

基于 P-S-R 模型的河南省土地生态安全评价及预测

李 玲, 侯淑涛, 赵 悦, 郑绪玲

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘 要:依据 P-S-R 框架模型构建土地生态安全评价指标体系,运用土地生态安全综合指数模型评价 2002—2011 年河南省土地生态安全状况,并运用灰色系统 GM(1,1)模型预测其未来 9 a 的土地生态安全态势。结果表明:2002—2011 年河南省土地生态安全值在 0.45 上下波动,土地生态处于临界安全水平,2012—2020 年呈下降趋势,表明土地生态系统结构发生变化,土地生态环境受到一定破坏,土地生态系统服务功能已开始退化,虽尚可维持其基本功能,但受干扰后易恶化,土地生态环境脆弱,制约了区域经济的发展。该研究可为改善区域生态环境及生态安全规划管理提供依据。

关键词:土地生态安全; P-S-R 模型; 评价指标体系; 河南省

中图分类号:F323.211

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)01-0188-05

Evaluation and Forecast of Land Ecology Security of He'nan Province Based on P-S-R Model

LI Ling, HOU Shu-tao, ZHAO Yue, ZHENG Xu-ling

(College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: According to P-S-R framework model, the evaluation index system of land ecological security was built, the composite index model was used to evaluate the land ecological security situation in He'nan Province from 2002 to 2011, and the gray system GM(1, 1) model was used to predict the land ecological situation in the next nine years. Results showed that the land ecology was at a critical security level, and the secure value fluctuated around 0.45 from 2002 to 2011 and would decrease from 2012 to 2020. It indicated that the structure of land ecological system had been changed and the land ecological environment had been destroyed to some extent, land ecosystem service function had begun to degenerate. The basic ecological system functions were fair to maintain, but could be deteriorated easily after disturbance, and land ecological environment would be fragile, restricting the development of regional economy. This study can provide the basis to improve the regional eco-environmental planning and ecological security management.

Key words: land ecological security; P-S-R model; evaluation index system; He'nan Province

土地生态安全是指土地所处的生态环境处于一种不受或少受威胁与破坏的健康、平衡的状态。具体而言,土地生态安全是指一定时空范围内,通过对土地资源的合理利用和管理,使土地生态系统能够保持其结构与功能不受威胁或少受威胁的健康、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]。

土地是人类赖以生存的最基本条件,是人类活动的栖息地和衣食的基本来源,健康的土地生态功能是维系经济安全和社会稳定的决定性因素,关系到国家的政治安全、经济安全、国防安全和人民生存安全^[2]。生态安全是 21 世纪人类社会可持续发展所面临的一个新主题^[3],土地生态安全作为生态安全问题研究的重要组成部分,已成为当前土地可持续利用研究的前沿课题^[4-6]。现有的土地生态安全评价方法主要有

收稿日期:2013-06-13

修回日期:2012-07-15

资助项目:东北农业大学创新团队基金项目“黑土保护与可持续利用”(CXT003-4-2)

作者简介:李玲(1987—),女,河南开封人,硕士研究生,主要研究方向为土地利用规划与管理。E-mail:815898437@qq.com

通信作者:侯淑涛(1965—),女,黑龙江桦川人,副教授,硕士生导师,主要从事农业遥感和土地利用研究。E-mail:houst129@126.com

P-S-R(压力—状态—响应)模型、层次分析法、主成分分析法、物元模型和基于 GIS 技术的评价方法等^[7-12]。我国目前在土地生态安全评价方面的研究仍然处于起步阶段,国内的研究还存在以下问题:如评价指标繁多,指标体系缺乏统一的标准且考虑的方面仍不够全面,评价方法过于简单,对土地生态安全等级的划分仍无统一标准,在指标标准值、权重值的确定上,大部分都持有较大的主观性等。本研究基于 P-S-R 模型构建河南省土地生态安全评价指标体系,对 2002—2011 年河南省的土地生态安全进行评价,并运用灰色系统 GM(1,1)模型预测 2012—2020 土地生态安全态势,以揭示河南省土地生态安全现状以及未来可能的发展趋势,找出影响土地生态安全的主要因素,为制定调控措施提供科学依据,进而保障区域社会经济与农业可持续发展,维持土地自然、社会、经济复合体长期协调发展。

