

# 基于 P-S-R 模型的生态涵养发展型 区域土地生态安全评价

——以重庆市丰都县为例

王 雪, 杨庆媛, 何春燕, 侯 培

(西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

**摘 要:**针对生态涵养发展型区域的生态环境状况和土地资源特点,基于 PSR(压力—状态—响应)概念框架模型,构建土地生态安全综合评价指标体系,采用熵权法确定权重,运用综合指数法对重庆市丰都县 2006—2011 年的土地生态安全状况进行评价。结果表明,丰都县土地生态安全状态 2006 年处于敏感级安全状态(综合指数 29.72),到 2011 年处于临界级安全状态(综合指数 31.65)。土地生态安全状况的好转,得益于国家和地方对现有生态环境问题的治理以及对生态建设和环境保护的大力投入。2006—2011 年丰都县生态涵养能力与经济社会发展水平不同步,经济的快速发展带来巨大环境压力,生态涵养和发展尚未实现良性互动。

**关键词:**土地生态安全; P-S-R 模型; 生态涵养发展型区域; 丰都县

中图分类号: F301.24

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)03-0169-07

## Land Ecological Security Evaluation of Ecological Conservation Developmental Areas Based on P-S-R Model

—A Case Study of Fengdu County, Chongqing

WANG Xue, YANG Qing-yuan, HE Chun-yan, HOU Pei

(School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** According to the ecological condition and the characteristics of land resources in ecological conservation developmental areas, a comprehensive evaluation index system of land ecological security was built based on the PSR (pressure-state-response) model, and entropy weight method and comprehensive index method were employed to determine each index weight and evaluate the land ecological security condition of Fengdu County in Chongqing from 2006 to 2011. The results can be shown in the following aspects: (1) land ecological security of Fengdu County in 2006 was at sensitive level, comprehensive index of which was 29.72, while it was at critical level in 2011, comprehensive index of which rose to 31.65; (2) as time went by, the state of land ecological security had changed for the better benefiting from governance of ecosystem problems by national and local governments and effects on ecological environment construction; (3) because the rapid development of economy brought enormous environmental pressure, Fengdu County's ecological conservation ability was not synchronized with the level of economic and social development during the period of 2006—2011.

**Key words:** land ecological security; P-S-R model; ecological conservation developmental areas; Fengdu County

土地生态安全是人类社会经济与农业可持续发展的前提和保障。随着社会、经济的快速发展,土地

生态环境的破坏日趋严重,我国的土地生态安全受到了前所未有的沉重压力。国内学者从不同视角、不同

收稿日期: 2013-12-10

修回日期: 2014-02-10

资助项目: “西南山区生态敏感区典型区域土地生态状况信息提取与精细评估”项目(201315106397); 国土资源部公益性行业科研专项经费项目“内陆开放区土地整治关键技术研究”(201311006-03)

作者简介: 王雪(1989—), 女, 河南新乡人, 硕士研究生, 主要研究方向: 土地利用与国土规划。E-mail: wangxue02102@163.com

通信作者: 杨庆媛(1966—), 女, 云南腾冲人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 国土资源与区域规划、土地经济与政策等。E-mail: yizyang@swu.edu.cn

尺度对土地生态安全进行了大量研究并取得了丰硕成果,为细化区域土地生态安全研究奠定了良好的基础,也提供了方法的借鉴。研究主要集中在土地生态服务价值<sup>[1-2]</sup>、土地生态安全评价<sup>[3-8]</sup>、土地生态规划与设计<sup>[9-10]</sup>以及土地生态安全变化的驱动因素<sup>[11-12]</sup>等方面,其中土地生态安全评价是各项研究的基础。生态涵养发展型区域是以生态屏障涵养和水源保护为主,同时发展生态友好型产业的功能区域。重庆市最新明确五大功能区,其中将渝东北万州、忠县、丰都等11个区县组成渝东北生态涵养发展区。该区域既是三峡库区,又是秦巴山连片特困地区,既是重庆生态屏障和重要资源保证地,也是重庆统筹城乡发展的重点区域,环境保护任务重,发展压力大。对这一区域的土地生态安全状况进行评价,有利于了解区域土地生态系统的平衡状态,对正确处理发展与涵养的关系,促进区域可持续发展等也有重要的理论和现实意义。

