef_j}{n}$ 为第 j 个指标各市县熵流的平均值。

1.5 数据处理

基于上文完整数据集,根据已建立的大熊猫国家公园生态管理评估体系,对 19 个县的生态系统熵值和熵流进行分析。以上分析均基于 Excel2016、R3.4.2、OriginPro2016 进行。

2 结果

2.1 指标熵流

大熊猫国家公园生态管理评价体系各县市指标的熵流计算结果表明(表 2、3),在产生正熵的指标中,水利水电设施数量产生总熵流最大,变异系数最小。水利水电设施数量与当地农业、工业发展相关,也是对河流生态系统和周边森林生态系统影响的重要指标。其次是人口数量和集体土地面积,具有较小变异系数。两者共同反映城镇发展规模、第一产业的现状。整体来说,大熊猫国家公园正熵流产生主要来自粮食种植、林下栽植等第一产业。大熊猫国家公园负熵流产生,主要来自旗舰种保护和区域保护绩效。大熊猫种群密度产生总熵流最大,变异系数较小。大熊猫种群密度反映当地生境质量、生物多样性、保护绩效等信息,也是大熊猫国家公园的管理重点。其次是保护区数量和森林覆盖率,具有较小变异系数。两者共同反映保护绩效,是生态保护政策在实际管理中的体现。

另外,潜在栖息地面积、年游客接待量、城镇村及工矿用地面积具有较大变异系数,在不同市县间波动较大,可以采用针对性政策引导开展综合管理。对生态管理影响最大的因子分别为大熊猫种群密度、保护区数量和森林覆盖率,可见保证大熊猫国家公园野生熊猫种群、生态系统原真性,注重原有保护区管理模式转变,有助于保持生态系统健康发展。

2.2 不同市县的熵流

同一地区不同指标熵流相加得到该地区生态系统熵流值(表 2、4)。其中,总熵流值最高为宝兴县,影响最大指标为大熊猫食物供给(影响最大的负熵流指标为大熊猫食物供给,正熵流指标为耕地面积);最低为九寨沟县,影响最大指标为保护区数量(影响最大的负熵流指标为保护区数量,正熵流指标为道路面积)。此外,7 个市(州)的总熵流值均为负,其中阿坝藏族羌族自治州对大熊猫国家公园总熵流影响最大,雅安市影响最小。

将 19 个市县的总熵流相加,得到大熊猫国家公园总熵流为-0.8309,整体生态系统服务功能向良性发展。对整体总熵流影响最大的指标为大熊猫种群密度(4/19,在 19 个市县中有 5 个为影响最大的指标)和保护区个数(4/19),其中在负熵流中影响最大的指标为保护区个数(5/19)和年降雨量(5/19),正熵流则为水利工程影响(4/19)。

2.3 区域生态系统管理与社会经济的关系

由于大熊猫国家公园主要覆盖市县以山区农村人口居多,未来社区参与、生态补偿等政策制定应当关注当地民生发展问题。由此,我们选取农村居民人均收入为参考因子,以全国农村居民人均收入(12363 元,2016 年)为基准进行参考,结果显示(图 1):在总熵流为正熵的区域中,仅有五个县,其中大邑县、绵竹县农村居民收入高于全国平均,而宝兴县、茂县和平武县农村居民收入不及全国平均;在总熵流为负熵的区域中,八个县农村居民收入较低,仅六个县的生态管理成效较为理想。

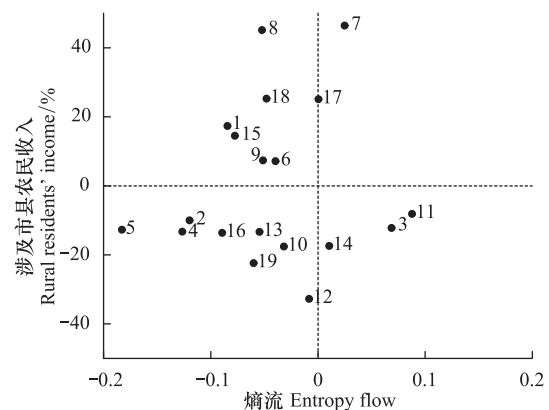


图 1 十六个市县农民收入与生态系统管理的关系

Fig.1 The relationship between rural residents' income and entropy flow assessment for sixteen prefectures

