

刘晓恒, 杨 柳. 基于 DPSIR - TOPSIS 和 GM(1,1)模型的贵州省土地生态安全评价与预测[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 292 - 297.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.072

基于 DPSIR - TOPSIS 和 GM(1,1)模型的贵州省土地生态安全评价与预测

刘晓恒, 杨 柳

(贵州大学公共管理学院, 贵州贵阳 550025)

摘要:为深入推进贵州省“大生态”战略并为其土地生态安全规划管理提供依据,对贵州省 2005—2015 年土地生态安全进行评价,并对其 2016—2020 年土地生态安全状况进行预测。基于 DPSIR 模型构建评价指标体系,采用组合赋权法确定指标权重,采用改进 TOPSIS 法和 GM(1,1)模型分别对贵州省 2005—2020 年土地生态安全状况进行评价和预测。研究结果:(1)人均耕地面积、社会收益分配指数、森林覆盖率等 10 余项指标是影响贵州省土地生态安全的主要因素;(2)2005—2015 年贵州省土地生态安全状况整体呈波动上升趋势,由不安全等级提升到较安全等级,属于较安全等级低值区,距安全等级仍有一定差距,从各子系统看,所有子系统的安全状况均呈上升趋势,其中响应子系统 and 压力子系统呈波动上升趋势;(3)2016—2020 年贵州省生态安全状况呈上升趋势,土地生态环境朝着良性循环发展,在整个预测期生态安全等级由较安全等级低值区提升为较安全等级高值区。

关键词:土地生态安全;DPSIR 模型;改进的 TOPSIS 法;GM(1,1)模型;贵州省

中图分类号: F321.1;X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)15-0292-06

土地是人类生存和发展的重要载体,是社会经济发展的重要物质资源,同时也具有重要的生态功能,关系到人类社会经济发展与稳定。土地生态安全问题作为区域可持续发展问题的核心之一,对国家和地区的经济发展和土地的合理高效利用都至关重要,也是生态文明建设的重要内容之一^[1-4]。土地生态安全是当前土地利用可持续利用的前沿课题研究热点之一^[5],众多学者从土地生态安全评价^[6-8]、安全问题及对策分析^[9]、生态安全设计与建设^[10]、安全预警^[11]等方面展开了广泛而深入的研究。土地生态安全评价是当前土地生态安全领域研究的主要方向和重要环节^[12],近年来关于土地生态安全评价在评价指标模型、评价方法和评价内容上逐步深入。关于评价指标模型比较常见的有“压力 - 状态 - 响应”(PSR)模型^[13-14]和“自然 - 经济 - 社会”模型^[15]。在 PSR 模型的基础上,左伟等添加生态环境系统驱动力因素,将自然灾害压力因素归入到压力模块中,构建了“驱动力 - 压力 - 状态 - 响应”模型(DPSR 模型)^[16]。欧洲环境署也在 PSR 模型的基础上提出了“驱动力 - 压力 - 状态 - 影响 - 响应”模型(DPSIR 模型)^[17]。评价方法上多以熵权法、层次分析法、主成分比较法、模糊综合评判法、生态足迹、BP 神经网络等方法为主,同时基于 3S 技术的土地生态安全评价方法也逐步发展起来^[18]。在研究内容上,以具体省份、城市和县域开展的实

证研究较多,相关理论探讨较为薄弱。

贵州省作为第一批全境列入国家级生态文明先行示范建设的 4 个省份之一,积极承办生态文明国际论坛,并将其纳入国家“一带一路”战略,同时在贵州省十二次党代会首次提出在“十三五”期间将“大生态”列为第三大战略行动,生态文明建设作为贵州省绿色经济发展的重要理念正不断受到重视,而该区域是我国生态环境脆弱区,随着工业化、城镇化发展步伐加快,未来土地资源负荷压力较大。土地生态安全是一个动态变化过程,目前关于贵州省土地生态安全的研究多集中在市域或者县级层面上的生态安全现状的评价和分析,对贵州省整体土地生态安全的研究较少,关于贵州省土地生态安全预测的研究也并不多见。因此,本研究通过尝试引入 DPSIR - TOPSIS 复合评价模型,以贵州省为例,对其 2005—2015 年土地生态安全问题进行系统评价,同时采用 GM(1,1)模型对贵州省 2016—2020 年的土地生态安全趋势进行预测,以期明确当前区域的土地生态安全状况,为贵州省的生态文明建设和土地生态安全有效管理提供参考依据。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