1 研究区域、方法与数据

1.1 研究区概况

河南省界于北纬 31°23′—36°22′、东经110°21′—116°39′,东接安徽、山东,北接河北、山西,西连陕西,南临湖北,呈望北向南、承东启西之势。全省总面积 16.7 万 km²,居全国各省区市第 17 位,占全国总面积的 1.73%。河南人口基数大、人口密度高、水资源缺乏和地区分布不均,使得河南省的生态环境压力尤为突

出。河南省是农业大省,其对国家的粮仓与农业生产的重要性不言而喻。因此对于本区域土地生态安全问题的现状、存在问题与解决对策相关内容的研究至关重要,协调好土地生态安全和经济快速发展是关系到国家战略安全以及中原地区兴衰的关键。

1.2 研究方法及数据来源

P-S-R 模型涵盖了人类活动和自然环境,对环境现象的适用范围广,它有机地融合了人类活动和经济运作及其对环境影响之间的联系。本文基于 P-S-R 模型,构建河南省土地生态安全评价指标体系,运用综合指数法评价河南省 2002—2011 年的土地生态安全状况,运用灰色预测 GM(1,1)模型对未来 9 a 土地生态安全态势进行预测。

本研究的数据来源于 2003—2012《河南省统计年鉴》^[13],《中国城市统计年鉴》^[14],《中国统计年鉴》^[15],《河南调查年鉴》^[16],河南省官方网站公布的数据以及河南省国民经济和社会发展统计公报等。

2 土地生态安全评价

2.1 构建评价指标体系

本文运用 P-S-R 框架模型,综合分析河南省生态安全的影响因子,在指标选取的科学性、可操作性、可比性、区域性等原则的基础上,构建了包含目标层、准则层、指标层 3 个层次、18 个指标的河南省土地生态安全评价指标体系(表 1)。

表 1 河南省土地生态安全评价指标体系、基准值及权重

目标层	准则层	指标层	单位	趋向性	基准值		基准值依据	权重
					安全	不安全		
土地生态安全综合指数(A)	土地生态压力(B ₁)	经济密度(C ₁)	万元/km ²	正	100		全国平均水平	0.0720
		单位耕地农药施用量(C ₂)	kg/hm ²	负	0.13		国际公认值	0.0460
		单位耕地化肥施用量(C ₃)	kg/hm ²	负	255		国际公认值	0.0406
		人均耕地面积(C ₄)	hm ²	正		0.05	联合国规定的警戒线	0.0551
		人口承载力(C ₅)	人/km ²	负	129		国际公认值	0.0610
		人口自然增长率(C ₆)	‰	负	3		全国平均水平	0.0579
	土地生态状态(B ₂)	城市化水平(C ₇)	%	正	60		国际公认值	0.0424
		水土流失比重(C ₈)	%	负	38		全国平均水平	0.0654
		工业废水排放达标率(C ₉)	%	正	89.7		2008 年全国平均值	0.0449
		工业固体废物综合利用率(C ₁₀)	%	正	85.3		2008 年全国平均值	0.0408
		单位面积工业废气排放量(C ₁₁)	m ³ /hm ²	负	6660		全国期望值	0.0361
		森林覆盖率(C ₁₂)	%	正	40		国际公认值	0.0666
	土地生态响应(B ₃)	环保支出占 GDP 比重(C ₁₃)	%	正	2.5		国际公认值	0.0797
		农民人均收入(C ₁₄)(元)	元	正	6000		全国期望值	0.0510
		自然保护区占土地面积比重(C ₁₅)	%	正	3		国际公认值	0.0725
		GDP 增长率(C ₁₆)	%	正	10		全国平均水平	0.0448
		第三产业占 GDP 比重(C ₁₇)	%	正	38.4		96—06 全国平均值	0.0744
		人均 GDP(C ₁₈)	元	正	18934		全国平均值	0.0489

2.2 确定指标权重、选取基准值

评价指标权重的确定方法很多,本文结合主观、客观分析权重的优势与劣势,运用层次分析法和主成分分析法的平均值赋权值,使指标权重更趋科学、合理,具体方法参见文献[8,17]。

