

贵州省生物多样性热点地区研究

王 瑞^{1,2}, 安裕伦¹, 王培彬¹, 马良瑞¹

(1. 贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001; 2. 白城市国土资源局 国土资源信息中心, 吉林 白城 137000)

摘 要: 全球的气候变化和人类对生物资源的不合理利用, 对全球生物多样性造成了前所未有的干扰和破坏, 生物多样性热点地区的保护成为研究的热点。本文根据贵州省生物多样性的现状, 选取了生境质量指数、物种多样性指数和景观多样性指数为评价参数, 来计算生物多样性指数, 再借助空间相关分析方法确定了贵州省生物多样性的热点地区。结果显示, 贵州省生物多样性保护热点地区总面积达 37 662.68 km², 占研究区总面积的 21.37%, 涵盖了 582 种指示物种, 占全部指示物种数目的 94.0%。贵州省生物多样性热点地区共有 6 个, 分别是: 黔东北—梵净山、佛顶山为中心的高中山、中山山地; 黔北大娄山区及赤水河、习水河河谷; 黔东南雷公山、月亮山区及都柳江河谷; 荔波—独山喀斯特低中山地; 黔西北威宁草海高原湖泊; 黔西南南盘江、北盘江及红水河谷。通过分析结果, 建议开展生物多样性的全面调查和长期动态监测, 并利用 3S 技术建立自然保护区的信息数据库, 以便更好地为生物多样性保护与恢复研究服务。

关键词: 贵州省; 生物多样性指数; 热点区; 空间相关分析

中图分类号: X176; Q143

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)06-0152-06

Study on Biodiversity Conservation Hotspots in Guizhou

WANG Rui^{1,2}, AN Yu-lun¹, WANG Pei-bin¹, MA Liang-rui¹

(1. School of Geographic and Environmental Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;

2. Land and Resources Information Center, Land Resources Bureau of Baicheng City, Baicheng, Jilin 137000, China)

Abstract: Unreasonable use of biological resources by human beings and climate change have the negative impacts on biodiversity at global scale, thus the hotspot of biodiversity zone has been the major focus in researches. Based on the condition of biodiversity in Guizhou province, this paper collected the index of habitat quality, biodiversity and landscape diversity as the evaluation factors to calculate the index of biodiversity, and further to locate the hotspots of biodiversity in Guizhou province via the method of spatial correlation. The area of biodiversity hot zone in Guizhou reached 37 662.68 km², accounting for 21.37% of the study area, which covered 582 indicator species, accounting for 94% of all indicator species. There are six zones of biodiversity hotspot in Guizhou province, such as Northeast of Guizhou-Fanjingshan, the center of Fudingshan in Gaozhongshan and Zhongshan; Daloushan, Chishui river, valley of Xishui river in North Guizhou; Leigongshan, Yueliangshan and valley of Liujiang in Southeast of Guizhou; Libo-Dushan karst mountainous area; the plateau lakes of Weiningcaohai; south Panjiang and north Panjiang and valley of Hongshui river in southwest of Guizhou. According to the analysis, we suggest it is necessary that the navigation and dynamic monitoring of biodiversity should been carried out in Guizhou, and a database of protection zone should be established by 3S method with respect to the better protection of biodiversity and ecological restoration.

Key words: Guizhou province; biodiversity index; hotspot; spatial correlation analysis

生物多样性是人类赖以生存的物质基础^[1]。但随着近些年来全球生态环境的不断恶化, 以及人类对生

物资源不合理的利用加剧, 全球生物多样性遭受了前所未有的破坏^[2]。世界自然保护联盟(IUCN)发

收稿日期: 2013-12-12

修回日期: 2014-01-20

资助项目: 国家自然科学基金(41161002); 贵州省科学技术厅, 黔省专合字(2011)46 号

作者简介: 王瑞(1987—), 男, 吉林白城人, 硕士研究生, 主要从事地理信息系统遥感与生态环境保护研究。E-mail: 327163664@qq.com

通信作者: 安裕伦(1957—), 男, 贵州贵阳人, 教授, 博导, 主要从事地理信息系统遥感与生态环境保护研究。E-mail: anyulun@126.com

