

应用生态学报

Chinese Journal of Applied Ecology

ISSN 1001-9332, CN 21-1253/Q

## 《应用生态学报》网络首发论文

题目：贵州省自然保护地时空演变特征及影响因素  
作者：樊涵，杨朝辉，王丞，毕兴，张明明  
DOI：10.13287/j.1001-9332.202103.016  
收稿日期：2020-08-09  
网络首发日期：2020-12-28  
引用格式：樊涵，杨朝辉，王丞，毕兴，张明明. 贵州省自然保护地时空演变特征及影响因素. 应用生态学报. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202103.016>



**网络首发：**在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认：**纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

# 贵州省自然保护地时空演变特征及影响因素

樊 涵<sup>1,2</sup> 杨朝辉<sup>3</sup> 王 丞<sup>1,2</sup> 毕 兴<sup>4</sup> 张明明<sup>1,2</sup>✉

(<sup>1</sup> 贵州大学林学院, 贵阳 550025; <sup>2</sup> 贵州大学生物多样性与自然保护研究中心, 贵阳 550025; <sup>3</sup> 贵州麻阳河国家级自然保护区管理局, 贵州沿河 565300; <sup>4</sup> 兴义市林业局, 贵州兴义 562400)

\*通信作者 E-mail: mmzhang@gzu.edu.cn

**摘要** 建立自然保护地是推进生态文明建设和支撑经济社会发展的生态安全底线, 是实现可持续发展和维护国土生态安全的重要举措。为揭示自然保护地的宏观空间过程及其影响因素, 本研究以贵州省为例, 采用最邻近点指数、核密度分析、标准差椭圆等方法, 对 2002—2017 年间全省自然保护地时空分布特征进行分析, 并结合地理探测器分析其影响因素。结果表明: 研究期间, 贵州省自然保护地的数量、面积、类别呈现出多元化的快速发展状态, 形成了以自然保护区、森林公园、风景名胜区为主体, 以湿地公园、地质公园、自然遗产地为补充的自然保护地体系。自然保护地空间凝聚的态势不断加强、空间分布的范围不断扩大、空间移动的速度不断下降, 形成了以东北-西南方向为主导且逐渐稳定的空间格局。自然保护地凝聚过程受地形和植被分布的影响较大; 自然保护地趋向于在河流、山脉周围的地势平缓处以及植被集中连片处聚集。自然保护地空间分异受到多种影响因素的共同作用, 不同影响因素对自然保护地空间分异的解释力存在一定差异。其中, 归一化植被指数与森林面积是影响自然保护地数量、面积空间分异的主要因素; 不同影响因素交互后其解释力明显加强, 表现为非线性增强或双因子增强。

**关键词** 自然保护地; 时空动态; 地理探测器; 贵州省

DOI: 10.13287/j.1001-9332.202103.016

## Temporal-spatial variation characteristics and the affecting factors of protected areas in Guizhou, China

FAN Han<sup>1,2</sup>, YANG Zhao-hui<sup>3</sup>, WANG Cheng<sup>1,2</sup>, BI Xing<sup>4</sup>, ZHANG Ming-ming<sup>1,2</sup>✉

(<sup>1</sup> College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China; <sup>2</sup> Research Center for Biodiversity and Nature Conservation, Guizhou University, Guiyang 550025, China; <sup>3</sup> Mayanghe National Nature Reserve Administration, Yanhe 565300, Guizhou, China; <sup>4</sup> Forestry Bureau of Xingyi, Xingyi 562400, Guizhou, China)

**Abstract** The establishment of protected areas is the bottom line of ecological security to promote the construction of ecological civilization and support economic and social development, which is an important strategy to realize sustainable development and maintain land ecological security. In order to reveal the macro spatial process of protected areas and its influencing factors, this study took Guizhou Province as an example, used the methods of nearest neighbor index, kernel density, and standard deviational ellipse to analyze the temporal-spatial variation characteristics of the protected areas in Guizhou Province from 2002 to 2017, as well as the influencing factors combined with geo-detectors. The results showed that, during the study period, the number, area and types of protected areas in Guizhou Province showed a diversified and rapid development, forming a protected area system with nature reserves, forest parks and scenic spots as the main body, and wetland parks, geoparks and natural heritage sites as the supplement. The situation of spatial cohesion of protected areas had been strengthened, the scope of spatial distribution had been expanding, and the speed of spatial movement had been declining, forming a spatial pattern dominated by the northeast-southwest direction and gradually stable. The coalescence process in protected areas was strongly influenced by topography and vegetation distribution, and the protected areas tended to cluster in gentle terrain around rivers and mountains and in areas of concentrated vegetation. The spatial differentiation of protected areas was jointly affected by multiple factors at different levels. The explanatory power of different factors to the

收稿日期: 2020-08-09

基金项目: 本文由贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2019]2842号)和贵州大学培育项目(黔科合平台人才[2018]5781-39号)资助

作者简介: 樊 涵, 男, 1996年生, 硕士研究生。主要从事野生动物生态与自然保护地管理研究。E-mail: fh20180624@163.com

Fund: This work was supported by the Provincial Science and Technology Plan of Guizhou ([2019]2842) and the Guizhou University Cultivation Project ([2018]5781-39).

网络首发时间: 2020-12-28 14:28:27 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1253.Q.20201228.1246.001.html>

spatial differentiation of protected areas was different. Among them, the normalized difference vegetation index and areas of forest were the common main factors affecting the spatial differentiation of the number and area of protected areas, and the explanatory power of different factors was significantly consolidated after interaction, characterized as nonlinear or bi-factor enhancement.

**Key words** protected areas; temporal-spatial dynamic; geo-detector; Guizhou Province.

自然保护区是保护自然资源、生态环境和生物多样性的有效措施,是实现可持续发展和维护国土生态安全的重要举措<sup>[1]</sup>。截至 2019 年,全国自然保护区数量达 1.18 万处,约占国土面积的 18%<sup>[2]</sup>。然而,我国自然保护区在快速发展的过程中出现了建设不科学、规划不合理、管理不规范、发展差异大等诸多问题,为我国自然保护区工作带来较大困难,自然保护区面临着由“数量建设”到“质量建设”的重要转变<sup>[3]</sup>。

受自然与社会经济因素的影响,我国自然保护区在数量和面积上存在较大差异<sup>[4]</sup>。自然保护区的规模与空间分布的影响因素一般包括地质地貌、生态系统、自然景观和生物资源等自然因素,以及城镇建设、人口规模、交通条件和经济发展等社会经济因素<sup>[5]</sup>。科学认识自然保护区空间分布差异的影响因素及作用机制,对自然保护区功能定位和体系完善具有重要意义。

