

# 基于 PSR 模型的广西石漠化地区 土地生态安全动态评价

谢玲<sup>1,2,3</sup>, 严土强<sup>1</sup>, 高一薄<sup>3</sup>

[1. 广西师范大学 环境与资环学院, 广西 桂林 541004; 2. 岩溶生态与环境变化研究广西高校  
重点实验室(广西师范大学), 广西 桂林 541004; 3. 新疆大学 资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046]

**摘要:** [目的] 对广西壮族自治区轻度及以上石漠化地区进行土地生态安全评价, 为该区土地生态安全及其可持续发展提供科学参考。[方法] 基于 PSR 模型构建了广西石漠化地区土地生态安全评价指标体系, 采用熵权赋权法确定权重, 运用生态安全综合模型, 对研究区 2005、2015 年的土地生态安全综合指数进行计算。[结果] 广西石漠化地区土地生态安全主导因素为人口密度、单位 GDP 综合耗能、土地垦殖率、耕地粮食单产、城市化水平、人口自然增长率等因素; 压力指数、状态指数和响应指数共同决定广西石漠化地区土地生态安全评价的综合指数; 从时间上看, 2005—2015 年广西石漠化地区土地生态安全经历了从临界安全等级向较安全等级的变化趋势, 土地生态安全的状况主要因响应状态系统的提升, 而使得综合土地生态安全指数有所上升。从空间上看, 2005 年贵港地区的土地生态安全等级处于不安全级, 2015 年南宁、贵港、来宾等地区的土地生态安全等级处于较不安全级。[结论] 广西石漠化地区的土地生态安全略有上升, 但受压力和状态子系统承载力水平的限制, 研究区的土地生态安全仍处于中等水平, 需要进一步加强土地生态安全建设。

**关键词:** PSR 模型; 土地生态安全; 石漠化地区; 广西壮族自治区

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2018)06-0315-07

**中图分类号:** F302.2

**文献参数:** 谢玲, 严土强, 高一薄. 基于 PSR 模型的广西石漠化地区土地生态安全动态评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 315-321. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.048. Xie Ling, Yan Tuqiang, Gao Yibo. Dynamic evaluation of land ecological security in rocky desertification mountainous area of Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(6): 315-321.

## Dynamic Evaluation of Land Ecological Security in Rocky Desertification Mountainous Area of Guangxi Zhuang Autonomous Region

XIE Ling<sup>1,2,3</sup>, YAN Tuqiang<sup>1</sup>, GAO Yibo<sup>3</sup>

[1. School of Environment and Resources, Guangxi Normal University,

Guilin, Guangxi 541004, China; 2. University Key Laboratory of Karst Ecology and

Environmental Change of Guangxi Province (Guangxi Normal University), Guilin, Guangxi 541004,

China; 3. College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China]

**Abstract:** [Objective] The status of land ecological security development in the light-to-severe rocky desertification mountainous area of Guangxi Zhuang Autonomous Region was studied in order to provide scientific reference for land ecological security and its sustainable development in study area. [Methods] Based on PSR model, and from three aspects including pressure, state and response, this paper constructed a land ecological security early-warning index system for the light-to-severe rocky desertification mountainous area of Guangxi Zhuang Autonomous Region. The entropy weight method and the integrated model of ecological security were used to calculate the comprehensive index of land ecological in 2005 and 2015 in study area. [Results] The main affecting factors of land ecological security in the rocky desertification mountainous area of Guangxi Zhuang

收稿日期: 2018-05-02

修回日期: 2018-06-29

资助项目: 广西师范大学青年基金项目“广西部分贫困地区乡村聚落的演变和空间优化问题研究”(201517A4); 广西高校重点实验室基金项目“广西石漠化地区土地利用/覆被变化与生态优化调控研究”(YRHJ16Z016); 广西高校中青年教师基础能力提升项目(2018KY0059)

第一作者: 谢玲(1990—), 女(汉族), 新疆维吾尔自治区库尔勒市人, 博士生, 助教, 主要从事区域规划与开发方面的工作。E-mail: 1428375964@qq.com.

