重庆市黔江区土地生态安全评价及时空变化分析

严 超[1]，张安明[1]，石仁蓉[2]，郭欢欢[3]，郭栋梁[2]，吴仕海[2]，荣慧芳[4]

（1.西南大学 地理科学学院，重庆 400715；2.安徽师范大学 国土资源与旅游学院，安徽 芜湖 241000；
3.重庆市国土资源和房屋勘测规划院，重庆 400020；4.池州学院 资源环境学院，安徽 池州 247100）

摘 要：[目的] 揭示重庆市黔江区土地生态安全的时空变化特征，为黔江区土地资源的可持续利用提供科学依据。[方法] 从生态负荷、生态保护、生态功能及生态经济 4 个方面构建黔江区土地生态安全评价指标体系，采用主客观组合赋权和综合指数法对该区土地生态安全状况进行分析。[结果] (1) 研究区土地生态安全水平呈上升趋势，但总体水平不高，有待进一步改善；(2) 黔江区土地生态安全空间差异显著，呈现“区中心土地生态安全水平低，四周土地生态安全水平较高”的土地生态安全格局。[结论] 主客观组合赋权有助于克服单一的主观赋权及单一客观赋权的不足；将“压力—状态—响应(PSR)”模型和“自然—经济—社会”模型有机结合构建的基于生态负荷、生态保护、生态功能及生态经济的评价指标体系较好地反映了黔江区土地生态安全的时间变化及空间差异状况。

关键词：土地生态安全评价；动态；空间差异；黔江区

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2016)04-0262-07 **中图分类号**：F301.24

文献参数：严超，张安明，石仁蓉，等.重庆市黔江区土地生态安全评价及时空变化分析[J].水土保持通报，2016，36(4)：262-268. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.046

Spatiotemporal Change Analysis and Land Ecological Security Evaluation in Qianjiang District of Chongqing City

YAN Chao[1], ZHANG Anming[1], SHI Renrong[2],
GUO Huanhuan[3], GUO Dongliang[2], WU Shihai[2], RONG Huifang[4]

(1. *School of Geographical Science, Southwest University, Chongqing* 400715, *China*; 2. *College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui* 241000, *China*; 3. *Chongqing Land Resources and Housing Surveying & Planning Institute, Chongqing* 400020, *China*; 4. *College of Natural Recources and Environment, Chizhou University, Chizhou, Anhui* 247100, *China*)

Abstract: [Objective] The spatiotemporal variation pattern of land ecological security of Qianjiang District of Chongqing City was studied to provide scientific basis for the sustainable utilization of land resources. [Methods] An evaluation system of land ecological security of Qianjiang District was configured from four aspects of ecological load, ecological protection, ecological function and ecological economy. Methods of subjective and objective combined weight assignment and comprehensive index were used. [Results] Though the land ecological security level of Qianjiang District was not high enough, it was on the rise trend, and there was a big space for it to be improved. The spatial difference of the land ecological security had an obvious pattern with low center and high surrounding areas. [Conclusion] The subjective and objective combined weight assignment overcame the deficiency of single subjective or single objective assignment. The evaluation index system included ecological load, ecological protection, ecological function and ecological economy, and combined with the press-state-response (PSR) model and nature-economy-society model, hence, it could effectively reflect the temporal dynamic change and spatial difference of Qianjiang's land ecological security.

Keywords: **land ecological security evaluation; dynamics; spatial differences; Qianjiang District**

收稿日期：2015-07-20 **修回日期**：2015-09-16

资助项目：国土资源部公益性行业专项“内陆开放区土地规划和监管技术研究与示范”(201311006)；安徽省社科规划项目(AHSKQ2015D24)

第一作者：严超(1989—)，男(汉族)，安徽省安庆市人，硕士研究生，研究方向为土地利用与国土规划。E-mail：760935773@qq.com。

通讯作者：张安明(1964—)，男(汉族)，重庆市合川区人，副教授，硕士生导师，主要从事土地利用与国土规划方面的研究。E-mail：1024476074@qq.com。