贵州省位于中国西南地区东部,地处云贵高原东斜坡地带,地势西高东低,自中部向北、东、南 3 面倾斜,平均海拔 1 100 m 左右,境内山地、丘陵、山间盆地分别占总面积的 61.70%、30.80%、7.50%,素有“八山一水一分田”之称;全省喀斯特出露面积占总面积的 73%,是喀斯特山区典型的代表之一,也是全国唯一没有平原支撑的省份。2015 年土地利用变更调查显示,全省土地总面积 1 760.99 万 hm^2 。其中,农用地 1 476.47 万 hm^2 ,占土地总面积的 83.84%;建设用地 67.47 万 hm^2 ,占土地总面积的 3.83%;未利用地 217.05 万

收稿日期:2017-09-14

基金项目:贵州省科技合作计划[编号:黔科合 LH 字(2016)7469];
贵州大学文科重大科研项目(编号:GDZT201305);贵州大学引进
人才科研基金[编号:贵大人基合字(2010)006]。

作者简介:刘晓恒(1994—),女,贵州威宁人,硕士研究生,主要从事
土地资源利用与保护研究。E-mail:1194355713@qq.com。

通信作者:杨 柳,博士,副教授,主要从事土地利用规划与管理研究。
E-mail:yang_wuhu.edu@163.com。

hm²,占土地总面积的12.33%。贵州省地形起伏波动大,生态环境脆弱,水土流失较为严重,全省属山洪地质灾害易灾区域,喀斯特石漠化问题突出。全省土地资源在利用中面临着耕地面积不断减少、耕地质量下降、土地污染、水土流失严重、自然灾害频发、局部土地损毁较严重等问题,土地生态安全形势较为严峻。

1.2 数据来源

研究数据主要来源于2005—2015年《贵州省统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国统计年鉴》、2005—2015年《贵州省环境状况公报》及贵州省历年土

地利用现状变更调查数据。

2 研究方法

2.1 指标体系的建立

DPSIR模型系统描述了人类活动与环境之间相互作用及关系,能够把复杂的问题分解、细化,有利于土地生态安全问题的进一步解决^[19]。本研究遵循指标选取的完整性、动态性、科学性、实用性、针对性等原则,结合区域实际,考虑数据的可获得性等因素,参照文献^[8,19-21],选用DPSIR模型构建贵州省生态安全评价指标体系(表1)。

表1 贵州省土地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	指标类型	指标层	单位	指标性质
土地生态安全	驱动力 D	人口驱动	D ₁ 人口自然增长率	%	-
		经济驱动	D ₂ 人均GDP	元/人	+
		社会驱动	D ₃ 城镇化率	%	+
	压力 P	人口压力	P ₁ 人口密度	人/km ²	-
		社会压力	P ₂ 城镇居民恩格尔系数	%	-
		环境压力	P ₃ 单位耕地农药负荷	kg/hm ²	-
			P ₄ 单位耕地化肥负荷	kg/hm ²	-
			资源压力	P ₅ 人均城市建设用地面积	m ² /人
		状态 S	经济状态	P ₆ 单位GDP能耗	t/万元
	S ₁ 土地经济密度			万元/hm ²	+
	S ₂ 单位面积固定资产投资			万元/hm ²	+
	资源状态		S ₃ 森林覆盖率	%	+
			S ₄ 人均耕地面积	hm ² /人	+
			S ₅ 人均当地水资源量	m ³ /人	+
	影响 I	社会影响	I ₁ 人均粮食产量	kg/人	+
			经济影响	I ₂ 单位农用地第一产业增加值	万元/hm ²
		I ₃ 单位建设用地二三产业增加值		万元/hm ²	+
		环境影响		I ₄ 单位GDP工业废水排放量	m ³ /万元
			I ₅ 单位GDP COD排放强度	kg/万元	-
			I ₆ 人均公共绿地面积	m ² /人	+
	响应 R	经济响应	R ₁ 环保投资占GDP比例	%	+
			R ₂ 第三产业占GDP比例	%	+
			R ₃ 有效灌溉面积指数	%	+
		环境响应	R ₄ 自然保护区面积比重	%	+
R ₅ 工业固体废物综合利用率			%	+	
R ₆ 社会收益分配指数			%	+	

注：“+”表示指标值越大,土地生态越安全;“-”表示指标值越大,土地生态越不安全。

2.2 研究方法

2.2.1 指标标准化和权重计算 (1)数据标准化。为消除土地生态安全评价中选取的各指标间由于正负取向、量纲和数量级不一致带来的影响,采用极差变换法进行标准化处理,具体计算公式为:

$$\text{对于正指标,其公式为: } X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_j\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}}; \quad (1)$$

$$\text{对于负指标,其公式为: } X'_{ij} = \frac{\max\{X_j\} - X_{ij}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}}。 \quad (2)$$