Autonomous Region were the population density, the integrated energy consumption per unit of GDP, the land cultivation rate, the per unit area yield of grain, the urbanization level, the natural population growth rate. Pressure index, state index and response index jointly determined the comprehensive index of land ecological security evaluation in the rocky desertification mountainous area. With respect to time differentiation, from 2005 to 2015, the land ecological security in the rocky desertification mountainous area had changed from critical level to mainly relatively safe level over the past 10 years, the situation of land ecological security was mainly due to the improvement of the response state system, which made the comprehensive land ecological security index increased. With respect to spatial differentiation, the land ecological security was the lowest in 2005, and the level of land ecological security was at a relatively unsafe level in Nanning, Guigang, Laibin areas in 2015. [Conclusions] Although the land ecological security in the rocky desertification mountainous area of Guangxi Zhuang Autonomous Region raised slightly, limited by the level of carrying capacity of pressure and state subsystem, the land ecological security of the study area is still at an intermediate level, the construction of land ecological security needs to be further strengthened.

**Keywords: PSR model; land ecological security; the rocky desertification mountainous area; Guangxi Zhuang Autonomous Region**

土地生态安全是指在一定的时空范围内,土地生态系统能保持其结构与功能的健康、平衡、可持续状态,并为社会经济与农业可持续发展提供稳定保障<sup>[1]</sup>。因此,土地生态安全是土地生态系统可持续发展的核心和基石。人类对土地利用的方式和变化,直接影响着土地生态系统的健康<sup>[2]</sup>。尤其是在岩溶强烈发育的喀斯特地区,生态环境极其脆弱,石漠化便是其土地生态系统破坏的表现形式之一<sup>[3-4]</sup>。广西壮族自治区位于中国西南喀斯特地区,属于世界三大连片岩溶发育区之一的东亚片区中心,是世界上面积分布最大、发育最为强烈的一片<sup>[5]</sup>。该区石漠化(轻度石漠化及其以上)土地面积多达  $2.73 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占广西区总国土面积的 11.5%<sup>[6]</sup>。因石漠化地区土地生态系统的敏感性,所以石漠化地区土地生态安全的研究对其土地生态系统的平衡、土地资源的合理利用都具有重要意义。土地生态安全的评价是进行区域土地生态系统研究的重要部分<sup>[7]</sup>。近年来国内外学者对土地生态安全研究极为关注和重视,关于土地生态系统安全研究主要集中于基础理论探索<sup>[8]</sup>、评价指标体系选择<sup>[9]</sup>、评价方法创新<sup>[10]</sup>等方面,研究方法主要有灰色关联度法<sup>[11]</sup>、层次分析法<sup>[12]</sup>、熵权物元模型<sup>[13]</sup>、三角模型<sup>[14]</sup>、主成分分析法<sup>[15]</sup>、生态足迹法<sup>[16]</sup>、RBF 模型<sup>[17]</sup>等,研究尺度涉及省域<sup>[18]</sup>、市域<sup>[19-20]</sup>、县域<sup>[7]</sup>、乡镇域<sup>[21]</sup>、村域<sup>[22]</sup>,研究区域涉及干旱区绿洲<sup>[23]</sup>、三峡库区<sup>[24]</sup>、沿海地区<sup>[25]</sup>、农牧交错带<sup>[26]</sup>、寒地山区<sup>[27]</sup>、黄土高原<sup>[28]</sup>、城市群城市<sup>[11]</sup>等,但鲜少对石漠化地区的土地生态安全进行研究,尤其是对石漠化较为严重的生态敏感区土地生态安全研究甚少。然而,中观尺度的土地生态安全演变研究,更能够从整体上把握广西石漠化地区的土地生态安

全状况,筑牢土地生态安全屏障,服务生态文明建设。因此,本文选取广西轻度石漠化以上的区域(包括轻度、中度、重度)作为研究区(以下简称石漠化地区),对其土地利用变化和土地生态风险进行时空分析,以期与研究区的土地生态建设及管理提供科学依据。

## 1 研究区概况

广西壮族自治区是喀斯特地貌发育的典型地区,是我国石漠化最为严重的省份之一。广西喀斯特地貌主要分布在桂西、桂西北的左江、右江流域,桂中的红水河、柳江流域及桂东北的漓江流域中下游,以河池、百色、崇左、桂林、南宁地区发育最为普遍,轻度及以上石漠化地区面积各市分别占 8 277.34, 5 574.46, 2 791.55, 2 742.79, 2 410.2  $\text{km}^2$ 。本文所选研究区域为广西轻度及以上石漠化区域,共涉及 10 地市 69 个区县,占地面积 18.3  $\text{km}^2$ 。研究区位于北纬  $23^{\circ}22' - 26^{\circ}24'$ ,东经  $104^{\circ}26' - 112^{\circ}04'$ ,年均气温  $16 \sim 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水 1 500 mm,气候属亚热带季风气候区。研究区地表受红水河、郁江、柳江及其支流的强烈切割,属于黔桂溶洼、粤桂溶原侵蚀山区,喀斯特发育典型,石漠化程度较深,地表出现干旱缺水,岩石裸露,植被稀疏,伴随水土流失、土地生产能力衰退或丧失。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

