

# 基于 PSR 模型的生态文明示范区生态安全 评价及其障碍诊断

吕添贵<sup>1,2</sup>, 孔安妮<sup>1</sup>, 汪立<sup>1</sup>

(1.江西财经大学 旅游与城市管理学院, 南昌 330013; 2.江西财经大学 生态文明研究院, 南昌 330013)

**摘要:**为了探究生态文明示范区生态安全的变化趋势与影响因素,基于 PSR 构建区域生态安全评价指标体系,运用熵权法对江西省生态文明先行示范区 2009—2018 年生态安全状况进行评价,结合障碍模型分析了其生态安全障碍因素。结果表明:(1)在 2009—2018 年江西省各地市生态安全水平总体有所提升,但生态安全等级各地差距较大;(2)江西省生态安全障碍度排序结果为响应因素>压力因素>状态因素,且受到城镇建设用地面积比重、生态环境耗水量、城镇化水平、第一产业占 GDP 比重以及单位土地面积农药使用量的综合影响;(3)江西省生态安全划分为生态经济发展协调区、生态经济改善区和生态安全脆弱区;(4)应从存量用地再开发、推动区域产业高质量发展和强化生态环境政策响应方面构建生态安全治理体系。可见,生态文明示范区生态安全等级介于临界安全等级(Ⅱ)较多,距离基本安全等级(Ⅲ)状态仍有较大差距,而通过分析生态安全空间与诊断影响因素可为提升生态安全水平提供理论支持。

**关键词:**生态文明示范区;生态安全;PSR 模型;障碍模型;江西省

**中图分类号:**X171.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2021)02-0343-08

## Evaluation of Regional Ecological Security and Obstacle Diagnosis of Ecological Civilization Demonstration Area Based on PSR Model

LÜ Tiangui<sup>1,2</sup>, KONG Anni<sup>1</sup>, WANG Li<sup>1</sup>

(1.School of Tourism and Urban Management, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China; 2.Institute of Ecological Civilization, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China)

**Abstract:** The purpose of this paper is to explore the change trend and influencing factors of ecological security in the ecological civilization demonstration area. The evaluation index system of regional ecological security was constructed based on the PSR model. The entropy weight method was used to evaluate the regional ecological security situation of Jiangxi Province from 2009 to 2018 in the past ten years, meanwhile the obstacle factors of regional ecological security in Jiangxi Province were analyzed with the obstacle model. The results showed that: (1) it was suggested that the overall level of ecological security in all cities of Jiangxi Province had been improved, and the score of ecological security had been steadily rising, but there was a large gap in the level of ecological security in all cities; (2) it demonstrated that the barrier degree of regional ecological security factors decreased in the order: response factors>pressure factors>state factors, while the ecological security of Jiangxi Province was affected by the proportion of urban construction land area, the water consumption of ecological environment, the level of urbanization, the proportion of the first industry in GDP and the amount of pesticide used per unit land area; (3) it showed that the ecological security of Jiangxi Province was divided into the ecological economic development coordination area, ecological economy improvement area and ecological security fragile area; (4) it revealed that the governance system should be constructed from the aspects of redevelopment of stock land, promoting the high-quality development of regional agriculture and strengthening the response of ecological environment policy. It was concluded that the ecological security

收稿日期:2020-06-05

修回日期:2020-06-21

**资助项目:**国家自然科学基金(71864016);教育人文社科资助项目(17YJC630100);中国博士后资助项目(2017M622098);江西省博士后项目(2017KY55);江西省博士后日常资助项目(2017RC036);江西省自然科学基金(20171BAA218017);江西省高校人文社科项目(GL18242);江西省教育厅科技规划项目(GJJ200258)

**第一作者:**吕添贵(1986—),男,福建龙岩人,讲师,硕士,主要从事土地资源规划与利用研究。E-mail:lvtiangui@jxufe.edu.cn

**通信作者:**孔安妮(1998—),女,河南济源人,本科,研究方向为区域生态安全评价。E-mail:819627980@qq.com

level of ecological civilization demonstration area was more than critical level (Ⅱ), and there was still a large gap from the basic security level (Ⅲ). Meanwhile, the spatial analysis of ecological security and the diagnosis of obstacle factors can provide the theoretical support for the formulation of ecological sustainable development policies in the future.