近年来,国内学者对自然保护区的研究多集中在体系分类、立法、国外经验借鉴等方面<sup>[6-7]</sup>。随着我国国家公园体制建设的推进,自然保护区的空间梳理与优化整合成为研究热点<sup>[8]</sup>。从研究对象上看,多聚焦于自然保护区、森林公园、湿地公园、风景名胜区等单一类型的自然保护区<sup>[9-12]</sup>。从研究内容上看,多集中于空间重叠分析、空间点格局分析、空间网络构建和优化等方面<sup>[8,13]</sup>。从研究方法上看,多采用最邻近点指数、核密度、地理集中指数等方法对其点格局进行探讨<sup>[11,14]</sup>,以及对自然保护区的时空格局演变特征进行研究<sup>[15-16]</sup>。尽管不同地区自然保护区的建设存在差异,但其整体的空间格局均呈现出集中分布的不均衡性<sup>[17]</sup>,为自然保护区的优化整合带来了巨大压力。在向高质量自然保护区体系建设的背景下,自然保护区的宏观空间过程与格局、聚集程度及其影响因素等作为基础因素,在自然保护区空间优化调整工作中发挥着重要作用。基于此,本研究以贵州省自然保护区、森林公园、湿地公园、地质公园、风景名胜区、自然遗产地 6 类自然保护区为研究对象,采用最邻近点指数、核密度分析、标准差椭圆等方法,分析 2002—2017 年间研究区自然保护区的时空演变特征,并结合地理探测器探讨了其影响因素,以期对贵州省自然保护区体系的优化和管理提供参考依据。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

贵州省位于长江、珠江水系上游,是两江上游地区的重要生态屏障。该地地形起伏较大、山脉河流纵横交错、水热资源丰沛<sup>[18]</sup>,形成了复杂多样的气候条件和以喀斯特景观为代表的多样化生态系统<sup>[19]</sup>,孕育了丰富的生物多样性<sup>[20]</sup>。贵州省还是我国少数民族聚居区,拥有丰富的民族民俗文化和文化景观资源,为我国西南地区文化多样性最丰富的地区之一<sup>[21]</sup>。为保护丰富的自然生物资源和文化资源,贵州省建立了多种类型的自然保护区,构成了相对完善的自然保护区体系<sup>[22]</sup>。由于喀斯特地貌发育典型、生态环境脆弱、经济基础薄弱,导致贵州在自然保护区的建设和管理工作上面临大量问题和挑战<sup>[23]</sup>。

### 1.2 数据来源与处理

当前全国自然保护区普查工作仍在推进中,权威的自然保护区空间数据尚未形成。本研究基于目前可获得的自然保护区名录数据对其进行分析。其中,自然保护区数据来源于中国自然保护区标本资源共享平台(<http://www.papc.cn/html/folder/1-1.htm>)及贵州省自然资源厅、生态环境厅、林业局,截至 2018 年 12 月,共计各类自然保护区 345 个,数据主要包括自然保护区名称、面积、地理位置等,核实信息完整的自然保护区 323 个。借助 ArcGIS 10.2 软件和 Google 地图,形成点状要素(有边界信息自然保护区选取质心坐标,无边界信息自然保护区选取可获取的点数据),对其空间分布进行可视化表达;贵州省数字高程模型(DEM)、一级河流、植被类型、归一化植被指数(NDVI)数据源

于中国科学院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn>)；贵州省山脉数据根据 OSGeo 中国中心 (<https://www.osgeo.cn/>) 提供的“中国主要山脉分布图”矢量化处理获得；自然和社会经济等影响因素数据源于 2001—2018 年《贵州省统计年鉴》<sup>[24]</sup>、《中国环境统计年鉴》<sup>[25]</sup>、贵州省水资源公报、贵州省国土资源公报等，其中，自然环境因素包括 NDVI( $X_1$ )、森林面积( $X_2$ )、耕地面积( $X_3$ )、湿地面积( $X_4$ )、水资源总量( $X_5$ )；经济社会发展因素包括人均 GDP( $X_6$ )、旅游收入( $X_7$ )、建成区面积( $X_8$ )、累计治理水土流失面积( $X_9$ )、城镇人口( $X_{10}$ )、农村人口( $X_{11}$ )、铁路里程( $X_{12}$ )、公路里程( $X_{13}$ )。

### 1.3 研究方法

采用 ArcGIS 10.2 软件对 2002、2007、2012 和 2017 年的自然保护地数据进行最邻近点指数、核密度、标准差椭圆分析，揭示其空间分布态势、聚集特征和演化规律<sup>[26-27]</sup>，运用地理探测器模型揭示其主要影响因素。

#### 1.3.1 最邻近点指数

最邻近点指数可以直观表达点要素的空间分布类型，计算公式为<sup>[28]</sup>：

$$R = \frac{\bar{r}}{r_e}$$

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i$$

$$r_e = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{n}{A}} = \frac{1}{2} \sqrt{D}$$

式中： $R$  为最邻近点指数； $\bar{r}$  为实际最邻近距离； $r_e$  为理论最邻近距离； $r_i$  为点要素与其最邻近点之间的距离； $n$  为区域内的点数； $A$  为区域面积； $D$  为点密度。若  $R=1$ ，其空间分布为随机分布；若  $R>1$ ，则为均匀分布；若  $R<1$ ，则为凝聚分布。

#### 1.3.2 核密度分析

核密度可反映地理要素的空间分布、形态及其延展性等特征，计算公式为<sup>[29]</sup>：

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{j=1}^n K\left(\frac{x-x_j}{h}\right)$$

式中： $f(x)$  为空间位置  $x$  的核密度估计值； $h$  为距离阈值； $n$  为距离阈值内自然保护地数量； $K\left(\frac{x-x_j}{h}\right)$  为核密度方程； $(x-x_j)$  为两点之间欧氏距离。核密度估计值越高，表明自然保护地空间分布密度越大；反之，则越小。同时，本研究借鉴张婧等<sup>[30]</sup>利用面积为权重指标对核密度值进行赋权以揭示地理要素空间扩散特征的思路，分别以自然保护地的数量和面积作为权重指标，通过 Jenks 自然断裂法，将核密度值分为高值区、中值区、较低值区和低值区 4 级，揭示其数量和面积的分布密度。

#### 1.3.3 标准差椭圆

标准差椭圆可从多角度精确揭示地理要素空间分布的全局特征。其参数包括重心坐标、沿长轴的标准差、沿短轴的标准差和旋转角，其中，重心经纬度表示地理要素在空间上的相对位置，长轴和短轴的方向表示地理要素在空间上分布的主、次趋势方向，长轴和短轴的长度表示地理要素在主、次趋势方向上的离散程度，计算公式为<sup>[31]</sup>：

$$M(X, Y) = \left( \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right)$$

$$\tan \theta = \frac{(\sum_{i=1}^n w_i^2 x_i^2 - \sum_{i=1}^n w_i^2 y_i^2) + \sqrt{(\sum_{i=1}^n w_i^2 x_i^2 - \sum_{i=1}^n w_i^2 y_i^2)^2 + 4(\sum_{i=1}^n w_i^2 x_i^2 y_i^2)}}{2 \sum_{i=1}^n w_i^2 x_i y_i}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i x_i \cos \theta - w_i y_i \sin \theta)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (w_i x_i \sin \theta - w_i y_i \cos \theta)^2}{\sum_{i=1}^n w_i^2}}$$

式中： $M(X, Y)$  为重心坐标； $\theta$  为旋转角，表正北方向与顺时针旋转的长轴之间的夹角； $x_i, y_i$  为点要素的坐标； $w_i$  为权重； $x_i, y_i$  依次为点要素距重心的坐标偏差； $\sigma_x, \sigma_y$  为沿  $X$  轴和  $Y$  轴的标准差。