研究社会经济数据主要以《广西统计年鉴》(2005, 2015 年)、《广西政府统计公报》(2005, 2015 年)、《市县国民经济和社会发展统计公报》(2005, 2015 年),全国地质资料馆国家地质资料数据中心 (<http://www.ngac.org.cn>)

## 2.2 指标体系构建

参照世界经济合作与发展组织(OECD)和联合国环境规划署(UNEP)所提出的“压力—状态—响应”(pressure-state-response, PSR)模型,结合广西石漠化地区生态敏感性特点与土地生态状况实际情况,遵循科学性、综合性、动态性、指标数据可获取性及可操作性原则,选取 14 个评价因子构建广西石漠化地区土地生态安全评价指标体系详见表 1。

表 1 广西石漠化地区土地生态安全评价指标体系

目标层	综合层	指标层	指标属性	权重
压力		人口密度/人/km <sup>2</sup>	逆	0.073 8
		人口自然增长率/%	逆	0.073 6
		经济密度/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	正	0.050 9
		人均 GDP/元	正	0.072 4
土地资源生态安全	状态	人均耕地面积/hm <sup>2</sup>	正	0.072 5
		土地垦殖率/%	逆	0.073 1
		耕地粮食单产/(t·hm <sup>-2</sup> )	逆	0.073 4
		人均粮食单产(kg/人)	逆	0.073 0
		城市化水平/%	正	0.073 5
		GDP 增长率/%	正	0.073 1
响应		第三产业占 GDP 的比重/%	正	0.072 8
		财政收入/万元	正	0.067 3
		农民纯收入/元	正	0.071 9
		单位 GDP 综合耗能(10 <sup>4</sup> kW·h/万元)	逆	0.073 6

## 2.3 土地生态安全计算

2.3.1 指标阈值与标准化 综合评价必须在统一的量纲和标准下进行,因此需要对各个指标实际值作标准化处理。根据指标因子的特点,评价指标分为正向型指标、逆向型指标两种类型,标准化方法为:

$$\text{正向型指标: } R_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (1)$$

$$\text{逆向性指标: } R_{ij} = \frac{\max(X_{ij}) - X_{ij}}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \quad (2)$$

式中:  $\max X_{ij}$ ,  $\min X_{ij}$ ——第  $j$  项指标的最大值与最小值;  $X_{ij}$ ——第  $i$  年的第  $j$  个指标的原始实际值;  $R_{ij}$ ——指标标准化值。

2.3.2 熵权法确定权重 确定权重的方法主要分为主观赋权法和客观赋权法,在对广西石漠化地区土地生态安全评价指标赋权时,为尽量减小各指标权重计算,因人为因素干扰带来的误差,使其更符合实际,采用熵权赋权法并对其修正,以确定各指标权重。熵权法是一种根据各指标的信息量大小来确定权重的方法,在处理土地生态安全评价指标时,熵值法更准确

更客观<sup>[29]</sup>,本研究土地生态安全指标权重的计算步骤为:

计算第  $i$  个指标下第  $j$  个项目指标值的比重  $F_{ij}$ :

$$F_{ij} = \frac{R_{ij}}{\sum_{j=1}^m R_{ij}} \quad (3)$$

由于在上式中,当  $R_{ij}=0$  时,原式无意义,因此,对  $F_{ij}$  的计算加以修正,将其定义为:

$$F_{ij} = \frac{1+R_{ij}}{\sum_{j=1}^m (1+R_{ij})} \quad (4)$$

第  $i$  个指标的熵值  $E_i$  为:

$$E_i = \ln(m)^{-1} \sum_{j=1}^m F_{ij} \ln F_{ij} \quad (5)$$

第  $i$  个指标的熵权  $\omega_i$  为:

$$\omega_i = \frac{1+E_i}{n - \sum_{i=1}^m E_i} \quad (0 < \omega_i \leq 1, \sum_{i=1}^m \omega_i = 1) \quad (6)$$

### 2.3.3 土地生态安全评价基准值及安全指数

(1) 土地生态安全评价基准值的确定。基准值的来源主要为目前国际公认值和世界平均值<sup>[30]</sup>,考虑到我国土地生态环境的特点和研究区域的实际情况,部分指标的基准值采用了全国平均值和地区平均值(表 2)。

