

贵州省土地系统脆弱性测度及其空间分异特征

张颖^{1,2,3}, 杨智谋², 陈瑜琦¹, 赵宇鸾²

(1.中国土地勘测规划院 国土资源部 土地利用重点实验室, 北京 100035;

2.贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵阳 550001; 3.毕节四中, 贵州 毕节 551700)

摘要:采用 PSR(Pressure-State-Response)、空间自相关分析法和变化斜率等方法,分析了 2000—2015 年贵州省土地系统脆弱性压力指数、状态指数、响应指数和综合指数变化情况及其总体空间分布差异和局域空间分异特征。结果表明:(1)土地系统脆弱性综合指数呈现先上升后缓慢下降的趋势,土地系统脆弱性程度在总体上有所缓解。其中,2000—2015 年贵州省土地系统压力和敏感性呈现加重的趋势,土地系统适应力显著提升;(2)从各县脆弱性变化趋势看,2000—2015 年贵州省区域内土地系统脆弱性整体上朝着较好的方向发展,变化趋势上多数县域的土地系统脆弱性变化皆处于稳定或呈现不同程度降低的趋势;(3)从全局空间差异看,2000—2015 年贵州省土地系统脆弱性压力指数变化、状态指数变化、响应指数变化、综合指数变化的 Global Moran's I 值分别为 0.154 2, 0.465 3, 0.154 1, 0.160 2,土地系统压力、敏感性、适应力和脆弱性变化的空间分布呈现显著的集聚特征;(4)在局域空间分异方面,贵州省武陵山区、乌蒙山区和西南部峰丛洼地区是土地系统压力、适应力与脆弱性程度变化主要的热点区;而土地系统敏感性变化的热点区主要分布于黔中经济区、武陵山区和西南部峰丛洼地区。

关键词:土地系统脆弱性; PSR; 空间格局; 贵州省

中图分类号:F301

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)05-0249-09

Land System Vulnerability Measurement and Its Spatial Differentiation in Guizhou Province

ZHANG Ying^{1,2,3}, YANG Zhimou², CHEN Yuqi¹, ZHAO Yuluan²

(1.China Land Surveying and Planning Institute, Key Laboratory of Land Use, Ministry of

Land and Resources, Beijing 100035, China; 2.School of Geographic and Environmental Sciences,

Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 3.Bijie No.4 High School, Bijie, Guizhou 551700, China)

Abstract: Using PSR model, spatial autocorrelation analysis, change slope analysis and other methods, we analyze the overall spatial distribution differences and local spatial differentiation characteristics of land system vulnerability pressure index, state index, response index and comprehensive index changes in Guizhou Province from 2000 to 2015. The results show that: (1) in general, from 2000 to 2015, the vulnerability index of the land system in Guizhou Province presented a trend of rising first and then decreasing, indicating that the land system vulnerability has reduced; the pressure and sensitivity of the land system increased, but the adaptability was significantly improving; (2) from the perspective of the change range of vulnerability for county, from 2000 to 2015, the vulnerability of land system in Guizhou Province on the whole was developing in a better direction; in terms of the change trend, the land system vulnerability for most of counties was stable or showed the decreasing trend to some extent; (3) in general, the Global Moran's I values of the pressure index changes, state index changes, response index changes and comprehensive index changes of the land system in Guizhou Province from 2000 to 2015 were 0.154 2, 0.465 3, 0.154 1 and 0.160 2, respectively, indicating that the land system pressure, the land system sensitivity, the land system adaptability and the land system vulnerability changes of spatial distribution in Guizhou Province had significant agglomeration characteristics; (4) in terms of local spatial differentiation, Wuling Mountainous area, Wumeng Mountain-

收稿日期:2018-08-08

修回日期:2018-12-26

资助项目:国土资源部土地利用重点实验室开放基金(KLLU201805);国家自然科学基金(41771115);国家重点基础研究发展计划“973”项目(2015CB452706);2015 年贵州省“千”层次创新型人才资助项目(111-0317003);中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室开放资助项目(GJ-2015-03)

第一作者:张颖(1992—),女,贵州毕节人,硕士,主要从事土地利用与山区发展研究。E-mail:ZYoly6@163.com

通信作者:陈瑜琦(1982—),女,河南商丘人,研究员,主要从事土地生态及可持续利用研究。E-mail:chenyuqi@mail.cslpi.org.cn

ous area and peak cluster depression area were the main hotspots for the land system pressure changes, adaptation changes and vulnerability changes. The hotspots with the land system sensitivity change mainly distributed in the central economic area, Wuling Mountainous area and peak cluster depression area.

Keywords: land system vulnerability; PSR; spatial differentiation; Guizhou Province

土地资源是人类生产、生活和生存的物质基础和来源,为人类提供生存空间和活动场所^[1]。20 世纪 90 年代以来,我国进入了快速城镇化阶段,多方面增长的用地需求与有限的土地资源的矛盾日益凸显^[2-3]。在全球气候变化、资源利用等问题不断加剧的背景下,人类社会的全面协调可持续发展受到严重威胁,特别是在生态环境脆弱地区。贵州省是我国典型的生态环境脆弱区,脆弱的生态环境不仅直接影响、制约贵州工业、农业、交通、城建、生态和旅游等各方面的建设,而且还间接威胁着长江和珠江中下游沿岸的可持续发展^[4]。但令人欣喜的是,2000 年以来,贵州省石漠化恶化趋势得到抑制并呈现逆转^[5],退耕还林政策的实施、乡村人口的迁移加快了森林转型^[6-7],生态环境得到显著改善。由此,土地系统脆弱性呈现什么样的变化特征是需要探讨的问题。

土地系统脆弱性分析概念框架由美国哈佛大学国际可持续发展项目组在脆弱性的基础上提出^[8],此概念框架随后应用在了墨西哥和北极的格陵兰、芬马克等地区的脆弱性研究中^[9]。我国土地脆弱性研究还处于起步阶段,在广度和深度上有待提升^[10],多从生态系统服务角度、土地利用结构等方面对土地脆弱性进行评价,研究的是静态的土地系统脆弱性或单一的土地利用脆弱性,未将土地系统视为自然—社会综合作用的有机统一体,且缺乏对土地系统脆弱性的动态过程分析。因此,选取贵州省为研究样区,构建自然—社会耦合的评价指标体系,引入 PSR 模型综合量化区域土地系统脆弱性,分析土地系统脆弱性时空演变格局及过程,旨在深入认识人类对土地资源利用的程度和情况,了解人类活动对区域自然环境的干扰程度,对区域因地制宜出台山区发展政策,更好地保障山区生态和经济协调发展具有重要意义。

1 研究区概况

贵州省南邻广西、西连云南、北接四川和重庆,面积 17.6 万 km²。贵州省为高原山地地貌,以山地为主,其间交错分布着丘陵、峡谷和小盆地(俗称坝子),地形支离破碎,地表崎岖不平,地势由西、中部向北、东、南倾斜,境内分布有乌蒙山、武陵山等山脉。贵州省是我国岩溶地貌分布最典型、最广泛、最重要的区域之一,岩溶面积占全省总面积的 73.8%,是我国典型的生态环境脆弱