**Keywords:** ecological civilization demonstration area; ecological security; PSR model; obstacle model; Jiangxi Province

随着我国工业化与城镇化进程的不断推进,水土资源开发利用强度加剧、人口规模不断扩大和居民消费日益提升,这些都对区域生态安全形成了潜在威胁。生态安全作为在不削弱自然储备基础上,一个社会的资源环境系统足以满足经济社会发展需求的状态,其以生态环境系统为研究对象,旨在分析评价人类活动与生态环境系统两者的交互作用及其影响<sup>[1-2]</sup>。当前我国正处于推进国家生态文明建设示范区的新阶段,如何合理评价生态文明示范区生态安全状态,促进区域的生态文明建设的有序推进已成为当前研究热点<sup>[3-5]</sup>。

目前,关于区域生态安全问题研究已受到诸多关注,学者们从不同角度进行探讨。在研究尺度上,主要以国家、行政区域、流域生态以及特定类型生态系统为对象,探讨不同尺度下生态安全评价与仿真模拟研究;在研究视角层面,则由单一化要素的自然评价向社会—经济—生态为整体转变;在模型选择上,建立了包含数学、景观生态学及数字地面等模式;在理论框架层面,包含 PSR, DPSIR, DPSIRM 等;而评价方法则包含景观格局分析法、数字生态安全法、生态足迹法等<sup>[6-7]</sup>;在研究工具上则包括聚类分析法、物元分析法、GIS 分析法等<sup>[8-9]</sup>。综上所述,已有研究在区域生态安全评价尺度、方法、理论框架等的研究极大地丰富了生态安全评价研究,为后续生态安全评价及其诊断影响因素奠定了良好基础。但纵观已有研究,当前生态安全评价多以不同尺度为研究范畴,而以生态文明示范区为研究对象的生态安全评价相对较少,由此容易导致研究结论的现实指导意义不足等。江西省作为生态文明建设先行示范区,也是我国创建生态文明建设试点的重要组成部分。随着江西省新型城镇化和工业化进程的推进,生态文明先行示范区的区域生态安全矛盾日渐凸显,评价区域生态安全已成为实现生态文明建设不可回避的现实需求,探讨其时空演化过程更具代表性。鉴于此,本研究在分析生态文明建设示范区基础上,以江西省为研究对象,尝试通过构建 PSR 框架构建生态安全评价指标体系,探索生态文明建设示范区生态安全时空演化,通过障碍度模型诊断生态安全影响因素并提

出优化路径,旨在为其他生态文明示范区生态安全评价提供借鉴。

## 1 研究区概况与研究框架

### 1.1 研究区概况

江西省位于中国东南部,长江中下游南岸,地处北纬 24° 29′ 14″—30° 04′ 41″,东经 113° 34′ 36″—118° 28′ 58″,多属山地丘陵地区,生态环境良好,森林覆盖率高达 63.10%,境内降水充沛且气候温暖,属亚热带温暖湿润季风气候,且河流湖泊众多,拥有赣江、抚河、信江、修河、饶河五大河流及我国第一大淡水湖鄱阳湖,具有得天独厚的自然生态环境。然而,由于城镇化工业化发展与自然地理条件因素的综合作用,区域内自然植被退化、水土流失严重、境内轻度以上水力侵蚀面积仍达 2.45 万 km<sup>2</sup>,水土流失严重抑制了江西省的农业发展,成为制约其社会经济可持续发展的重要因素。尤其是 2018 年国务院批准《江西省生态文明先行示范区建设实施方案》,标志着江西省生态文明先行示范区上升为国家战略。江西省作为生态文明示范区,2018 年末常住人口 4 666 万人,其中城镇人口 2 679 万人,城镇化率达 57.40%,研究区域处于快速城镇化发展阶段。值得注意的是,江西省作为重要的粮食出口区域,区域内绿色农产品、有机食品发展优势突出,其水土流失、生态环境脆弱现象严重,呈现出对等级优良生态环境的需求同生态环境脆弱现状的矛盾,为此,如何将生态优势转变为发展优势为全国生态文明建设积累经验和提供示范,评价生态文明示范区生态安全并诊断其影响因素,已成为构建生态文明示范区生态安全格局的必然选择<sup>[10-11]</sup>。

### 1.2 研究框架

生态文明示范区作为协调生态环境保护与城市化建设重要区域,良好生态环境是生态文明建设的重要组成部分。而“压力—状态—响应”PSR(Pressure-State-Response)作为环境质量评价学科中生态系统健康评价的重要模型,可体现人与环境两者之间的相互作用关系。为此,在生态文明示范区建设过程中,城市化建设从自然环境中获取生存与发展所需资源同时,又向生态系统排放废弃物,从而改变了自然生

态系统质量,而自然环境状态的变化又反过来影响人类的社会经济活动和福利,并通过行为规制做出反馈,如此构建了生态文明示范区“压力—状态—响应”循环模式(图 1)。

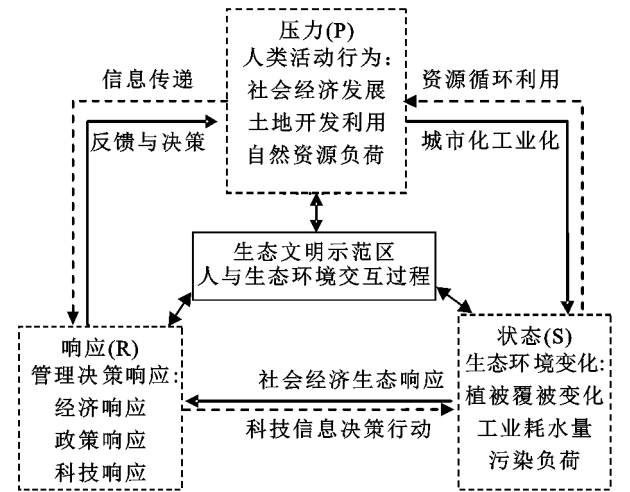


图 1 基于 PSR 模型生态文明示范区生态安全分析框架

在该框架体系中,人类活动的压力方面通过状态指标为响应方面提供信息,而生态系统服务管理部门则通过响应采取措施缓解压力,为此构成了压力—状态—响应多重多因素对生态文明示范区生态系统破坏、保护和反馈的全过程。其中,压力指标表征生态