表 2 广西石漠化地区土地生态安全评价基准值

指标名称	标准值/ $N_i$	指标标准 确定依据
人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	128.78	国际公认数值
人口自然增长率/%	7.20	全国平均数值
经济密度/(万元·km <sup>-2</sup> )	98.28	全国平均数值
人均 GDP/元	7 543	全国平均数值
人均耕地面积/(hm <sup>2</sup> /人)	0.053	国际公认数值
土地垦殖率/%	10.74	广西平均数值
耕地粮食单产/(t·hm <sup>-2</sup> )	4.91	广西平均数值
人均粮食单产/(kg/人)	420	全国平均数值
城市化水平/%	60	国际公认数值
GDP 增长率/%	19.62	广西平均数值
第三产业占 GDP 的比重/%	33.60	全国平均数值
财政收入/万元	24 492	广西平均数值
农民纯收入/元	3 255	全国平均数值
单位 GDP 综合耗能(10 <sup>4</sup> kW·h/万元)	0.107 0	广西平均数值

(2) 土地生态安全指数。区域土地资源生态环境安全评价,要基于安全的视角进行,故使用“安全指数”来反映土地资源生态环境安全的程度和水平。同时,为了数据处理方便,需要把数据映射到 0~1 范围之内。本研究采用以下计算方法进行归一化处理,并计算出安全指数值(表 3)。

表 3 单项指标的生态安全分类计算

指标属性	如果	那么
正向性指标	$M_i \geq N_i$	$P_i = 1$
	$M_i < N_i$	$P_i = M_i / N_i \times 100\%$
负向性指标	$M_i \leq N_i$	$P_i = 1$
	$M_i > N_i$	$P_i = N_i / M_i \times 100\%$
土地生态单指标安全值数学模型		$S_i = P_i \omega_i$

注:  $M_i$  为指标  $i$  的实际值;  $N_i$  为指标  $i$  的基准值;  $P_i$  为指标  $i$  的安全指数,  $P_i \in (0, 1)$ 。

本研究采用综合评价法, 利用土地资源生态安全评价模型计算得到广西石漠化地区土地生态安全综合指数(表 4)

$$Q = \sum_{i=1}^n P_i \omega_i \quad (7)$$

表 5 土地生态安全评价预警分级

生态安全等级	不安全	较不安全	临界安全	较安全	安全
生态安全指数	0.719 0~0.772 6	0.772 7~0.826 4	0.826 5~0.879 8	0.879 9~0.933 4	0.933 5~0.987 0

### 3 结果分析

本文由压力—状态—响应体系, 研究广西石漠化地区 2005, 2015 年土地生态安全, 研究结果显示, 研究区土地生态安全指数介于 0.768 4~0.902 5, 且从 2005—2015 年广西石漠化地区的土地生态安全指数变化存在差异, 其安全等级变化如图 1 所示, 2005 年其中贵港土地生态安全处于不安全状态, 至 2015 年研究区土地生态安全已无不安全等级, 其中贵港、南宁、来宾三地土地生态安全处于较不安全状态。但较为反常的是南宁市的土地生态安全综合指数从 2005 年的 0.871 3 下降至 2015 年的 0.811 3, 百色、河池两地的土地生态安全有较大提升。研究期内广西石漠化地区土地生态安全整体呈上升的变化趋势, 由此可以说明研究区土地生态安全整体水平略有提升。由表 1 可知, 影响广西石漠化地区土地生态安全的主要因素包括: 人口密度、人口自然增长率、单位 GDP 综合耗能, 其熵值权重均大于 0.073, 近年来随着人口数量的增长, 城市建成区面积的扩张, 人类对土地开发建设强度和干扰程度的增大, 必然会侵占其它生态服务功能较高的土地如林地、耕地、草地等地类, 同时也带来了诸多土地生态问题。

#### 3.1 土地利用生态压力指标评价分析

由表 5 和图 1 可知, 2005, 2015 年广西石漠化地区土地生态安全系统的压力指数整体低于系统状态指数与系统响应指数, 仅南宁 2015 年的土地生态安全系统压力指数大于 2005 年土地生态安全系统压力

式中:  $Q$ ——土地生态安全综合指数;  $\omega_i$ ——第  $i$  项指标的权重;  $P_i$ ——第  $i$  项土地生态安全指数。

表 4 广西石漠化地区土地生态安全综合指数

年份	压力指数	状态指数	响应指数	综合指数
2005	0.241 0	0.283 3	0.288 1	0.811 2
2015	0.248 8	0.295 9	0.306 3	0.851 0