区。森林覆盖率从 2000 年的 23.83% 增长到 2015 年的 50%,森林转型特征明显。

当前,贵州经济发展仍处于一个欠发达、欠开发的阶段,2015 年全省 GDP 总量约为 10 502.56 亿元,仅占全国的 1.6%,居全国省市区第 25 位,人均 GDP 为 29 847 元,居全国省市区第 29 位。经济总量小、人均水平低是贵州省经济建设进程中急需突破的难题。2015 年农村贫困人口为 493 万人,贫困人口数量排全国省市区第 1 位,占全国 8.77%,农村贫困发生率高达 14%,国家级贫困县数量达 66 个。贫困人口多集中分布在偏远的深山区、石山区,生存环境恶劣、生活条件差、生计能力低。贫困是贵州省经济社会发展急需突破的难题。如何在坚守“生态”和“发展”两条底线的前提下提高山区经济发展、实现山区脱贫致富目标是贵州省面临的棘手问题。对贵州省土地系统脆弱性进行测度和时空差异分析,有利于贵州山区走兼顾经济发展与生态保护的路径。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源与处理

土地利用空间数据来源于贵州省山地资源与环境遥感应用重点实验室,分析获得各县域垦殖系数、建设用地比例、草地面积比例和林地面积比例等数据。农民人均纯收入、化肥投入水平、人均 GDP 等社会经济统计数据来源于贵州省统计年鉴、统计公报和政府工作报告。

研究期 2000—2015 年时间跨度较大,期间行政范围发生变化,研究对行政区域进行了部分合并,将南明区、云岩区、花溪区、白云区、乌当区和观山湖区合并为贵阳市辖区,将红花岗区、汇川区和播州区合并为遵义市辖区,将碧江区和万山区合并为铜仁市辖区,将凯里市和麻江县合并为凯里市,将钟山区和水城县合并为六盘水市辖区,共 78 个研究单元。

2.2 土地系统脆弱性模型构建

脆弱性是指系统容易受到损害的可能性、程度或状态。土地系统脆弱性是指在一定时空条件下,土地系统在面临外界压力或扰动下的应对程度和可能性响应^[10]。基于土地系统脆弱性的概念,在 VSD(Vulnerability scoping diagram)脆弱性评估框架的指导下^[11],将土地系统分解成压力—敏感—适应 3 个维

度,从 3 个维度出发分别选取土地系统的压力、敏感性、适应力评价指标,构建社会—自然环境耦合的土地系统脆弱性评价指标体系。

PSR(Pressure-State-Response)即压力、状态、响应,该模型关注人类与环境的相互关系^[12]。因此,将 PSR 模型引入土地系统脆弱性程度评估有助于更好地了解区域人地关系、量化区域土地系统脆弱性程度。用土地系统脆弱性指数量化区域土地系统脆弱性程度,其中,将土地系统脆弱性指数分成压力指数、状态指数、响应指数和综合指数来刻画土地系统的压力、敏感性、适应力和脆弱性。

土地系统脆弱性综合指数(LSVI, Land System Vulnerability Index)表征区域土地系统脆弱性程度,该指数越大,表示区域土地系统脆弱性程度越高,人地矛盾越突出,人地关系越紧张。土地系统脆弱性指数具体包括压力指数(L_p)、状态指数(L_s)、响应指数(L_r)和综合指数,土地系统脆弱性综合指数计算公式为:

$$LSVI=r_1 L_p+r_2 L_s+r_3 L_r$$

(1)

式中:LSVI 代表土地系统脆弱性综合指数; r_1, r_2, r_3 分别表示土地系统压力指数、状态指数、响应指数的权重; L_p 代表压力指数; L_s 表示状态指数; L_r 表示响应指数。

$$L_p=\sum_{x=1}^n U(X_x)W_x$$

(2)

式中: $U(X_x)$ 代表第 x 个指标的标准化值; W_x 表示

对应的第 x 个指标的权重。

$$L_s=\sum_{y=n+1}^m U(X_y)W_y$$

(3)

式中: $U(X_y)$ 代表第 y 个指标的标准化值; W_y 表示对应的第 y 个指标的权重。

$$L_r=\sum_{z=m+1}^k U(X_z)W_z$$

(4)

式中: $U(X_z)$ 代表第 z 个指标的标准化值; W_z 表示对应的第 z 个指标的权重。

2.3 指标选取与说明

较短时间内,区域土地系统的变化更多的是受经济发展、人类生产生活等人文因素的驱动^[12]。根据贵州省自然、社会环境现状,分别对农业开发、城镇建设、人口规模、地方经济水平、农民收支等因子进行选取和筛选,构建土地系统脆弱性评价指标体系(表 1)。压力指数指标的选取主要考虑贵州岩溶山区土地系统承受的压力主要来源于农牧业的发展、人口规模的扩大、农民收支等因素的影响。状态指数指标表示土地系统敏感性,土地系统具有自我调节功能,土地利用结构和功能、土地利用效益和开发程度均影响土地系统的自我调节能力。响应指数指标是土地使用者和政府部门等利益相关者为提高土地系统变化的应对力,以更好地适应土地系统变化而采取的一系列土地生态保护措施、农业工程技术手段、乡村人口产业转移政策、土地保护财政投入策略等。

表 1 指标因子选取及其权重

参数层	指标层	单位	指标解释与说明	指标性质	指标权重
压力指数 (0.4699)	复种指数	—	指一定时期内(一般为 1a)在同一地块耕地面积上种植农作物的平均次数	+	0.0954
	农业机械总动力	kW	用于农业的各种动力机械的动力总和	+	0.0395
	水果面积占种植业比例	%	区域水果的种植面积占总种植业面积的比重	+	0.0432
	大牲畜年末存栏数	头	区域大型牲畜牛、羊、马等存栏数量	+	0.0639
	人口密度	人/km ²	单位面积土地上居住的人口数量	+	0.0693
	乡村劳动力总量	人	区域乡村人口中经常参加合作经济组织或从事家庭经营生产劳动的半、整劳动力	+	0.0867
	农民人均纯收入	元	农村居民从各来源渠道得到的总收入扣除获得收入所发生的费用后的收入总和	—	0.0719
状态指数 (0.2181)	垦殖指数	%	一国或一地区已开垦的耕地占总国土面积的百分比	+	0.0408
	建设用地比例	%	建设用地面积占总国土面积的比例	+	0.0600
	劳均耕地面积	hm ² /人	耕地面积与从事作物生产的劳动力的比值	+	0.0402
	土地利用程度综合指数	—	区域土地利用结构情况,表征土地利用的广度和深度	+	0.0771
	灌溉面积占耕地比例	%	一定时期内灌溉农业面积占耕地面积比重	—	0.0473
响应指数 (0.3120)	化肥投入水平	—	化肥施用量与农作物总播种面积之比	—	0.0368
	林草地面积比重	%	林地和草地总面积占国土面积的比例	—	0.0404
	人均 GDP	元/人	区域人均国内生产总值	—	0.0392
	财政支出	万元	区域当年对财政资金进行使用分配的情况	—	0.0443
	第二产业从业人数	人	乡村劳动力中主要从事第二产业的人员	—	0.0509
	第三产业从业人数	人	乡村劳动力中主要从事第三产业的人员	—	0.0530