土地生态安全是指在一定的时空范围内,土地生态系统能够保持其结构与功能在受到外界干扰时,系统本身能够通过自身的调节功能保持其处于不受威胁或少受威胁的稳定的动态平衡的状态,并能够为保障人类社会经济与农业可持续发展提供稳定、均衡、充裕的自然资源,从而维持土地自然、社会、经济复合体长期协调发展[1-3]。土地生态安全对于国家、地区的经济发展和未来土地资源环境的合理、高效利用起着至关重要的作用[4-5],是土地资源持续利用的核心和基础[6-7]。当前土地生态安全评价主要围绕土地生态安全评价的基础理论研究、评价指标体系的构建、合理的评价方法探索、科学的评判标准划定以及合理的评价尺度等方面展开。在评价指标体系上,运用较广泛的主要有"压力—状态—响应(PSR)"模型[8-9]和"自然—经济—社会"模型[10-11];在评价方法上,主要有数学模型法[10,12]、生态模型法[13]、景观生态模型法[14]、数字地面模型法[15];评判标准上,主要体现在确定评价基准值和评价等级两方面;在评价尺度上,时间尺度及空间尺度均展开过实证研究[16]。以上研究极大地丰富了土地生态安全评价研究,但也存在以下不足:(1) 指标权重的计算侧重采用主观性较强的层次分析法或者客观性较强的熵权法,而将主客观赋权相结合的组合权重不多;(2) 大多数学者侧重关注区域的时间动态变化或者空间差异,而将时间动态和空间差异一起研究的不多;(3) PSR 模型和"自然—经济—社会"模型各有优缺点,应将二者合理结合,进一步完善指标体系。

黔江区位于重庆市东南部,地处武陵山区腹地,是渝东南生态保护发展区的重点开发区,生态地位极其重要,随着经济和城市化的发展,不合理的资源开发(矿山开采)引起的水土流失、植被破坏;化肥农药大量使用导致的土壤污染、废弃物(地膜)导致的化学污染等。这些对土地生态安全维护产生重要威胁。因此,科学评价黔江区土地生态安全状况对维护区域土地生态系统的良性运转,促使经济社会可持续发展具有重要意义。鉴于此,本研究以黔江区为研究对象,通过构建土地生态安全评价指标体系,计算组合权重,运用综合指数法,得出黔江区土地生态安全水平,并针对性提出对策和建议,以期为黔江区土地资源的可持续利用提供科学依据。

1　研究概况及数据来源

1.1　研究区概况

黔江区位于重庆市东南部,处武陵山区腹地,地跨东经 108°28′—108°56′,北纬 29°4′—29°52′,东临湖北省咸丰县,西接彭水县,南连酉阳县,北接湖北省利川市,素有"渝鄂咽喉"之称。区内山脉河流走向近似平行,由东北向西南倾斜,呈"六岭五槽"地貌,平坝星落其间。气候属中亚热带湿润性季风性气候,年均降水量为 1 200.3 mm;植被为亚热带常绿阔叶林,森林覆盖率达 53.4%;下辖 6 个街道、12 个建制镇以及 12 个乡,土地总面积为 2 392 km^2。2012 年年末该区户籍人口 54.51 万人,常住人口 44.91 万人,城镇化率达 42.53%;全年地区生产总值 147.95 亿元,三次产业结构比调整为 10.5∶56.2∶33.3。

1.2　数据来源

研究数据主要来源于《黔江区统计年鉴 2013 年》《重庆市统计年鉴(2013 年)》;黔江区相关年份土地利用变更调查数据《重庆市 2012 水保公报》《重庆市水资源公报》《黔江区国民经济和社会发展统计公报》《黔江区土地利用总体规划(2006—2020 年)》《黔江区土地利用总体规划中期评估(2006—2020 年)》、《重庆市黔江区"十二五"生态建设和环境保护规划》《重庆市黔江区"十二五"旅游发展思路》《重庆市黔江区城乡总体规划(2013—2020 年)》《重庆市黔江区水土保持规划(2006—2025 年)》《重庆市黔江区工业发展规划(2012—2016 年)》《重庆市黔江区国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要(2011—2015 年)》等。