图 1 中点的数字: 1.洪雅县; 2.汶川县; 3.茂县; 4.松潘县; 5.九寨沟县; 6.崇州市; 7.大邑县; 8.彭州市; 9.都江堰市; 10.天全县; 11.宝兴县; 12.芦山县; 13.荣经县; 14.平武县; 15.安州区; 16.北川市; 17.绵竹市; 18.什邡市; 19.青川县

3 讨论

本文贴近国家公园建设热点,尝试采用熵理论对大熊猫国家公园的生态系统管理开展定量研究。由于当前对生态系统认识的局限性,尤其对保护地生态系统内部功能认识不足,生态系统内部子系统和各组分之间关

表 2 生态系统管理评价体系中不同市县各指标的熵流

Table 2 Entropy flow for each indicator among different prefectures on assessment indicator system for ecosystem service function																			
县(市) Prefectures	洪雅县	汶川县	茂县	松潘县	九寨沟县	崇州市	大邑县	彭州市	都江堰市	天全县	宝兴县	芦山县	荥经县	平武县	安州区	北川市	绵竹市	什邡市	青川县
森林覆盖率 Percentage of forest cover	-0.0448	-0.0173	-0.0058	0.0000	-0.0243	-0.0011	-0.0261	-0.0017	-0.0261	-0.0497	-0.0441	-0.0619	-0.0429	-0.0602	-0.0137	-0.0363	-0.0009	-0.0115	-0.054
大熊猫种群密度 Population density for giant panda	-0.0145	-0.0587	-0.0493	-0.0584	-0.0159	-0.053	-0.0366	-0.013	-0.018	-0.0281	-0.0495	-0.0257	-0.0159	-0.0613	-0.0285	-0.0405	-0.005	0.0000	-0.0517
大熊猫栖息地面积 Suitable habitat for giant panda	-0.0062	-0.0297	-0.005	-0.0192	-0.0179	-0.0023	-0.0049	-0.0021	-0.0052	-0.0284	-0.0391	-0.0092	-0.0159	-0.0591	0.0000	-0.0182	-0.003	-0.0006	-0.0081
大熊猫潜在栖息地面积 Potential habitat for giant panda	-0.0070	-0.0092	0.0000	0.0000	-0.0578	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0008	-0.0011	0.0000	-0.0052	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0117
保护区数量 Number of nature reserve	-0.0212	-0.0414	-0.0212	-0.061	-0.061	-0.0212	-0.0212	-0.0212	-0.0212	-0.0212	-0.0212	0.0000	-0.0212	-0.061	-0.0212	-0.0414	-0.0212	-0.0212	-0.061
国有土地面积 State-owned land	-0.0061	-0.0589	0.0000	-0.0346	-0.0129	-0.0009	-0.0057	-0.0052	-0.0051	-0.0302	-0.0491	-0.0053	-0.0127	-0.0471	-0.0001	-0.012	-0.0041	0.0000	-0.0051
年降雨量 Annual precipitation	-0.0623	-0.0121	-0.0076	-0.0051	0.0000	-0.0365	-0.0403	-0.0233	-0.0283	-0.0316	-0.0135	-0.0376	-0.0394	-0.0094	-0.021	-0.0146	-0.0208	-0.0218	-0.0108
大熊猫食物供给 Food supplement for giant panda	-0.0116	-0.0441	-0.0101	-0.028	-0.0284	-0.0068	-0.0105	-0.0034	-0.0128	-0.0443	-0.0596	-0.0167	-0.0251	-0.0074	-0.0034	-0.0292	-0.0037	0.0000	-0.0141
道路面积 Road area	0.0000	0.0465	0.0126	0.0232	0.0110	0.0058	0.0100	0.0002	0.0000	0.0253	0.0583	0.0000	0.0092	0.0451	0.0000	0.0166	0.0000	0.0000	0.019
矿业影响 Mining industry influence	0.0219	0.0018	0.007	0.0044	0.0009	0.0044	0.0009	0.0044	0.0000	0.029	0.0454	0.0053	0.0353	0.0584	0.0018	0.0186	0.043	0.0009	0.0044
水利工程影响 Hydraulic engineering influence	0.0445	0.0339	0.0321	0.0108	0.003	0.0098	0.0193	0.0069	0.001	0.0594	0.0463	0.0550	0.0266	0.0136	0.0000	0.005	0.002	0.0000	0.0117
人口数量 Human population	0.0016	0.0282	0.0251	0.014	0.0106	0.0263	0.0112	0.0004	0.0012	0.0145	0.0399	0.0195	0.0167	0.0589	0.0032	0.0122	0.0004	0.0000	0.0313
年游客接待量 Annual Tourists	0.0100	0.0038	0.0001	0.0000	0.0000	0.0187	0.058	0.0000	0.0507	0.0446	0.026	0.0424	0.0000	0.0044	0.0000	0.0076	0.0000	0.0000	0.0062
集体土地面积 Collective-owned land	0.0094	0.0097	0.0432	0.0004	0.0000	0.0081	0.0075	0.0018	0.0058	0.0167	0.0332	0.0153	0.0172	0.0588	0.0031	0.0231	0.009	0.0063	0.0267
城镇影响 Urbanization influence	0.0015	0.0168	0.0112	0.0056	0.0038	0.0039	0.0539	0.0022	0.0045	0.01	0.0579	0.0028	0.0111	0.0237	0.0023	0.0063	0.0048	0.0000	0.0121
耕地面积 Farmland	0.0004	0.0111	0.0367	0.0218	0.0062	0.0052	0.0098	0.002	0.0024	0.0033	0.0583	0.0081	0.0079	0.0534	0.0000	0.0136	0.0000	0.0000	0.0453