#### 1.3.4 地理探测器

地理探测器模型是探究空间分异性的重要工具<sup>[32]</sup>，包括因子探测、交互探测和生态探测等，其中，因子探测可分析不同因子对自然保护地空间分布的解释程度，其模型为：

$$q = 1 - \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2$$

式中： $q$  为解释力指数； $n$  为自然保护地数量、面积； $N_h$  为次一级区域样本数； $L$  为次级区域分类个数； $\sigma^2$  为整个自然保护地解释力指数的离散方差； $\sigma_h^2$  为次一级区域离散方差；假设  $\sigma^2 \neq 0$ ，模型成立。 $q$  的取值范围为[0,1]，当影响因子  $x_i$  的解释力  $q$  值越接近于 1，表明影响因子  $x_i$  对自然保护地分布特征的解释力越强，反之，则越弱。通过比较不同影响因子的  $q$  值大小，探测影响自然保护地空间分异的影响因素。

交互探测能解释不同因子共同作用时是否会增强或减弱对自然保护地空间分布的影响力，其结果类型分为 5 类，分别是：若  $q(X_1 \cap X_2) < \text{Min}(q(X_1), q(X_2))$ ，表明交互作用为非线性减弱；若  $\text{Min}(q(X_1), q(X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < \text{Max}(q(X_1), q(X_2))$ ，表明交互作用为单因子非线性减弱；若  $q(X_1 \cap X_2) > \text{Max}(q(X_1), q(X_2))$ ，表明交互作用为双因子增强；若  $q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$ ，表明交互作用为独立；若  $q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$ ，表明交互作用为非线性增强。

## 2 结果与分析

### 2.1 贵州省自然保护地的时序演化特征

2002—2017 年，贵州省自然保护地的数量、面积均呈现出波动中快速增长的态势（图 1）。其中，自然保护地数量的年均增长速率为 12 个，增长速率较大的有森林公园（4.3 个）、湿地公园（3.4 个）、风景名胜区（1.8 个）和自然保护区（1.6 个）；自然保护地面积的年均增长速率为 65278.18  $\text{hm}^2$ ，增长速率较大的有自然保护区（24763.08  $\text{hm}^2$ ）、风景名胜区（15818.79  $\text{hm}^2$ ）、森林公园（9833.79  $\text{hm}^2$ ）和自然遗产地（9717.13  $\text{hm}^2$ ）。研究期间，贵州省先后新增了 3 种类型的自然保护地，分别为地质公园（2002 年）、自然遗产地（2007 年）和湿地公园（2011 年）。尽管随着湿地公园的加入，自然保护地数量的增长速率（2012—2014 年）有了较大提升，但其面积的增长幅度较小，贵州省自然保护地体系表现出以自然保护区、森林公园、风景名胜区为主，以湿地公园、地质公园、自然遗产地为补充的状态。

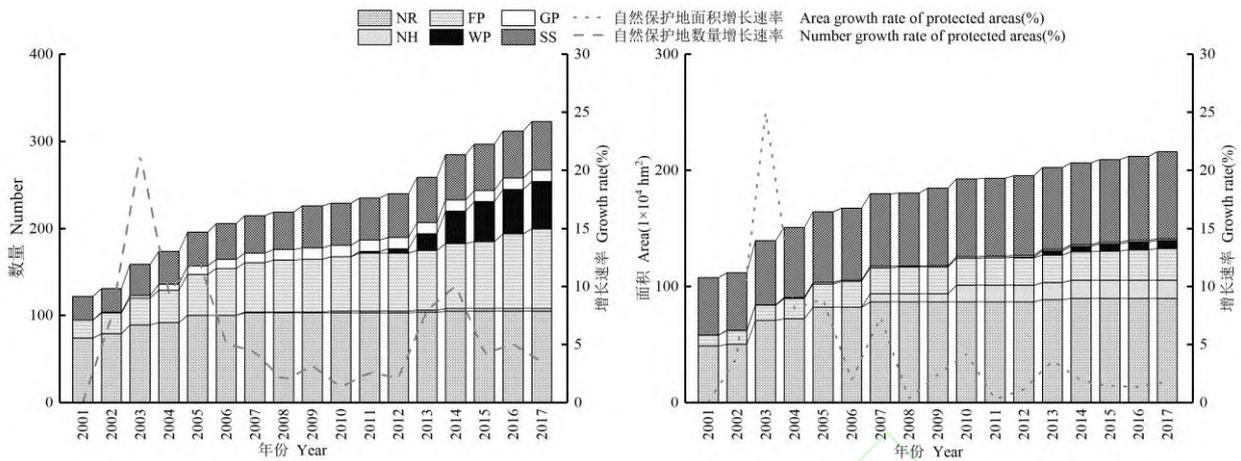


图1 2001—2017年贵州省自然保护地数量与面积变化  
Fig.1 Dynamics of amount and areas of the protected areas in Guizhou Province during 2001-2017.

NR: 自然保护区 Natural reserve; WP: 湿地公园 Wetland park; GP: 地质公园 Geological park; NH: 自然遗产地 Natural heritage; FP: 森林公园 Forest park; SS: 风景名胜区 Scenic spot.

### 2.2 贵州省自然保护地的空间演化特征

最邻近点指数显示：2002—2017年间，自然保护地的最邻近点指数均小于1，由2002年的0.86上升到2007年的0.87，随后一直下降至2017年的0.83；实际最邻近距离由2002年的17914.32 m一直下降至2017年的10840.09 m。表明贵州省自然保护地在空间分布上呈凝聚分布态势且不断加强。

核密度分析显示：2002—2017年间，自然保护地的数量、面积在空间上呈集中分布的不均衡态势，并且随着自然保护地的新增，表现出较明显的空间聚集性。在自然保护地数量的空间变化上，高密度聚集区由2002年的1个上升到2007年的2个，此阶段自然保护地的空间变化较大；2007—2017年，高密度聚集区保持相对稳定，中、低密度聚集区逐渐向周围扩张（图2）；在自然保护地面积的空间变化上，研究期内其空间变化较小、空间格局趋于稳定，未新增高密度聚集区，仅表现出中、低密度的逐渐扩张（图3）。表明贵州省自然保护地在规划、建设、发展的过程中存在相邻、内嵌、分割等重叠问题，导致自然保护地有进一步聚集的现象。

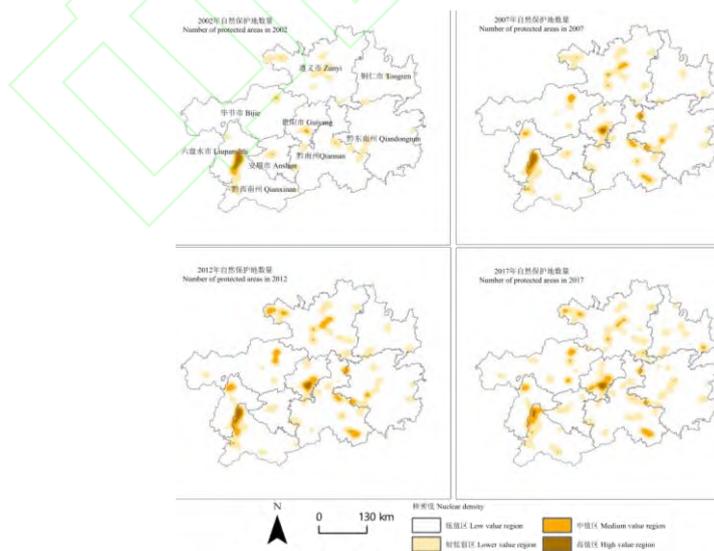


图2 不同时期自然保护地数量核密度  
Fig.2 Kernel densities of the protected areas amount at different years.