#### 2.4 土地生态安全评级指标的划分

运用 ArcGIS 10.0 中的自然断点分类工具对广西石漠化地区土地生态安全指数进行分类, 再综合空间信息点对应的土地生态安全指数值, 并对自然断点分类结果进行适当调整, 得出广西石漠化地区土地生态安全评价等级标准(表 5)。

指数外, 广西石漠化地区土地生态系统整体压力综合指数由 2005 年的 0.241 0 上升至 2015 年的 0.248 8, 表明研究区土地生态安全面临的压力略微增大, 百色、崇左两地土地生态压力指数明显增大, 主要因两地随着人口密度由 2005 年的 108 人/ $\text{km}^2$ , 139 人/ $\text{km}^2$  增至 121 人/ $\text{km}^2$ , 150 人/ $\text{km}^2$ , 人口自然增长率的增大也对土地生态承载压力进一步加大, 同时两地经济发展的相关压力指标经济密度增长迅速, 表明随着单位土地面积经济量的增长, 使得土地经济压力进一步增大。此外, 研究区的人均 GDP 不断上升, 由 2005 年均值的 7 199 元增至 2015 年均值的 27 971 元, 高于 7 543 元的全国平均水平, 客观上为广西石漠化地区的土地生态环境的建设提供了更多的经费, 对土地生态系统安全水平的改善起到了积极的促进作用。相对来说桂林、柳州、贺州、梧州等地 10 a 间土地生态压力变化不是非常明显。

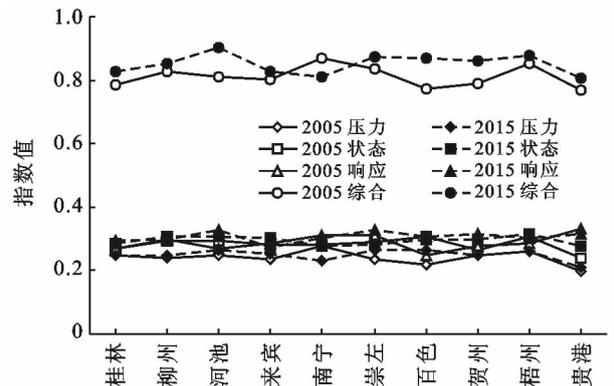


图 1 广西石漠化地区土地生态安全指数

### 3.2 土地利用生态状态指标评价分析

2005 和 2015 年研究区的土地安全状态指数几乎保持不变,尤其是 2015 年研究区各地土地生态状态指数差异极小,其中 2005 年和 2015 年梧州土地生态状态指数均为最高分别达 0.307 7 和 0.315 2,说明其土地生态环境状况良好。贵港土地生态安全指数最低为分别为 0.240 9 和 0.278 9,说明其土地生态环境状况较差。研究期间,广西石漠化地区的土地垦殖率由 2005 年的 10.75% 增至 2015 年的 16.68%,反映出研究区土地资源利用程度和结构的优化,是土地生态安全提升的标志。其次,评价期内,城市化率由 2005 年的 15.8% 上升至 2015 年的 30.56%,城市的不断壮大城市建成区面积的扩展,使得城市土地生态环境面临着严峻的挑战;耕地粮食单产由 2005 年的 4.93 kg/人下降至 2015 年的 3.89 kg/人,这是土地生态能力下降的标志之一;耕地人均粮食单产由 2005 年的 312.41 kg/人下降至 2015 年的 313.08 kg/人,这主要是因为人口增加所导致的,由此可以看出,2005—2015 年粮食产量的变化对土地生态系统状态的影响较大,且土地利用生态状态指数因指标层各指标变化对土地生态系统状态影响各异,因此,2005,2015 年土地生态状态指数差异极小。同时区域间又存在显著差异,贺州地区的土地生态状态指数有明显上