式中:X'_{ij}表示第i个年份第j项评价指标的数值;min{X_j}和max{X_j}分别为所有年份中第j项评价指标的最小值和最大值。

(2)权重计算。指标权重的确定方法有3类,即主观赋权法、客观赋权法、组合赋权法。主观赋权法带有一定的主观

随意性^[22];客观赋权法有效避免人为主观因素的干扰,但又忽视了决策者的主观信息^[23]。因此本研究采用层次分析法和熵权法相结合的组合法确定指标权重。使用SPSS 21.0得到权重W_a,熵值法得到权重W_b,其中熵值法的计算公式为:

①计算指标信息熵:

$$H_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln(P_{ij})。 \quad (3)$$

式中:k=1/lnm,且k>0;P_{ij}=X'_{ij}/\sum_{i=1}^m X'_{ij}(假定当P_{ij}=0时,P_{ij}lnP_{ij}=0)。

②计算第j项指标的差异性系数G:

$$G = 1 - H_j。 \quad (4)$$

③计算指标权重W_j:

$$W_j = G_j / \sum_{j=1}^n G_j, n = 1, 2, 3, \dots, 27。 \quad (5)$$

④组合赋权法确定权重:组合赋权法确定的权重 W_i 即为层次分析法确定的权重 W_a 和改进后的熵权法确定的权重 W_j 的综合集成:

$$W_i = (1 - \lambda)W_a + \lambda W_j, 0 \leq \lambda \leq 1. \quad (6)$$

式中: λ 为赋权系数, $\lambda \in [0, 1]$, 根据指标体系实际情况, 赋权系数 λ 在本研究中取 0.5。

2.2.2 改进的 TOPSIS 法 采用改进的 TOPSIS 法对贵州省土地生态安全状况进行评价, 其计算步骤及评判标准如下^[8]:

(1) 建立加权规范化矩阵 V :

$$V = |V_{ij}|_{m \times n} = W_j \times X_{ij}' \quad (7)$$

式中: X_{ij}' 为标准化后的矩阵。

(2) 确定正理想解和负理想解。

分别以加权规范化决策矩阵 V 中最大值和最小值代表正理想解和负理想解。

正理想解:

$$V^+ = \{ \max v_{ij} | i = 1, 2, \dots, m \}. \quad (8)$$

负理想解:

$$V^- = \{ \min v_{ij} | i = 1, 2, \dots, m \}. \quad (9)$$

(3) 计算不同年份评价对象到正理想解的距离 D_i^+ 和负理想解的距离 D_i^- :

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m); \quad (10)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m). \quad (11)$$

式中: D_i^+ 越小, 表明评价对象越接近正理想解, 土地生态越安全; D_i^- 越小, 表明评价对象越接近负理想解, 土地生态越不安全。

(4) 计算各评价对象与理想解的贴近度 C_i :

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}. \quad (12)$$

式中: C_i 介于 0 到 1 之间, 其值越大, 表明第 i 年土地生态状况越安全。

(5) 评判标准:

参考相关文献及结合贵州省区域实际, 以非等间距的方式依据贴近度 C_i 将贵州省生态安全状况化为 5 个评判等级(表 2)^[8, 24-25]。

表 2 贵州省土地生态安全评判标准

C_i	安全状况
[0, 0.4]	不安全
(0.4, 0.6]	较不安全
(0.6, 0.7]	临界安全
(0.7, 0.9]	较安全
(0.9, 1]	安全

2.2.3 GM(1,1)模型 为了预测未来各土地生态安全子系统及总体的发展态势, 本研究引入灰色预测模型 GM(1,1), 根据目前已知的少量数据进行建模并预测。GM(1,1)模型所需要的数据量比较少, 其样本分布不需要有规律性且计算量小, 预测结果较为准确。因此, 本研究采用 GM(1,1)模型预测不同年份土地生态安全 D_i^+ 和 D_i^- 的数值, 通过后验差检验法对 GM(1,1)进行精度检验, 根据后验差比值(C)、小

误差概率(P)来判定模型的预测精度, 具体评判标准如表 3^[14, 26]。

表 3 GM(1,1)模型精度检验标准

模型精度等级	C	P
好	$C \leq 0.35$	$P \geq 0.95$
合格	$0.35 < C \leq 0.50$	$0.8 \leq P < 0.95$
勉强	$0.50 < C \leq 0.65$	$0.70 \leq P < 0.95$
不合格	$C > 0.65$	$P < 0.70$