2　研究方法

2.1　构建土地生态安全评价指标体系

2.1.1　*指标体系构建理论框架*　建立科学合理的土地生态安全评价指标体系有利于全面诊断研究区面临的土地生态安全问题,促使今后土地可持续利用和经济社会可持续发展。目前国内还没有形成统一的土地生态安全评价指标体系,指标构架框架主要有 PSR 模型和"自然—社会—经济"模型,两者各有优缺点,如何将两者相结合,充分发挥各自的优势,使评价结果更科学仍需进一步探索。因此,借鉴上述 2 个框架模型的优点,基于生态负荷、生态保护、生态功能、生态经济 4 个方面构建黔江区土地生态安全评价指标体系。即人类活动作用于自然环境,增加了土地生态系统的生态负荷,致使土地生态环境状态发生了一定的变化,表现在生态环境恶化和生态系统整体的脆弱性上,因此人类社会会因为生态环境恶化而对土地生态环境的变化做出反应(即进行生态保护),由生态保护,土地生态系统得到改善而产生生态功能,从而促使生态经济迅速发展。

2.1.2　*构建黔江区土地生态安全指标体系*　借鉴

PSR模型和“自然—社会—经济”模型的优点，参考相关研究成果[4-7]，结合黔江区实际情况（水土流失、土地污染严重等）。从生态负荷、生态保护、生态功能及生态经济4个方面选取评价指标，主要包括水土流失率、化肥使用量、农药使用量、地膜使用量等22个黔江区土地生态安全评价指标体系（表1），另外，依据绝对确定法和相对确定法制定出黔江区土地生态安全评价指标基准值。

表1 黔江区土地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标性质	组合权重		基准值		指标说明
				分乡镇	全区	安全	不安全	
土地生态安全评价	生态负荷	人口密度/(人·km^{-2})	−	0.058 9	0.051 9		128.78	国际公认值
		人均耕地面积/hm^2	−	0.049 3	0.050 7		0.8	国际公认值
		单位播种面积化肥负荷/(kg·hm^{-2})	−	0.047 6	0.050 6		225	国际公认值
		单位播种面积农药负荷/(kg·hm^{-2})	−	0.055 0	0.053 3		10	国际公认值
		单位耕地地膜使用量/(kg·hm^{-2})	−	0.046 6	0.046 9		5	国内公认值
	生态保护	水土流失率/%	−	0.040 7	0.038 7		10	国内公认值
		森林覆盖率/%	+	0.048 3	0.044 3	50		生态县标准
		环保支出占GDP比重/%	+	0.054 8	0.050 0	3.5		生态县标准
		城市化水平/%	−	0.076 5	0.044 4	45		国际公认值
	生态功能	林地面积比重/%	+	0.051 2	0.051 8	45		相对确定法，重庆市平均值
		园地面积比重/%	+	0.046 2	0.048 5	2.62		相对确定法，重庆市平均值
		草地面积比重/%	+	0.036 0	0.038 8	3.6		相对确定法，重庆市平均值
		水域面积比重/%	+	0.040 1	0.043 3	2		相对确定法，重庆市平均值
		植被覆盖指数	+	0.038 9	0.038 5	200		相对确定法，重庆市平均值
		生物丰富度指数	+	0.037 4	0.034 6	0.2		相对确定法，重庆市平均值
		水资源量	+	0.034 8	0.033 8		13	相对确定法，重庆市平均值
	生态经济	经济密度	+	0.041 6	0.049 1	650		相对确定法
		旅游总收入	+	0.037 2	0.067 3	200 000		相对确定法，重庆市平均值
		农民人均纯收入	+	0.036 8	0.035 5	6 000		生态县、市、省建设指标
		单位面积林业产值	+	0.044 8	0.055 6	780		相对确定法，重庆市平均值
		第三产业比重	+	0.043 6	0.040 0	45		国内公认值
		农业经济比重	−	0.033 8	0.032 2		15	国内公认值

注：“−”，“+”分别表示负、正向指标。

2.2 指标标准化和权重计算

2.2.1 指标标准化 由于土地生态安全评价各指标的量纲不一致，需要对指标进行无量纲化处理。为此，采用极差法对各指标进行标准化处理，其方法为：

当评价指标为正向指标时：$P(X_i)=\dfrac{X_i-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}}$ (1)

式中：X_i——某项评价指标的实际观测值；$X_{\max}$，$X_{\min}$——时间序列内该项指标的最大值与最小值；$p(X_i)$——标准化后该项指标的实际评价值。

当评价指标为负向指标时：$p(X_i)=\dfrac{X_{\max}-X_i}{X_{\max}-X_{\min}}$ (2)