确定土地生态安全基准是评价过程中极为关键的环节。区域土地生态评价基准的确定,一般考虑以下几个方面:(1) 针对已有国际标准或者是国家标准;(2) 采用区域土地生态环境的背景值和本底值作为评价的标准值;(3) 参考国内外发展良好地区的现状值作为标准值;(4) 对于十分重要但统计数据却不完整的个别指标暂时使用相近指标替代。考虑河南省区域土地生态环境的特征,部分指标的基准值采用全国平均值替代(表 1)。

2.3 指标无量纲化处理

无量纲化处理是评价指标数据标准化的一种方法^[18],是通过数学方法将不同单位的实际指标值转

化为无量纲相对值的过程。指标无量纲化不仅可以消除各指标量纲的影响,而且可使不同含义的各种指标能够综合地反映土地生态安全状况。

(1) 安全正向性指标,即越大越安全的指标:

若以“安全值”为标准值,则:当 $x_i \geq y_i$ 时 $p_i = 0$; 当 $x_i < y_i$ 时 $p_i = 1 - x_i / y_i$

若以“不安全值”为标准值,则:当 $x_i \leq y_i$ 时 $p_i = 1$;当 $x_i > y_i$ 时 $p_i = y_i / x_i$

(2) 安全逆向性指标,即越小越安全的指标:

若以“安全值”为标准值,则:当 $x_i \leq y_i$ 时 $p_i = 0$; 当 $x_i > y_i$ 时 $p_i = 1 - y_i / x_i$

若以“不安全值”为标准值,则:当 $x_i \geq y_i$ 时 $p_i = 1$;当 $x_i < y_i$ 时 $p_i = x_i / y_i$

其中, $x_i(i=1,2,\cdots,n)$ 是第 i 个指标的实际值, $y_i(i=1,2,\cdots,n)$ 为评价指标的基准值; p_i 是评价指标的安全指数。根据以上方法,计算得到评价指标的安全指数(表 2)。

表 2 2002—2011 年河南省土地生态安全指数

指标	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
C_1	0.7233	0.7568	0.8048	0.8423	0.8649	0.8888	0.9073	0.9143	0.9277	0.9380
C_2	0.6050	0.6083	0.6289	0.6456	0.6602	0.6776	0.6948	0.7079	0.7197	0.7274
C_3	0.9907	0.9905	0.9908	0.9911	0.9916	0.9921	0.9921	0.9923	0.9925	0.9927
C_4	0.3750	0.2857	0.2857	0.2857	0.2857	0.2857	0.2857	0.2857	0.2857	0.2857
C_5	0.7760	0.7772	0.7784	0.7795	0.7806	0.7817	0.7828	0.7839	0.7936	0.7946
C_6	0.5000	0.4643	0.4231	0.4340	0.4340	0.3878	0.4000	0.4000	0.4000	0.3878
C_7	0.5700	0.5467	0.5183	0.4883	0.4583	0.4283	0.4000	0.3717	0.3533	0.3233
C_8	0.0395	0.0395	0.0395	0.0395	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368
C_9	0.0044	0.0197	0.0235	0.0048	0.0112	0.0222	0.0089	0.0215	0.0130	0.0234
C_{10}	0.1821	0.2192	0.2263	0.2215	0.2070	0.2052	0.1375	0.1360	0.0961	0.1231
C_{11}	0.9896	0.9907	0.9915	0.9928	0.9934	0.9941	0.9945	0.9950	0.9951	0.9973
C_{12}	0.5050	0.5050	0.5050	0.5050	0.5950	0.5950	0.5950	0.4950	0.4950	0.4325
C_{13}	0.7000	0.6120	0.6840	0.6880	0.6960	0.6960	0.7600	0.7480	0.7720	0.8000
C_{14}	0.6307	0.6273	0.5745	0.5217	0.4565	0.3580	0.2577	0.1988	0.0793	0.0000
C_{15}	0.0000	0.0000	0.3023	0.3023	0.3333	0.3333	0.3333	0.3182	0.3182	0.3333
C_{16}	0.0000	0.0654	0.2701	0.2958	0.3056	0.3151	0.1736	0.0826	0.2000	0.1597
C_{17}	0.1464	0.1055	0.1712	0.2175	0.2161	0.2173	0.2629	0.2379	0.2548	0.2272
C_{18}	0.6574	0.6104	0.5141	0.4008	0.3043	0.1543	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