3 结果及分析

3.1 影响贵州省生态安全状况的主要因素分析

根据公式(1)~(6), 将层次分析法确定的权重 W_a 和改进后的熵权法确定的权重 W_j 综合集成, 可得出组合赋权法确定的各指标基础权重 W_i (表 4)。

表 4 贵州省土地生态安全评价各指标基础权重

指标	AHP 法 W_a	熵权法 W_j	组合权重 W_i
D_1	0.026 3	0.034 0	0.029 7
D_2	0.033 1	0.074 7	0.052 9
D_3	0.020 9	0.039 9	0.029 9
P_1	0.038 0	0.043 9	0.040 4
P_2	0.017 8	0.025 7	0.021 4
P_3	0.074 0	0.033 9	0.057 8
P_4	0.065 9	0.041 1	0.054 4
P_5	0.061 6	0.032 4	0.046 6
P_6	0.022 4	0.027 9	0.024 8
S_1	0.024 6	0.039 7	0.031 7
S_2	0.016 6	0.053 0	0.034 1
S_3	0.078 2	0.049 7	0.063 3
S_4	0.068 1	0.092 0	0.078 9
S_5	0.056 0	0.023 4	0.039 4
I_1	0.017 4	0.015 1	0.016 1
I_2	0.022 4	0.051 4	0.036 2
I_3	0.022 4	0.033 8	0.027 7
I_4	0.039 8	0.013 9	0.026 7
I_5	0.025 1	0.018 1	0.021 4
I_6	0.057 5	0.025 4	0.041 1
R_1	0.041 0	0.026 8	0.033 6
R_2	0.045 1	0.027 0	0.035 7
R_3	0.048 3	0.034 3	0.047 9
R_4	0.017 6	0.021 8	0.019 4
R_5	0.014 9	0.032 5	0.023 3
R_6	0.045 1	0.088 3	0.065 6

由表 3 可知, 贵州省土地生态安全在人均耕地面积(S_4)、社会收益分配指数(R_6)、森林覆盖率(S_3)、单位耕地农药负荷(P_3)、单位耕地化肥负荷(P_4)、人均 GDP(D_2)、有效灌溉面积指数(R_3)、人均城市建设用地面积(P_5)、人均公共绿地面积(I_6)、人口密度(P_1)共 10 个指标的权重大于 0.04, 这些因素是影响近 10 年来贵州省土地生态安全状况的主要因素, 说明推动贵州省土地生态安全水平的提高, 需要重视以下问题:(1)转变区域经济增长方式, 提高区域经济发展质量, 推动农民生计多样化, 提高人均经济水平和农民人均收入, 以此来推进区域土地生态安全水平的提升;(2)重视土地生态环境的保护, 减轻农业面源污染, 尤其是减少农药、化肥

的使用量,同时加强退耕还林和封山育林等森林防护措施,增加城市公共绿地面积,以提高土地生态平衡性;(3)积极推进土地整治,防治水土流失,加强农田水利基础设施建设增加农田有效灌溉面积,改造中低产田,提高土壤质量及农业生产抵御自然灾害的能力。

3.2 贵州省土地生态安全综合状况分析

根据 TOPSIS 模型计算步骤,可分别得出贵州省 2005—2015 年土地生态安全加权标准化结果、正负理想解以及贴近度计算结果,结果显示,2005—2015 年,贵州省土地生态安全状况整体上呈上升趋势, D_i^+ 由 2005 年的 0.052 6 减少为 2015 年的 0.0207,呈递减趋势,即不断趋近于正理想解; D_i^- 则由 2005 年 0.014 6 上升为 0.051 8,呈递增趋势,即不断偏离负理想解;贴近度 C_i 由 2005 年的 0.217 6 提升到 2015 年的 0.714 5,增长了 0.496 9,土地生态安全由不安全等级提升到较安全等级(图 1、图 2)。贴近度的不断提升说明了在 2005—2015 年,贵州省在提升经济发展水平与加快城镇化发展的同时,保护土地生态环境的重要性日益受到重视,森林覆盖率和自然保护区面积增加、人均公共绿地面积增加、一系列城市固体废物处理场建成投入使用、工业废水排放合格率上升、土地整理力度加强等措施使得贵州省土地生态安全呈良性发展态势。然而,整体上贵州省土地生态安全形势还不容乐观,土地生态安全还处于临界安全界限之上一点,土地生态状况还需要持续关注,农业面源污染、工业“三废”污染、土地资源退化、耕地面积减少、耕地质量下降、水土流失、环保投入比重小等问题仍十分明显,人地矛盾尖锐,土地生态质量距安全状态还有一定差距。在“十三五”期间乃至今后更长的一段时间内,有关部门要积极采取有效措施,进一步加大土地生态保护力度,改善与提高土地生态状况,积极推进人地协调,以实现土地生态安全发展的态势。