评价指标经标准化处理后，其数值介于0～1之间。其中，0表示时间序列内某一年的某一指标和其他年份的同一指标相比处于更差的状态；1表示时间序列内某一年的某一指标和其他年份的同一指标相比处于更佳的状态。

2.2.2 权重计算 权重的确定方法主要分为两种，一种是以层次分析法为代表的主观赋权法；另一种是以熵权法、主成分分析法为代表的客观赋权法。本研究基于两者的优点，将层次分析法和熵权法相结合，对黔江区土地生态安全评价指标进行主客观赋权，确定指标的组合权重[8]。

（1）层次分析法。层次分析法主要分为4步骤：① 建立层次结构。即根据评价指标体系，构建包括目标层、准则层及指标层在内的3级层次结构模型；② 构造判断矩阵。这是层次分析法的关键步骤，表示针对上一次中的某元素而言，评定该层次中各有关元素相对重要性的状况。通常采用1—9比率标度法[9-10]；③ 层次单排序与检验。计算每个指标层指标对准则层的重要性，即对每个成对比较矩阵计算最大特征值及其对应的特征向量，利用一致性指标、随机一致性指标和一致性比率做一致性检验。若检验通过，特征向量（归一化后）即为权向量；若不通过，需要重新构造成对比较矩阵；④ 层次总排序与检验。

计算某一层次所有因素对于最高层(总目标)相对重要性的权值,利用总排序一致性比率进行检验。若通过,则可按照总排序权向量表示的结果进行决策,否则需要重新考虑模型或重新构造那些一致性比率 CR 较大的成对比较矩阵。

(2) 熵权法。

① 计算第 j 个指标的信息熵 e_j

$$e_j=-k\sum_{i=1}^{m}(P_{ij}\times\ln P_{ij}) \tag{3}$$

式中:$k=1/\ln m$,且 $k>0$;$P_{ij}=x_{ij}/\sum_{i=1}^{m}x_{ij}$(假定当 $P_{ij}=0$ 时,$P_{ij}\ln P_{ij}=0$);P_{ij}——采用极差法测算的原始指标归一化值。

② 计算第 j 个指标的效应值 g_j

$$g_j=1-e_j$$

③ 计算第 j 个指标的权重 w_j

$$w_j=g_j/\sum_{i=1}^{m}g_j \quad n=1,2,3,\cdots,20 \tag{4}$$

(3) 确定指标的组合权重。在分别采用层次分析法和熵权法对各指标权重进行确定之后,取偏好系数 $u=0.5$,确定指标的组合权重。

2.3　评价模型

建立土地生态安全评价模型,土地生态安全单项指标安全指数计算公式为:

$$S_i=w_ip(x_i) \tag{5}$$

式中:S_i——单项指标的生态安全指数;$P(X_i)$——第 i 个指标生态安全指数;W_i——各单项指标权重。

研究区土地生态安全现状用单项指标生态安全值从不同方面有所反映,但计算指标综合指数,可以更加全面地反映区域内土地生态安全现状及其变化情况,土地生态安全综合指数计算公式为:

$$P=\sum_{i=1}^{n}S_i=\sum_{i=1}^{n}w_ip(x_i) \tag{6}$$

式中:P——土地生态安全综合指数;n——生态安全指标的个数。

2.4　评价标准的确定

根据土地生态安全综合指数,参考国内外有关标准和已有的相关研究成果[9-12],以非等间距的方式确立了黔江区 5 级土地生态安全评判标准(表 2)。其中生态安全值越大,表明区域土地生态安全状况就越好;反之就越差。

表 2　土地生态安全评价标准

生态安全值区间	安全等级	指标特征
0.75～1.00	安全	土地生态环境优越,土地生态功能完善,生态系统结构完整,抵抗外界干扰和自我恢复能力强,生态问题不显著
0.65～0.75	较安全	土地生态环境较好,基本可以提供较完善的生态系统服务,抵抗外界干扰和自我恢复能力较强,生态问题不显著,生态灾害不大
0.55～0.65	临界安全	土地生态环境遭到一定程度的破坏,生态系统服务已退化,生态恢复与重建有困难,生态问题较多,生态灾害有时发生
0.40～0.55	较不安全	土地生态环境受到明显破坏,系统功能发挥面临较大威胁,恢复与重建困难较大,人地关系在某种程度上失衡,对区域社会经济的发展和人口、资源、环境的协调带来明显影响
0.0～0.40	极不安全	土地生态环境恶劣,土地生态系统功能严重退化或丧失,水土流失、土地污染等生态压力严重超出了土地生态承载能力,土地生态系统几近崩溃,极易发生生态灾害