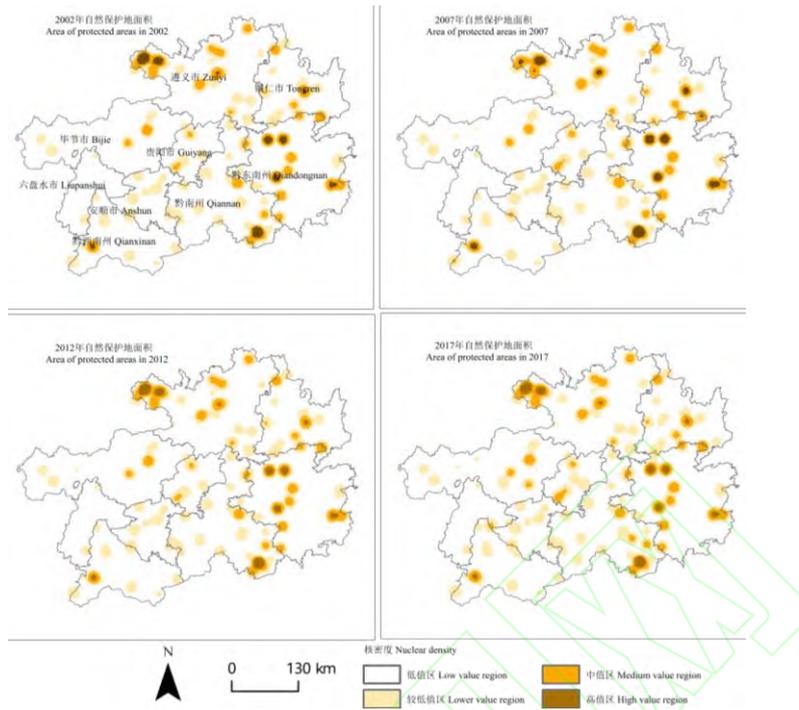


图3 不同时期自然保护地面积核密度  
Fig.3 Kernel density of the area of protected areas at different years.

标准差椭圆分析显示：研究期内自然保护地的重心不断向东北方向移动，移动速度呈逐渐下降的特征（图 4）。其中，2002—2007 年，重心向东北方向移动了 19.96 km，年移动速度为 3.33 km；2007—2012 年间，重心向西北方向移动了 4.91 km，年移动速度为 0.82 km；2012—2017 年间，重心向东北方向移动了 3.25 km，年移动速度为 0.54 km。对比研究期内标准差椭圆的旋转角，发现旋转角由 2002 年的 52.22° 上升至 2012 年的 64.82°，随后又下降到 2017 年的 64.34°，呈先上升后下降的趋势，总体变化幅度不明显。说明 2002—2017 年间贵州省自然保护地空间分布格局以东北-西南方向为主导并且逐渐稳定。

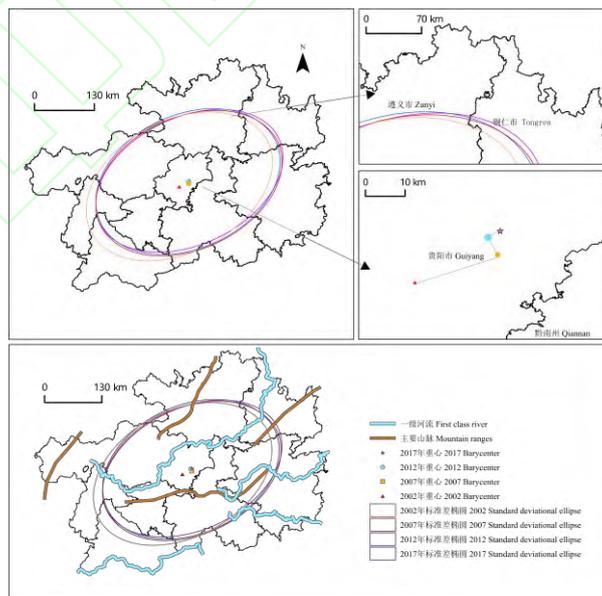


图4 不同时期自然保护地空间格局离散趋势  
Fig.4 Dispersion tendency of the spatial patterns of protected areas at different years.

### 2.3 贵州省自然保护地的空间聚集特征

通过 ArcGIS 10.2 软件将 2017 年自然保护地与海拔、坡度、山脉、水系和植被分布等自然环境因素叠加后发现：自然保护地的平均海拔和平均坡度分别为 1120.53 m 和 14.90°，与贵州省 1104.35 m 的平均海拔和 21.52°的平均坡度差异不明显（图 5）。其中，79.3%的自然保护地位于 0~1449.36 m 的海拔范围内，76.9%的自然保护地位于 0~22.21°的坡度范围内，即贵州省自然保护地趋向于在中、低海拔地势平缓处聚集。将自然保护地的标准差椭圆与河流、山脉走向叠加后发现：自然保护地标准差椭圆的长轴与河流、山脉走向的基本吻合（图 4）。表明贵州省自然保护地空间分布受地形的影响较大，导致其趋向于聚集在河流、山脉周围的地势平缓处。此外，将自然保护地的面积核密度与植被分布叠加后发现：自然保护地空间分布受植被类型的影响较大，导致自然保护地的高、中密度聚集区常与植被相对集中连片的区域镶嵌融合，表明植被分布是决定自然保护地空间分布的重要因素之一（图 6）。

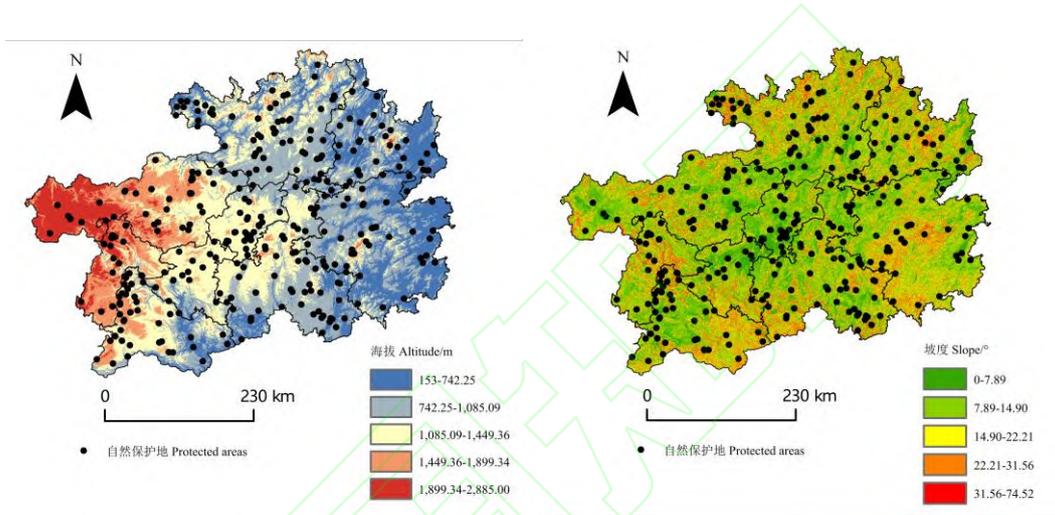


图 5 贵州省自然保护地在不同海拔和坡度的分布状态（2017 年）  
Fig.5 Distribution of protected areas at different elevations and slopes in Guizhou (2017).