表 3 生态系统管理指标的熵流

Table 3 Entropy flow from ecosystem management for each indicator

影响因子 Effective variables	各因子总熵流 Entropy flow	变异系数 Variable coefficient
森林覆盖率 Percentage of forest cover	-0.5225	0.7554
大熊猫种群密度 Population density for giant panda	-0.6236	0.5842
大熊猫栖息地面积 Suitable habitat for giant panda	-0.2741	1.0448
大熊猫潜在栖息地面积 Potential habitat for giant panda	-0.0928	2.6524
保护区数量 Number of nature reserve	-0.5817	0.5765
国有土地面积 State-owned land	-0.2949	1.1718
年降雨量 Annual precipitation	-0.4361	0.6567
大熊猫食物供给 Food supplement for giant panda	-0.3592	0.8468
道路面积 Road area	0.2827	1.1640
矿业影响 Mining industry influence	0.2877	1.1772
水利工程影响 Hydraulic engineering influence	0.3809	0.9516
人口 Human population	0.3152	0.9161
年游客接待量 Annual Tourists	0.2725	1.3441
集体土地面积 Collective-owned land	0.2955	0.9741
城镇影响 Urbanization influence	0.2343	1.2981
耕地面积 Farmland	0.2853	1.2268

表 4 不同市县的生态系统管理熵流值

Table 4 Entropy flow for ecosystem management on each prefectures

市(州) City	县(市) Prefectures	总熵流值 Entropy flow	对总熵流值影响最大的指标 The most important variable for entropy flow
眉山市	洪雅县	-0.0844	年降雨量
阿坝藏族羌族自治州	汶川县	-0.1196	国有土地面积
	茂县	0.0688	大熊猫种群密度
	松潘县	-0.1263	保护区数量
	九寨沟县	-0.1826	保护区数量
小计	-0.3597		
成都市	崇州市	-0.0395	大熊猫种群密度
	大邑县	0.0251	年游客接待量
	彭州市	-0.0521	年降雨量
	都江堰市	-0.0511	年游客接待量
小计	-0.1176		
雅安市	天全县	-0.0317	水利工程影响
	宝兴县	0.0880	大熊猫食物供给
	芦山县	-0.0080	森林覆盖率
	荥经县	-0.0544	森林覆盖率
小计	-0.0061		
绵阳市	平武县	0.0107	大熊猫种群密度
	安州区	-0.0774	大熊猫种群密度
	北川市	-0.0892	保护区数量
小计	-0.1559		
德阳市	绵竹市	0.0006	矿业影响
	什邡市	-0.0479	年降雨量
小计	-0.0473		
广元市	青川县	-0.0598	保护区数量
总计	-0.8309		