布的“2004年濒危物种红色名录”表明,1/3的两栖类动物、1/2以上的龟类、1/8的鸟类和1/4的哺乳动物正面临生存的威胁。目前,全球15 000多个物种正在消失^[3]。近年来,保护生物学家已经注意到,人类活动导致生境丧失是生物多样性的最大威胁,保护单一物种的作用十分有限,应该以生境为单位进行研究和保护,尤其在较大的生态尺度上进行保护工作是未来的方向^[4]。在大尺度上,例如以地球为单位,保护所有的生物和其生境是学者和生态工作者的愿景,但在当前的科技、社会和自然资源条件下却是无法承担的,因此在区域尺度上使具有代表性的生态系统类型和栖息地均能保存下来成为当前学界对于地球生物多样性保护的共识^[5]。

随着人们生态环境意识的提高,保护生物多样性成为人们关注的焦点^[6],生物多样性保护的重要性也逐渐得到社会的了解和认可,国际上业已开展了许多关于生物多样性保护的研究与实践工作。特别是近些年来,生物多样性保护热点区的划定和基于该生态学区域的科学研究已经成为国内外研究的热点。许多学者从全球、区域及地区等不同尺度,进行了相关研究^[7]。研究成果包括开发了基于系统保护规划的C-Plan软件,建立了基于生态位理论的生态位模型等,这些整合了其他相关学科和复杂数学计算工具的模型系统无论在思路和研究方法上都较为全面、成熟,可以为生物多样性保护热点区的规划提供有力的理论、技术和工具支持。

随着该领域研究工作在我国的起步,我国的学者也在近些年对于区域尺度的生物多样性保护开展了许多工作:例如针对三江平原湿地鸟类分布热点地区的研究^[8],我国西部地区生物多样性热点地区的评定与划分^[9],安徽省鸟类分布热点区的评价^[10]和中国生物多样性热点地区(Hotspot)评估^[11]等,这些研究从不同层面推动了我国在生物多样性保护热点区方面的发展。这些研究考虑到实践中对生物多样性保护所投入的人力和物力具有一定的有限性,因此对所有区域采取相同的保护策略和投资是无必要的。为使有限的资源得到最有效的利用,必须找到生物多样性最丰富的,同时受到人类与自然威胁较严重的地区,即生物多样性热点区^[12-13]。

贵州省位于中国西南部,地处长江和珠江上游地区,是典型的喀斯特岩溶地区,生物物种较为丰富,但是由于特殊的地质演化背景和过程,使得石漠化发育程度较高,导致生态系统非常脆弱,经济发展缓慢,生

物生境受到自然与人类的双重威胁,因此生物多样性保护在该区域内尤为重要^[14]。本文结合贵州省生物多样性保护的实际情况,选取了贵州省生境质量指数、物种多样性指数、景观多样性指数三个评价指标参数,计算贵州省生物多样性指数,再采用空间相关分析的方法以识别和划定贵州省的生物多样性保护热点区。该研究旨在为贵州省的生物多样性保护规划提供理论依据和技术支持,也为今后该区域的生态学科研和工作提供借鉴和参考。

1 研究区概况

贵州省位于北纬24.37°—29.13°、东经103.36°—109.35°的云贵高原东部,全省面积176 167 km²。全省地势西部最高,中部次之,向北、东、南三面倾斜。隆起于四川盆地、广西丘陵盆地和详细丘陵,属我国第二阶梯。贵州河流以苗岭为分水岭,以北属长江流域,以南属珠江流域。贵州气候属亚热带季风气候,年平局气温14~18℃,雨量充沛,年降水量在1 100~1 300 mm之间。贵州植被受不同热量条件的影响,在省的中部、北部地区,植被是中亚热带常绿阔叶林,在省的西南部部分地区,则发育了南亚热带具有的热带成分的常绿阔叶林及沟谷季雨林。根据《IU-CN物种红色目录濒危等级和标准》中收录的极危(CR)、濒危(EN)、易危(VU)的物种,贵州省境内植物物种受威胁程度为:濒危138种、极危54种、易危251种;动物受威胁程度为:兽类濒危30种、极危6种、易危62种;鱼类濒危5种、极危1种、易危19种;鸟类濒危4种、易危23种。

