

李雪冬,杨广斌,周越,等.基于 3S 技术的岩溶地区城市景观生态安全评价[J].中国岩溶,2016,35(3):340—348.  
DOI:10.11932/karst20160313

# 基于 3S 技术的岩溶地区城市景观生态安全评价 ——以贵阳市为例

李雪冬<sup>1,2</sup>,杨广斌<sup>1</sup>,周越<sup>1</sup>,李冰<sup>3</sup>,张旭亚<sup>4</sup>

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院,贵州 贵阳 550001; 2. 东北师范大学地理科学学院,吉林 长春 130024;  
3. 延边大学理学院,吉林 延吉 133002; 4. 首都师范大学资源环境与旅游学院,北京 100048)

**摘 要:**基于景观生态学理论,借助多时相遥感数据与 GIS 空间分析技术,运用“压力—状态—响应(press-state-response,PSR)”模型,构建岩溶地区城市景观生态安全评价体系,通过空间叠加分析得到 2000 年和 2013 年贵阳市城市生态安全等级分布图,并就其空间分布规律与演化特征进行了对比分析,结果表明:2000 年、2013 年贵阳市城市生态安全指数均较低,2000 年处于安全级别以上的值为 3.04,2013 年处于安全级别以上的值下降到 1.78,在空间分布上呈西南向东北递增的趋势;在 2000—2013 年间,景观生态安全指数除湿地以外其他景观类型均呈现明显的下降趋势,其中农田恶化较为明显,湿地是唯一改善的景观类型。研究时段内贵阳市景观生态安全状况处于恶化趋势,因而建议在今后的城市规划与建设中应优化土地利用格局,以提高城市景观生态安全水平。

**关键词:**贵阳;景观生态安全;PSR 模型;岩溶地区

**中图分类号:**P901 **文献标识码:**A **文章编号:**1001—4810(2016)03—0340—09

## 0 引 言

城市化进程的加速发展以及高强度的资源开发对自然生态系统产生了深远影响,严重影响了城市化发展的质量<sup>[1-3]</sup>。城市生态系统是复杂的、动态的,并且具有区域特色。掌握城市生态安全状况与演化动态是维持城市可持续发展、生态系统结构和功能完整的基础<sup>[4]</sup>。目前,已有许多学者在评价指标体系的构建、评价方法、评价模型优化等方面进行了深入研究<sup>[5-9]</sup>。然而,在以往的研究中生态安全评价多集中在草原、水域、湿地、山地等区域,而对生态脆弱的岩溶地区研究相对薄弱<sup>[5-7]</sup>,同时研究所选取的指标多基于统计数据,进而忽略了空间分异特征,不利于区域之间的对比研究,更缺乏可视化效果<sup>[8]</sup>。因此,本

文借助遥感技术,选择生态环境相对脆弱的岩溶地区作为评价单元,对空间尺度下生态安全进行评价,最终获得可视化的评价结果。

贵阳市位于典型的岩溶地区,形成了受特殊地质背景制约的脆弱生态系统,以石漠化为特征的生态环境退化严重,同时可利用耕地少、人口压力大、经济发展方式粗放,迫使城市化进程加速,从而加剧了对城市生态安全的威胁。因此,本文选取该地区为研究对象,重点研究 2000—2013 年间贵阳市生态安全格局状况与动态特征,通过空间与时间的纵横比较,揭示贵阳市的景观生态安全状况变化规律,并对其进行可视化表达,以为岩溶地区城市生态安全评价提供一个新的尝试方法,同时为城市的可持续发展和管理提供科学依据和指导。

资助项目:贵州省科学技术基金项目(黔科合 J 字 LKS[2012]26 号);贵州省重大专项项目(黔科合重大专项字[2012]6007 号);国家自然科学基金项目(41361091);贵州省优秀青年科技人才培养对象专项资金项目(黔科合人字[2013]39 号)

第一作者简介:李雪冬(1988—),男,硕士,主要从事地理信息系统与定量遥感方面的研究。E-mail: li.xuedong.1988@163.com。

通讯作者:周越(1982—),女,硕士,讲师,主要从事自然资源开发与区域规划方面的研究。E-mail: 625794369@qq.com。

收稿日期:2015—03—27

## 1 研究区概况

贵阳市是贵州省的省会,地处  $26.2^{\circ}\sim 27.0^{\circ}\text{N}$ ,  $106.45^{\circ}\sim 107.0^{\circ}\text{E}$ ,位于贵州省中部,云贵高原东端,长江流域和珠江流域的分水岭地带。该地享有全国重要的生态旅游城市、中国森林之城、中国避暑之都等美称。全市海拔最高处为 1 762 m,最低处为 506 m,主城区平均海拔 1 070 m,总面积为 8 034  $\text{km}^2$ ,占全省土地总面积的 4.56%。贵阳市地层褶皱强烈,碳酸盐岩与碎屑岩相间展布,岩溶水文地质条件复杂,森林覆盖率为 45%,建成区绿化覆盖率为 44%,行政区包括南明区、云岩区、花溪区、白云区、乌当区、观山湖区,以及三县一市的清镇市、修文县、息烽县、开阳县(图 1),贵阳市总人口 432 万,人口密度大,人均用地少,城市化进程较快。