3　评价结果分析

3.1　黔江区土地生态安全动态评价分析

依据上述构建的评价指标体系以及相关评价方法,搜集和整理了黔江区 2005—2012 年土地生态安全的相关数据,进行指标标准化处理,并求出指标层中各评价指标的组合权重,通过对单项指标逐一计算,得到 2005—2012 年黔江区土地生态安全评价结果(表 3)。

表 3　黔江区 2005－2012 年土地生态安全评价综合指数

评价指数	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年
生态负荷	0.038 3	0.033 2	0.062 5	0.058 1	0.059 4	0.059 9	0.060 0	0.060 5
生态保护	0.069 5	0.081 9	0.089 3	0.090 1	0.092 1	0.096 0	0.099 1	0.101 2
生态功能	0.186 4	0.183 5	0.191 9	0.180 8	0.203 6	0.213 2	0.206 1	0.211 5
生态经济	0.132 7	0.135 6	0.145 7	0.128 1	0.154 6	0.168 8	0.195 3	0.213 0
综合指数	0.426 9	0.434 2	0.489 3	0.457 1	0.509 8	0.537 9	0.560 5	0.586 2

3.1.1 生态负荷分析 生态负荷指数由2005年的0.038 3上升到2012年的0.060 5。呈现波动式上升趋势,其中人口密度由2005年的183.60人/km^2上升到2012年的187.76人/km^2;单位播种面积化肥负荷由2005年的234.92 kg/hm^2上升到2012年的263.57 kg/hm^2,增加了28.65 kg/hm^2;单位播种面积农药负荷由2005年的5.92 kg/hm^2上升到2012年7.45 kg/hm^2;单位耕地地膜使用量由2005年的3.24 kg/hm^2上升到2012年的6.21 kg/hm^2,表明黔江区生态负荷逐年加大,人类对土地生态系统的干扰有所加强。

3.1.2 生态保护分析 生态功能指数由2005年的0.069 5上升到2012年的0.101 2,呈现上升趋势。森林覆盖率由2005年的36.00%上升到2012年的53.40%;环保支出占GDP比重由2005年的0.80%上升到2012年的1.04%;城市化水平由2005年的26.41%上升到2012年的42.53%,这些指标的安全指数不断提升,反映出黔江区生态保护得到进一步加强。

3.1.3 生态功能分析 生态功能指数由2005年的0.186 4上升到2012年的0.211 5,呈上升趋势。2005—2012年,林地面积比重、园地面积比重、草地面积比重、植被覆盖指数、生物丰富度指数均呈上升趋势,分别由2005年的57.01%,0.61%,0.00%,222.54,0.23上升到2012年的57.94%,0.91%,2.82%,240.20,0.24,这些指数的增长对增强土地生态系统的生态服务功能,比如防风固沙、水土保持、净化空气、涵养水源、维持生物多样性等有着重要的作用,这些功能使得生态系统可以自我保护,对于已造成的损坏可以在一定程度上进行自我修复。

3.1.4 生态经济分析 2005年来,黔江区生态经济迅速发展,生态经济指数由2005年的0.132 7上升到2012年的0.213 0,呈现波动式上升趋势,2012年黔江区经济密度618.55万元/hm^2,较2005年152.72万元/hm^2,增加了465.83万元/hm^2,年均增长66.55万元/hm^2;2012年黔江区旅游总收入106 632万元,较2005年10 920万元,增长了95 712万元,年均增长13 673.14万元;2012年黔江区农民人均纯收入6 214.83元,较2005年1 968元,增长了4 246.83元,年均增长606.69元;2012年黔江区单位面积林业产值986.82元/hm^2,较2005年536.25元/hm^2,增长了450.57元/hm^2,年均增长64.37;2012年该区第三产业比重和农业经济比重相对于2005年有所下降。生态经济的快速发展,有效地推动了该区土地生态系统的维护。