注:“+”是指该指标与土地系统脆弱性呈正相关关系,该指标值越大,对土地系统脆弱性的贡献值越大;“—”是指该指标与土地系统脆弱性呈负相关关系,该指标值越小,对土地系统脆弱性的贡献值越小。

2.4 研究方法

(1) 变化斜率分析法。变化斜率分析法能模拟

每个研究单元的变化趋势,此方法是在研究期间内,利用最小二乘法拟合变量的斜率,用以综合表示该变

量的时空格局演变特征。研究将利用变化斜率分析法逐个研究单元计算其土地系统脆弱性指数的斜率,以此来表征各县(区)土地系统脆弱性变化趋势的时空演变特点。斜率计算公式为^[13]:

$$X_{\text{slope}} = \frac{\sum_{i=1}^n i \times \text{LSVI}_i - \left(\sum_{i=1}^n i \right) \left(\sum_{i=1}^n \text{LSVI}_i \right)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (5)$$

式中: X_{slope} 为土地系统脆弱性变化斜率; LSVI_i 为第*i*年某一研究单元土地系统脆弱性指数值; n 为研究时间段数,共 4 个时间段。当 X_{slope} 大于 0 时,表明土地系统脆弱性呈现增加趋势;当 X_{slope} 小于 0 时,代表土地系统脆弱性呈现减小趋势。

(2) 空间自相关法。全局空间自相关可以定量描述区域某种地理现象在空间上的整体分布状况和差异程度,局域空间自相关刻画局域内部异质性的分布状况,度量某一区域单元与其周边区域的空间差异程度^[14]。本研究采用常用的 Global Moran's I 指数和 Getis-Ord G_i^* 指数来测度贵州省土地系统脆弱性压力指数、状态指数、响应指数和综合指数变化的全局空间自相关程度和局域空间自相关程度^[15-17]。

Global Moran's I 指数计算公式为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (6)$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

式中: X_i 是研究单元*i*的地理属性观测值; \bar{X} 为区域变量的平均值; S^2 为均方差; W_{ij} 为空间权重矩阵 $W_{(n \times n)}$,可由空间距离与空间拓扑实现。标准化 Z_{Score} 常用于检验 Moran's I 的显著性水平:

$$Z_{\text{Score}} = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}} \quad (7)$$

式中: $E(I)$ 与 $\text{var}(I)$ 分别为 Moran's I 的期望值与方差。当 $|Z_{\text{Score}}| > 1.96 (\alpha = 0.05)$,可以拒绝零假设 H_0 (n 个空间对象属性值之间不存在空间自相关性),变量在空间上存在显著的空间自相关性。 I 的取值范围 $[-1, 1]$,当 $I > 0$,全局空间自相关呈正相关,说明地理对象存在集聚特征;当 $I < 0$,表明负相关关系,说明地理对象存在离散现象; I 的绝对值越大,说明相关程度越高;当 $I = 0$,地理对象则呈随机分布,不存在空间自相关性。

Getis-Ord G_i^* 指数计算公式为^[18]:

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij}(d) W_j}{\sum_{j=1}^n X_j} \quad (8)$$

为便于比较分析,对 $G_i^*(d)$ 标准化处理: $Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\text{var}(G_i^*)}}$, $E(G_i^*)$ 为数学期望值, $\text{var}(G_i^*)$ 为变异系数。当 $Z(G_i^*)$ 正显著时,表示高值空间集聚,即热点区;当 $Z(G_i^*)$ 负显著时,表示低值空间集聚,即冷点区。

3 结果与分析

3.1 土地系统脆弱性评价

3.1.1 全省土地系统脆弱性指数变化 2000—2015 年贵州省压力指数在整体上呈现波动上升的趋势(图 1),由 2000 年的 0.145 8 上升至 2015 年的 0.272 6,土地系统压力呈现加重的趋势;状态指数呈现波动缓慢上升的趋势,由 0.118 0 上升至 0.125 2,整体处于一个比较稳定的状态;响应指数呈现波动下降的趋势,由 0.285 2 下降至 0(响应指数在 2015 年为 0,是相对于其他时间点而言适应能力的提高,这是由于响应指标数值在此时间为最大值造成),土地系统适应力显著提升。2000 年以来贵州经济得到快速发展,增长速度位于全国前列,地方政府有更多的资金投入农业工程的修建中,提供了更多的就业岗位吸纳农村劳动力从事非农活动,提高了土地系统的适应能力。

土地系统脆弱性综合指数呈现先上升后缓慢下降的趋势,土地系统脆弱性程度在总体上有所缓解。在区域土地系统压力增大、敏感性略增、适应能力提高的情况下,土地系统脆弱性程度降低,主要得益于区域土地系统适应能力的提高。可见,山区提高农业经营技术、农村劳动力就业转移、实施退耕还林等生态保护政策、兴修农业工程等方面对于维护人地系统平衡有明显的积极效应。

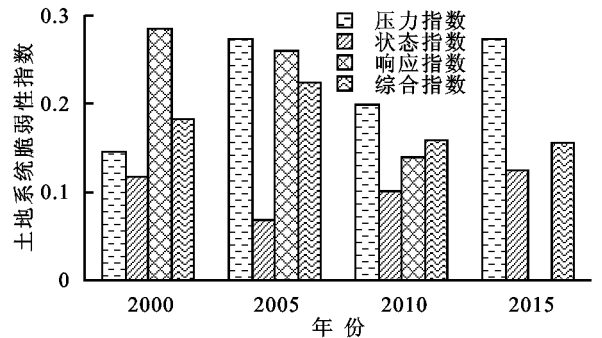


图 1 2000—2015 年贵州省土地系统脆弱性指数

3.1.2 县域土地系统脆弱性变化趋势 为了分析贵州省内部土地系统脆弱性变化趋势,采用斜率分析法,对土地系统压力、敏感性、适应力和脆弱性变化趋势进行完整探讨(图 2)。2000—2015 年土地系统压力稍微加重的县(区)较少,土地系统压力变化趋势总体上处于“稳中减轻”的态势,土地系统压力得到缓

解。土地系统敏感性变化总体上呈现“稳中下降”的趋势,多数县域的土地系统敏感性皆处于稳定或有一定程度减轻的状态。土地系统适应力皆处于稳定或呈现不同程度的提高,总体上呈现“稳中提高”的趋势,倾向于增强的趋势发展。

土地系统脆弱性程度略微增大的县(区)较少(6

个县域),大部分县域的土地系统脆弱性变化皆处于稳定或呈现不同程度降低的趋势,总体上呈现“稳中下降”的趋势,。这与区域采取积极的生态保护策略、农业科技投入政策、土地保育措施等响应政策密不可分,人类有意识保护土地系统、适应土地系统,有助于促进人地关系和谐发展。