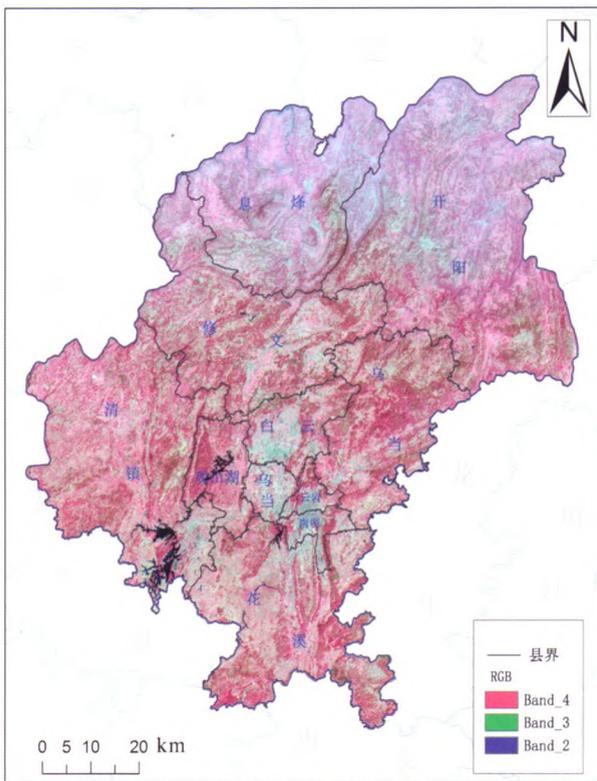


图 1 研究区遥感影像图

Fig. 1 Remote sensing image map of the research area

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

本文选取美国陆地卫星 Landsat 系列的多波段影像为主要数据源,轨道号为 127-041 与 127-042,获取时间分别为 2000 年 4 月和 2013 年 9 月,借

助 ENVI 5.1 对实验区影像进行了几何校正、大气校正、图像增强、拼接以及裁剪等预处理操作。同时本文也借助遥感影像作为基本数据源,利用 IDL 工具对建筑物指数、植被覆盖度、石漠化程度、生境质量指数等进行了计算。

### 2.2 景观生态安全评价指标选取

景观生态安全格局是由景观所处方位以及空间相关关系共同构成的<sup>[9]</sup>。综合考虑景观生态安全的形成以及演变机制,参考目前的景观格局评价方法,最终确定应用联合国经济开发合作署(OECD)提出的 PSR 概念模型<sup>[10-11]</sup>,构建贵阳市景观生态安全评价体系。然而,评价指标是模型的核心所在,指标不仅要反映评估区域的地域特征,还要充分考虑指标的敏感性以及可获取性。本研究最终构建了包括目标层、准则层、指标层在内的三层指标体系,具体的评价指标如表 1 所示。

表 1 景观生态安全评价指标体系框架

Table 1 Index system framework of landscape ecological security assessment

目标层	准则层	指标层	权重
A 景观生态安全综合指数	B1 压力层	C1 人口压力	0.083 7
		C2 城市扩张	0.076 3
	B2 状态层	C3 植被覆盖度	0.162 1
		C4 石漠化程度	0.258 0
		C5 生境质量指数	0.170 9
	B3 响应层	C6 城市热岛效应	0.118 2
		C7 自然灾害评价	0.130 8

#### 2.2.1 压力层指标

人类活动是对城市生态安全的主要威胁。贵阳市位于典型的岩溶地区,具有特殊的人地关系,因此本文的压力层从人口与城市的角度来反映城市生态安全。

##### (1) 人口压力

研究区位于岩溶地区,山地多、平地少、缺水少土,土壤肥力差,交通不便等原因导致了人口分布不均。本文采用分区县的方式统计人口密度,将人口密度与合理人口容量进行对比,计算得出研究区不同时期的人口超载率,并根据超载率赋以权重,确定人口威胁<sup>[12]</sup>。

##### (2) 城市扩张

建筑物指数(NDBI)的构成原理与归一化植被指数(NDVI)相似。NDBI 可以准确地反映建筑用地信

息, NDBI 最早是由查勇<sup>[13]</sup> 基于 TM 影像构建的, 取值在 -1 和 1 之间。

$$NDBI = \frac{\rho_{MIR} - \rho_{NIR}}{\rho_{MIR} + \rho_{NIR}} \quad (1)$$

式中  $\rho_{MIR}$  与  $\rho_{NIR}$  分别为中红外波段和近红外波段图像像元的反射率或亮度值, 这里分别代表 TM 第 5 波段和第 4 波段的像元亮度值。