2 材料与方法

2.1 数据准备

研究区内行政区划、植被、土地覆盖/利用、道路、自然保护区和物种分布等数据被作为本研究的源数据,并采用ArcGIS软件,通过输入和汇总,建立地理信息系统数据库。其中植被图来自《贵州省国土资源地图集》中的植被类型数据(比例尺为1:1 500 000),经过数字化后得到贵州省主要植被类型图。土地利用图来自贵州省域范围的1:30 TM遥感影像,通过进行监督分类,并根据实地调查验证修改得到。自然保护区分布图来自数字化后的贵州省林业部门的自然保护区规划图;贵州省各濒危物种以其生活的县域和分布生境为单位,通过贵州省野生动植物调查报告与资料来收集信息。

2.2 研究方法

2.2.1 生物多样性指数 本研究选取了生境质量指数、物种多样性指数、景观多样性指数三个评价指标参数,以栅格为统计单元,利用公式(1)计算生物多样性指数。

$$BI_x = \frac{\text{生境质量指数} + \text{物种多样性指数} + \text{景观多样性指数}}{3} \quad (1)$$

式中:BI_x——栅格单元 x 的生物多样性指数。将计算得到的生物多样性指数进行最大值标准化处理,使得指数取值在 0~1 之间,最后利用 ArcGIS 软件以图形的形式将生物多样性指数表示出来。

(1) 生境质量。本研究的生境质量指数通过采用 InVEST 生物多样性模型进行计算^[15-16],模型需要输入的数据有土地利用图,合法可达性图层,生境威胁因子图层,威胁源表(包括威胁强度、威胁距离、威胁因子相对权重值),生境敏感性表。本研究选取的威胁因子包括道路、铁路、农田、居民点、人口等矢量数据,根据模型需要,要将矢量数据进行向栅格数据转化。威胁源表中的威胁强度、威胁距离参考已有的相关文献资料^[17],威胁因子的相对权重值来自专家打分。生境敏感性表中的敏感性值参考模型推荐数据,并根据贵州省特定的生境状况进行了优化调整。关系式如下:

$$\text{Quality}_1 = \sum (\text{sen_name} \times \text{name_prox} \times \text{legal_access} \times (\text{W_name} / \sum \text{W})) \quad (2)$$

对 Quality₁ 进行标准化处理得到 Quality₂

$$\text{Quality}_2 = \text{Normalized}(\text{Quality}_1) \quad (3)$$

式中:name——道路、居民点、铁路、农田和人口威胁因子;sen_name——威胁因子敏感性值;name_prox——威胁因子威胁值;legal_access——合法可达性;W_name/sumW——威胁因子相对权重。

(2) 物种多样性。物种的多样性热点地区是指指示物种集中分布的地区。本文根据《IUCN 物种红色目录濒危等级和标准》中收录的极危(CR)、濒危(EN)、易危(VU)珍惜濒危动植物种类,选取生活在贵州省的 619 种濒危珍稀动植物为指示物种,见表 1。再根据物种的生存状况和受威胁的程度,选取李迪强对指示物种的选择和赋值标准^[18]对指示物种分别赋予一个受威胁值:1) 中国特有且濒危的物种,赋值 0.3。2) 中国特有且受威胁物种,赋值 0.25。3) 其他濒危物种,赋值 0.2。4) 其他受威胁物种,赋值 0.15。5) 其他具有保护意义物种,赋值 0.1。以贵州省县级行政图和植被图为基础,根据林业部门相关统计资料,确定每个指示物种的潜在分布生境和分布县域,通过 ARCGIS 软件得出物种生境分布图,再利用

ARCGIS 软件的栅格统计功能,计算出贵州省物种多样性指数。

表 1 贵州省动植物指示物种类别

	中国特有且濒危的物种	中国特有且受威胁物种	其他濒危物种	其他受威胁物种	其他具有保护意义物种
维管束植物	121	143	68	98	25
鸟类	0	3	4	19	43
哺乳动物	7	5	18	34	0
爬行动物	0	3	3	10	0
两栖动物	2	5	7	1	0