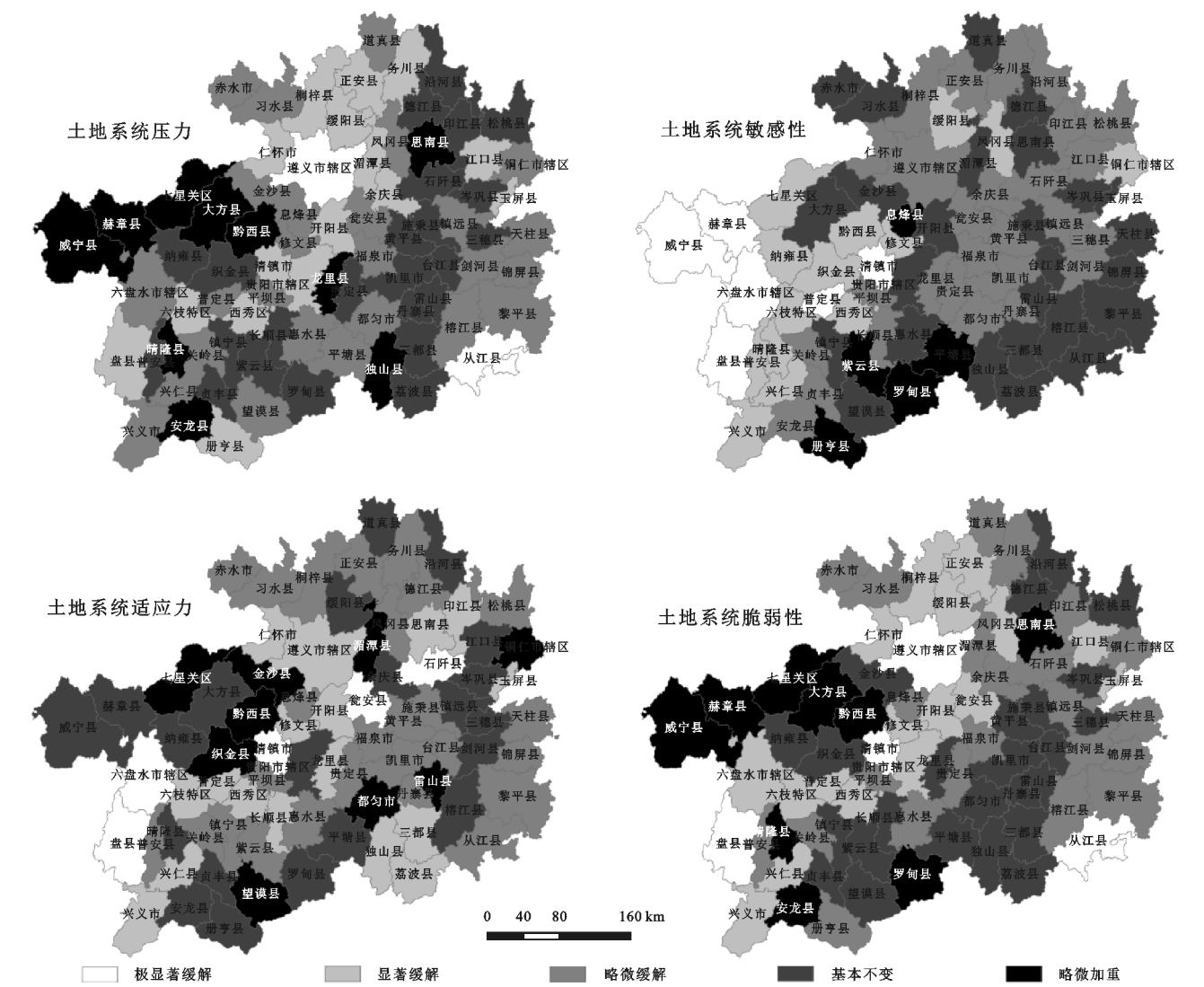


图2 2000—2015年贵州省县域土地系统压力、敏感性、适应力以及脆弱性变化趋势

3.2 土地系统脆弱性变化的时空格局

3.2.1 总体空间变化 分别计算各指数的 Global Moran's I 值(表2)。时段Ⅳ压力指数的 Global Moran's I 值为 0.154 2,表明贵州省土地系统压力变化的空间分布呈现显著的集聚特征,土地系统压力变化快的地区其周围区域变化也快,反之亦然。分时间段来看,时段Ⅰ、时段Ⅱ、时段Ⅲ的土地系统压力指数变化的 Global Moran's I 值分别为 0.162 02,0.152 3,0.259 7,土地系统压力变化的空间分布呈现先减弱后增强集聚趋势。

时段Ⅳ的状态指数变化的 Global Moran's I 值为 0.465 3,土地系统敏感性变化的空间分布呈现较显著的集聚特征,土地系统敏感性变化快的地区其周围区域变

化也快,反之亦然。分时间段来看,状态指数变化的 Global Moran's I 值由时段Ⅰ的 0.465 7 下降为时段Ⅱ的 0.423 8 又上升为时段Ⅲ的 0.465 3,土地系统敏感性变化的空间分布呈现集聚的趋势先减弱后又增强。

从土地系统响应指数来看,除了时段Ⅱ外,其余时间段的响应指数的变化量皆通过显著性水平 $\alpha=0.05$ 的检验,时段Ⅳ的响应指数变化的 Global Moran's I 值为 0.154 1,土地系统适应力变化的空间分布呈现显著的集聚特征,适应力变化快的地区其周围区域变化也快,反之亦然。分时间段来看,响应指数变化的 Global Moran's I 值由时段Ⅰ的 0.110 6 上升为时段Ⅲ的 0.285,土地系统适应力变化的空间分布呈现集

聚的趋势在增强。

时段Ⅳ的脆弱性综合指数变化的 Global Moran's *I* 值为 0.160 2,表明土地系统脆弱性变化的空间分布呈现显著的集聚特征,即土地系统脆弱性变化快的地区其周围区域变化也快,反之亦然。土地系统脆弱性综合指数变化的 Global Moran's *I* 值由时段Ⅰ的

0.389 6 下降为时段Ⅱ的 0.136 6 又上升为时段Ⅲ的 0.246,土地系统脆弱性变化的空间分布呈现集聚的趋势先减弱后又增强。

贵州省总体的土地系统压力、敏感性、适应力和脆弱性程度变化在 2000—2015 年的空间分布皆呈现明显的集聚特征,且集聚趋势均为先减弱后增强的特点。

表 2 贵州省土地系统脆弱性指数动态变化的 Global Moran's *I* 值

土地系统脆弱 指数类型	时段	年份	Global Moran's <i>I</i> 指数(<i>I</i>)	Global Moran's <i>I</i> 指数 <i>E</i> (<i>I</i>)	检验统计量 <i>Z</i> Score	阈值 ($\alpha=0.05$)
压力指数	时段Ⅰ	2000—2005	0.16202	−0.013	3.0951	1.96
	时段Ⅱ	2005—2010	0.1523	−0.013	4.4436	1.96
	时段Ⅲ	2010—2015	0.2597	−0.013	4.5937	1.96
	时段Ⅳ	2000—2015	0.1542	−0.013	2.7069	1.96
状态指数	时段Ⅰ	2000—2005	0.4657	−0.013	8.1276	1.96
	时段Ⅱ	2005—2010	0.4238	−0.013	6.8182	1.96
	时段Ⅲ	2010—2015	0.4653	−0.013	8.0683	1.96
	时段Ⅳ	2000—2015	0.4653	−0.013	8.2744	1.96
响应指数	时段Ⅰ	2000—2005	0.1106	−0.013	2.1496	1.96
	时段Ⅱ	2005—2010	−0.0232	−0.013	−0.148	1.96
	时段Ⅲ	2010—2015	0.285	−0.013	4.6529	1.96
	时段Ⅳ	2000—2015	0.1541	−0.013	2.7043	1.96
脆弱性 综合指数	时段Ⅰ	2000—2005	0.3896	−0.013	6.0170	1.96
	时段Ⅱ	2005—2010	0.1366	−0.013	3.2021	1.96
	时段Ⅲ	2010—2015	0.246	−0.013	4.3324	1.96
	时段Ⅳ	2000—2015	0.1602	−0.013	2.9142	1.96