本文的研究区丰都县既属于重庆市五大功能区的渝东北生态涵养发展区,同时也属于重庆市主体功能区中的“一圈两翼”重点开发区。由于山地生态系统和岩溶生态系统的双重影响,丰都县生态环境本底极其脆弱敏感。在三峡水库蓄水完工后的近几年,其土地利用形式变化剧烈,资源环境态势已发生显著变化,人地矛盾加剧。目前学术界对丰都县土地生态环境的研究较为丰富,敖崑鲸<sup>[13-14]</sup>、廖兴勇<sup>[15]</sup>、陈磊等<sup>[16]</sup>对丰都县土地利用变化对生态环境的影响进行了研究;白瑞娜等<sup>[17]</sup>探讨了土地利用变化与生态系统服务功能价值之间的关系;郭西南<sup>[18]</sup>、孙芬<sup>[19]</sup>、张丹<sup>[20]</sup>、张传华等<sup>[21]</sup>利用层次分析法、3S方法、生态足迹等方法对丰都县土地生态敏感性、土地生态安全进行了评价。但针对丰都县近几年的土地生态安全状况动态评价较为缺乏,因此,本文对重庆市丰都县2006—2011年的土地生态安全状况进行评价,旨在摸清此时间段内土地生态状况的变化及影响因素,以为相关部门制定生态保护措施,提高土地生态环境质量提供科学依据。

## 1 研究区概况

丰都县地处三峡库区腹心地带和重庆市版图中心,介于东经107°28′03″—108°12′37″,北纬29°33′18″—30°16′25″,地势西北低东南高,由一系列平行褶皱山构成,呈“四山夹三槽”的地貌格局,长江横贯中部。全县幅员面积2 900.85 km<sup>2</sup>,其中丘陵占31.70%,低山占39.40%,中山占28.90%。土壤类型多样,主要有紫色土(紫色湿润锥形土)、黄壤(铁质常湿淋溶

土)、黄棕壤(铁质湿润淋溶土)等。地带性植被以亚热带常绿阔叶林、暖性针叶林为主。气候隶属于中亚热带湿润季风气候,常年气候温和,雨量充沛,四季分明,热量丰富,立体气候明显,年均气温17.1~18.9℃,多年平均降水量1 200 mm,无霜期332~286 d,日照时数1 311.8 h。

根据《丰都县统计年鉴(2012年)》,2011年末全县户籍人口84.20万,其中农业人口61.99万,非农业人口22.21万人;城镇化率为36.10%,在渝东北9个区县中位列第三。丰都县位于长江三峡旅游热线上,以旅游发展为先导的经济战略的实施,使全县社会经济得以快速发展,城乡居民生活水平显著提高。2011年实现地区生产总值99.77亿元,三次产业结构为20.3:43.6:30.1,与重庆市的三次产业结构8.4:55.4:36.2相比,农业比重较大。城镇居民人均可支配收入15 765元,农村人均纯收入5 991元,城乡居民收入比为2.63,小于重庆市城乡居民收入比的平均水平3.13。

2011年重庆市丰都县土地利用变更调查结果表明:2011年末丰都县土地总面积290 085.90 hm<sup>2</sup>,其中:耕地83 046.79 hm<sup>2</sup>,园地11 151.78 hm<sup>2</sup>,林地144 755.53 hm<sup>2</sup>,牧草地7 005.48 hm<sup>2</sup>,其他农用地20 164.66 hm<sup>2</sup>,分别占土地总面积的28.63%,3.84%,49.90%,2.41%,6.95%,建设用地14 094.52 hm<sup>2</sup>,占土地总面积的4.86%,其他土地9 867.14 hm<sup>2</sup>,占土地总面积的3.40%。三峡工程中公路建设、水利工程建设、移民安置建设、采石采矿等一系列人类工程活动,使丰都县的土地利用和土地生态环境发生了重大变化。2006—2011年,土地开发利用的力度不断加大,未利用地减少了10 389.92 hm<sup>2</sup>。2011年全县森林覆盖率为38.40%,比全市平均水平39.00%还低。

## 2 研究过程

### 2.1 研究方法

土地生态安全评价的重点和难点是建立科学的评价指标体系和确定指标的权重。本文采用由联合国经济合作开发署(OECD)建立的P-S-R模型框架,该模型也是目前国内外生态评价中运用较多的一个模型。P-S-R模型框架强调了压力、状态、响应三者之间的相互关系,从人类与生态环境系统的相互作用与影响出发,对生态环境指标进行组织分类具有较强的系统性。