(3) 景观多样性。景观多样性指数采用 Shannon-Weiner 多样性指数进行计算(见公式 4),根据 O'Neill 的经验性原则^[19-20],选择 50 km² 的单位面积作为评估单元。评估单元的形状方面,采用当前国际上比较流行的六边形评估单元。

$$H_x' = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2(P_i) \quad (4)$$

式中:H_x'——评估单元 x 的植被群系多样性指数,其值越大表明评估单元内的植被系统越丰富;P_i——评估单元 x 内的植被群系 i 的面积比例;n——植被群系的数目。

2.2.2 热点地区识别 在传染病和人口增长领域的热点区的分析中,空间相关分析的方法已经被广泛应用于疾病的高发区和人口密集区^[21-27]。在生物多样性热点地区的研究中,热点地区就是指示物种聚集度高的地区,因此可以利用空间相关分析进行热点地区分析。在空间统计中,由 Ord 和 Getis^[28]提出的 G_i^{*} 系数为空间相关分析中常用的自相关指标,它是一种基于距离全矩阵的局部空间自相关指标,可以探查出研究区内哪些地方是指示物种高度聚集的地方,即所关心的热点区域,公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_j^n W_{ij} x_j}{\sum_j^n x_j} \quad (5)$$

G_i^{*} 的统计意义可以通过一个标准化的 Z 值来检验^[23],因此对 G_i^{*} 进行标准化处理得到 Z(G_i^{*})

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\text{var}(G_i^*)}} = \frac{\sum_j W_{ij} x_j - W_i^* x_i^*}{s \sqrt{\frac{ns_{1i}^* - W_i^{*2}}{n-1}}} \quad (6)$$

式中:n——观测要素总个数;x_j——要素 j 的空间单元属性值;W_{ij}——要素 i 和 j 之间的距离权重;W_i^{*}——所有距离权之和;x_i^{*}——研究区内所有斑块属性的平均值。其中

$$s_{1i}^* = \sum_j (W_{ij})^2, i=j \quad (7)$$

$$x_i^* = \sum_j x_j / n \quad (8)$$

$$W_i^* = \sum_j W_{ij}$$

(9)

当 $Z(G_i^*)$ 为正时说明要素 i 被数量大的观测值所包围；当 $Z(G_i^*)$ 为负时说明要素 i 被数量小的观测值所包围^[20]。若 $Z(G_i^*) > 10.0$ ，规定为高值聚集区； $Z(G_i^*) < -10.0$ 则为低值聚集区。本研究利用 ArcGIS 软件进行空间自相关分析计算，并把聚集度高值区作为生物多样性保护热点区。

3 结果与讨论

3.1 生物多样性指数

根据模型计算出的生物多样性指数见图 1。从县域行政区分布来看，贵州省生物多样性指数属于较高水平的有江口县、印江县、台江县、剑河县、黎平县、榕江县、荔波县、道真自治县、兴义市、赤水市以及威宁自治县，而安顺市全市、除威宁自治县外的毕节大部分地区以及除兴义市外的黔西南州大部分地区生物多样性指数较低。从分布面积上来看，生物多样性指数高值区面积为 31 027.44 km²，面积占全省面积，17.62%，指数低值区面积为 30 688.66 km²，占全省面积的 17.43%。从地貌上来看，生物多样性指数高的地区主要分布在黔西高原山地、黔南山地、黔北山地和黔东南山地丘陵地区，这些地区大多数为高原山地，地形起伏较大，生长着茂密森林植被，这些植被为动植物的栖息繁衍提供了良好的环境，又因为地形起伏较大，受到人为干扰较少，所以在这种地形的控制下形成了有利于各种生物生存的小生境。而生物多样性指数较低的地区主要分布在黔中山原丘陵，这里海拔相对较低，存有少量平原地区，人口众多，人类活动也较为剧烈，因此生物栖息地受到的人为干扰较为强烈。