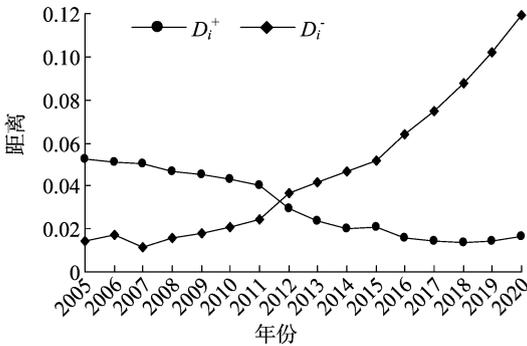


图1 2005—2020 年贵州省土地生态安全 D_i^+ 、 D_i^- 发展态势

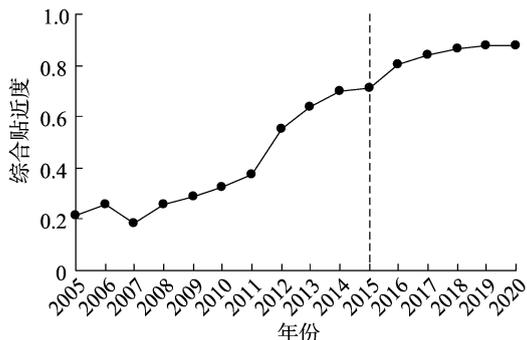


图2 2005—2020 年贵州省土地生态安全综合发展态势

3.3 各子系统生态安全状况分析

分析图 3 至图 5 可知:(1)驱动力子系统方面, D_i^+ 逐年变小,逐步接近正理想解,在 2015 年达到最小值; D_i^- 逐年增大,逐步偏离负理想解,在 2015 年达到最大值,土地生态安全形势趋于好转。贴近度 C_i 逐年上升,由 2005 年的 0.001 4 提升到 2015 年的 1.000,安全状态也由不安全级转变为安全级。这与贵州省经济发展和城镇化水平提升有密切关系:2005—2015 年间,贵州省人均 GDP 水平从 5 119 元/人提升到 29 847 元/人,增长了 483%;城镇化水平也逐年提升,2005 年贵州省城镇化水平为 26.86%,2015 年贵州省城镇化水平提升到 42.01%。这给土地生态提供有力支撑,带动了全省土地生态安全驱动力系统呈上升态势,推动了全省土地生态安全朝好的方向发展。

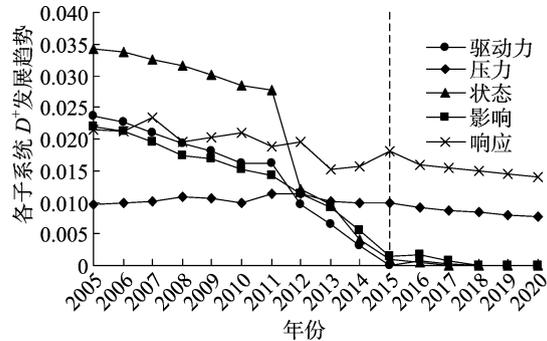


图3 2005—2020 年贵州省土地生态安全各子系统 D_i^+ 发展态势

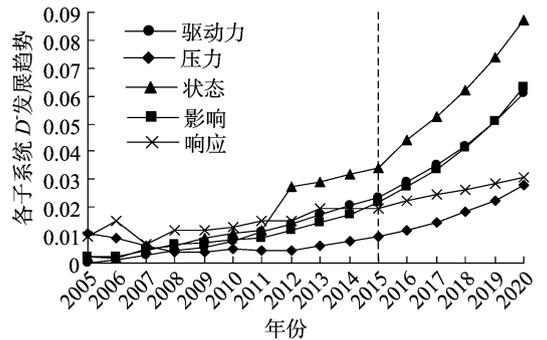


图4 2005—2020 年贵州省土地生态安全各子系统 D_i^- 发展态势

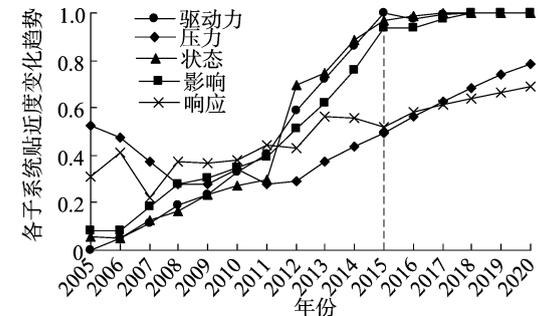


图5 2005—2020 年贵州省土地生态安全各子系统贴近度变化趋势

(2)压力子系统方面, D_i^+ 在 2005—2015 年上下波动,变化较小; D_i^- 在 2005—2011 年缓慢递减,部分年份呈轻微上下波动,2011 年以后呈缓慢增长的发展态势。 D_i^+ 和 D_i^- 的波动,也使得贴近度 C_i 在 2008—2011 年间上下波动,2011 年以后贴近度缓慢上升,等级由不安全级转变为较不安全级。这