3.1.5 综合评价结果分析 通过对研究区土地生态安全综合指数的计算(表3),黔江区土地生态安全综合指数由2005年的0.426 9上升到0.586 2,呈上升趋势,土地生态安全状况有所改善,越来越趋向于"较安全"等级。结果表明近年来,土地生态保护的重要性日益受到该区各界的重视,该区认真落实《重庆市黔江区创建国家环境保护模范城市规划》、《重庆市黔江区"十二五"生态建设和环境保护规划》,积极推进退耕还林工程、森林工程建设,落实武陵山市级自然保护区、小南海湿地保护与恢复建设项目和阿蓬江国家级湿地公园建设,加强森林、湿地、生物多样性保护;另外,黔江区开展重点流域生态环境综合治理项目和水土保持项目,加大重点区域地质灾害治理力度,加强矿区环境管理与治理,促进生态恢复;这些措施的有力实施使得该区土地生态安全状况有所好转。但是面临的土地污染、水土流失等问题并没得到解决,说明在未来几年,生态负荷仍有逐步提升趋势,需要采取措施加以改善和调控。

3.2 各乡镇土地生态安全空间差异分析

对2012年黔江区30个乡镇(街道)的土地生态状况进行评价,得到各指标的权重及各单项指标的安全值,然后进行加权求和,得到黔江区各乡镇(街道)的土地生态安全综合指数,并依据得分对乡镇的土地生态安全状况进行分类(表4)。由表4可知,除了小南海镇、阿蓬江镇、石会镇、马喇镇、濯水镇、中塘镇6个乡镇土地生态安全指数大于0.75,处于安全级别外,其余处于较安全、临界安全或者较不安全等级。土地生态安全等级处于较不安全级的是邻鄂镇,土地生态安全综合值小于0.55,主要是因为邻鄂镇矿藏十分丰富,其中以煤为主,其储量和产量都居该区首位。虽然近年以来,邻鄂镇加快农业产业化调整步伐,但是由于部分矿区粗放式利用,导致矿区大量的原生态植被破坏,加剧了土地的石漠化,加大了生态负荷,人地关系在某种程度上失衡,对区域社会经济的发展和人口、资源、环境的协调带来明显的影响。土地生态安全等级处于临界安全级(土地生态安全综合值介于0.55~0.65之间)的是城东、城西、城南、舟白、正阳、冯家等6个街道和水田乡、蓬东乡。近年以来随着渝怀铁路、渝湘高速公路全线贯通,舟白机场通航,黔恩高速公路开工建设,区域综合交通枢纽正在形成,大通道建设提升区位价值,由此给该区带来了前所未有的发展机遇。逐步发展为该区的重点开发区,全区新型城镇化、工业化核心区,是全区新型工业化的主战场、武陵山特色工业集聚区和循环经济示范区,推动正阳工业园区创建为国家级经济技术开发

区。也正是由此,根据评价结果,土地生态安全状况处于较差的 6 个乡镇街道正处于这个区域。土地生态安全等级处于较安全级(土地生态安全综合值介于 0.65～0.75 之间)有黄溪镇、白石乡、沙坝乡、金溪镇、石家镇、水市乡、黎水镇、杉岭乡、黑溪镇、白土乡、太极乡、新华乡、鹅池镇、五里乡、金洞乡等 15 个乡镇。从区域社会、经济、环境差异的角度上看,黔江区域自然资源较为丰富,为黔江区种粮基地,生猪等养殖数量大,水源充足,耕地质量指数高,但单位化肥、农药、地膜用量相对较高,土地污染较为严重,另外虽然森林覆盖率较高,但是水土流失也较为严重。从表 4 中可以看出,处于该区的大多分布在远郊。