升趋势,南宁、崇左两地的土地生态状态指数出现下降趋势,说明两地土地生态状态有变差的趋势。

### 3.3 土地利用生态响应指标评价分析

土地生态安全响应指数反映人类在面临土地生态压力所采取的相应措施。由图 2 可知,2005 和 2015 年广西石漠化地区土地生态系统响应指数普遍增大,南宁、来宾、贵港 3 地的土地生态系统响应指数有所降低,这主要与 3 市的土地生态系统面临的压力增大及土地生态状态变差程度较大,且所采取的相应措施远远不及土地生态系统的破坏速度所致。第三产业占 GDP 的比重由 2005 年的 31.83% 上升至 2015 年的 36.5%,财政收入由 2005 年的 24 304 元增至 2015 年的 90 391 元,年均增幅达 15%,农民纯收入由 2005 年的 2 302 元增至 2015 年的 8 253 元,由土地生态响应指标的变化可见,经济的快速发展,有效的推动了研究区土地生态系统的保护。10 a 间研究区的土地生态响应指数相对于压力指数和状态指数的变化最大,从 2005 年的 0.288 1 上升至 2015 年的 0.306 3,这也是研究区土地生态安全综合指数上升的主要原因,其土地响应指数变化地区间同样存在差异性,且河池、百色两地的土地生态响应指数有较大提升,总体来说,广西石漠化地区解决土地生态安全系统问题的能力在不断提升。

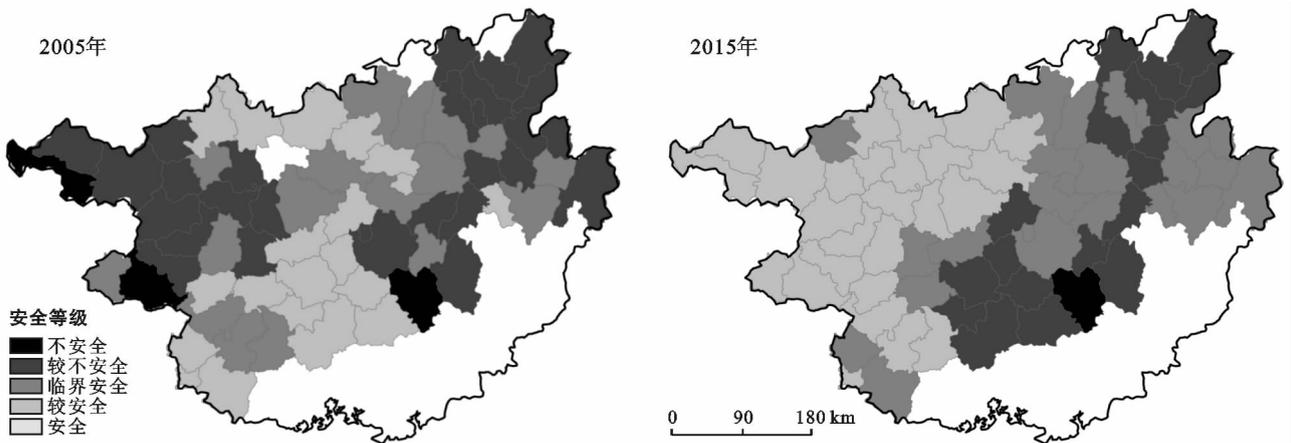


图 2 2005、2015 年广西石漠化土地生态安全格局

### 3.4 各市/县土地生态安全空间差异分析

对 2005,2015 年广西石漠化地区土地生态安全状况进行评价,得到各指标的权重及参考相关研究确立土地生态安全评价基准值,得出研究区 69 个市/县的土地生态安全指数,并依据得分和土地生态安全评价预警表(表 4),得出研究区土地生态安全格局图(图 2)。由图 2 可知,从 2005—2015 年广西石漠化地区土地生态安全指数略有上升,桂西南生态功能区、

桂西生态屏障区的土地生态安全有所上升,上述两区承载石漠化治理、生物多样性保护及恢复林草植被为主的生态建设功能为主,因此,其土地生态安全有所提升。桂北、桂中城镇群随城市化进程的加快,城市发展对土地生态环境的压力过大,负面效应凸显,土地生态安全较差。2005 年广西石漠化地区土地生态安全表现出中间较好,东西部较差;2015 年河池、百色两地的土地生态安全处于较安全级,贵港、南宁、桂

林、来宾等地的土地生态安全处于较不安全级,十年间,广西石漠化地区土地生态安全空间格局变化较大,变化最大的是西北的河池、百色及南部的南宁,分别由较不安全等级过渡至较安全等级和较安全等级过渡至较不安全等级,中北部及东部的土地生态安全等级变化具有差异性 & 多样性。贺州的土地生态安全由不安全等级提升为临界安全等级,贵港等地的土地生态安全也有所提升。从行政区划上看,2005年,不安全等级主要分布在西林、靖西、贵港,临界安全等级主要分布在百色、桂林、来宾的大部分市、县。2015年无不安全等级,临界安全等级主要分布在南宁、贵港的大部分市、县。