文明示范区社会和经济活动对自然环境的作用,如城镇化、工业化发展引起的土地利用覆被变化产生环境破坏和扰动;状态指标表征特定时间阶段的环境状态和环境变化情况,包括生态系统与自然环境现状、人类的生活质量和健康状况等;响应指标指社会和个人如何行动来减轻、阻止、恢复和预防人类活动对环境的负面影响。尤其是,通过构建人与生态环境相互作用关系模型来进行生态安全评价,即人类通过开发利用自然资源以及能源保证自身社会经济的发展和生活水平的提升,由此生态文明示范区生态环境需承担人类社会带来的压力,生态环境系统在原有状态的基础上做出反馈,重新反馈于社会经济发展过程,与此同时人类对生态环境系统的反馈,利用科技、政策手段提出积极响应<sup>[12-14]</sup>。

## 2 指标选取与研究方法

### 2.1 指标选取与数据来源

2.1.1 指标选取 本文结合生态文明示范区生态环境以及社会经济发展现状,采用可综合多方面指标 PSR 模型构建生态安全评价指标体系<sup>[15]</sup>,基于图 1 理论分析框架,考虑到江西省作为生态文明示范区实际、数据可获得性及其相关研究,选取了 16 个评价因子(表 1)。

表 1 生态文明示范区生态安全评价因子及其权重

目标	因素层	指标层	单位	效应	AHP 法	熵权法	综合权重
生态安全评价	压力	城镇化率	%	—	0.0375	0.1556	0.0966
		人口密度	人/km <sup>2</sup>	—	0.0518	0.0216	0.0367
		人口自然增长率	%	—	0.0245	0.0001	0.0123
		单位土地面积化肥施用量	kg/hm <sup>2</sup>	—	0.1454	0.0440	0.0947
		单位土地面积农药使用量	kg/hm <sup>2</sup>	—	0.0908	0.0601	0.0755
		人均水资源量	万 m <sup>3</sup>	+	0.0788	0.0258	0.0523
	状态	第一产业占 GDP 比重	%	—	0.0160	0.0846	0.0503
		单位 GDP 能耗	万 t 标准煤	—	0.0211	0.0313	0.0262
		森林覆盖率	%	+	0.1319	0.0148	0.0734
		建设用地面积比重	%	—	0.0514	0.2271	0.1393
		单位工业产值耗水量	t/万元	—	0.0315	0.0156	0.0236
		工业固体废弃物利用率	%	+	0.1422	0.0488	0.0955
	响应	生态环境耗水比重	%	+	0.0638	0.0892	0.0765
		固定资产投资比重	%	+	0.0176	0.0326	0.0251
		第三产业占 GDP 比重	%	+	0.0670	0.0027	0.0349
		人均 GDP	元	+	0.0287	0.1461	0.0874

(1) 压力因子。驱动压力源于社会经济发展对资源环境胁迫与影响,其中,城镇化率表征城市化与工业化驱动所带来的社会经济发展压力;人口密度以及人口自然增长率则衡量人口压力,共同表征人口、社会经济发展、环境破坏对于生态环境产生负荷;单

位土地面积施用化肥量及单位土地面积农药使用量表示土地开发利用污染造成的环境压力。

(2) 状态因子。状态则表征生态环境下现实状态,其中,人均水资源量衡量生态环境系统持水功能状态;第一产业占 GDP 比重表征生态环境系统提供农产品功

能状态;单位 GDP 能耗表示生态文明示范区生态环境系统资源消耗状态;森林覆盖率表示生态环境系统气候调节等功能的状态;建设用地面积比重则表征生态文明示范区土地资源利用状态;单位工业产值耗水量表示系统内水资源利用状态,共同表示能源资源、水资源、土地利用程度以及产业发展的系统状态。

(3) 响应因子。响应则体现对生态环境状态的应对水平,其中,工业固体废物利用率衡量节约资源控制污染响应;而生态环境耗水比重则衡量环境治理响应;固定资产投资比重和人均 GDP 表示生态环境系统治理的经济响应;第三产业占 GDP 比重表示优化产业结构控制污染的积极行动,共同表征生态文明视域下从经济响应、污染控制和产业优化等对恢复、改善生态环境以及防止环境退化采取的行动<sup>[16-20]</sup>。