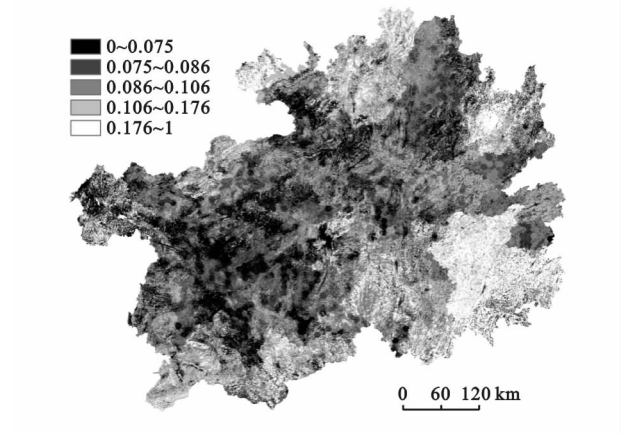


图 1 贵州省生物多样性指数

3.2 生物多样性热点区

图 2 是贵州省生物多样性保护热点区。图中显示，利用空间相关性分析方法对生物多样性指数进行

热点分析而获得的热点区，与生物多样性指数的高值区在地理分布上基本保持一致，只在赤水市地区略有差异。造成这种特殊差异的原因是由于赤水市内分布大量整片竹林和农田，在农田生境里生活的物种种类较少，竹林生境里生活的物种种类较单一，而且竹林和农田面积较大，物种分布较为分散，使得在空间上的聚集度较低，因此在热点区的得分上分值略低。贵州省生物多样性保护热点地区总面积达 37 662.68 km²，占研究区总面积的 21.37%，涵盖了 582 种指示物种，占全部指示物种数目的 94.0%。 $Z(G_i^*) > 10.0$ 的生物多样性热点地区共有六个，分别是：(1) 黔东北一梵净山、佛顶山为中心的高中山、中山山地 (2) 黔北大娄山区及赤水河、习水河河谷 (3) 黔东南雷公山、月亮山区及都柳江河谷 (4) 荔波—独山喀斯特低中山地 (5) 黔西北威宁草海高原湖泊 (6) 黔西南南盘江、北盘江及红水河谷。各保护热点区分布和主要保护物种见表 2。

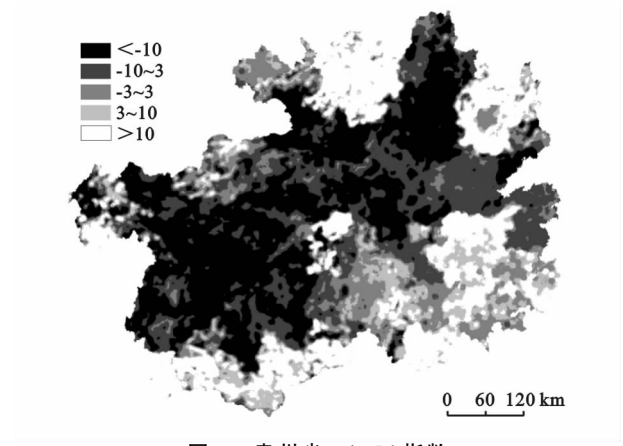


图 2 贵州省 $Z(G_i^*)$ 指数

$Z(G_i^*) < -10.0$ 的低值区主要分布在中部、南部和西部的喀斯特高原山地，形成这种情况的原因是由于城镇集中、人口稠密，公路铁路密布，加之农垦程度较高，因而人为活动对自然生态环境的影响较大，原生性植被多遭破坏，重点保护的珍稀濒危物种相对较少，尤以西部最为贫乏。

4 结论与建议

(1) 本文采用 InVEST 模型对研究区内的生境质量进行了定量评价，并结合物种多样性指数与景观多样性指数对贵州生物多样性指数进行计算，应用空间相关分析方法识别出生物多样性保护的热点地区。贵州省生物多样性保护热点地区总面积达 37 662.68 km²，占研究区总面积的 21.37%，涵盖了 582 种指示物种，占全部指示物种数目的 94.0%。