为获得客观准确的评价结果,本文采用熵权法确定指标权重,熵权法较主成分分析法、层次分析法

(AHP)、Delphi 等方法较为客观,避免了人为主观因素的影响。根据丰都县的自然生态环境和社会经济状态及土地利用结构特点,并考虑到数据的可获得性,本文在借鉴已有研究成果的基础上,选用综合指数评价法进行丰都县土地生态安全状况评价。

2.2 指标体系构建

生态涵养发展型区域面临生态涵养和经济发展的双重压力,在选取土地生态安全指标时,除了要遵循指标选取的一般性原则外,还应充分考虑到敏感性、空间性、动态性和适宜性<sup>[22]</sup>。本文即从生态涵养与经济发展两方面综合考虑土地生态安全影响因素,在 P-S-R 概念框架的指导下,从压力、状态、响应三方

面,构筑由目标层、准则层、要素层和指标层构成的多层次评价指标体系,主要包括:(1) 目标层:以丰都县土地生态安全综合指数作为目标层,以综合表征区域土地生态状况;(2) 准则层:基于 P-S-R 模型,本文以土地生态压力指数( $E$ )、土地生态状态指数( $F$ )和土地生态响应指数( $G$ )作为准则层;(3) 要素层和指标层:要素层从与区域生态涵养和发展密切相关的资源、环境、社会、经济等方面选取,指标层是生态安全评价指标体系中最基本的层面,生态系统安全指数就是由各个指标值通过一定的模型计算而得出。根据评价的需要、资料收集的可行性,本文选取以下 20 个指标作为指标层(表 1)。

表 1 丰都县土地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	要素层	指标层	权重
土地生态安全综合指数 A	土地生态压力指数 E	资源压力 $E_1$	人均耕地面积( $\text{hm}^2/\text{人}$ ) $X_1$	0.0005
		环境压力 $E_2$	单位耕地面积化肥使用量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) $X_2$	0.1738
			单位耕地面积农药使用量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ) $X_3$	0.2143
			城镇化水平( $\%$ ) $X_4$	0.0152
		社会压力 $E_3$	人口密度( $\text{人}/\text{km}^2$ ) $X_5$	0.0002
			农业人口比重( $\%$ ) $X_6$	0.0386
	土地生态状态指数 F	资源状态 $F_1$	耕地面积比重( $\%$ ) $X_7$	0.0690
			林地面积比重( $\%$ ) $X_8$	0.0160
			草地面积比重( $\%$ ) $X_9$	0.0050
		环境状态 $F_2$	森林覆盖率( $\%$ ) $X_{10}$	0.0355
			平均土壤侵蚀模数 $[\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$ $X_{11}$	0.0008
			水土流失面积比例( $\%$ ) $X_{12}$	0.0482
	土地生态响应指数 G	经济状态 $F_3$	人均粮食产量( $\text{kg}$ ) $X_{13}$	0.0394
		经济响应 $G_1$	人均 GDP(元) $X_{14}$	0.1401
			第三产业比重( $\%$ ) $X_{15}$	0.0084
			农村居民人均纯收入(元) $X_{16}$	0.0908
		社会响应 $G_2$	工业废水处理达标率( $\%$ ) $X_{17}$	0.0059
			环保投入占 GDP 比重( $\%$ ) $X_{18}$	0.0584
			水土流失治理率( $\%$ ) $X_{19}$	0.0209
			建成区绿化覆盖率( $\%$ ) $X_{20}$	0.0190

土地生态压力指标用来反映人类活动给土地生态环境造成的负荷。资源压力主要指人类对资源的需求和开发对土地生态系统形成的影响,这里选择与生产生活密切相关的人均耕地面积来表示;对于经济欠发达且第一产业比重较大的丰都县来说,环境压力很大部分来自农业生产对土地生态环境造成的污染,因此选择单位耕地面积化肥和农药的使用量来反映环境面临的压力。社会压力主要来自于人口的增长和城市的扩张对土地生态系统的承载能力和土地利用结构造成的影响,因此社会压力可以从人口压力和城市发展两方面考虑,人口压力选择人口密度和农业人口比重来表示,城市发展则选择城市化水平来反映城市的扩张。