2.1.2 数据来源 水资源数据主要来自《江西省统计年鉴(2010—2019 年)》、江西省各地市《国民经济和社会发展统计公报(2010—2019 年)》、《江西省水资源公报(2010—2019 年)》;社会经济发展数据源于《江西省统计年鉴(2010—2019 年)》、江西省各地市《国民经济和社会发展统计公报》和《中国城市统计年鉴(2010—2019 年)》等<sup>[21-22]</sup>。

2.2 研究方法

2.2.1 指标权重计算 生态文明示范区生态安全评价是一个系统工程,生态安全指标权重诊断采用主客观相结合方法,可以更加真实表明生态文明示范区生态安全状况。其中,熵权法可根据各个指标信息量的多少确定权重,能够更客观地表明各个指标在评价中的重要性<sup>[23-24]</sup>。而生态安全主观计算方法则采用层次分析法,基于“目标层—因素层—指标层”判断生态安全指标的相对权重。为此,在 AHP 层次分析法确定权重基础上,

将主观性较大的层次分析法与客观性强的熵权法结合起来,相互弥补得到最终权重,基于熵权法与层次分析法同等重要,通过平均加权计算得出<sup>[25]</sup>。具体见表 1。

(1) 数据标准化处理。对于生态文明示范区的  $n$  个市  $m$  个指标构成的原始矩阵  $X$ ,采用极差标准化法:

对于正向指标采用公式:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min\{x_{ij}\}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}}$$
 (1)

对于负向指标采用公式:

$$r_{ij} = \frac{\max\{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max\{x_{ij}\} - \min\{x_{ij}\}}$$
 (2)

第  $j$  个市第  $i$  个评价指标  $x_{ij}$  得到标准化数据为  $r_{ij}$ ,构成标准化矩阵  $R = \{r_{ij}\}_{m \times n}$

(2) 定义熵以及熵权。共  $n$  个市  $m$  个指标的情况下,第  $i$  个评价指标定义熵  $P_i$  为:

$$P_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (i=1,2,3,\cdots,m)$$
 (3)

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}, k = \frac{1}{\ln n} \quad (j=1,2,3,\cdots,n)$$
 (4)

其中,当  $f_{ij}=0$ ,则  $f_{ij} \ln f_{ij}=0$ 。

得到第  $i$  个指标的定义熵,其定义熵权  $w_i$  为:

$$w_i = \frac{1 - P_i}{m - \sum_{i=1}^m P_i} \quad (0 \leq w_i \leq 1, \sum_{i=1}^m w_i = 1)$$
 (5)

2.2.2 生态安全等级划分 在参考现有研究的基础上<sup>[7,17-18]</sup>,结合生态文明示范区的江西省实际生态安全情况,采用等距法将江西省生态安全划分为不安全、临界安全、基本安全和安全 4 个等级(表 2)。其中,生态安全得分为 0~1,计算结果越接近于 1,表示该地区的生态环境质量越好;结果越接近于 0,表示该区域生态安全水平越低。

表 2 生态文明示范区生态安全评价等级

等级	不安全(Ⅰ)	临界安全(Ⅱ)	基本安全(Ⅲ)	安全(Ⅳ)
得分	≤0.25	0.25~0.50	0.50~0.75	>0.75
表征	经济发展模式过于粗放,存在严重生态环境问题	经济发展与生态环境保护基本协调,但仍存在明显障碍	经济发展与生态环境保护协调,呈现并进态势,但仍存在限制部分因素	经济发展与生态环境保护实现双赢

2.2.3 障碍因素诊断模型 生态安全评价目的在于识别差距及其未来改善方向,需要评估单个指标以及因素层的障碍程度,进而诊断其障碍因素。为此,本研究引入指标贡献度( $M_i$ )、指标偏离度( $S_i$ )和指标障碍度( $N_i$ ),建立生态安全障碍因素诊断模型,诊断生态文明示范区生态安全障碍因子<sup>[26-28]</sup>,根据生态安全水平的障碍因子提出相应的生态安全策略。

$$N_i = \frac{S_i \times M_i}{\sum_{i=1}^{16} S_i \times M_i}$$
 (6)

式中: $N_i$ 为指标障碍度; $M_i$ 为指标贡献度,值为熵权

法修正后指标层第  $i$  项指标综合权重; $S_i$ 为指标偏离度; $X_i$ 为第  $i$  项指标归一化值, $S_i = 1 - X_i$ 。

3 结果与分析

3.1 生态安全评价结果

3.1.1 生态安全整体演化 由表 3 可知,研究期内江西省生态安全综合得分均值从 2009 年的 0.364 5 增加到 2018 年的 0.443 1,年均增加 0.007 8,尤其是作为生态文明示范区建设后,江西省总体呈稳步上升趋势。然而,多个地市生态安全综合得分在 2014—2016 年出现波动,主要压力安全及状态安全两部分



略有下降。相应的是,2009—2018 年,在过去 10 年间南昌市、景德镇以及新余市其生态安全等级均处于基本安全等级Ⅲ,虽然安全等级无明显波动,但其生态安全得分总体呈现稳步上升态势。