### 2.2.2 状态层指标

#### (1) 植被覆盖度

植被在生态系统能量流动、物质循环和信息传递的过程中起到先导作用。植被覆盖度是植物群落覆盖地表状况的综合量化指标, 同时也是生态环境、碳循环、水循环模型等的重要特征参量, 是区域生态环境评价的前提和必要基础, 因此本文借助植被覆盖度反映生态环境的现状指标。植被覆盖度利用混合像元分解模型中的像元二分模型反演求得<sup>[14]</sup>, 其基本原理如下:

$$f_c = \frac{(S - S_{soil})}{(S_{veg} - S_{soil})} \quad (2)$$

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (3)$$

$$f_c = \frac{(NDVI - NDVI_{soil})}{(NDVI_{veg} - NDVI_{soil})} \quad (4)$$

式中  $S_{soil}$  和  $S_{veg}$  分别代表纯土壤组分和纯植被组分的光谱信息, 其中,  $NDVI_{soil}$ ,  $NDVI_{veg}$  分别代表纯土壤像元和纯植被像元的 NDVI。

#### (2) 石漠化程度

岩溶地区是典型的生态环境脆弱区, 生态环境退化主要受石漠化的影响<sup>[15]</sup>。首先, 石漠化致使砾质含量增加, 水土保持能力减弱, 严重影响了土壤的理化性质; 其次, 地面大面积的裸露岩石也造成了土壤资源的进一步丧失; 再次, 石漠化也导致了地表植被退化, 植被覆盖度明显降低, 而且对植物群落也产生了巨大的影响, 最严重的是石漠化直接导致了土地生产力丧失, 使可利用的土地资源逐渐变成了难利用地, 最终变成石漠化土地而无法利用。

研究区域是受石漠化影响较为严重的区域, 退化程度以及退化面积都位居前列, 因此本文选择石漠化程度作为评价指标。石漠化程度是以基岩裸露率、土地利用、坡度、岩性作为指标因子<sup>[16]</sup>, 借助 GIS 的空间分析方法计算获得的。

#### (3) 生境质量指数

生境是生物的个体、种群或群落生活的地域环

境, 包括必须的生存条件和生境本身对生物起作用的生态因素, 生境质量直接反映了物种生长、繁殖所需的资源和条件潜力, 一个物种生境的好坏, 生物多样性的维持, 均是靠生境质量来衡量的<sup>[17]</sup>。InVEST 生物多样性模型由美国斯坦福大学、世界自然基金会和大自然保护协会联合开发, 可结合景观类型敏感性和外界威胁强度推算生境质量情况, 进而根据生境质量的优劣评估生物多样性<sup>[18]</sup>。本文借助 InVEST 模型计算生境质量指数来评价研究区的生物多样性特征, 模型输入参数包括景观类型、生境威胁因子、威胁源表(包括威胁强度、威胁距离等)和生境敏感性等。

### 2.2.3 响应层指标

#### (1) 城市热岛效应

景观响应层是指景观对当前环境压力的反映, 城市热环境是反映城市生态环境的重要指标, 其空间特征是城市景观相互作用的结果, 将城市热导效应应用到城市景观生态学理论中, 能够间接反映城市的景观生态安全状况, 本文结合 TM 影像的亮度温度来反演城市热导效应, TM 影像的亮度温度与地表温度有很强的相关性, 二者的拟合效果很好<sup>[19]</sup>。首先将数据的 DN 值转化为辐射亮度值 ( $L_b$ ), 其转换如公式(5)所示。

$$L_b = L_{min} + \frac{L_{max} - L_{min}}{255} DN \quad (5)$$

式中  $L_{max}$ 、 $L_{min}$  分别为该波段探测器可探测的最高和最低辐射值。  $L_{max} = 1.56 \text{ mw} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ,  $L_{min} = 0.1238 \text{ mw} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 。

利用辐射亮度转化为地物的亮度温度 ( $T_b$ ), 计算公式为:

$$T_b = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_b + 1)} \quad (6)$$

式中  $K_1$ 、 $K_2$  为常数,  $K_1 = 60.776 \text{ mw} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ,  $K_2 = 1260.56 \text{ mw} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ 。

#### (2) 自然灾害评价

研究区受地形地貌、地层岩性、地质构造、降雨及人类工程活动等的影 响, 使自然灾害频发, 自然灾害的发生对人类的生命、财产等构成了严重危害。因此, 自然灾害需作为城市生态安全的因子加以考虑。自然灾害评价基于水文地质、地形地貌、植被、气候等专题数据, 加以在历史灾害数据基础上, 采用解传根<sup>[20]</sup>提出的权重线性组合(WLC)模型的思想, 应用梯形模糊数加权(TFNW)方法计算二级指标的主观权重, 根据历史滑坡、泥石流的发生情况, 以信息熵权

理论计算一级指标的客观权重,最终制订了研究区关于滑坡、泥石流的灾害敏感性区划图。

### 2.3 景观生态安全评价方法

在本研究的生态系统景观安全评价体系中,各个指标之间的量纲不统一,彼此之间不具有可比性,直接空间叠加也不符合科学性,因此首先借助 IDL 将指标因子标准化,景观生态安全指标权重决定了指标因子在整个评价体系中的重要性,目前指标权重的确定方法包括:专家确定法、层次分析法、主成分分析法、