2.4 计算生态安全综合指数

通过上述步骤,对各指标进行标准化处理及权重确定,计算土地生态安全的综合评价值 A_i :

$$A_i = \sum_{j=1}^n w_j x_j$$

式中: A_i ——第 i 个评价区域的综合评价值; w_j ——第 j 个评价指标的权重值; x_j ——第 j 个评价指标的标准化值。

2.5 确定土地生态安全等级

在区域土地生态系统安全综合评价中,为了将定量的综合评价结果进行定性描述,还必须根据实际情况对土地生态系统安全态势进行不同等级的综合判别。在参考相关研究成果和咨询相关专家的基础上,根据河南省的实际情况,本文划定的河南省土地生态安全综合评判标准如表 3 所示。依据综合评价结果与等级判别标准,2002—2011 年河南省土地生态安全等级见表 4,土地生态安全状况见图 1。

表 3 土地生态安全等级判别标准

安全值区间	安全等级	表征符号	具体特征
≥0.8	理想安全	I	土地生态系统服务功能基本完善,土地生态环境基本未受到干扰破坏,土地生态系统结构完整,功能性强,生态问题不显著
0.6~0.8	较安全	II	土地生态系统服务功能较为完善,土地生态环境较少受到干扰破坏,土地生态系统结构尚完整,功能尚好,受干扰后一般可恢复,生态问题不显著,生态灾害不大
0.4~0.6	临界安全	III	土地生态系统服务功能已有退化,土地生态环境受到一定破坏,土地生态系统结构有变化,但尚可维持基本功能,受干扰后易恶化,生态问题显著,生态灾害时有发生
0.2~0.4	较不安全	IV	土地生态系统服务功能严重退化,土地生态环境受到较大破坏,土地生态系统结构恶化较大,功能不全,受干扰后恢复困难,生态问题较大,生态灾害较多
≤0.2	极不安全	V	土地生态系统服务功能几近崩溃,生态过程很难逆转,土地生态环境受到严重破坏,土地生态系统结构残缺不全,功能丧失,生态恢复和重建很困难,生态问题很大并经常演变成生态灾害

表 4 2002—2011 年河南省土地生态安全综合值及等级

指标	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
土地生态压力	0.1937	0.1894	0.1917	0.1960	0.1985	0.1985	0.2015	0.2028	0.2059	0.2065
土地生态状态	0.1010	0.1016	0.1007	0.0993	0.1034	0.1021	0.0981	0.0902	0.0878	0.0836
土地生态响应	0.1380	0.1199	0.1217	0.1172	0.1097	0.0974	0.0933	0.0874	0.0845	0.0806
土地生态安全综合值	0.4518	0.4391	0.4748	0.4734	0.4752	0.4625	0.4504	0.4332	0.4349	0.4269
土地生态安全等级	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III

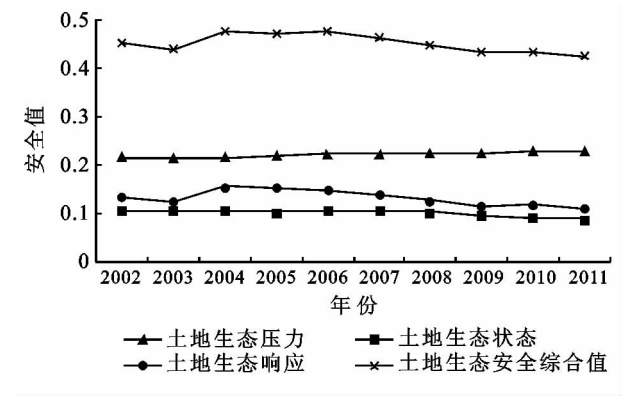


图 1 2002—2011 年河南省土地生态安全水平

2.6 土地生态安全动态预测

本文利用上述 2002—2011 年河南省土地生态安全综合指数作为原始数据,采用灰色系统预测方法预测未来 9 a 土地生态安全发展趋势。在 Matlab 2012 软件中运行灰色系统方法 GM(1,1)模型程序得出生态安全值的时间动态模型如下:

$$x(t+1)=48.2702-47.8184\exp(0.0099t)$$

式中: x ——预测的土地生态安全水平; t ——时间。

模型精度检验:检验结果 $C=0.4849$, $P=0.9000$, C 表示由得出的模型计算所得的原始数列的还原值与实际观测值之间的残差值的方差, P 表示最小误差概率。灰色预测精度检验等级标准中, $P>0.7$, $C<0.65$ 即为合格,故本预测模型成立。运用土地生态安全时间动态模型预测 2012—2020 河南生态安全态势(图 2)。

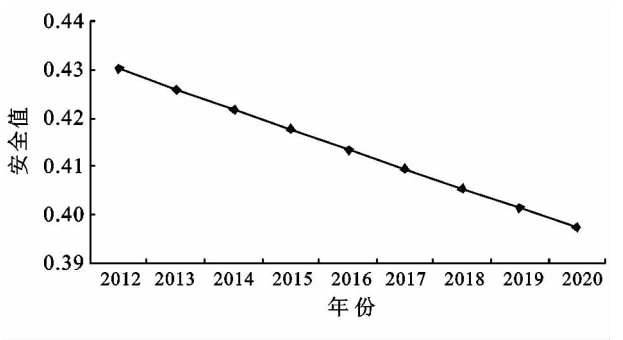


图 2 2012—2020 年河南省土地生态安全态势

3 结果与分析

3.1 土地生态安全变化趋势分析

图 1 表明:2002—2011 年河南省土地生态安全值较低且呈波动状态。2002—2003 年为下降期,土地生态安全压力曲线和土地生态安全响应曲线均呈下降态势,由表 2 可知,该阶段环保支出占 GDP 比重、人均 GDP、农民人均收入、工业固体废物综合利用率的下降及单位面积工业废气排放量的增多致使土地生态安全水平有所下降;2003—2004 为上升期,此阶段生态安全响应曲线相比较而言有大幅上升,说明人为因素对土地生态安全的影响较大,由表 2 可看出这一阶段工业废水排放达标率和工业固体废物使用率不断增加,并且维持在一个较高的水平,这得益于政府加大环境治理的投入,提高环境质量,同时也得益于第三产业占 GDP 比重的明显增加,土地生态安全水平提高显著;2004—2005 为下降期,此阶段工

业废水排放达标率、工业固体废物综合利用率、农民人均收入、人均 GDP 等正向指标安全指数的降低使得土地生态安全水平下降;2005—2006 为上升期,此阶段城市化水平、工业废水排放达标率、工业固体废物综合利用率、自然保护区占土地面积比重、第三产业占 GDP 比重等正向指标的贡献较大促使土地生态安全水平提高;2006—2011 年为下降期,说明土地生态安全的人为改善不大,人为应对土地生态安全问题的力度有所减弱,由表 2 可看出土地生态安全压力呈增加态势,即人口密度、人口自然增长率、经济密度、单位耕地面积农药施用量、单位耕地面积农药使用量等负向指标的逐年增长,导致土地压力负荷加重,土地生态污染加剧,同时环保支出占 GDP 比重、第三产业占 GDP 比重指标数值的减少,导致此阶段土地生态安全水平有所下降。

3.2 土地生态安全评价

由表 4 看出,2002—2011 年河南省土地生态安全值介于 0.42~0.48 之间,土地生态安全水平为Ⅲ级,处于临界安全水平,生态安全值变化幅度较小,10 a 间波动不大(不超过 0.025 2)并且在 2004 和 2006 年甚至出现生态安全值虽有增大但不明显,说明河南省土地生态系统服务功能已退化,土地生态环境受到一定破坏,土地生态系统结构有变化,但尚可维持其基本功能,受干扰后易恶化,生态问题显著,生态灾害时有发生。结合本文利用灰色系统预测 GM(1,1)模型预测 2011 年后未来 9 a 的生态安全状态结果,2012—2020 年生态安全值将继续呈现下降的趋势,具体表现为生态安全值从 2012 年 0.430 32 减小至 2020 年的 0.397 6,预测 2020 的土地生态安全水平将下降到较不安全的Ⅳ级水平,会严重制约区域经济发展。