表 3 2009—2018 年江西省生态安全时空演化

地区	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	年均值
南昌市	0.5386	0.5653	0.5653	0.5796	0.5938	0.6309	0.6261	0.6352	0.6870	0.6870	0.0148
景德镇市	0.5334	0.5288	0.5288	0.5454	0.5582	0.5406	0.5672	0.5514	0.5507	0.5507	0.0017
萍乡市	0.3958	0.4118	0.4118	0.4590	0.4804	0.4598	0.4505	0.4748	0.4904	0.4904	0.0095
九江市	0.3111	0.2930	0.2930	0.3081	0.3191	0.3045	0.3000	0.3465	0.3661	0.3661	0.0055
新余市	0.4584	0.5361	0.5361	0.5786	0.5752	0.5619	0.5873	0.5815	0.5579	0.5579	0.0100
鹰潭市	0.4073	0.4137	0.4137	0.4575	0.4696	0.4414	0.4542	0.4750	0.5008	0.5008	0.0094
赣州市	0.2991	0.3209	0.3209	0.3349	0.3418	0.3113	0.3168	0.3500	0.3674	0.3674	0.0068
吉安市	0.3063	0.3240	0.3240	0.3338	0.3423	0.3161	0.3252	0.3543	0.3554	0.3554	0.0049
宜春市	0.3133	0.3121	0.3121	0.3411	0.3447	0.3148	0.3124	0.3168	0.3876	0.3876	0.0074
抚州市	0.2697	0.2780	0.2780	0.3062	0.3109	0.2717	0.2872	0.3158	0.3473	0.3473	0.0078
上饶市	0.1770	0.2422	0.2422	0.2575	0.2640	0.2231	0.2648	0.2450	0.2638	0.2638	0.0087
均值	0.3645	0.3842	0.3842	0.4092	0.4182	0.3978	0.4083	0.4224	0.4431	0.4431	0.0078

与此同时,萍乡、九江、赣州、吉安、宜春、抚州生态安全等级均保持在临界安全等级(Ⅱ),生态安全得分呈现上升态势。此外,鹰潭市及上饶市生态安全等级上升明显,鹰潭市从临界安全等级向基本安全等级过渡,上饶市从不安全等级向临界安全等级过渡,且 2017 年后生态安全得分逐步提高且处于历史较好水平。由此可知,江西省作为生态文明示范区,各地市在城市化工业化等高强度土地利用活动中对生态环境造成了胁迫,而随着江西省生态文明建设规划的不断推进,各地区生态环境保护水平在逐步提升优化。

3.1.2 生态安全局部演化 由表 4 可知,作为生态文明示范区生态安全等级整体演化过程。(1) 生态压力演化。2009—2018 年,各地市多呈现先下滑后上涨趋势,一方面由于农药使用量以及化肥施用量呈现先增加后减少态势,一方面随着社会的发展城镇化

水平的提升呈现逐年放缓趋势,与此同时负载人口压力虽仍逐年增加,但增幅在逐年下降;(2) 生态状态演化。2009—2018 年,除景德镇市、萍乡市生态安全状态得分略有下滑以及新余市呈现先上涨后下滑态势,由于社会经济科技的快速发展,生产结构的快速变化,促使单位 GDP 能耗以及单位工业产值耗水量等不断缩减,对于生态环境影响程度逐年降低,使得多地市状态得分呈现良好态势,因此,其余 9 个地市均呈现逐渐增长趋势;(3) 生态响应。2009—2018 年,江西省 11 个地市其生态安全响应得分均呈现明显上升趋势,响应得分均增长为原来的两倍左右,说明各地市对其生态安全问题作出了积极回应。各地市社会经济响应效果显著,废物利用率以及固定资产投资逐年提升。与此同时,第三产业比重和人均 GDP 增长幅度较大,促进了生态环境安全的提升。

表 4 2009—2018 年江西省各地市生态安全等级演化

年份	南昌市	景德镇市	萍乡市	九江市	新余市	鹰潭市	赣州市	吉安市	宜春市	抚州市	上饶市
2009	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ
2010	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ
2011	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ
2012	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
2013	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
2014	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ
2015	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
2016	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ
2017	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
2018	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ

基于生态文明示范区生态安全评价分值,将评价区域划分为不同类型。一是生态经济发展协调区,该区域

生态安全等级为Ⅲ级,主要分布在南昌市、景德镇市和新余市,这些地区经济发展水平均位于江西省前列,虽然

城镇化率相对较高且经济发展较为迅速,但其产业结构的协调较完善,污染性较低,并且资源利用效率较高。二是生态经济改善区,该类型区域生态安全处于Ⅱ级,主要集中在鹰潭市、萍乡市,虽脱离了临界安全等级,但仍位于基本安全等级初级阶段,近年来单位 GDP 能耗显著下降、固体废物利用率较高,且其经济发展迅速,因此逐步稳定在基本安全等级;三是生态安全脆弱区,该区域主要集中在九江市、赣州市、吉安市、宜春市、抚州市以及上饶市,该区域主要位于江西省的五大流域以及鄱阳湖流域,河谷平原的区位优势显著,人口城镇聚集及其高速增长促使开发利用强度加大,但其经济发展水平并未显著提升,其城镇及经济发展阶段促使其对生态环境造成影响。