土地生态状态指标表征土地生态环境质量、自然资源与生态系统的状况,该类指标尤其能反映区域的生态涵养能力。资源状态主要反映丰都县土地资源的现状和土地资源的利用情况,本文选择与生态状况密切相关的主要生态用地的指标,包括耕地面积比重、林地面积比重、草地面积比重;环境状态,这里主要是指生态环境的状态,在受到来自自然、社会、经济各方面的影响后,生态环境状态必然会出现变化。由于本文是对土地的生态安全评价构建指标体系,因此主要考虑与土地生态系统相关的指标,本文选取森林覆盖率、平均土壤侵蚀模数、水土流失面积比例为代表;经济状态反映土地生态系统在自然环境和社会经济双重压力下的产出状态,这里选择人均粮食产量来

表示。

土地生态响应指标表征人类面临土地生态环境问题所采取的对策与措施,也直接显示出区域经济社会发展水平。经济方面的响应主要是改善原来的粗放式经营,提高其投入产出,因此本文选取人均 GDP、第三产业比重、农村居民人均纯收入这三个指标来反映;社会响应主要表现在对污染的处理和改善上,结合压力、状态所选择的指标,本文选择工业废水处理达标率、环保投入占 GDP 比重、水土流失治理率、建成区绿化覆盖率来表示。其中,水土流失治理率是指水土流失治理面积占水土流失总面积百分率。

2.3 数据获取

文中数据主要来自《重庆市统计年鉴》(2007—2012 年),重庆市水利局发布的《重庆市土壤侵蚀数据表》(2006—2011 年),《丰都县统计年鉴》(2007—

2012 年),《重庆市丰都县国民经济和社会发展统计公报》(2008—2011 年)及丰都县 2006—2011 年的土地利用变更数据。

2.4 土地生态安全指数计算过程

2.4.1 指标阈值的确定 根据已有对土地生态安全评价的研究成果<sup>[16,23-29]</sup>和目前国际公认值、联合国环境规划署的相关标准、全国平均值、重庆市平均值和部分国家行业标准,如《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—96)、《国家生态环境状况评价技术规范》(HJ/T192—2006)、国家环保总局制定的《生态县、生态市、生态省建设指标(试行)》确定指标体系的标准区间阈值,对尚没有明确规定的和没有确切数据指标的标准值的确定,参照国内外相似城市和地区的社会经济发展现状合理确定,再结合丰都县的实际情况,设定评价指标阈值(表 2)。

表 2 丰都县土地生态安全评价指标的标准阈值

指标 代码	指标层	指标 类型	指标阈值		指标阈值确定依据及资料来源
			安全值	不安全值	
X <sub>1</sub>	人均耕地面积(hm <sup>2</sup> /人)	+	0.10	0.05	联合国粮农组织标准
X <sub>2</sub>	单位耕地面积化肥使用量(kg/hm <sup>2</sup> )	—	200.00	300.00	生态县建设标准修正
X <sub>3</sub>	单位耕地面积农药使用量(kg/hm <sup>2</sup> )	—	10.00	40.00	2006—2011 年市值修正
X <sub>4</sub>	城镇化水平(%)	—	20.00	55.00	生态市建设标准
X <sub>5</sub>	人口密度(人/km <sup>2</sup> )	—	200.00	500.00	2006—2011 年市值修正
X <sub>6</sub>	农业人口比重(%)	—	20.00	80.00	2006—2011 年市值修正
X <sub>7</sub>	耕地面积比重(%)	—	10.00	30.00	生态环境状况评价技术规范
X <sub>8</sub>	林地面积比重(%)	+	60.00	30.00	生态环境状况评价技术规范
X <sub>9</sub>	草地面积比重(%)	+	5.00	2.00	生态环境状况评价技术规范
X <sub>10</sub>	森林覆盖率(%)	+	75.00	30.00	生态县建设标准
X <sub>11</sub>	平均土壤侵蚀模数[t/(km <sup>2</sup> ·a)]	—	500.00	5000.00	土壤侵蚀分类分级标准
X <sub>12</sub>	水土流失面积比例(%)	—	10.00	80.00	2006—2011 年市值修正
X <sub>13</sub>	人均粮食产量(kg)	+	500.00	300.00	2006—2011 年市值修正
X <sub>14</sub>	人均 GDP(元)	+	50000.00	5000.00	2006—2011 年市值修正
X <sub>15</sub>	第三产业比重(%)	+	50.00	20.00	生态市建设标准修正
X <sub>16</sub>	农村居民人均纯收入(元)	+	6000.00	1000.00	生态县建设标准
X <sub>17</sub>	工业废水处理达标率(%)	+	85.00	70.00	生态县建设标准
X <sub>18</sub>	环保投入占 GDP 比重(%)	+	5.00	0.50	生态县建设标准修正
X <sub>19</sub>	水土流失治理率(%)	+	75.00	5.00	2006—2011 年市值修正
X <sub>20</sub>	建成区绿化覆盖率(%)	+	55.00	25.00	2006—2011 年市值修正