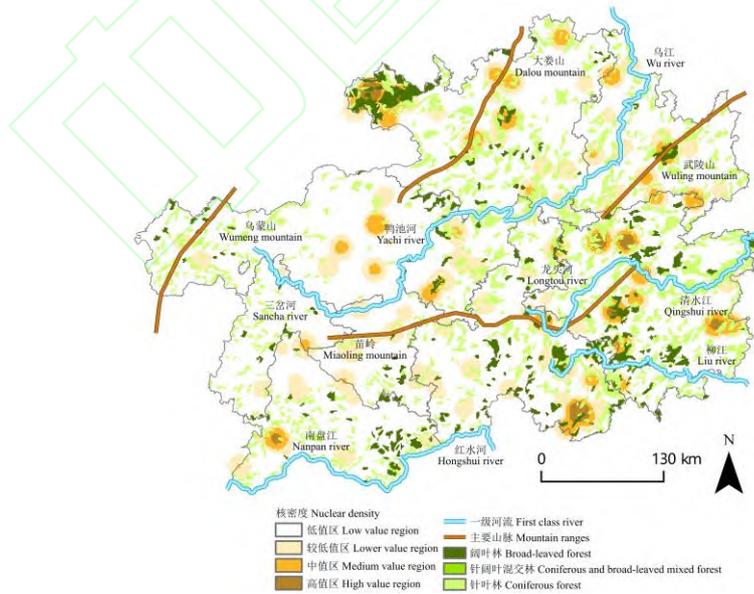


图 6 贵州省自然保护地分布与植被类型关系  
Fig.6 Spatial relationship between the distribution of protected areas and vegetation types in Guizhou.

## 2.4 贵州省自然保护地时空演变的影响因素

因子探测的结果表明,不同影响因素对自然保护地数量、面积的解释力存在差异。数量上,各影响因素的解释力由大到小依次为:NDVI (0.8895) > 森林面积 (0.8601) > 城镇人口 (0.8140) > 人均GDP (0.7901) > 累计治理水土流失面积 (0.7603) > 建成区面积 (0.7587) > 公路里程 (0.7525) > 农村人口 (0.7446) > 旅游收入 (0.6951) > 铁路里程 (0.6922) > 耕地面积 (0.664) > 湿地面积 (0.6455) > 水资源总量 (0.1052); 面积上,各影响因素的解释力由大到小依次为:NDVI (0.8555) > 森林面积 (0.8114) > 公路里程 (0.8069) > 累计治理水土流失面积 (0.7575) > 城镇人口 (0.7294) > 耕地面积 (0.7213) > 农村人口 (0.6808) > 人均GDP (0.6775) > 建成区面积 (0.6338) > 旅游收入 (0.5406) > 铁路里程 (0.5402) > 湿地面积 (0.4797) > 水资源总量 (0.0607)。

其中,NDVI、森林面积、城镇人口、人均GDP、累计治理水土流失面积和铁路里程对自然保护地数量空间分异的影响极显著;NDVI、森林面积和公路里程对自然保护地面积空间分异的影响极显著。

交互探测的结果表明,任意2个影响因素交互后对自然保护地数量、面积的影响表现为非线性增强或双因子增强(表1、表2)。表明贵州省自然保护地数量、面积的空间分异受到自然环境因素和经济社会发展因素的共同作用。

表1 研究区自然保护地数量交互探测结果

Table 1 Interactive detection results of the number of protected areas in the study area

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$P$
$X_1$	0.8895													0.0000
$X_2$	0.9637	0.8601												0.0000
$X_3$	0.9342	0.8741	0.6664											0.0181
$X_4$	0.9170	0.8680	0.8305	0.6455										0.0302
$X_5$	0.9268	0.9490	0.8558	0.8323	0.1052									0.9795
$X_6$	0.9299	0.9460	0.9071	0.8343	0.8113	0.7901								0.0059
$X_7$	0.9101	0.9488	0.9074	0.7990	0.7669	0.8110	0.6951							0.2440
$X_8$	0.9320	0.9454	0.9030	0.8335	0.8178	0.8101	0.7869	0.7587						0.0289
$X_9$	0.9401	0.9275	0.8280	0.8910	0.8852	0.8541	0.8634	0.8513	0.7603					0.0034
$X_{10}$	0.9323	0.9470	0.9053	0.8693	0.8421	0.8268	0.8336	0.8349	0.8541	0.8140				0.0000
$X_{11}$	0.9447	0.8903	0.8017	0.8473	0.8550	0.8853	0.8892	0.8794	0.8296	0.8857	0.7446			0.0933
$X_{12}$	0.9073	0.9460	0.9046	0.7962	0.7642	0.8083	0.7130	0.7832	0.8606	0.8309	0.8887	0.6922		0.2466
$X_{13}$	0.9507	0.8882	0.7674	0.8829	0.9692	0.9540	0.9586	0.9507	0.8735	0.9516	0.8511	0.9558	0.7525	0.0000

$X_1$ : 归一化植被指数 NDVI;  $X_2$ : 森林面积 Forest area;  $X_3$ : 耕地面积 Cultivated land area;  $X_4$ : 湿地面积 Wetland area;  $X_5$ : 水资源总量 Total water resources;  $X_6$ : 人均GDP Per capita GDP;  $X_7$ : 旅游收入 Tourism income;  $X_8$ : 建成区面积 Built-up area;  $X_9$ : 累积治理水土流失面积 Cumulative area of soil erosion control;  $X_{10}$ : 城镇人口 Urban population;  $X_{11}$ : 农村人口 Rural population;  $X_{12}$ : 铁路里程 Railway mileage;  $X_{13}$ : 公路里程 Driveway mileage. 下同 The same below.

表2 研究区自然保护地面积交互探测结果

Table 2 Interactive detection results of the area of protected areas in the study area

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$P$
$X_1$	0.8555													0.0000
$X_2$	0.9568	0.8114												0.0000
$X_3$	0.9215	0.8372	0.7213											0.0273
$X_4$	0.8820	0.8219	0.7751	0.4797										0.2875
$X_5$	0.9172	0.9305	0.8899	0.7572	0.0607									0.9997
$X_6$	0.9044	0.9202	0.8700	0.7430	0.7010	0.6775								0.0863
$X_7$	0.8732	0.9124	0.8645	0.6792	0.6320	0.6968	0.5406							0.7649
$X_8$	0.8970	0.9166	0.8690	0.7396	0.7020	0.6973	0.6560	0.6338						0.2435
$X_9$	0.9224	0.9254	0.8596	0.8716	0.8157	0.7834	0.7848	0.7839	0.7575					0.0113
$X_{10}$	0.9161	0.9264	0.8721	0.8115	0.7585	0.7450	0.7459	0.7468	0.7845	0.7294				0.0208
$X_{11}$	0.9195	0.8399	0.7727	0.7816	0.7597	0.8217	0.8222	0.8217	0.8150	0.8242	0.6808			0.2932
$X_{12}$	0.8728	0.9120	0.8641	0.6788	0.6316	0.6965	0.5663	0.6555	0.7845	0.7455	0.8222	0.5402		0.7953
$X_{13}$	0.9368	0.8602	0.8216	0.8477	0.9727	0.9356	0.9340	0.9357	0.9232	0.9362	0.8392	0.9336	0.8069	0.0000