3.1.3 生态安全空间演化 由图 2 可知,作为生态

文明示范区的江西省在生态安全空间上也存在差异。其中,南昌市作为江西省省会,其生态安全状况在全省范围内相对较好,年均变化值为 0.014 8,虽城镇化率全省最高,且森林覆盖率处于全省较低水平,但相对于其他地市经济发展迅速,第三产业占比高,固体废物利用率处于较高水平且第一产业占比少,且其位于鄱阳湖平原自然资源禀赋,因此其生态状况较好。其次,景德镇市地处江西边缘地带,境内多山地且森林覆盖率高,水资源丰富,新余市地处江西中部,相较于其他地市地势平坦且不与外省接壤,森林植被覆盖率低同时平坦地势促进城镇的发展,并且其经济发展水平位于江西省前列,但其第三产业占比处于全省较高水平且第一产业占比较低,因此其生态安全处于较高水平。

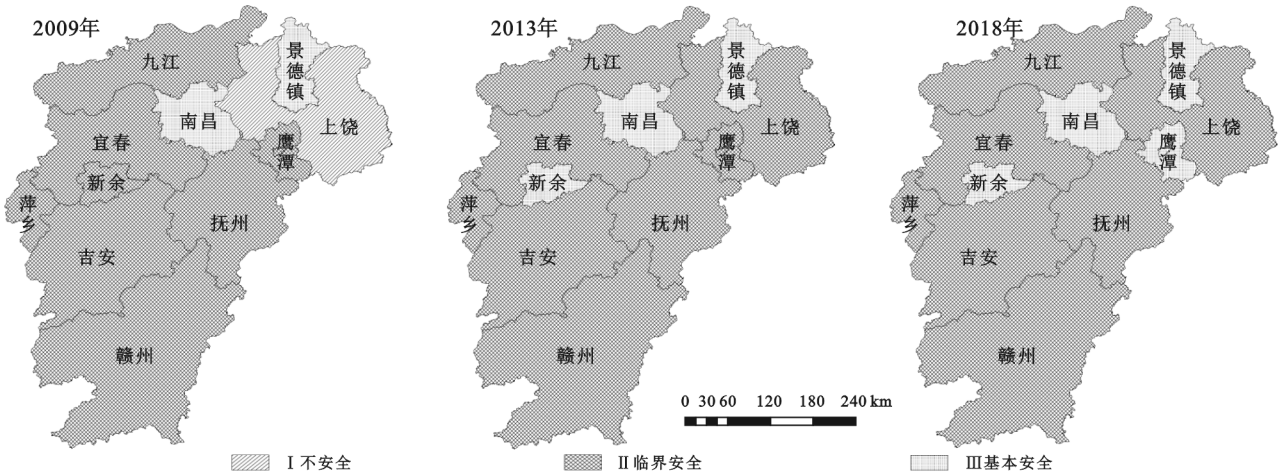


图 2 江西省生态安全时空分布

此外,鹰潭市、萍乡市生态安全等级处于中等水平,其中鹰潭市近年来单位 GDP 能耗显著下降、固体废物利用率较高,且其经济发展迅速,因此鹰潭市在近年挤进省域基本安全等级(Ⅲ)。而萍乡、九江、赣州、吉安、宜春、抚州多位于江西省 5 大流域以及鄱阳湖流域,其河谷平原的区位优势显著。其人口城镇的高速增长、集聚促使开发利用强度加大,但其经济发展水平并未显著提升,且各地市第一产业占比均处于全省高位,其城镇及经济发展阶段促使其对生态环境造成影响。值得注意的是,上饶市经济发展位于较低水平从不安全等级向临界安全等级过渡,且 2017 年后生态安全得分逐步稳定在历史较好水平(图 2)。综上,选取生态文明示范区典型年份(2009 年、2013 年和 2018 年)可知,各地市生态安全水平总体有所提升,且近年其生态安全得分基本稳步上升,但生态安全等级各地市差距较大,介于临界安全等级(Ⅱ)的地市较多,距离基本安全等级(Ⅲ)状态仍有较大差距,达到安全等级(Ⅳ)仍需较长时间。

3.2 生态安全障碍度诊断

3.2.1 因素层障碍度诊断 由表 5 可知,依据障碍诊断模型,2009—2018 年生态文明示范区的压力、状态和响应障碍度均值分为 36.552%,33.595%,39.851%,因此,影响生态文明示范区生态安全的因素层指标障碍度的综合排序:响应因素>压力因素>状态因素。因此,对于生态文明示范区的江西省生态安全水平提升起制约作用主要是响应安全和压力安全,从两方面入手,促使其生态状况的改善,同时该区域生态安全建设响应在很大程度上提高了江西省各个地市生态水平。