表 4　黔江区 2012 年各乡镇土地生态安全指数差异

乡镇名称	生态安全指数				综合指数	安全等级
	生态负荷	生态保护	生态功能	生态经济		
城东街道	0.179 5	0.118 2	0.176 4	0.171 2	0.645 3	临界安全
城南街道	0.184 9	0.123 0	0.177 5	0.162 4	0.647 7	临界安全
城西街道	0.162 5	0.121 1	0.155 9	0.210 1	0.649 5	临界安全
正阳街道	0.178 7	0.143 4	0.159 0	0.159 6	0.640 8	临界安全
舟白街道	0.147 9	0.125 3	0.213 0	0.144 2	0.630 4	临界安全
冯家街道	0.143 6	0.115 6	0.224 8	0.162 6	0.646 7	临界安全
小南海镇	0.202 6	0.179 6	0.203 8	0.201 8	0.787 8	安 全
邻鄂镇	0.157 1	0.104 1	0.147 3	0.135 2	0.543 7	较不安全
阿蓬江镇	0.201 9	0.152 0	0.217 2	0.200 4	0.771 5	安 全
石会镇	0.206 3	0.138 4	0.206 6	0.199 9	0.751 1	安 全
黑溪镇	0.186 3	0.139 0	0.173 9	0.152 1	0.651 3	较安全
黄溪镇	0.170 3	0.142 6	0.188 5	0.149 2	0.650 5	较安全
黎水镇	0.205 8	0.138 4	0.172 8	0.136 7	0.653 8	较安全
金溪镇	0.205 5	0.164 1	0.170 8	0.141 0	0.681 5	较安全
马喇镇	0.218 7	0.156 0	0.184 5	0.193 0	0.752 2	安 全
濯水镇	0.183 8	0.138 3	0.229 9	0.205 2	0.757 2	安 全
石家镇	0.225 6	0.135 8	0.224 1	0.156 5	0.742 0	较安全
鹅池镇	0.209 8	0.142 4	0.168 5	0.144 1	0.664 8	较安全
中塘乡	0.221 7	0.146 8	0.225 1	0.156 6	0.750 2	安 全
蓬东乡	0.162 3	0.154 5	0.177 0	0.150 5	0.644 3	临界安全
沙坝乡	0.195 6	0.142 7	0.174 1	0.141 2	0.653 5	较安全
白石乡	0.174 6	0.156 2	0.194 3	0.139 4	0.664 5	较安全
杉岭乡	0.175 0	0.174 4	0.171 2	0.134 7	0.655 3	较安全
太极乡	0.167 6	0.143 7	0.219 1	0.134 7	0.665 2	较安全
水田乡	0.171 1	0.143 3	0.156 8	0.121 5	0.592 6	临界安全
白土乡	0.195 1	0.162 6	0.154 9	0.138 5	0.651 1	较安全
金洞乡	0.225 5	0.134 0	0.170 7	0.128 1	0.658 2	较安全
五里乡	0.220 9	0.135 2	0.171 3	0.132 1	0.659 5	较安全
水市乡	0.189 2	0.170 4	0.154 0	0.138 8	0.652 5	较安全
新华乡	0.187 0	0.179 0	0.177 4	0.121 5	0.664 9	较安全

4　讨论与结论

(1) 黔江区土地生态安全处于临界安全等级,土地生态安全状况还有待改善;另外,黔江区土地生态安全空间差异明显,呈现“区中心土地生态安全低,四周土地生态安全较高”的土地生态安全格局。

(2) 主客观组合赋权有助于克服单一的主观赋权及单一客观赋权的不足。

(3) 将 PSR 模型和“自然—经济—社会”模型有机结合构建的基于生态负荷、生态保护、生态功能及生态经济的评价指标体系较好的反映了黔江区土地生态安全在时间动态变化及空间差异状况。

由于城市的发展,土地生态负荷将会不断增大,但是积极的生态保护和不断改善的生态经济将有利于降低生态负荷带来的影响,而保证黔江区土地生态系统的安全运行。提出相关建议:① 推进绿色产业,促进产业结构优化升级,推进“生态产业化”,“产业生态化”,“新型工业化”,发展生态旅游产业、高效生态

农业，形成具有黔江特色的生态经济体系；② 继续深入实施“森林保护工程”、“退耕还林还草工程”；③ 积极加强矿山开采的生态监控，以及废弃矿区、石漠化地区的治理和重要生态功能区保护，以致于促进生态恢复，降低生态负荷，加大生态功能；④ 坚持政府主导与市场化运作相结合，积极争取国家投资、逐步加大区县财政投入、鼓励社会资本参与，拓展投资渠道，加大对土地生态环境建设的投入，加强生态保护。

[参 考 文 献]

[1] 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.

[2] 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.

[3] 刘勇，刘友兆，徐萍. 区域土地资源生态安全评价：以浙江嘉兴市为例[J]. 资源科学，2004，26(3)：69-75.

[4] 任志远，黄青. 陕西关中地区生态安全定量评价与动态分析[J]. 水土保持学报，2005，19(4)：169-172.