### 3 讨 论

2002—2017 年间,贵州省自然保护地体系呈现多元化的快速发展状态。从功能定位与时序变化来看,自然保护区与自然遗产地属于严格保护的区域,其增长变化较低,呈逐步饱和的状态;森林公园、湿地公园和地质公园属于保护为主、兼顾游憩的区域,其增长变化较高,呈稳步增长的状态;风景名胜区属于游憩为主、兼顾保护的区域,其增长变化呈逐步稳定的状态。表明自然保护地的时序变化与其功能定位有关。究其原因,一是自然保护区的发展历程较早;二是自然保护区的建立条件更严苛;三是自然保护区的建立大多未考虑生态系统的文化服务价值,割裂了生态系统的综合服务功能,使得保护对象单一化,导致保护与发展失衡<sup>[8]</sup>。同时,在林业产业结构调整 and “生态旅游文化”盛行的背景下,各类公园作为生态旅游文化服务环节的补充部分便应运而生且快速发展<sup>[33]</sup>。由于生态系统综合服务功能的割裂,加上各类自然保护地原主管部门职能的分散与单一化的保护方式,必然会导致同一区域的不同生态服务功能随着时间变化被重复利用,使得自然保护地存在相邻、内嵌、分割等问题。在今后的优化调整中,需要科学评估保护对象及管理目标,系统地厘清同一区域生态系统服务功能的内在规律,按照其整体性和系统性重新对自然保护地进行分类整合。

自然保护地的空间分布及时空变化受到多种因素的综合影响(图 7)。研究发现,NDVI 与森林面积是影响自然保护地数量、面积空间分异的共同主要因素。自然环境条件是决定自然保护地空间分布的基础性因素,包括海拔、坡度等地理条件,以及动植物种类、物种数量等资源条件<sup>[34]</sup>。贵州省作为内陆山地省份,森林生态系统的原生性和完整性、珍稀濒危动植物的丰富度和特有性、喀斯特山地的独特性为本省自然保护地建设与发展提供了良好的基础<sup>[22]</sup>。但由于贵州省喀斯特地貌发育典型,使得部分区域水土流失严重、地表植被易遭到破坏、基岩大量裸露<sup>[35]</sup>。加上起伏较大的山脉与切割较深的河流影响,使得这些区域形成了较多的生态交错区,导致空间异质性较高<sup>[36]</sup>。而自然保护地的范围划分常以山脉、河流等地理边界为依据,生态交错区的空间异质性将会使得不同类型自然保护地在同一空间处凝聚,导致自然保护地呈现出在河流、山脉周围的地势平缓处聚集的特征。因此,区域间的自然地理差异会框定与限制自然保护地的基本格局。

贵州省自然保护地数量、面积的空间分异还受到城镇人口、人均 GDP、累计治理水土流失面积、铁路里程和公路里程的影响。各类公园与风景名胜区为研究期内自然保护地增长的主体。从性质来看,以上自然保护地均属于保护兼顾游憩的类型。一方面,不同于实施严格保护的自然保护区,各类公园与风景名胜区往往涵盖大量自然景观和人文景观,通过组织者和管理者围绕旅游积极开展生产生活来满足消费者的需求,在客观上实现资源的保护与利用<sup>[37]</sup>;另一方面,各类公园与风景名胜区的基础设施维护、旅游产品创新等都是以其固有资本为基础。这就内在地要求人口、地方经济等因素对其建设与发展具有导向性<sup>[38]</sup>,这也是导致各类公园与风景名胜区主要受到人口、经济发展影响的主要原因。同时,若自然保护地的吸引力相同,则交通可达性越好的自然保护地能在很大程度上提高其对游客的吸引<sup>[39]</sup>。然而,尽管各类公园与风景名胜区在带动区域经济发展、优化区域产业结构、促进生态文化传播等方面发挥了重要作用<sup>[40]</sup>,但随着区域的人口增长、经济发展、城市扩张、道路建设、旅游活动增加等都将对自然保护地的空间格局产生较大影响<sup>[41]</sup>。因此,区域间发展差异将会改变自然保护地空间格局。

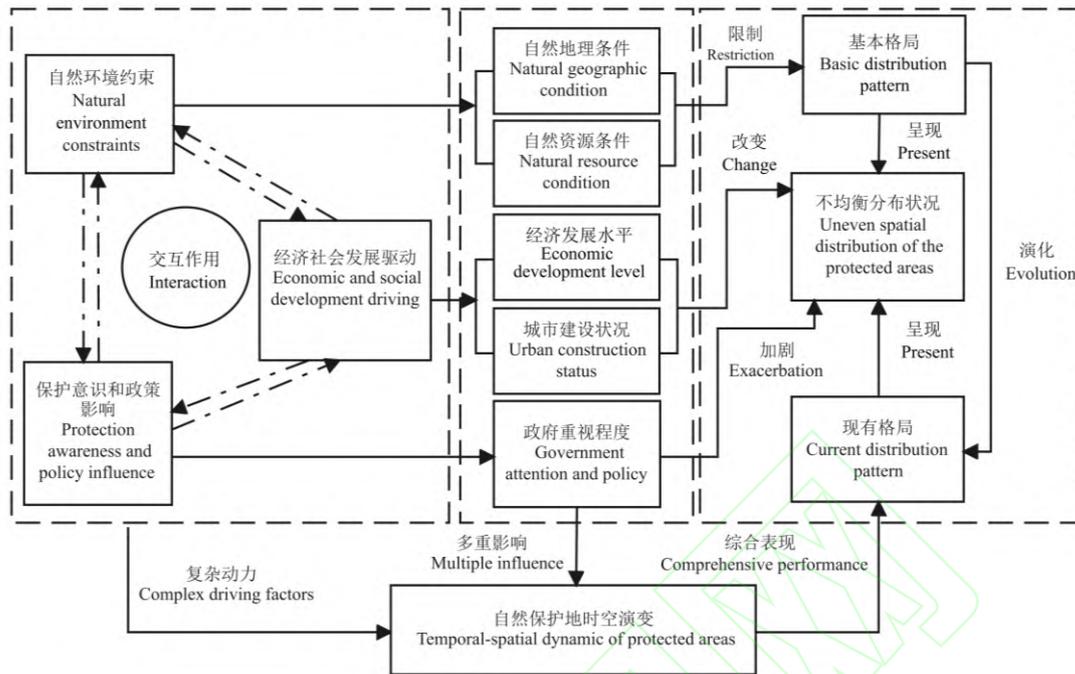


图7 自然保护地时空演变的作用机制

Fig.7 Impact mechanism on the temporal-spatial dynamic of protected areas.