表明在2005—2011年间土地生态安全压力较大,2011年后,城镇居民恩格尔系数、单位GDP能耗逐年递减,在很大程度上缓解了土地生态压力,但是值得注意的是人均城市建设用地面积、单位耕地化肥负荷整体上呈增长态势,这也在一定程度上加重了对土地生态系统的压力,人口密度和单位耕地农药负荷2项指标波动幅度较小,但其对土地生态系统带来的压力也不容忽视。

(3) 状态子系统方面, D_i^+ 一直呈递减趋势,其中2011—2015年呈迅速递减的态势; D_i^- 呈递增趋势,其中2011—2015年呈迅速递增的态势,这种发展态势也使得该子系统相对贴适度 C_i 在2005—2011年增长缓慢,2011年以后增长迅速,2005—2011年处于不安全等级,但逐渐提升,2015年跃升至安全等级。这主要是因为土地经济密度和单位面积固定资产投资整体上有不同程度提升,此外,人均当地水资源量在2014年达到最大值3461.12 m³/人,这说明节约水资源、提高土地集约利用度对提升贵州省土地生态安全具有重要意义。然而,在压力子系统的影响下,森林覆盖率、人均耕地面积等指标并无太大变化,也在一定程度上影响到土地生态系统的安全性。因此,保护耕地防止建设用地盲目扩张、合理利用资源和禁止乱砍乱伐以提高森林覆盖率等措施不容忽视。

(4) 影响子系统方面,随着状态子系统安全状况的不断提升,它对社会经济发展的影响也趋于好转, D_i^+ 呈逐年递减趋势, D_i^- 在呈逐年递增趋势,因此系统贴适度 C_i 也逐年上升,2005—2011年系统处于不安全等级,2012年为较不安全等级,2013为临界安全等级,2014年为较安全等级,2015年跃升至安全等级。从具体指标数据来看,2005—2015年,人均粮食产量、单位农用地第一产业增加值和单位建设用地第二、三产业增加值这3项指标均逐年增加,反映了区域内人民生活水平进一步提升以及农用地和建设用地所产生的经济效益在逐年增加,全省土地集约利用水平明显提升,农业机械化水平有效提升。单位GDP工业废水排放量和单位GDP COD排放强度降低反映了工业生产造成的环境污染逐渐降低,因此加强工业污染治理,严控三废排放尤为重要。

(5) 响应子系统方面,从 D_i^+ 、 D_i^- 和相对贴适度数值的变化情况来看, D_i^+ 由2005年的0.0214降低到2015年的0.0181,期间略有起伏,但整体上逐渐降低,与正理想解逐渐接近;而 D_i^- 的波动状况与 D_i^+ 相反,在2014年达到最优值0.0198,整体上逐渐偏离负理想解;响应子系统贴适度 C_i 则从2005年的0.3101增长到2015年的0.5204,受到 D_i^+ 和 D_i^- 波动状况的影响,期间略有起伏,总体趋势有所提升,但子系统仍处于较不安全等级。从具体指标数据分析来看:2005—2015年环保投资占GDP比重较低,表明地方政府对环保投入不高;社会收益分配指数逐年增大,说明农村居民家庭和城镇居民家庭人均可支配收入距离逐渐缩短,土地利用收益分配趋于更加公平合理;工业固体废物利用率和自然保护区面积比2项指标数值均逐年上升,对贵州省土地生态安全响应子系统的提升作出了重要贡献。值得注意的是,有效灌溉面积指数波动较大,贵州地形起伏波动大,石漠化及水土流失严重,通过土地整治提高农田水利建设水平不仅对粮食高产稳产有重要意义,也对土地生态安全有重要促进作用。