模糊评价法等,本研究采用的是层次分析法,该方法将复杂问题分解为若干层次和若干因素,具有客观性强,准确度高等特点,最终各层次的权重值如表 1 所示。

研究区的景观生态安全评价是基于 GIS 的空间叠加分析进行加权求和得到的。根据研究区的实际情况,参照国内外景观生态安全等级划分方法,确定本研究的生态安全状况分级采用非等间距划分方法<sup>[21]</sup>,最终确定的景观生态安全指数值和安全等级如表 2 所示。

表 2 贵阳市城市景观生态安全综合指数分级

Table 2 Criterion of integrative indexes of urban landscape ecological security assessment in Guiyang

指数值	<2.5	[2.5,3.5)	[3.5,4)	[4,5)	[5,7)	≥7
等级	病态	很不安全	不安全	临界	安全	很安全

## 3 结果分析

### 3.1 生态安全综合分析

#### 3.1.1 格局与结构分析

基于 PSR 模型,借助 ArcGIS 空间分析功能,按照分级原则得到贵阳市 2000、2013 年城市生态安全分布图(图 2、图 3),2000、2013 年的城市生态安全分布趋势大致相同,生态安全综合指数由西南向东北呈

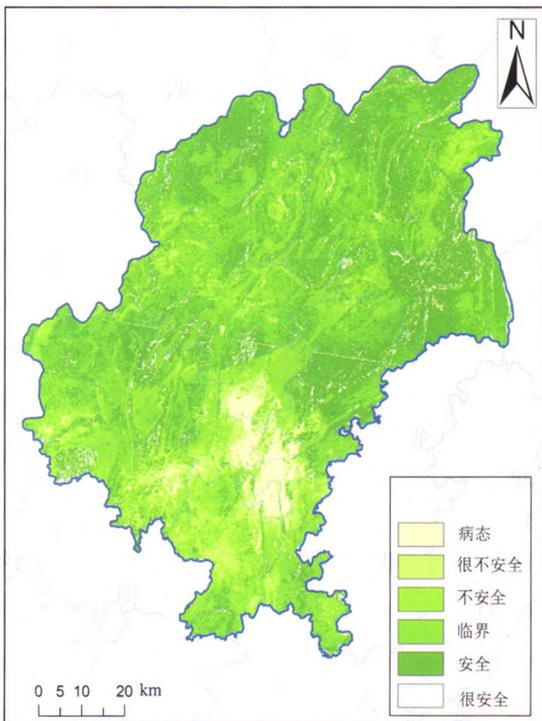


图 2 2000 年贵阳市城市生态安全等级分布图  
Fig. 2 Distribution of urban ecological security levels in 2000, Guiyang

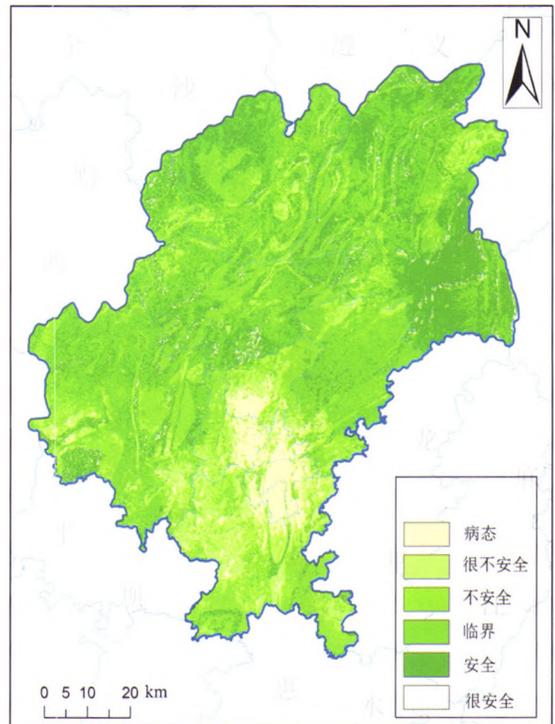


图 3 2013 年贵阳市城市生态安全等级分布图  
Fig. 3 Distribution of urban ecological security levels in 2013, Guiyang

现递增趋势,其中开阳县城市生态安全指数最高,贵阳市区范围内城市生态安全指数最低。

由于各地区面积不等,不能直接比较各地区生态安全累计值,因此为了对比各地区之间的差异,本研究将各个区域内的生态安全综合指数值进行标准化处理,结果如表 3 所示。由表 3 可知 2000 年和 2013 年生态安全等级中很安全级别的值最低,分别为 0.24

和0.12。2000年生态安全等级中安全级别比重最高为2.80,其次,临界级别值为2.47,病态级别也相对较高,为1.63。2013年生态安全等级最高的为不安全级别,值为2.59,其次为临界级别,值为2.47。对比各个县(区)可以发现,2000年开阳县、息烽县、乌当区、修文县和清镇市的生态安全级别相对较高,安全等级的值分别为0.61、0.49、0.48、0.36、0.33。南明区、云岩区的生态安全级别较低,其中病态的值分