系复杂,仅有少数指标能具有明确指向性,故本评价体系存在不足。相比前人研究,本研究采用客观的量化手段评估空间尺度上生态系统管理绩效的差异,降低主观因素干扰,同时结合管理热点和区域发展的主要矛盾,对大熊猫国家公园管理提供理论参考。

本文采用数据主要来自统计年鉴和第三方开源数据库,结合现有大熊猫国家公园边界对数据进行提取、筛选和校对,精度较高,但是计算结果仍难以进行空间展示,管理者无法直观获取空间上管理重点。未来可通过 3S 技术,以空间数据为客观数据来源,结合社会经济数据库构建,空间区域的生态系统服务监测网络,为提升保护绩效提供有力支持。另外,生态系统是一个非平衡的动态系统,未来研究应当延长时间尺度,构建长时间尺度数据集,并基于时间序列等分析手段,揭示生态系统管理绩效的时间变化区域,进一步形成大熊猫国家公园生态系统时空监测网络,为我国未来国家公园科学管理提供有力支持。

根据本文结果,研究认为未来大熊猫国家公园管理应当着重以下几点:

(1)不同区域管理应当根据区域特点差异化对待,如宝兴县未来重点关注竹林抚育和耕地管理,九寨沟县则注重原有保护地的管理和加强道路周边的环保措施。此外也有相同管理要求,例如注重原有保护区管理转型,提高保护绩效;关注森林抚育和水利水电措施监管,保证区域水循环的生态服务功能等等。

(2)区域生态系统管理应当与地方社会经济建设和谐发展。对生态环境一般、经济效益好的大邑县、绵竹县,倾向于加大生态保护投入力度,与国家公园生态保护理念不符的相关产业需关停或迁移;对于生态环境和经济收入都偏低的宝兴县、茂县和平武县,则应当在保证生态保护力度不变的同时,重点考虑当地社区发展,鼓励当地居民为公园内自然观光、科研、教育、生态旅游等活动提供后勤保障类服务,提高社区居民收入水平。对于发展落后却保护成效较好的市县(图 1 中总熵流为负熵的区域),可考虑通过政策倾斜,促进社区参与、社区共管、生态保护补偿机制的建立,实现人与自然和谐发展。同时,可以考虑将处于第二象限的 6 个县打造为管理示范区,作为大熊猫国家公园在试点期间的宣传和示范窗口,对示范区域的管理经验进行推广,为未来有效管理提供基础。

(3)后续研究可以将本研究方法进行简化和推广,不仅可以应用于大熊猫国家公园生态管理成效的绩效评估,为后续生态管理方案提供理论指导,也可以尝试在其他国家公园或者保护地开展评价。

4 结论

大熊猫国家公园生态系统总熵流值为 -0.8309 ,系统整体健康。但不同区域间总熵流存在差异,宝兴县总熵流最高,达到 0.0880 ;九寨沟县最低,为 -0.1826 。不同指标间总熵流也存在较大差异,正熵流主要受第一产业影响;负熵流的产生主要来自旗舰种保护和区域保护绩效。综合野生大熊猫种群、农村居民收入与总熵流评价结果,我们认为试点期内大熊猫国家公园管理可以考虑选取示范点,提炼管理经验;在生态管理热点区域,如平武县、宝兴县,优先推广。同时针对不同区域考虑社区发展与生态保护的统筹兼顾。

参考文献(References):

- [1] 刘慧敏,范玉龙,丁圣彦. 生态系统服务流研究进展. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2161-2171.
- [2] 刘慧敏,刘绿怡,丁圣彦. 人类活动对生态系统服务流的影响. 生态学报, 2017, 37(10): 3232-3242.
- [3] 李全胜,王兆骞. 熵理论在生态系统稳定性研究中的应用. 生物数学学报, 1994, 9(3): 234-241.
- [4] 余丽芳,宫瑞婷. 用熵和简化生态系统熵模型论生命及生存环境的关系. 北京建筑工程学院学报, 2002, 18(1): 87-90.
- [5] 仇蕾,王慧敏. 复合生态系统运行中的熵理分析. 科学管理研究, 2004, 22(6): 1-3, 67-67.
- [6] Zaccarelli N, Li B L, Petrosillo I, Zurlini G. Order and disorder in ecological time-series: Introducing normalized spectral entropy. Ecological Indicators, 2013, 28: 22-30.
- [7] Tait M, Larson B M H. Entropy and the conceit of biodiversity management. Global Ecology and Biogeography, 2018, 27(6): 642-646, doi: 10.1111/geb.12733.
- [8] 臧正,邹欣庆. 基于生态系统服务理论的生态福祉内涵表征与评价. 应用生态学报, 2016, 27(4): 1085-1094.
- [9] 乔蕻强. 兰州市城市化与生态系统服务价值的耦合关系定量研究. 水土保持通报, 2017, 37(4): 333-337, 344-344.