注: + 代表正向指标, - 代表负向指标。

2.4.2 数据标准化 本文通过极差法对各指标进行标准化处理,来消除指标间不同量纲的影响。评价某区域  $n$  年的包括  $m$  个评价指标的土地生态安全状况,其原始指标数据矩阵  $X$  为:

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix}$$

对  $X$  进行标准化处理,标准化公式为:

$$Y_{ij} = (X_{ij} - \min x_i) / (\max x_i - \min x_i)$$

(正向指标,指数值越大越好) (1)

$$Y_{ij} = (\max x_i - X_{ij}) / (\max x_i - \min x_i)$$

(负向指标,指数值越小越好) (2)

式中:  $Y_{ij}$ ——原始指标  $X_{ij}$  标准化后的值;  $\min x_i$ ——第  $i$  个指标的标准最小值;  $\max x_i$ ——第  $i$  个指标的标准最大值,对于原始数据中超出值域范围的值,根据指标的类型分别取值为 0 或 1。标准化后,样本矩阵转化为标准化矩阵  $Y$ ,  $Y = (Y_{ij})_{n \times m}$ , 其中  $Y_{ij} \in [0, 1]$ 。

2.4.3 指标权重的确定 本文采用熵权法确定权重,当评价问题有  $m$  个指标, $n$  个评价对象时,第  $j$  个指标的熵值  $P_j$  定义为:

$$P_j = -k \sum_{i=1}^n (f_{ij} \times \ln f_{ij}) \tag{3}$$

式中: $f_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^n y_{ij}$ , $k = 1 / \ln n$ , (假定:当  $f_{ij} = 0$  时,令  $f_{ij} \times \ln f_{ij} = 0$ )。定义了第  $j$  个指标的熵值之后,可以得出第  $j$  个指标的熵权  $w_j$ , 定义为:

$$w_j = (1 - P_j) / \sum_{j=1}^m (1 - P_j) \tag{4}$$

( $w_j \in [0, 1]$ ,  $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ )

2.4.4 土地生态安全状况综合得分计算 虽然各指标可以从不同的方面反映出区域土地生态安全的状态,但区域土地生态安全是各因素综合叠加作用的结果。因此,必须在指标标准化和权重确定的基础上对

区域生态安全进行综合计算。本研究中定义土地生态安全综合指数  $A$ ,数学模型为:

$$A = \sum_{j=1}^m (y_{ij} \times 100 \times w_j) \tag{5}$$

式中: $A$ ——土地生态安全综合指数; $w_j$ ——第  $j$  个指标的权重系数; $y_{ij}$ ——第  $i$  年第  $j$  个指标的标准化值; $m$ ——指标个数。为了计算结果的简单明了,本文将每项评价指标标准化后的数值  $y_{ij}$  进行百分制转化,所以土地生态安全综合得分在  $0 \sim 100$  之间。但仅仅从数字上很难直观地对土地生态安全状况进行评价,因此,根据计算得出的土地生态安全综合指数,借鉴以往对土地生态安全评价分级的研究成果<sup>[30]</sup>,将丰都县土地生态安全综合指数,采用非等间距法,划分为 5 个等级(表 3)。综合指数越大,土地生态安全状况越好,反之则越差。

表 3 土地生态安全评价分级标准

综合指数分值	等级	生态状况	生态系统特征
0~15	I	恶劣级	土地生态环境非常恶劣,生态压力严重超出其承载能力,土地生态系统结构遭到破坏,生态恢复与重建很困难。
15~30	II	敏感级	土地生态环境较恶劣,水土流失、土壤污染等部分生态压力已超出其承载能力,土地生态系统结构破坏较大,受外界干扰后恢复困难。
30~55	III	临界级	土地生态环境较差,个别生态压力已超出生态系统的承载能力,土地生态系统结构出现破坏,尚在承受范围内,生态系统主要服务功能尚能发挥。
55~80	IV	良好级	土地生态环境较好,各类生态压力未超出生态系统自身的承载能力,土地生态系统结构较完整,受干扰后一般可恢复,发生生态灾害的可能行较小。
80~100	V	安全级	土地生态环境好,土地生态系统结构完整,生态系统服务功能稳定,受干扰后能恢复,很少发生生态灾害。