别为0.67、0.60,生态安全威胁较大。花溪区和白云区、观山湖区的生态安全处于中等位置,生态安全等级主要分布在临界和不安全范围。2013年生态安全病态等级最高的区域仍旧是南明区、云岩区,这主要是由贵阳市政府搬迁,国家级经济开发区的建设引起的。生态安全级别为安全等级以上的区域为开阳县与修文县,其他县区生态安全等级均分布在临界和不安全等级范围内。

表3 景观生态安全分布

Table 3 Distribution of landscape ecological security

年份	等级	开阳县	息烽县	修文县	清镇市	乌当区	白云区	观山湖区	云岩区	南明区	花溪区	合计
2000	病态	0.00	0.00	0.01	0.02	0.06	0.18	0.03	0.60	0.67	0.06	1.63
	很不安全	0.02	0.02	0.04	0.07	0.05	0.17	0.15	0.13	0.12	0.14	0.91
	不安全	0.09	0.13	0.19	0.20	0.12	0.34	0.27	0.19	0.09	0.33	1.94
	临界	0.22	0.33	0.36	0.35	0.26	0.22	0.30	0.06	0.09	0.28	2.47
	安全	0.61	0.49	0.36	0.33	0.48	0.08	0.24	0.02	0.03	0.16	2.80
	很安全	0.06	0.03	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.03	0.24
2013	病态	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10	0.20	0.03	0.66	0.74	0.15	1.90
	很不安全	0.04	0.07	0.04	0.08	0.08	0.23	0.17	0.18	0.08	0.29	1.26
	不安全	0.14	0.25	0.19	0.28	0.23	0.40	0.46	0.13	0.12	0.39	2.59
	临界	0.31	0.37	0.40	0.39	0.48	0.12	0.23	0.02	0.05	0.10	2.47
	安全	0.48	0.30	0.33	0.21	0.10	0.05	0.11	0.01	0.01	0.06	1.66
	很安全	0.03	0.01	0.04	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.12

### 3.1.2 2000—2013年城市生态安全动态特征分析

将2000、2013年的城市生态安全结果借助 ArcGIS 进行叠加分析得到2000—2013年贵阳市城市生态安全变化图(图4),将生态安全等级变化在一个级别范围内的定为优/劣化区,变化级别在两个等级的为强优/劣化区,三个等级以上的为极强优/劣化区。从图4可知贵阳市各个地区均有不同程度的变化,城市生态安全变化具有空间分异性。优化区主要分布在西南地区的清镇市和西北地区的修文县与息烽县,劣化区主要体现在东南地区的花溪区、乌当区,整体呈现西部地区的城市生态安全高于东部地区。对2000—2013年间的城市生态安全变化数据进行统计(图5)可知,劣化区所占比例明显高于优化区。经计算,生态安全变化的面积占总面积的27.89%,其中极强劣化区为0.15%、强劣化区为2.58%、劣化区为20.10%,优化区为4.55%、强优化区为0.46%、极强优化区为0.05%。从生态安全面积变化的数值来看,贵阳市的生态安全处于恶化趋势。

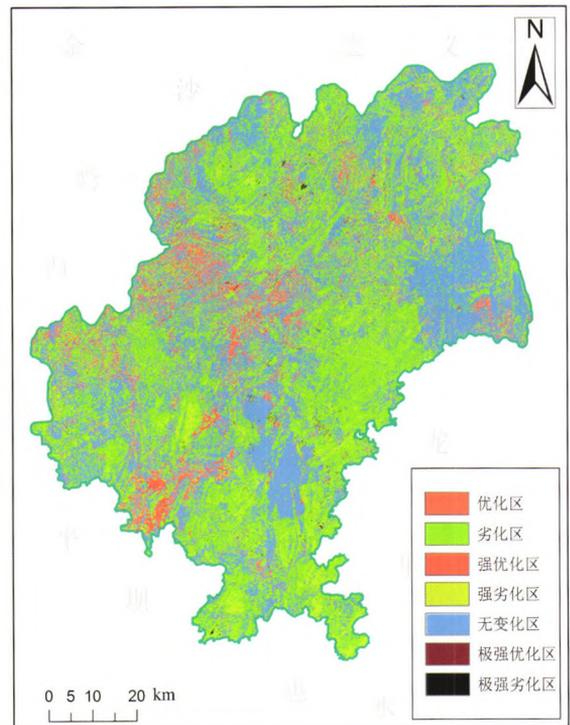


图4 2000—2013年贵阳市城市生态安全等级变化图

Fig. 4 Urban ecological security changes from 2000 to 2013, Guiyang

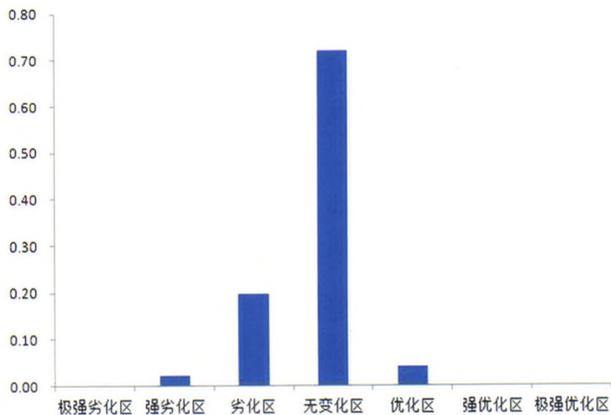


图 5 2000—2013 年贵阳市城市生态安全变化等级所占比例图

Fig. 5 Proportions of urban ecological security change levels from 2000 to 2013, Guiyang