3.4 贵州省土地生态安全预测

从对贵州省土地生态安全综合及各系统的结果可以看出,贵州省土地生态安全正不断趋于有利向好一面,但各子系统生态安全状况不均衡,部分子系统波动较大,生态安全等级较低。为了科学合理地预测贵州省未来土地生态安全状况,本研究利用DPS软件采取灰色系统预测法中的GM(1,1)模型进行建模预测,以期作出合理的规划和推进贵州省生态文明建设提供参考依据。由于GM(1,1)模型的建模原理及样本数据越新模拟误差越小的规律,本研究剔除了波动性较大的2005—2009年的数据,以贵州省2010—2015年的15维原始数据作为预测基础,对未来5年内贵州省土地生态安全综合和各子系统的正负理想解及系统贴适度进行预测,为了提高模型预测精度,对模拟精度较差的数据进行2次残差修正。经检验(表5),贵州省土地生态安全总体和各子系统的小误差概率 C 均小于0.65,小概率误差均大于0.7,均在可接受的误差范围内,因此可用该模型进行预测。

表5 土地生态安全正负理想解的模拟精度值

项目	D_i^+			D_i^-		
	小概率误差 C	均方差比 P	等级	小概率误差 C	均方差比 P	等级
驱动力	0.137 9	1.0	好	0.077 9	1.0	好
压力	0.436 2	1.0	合格	0.116 3	1.0	好
状态	0.144 5	1.0	好	0.454 9	1.0	合格
影响	0.258 6	1.0	好	0.055 7	1.0	好
响应	0.622 8	0.7	勉强	0.425 7	0.8	合格
综合	0.218 0	1.0	好	0.252 7	1.0	好

根据2010—2015土地生态安全变化趋势预测2016—2020年的变化情况(图1、图2)可知,贵州省土地生态安全 D_i^+ 在2016—2018年缓慢递减,但2019—2020年呈现缓慢回升的趋势, D_i^- 呈不断上升趋势,贴适度 C_i 缓慢上升,由2015年的0.7145提升到2020年的0.8772,增长了0.1627。压力、状态、响应3个子系统 D_i^+ 呈缓慢下降的趋势,驱动力和影响2个子系统 D_i^+ 在2016年轻微向上波动,后又逐渐下降,各子系统的 D_i^- 均呈缓慢增大的趋势,由于 D_i^+ 的波动致

使驱动力和影响2个子系统的贴适度 C_i 在2016年轻微向下波动,后逐渐增大,其余子系统贴适度 C_i 逐年增大(图3至图5),可以看出在未来5年贵州省生态安全各子系统及综合状况呈上升趋势,土地生态环境朝着良性循环发展。贵州省近几年来高度重视生态文明建设,提出建设国家“山地公园省”的概念,同时制定相应方案积极开展环境监测工作,划定生态保护红线,不断强化生态管控措施,使得土地生态安全状况持续优化,生态环境得到明显改善,在整个预测期生态等级由低

值水平的较安全等级变化为高值水平的较安全等级,但土地生态安全等级还未达到安全等级,生态安全水平还有较大的提升空间,土地生态安全改善潜力较大。未来几年,贵州省应通过控制人口过快增长、优化人口结构,推动人地协调发展。同时,为缓解土地生态系统的压力应减少使用化肥、农药,提高工业“三废”处理技术,减少污染物排放量。以可持续发展战略和建设生态文明城市为基石,积极发挥贵州省“大生态”长板优势,推动生态经济发展。合理利用土地,探索集约节约利用土地和新模式。对于生态脆弱区和破坏区应加强生态强控措施,因地制宜地实施生态保护和生态修复、重建措施。

4 结论

基于 DPSIR 概念模型,结合贵州省实际,从驱动力、压力、状态、影响、响应 5 方面选取 26 个指标构建贵州省土地生态安全评价指标体系。研究得出:影响贵州省土地生态安全的主要因素包括人均耕地面积 (S_4)、社会收益分配指数 (R_6)、森林覆盖率 (S_3)、单位耕地农药负荷 (P_3)、人均 GDP (D_2)、单位耕地化肥负荷 (P_4)、人均城市建设用地面积 (P_5)、人均公共绿地面积 (I_6)、有效灌溉面积指数 (R_3) 等,在今后的土地生态安全建设中,需要采取相应的措施应对。

整体上 2005—2015 年贵州省土地生态安全状况呈上升趋势,土地生态安全由不安全等级提升到较安全等级,但安全形式仍不容乐观,属于较安全等级低值区,距安全状态还有一定差距。就各子系统而言,贵州省土地生态安全的驱动力子系统、状态子系统、影响子系统安全状况均呈逐步上升趋势,到 2015 年分别提升为安全、较安全和安全等级;压力子系统也逐渐波动提升为安全等级;响应子系统则上升缓慢,由不安全等级转变为较不安全等级。

运用 GM(1,1) 模型对贵州省 2016—2020 年内土地生态安全总体状况和各子系统发展趋势进行模拟与预测,结果表明,贵州省在研究期后的 5 年内驱动力、压力、状态、影响、响应 5 个子系统和综合状况贴适度 C_i 总体呈上升趋势,土地生态环境朝着良性循环发展,在整个预测期生态等级由低值水平的较安全等级变为高值水平的较安全等级,但土地生态安全等级还未达到安全等级,生态安全水平还有较大的提升空间,土地生态安全改善潜力较大。

参考文献:

[1] 李春燕,南灵. 陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J]. 中国土地科学,2015,29(4):72-81.