4 结论

本研究基于 P-S-R 模型构建了河南省土地生态安全评价指标体系,对 2002—2011 年河南省的土地生态安全进行了评价,并运用灰色系统 GM(1,1)模型预测 2012—2020 土地生态安全态势。结果表明,研究期间河南省土地生态安全逐渐下降,且 2020 年的土地生态安全水平开始发生变化,由临界安全水平下降到较不安全水平,未来土地生态安全状况堪忧。

单位耕地农药、化肥使用量、人口承载量、人口自然增长率等指标数据的逐年增大,及人均耕地面积的逐年减少使得河南省土地生态安全压力指数逐年上升;工业废水排放达标率、工业固体废物综合利用率、单位面积工业废气排放量、单位面积工业废气排放

量、水土流失比重等指标数值的逐年增大使得河南省土地生态状态指数逐年下降;环保支出占 GDP 比重、自然保护区占土地面积比重、第三产业占 GDP 比重等指标数据的逐年减小使得河南省土地生态响应指数逐年下降。为此,河南省应进一步宣传计划生育政策,控制人口过快增长;提高化肥、农药的利用效率,减少化肥、农药残留量;加大环保投入、提高森林覆盖率、加强水土流失的治理;倡导城乡土地的集约节约高效利用,积极开展社会主义新农村建设。以保护生态环境健康发展,保持土地生存环境呈现健康发展的态势,提高区域生态环境的服务能力。

参考文献:

- [1] 张虹波,刘黎明.黄土丘陵区土地资源生态安全及其动态评价[J].资源科学,2007,29(4):193-200.
- [2] 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):5-13.
- [3] 陈星,周成虎.生态安全国内外研究综述[J].地理科学进展,2005,24(6):8-20.
- [4] 罗贞礼.土地利用生态安全评价指标的系统聚类分析[J].湖南地质,2002,21(4):252-254.
- [5] 张为义.基于土地资源生态安全的平坝县土地利用结构优化研究[D].武汉:华中农业大学,2008.
- [6] 赵凤琴,汤洁,王晨野,等.生态脆弱地区土地生态环境安全初探[J].水土保持通报,2005,25(1):99-103.
- [7] 许国平.中国土地资源安全评价研究进展及展望[J].水土保持研究,2012,19(2):276-284.
- [8] 杨春红,张正栋,田楠楠,等.基于 P-S-R 模型的汕头市土地生态安全评价[J].水土保持研究,2012,19(3):209-214.
- [9] 余敦,陈文波,潘阳湖生态经济区土地生态安全研究[J].水土保持研究,2011,18(4):107-111.
- [10] 莫宏伟.基于 GIS 的关中地区土地利用变化及土地生态安全动态研究[D].西安:陕西师范大学,2011.
- [11] 孙奇奇,宋戈.基于主成分分析的哈尔滨市土地生态安全评价[J].水土保持研究,2012,19(2):234-238.
- [12] 裴雪,侯淑涛,谢英楠,等.哈尔滨市农业生态系统能值分析[J].水土保持研究,2013,20(1):220-223.
- [13] 河南省统计局.河南统计年鉴[Z].北京:中国统计出版社,2003-2012.
- [14] 国家统计局.中国统计年鉴[Z].北京:中国统计出版社,2003-2012.
- [15] 国家统计局河南调查总队.河南调查年鉴[Z].北京:中国统计出版社,2003-2012.
- [16] 河南省农村社会经济调查队.河南农村统计年鉴[Z].北京:中国统计出版社,2003-2012.
- [17] 徐建华.现代地理学中的数学方法[M].北京:高等教育出版社,2002:224-250.
- [18] 刘勇,刘友兆,徐萍.区域土地生态安全评价:以浙江嘉兴市为例[J].资源科学,2004,26(3):69-75.