### 3.2 生态安全评价

贵阳市的土地利用数据是基于面向对象的方法对其进行提取的<sup>[22]</sup>。将土地利用数据与城市生态安

全数据进行叠加分析,统计不同等级的景观类型生态安全结果,然后对结果进行标准化处理,标准化后结果如图 6 所示。

由图 6 可知不同生态安全等级的景观类型分布具有差异性,除城镇以外的其他景观类型主要集中在不安全、临界和安全等级中,城镇在病态级别分布较多,2000 年和 2013 年病态级别中城镇所占比例分别为 0.78 和 0.87,且随着安全等级的升高所占的比例逐渐减少。农田景观在安全等级以上有所降低,其他等级有所增加但整体变化趋势不大,草地景观、森林景观和灌丛景观的变化趋势大致相同,在安全等级减少的幅度和在不安全等级范围内增加的幅度均较高,变化较为剧烈,也是生态安全等级变化的主体部分,湿地景观类型生态安全等级有明显好转,在安全等级范围内又有明显提高,由 0.19 增加到 0.39,在很不安全等级范围内有明显降低,由 0.55 减少到 0.11,是在整体恶化趋势中唯一改善的生态系统类型。

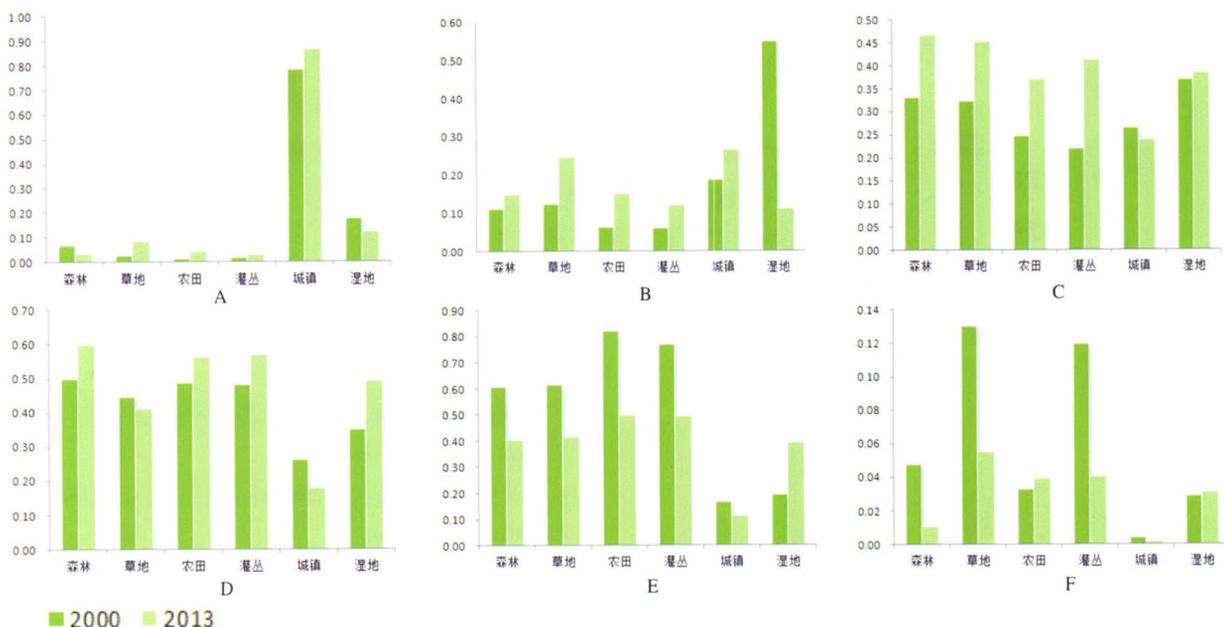


图 6 贵阳市不同等级的各景观类型生态安全指数统计图

Fig. 6 Statistics of different levels of ecological security indexes for various landscape types, Guiyang

注: A—F 依次表示为病态、很不安全、不安全、临界、安全、很安全。

由图 7 可知,景观类型变化最明显的为农田,由原来的 0.43 减少为 0.29,森林面积有所增加,增加幅度为 0.11,城镇面积由 0.03 增加到 0.06,草地、灌丛和湿地整体变化不大。其主要原因是在贵阳市城市化进程中,城市建筑用地面积不断扩张,部分耕地被占用,而森林面积增加主要是退耕还林、石漠化治理等相关工程取得了成效。对生态安全景观类型在安全级别以上的数据进行统计得到图 8 的雷达图,由