3 土地生态安全评价结果

根据上述指标体系和评价方法,计算得出丰都县 2006—2011 年的土地生态安全综合指数及各类型影响指标的结果(表 4)。

3.1 土地生态安全综合评价结果

对丰都县 2006—2011 年的土地生态安全综合指数变化走势分析表明,土地生态安全指数整体处于上升阶段,其中 2006—2009 年土地生态安全状态处于快速好转阶段,2009—2010 年土地生态安全状态有所恶化,2009—2010 年土地生态安全状态处于较平稳阶段。丰都县土地生态安全综合指数由 2006 年的 29.72 上升到 2009 年的 35.17,又下降到 2011 年的 31.65,区域整体生态安全水平不断提高。根据土地生态安全分级标准(表 3),丰都县土地生态安全状态 2006 年仍处于“敏感级”安全状态,生态系统服务功能已大量退化或丧失,水土流失、土壤污染等部分生态压力已超出其承载能力,生态涵养能力较弱。丰都县土地生态安全状态 2007—2011 年上升至“临界级”

安全状态,表明三峡库区生态涵养区的土地生态系统结构已在人类活动的影响下,有了较好的恢复,生态涵养能力有所提高,但极个别生态压力指数仍超出了土地生态系统的承载能力。

3.2 土地生态压力评价结果

丰都县的土地生态压力指数整体处于不断下降的趋势,中间略有波动,从 2006 年的 14.29 下降到 2011 年的 7.29,表明丰都县的土地生态安全状况面临的压力在不断增大。其中,环境压力指数下降明显,2009—2011 年更是逐年下降,主要原因是化肥、农药的大量施用,单位耕地面积化肥使用量从 232.13 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 273.71 kg/hm<sup>2</sup>,2009—2011 年的单位耕地面积化肥使用量均超过国家生态县建设标准 250 kg/hm<sup>2</sup> 的下限,造成农业面源污染进一步加重,土地质量下降。社会压力指数从 2006 年的 2.07 上升到 2.40,主要是因为随着城镇化的加速、户籍制度改革的推进以及三峡库区移民搬迁安置的完成,丰都农业人口从 2006 年的 66.95 万逐渐减少到 2011 年的 66.60 万人,农业人口比重也从 68.00% 下降到

57.60%。同时,城镇化水平从 25.00% 上升到 34.51%,人口密度从 278 人/km<sup>2</sup> 增加到 290 人/km<sup>2</sup>,城镇化的快速发展和较大的人口压力,使得社会压力指数增加得较为缓慢。资源压力指数基本不变,人均耕地面积 6 a 内无较大变化,但三峡工程就地后靠移民地区新增人口对耕地的需求,导致部分坡地开垦,土地利用强度加大,生态环境局部恶化。

3.3 土地生态状态评价结果

丰都县的土地生态状态指数从 2006 年 5.30 上升到 2011 年的 6.67,土地生态状态趋于好转,资源、环境、经济三个要素指数变化都较大。其中,环境状态指数由 2.50 提高到 3.11,生态环境状态得到改善,主要是因为国家在三峡库区实施的退耕还林还草工程、天然林保护工程、长江上中游水土流失种地防治工程、长江防护林工程等,促进了库区生态环境建设,逐步恢复了森林植被,且一定程度上控制了水土流失,该指数也象征着丰都县土地生态涵养能力的提高。2011 年森林覆盖率达到 38.4%,比上年提高 1.8 个百分点。但环境状态指数在 2008 年有一个明显下降点,主要因为 2008 年水土流失面积比例较大,达到 65.99%。经济状态指数主要根据人均粮食产量这个指标得出,人均粮食产量由 2006 年的 349.5 kg 增长到 2007 年的 421 kg 之后就维持在 410 kg 的水平,到 2011 年又减少至 400 kg 以内,整体呈波动性上升,主要是因为丰都县农村外出务工人员增多(仅 2011 年就转移输出农村劳动力 23.20 万人),加之部分后靠

移民地区土地瘠薄,粮食产量较低。资源状态指数略有下降,主要是因为随着耕地保护政策的落实和后靠移民的生计需求,耕地面积比重进一步增大,从 2006 年的 27.28% 增加到 2011 年的 28.63%。