3.2.2 局域空间演化的冷热点分析

(1) 土地系统压力演化的冷热点分析。2000—2005 年,土地系统压力指数变化的冷、热点区域倾向于集中分布(图 3)。土地系统压力指数变化的热点区域集中分布于东南部的黎平县、从江县、榕江县和荔波县,表明该区域的土地系统压力有所增强;冷点区域集中分布于西南部的兴义市、安龙县、兴仁县等 11 个县域,多数县(区)属于峰丛洼地区,该区域的土地系统压力有所缓解。

2005—2010 年,土地系统压力指数变化的热点区较为分散,而冷点区较为集中。热点区域主要位于西南部的兴义市等峰丛洼地区、东北部武陵山区的松桃县和铜仁市、黔东南的台江县,这些区域的土地系统压力有所增强;冷点区域集中分布于贵州省遵义市辖区及周边县城和黔东南的从江县等,该区域的土地系统压力有所缓解。

2010—2015 年,贵州省土地系统压力指数变化的冷、热点区域倾向于集中分布。热点区域集中分布于西部的威宁县等,表明该区域的土地系统压力有所增强;冷点区域集中分布于黔中地区的贵阳市辖区及其周边县(区),该区域的土地系统压力有所缓解。

研究期内土地系统压力变化的冷、热点局域演化空间分异特征明显,热点区向西转移,冷点区向北转移。

(2) 土地系统敏感性演化的冷热点分析。2000—2005 年,土地系统状态指数变化的冷、热点区域集聚分布点较多(图 4)。热点区域主要分布于东北部的务川县等、黔中地区的修文县等、西南部的安龙县等,这些区域的土地系统敏感性有所增强;冷点区域主要分布于黔西北地区的七星关区等、黔南的罗甸县等、普定县和凯里市等,这些区域的土地系统敏感性皆有所减小。

2005—2010 年,土地系统状态指数变化的冷、热点区区域演化较为集中分布。热点区域主要分布于东南部的剑河县等和黔中、黔南的部分县(区),这些区域的土地系统敏感性有所增大;冷点区域主要分布于北部绥阳县等和中西部织金县等,这些区域的土地系统敏感性有所缓解。

2010—2015 年,贵州省土地系统状态指数变化的冷、热点区域演化集聚特征显著图。热点区域集中分布于西南部的望谟县、紫云县和罗甸县,该区域的土地系统敏感性有所增大;冷点区域集中分布于西部的威宁县等,该区域的土地系统敏感性有所减小。

研究期内土地系统敏感性变化的冷、热点局域演化空间分异特征明显,热点区由北向南再向西迁移,冷点区由西向东再向西迁移。

(3) 土地系统适应力演化的冷热点分析。2000—

2005年,土地系统响应指数变化的冷、热点区域较为分散(图5)。热点区域主要分布于大方县、黔西南的贞丰县等,这些县城的土地系统适应能力有所降低;