图可知在 2000—2013 年间,城市生态安全值在除湿地以外的其他景观类型中均有下降趋势,其中灌丛下降幅度最大,由 0.89 减小到 0.53,净减少量为 0.36,其次是农田,减少量为 0.32,草地、森林和城镇的净减少量分别为 0.27、0.24、0.05,其主要原因是在贵阳市城市化进程中,城市建筑用地面积不断扩张,侵占了城市绿地及周边的耕地,在研究区范围内森林的面积虽然有增加,但因为城镇建设和路网建设,使森

林景观及生态廊道的破碎化现象十分严重,导致森林景观系统的结构、功能降低,从而使得森林、农田、草地安全水平下降。由于建筑用地增多,城市植被相对减少,建筑用地的生态安全也随之下降。另一方面,湿地是唯一生态安全值增加的景观类型,由0.22增加到0.42,净增长量为0.20。因此,在贵阳市今后的城市发展规划建设中,应重点保护城市周边的林地,逐步减轻生态环境压力。

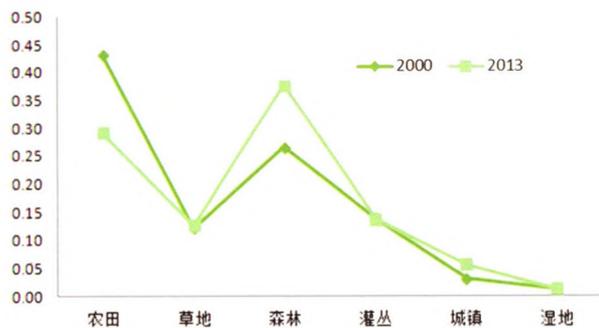


图7 2000、2013年贵阳市各景观类型面积比例变化图  
Fig. 7 Changes of proportions of landscape type area in 2000 and 2013, Guiyang

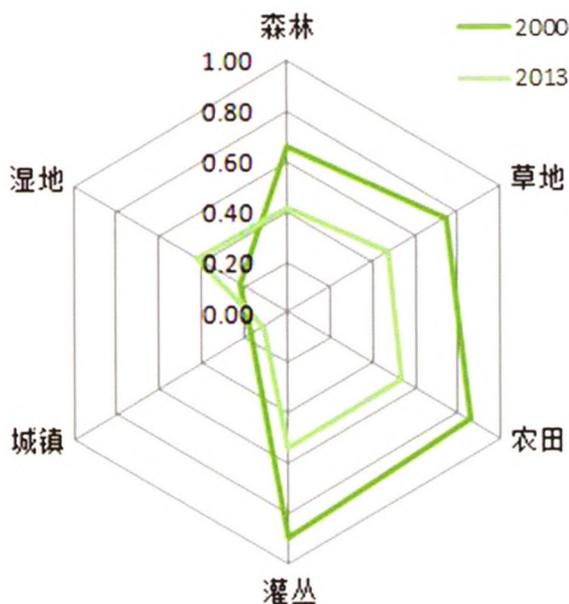


图8 2000、2013年贵阳市景观类型对应生态安全指数雷达图  
Fig. 8 Landscape type radar diagram of corresponding ecological security indexes in 2000 and 2013, Guiyang

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

(1)2000年、2013年贵阳市城市生态安全均处于较低水平,且空间分布差异较大。2000年的生态安

全级别以“安全”“临界”为主,而2013年则以“临界”“不安全”为主,出现了一定程度的恶化,整体呈现西部地区的城市生态安全高于东部地区,动态变化较为明显。

(2)2000—2013年间,除了湿地以外,其他景观类型生态安全级别均有下降趋势,其中农田生态安全级别恶化较为明显,湿地是唯一改善的生态系统类型,所以对生态安全指数较低的城市中心区域要重点优化,对生态安全指数较高的清镇市、修文县和息烽县等区域要重点保护,最终实现整个贵阳市生态环境的健康、安全发展。

### 4.2 讨论

本文所构建的生态安全模型已被广泛用于生态安全评价,但选取的指标明显少于以往的研究,主要原因在于以往的研究多基于统计数据,忽略了指标的空间特征,本文重点揭示了城市生态安全的空间可视化结果,因此在指标获取时需要重点考虑指标能否空间化,已尽可能做到在不同层次选取当前研究较为深入且具有代表性的指标,但仍会存在主观性和片面性,因而在今后研究中需选取更全面的指标进行评价。