3.2.2 指标层障碍度诊断 选取典型年份 2009 年、2013 年、2018 年各因素进行障碍度排序,将指标层障碍度位于前 6 位作为识别主要障碍因子(表 6)。生态文明示范区生态安全障碍因素为:城镇建设用地面积比重、人均 GDP、生态环境耗水量、城镇化水平、第一产业占 GDP 比重以及单位土地面积农药使用量。其中,一是压力安全系统中城镇化水平障碍度位于前列,并且与第一产业相关的障碍因子第一产业占 GDP 比

重、单位土地面积农药使用量以及单位土地面积施用化肥量等因素障碍度排名均比较靠前,表征第一产业的发展模式及其城镇化粗放过快发展对于生态安全水平的抑制作用明显;二是状态安全系统中建设用地面积比重障碍度高居不下,成为抑制江西省各地市生态安全水平

提升的首要障碍因子,表示城镇用地快速扩张对其生态环境具有显著影响;三是响应安全系统中人均 GDP 障碍度近年来略有下调,表示生态安全经济响应程度有所提升,但是,生态环境耗水量比重障碍度排序靠前,表征在生态环境保护响应方面仍有较大不足。

表 5 2009—2018 年江西省生态安全因素层障碍度演变 %

因素层障碍度	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	均值
压力	38.04	38.80	38.70	37.02	40.96	35.49	34.95	34.79	34.79	31.98	36.55
状态	35.75	34.16	33.63	34.35	33.19	32.96	32.34	32.89	32.89	33.80	33.60
响应	36.21	37.05	37.67	38.63	35.86	41.55	42.71	42.32	42.32	44.22	39.85

表 6 江西省生态安全评价指标障碍度及其排序 %

序号	2009 年		2013 年		2018 年	
	指标名称	障碍度	指标名称	障碍度	指标名称	障碍度
1	城镇建设用地面积比重	22.39	城镇建设用地面积比重	24.30	城镇建设用地面积比重	27.04
2	人均 GDP	20.65	人均 GDP	16.62	生态环境耗水量占比	16.55
3	生态环境耗水量占比	13.99	生态环境耗水量占比	15.69	城镇化水平	15.37
4	城镇化水平	13.33	城镇化水平	15.35	人均 GDP	12.29
5	第一产业占 GDP 比重	7.42	第一产业占 GDP 比重	8.52	第一产业占 GDP 比重	9.30
6	单位土地面积农药用量	4.94	单位土地面积农药用量	4.34	单位土地面积农药用量	5.10
7	其他	17.28	其他	15.18	其他	14.35

3.3 生态文明示范区生态安全优化路径

根据生态安全障碍度结果,要重构生态文明示范区生态安全格局,还应结合生态文明建设进程及其地域资源禀赋,以提升区域社会经济生态安全水平。

3.3.1 存量用地再开发,实现城镇建设用地集约节约 由于城镇建设用地面积所占比重是抑制江西省地市生态安全水平提升的首要障碍因子,导致生态环境保护与经济发展不相协调,进而造成自然资源环境被严重破坏的后果。一是统筹社会经济发展与生态环境保护。二是土地利用方式从增量扩充向存量挖潜转换来协调城镇化发展方式<sup>[29]</sup>,以此推动江西省各个地市立体空间的利用,促进土地集约节约利用以此跨越城镇建设用地占比这一生态安全障碍因素。

3.3.2 推动区域农业高质量发展,实现农业社会经济生态三效益平衡 江西省作为生态文明示范区的同时也是我国主要粮食主产区,与第一产业相关度较高的第一产业占 GDP 比重、单位土地面积农药使用量和单位土地面积施用化肥量等因素障碍度排名均比较靠前。要实现江西省绿色农产品均衡发展,一方面应延伸形成绿色产业、有机食品生态友好型产业链;另一方面,结合国家级赣江新区中、东部特色小镇以及生态旅游业规划发展,在生态文明示范区内推进观光农业、采摘园特色农业产业等,促使生态文明示

范区形成农业社会生态经济均衡发展目标。

3.3.3 强化生态环境经济政策治理响应,提升生产领域资源环境绩效 江西省其污染治理投资较为滞后,治理工业污染的资金投入、生态环境保护、经济政策响应相对不足,生态环境耗水量比重、人均 GDP 障碍度排序均比较靠前,对生态安全水平的抑制作用较显著。因此,应该积极发挥政府职能,通过增加环境治理投入资金以及强化治理力度,提高生态环境治理投资占 GDP 比重以促进生产领域资源环境绩效的提升,实现生态环境治理保护与经济发展同步发展。

4 结 论

(1) 作为生态文明示范区的江西省生态安全水平总体有所提升,且近年其生态安全得分呈稳步上升态势,尤其是在纳入生态文明示范区以后,江西省生态安全水平显著提升,但生态安全等级各地市差距较大,介于临界安全等级(Ⅱ)的地市较多,距离基本安全等级(Ⅲ)状态仍有较大差距,要达到安全状态等级(Ⅳ)仍需较长时间。