3.4 土地生态响应评价结果

土地生态响应指数在土地生态安全指数中所占比重较大,整体呈上升趋势,从 2006 年的 10.13 上升到 2011 年的 17.69。其中经济响应指数增长迅速,由 3.72 上升到 11.35,丰都县人均 GDP 从 2006 年的 6 203.00 元增长至 2011 年的 10 878.00 元,农村居民人均纯收入从 2 479.05 元增长到 5 991.00 元,2011 年人均生活消费支出 2 770.00 元,比上年增长 39.00%,以上数据均表明在后三峡时期丰都县经济的快速发展。社会响应指数整体变化不大,在 2009 年出现一个最高值,是因为在三峡工程的后续工作中,国家对三峡移民工作的高度重视和大量资金的投入,丰都县人居环境、城乡基础设施和公共服务设施明显改善,丰都县环保投入资金从 2006 年的 15 145.10 万元增加到 2011 年的 29 646.25 万元,建成区绿化覆盖率由 33.00% 增长到 38.70%。加之为增加生态涵养功能而进行的生态屏障区建设,在土地生态功能建设、植被恢复与生态廊道建设、城集镇生活污水垃圾处理、生态工业园区集中控污和农村面源污染防治等方面也采取了措施,丰都县工业废水处理达标率从 74.00% 升高到 75.10%,水土流失治理率由 54.32% 上升到 74.28%。

表 4 丰都县 2006—2011 年的各项指标的土地生态安全评价结果

准则层	要素层	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
土地生态压力指数 E	资源压力 E <sub>1</sub>	0.0488	0.0478	0.0470	0.0509	0.0505	0.0495
	环境压力 E <sub>2</sub>	12.1717	11.4262	14.7973	9.9778	6.3903	4.8350
	社会压力 E <sub>3</sub>	2.0712	2.1087	2.1846	2.3082	2.3484	2.4017
土地生态状况指数 F	资源状态 F <sub>1</sub>	1.8193	1.7940	1.7947	1.6074	1.6369	1.6025
	环境状态 F <sub>2</sub>	2.5040	2.5192	1.7078	3.5146	3.0001	3.1161
	经济状态 F <sub>3</sub>	0.9754	2.3843	2.1952	2.1408	2.1755	1.9508
土地生态响应指数 G	经济响应 G <sub>1</sub>	3.7214	5.1091	6.6252	7.6291	9.5369	11.3480
	社会响应 G <sub>2</sub>	6.4047	4.8866	4.3287	7.9366	5.9641	6.3426
综合指数 A		29.7165	30.2759	33.6804	35.1654	31.1027	31.6463

根据上述分析,从丰都县土地生态安全各项指标的评价结果(表 4)来看,丰都县土地生态安全面临的主要压力来自于污染物(化肥、农药)对环境的破坏、人口的过快增长和快速城镇化过程中对环境造成的负影响;土地生态安全状况的好转,得益于经济发展水平的提高和相关政策的大力实施。土地生态压力指数和土地生态响应指数对土地生态安全的贡献度较大,土地生态状态指数对其贡献度较小。说明丰都

县在维持土地生态状态变化不大的情况下,土地生态安全面临的压力和对其经济社会响应之间,呈拉锯式循环增减。土地生态压力增大,土地生态状态恶化,促使国家和地方作出积极响应,增加对生态环境问题治理的投入,土地生态状态又趋于好转。如何实现生态涵养和经济发展的双赢,是实现生态涵养发展型区域功能定位的关键,也是此类型区域当前急需解决的重大理论问题和实践问题。

## 4 结论

(1) 2006—2011 年丰都县的土地生态状况渐趋改善。2006 年土地生态安全综合指数为 29.72,处于土地生态安全“敏感级”;2011 年土地生态安全综合指数为 31.65,处于土地生态安全“临界级”。丰都县土地生态安全状况的好转和生态涵养能力的提高,依赖于国家和地方对环境保护和生态建设的大力投入、对现有生态环境问题的治理。

(2) 丰都县的生态涵养和发展尚未实现良性互动。丰都县 2006—2011 年土地生态压力指数和土地生态响应指数呈现拉锯式循环增减,经济发展快速但面临的环境压力也与日俱增,生态涵养能力与经济社会发展水平不同步。

(3) 基于 P-S-R 概念框架模型的土地生态安全评价指标体系结构简单明了,计算出的结果较符合丰都县 2006—2011 年土地生态安全状况变化的实际情况。土地生态安全状况是自然环境及人类行为共同作用的结果,不同区域的评价指标选取应有所差异,如果指标选取中对区域本底要素考虑不足,将会影响土地生态安全评价结果的准确性。因此,未来的土地生态安全研究中,应进一步紧密结合区域类型,建立完善的土地生态安全评价体系。