### 参考文献

- [1] 邹长新,沈渭寿.生态安全研究进展[J].农村生态环境,2003,19(1):56—59.
- [2] 崔胜辉,洪华生,黄云凤,等.生态安全研究进展[J].生态学报,2005,25(4):861—868.
- [3] 陈星,周成虎.生态安全:国内外研究综述[J].地理科学进展,2005,24(6):8—20.
- [4] 俞孔坚,王思思,李迪华,等.北京市生态安全格局及城市增长预测[J].生态学报,2009,29(3):1189—1204.
- [5] 易武英,苏维词.基于RS和GIS的乌江流域生态安全度变化评价[J].中国岩溶,2014,33(3):308—318.
- [6] 魏兴萍.重庆市生态安全评价[J].中国岩溶,2010,29(2):145—151.
- [7] 张鹏,丘萍.岩溶地区旅游生态安全评价及趋势分析:以广西为例[J].中国岩溶,2014,33(4):483—489.
- [8] 龚建周,夏北城.城市生态安全水平的空间分异与动态转移特征:以广州市为例[J].生态环境学报,2009,18(1):210—215.
- [9] 俞孔坚.生物保护的景观生态安全格局[J].生态学报,1999,19(1):8—15.
- [10] Qian H B, Xue Y S, Tian Y J. An overview of land resources rational use and assessment [J]. China Land Science, 2001, 15(4):14—19.

- [11] 李中才,刘林德,孙玉峰,等. 基于 PSR 方法的区域生态安全评价[J]. 生态学报, 2010, 30(23): 6495—6503.
- [12] 吕敬堂, 吕大明, 刘海萍. 贵阳市生态环境资源承载能力分析[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(2): 24—28.
- [13] 查勇, 倪绍祥, 杨山. 一种利用 TM 图像自动提取城镇用地信息的有效方法[J]. 遥感学报, 2003, 7(1): 37—40.
- [14] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院, 2003.
- [15] 李丽, 刘晓东, 梅再美. 岩溶石漠化地区土地利用/覆被变化及驱动力因素研究: 以贵州省安龙县 2000~2010 年为例[J]. 贵州科学, 2015, 33(2): 75—81.
- [16] 岳跃民, 张兵, 王克林, 等. 石漠化遥感评价因子提取研究[J]. 遥感学报, 2011, 15(4): 722—736.
- [17] 李文杰, 张时煌. GIS 和遥感技术在生态安全价值与生物多样性保护中的应用[J]. 生态学报, 2010, 30(23): 6674—6681.
- [18] 王瑞. 贵州省生物多样性时空特征与 GAP 分析[D]. 贵州: 贵州师范大学, 2014.
- [19] 岳文泽. 基于遥感影像的城市景观格局及其热环境效应研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [20] 解传根. 基于权重模型的滑坡灾害敏感性评价[J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2011, 42(6): 1772—1779.
- [21] 虞继进, 陈雪玲, 陈绍杰. 基于遥感和 PSR 模型的城市景观生态安全评价: 以福建省龙岩市为例[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(1): 143—149.
- [22] 李雪冬, 杨广斌. 利用影像尺度响应进行城市扩张变化检测[J]. 山地学报, 2013, 32(3): 293—299.

## Evaluation of urban landscape ecological security in karst areas based on 3S technologies: An example of Guiyang City

LI Xue-dong<sup>1,2</sup>, YANG Guang-bin<sup>1</sup>, ZHOU Yue<sup>1</sup>, LI Bing<sup>3</sup>, ZHANG Xu-ya<sup>4</sup>

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

2. School of Geographical Science, Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130024, China;

3. College of Science, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China;

4. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China)

**Abstract** Accelerated urbanization and high-intensity exploitation of resources have brought serious impact on the natural ecosystem and the quality of urbanization. Previous studies on this issue focus on grasslands, watersheds, wetlands, and mountains, while the ecological vulnerable karst regions receive little attention. At the same time, the selected indicators are based on statistical data which ignore the spatial differentiation characteristics, which is not favorable to regional comparative studies and lacks visualization effects. Guiyang, the capital city of Guizhou Province, located in a typical karst region, is an ideal area for this research, because ecological environments, rocky desertification and severe degradation characterize in this city. Besides, the city lacks arable land and has high population pressure and extensive pattern of economic development, forcing the urbanization process to accelerate and in turn increase the urban ecological security threat. This study is based on the theory of landscape ecology, using the "pressure-state-response (PSR)" model to build an urban landscape ecological security evaluation system of karst areas. The evaluation indexes include population pressure, urban sprawl, vegetation fractional coverage, the degree of rocky desertification, habitat quality index, urban heat-island effect and natural hazards. By comparing and analyzing the spatial distribution and evolution characteristics using multi-temporal of remote sensing data and GIS technology, this work obtains urban ecological security levels distribution in 2000 and 2013 for Guiyang City. The results show that the ecological security index of Guiyang City was relatively low in 2000 and 2013, with 3.04 more than the level of security in 2000 and 1.78 in 2013. In terms of spatial distribution, the security index tended to increase from southwest to northeast. The variation map of urban ecological security between 2000 to 2013 is obtained via superposition analysis by ArcGIS, in which the ecological security change area accounted for 27.89% of the total. The extremely strong degradation area is 0.15%, strong degradation area is 2.58% and the degradation area 20.10%; and the optimization area and strong optimization area are 4.55% and 0.46%, respectively. Moreover, classification of landscape types is done using the object-oriented method in the research. Next, this work overlays the classification results and urban ecological security data, and