冷点区域主要集中分布于黔中城市群贵阳市辖区等和其他边缘地区的兴义市、荔波县等,这些区域的土地系统适应能力皆有所提高。

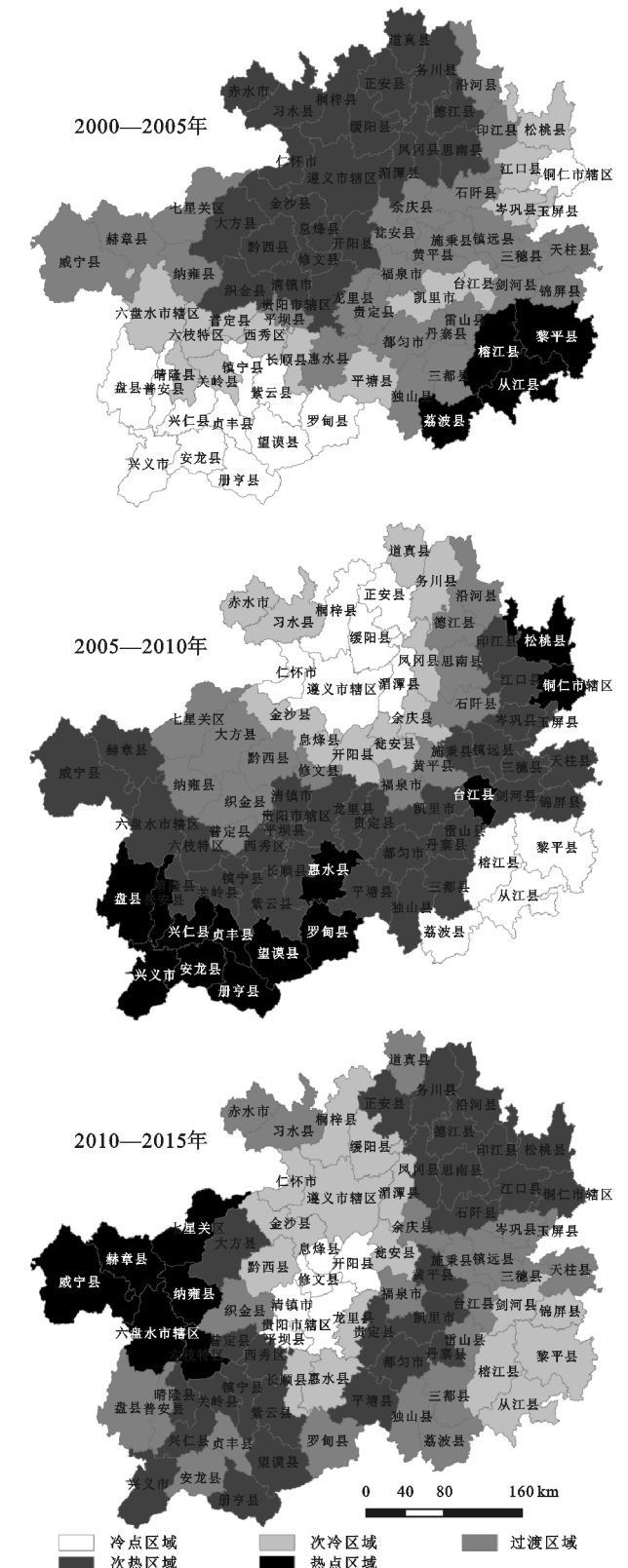


图3 贵州省土地系统压力指数演化的冷、热点区域

2005—2010年,土地系统响应指数变化的热点区域演化分散分布,冷点区域集中分布。热点区域主

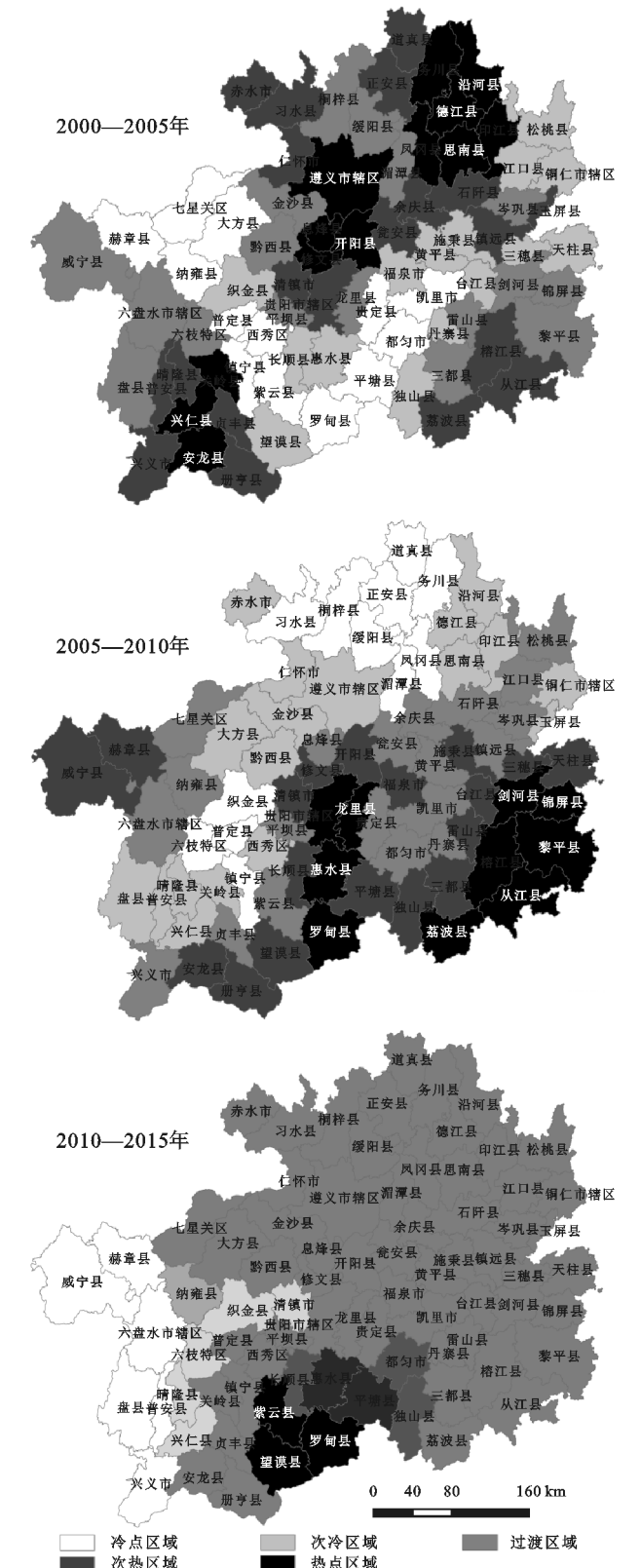


图4 贵州省土地系统状态指数演化的冷、热点区域

要有黔西北地区的七星关区等和其他地区的正安县、贵定县、长顺县和兴仁县,这些区域的土地系统适应

力有所降低;冷点区域主要分布于东北部武陵山区的松桃县等,这些区域的土地系统适应能力有所提高。

2010—2015 年,土地系统响应指数变化的冷、热点区域演化集聚特征显著。热点区主要集中分布于东北部武陵山区的松桃县等和中部修文县,这些县(区)的土地系统适应力有所降低。冷点区域集中分