(2) 贵州省生物多样性热点地区共有六个，分别

是:黔东北—梵净山、佛顶山为中心的高中山、中山山地;黔北大娄山区及赤水河、习水河河谷;黔东南雷公山、月亮山区及都柳江河谷;荔波—独山喀斯特低中山地;黔西北威宁草海高原湖泊;黔西南南盘江、北盘江及红水河谷。这些地区应成为贵州省生物多样性保护重点关注的地区。

表 2 贵州省生物多样性保护热点区

序号	名称	热点地区描述
1	黔东北—梵净山、佛顶山为中心的高中山、中山山地	以梵净山、佛顶山为中心的黔东北武陵山山区,森林植被保存完好,特别是梵净山的中亚热带常绿阔叶林集中连片,十分典型。建立自然保护区后,生态环境受到良好保护,重点保护物种十分丰富。该地区共有重点保护植物 20 余种,重点保护动物 30 余种,其中梵净山冷杉(<i>Abies fanjingshanensis</i>)、珙桐(<i>Davidia involucrata</i>)、钟萼木(<i>Bretschneidera sinensis</i>)、黔金丝猴(<i>Rhinopithecus brelichi</i>)、云豹(<i>Neofelis</i>)等重点保护物种十分具有代表性、被国家列为一级重点保护对象。
2	黔北大娄山区及赤水河、习水河河谷	大娄山山地地势高差悬殊,生态环境复杂,局部山地、河谷保存有大面积的常绿阔叶林和常绿落叶阔叶混交林等天然植被。现此地区已建立国家级或省级自然保护区,如赤水桫欏、习水常绿阔叶林保护区和绥阳宽阔水、道真大沙河、桐梓柏箐等保护区,其中重点保护动物有 30 余种,重点保护植物有 30 种,如银杉(<i>Cathaya argyrophylla</i>)、南方红豆杉(<i>Taxus mairei</i>)、珙桐(<i>Davidia involucrata</i>)、钟萼木(<i>Bretschneidera sinensis</i>)和黑叶猴(<i>Trachypithecus francoisi francoisi</i>)、云豹(<i>Neofelis</i>)等都是具代表性的国家一级物种。
3	黔东南雷公山、月亮山区及都柳江河谷	雷公山和月亮山一带,保存有大面积的常绿阔叶林,都柳江流域有大面积以杉木、马尾松为主的天然林,重点保护物种分布较多,雷公山有秃杉(<i>Taiwania flousiana</i>)、钟萼木(<i>Bretschneidera sinensis</i>)、掌叶木(<i>Handeliodendron bodinieri</i>)、水青树(<i>Tetracentron sinense</i>)及地方保护物种植物 30 余种,藏酋猴(<i>Macacathibetana quizhouensis</i>)、鸳鸯(<i>Aix galericulata</i>)等二级保护动物 20 余种。
4	荔波—独山喀斯特低中山地	贵州南部喀斯特极其发育,由于喀斯特生态环境的特殊性,使其生长繁殖的野生动植物在区系组成和生态特性上也表现出独有特性,特别是荔波茂兰一带保存的大面积的喀斯特原始森林—常绿阔叶落叶混交林,为许多重点保护动植物的生存栖息创造了良好条件。该区保护植物、保护动物有 30 余种,分布的掌叶木(<i>Handeliodendron bodinieri</i>)、短叶黄杉(<i>Pseudotsuga brevifolia</i>)、广东松(<i>Pinus kwangtungensis</i>)、四药门花(<i>Tetrathyrium subcordatum</i>)等国家重点保护植物和珍稀濒危植物,以及金猫(<i>Catopuma temminckii</i>)、黑熊(<i>Ursus</i>)、穿山甲(<i>Manis pentadactyla auritus</i>)等二级保护动物均具有代表性。
5	黔西北威宁草海高原湖泊	位于黔西北高原的喀斯特湖泊—草海是一个典型的内陆高原湿地,80 年代已建立草海湿地自然保护区,大部分湿地及其生态系统得以保护和保存。保护区内有各种候鸟 180 余种,包括我国特有的高原鹤类黑颈鹤(<i>Grus nigricollis</i>)以及白头鹤(<i>Gurs monacha</i>)、白肩雕(<i>Aquila heliaca</i>)、白尾海雕(<i>Haliaeetus albicilla albicilla</i>)等一级保护鸟类,以及 20 余种二级保护鸟类。此外,湿地生态系统中还有很多特有物种,包括水体中的浮游动植物和高等水生植物,其中海棠花(<i>Ottelia acuminata</i>)是其中最重要代表。
6	黔西南南盘江、北盘江及红水河谷	该区因河谷地貌的影响,热量条件极其优越,为热带性植被—河谷季雨林的的生长发育提供了良好条件,成为贵州唯一有此植被分布的地区。国家重点保护植物有贵州苏铁(<i>Abies fanjingshanensis</i>)、辐花苣苔(<i>Thamnocharis esquirolii</i>)、云南穗花杉(<i>Amentotaxus yunnanensis</i>)、掌叶木(<i>Handeliodendron bodinieri</i>)、桫欏(<i>Cyathea spinulosa</i>)、金毛狗蕨(<i>Cibotium barometz</i>)等;国家重点保护动物有云豹(<i>Neofelis nebulosa nebulosa</i>)、豹(<i>Panthera pardus</i>)、猕猴(<i>Macaca</i>)、穿山甲(<i>Manis pentadactyla auritus</i>)、水獭(<i>Lutrinae</i>)、丛林猫(<i>Felis chaus</i>)、金猫(<i>Catopuma temminckii</i>)、斑羚(<i>Naemorhedus goral</i>)、红隼(<i>Falco tinnunculus</i>)、小鸦鹃(<i>Centropus bengalensis</i>)等 10 余种,显示出重点保护物种的相对丰富性