## 4 结论

2005,2015年,影响广西石漠化地区土地资源生态安全的主要因素为人口密度、单位GDP综合耗能、土地垦殖率、耕地粮食单产、城市化水平、人口自然增长率等。2005,2015年广西石漠化土地生态安全系统的压力指数整体低于系统状态指数与系统响应指数。压力指数、状态指数和响应指数共同决定广西石漠化地区土地生态安全评价的综合指数。时间上分异,2005—2015年广西石漠化地区土地生态安全经历了从临界安全等级向较安全等级的变化趋势。空间上的分异,2005年贵港的土地生态安全等级处于不安全级,2015年主要表现为南宁、贵港、来宾等地的土地生态安全等级处于较不安全级。

对广西石漠化地区土地生态安全问题提出如下对策和建议。

(1) 控制人口数量的增长,提高人口素质,通过严格实施国家人口控制政策,使人口、经济增长和土地资源及其生态环境的承载力相适应。

(2) 增加资金投入,整治石漠化土地。利用生态自然力进行石漠化生态和植被恢复,使现有植被朝顶级群落演替,或利用生物治理技术,通过人工途径回复和重建岩溶山地森林生态系统。

(3) 建立土地生态系统长效治理机制,巩固土地治理成果,有效推进国土综合治理项目的同时,做好科学土地生态环境长期治理规划,构建政府主导、企业主体,多方参与、全民行动的环境保护规划格局,切实推进土地生态安全的建设,进一步改善土地生态状况。

(4) 进一步加大环境保护的宣传力度,借助广播、网络、电视等媒体手段对民众进行土地生态普法教育,增强公众环境保护意识,使公众认识到环境保

护对土地生态安全及自身生活的影响,全民参与到保护土地生态环境安全当中来。

本文通过构建PSR模型,进行评价,所得结论对研究区生态文明建设和国土空间规划都具有一定的理论意义与现实意义,运用熵权法计算了研究区2005,2015年的土地生态安全综合指数,为调控措施的制定提供了方向。但本文仍存在一些不足,指标体系仍有完善空间且通过不同数学方法对研究区土地生态安全评价结论略有不同,可能是没有考虑到石漠化程度不同的地区,土地资源所面临的生态风险的差异,因此如何构建区域特色针对不同石漠化程度的土地资源的生态安全评价指标体系仍需要进一步讨论。

## [参 考 文 献]

- [1] 焦红,汪洋. 基于PSR模型的佳木斯市土地生态安全综合评价[J]. 中国农业资源与区划,2016,37(11):29-36.
- [2] 彭文君,舒英格. 基于GIS的石漠化山区县域土地利用空间变化的生态风险测度[J]. 水土保持研究,2018,25(1):342-348.
- [3] 彭睿文,罗娅,陈起伟,等. 石漠化治理区小尺度土地利用变化及其驱动机制分析:以花江石漠化治理区为例[J]. 长江流域资源与环境,2017,12(26):2073-2082.
- [4] 王晓燕. 喀斯特山区石漠化综合治理[J]. 中国农业资源与区划,2010,31(4):76-80.
- [5] 岳跃民,王克林,张兵,等. 喀斯特石漠化信息遥感提取的不确定性[J]. 地球科学进展,2011,26(3):266-274.
- [6] 韩昭庆,冉有华,刘俊秀,等. 1930—2000年广西地区石漠化分布的变迁[J]. 地理学报,2016,71(3):390-399.
- [7] 于海洋,张飞,曹雷. 精河县土地利用/覆被变化及土地生态安全研究[J]. 水土保持研究,2017,24(6):348-353.
- [8] 林坚,张禹平,李婧怡,等. 2013年土地科学研究重点进展评述及2014年展望:土地利用与规划分报告[J]. 中国土地科学,2014,28(2):3-12.
- [9] 李昊,李世平,银敏华. 中国土地生态安全研究进展与展望[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(9):50-56.
- [10] 储佩佩,付梅臣. 中国区域土地生态安全与评价研究进展[J]. 中国农学通报,2014,30(11):160-164.
- [11] 李德胜,王占岐,侯现慧,等. 灰色关联投影模型在城市土地生态安全评价中的应用[J]. 水土保持通报,2017,37(4):194-200.
- [12] 董飞,宋戈. 城市区域土地生态安全评价:以哈尔滨市阿城区为例[J]. 国土资源情报,2010,10(4):41-45.
- [13] 陈伊多,杨庆媛,杨人豪,等. 基于熵权物元模型的土地生态安全评价:重庆市江津区实证[J]. 干旱区地理,2018,41(1):185-194.
- [14] 祝培甜,赵中秋,陈勇,等. 基于三角模型的土地生态安全动态评价:以西安市为例[J]. 水土保持研究,2016,23(1):244-248.