- [10] 徐国宾, 任旺, 郭书英, 王乙震. 基于熵理论的湖泊生态系统健康发展评估. 中国环境科学, 2017, 37(2): 795-800.
- [11] 李婧昕, 杨立, 杨蕾, 张超, 霍兆敏, 陈敏豪, 栾晓峰. 基于熵理论的城市生态系统服务流定量评估——以北京市为例. 应用生态学报, 2018, 29(3): 987-996.
- [12] 王玉梅, 王啸, 张舒, 丁俊新. 基于信息熵的区域人海复合生态系统可持续发展分析. 水土保持研究, 2018, 25(3): 332-338.
- [13] 张妍, 杨志峰, 何孟常, 胡廷兰. 基于信息熵的城市生态系统演化分析. 环境科学学报, 2005, 25(8): 1127-1134.
- [14] 李正, 王军, 白中科, 郭义强, 余莉. 贵州省土地利用及其生态系统服务价值与灰色预测. 地理科学进展, 2012, 31(5): 577-583.
- [15] 林珍铭, 夏斌. 熵视角下的广州城市生态系统可持续发展能力分析. 地理学报, 2013, 68(1): 45-57.
- [16] 吴宜进, 廖乐, 袁绪英. 基于信息熵的武汉市城市生态系统演化分析研究. 长江流域资源与环境, 2013, 22(1): 21-26.
- [17] 狄乾斌, 韩雨汐. 熵视角下的中国海洋生态系统可持续发展能力分析. 地理科学, 2014, 34(6): 664-671.
- [18] 郑德凤, 臧正, 孙才志, 李红英. 基于生态系统服务理论的中国绿色经济转型预测分析. 生态学报, 2014, 34(23): 7137-7147.
- [19] 付梦娣, 肖能文, 赵志平, 高晓奇, 李俊生. 北京城市化进程对生态系统服务的影响. 水土保持研究, 2016, 23(5): 235-239.
- [20] 王珞珈, 董晓峰, 刘星光, 尹辉. 基于信息熵的兰州城市生态系统可持续发展能力演化分析. 兰州大学学报: 自然科学版, 2016, 52(6): 764-770.
- [21] 臧正, 郑德凤, 孙才志, 张雨. 吉林西部自然保护区湿地生态效益及生态恢复评价. 应用生态学报, 2014, 25(5): 1447-1454.
- [22] 路春燕, 王宗明, 刘明月, 欧阳玲, 贾明明, 毛德华. 松嫩平原西部湿地自然保护区保护有效性遥感分析. 中国环境科学, 2015, 35(2): 599-609.
- [23] 黄木娇, 杨立, 李学武, 栾晓峰. 基于管理目标的自然保护区分类方法研究. 资源开发与市场, 2017, 33(9): 1036-1040.
- [24] 黄木娇, 杨立, 唐小平, 李学武, 栾晓峰. 基于生态服务功能和人类足迹的自然保护区分类. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2018, 47(1): 88-96.
- [25] 唐小平, 栾晓峰. 构建以国家公园为主体的自然保护地体系. 林业资源管理, 2017, (6): 1-8.
- [26] 金良. 基于土地利用变化的生态系统服务功能价值流向及损益评估. 生态经济, 2011, (4): 162-164, 180-180.
- [27] LiJ, LiuF, XueY D, ZhangY, LiD Q. Assessing vulnerability of giant pandas to climate change in the Qinling Mountains of China. Ecology and Evolution, 2017, 7(11): 4003-4015.
- [28] 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.