(3) 本研究成果得出的热点地区基本涵盖了贵州省大部分国家级、省级自然保护区,这些地区植被覆盖度较高,景观复杂,水热条件较好,适宜动植物的生存与繁衍。但在兴义市、安龙县、册亨县和望谟县等行政区域内也具有丰富的生物多样性,而这些地区可能并未引起人们的足够重视,因此应当考虑建立自然保护区。

综上,由于复杂的地质过程和由此产生的生态地理条件的复杂多样,造就了贵州省生物多样性的现状。

然而,由于现有保护区规划方法不完备,保护体系的不完善,造成了保护区在空间上分布不均衡,使得一些物种聚集度高的地方并未被划入保护区范围之内,为贵州省今后的生态安全建设和保障留下了极大的隐患。因此本文建议贵州省今后在开展贵州省生物多样性保护的相关工作中,以热点区为基本保护单元,开展生物多样性的分阶段、分步骤的全面调查和长期动态监测,并利用 3 S 技术建立自然保护区的信息数据库,以便更好地为生物多样性保护与恢复研究服务。

参考文献:

- [1] 李智琦, 欧阳志云, 曾慧卿. 基于物种的大尺度生物多样性热点研究方法[J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1586-1593.
- [2] 王棒, 关文彬, 吴建安, 等. 生物多样性保护的区域生态安全格局评价手段: GAP 分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 192-196.
- [3] 万本太, 徐海根, 丁晖, 等. 生物多样性综合评价方法研究[J]. 生物多样性, 2007, 15(1): 97-106.
- [4] 李迪强, 宋延龄. 热点地区与 GAP 分析研究进展[J]. 生物多样性, 2000, 8(2): 208-214.
- [5] 赵淑清, 方精云, 雷光春. 全球 200: 确定大尺度生物多样性优先保护的一种方法[J]. 生物多样性, 2000, 8(4): 435-440.
- [6] 叶其炎, 杨树华, 陆树刚, 等. 玉溪地区生物多样性及生境敏感性分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 75-78.
- [7] 徐佩, 王玉宽, 杨金凤, 等. 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析[J]. 生态学报, 2013, 33(3): 718-725.
- [8] 刘吉平, 吕宪国. 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 5894-5902.
- [9] 刘广超, 陈建伟. 我国西部地区生物多样性热点地区的评定与划分[J]. 西部林业科学, 2004, 33(3): 18-25.
- [10] 张有瑜, 周立志, 王岐山, 等. 安徽省繁殖鸟类分布格局和热点区分析[J]. 生物多样性, 2008, 16(3): 305-312.
- [11] 马克平. 中国生物多样性热点地区(Hotspot)评估与优先保护重点的确定应该重视[J]. 植物生态学报, 2001, 25(1): 124-125.
- [12] 王智, 蒋明康, 秦卫华. 中国生物多样性重点保护区评价标准探讨[J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(3): 93-96.
- [13] 徐卫华, 欧阳志云, 张路, 等. 长江流域重要保护物种分布格局与优先区评价[J]. 环境科学研究, 2010, 23(3): 312-319.
- [14] 赵卫权, 吴克华, 苏维词, 等. 贵州省生物多样性综合评价与分析[J]. 水土保持通报, 2011, 31(3): 171-174.
- [15] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, et al. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4-11.
- [16] Kareiva P M, Tallis H, Ricketts T H, et al. *Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*[M]. New York: Oxford University Press, 2011.