布于西部的威宁县等,表明这些区域的土地系统适应能力有所增大。

研究期内土地系统适应力变化的冷、热点局域演化空间分异特征明显,热点区由分散演化为集中并由西向东迁移,冷点区也由分散演化为集中并由西向东后又向西迁移。

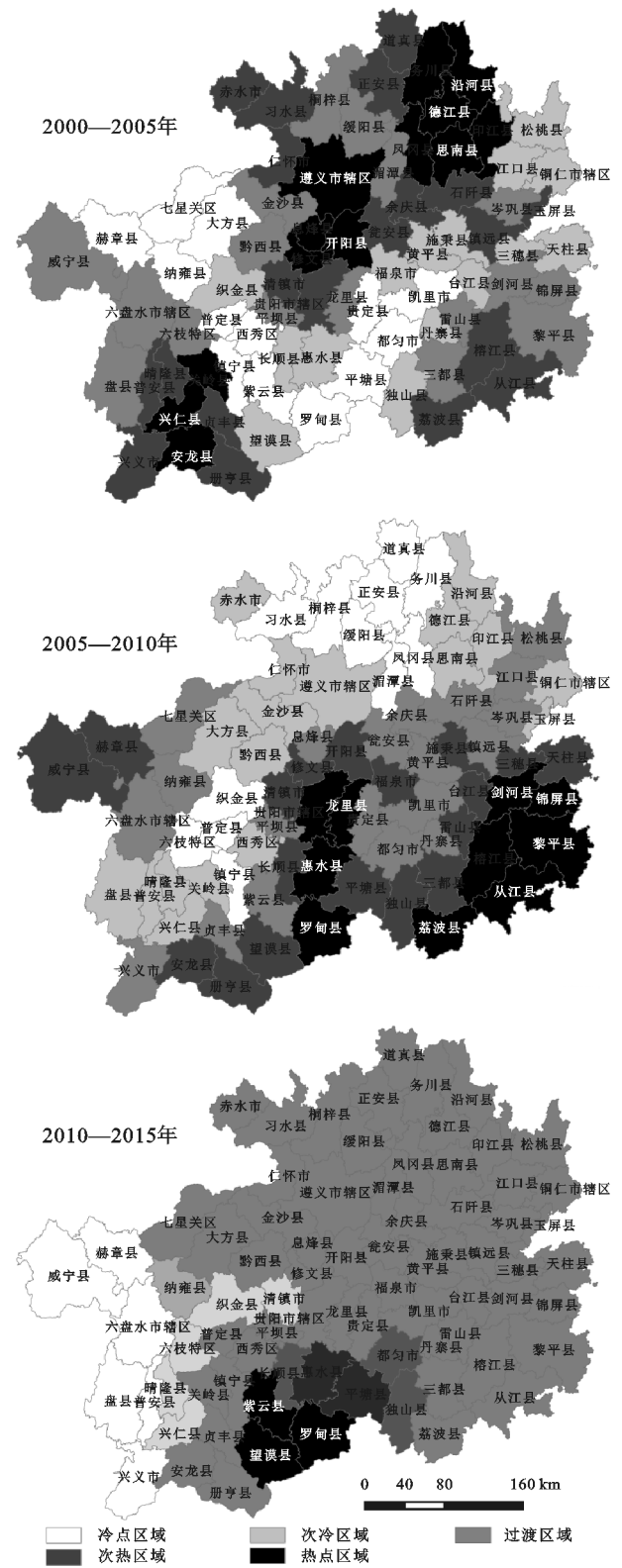


图 5 贵州省土地系统响应指数演化的冷、热点区域

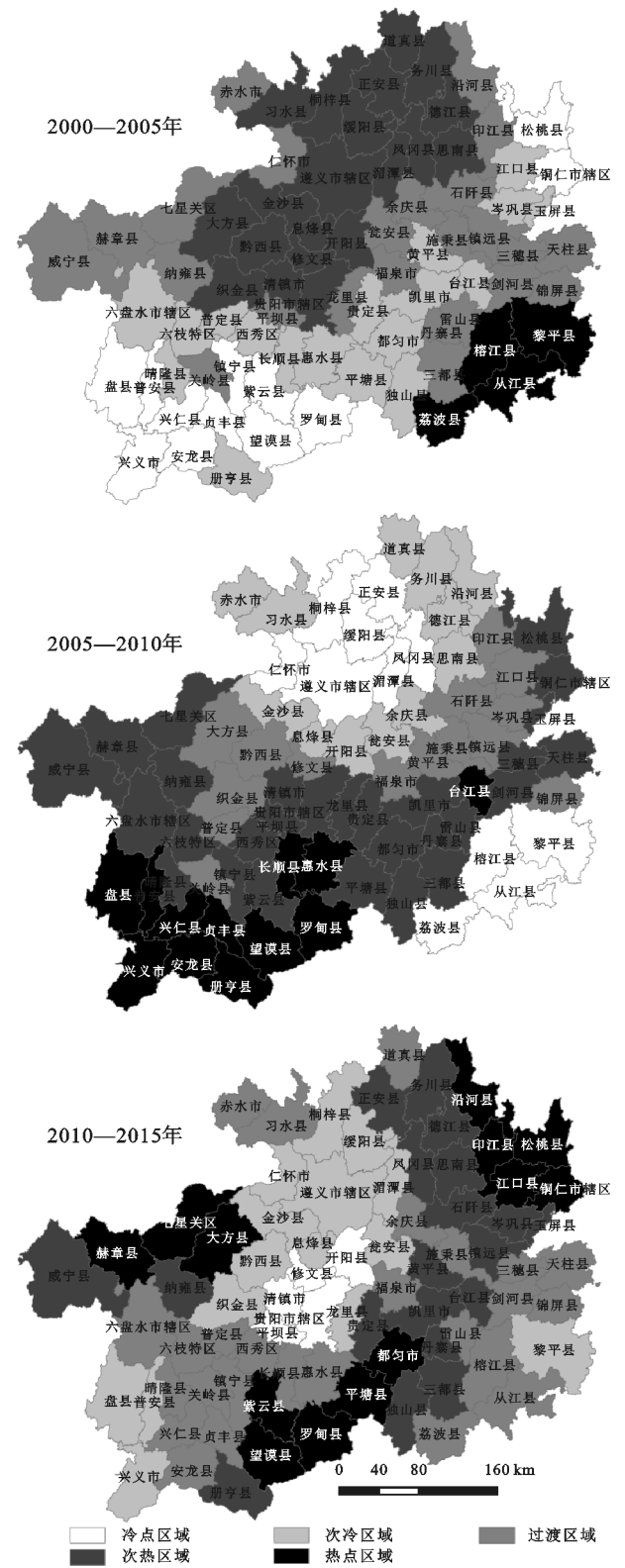


图 6 贵州省土地系统脆弱性综合指数演化的冷、热点区域

(4) 土地系统脆弱性演化的冷热点分析。2000—2005年,土地系统脆弱性综合指数变化的冷、热点区域集聚特征明显(图6)。热点区域主要分布于东南部的黎平县等,这些县城的土地系统脆弱性程度有所上升;冷点区域主要分布于西南部的兴义市等和东北部的松桃县和铜仁市辖区,这些区域的土地系统脆弱性程度皆有所下降。

2005—2010年,土地系统脆弱性综合指数变化的冷、热点区域演化趋于集聚分布。热点区域位于西南部的兴义市等和黔东南的台江县,这些区域的土地系统脆弱性程度有所加重;冷点区域主要分布于黔东南的黎平县等和中北部的遵义市辖区等,这些区域的土地系统脆弱性程度有所降低。

2010—2015年,土地系统脆弱性综合指数变化的冷、热点区域演化集聚特征显著。热点区域集中分布于3个区域,分别是黔西北地区的七星关区等、东北地区等和南部的都匀市等,这些区域的土地系统脆弱性程度有所上升;冷点区集中分布于黔中经济区的贵阳市等,这些县(区)的土地系统脆弱性程度有所降低。

研究期内土地系统脆弱性程度变化的冷、热点局域演化空间分异特征明显,热点区由集中演化为分区集聚并由东向西迁移,冷点区由分散演化为集中并由周围向中心迁移。

4 讨论与结论

4.1 讨论

(1) 在贵州山区森林转型现象明显和石漠化程度出现好转的条件下,区域土地系统脆弱性在一定程度上得到缓解。2000—2015年贵州省在土地系统压力增大、土地敏感性略增、土地适应能力提高的条件下,土地系统脆弱性程度有所减小,主要得益于区域土地系统适应能力的提高。可见,山区提高农业经营技术、农村劳动力就业转移、实施退耕还林等生态保护政策、提高农业投入等方面对于维护人地系统平衡有明显的积极效应。

(2) 武陵山区、乌蒙山区和南部峰丛洼地区是土地系统变化的主要区域,而这三大区域是贵州省的集中贫困区,人多地少,土地系统压力存在较大压力,由此说明这些区域的土地系统在外界环境的干扰下容易发生变化,区域土地系统承受阈值较低,较为脆弱。因此,这三大区域在土地利用开发的过程中应是重点关注的区域。

(3) 文章重点对脆弱性的演化进行分析,未涉及脆弱性的分等定级和分区及相应的管控策略,这是下一步工作须完善的。

4.2 结论

(1) 土地系统脆弱性综合指数呈现先上升后缓慢下降的趋势,土地系统脆弱性程度在总体上有所减小。其中2000—2015年贵州省土地系统压力指数呈现波动上升的趋势,由2000年的0.1458上升至2015年的0.2726,土地系统压力呈现加重的趋势;土地系统状态指数由0.1180上升至0.1252,土地系统敏感性略有增加;响应指数呈现波动下降的趋势,由0.2852下降至0,土地系统适应力显著提升。

(2) 从各县脆弱性变化趋势看,2000—2015年贵州省区域内部土地系统脆弱性整体上朝着较好的方向发展,大部分县域的土地系统脆弱程度得到缓解。从县域脆弱性变化趋势看,土地系统脆弱性程度略微增大的县(区)较少,共6个县(区),其余县(区)的土地系统脆弱性变化皆处于稳定或呈现不同程度降低的趋势,总体上呈现“稳中下降”的趋势。

(3) 从全局空间差异看,2000—2015年贵州省土地系统压力指数变化、状态指数变化、响应指数变化、综合指数变化的Global Moran's I 值分别为0.1542, 0.4653, 0.1541, 0.1602,表明贵州省土地系统压力、敏感性、适应力和脆弱性变化的空间分布呈现显著的集聚特征。