- [15] 王鹏,况福民,邓育武,等.基于主成分分析的衡阳市土地生态安全评价[J].经济地理,2015,35(1):168-172.
- [16] 吕添贵,吴次芳,李冠,等.基于生态足迹的港口型城镇土地生态安全研究:以宁波市镇海区为例[J].水土保持通报,2014,34(6):250-255.
- [17] 徐美,朱翔,刘春腊.基于RBF的湖南省土地生态安全动态预警[J].地理学报,2012,67(10):1411-1422.
- [18] 侯洪升.山东省农用地数量变化及生态安全评价[J].中国农业资源与区划,2018,39(2):183-188.
- [19] 马轩凯,高敏华.西北干旱地区绿洲城市土地生态安全动态评价:以新疆库尔勒市为例[J].干旱区地理,2017,40(1):172-180.
- [20] 李洁,赵锐锋,梁丹,等.兰州市城市土地生态安全评价与时空动态研究[J].地域研究与开发,2018,37(2):151-157.
- [21] 于海洋,张飞,曹雷,等.基于乡镇尺度的土地生态安全时空格局评价研究:以博尔塔拉蒙古自治州为例[J].生态学报,2017,37(19):6355-6369.
- [22] 刘明远,张合兵,孙江锋,等.典型区域土地生态状况精细评估[J].中国农学通报,2014,30(33):206-211.
- [23] 刘志有,蒲春玲,闫志明,等.基于生态文明视角新疆绿洲土地生态安全影响因素及管控机制研究:以塔城市为例[J].中国农业资源与区划,2018,39(3):155-160.
- [24] 马世五,谢德体,张孝成,等.三峡库区生态敏感区土地生态安全预警测度与时空演变:以重庆市万州区为例[J].生态学报,2017,37(24):8227-8240.
- [25] 于淑会,周向莉,卿冀川,等.河北滨海盐碱土地生态安全评价[J].中国生态农业学报,2017,25(5):778-786.
- [26] 张茹,戴文婷,刘兆顺,等.我国北方农牧交错区土地生态安全评价:以白城市为例[J].水土保持研究,2017,24(2):259-266.
- [27] 高凤杰,侯大伟,马泉来,等.退耕还林背景下寒地山区土地生态安全演变研究[J].干旱区地理,2016,39(4):800-808.
- [28] 荣联伟,师学义,高奇,等.黄土高原山丘区土地生态安全动态评价及预测[J].水土保持研究,2015,22(3):210-216.
- [29] 王鹏,王亚娟,刘小鹏,等.基于PSR模型的青铜峡市土地生态安全评价与预测[J].水土保持通报,2018,38(2):148-153.
- [30] 孙奇奇,宋戈,齐美玲.基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J].水土保持研究,2012,19(1):234-238.

(上接第314页)

- [21] Bengraïne K, Marhaba T F. Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality[J]. Journal of Hazardous Materials, 2003,100(1/2/3):179-195.
- [22] 吉祝美,方里,张俊,等.主成分分析法在SPSS软件中的操作及在河流水质评价中的应用[J].环境研究与监测,2012,18(4):68-73.
- [23] 伊元荣,海米提·依米提,王涛,等.主成分分析法在城市河流水质评价中的应用[J].干旱区研究,2008,25(4):497-501.
- [24] 吕欣格,田剑南,王超,等.基于主成分分析法的黄河呼和浩特段水环境质量评价[J].环境与发展,2016,28(5):15-20.
- [25] 刘潇,薛莹,纪毓鹏,等.基于主成分分析法的黄河口及其邻近水域水质评价[J].中国环境科学,2015,35(10):3187-3192.
- [26] 李小红,陈珍珍.如何正确应用SPSS软件做主成分分析[J].统计研究,2010,27(8):105-108.
- [27] 杨学福,王蕾,关建玲,等.基于多元统计分析的渭河西咸段水质评价[J].环境工程学报,2016,10(3):1560-1565.
- [28] 徐祖信.我国河流单因子水质标识指数评价方法研究[J].同济大学学报:自然科学版,2005,33(3):321-325.
- [29] 徐祖信.我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J].同济大学学报:自然科学版,2005,33(4):482-488.