(2) 影响生态文明示范区生态安全的因素层障碍度综合排序分别是响应因素>压力因素>状态因素,且江西省生态安全水平提升主要受到城镇建设用地面积比重、生态环境耗水量、城镇化水平、第一产业



占GDP比重以及单位土地面积农药使用量等因素的制约。

(3) 生态文明示范区生态安全还应从存量建设用地再开发、农业社会经济生态效应均衡发展及其提升生态环境经济政策治理响应出发,以实现区域生态安全重构。

值得注意的是,尽管本研究应用熵权法与层次分析法相结合,提高结果可行性,但囿于数据可获得性,在指标体系方面未能体现生态文明示范区文化因素;此外,在研究对象上,江西省作为生态文明示范区的同时,也是我国重要的粮食主产区,探讨两者因素共同叠加如何影响生态安全水平,也是未来研究方向之一。

#### 参考文献:

- [1] 崔胜辉,洪华生,黄云凤,等.生态安全研究进展[J].生态学报,2005,25(4):861-868.
- [2] 黄宝强,刘青,胡振鹏,等.生态安全评价研究述评[J].长江流域资源与环境,2012,21(S2):150-156.
- [3] 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.
- [4] 李中才,刘林德,孙玉峰,等.基于PSR方法的区域生态安全评价[J].生态学报,2010,30(23):6495-6503.
- [5] 魏彬,杨校生,吴明,等.生态安全评价方法研究进展[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2009,35(5):572-579.
- [6] 刘红,王慧,张兴卫.生态安全评价研究述评[J].生态学杂志,2006,25(1):74-78.
- [7] 赵志刚,王凯荣,谢小立.江西省农业可持续发展的生态安全评价[J].生态与农村环境学报,2012,28(3):225-230.
- [8] 张频,张邦文,蔡海生,等.江西省林业生态安全物元分析评价[J].江西农业大学学报,2013,35(4):791-797.
- [9] 杨姗姗,邹长新,沈渭寿,等.基于RS和GIS的江西省区域生态安全动态评价[J].林业资源管理,2015(2):100-108.
- [10] 蔡海生,刘木生,陈美球,等.基于GIS的江西省生态环境脆弱性动态评价[J].水土保持通报,2009,29(5):190-196.
- [11] 李洪任,谢颂华,张利超,等.江西省坡耕地水土流失特点及防治对策研究[J].中国水土保持,2020(1):32-35.
- [12] 樊哲文,刘木生,沈文清,等.江西省生态脆弱性现状GIS模型评价[J].地球信息科学学报,2009,11(2):202-208.
- [13] 杨志,赵冬至,林元烧.基于PSR模型的河口生态安全评价指标体系研究[J].海洋环境科学,2011,30(1):139-142.
- [14] 高珊,黄贤金.基于PSR框架的1953—2008年中国生态建设成效评价[J].自然资源学报,2010,25(2):341-350.
- [15] 张祥义,许皞,赵文廷.基于PSR模型的河北省土地生态安全评价的分区[J].贵州农业科学,2013,41(8):207-211.
- [16] 鲁迪,王孟洲,于长立,等.河南省区域生态安全评价与空间差异分析[J].江西农业学报,2012,24(1):144-148.
- [17] 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.
- [18] 李静,李子君,吕建树.聊城市土地生态安全评价[J].水土保持通报,2011,31(2):198-202.
- [19] 杜忠潮,韩申山.基于主成分分析的土地生态安全评价实证研究:以陕西省10个省辖市为例[J].水土保持通报,2009,29(6):198-202,207.
- [20] 左伟,王桥,王文杰,等.区域生态安全评价指标与标准研究[J].地理学与国土研究,2002,18(1):67-71.
- [21] 江西省统计局.江西省统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2010—2019.
- [22] 国家统计局.中国城市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2010—2019.
- [23] 倪九派,李萍,魏朝富,等.基于AHP和熵权法赋权的区域土地开发整理潜力评价[J].农业工程学报,2009,25(5):202-209.
- [24] 于金凤.西北干旱区区域生态安全评价:以玉门市为例[J].生产力研究,2013(8):101-104,110.
- [25] 邵佳,冷志明.武陵山片区区域生态安全测度与评价[J].经济地理,2016,36(10):166-171.
- [26] 孙茜,张捍卫,张小虎.河南省资源环境承载力测度及障碍因素诊断[J].干旱区资源与环境,2015,29(7):33-38.
- [27] 樊鹏飞,段朋辉,刘志丹,等.土地生态安全评价与障碍因子诊断:以河南省周口市为例[J].山东农业大学学报:自然科学版,2016,47(2):207-213.
- [28] 麻小婷,南灵,何岩岩.基于云模型的土地生态质量评价及障碍因素诊断:以陕西省榆林市为例[J].江苏农业科学,2018,46(24):345-351.
- [29] 吕添贵,吴次芳,李洪义,等.人口城镇化与土地城镇化协调性测度及优化:以南昌市为例[J].地理科学,2016,36(2):239-246.