### 参考文献:

- [1] 曹顺爱,吴次芳,余万军.土地生态服务价值评价及其在土地利用布局中的应用:以杭州市萧山区为例[J].水土保持学报,2006,20(2):197-200.
- [2] 沈叶琴,李凤全,叶玮,等.土地利用变化对浙江生态系统服务价值的影响[J].资源开发与市场,2005,21(5):412-415.
- [3] 孙芬,吴涌泉,刘秀华,等.基于 GIS 的三峡库区土地生态安全评价:以丰都县沿江地区为例[J].中国农学通报,2012,28(8):240-247.
- [4] 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.
- [5] 曲衍波,齐伟,商冉,等.基于 GIS 的山区县域土地生态安全评价[J].中国土地科学,2008,22(4):38-44.
- [6] 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.
- [7] 冯文斌,李升峰.江苏省土地生态安全评价研究[J].水土保持通报,2013,33(2):285-290.
- [8] 黄海,刘长城,陈春.基于生态足迹的土地生态安全评价研究[J].水土保持研究,2013,20(1):193-196,201.
- [9] 李虹颖.新一轮土地利用总体规划中土地生态规划研究[D].重庆:西南大学,2011.

- [10] 孙尚华,刘建军,康博文,等.渭西北部丘陵区小流域土地生态规划与设计[J].中国水土保持科学,2009,7(4):106-111.
- [11] 喻锋,李晓兵,王宏,等.皇甫川流域土地利用变化与生态安全评价[J].地理学报,2006,61(6):645-653.
- [12] 刘世梁,郭旭东,傅伯杰,等.道路网络对黄土高原过渡区土地生态安全的影响[J].干旱区研究,2006,23(1):126-132.
- [13] 敖崑鯨.土地利用规划环境影响评价实证研究[D].重庆:西南大学,2008.
- [14] 敖崑鯨,刘秀华,杨朝现.县域土地利用变化的生态环境效应评价:以三峡库区丰都县为例[J].西南农业大学学报:社会科学版,2007,5(4):1-5.
- [15] 廖兴勇,魏朝富,刘秀华.关于上一轮县级土地利用总体规划中土地利用变化及生态环境效应的思考:以重庆市丰都县为例[J].中国农学通报,2006,22(6):379-384.
- [16] 陈磊.县域环境友好型土地利用及模式的研究[D].重庆:西南大学,2011.
- [17] 白瑞娜.土地利用变化对生态服务价值的影响[D].重庆:西南大学,2012.
- [18] 郭西南,杨庆媛,杨丽娜,等.基于土地生态敏感性评价的丰都县土地可持续利用研究[J].西南农业大学学报:社会科学版,2013(6):6-11.
- [19] 孙芬.基于 GIS 的三峡库区土地生态安全评价[D].重庆:西南大学,2010.
- [20] 张丹.三峡库区土地资源生态安全评价研究[D].重庆:西南大学,2008.
- [21] 张传华.耕地生态安全评价研究[D].重庆:西南大学,2006.
- [22] 吴未,谢嗣频.中国土地生态安全评价研究进展与展望[J].河北农业科学,2010,14(5):99-102,159.
- [23] 杨春,何柯润,李灿斌.湖南省土地生态安全动态评价[J].国土资源导刊,2008,5(5):42-44.
- [24] 袁磊,雷国平,张小虎.大庆油田区土地生态安全评价[J].水土保持研究,2009,16(1):220-225.
- [25] 李洪涛,何宏.沈阳市土地利用生态水平评价[J].现代农业科技,2010(10):256-258.
- [26] 左太安,苏维词,马景娜,等.三峡重庆库区针对水土流失的土地资源生态安全评价[J].水土保持学报,2010,24(2):76-80.
- [27] 张军以,苏维词.三峡库区土地生态安全评价[J].广东农业科学,2009(9):213-216.
- [28] 张军以,苏维词,张凤太.基于 PSR 模型的三峡库区生态经济区土地生态安全评价[J].中国环境科学,2011,31(6):1039-1044.
- [29] 曾光建,陶军德,关国锋,等.黑龙江省鸡西市土地生态安全评价研究[J].国土资源科技管理,2010,27(3):43-47.