- [17] 彭怡. InVEST 模型在生态系统服务功能评估中的应用研究: 以汶川地震灾区为例[D]. 成都: 中国科学院, 2010.
- [18] 李迪强, 宋延龄, 欧阳志云. 全国林业系统自然保护区体系规划研究[M]. 北京: 中国大地出版社, 2003.
- [19] O'Neill R V, Riitters K H, Wickham J D, et al. Landscape pattern metrics and regional assessment[J]. *Ecosystem Health*, 1999, 5(4): 225-233.
- [20] O'Neill R V, Krummel J R, Gardner R V, et al. Indices of landscape pattern[J]. *Landscape Ecol.*, 1988, 1(3): 153-162.
- [21] 张松林, 张昆. 局部空间自相关指标对比研究[J]. 统计研究, 2007, 24(7): 65-67.
- [22] 范新生, 应龙根. 中国 SARS 疫情的探索性空间数据分析[J]. 地球科学进展, 2005, 20(3): 282-291.
- [23] 吕安民, 李成名. 中国省级人口增长率及其空间关联分析[J]. 地理学报, 2002, 57(2): 143-150.
- [24] 张松林, 张昆. 全局空间自相关 Moran 指数和 G 系数对比研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007, 46(4): 93-97.
- [25] 张松林, 张昆. 空间自相关局部指标 Moran 指数和 G 系数研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2007, 27(3): 31-34.
- [26] 彭斌, 张鹰, 胡代玉, 等. 利用空间分析技术探讨结核病发病的空间分布模式[J]. 中国卫生统计, 2007, 24(3): 229-231.
- [27] 沈绿珠. 空间关联分析及其应用[J]. 统计与决策, 2006(8): 28-30.
- [28] Getis A, Ord J K. The analysis of spatial association by use of distance statistics[J]. *Geographical Analysis*, 1992, 24(3): 189-206.
- (上接第 151 页)
- [3] 周杜辉, 王佑汉, 李同昇. 基于熵值函数模型的土地利用变化响应研究: 以四川省阆中市为例[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1): 134-138.
- [4] 谢余初, 巩杰, 赵彩霞, 等. 干旱区绿洲土地利用变化的生态系统服务价值响应: 以甘肃省金塔县为例[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 165-170.
- [5] 莫宏伟, 任志远. 风沙过渡区土地生态价值及生态风险动态研究: 以陕北神木县为例[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 357-362.
- [6] 韦仕川, 冯科, 邢云峰, 等. 资源型城市土地利用变化及生态安全数字模拟[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 64-68.
- [7] 臧淑英, 梁欣, 张思冲. 基于 GIS 的大庆市土地利用生态风险分析[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 141-145.
- [8] 宫继萍, 石培基, 杨雪梅. 黑河中游土地生态价值及生态风险动态研究: 以甘肃省民乐县为例[J]. 土壤, 2012, 44(5): 846-852.
- [9] 韦仕川, 吴次芳, 杨杨, 等. 基于 RS 和 GIS 的黄河三角洲土地利用变化及生态安全研究: 以东营市为例[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 185-189.