此外，自然保护地的建设与发展还受到相关政策的影响，包括国家政策对地方政府的决策影响和地方政府的自然保护意识及重视程度等。一方面，国家政策具有导向性和驱动性。例如，当不同类型自然保护地的不同管理部门因政策影响需加强某一类自然保护地的建设时，将会导致各自然保护地的建设主体发生改变，这也是贵州省自然保护地的发展历程趋从于全国大趋势的原因<sup>[42]</sup>。另一方面，自然保护地的建设遵循自下而上的申报方式且大多由地方部分主管，其产生过程受到地方政府的决策影响<sup>[43]</sup>。因此，区域间的政策差异将进一步固化自然保护地的不均匀分布状况，导致其最终呈现出均衡分布的现有格局。

责任编辑 杨弘

## 参考文献

- [1] 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, 12(6): 1-8 [Tang X-P, Luan X-F. Developing a nature protected area system composed mainly of national parks. *Forest Resource Management*, 2017, 12(6): 1-8]
- [2] 陈建伟. 中国自然保护地体系发展 70 年. 国土绿化, 2019(10): 50-53 [Chen J-W. 70 years of development of China's protected areas system. *Land Greening*, 2019(10): 50-53]
- [3] 王秋风, 于贵瑞, 何洪林, 等. 中国自然保护区体系和综合管理体系建设的思考. 资源科学, 2015, 37(7): 1357-1366 [Wang Q-F, Yu G-R, He H-L, et al. Thinking of construction of the nature reserve system and integrated management system in China. *Resources Science*, 2015, 37(7): 1357-1366]
- [4] 潘竟虎, 徐柏翠. 中国国家级自然保护地的空间分布特征与可达性. 长江流域资源与环境, 2018, 27(2): 353-362 [Pan J-H, Xu B-C. Spatial distribution characteristics and accessibility of protected areas in China. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(2): 353-362]
- [5] 朱里莹, 徐姗, 兰思仁. 中国国家级保护地空间分布特征及对国家公园布局建设的启示. 地理研究, 2017, 36(2): 307-320 [Zhu L-Y, Xu S, Lan S-R. Spatial distribution characteristics of national protected areas and the inspirations to national parks in China. *Geographical Research*, 2017, 36(2): 307-320]
- [6] 黄宝荣, 马永欢, 黄凯, 等. 推动以国家公园为主体的自然保护地体系改革的思考. 中国科学院院刊, 2018, 33(12): 1342-1351 [Huang B-R, Ma Y-H, Huang K, et al. Strategic approach on promoting reform of China's natural protected areas system with national parks as backbone. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(12): 1342-1351]
- [7] 彭杨靖, 樊简, 邢韶华, 等. 中国大陆自然保护地概况及分类体系构想. 生物多样性, 2018, 26(3): 315-325 [Peng Y-J, Fan J, Xing S-H, et al. Overview and classification outlook of natural protected areas in mainland China. *Biodiversity Science*, 2018, 26(3): 315-325]
- [8] 马童慧, 吕偲, 雷光春. 中国自然保护地空间重叠分析与保护地体系优化整合对策. 生物多样性, 2019, 27(7): 758-771 [Ma T-H, Lyu C, Lei G-H. The spatial overlapping analysis for China's natural protected area and countermeasures for the

- optimization and integration of protected area system. *Biodiversity Science*, 2019, 27 (7): 758-771]
- [9] 李士成, 李少伟, 希娜·吉, 等. 西藏自然保护区现状分析及其空间布局评估. 生态学报, 2018, 38 (7): 2557-2565 [Li S-C, Li S-W, Xina J, et al. Analysis of current situation and assessment of spatial layout of nature reserves in the Tibet Autonomous Region. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38 (7): 2557-2565]
- [10] 杨丽婷, 刘大均, 赵越, 等. 长江中游城市群森林公园空间分布格局及可达性评价. 长江流域资源与环境, 2016, 25 (8): 1228-1237 [Yang L-T, Liu D-J, Zhao Y, et al. Spatial pattern and accessibility of the forest parks in urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25 (8): 1228-1237]
- [11] 范红蕾, 汪芳. 两类国家级湿地公园空间分布特征及其影响因素的异同研究. 北京大学学报: 自然科学版, 2016, 52 (3): 535-544 [Fan H-L, Wang F. Similarities and differences in spatial distribution and its influencing factors of two kinds of national wetland parks in China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2016, 52 (3): 535-544]
- [12] 王绍博, 郭建科. 中国风景名胜区交通可达性及市场潜力空间测度. 地理研究, 2016, 35 (9): 1714-1726 [Wang S-B, Guo J-K. Spatial measure of traffic accessibility and market potential of the national scenic areas. *Geographical Research*, 2016, 35 (9): 1714-1726]
- [13] 古璠, 黄义雄, 陈传明, 等. 福建省自然保护区生态网络的构建与优化. 应用生态学报, 2017, 28 (3): 1013-1020 [Gu F, Huang Y-X, Chen C-M, et al. Construction and optimization of ecological network for nature reserves in Fujian Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28 (3): 1013-1020]
- [14] 唐承财, 孙孟瑶, 万紫微. 京津冀城市群高等级景区分布特征及影响因素. 经济地理, 2019, 39 (10): 204-213 [Tang C-C, Sun M-Y, Wan Z-W. Spatial distribution characteristics of high-level scenic spots and its influencing factors in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. *Economic Geography*, 2019, 39 (10): 204-213]
- [15] 何小芊, 王晓伟, 熊国保, 等. 中国国家地质公园空间分布及其演化研究. 地域研究与开发, 2014, 33 (6): 86-91 [He X-Q, Wang X-W, Xiong G-B, et al. Study on the spatial distribution and its evolution of national geoparks in China. *Areal Research and Development*, 2014, 33 (6): 86-91]
- [16] 周婷, 牛安逸, 马姣娇, 等. 国家湿地公园时空格局特征. 自然资源学报, 2019, 34 (1): 26-39 [Zhou T, Niu A-Y, Ma J-J, et al. Spatio-temporal pattern of national wetland parks. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34 (1): 26-39]
- [17] 姜超, 马社刚, 王琦淞, 等. 中国 5 种主要保护地类型的空间分布格局. 野生动物学报, 2016, 37 (1): 61-66 [Jiang C, Ma S-G, Wang Q-S, et al. Spatial distribution pattern of five major categories of protected area in China. *Chinese Journal of Wildlife*, 2016, 37 (1): 61-66]
- [18] 李洋. 贵州省喀斯特山区草地上生物量遥感反演研究. 硕士论文. 贵阳: 贵州师范大学, 2018 [Li Y. Study on Remote Sensing Inversion of Grassland Aboveground Biomass in Guizhou Province Karst Mountainous Areas. Master Thesis. Guiyang: Guizhou Normal University, 2018]
- [19] 吴俊铭, 童碧庆, 杨静. 论贵州喀斯特地区气候与生态环境治理的关系. 贵州气象, 2003 (5): 25-28 [Wu J-M, Tong B-Q, Yang J. Relationship between climate and ecological environment governance in the Karst area of Guizhou. *Guizhou Meteorology*, 2003 (5): 25-28]
- [20] 容丽, 杨龙. 贵州的生物多样性与喀斯特环境. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2004 (4): 1-6 [Rong L, Yang L. Biodiversity of Guizhou Province and its karst environment. *Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences*, 2004 (4): 1-6]
- [21] 沈园, 毛舒欣, 邱莎, 等. 西南地区文化多样性时空格局. 生态学报, 2018, 38 (21): 7596-7606 [Shen Y, Mao S-X, Qiu S, et al. Spatiotemporal pattern of cultural diversity in Southwest China. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38 (21): 7596-7606]
- [22] 侯伟. 贵州省建立国家公园的可行性——基于资源层面. 中南林业科技大学学报: 社会科学版, 2019, 13 (4): 14-19 [Hou W. Discussing the feasibility of establishing a national park in Guizhou Province based on the resource level. *Journal of Central South University of Forestry & Technology: Social Sciences*, 2019, 13 (4): 14-19]
- [23] 黎平. 加快发展贵州省国家公园路径探讨 [EB/OL]. (2017-07-17) [2020-07-08]. <http://szb.gzrbs.com.cn/gzrb/gzrb/rb/20170717/Article06006JQ.htm> [Li P. Discussion on Accelerating the Development of National Parks in Guizhou Province [EB/OL]. (2017-07-17) [2020-07-08]. <http://szb.gzrbs.com.cn/gzrb/gzrb/rb/20170717/Article06006JQ.htm>]
- [24] 贵州省统计局, 国家统计局贵州调查总队. 贵州统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2001—2018 [Guizhou Province Bureau of Statistics, National Bureau of Statistics Survey Office in Guizhou. *Guizhou Statistical Yearbook*. Beijing: China Statistics Press, 2001-2018]
- [25] 国家统计局, 生态环境部. 中国环境统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2001—2018 [National Bureau of Statistics, Ministry of Ecology and Environment. *China Statistical Yearbook on Environment*. Beijing: China Statistics Press, 2001-2018]
- [26] 张海洲, 陆林, 张大鹏, 等. 环莫干山民宿的时空分布特征与成因. 地理研究, 2019, 38 (11): 2695-2715 [Zhang H-Z, Lu L, Zhang D-P, et al. Spatial pattern and contributing factors of homestay inns in the area around Mogan Mountain. *Geographical Research*, 2019, 38 (11): 2695-2715]
- [27] 芮昶, 唐蓓佩, 王兴, 等. 国家园林城市时空演变特征及其影响机理. 地理研究, 2018, 37 (1): 20-36 [Rui Y, Tang B-P, Wang X, et al. The spatio-temporal evolutionary characteristics and the impact mechanism of national garden cities in China. *Geographical Research*, 2018, 37 (1): 20-36]
- [28] Greig-Smith P. The use of random and contiguous quadrats in the study of the structure of plant communities. *Annals of Botany*, 1952, 16: 293-316
- [29] 邓敏, 刘启亮, 吴静. 空间分析. 北京: 测绘出版社, 2015 [Deng M, Liu Q-L, Wu J. *Spatial Analysis*. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2015]
- [30] 张婧, 李诚固, 周国磊, 等. 长春市公共服务设施用地演变格局与机制. 地理学报, 2015, 70 (12): 1939-1952 [Zhang J, Li G-C, Zhou G-L, et al. The evolution pattern and mechanism of public service facilities lands in Changchun. *Acta*