[5] 龚建周，夏北成，陈健飞. 快速城市化区域生态安全的空间模糊综合评价：以广州市为例[J]. 生态学报，2008，28(10)：4992-5001.

[6] 李月辉，胡志斌，高琼，等. 沈阳市城市空间扩展的生态安全格局[J]. 生态学杂志，2007，26(6)：875-881.

[7] 黄妮，刘殿伟，王宗明. 辽河中下游流域生态安全评价[J]. 资源科学，2008，30(8)：1243-1251.

[8] 李玲，侯淑涛，赵悦，等. 基于P-S-R模型的河南省土地生态安全评价及预测[J]. 水土保持研究，2014，21(1)：188-192.

[9] 刘欣，葛京凤，冯现辉. 河北太行山区土地资源生态安全研究[J]. 干旱区资源与环境，2007，21(5)：68-74.

[10] 李玉平，蔡运龙. 河北省土地生态安全评价[J]. 北京大学学报：自然科学版，2007，43(6)：784-789.

[11] 张小虎，雷国平，袁磊，等. 黑龙江省土地生态安全评价[J]. 中国人口·资源与环境，2009，19(1)：88-93.

[12] 李佩武，李贵才，张金花，等. 城市生态安全的多种评价模型及应用[J]. 地理研究，2009，28(2)：293-302.

[13] 李明月，江华. 生态足迹分析模型的假设条件缺陷及应用偏差[J]. 农业现代化研究，2005，26(1)：6-9.

[14] 杨珊. 土地利变化对流域景观格局与生态安全的影响：以汉江流城中下游地区为例[D]. 湖北 武汉：华中师范大学，2007.

[15] 吕建树，吴泉源，张祖陆，等. 基于RS和GIS的济宁市土地利用变化及生态安全研究[J]. 地理科学，2012，32(8)：928-935.

[16] 严超. 黔江区土地生态安全评价及调控研究[D]. 重庆：西南大学，2015.

(上接第261页)

[7] 吴冠岑，刘友兆，付光辉. 基于熵权可拓物元模型的土地整理项目社会效益评价[J]. 中国土地科学，2008，22(5)：40-46.

[8] 樊敏，刘耀林，吴艳娟，等. 基于云模型的土地整理生态影响评价研究[J]. 武汉大学学报：信息科学版，2008，33(9)：986-989.

[9] 单秀丽. 基于数据包络分析法的土地整治综合效益评价研究[J]. 价值工程，2013(23)：318-319.

[10] 梁彦庆，黄志英，冯忠江，等. 基于人工神经网络的土地整理项目综合效益评价研究[J]. 安徽农业科学，2011，39(8)：4799-4801.

[11] 潘珍妮，刘应宗，高红江. 农村土地综合整治项目效益评价方法研究[J]. 西北农林科技大学学报：自然科学版，2012，12(5)：45-60.

[12] 何国英. 基于RAGA-PPC模型在土地规划方案评价中的应用研究[J]. 安徽农学通报，2012，18(17)：41-59.

[13] 张欣莉，丁晶，李祚泳，等. 投影寻踪新算法在水质评价模型中的应用[J]. 中国环境科学，2000，20(2)：187-189.

[14] 付强，付红，王立坤. 基于加速遗传算法的投影寻踪模型在水质评价中的应用研究[J]. 地理科学，2003，23(2)：236-239.

[15] 赵小勇，付强，邢贞相，等. 投影寻踪模型的改进及其在生态农业建设综合评价中的应用[J]. 农业工程学报，2006，22((5)：222-225.

[16] 田劲松，过家春，刘琳，等. 基于物元模型的土地整理经济效益评价[J]. 水土保持通报，2012，32(5)：107-112.

[17] 张学喜，王国体，张明. 基于加速遗传算法的投影寻踪评价模型在边坡稳定性评价中的应用[J]. 合肥工业大学学报，2008，31(3)：430-454.

[18] 付强，赵小勇. 投影寻踪模型原理及其应用[M]. 北京：科学出版社，2006.

[19] 聂英，董娜，李英. 农地开发整理效益评价指标体系构建：以吉林省大安项目区为例[J]. 农业技术经济，2015(6)：99-109.

[20] 何如海，聂雷，何方. 生态涵养型土地整治综合效益评价[J]. 中国农业大学学报，2013，18(4)：232-237.