(4) 在局域空间分异方面,贵州省土地系统压力、敏感性、适应力和脆弱性变化的冷、热点局域演化空间分异特征明显。武陵山区、乌蒙山区和西南部峰丛洼地区是土地系统压力、适应力与脆弱性程度变化的热点区;而土地系统敏感性变化的热点区主要分布于黔中经济区、武陵山区和西南部峰丛洼地区。

参考文献:

- [1] 梁学庆[等].土地资源学[M].北京:科学出版社,2006.
- [2] 于伯华,吕昌河.土地利用冲突分析:概念与方法[J].地理科学进展,2006,25(3):106-115.
- [3] 周德,徐建春,王莉.近15年来中国土地利用冲突研究进展与展望[J].中国土地科学,2015,29(2):21-29.
- [4] 苏维词.贵州喀斯特山区生态环境脆弱性及其生态整治[J].中国环境科学,2000,20(6):547-551.
- [5] 熊康宁,陈起伟.基于生态综合治理的石漠化演变规律与趋势讨论[J].中国岩溶,2010,29(3):267-273.
- [6] 董顺舟,赵宇鸾,张蒙,等.贵州省生态用地的时空演变[J].贵州农业科学,2015,43(12):186-189.
- [7] 赵宇鸾,葛玉娟,旷成华,等.乡村振兴战略下贵州山区森林转型路径研究[J].贵州师范大学学报:自然版,2018,36(1):1-7.
- [8] 黄河清,甄霖,闰惠敏,等.土地系统的脆弱性及其恢复力建设[J].中国科学院院刊,2009,24(6):649-654.

域尺度,能够反映滇中城市群市域之间“三生空间”功能类型分布差异,但在市域内部“三生空间”功能结构被均衡化,无法分析市域内部“三生空间”功能结构差异;通过县域尺度,市域内部“三生空间”功能的均匀分布被打破,反映了滇中城市群县域之间的“三生空间”功能类型分布差异。

(4) 通过不同尺度的分析对比,揭示各尺度间“三生空间”功能分布格局的相互关系,实现各尺度间的良性约束和优化配置,为城市群的国土空间功能优化提供一些必要的依据。

(5) 基于现有数据的限制,县域内部的“三生空间”功能只能被均衡化,无法对其内部的功能分布特征进行深入分析。未来的研究可以从乡(镇)级或村级尺度对滇中城市群进行更深入的分析。

参考文献:

- [1] 杨清可,段学军,王磊,等.基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应:以长江三角洲核心区为例[J].地理科学,2018,38(1):97-106.
 - [2] 柳冬青,马学成,巩杰,等.流域“三生空间”功能识别及时空格局分析:以甘肃白龙江流域为例[J].生态学杂志,2018,37(5):1490-1497.
 - [3] 刘继来,刘彦随,李裕瑞.中国“三生空间”分类评价与时空格局分析[J].地理学报,2017,72(7):1290-1304.
 - [4] 党丽娟,徐勇,高雅.土地利用功能分类及空间结构评价方法:以燕沟流域为例[J].水土保持研究,2014,21(5):193-197,203.
 - [5] 张红旗,许尔琪,朱会义.中国“三生用地”分类及其空间格局[J].资源科学,2015,37(7):1332-1338.
 - [6] 李广东,方创琳.城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析[J].地理学报,2016,71(1):49-65.
 - [7] 朱媛媛,余斌,曾菊新,等.国家限制开发区“生产—生活—生态”空间的优化:以湖北省五峰县为例[J].经济地理,2015,35(4):26-32.
 - [8] 于辰,王占岐,杨俊,等.土地整治与农村“三生”空间重构的耦合关系[J].江苏农业科学,2015,43(7):447-451.
 - [9] 时振钦,邓伟,张少尧.近25年横断山区国土空间格局与时空变化研究[J].地理研究,2018,37(3):607-621.
 - [10] 程婷,赵荣,梁勇.国土“三生空间”分类及其功能评价[J].遥感信息,2018,33(2):114-121.
 - [11] 白如山,姜玉培,江进德.江淮城市群“三生”空间结构的多尺度分析[J].中国名城,2016(10):21-28.
 - [12] 王红梅,王小雨,李宏.基于计量地理模型的黑龙江省土地利用状况分析[J].农业工程学报,2006,22(7):70-74.
 - [13] 林炳耀.计量地理学概论[M].北京:高等教育出版社,1986.
 - [14] 余超,李明阳,汪辉,等.基于信息熵的新济洲土地利用结构时空变化及驱动因素分析[J].林业资源管理,2015(1):118-123.
 - [15] 安明珠,高敏华.基于信息熵与空间洛伦兹曲线的土地利用结构变化:以阿克苏地区为例[J].水土保持研究,2015,22(6):307-311.
 - [16] 吴玺虹,刘琼,段雪刚.土地利用结构指标新探及计算程序研究[J].地理与地理信息科学,2015,31(1):110-114.
 - [17] 宋戈,孙丽娜,雷国平.基于计量地理模型的松嫩高平原土地利用特征及其空间布局[J].农业工程学报,2012,28(3):243-250.
 - [18] 宋晓丽,樊俊华.土地利用数量结构分析:以海口市农用地与建设用地为例[J].河北农业科学,2010,14(7):102-103.
 - [19] 刘桃菊,蔡海生,邵建英,等.鄱阳湖区的土地利用结构定量分析[J].江西农业大学学报,2003,25(6):934-938.
- ~~~~~
- (上接第257页)
- [9] Turner B L, Matson P A, McCarthy J J, et al. Illustrating the coupled human-environment system for vulnerability analysis: three case studies[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2003,100(14):8080-8085.
 - [10] 赵源,黄成敏,温军会,等.土地系统脆弱性研究进展和展望[J].中国农业资源与区划,2013,34(5):121-127.
 - [11] 陈佳,杨新军,尹莎,等.基于VSD框架的半干旱地区社会:生态系统脆弱性演化与模拟[J].地理学报,2016,71(7):1172-1188.
 - [12] 赵宇鸾,张颖,李秀彬.黔桂岩溶山区土地利用冲突强度演变及其空间分异特征[J].中国岩溶,2017,36(4):492-500.
 - [13] 肖文婧.鄱阳湖生态经济区土地生态脆弱性评价[D].南昌:江西农业大学,2015.
 - [14] Xie H, Kung C C, Zhao Y. Spatial disparities of regional forest land change based on ESDA and GIS at the county level in Beijing-Tianjin-Hebei area [J]. Frontiers of Earth Science, 2012,6(4):445-452.
 - [15] Zhao Y, Li X. Spatial correlation between type of mountain area and land use degree in Guizhou province, China [J]. Sustainability, 2016,8(9):849-859.
 - [16] 王铮,吴静.计算地理学[M].北京:科学出版社,2011.
 - [17] Cressie N, Kang E L. Hot enough for you? A spatial exploratory and inferential analysis of North American climate-change projections [J]. Mathematical Geosciences, 2016,48(2):107-121.
 - [18] 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.