- Geographica Sinica*, 2015, 70 (12): 1939-1952]
- [31] 赵璐, 赵作权. 基于特征椭圆的中国经济空间分异研究. 地理科学, 2014, 34 (8): 979-986 [Zhao L, Zhao Z-Q. Projecting the spatial variation of economic based on the specific ellipses in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34 (8): 979-986]
- [32] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 2017, 72 (1): 116-134 [Wang J-F, Xu C-D. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72 (1): 116-134]
- [33] 薛达元, 包浩生. 森林公园在我国自然保护区系统中的地位. 生物多样性, 1995, 3 (3): 170-173 [Xue D-Y, Bao H-S. The position of forest parks in protected areas in China. *Biodiversity Science*, 1995, 3 (3): 170-173]
- [34] 任慧, 郝孟曦, 张萌, 等. 我国国家级自然保护区数量特征研究. 生态科学, 2012, 31 (3): 225-232 [Ren H, Hao M-X, Zhang M, et al. Study on quantitative characteristics of the national nature reserves in China. *Ecological Science*, 2012, 31 (3): 225-232]
- [35] 张殿发, 王世杰, 李瑞玲. 贵州省喀斯特山区生态环境脆弱性研究. 地理学与国土研究, 2002, 18 (1): 77-79 [Zhang D-F, Wang S-J, Li R-L. Study on the eco-environmental vulnerability in Guizhou karst mountains. *Geography and Geo-Information Science*, 2002, 18 (1): 77-79]
- [36] 高江波, 蔡运龙. 区域景观破碎化的多尺度空间变异研究——以贵州省乌江流域为例. 地理科学, 2010, 30 (5): 742-747 [Gao J-B, Cai Y-L. Spatial heterogeneity of landscape fragmentation at multi-scales: A case study in Wujang River Basin, Guizhou Province, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30 (5): 742-747]
- [37] 曹芳东, 黄震方, 徐敏, 等. 风景名胜旅游区旅游效率及其分解效率的时空格局与影响因素——基于 Bootstrap-DEA 模型的分析方法. 地理研究, 2015, 34 (12): 2395-2408 [Cao F-D, Huang Z-F, Xu M, et al. Spatial-temporal pattern and influencing factors of tourism efficiency and the decomposition efficiency in Chinese scenic areas: Based on the Bootstrap-DEA method. *Geographical Research*, 2015, 34 (12): 2395-2408]
- [38] 杨利, 李玉婷. 湖南省国家湿地公园空间分异及影响因素研究. 中南林业科技大学学报: 社会科学版, 2019, 13 (5): 99-106 [Yang L, Li Y-T. Analysis on the spatial differentiation of national wetland park and influencing factors in Hunan Province. *Journal of Central South University of Forestry & Technology: Social Sciences*, 2019, 13 (5): 99-106]
- [39] 李山, 王铮, 钟章奇. 旅游空间相互作用的引力模型及其应用. 地理学报, 2012, 67 (4): 526-544 [Li S, Wang Z, Zhong Z-Q. Gravity model for tourism spatial interaction: basic form, parameter estimation, and applications. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67 (4): 526-544]
- [40] 李若山, 贾卫国. 以国家公园为主体的自然保护地对社区经济的影响. 林业经济问题, 2020, 40 (5): 455-463 [Li R-S, Jia W-G. Analysis of the impacts of construction of nature protected areas with national parks as main parts on community economy. *Issues of Forestry Economics*, 2020, 40 (5): 455-463]
- [41] Yang JY, Yang J, Luo XY, et al. Impacts by expansion of human settlements on nature reserves in China. *Journal of Environmental Management*, 2019, 248: 109233
- [42] 张芳玲, 蒲真, 梁晓玉, 等. 中国东北地区自然保护地数量特征分析. 北京林业大学学报, 2020, 42 (2): 61-67 [Zhang F-L, Pu Z, Liang X-Y, et al. The quantitative characteristics of natural protected areas in northeast China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2020, 42 (2): 61-67]
- [43] Sutherland WJ, Wordley CFR. Evidence complacency hampers conservation. *Nature Ecology & Evolution*, 2017, 1: 1215-1216