[2] 李进涛,李贻学,巩玉玲,等. 基于 IDRISI 的山东省土地生态安全评价研究[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(11):190-193.

[3] 李迎迎,杨朝现,信桂新,等. 重庆市土地生态安全动态变化研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2014,39(11):189-195.

[4] 韩蕾,孔祥斌,郭洪峰,等. 西南山区生态敏感区土地生态安全评价——以秀山县为例[J]. 水土保持研究,2015,22(1):229-234,240.

[5] 曹新向,郭志永,雒海潮. 区域土地资源持续利用的生态安全研究[J]. 水土保持学报,2004,18(2):192-195.

[6] 许月卿,赵菲菲,孙丕苓. 生态脆弱区土地生态安全动态评价——以河北省张家口市为例[J]. 水土保持学报,2015,35(5):232-238.

[7] 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.

[8] 徐美,朱翔,李静芝. 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的湖南省土地生态安全评价[J]. 冰川冻土,2012,34(5):1265-1272.

[9] 赵万羽,李建龙,齐家国,等. 新疆草地生态安全问题、现状与对策分析[J]. 干旱区研究,2005,22(1):45-50.

[10] 邓楚雄,谢炳庚. 丘陵山区土地资源生态安全评价与建设——以湘西南武冈市为例[J]. 农业现代化研究,2007,28(2):225-228.

[11] 张利,陈影,王树涛,等. 滨海快速城市化地区土地生态安全评价与预警——以曹妃甸新区为例[J]. 应用生态学报,2015,26(8):2445-2454.

[12] 李智国,杨子生. 中国土地生态安全研究进展[J]. 中国安全科学学报,2007,17(12):5-12.

[13] 范胜龙,杨玉珍,陈训争,等. 基于 PSR 和无偏 GM(1,1) 模型的福建省耕地生态安全评价与预测[J]. 中国土地科学,2016,30(9):19-27.

[14] 严超,张安明,吴仕海. 基于 GM(1,1) 模型的土地生态安全动态分析与预测——以安徽省池州市为例[J]. 西南大学学报(自然科学版),2015,37(2):103-109.

[15] 许月卿,崔丽. 小城镇土地生态安全评价研究——以贵州省猫跳河流域为例[J]. 水土保持研究,2007,14(5):345-348.

[16] 左伟,王桥,王文杰,等. 区域生态安全评价指标与标准研究[J]. 地理与地理信息科学,2002,18(1):67-71.

[17] Spangenberg J H, Douguet J M, Settele J, et al. Escaping the lock-in of continuous insecticide spraying in rice: Developing an integrated ecological and socio-political DPSIR analysis[J]. Ecological Modelling,2015(295):188-195.

[18] 张虹波,刘黎明. 土地资源生态安全研究进展与展望[J]. 地理科学进展,2006,25(5):77-85.

[19] 张继权,伊坤朋,Hiroschi Tani,等. 基于 DPSIR 的吉林省白山市生态安全评价[J]. 应用生态学报,2011,22(1):189-195.

[20] 孙德亮,张凤太. 基于 DPSIR-灰色关联模型的重庆市土地生态安全评价[J]. 水土保持通报,2016,36(5):191-197.

[21] 卢涛,王占岐,魏超,等. 基于 DPSIR 模型的合肥市土地生态安全物元分析评价[J]. 水土保持研究,2015,22(4):221-227,231.

[22] 宋光兴,杨德礼. 基于决策者偏好及赋权法一致性的组合赋权法[J]. 系统工程与电子技术,2004,26(9):1226-1230.

[23] 姚绍红. 熵权法在多因素评估系统中的应用与研究[J]. 电脑知识与技术,2015,11(27):200-201.

[24] 王磊,郭灿,李慧明. 基于 PSR-TOPSIS 模型的宁夏回族自治区土地生态安全评价[J]. 水土保持研究,2016,23(6):154-159.

[25] 黄海,谭晶今,陈春,等. 基于 TOPSIS 方法的山东省土地生态安全动态评价[J]. 水土保持研究,2016,23(3):220-224.

[26] 熊勇,赵翠薇. 山地城镇化进程中土地生态安全动态评价研究——以贵阳市为例[J]. 水土保持研究,2014,21(4):195-202.