

# 黄土高原山丘区土地生态安全动态评价及预测

荣联伟, 师学义, 高 奇, 杨 静, 李炳意

(中国地质大学 土地科学技术学院, 北京 100083)

**摘 要:**以 2001—2010 年晋城市土地生态安全相关数据为基础,运用 PSR 框架模型构建了土地生态安全动态评价指标体系,运用主成分分析法确定指标权重,对晋城市土地生态安全状况进行了动态评价,并采用 GM(1,1)模型对未来土地生态安全状况进行了预测。研究结果表明:晋城市土地生态安全综合值总体上呈上升的趋势,土地生态安全等级从 2001 年的Ⅲ级变成 2010 年的Ⅱ级,土地生态安全状态从 2001 年的“敏感”状态变成 2010 年的“较安全”状态。晋城市土地生态安全状况空间分异显著,不同区县(市)由于社会经济发展水平、自然条件状况、环保投入水平、土地利用结构和产业布局的不同,导致全市土地生态安全格局分布的差异性和空间演化的异质性。该研究为黄土高原山丘区土地生态安全动态评价提供一种思路,为制定科学有效的生态环境相关政策和土地整治提供依据。

**关键词:**土地生态安全; PSR 模型; 主成分分析法; 黄土高原山丘区

**中图分类号:**X826; F301.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2015)03-0210-07

## Dynamic Evaluation and Prediction on Land Ecological Security in Hilly Loess Plateau

RONG Lianwei, SHI Xueyi, GAO Qi, YANG Jing, LI Bingyi

(College of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:**In this paper, the basic data of land ecological security from 2001 to 2010 in Jincheng City were used. The dynamic evaluation index system of land ecological security was constructed with PSR framework model. Principal component analysis was used to determine the index weight. Based on the above methods, this paper evaluated the land ecological security in Jincheng City. Otherwise, the future land ecological security was predicted using GM(1,1) model. The results showed that the land ecological security integrated value of Jincheng rose overall, the land ecological security level changed from Ⅱ in 2001 to Ⅲ in 2010, the land ecological security status transformed from the sensitive status in 2001 to less safe state in 2010, the spatial differentiation of land ecological security in Jincheng City was significant. Because different county has different levels of social and economic development, natural conditions, level of environmental investment, land use structure and industrial distribution, the city spatial distribution was diverse and the evolution of land ecological security pattern was heterogenous. This study provided a good method for dynamic evaluation of land ecological security in the hilly Loess Plateau, and provided the way to make effective policies for ecological environment and carry out land consolidation.

**Keywords:**land ecological security; PSR model; SPA; hilly Loess Plateau

土地生态安全是指地球陆地表层岩土部分内,由各种有机物和无机物构成的生态系统的结构不受破坏,同时该生态系统为人类提供服务的质量和数量能够持续满足人类生存和发展的需要。土地生态安全是人类生存环境处于健康可持续发展的状态,它具有相对性、发展性、空间性、时序性和功能叠加性等特性<sup>[1-2]</sup>。土地生态安全是生态安全的一种重要类型,

而生态安全是国家安全的重要组成部分<sup>[3-4]</sup>。土地生态安全评价作为土地可持续利用评价的重要领域<sup>[5-6]</sup>,近年来已成为学术界研究的热点。目前土地生态安全评价的方法有综合评价法(包括综合指数法和模糊数学法)、生态模型法(包括土地承载力分析法、生态足迹法)、景观生态学法(包括景观生态安全格局法、景观指数法)、物元分析法、BP 神经网络法、

主成分聚类分析综合法、灰色系统综合评价法和功效—安全度函数法等<sup>[7-9]</sup>;土地生态安全评价指标体系构建的方法主要有PSR框架模型和自然—经济—社会概念框架模型<sup>[10-11]</sup>。但是,目前的大多数研究主要集中于定时、定区域研究,缺乏对土地生态安全的动态变化分析及对未来发展趋势的预测。

黄土高原山丘区作为北方典型地貌类型区和国家重要能源基地,随着社会经济的高速发展、城镇化和工业化大力推进,正面临着水资源枯竭、水土流失、土地退化和土壤污染等生态环境问题,因此科学有效地评价黄土高原山丘区土地生态安全具有重要意义。本文以黄土高原山丘区的典型地区——晋城市为研究区域,运用PSR框架模型从土地生态安全压力、土地生态安全状态和土地生态安全响应3个方面构建土地生态安全动态评价指标体系,运用主成分分析法确定指标权重,对晋城市土地生态安全状况进行动态评价,并采用GM(1,1)模型对未来土地生态安全状况进行预测,以期为黄土高原山丘区土地生态安全动态评价提供一种思路,为制定科学有效的土地生态环境相关政策和措施提供依据。

## 1 研究区概况及数据来源

### 1.1 研究区概况

晋城市位于山西省东南部,处于黄土高原区地带,属于温带湿润大陆性季风气候区,四季分明,冬长夏短,年平均日照时数为2 393~2 630 h,年平均气温7.9~11.7℃,无霜期185 d,年降雨量为626~674 mm,年平均水资源量13.05亿m<sup>3</sup>,水资源可利用率52.3%,人均水资源量仅为572 m<sup>3</sup>,主要土壤类型为山地草甸土、褐土、棕壤、潮土、红黏土和新积土,主要植被有秦参、云杉、油松、酸枣和鸡眼草等。据2005年全市社会经济统计资料,全市常住人口为220.54万人,城镇化率为41.3%,全市生产总值316亿元,一、二、三产业结构为4.7:64.2:31.1,人均GDP为14 356元。据2005年土地利用变更调查统计数据,全市土地总面积942 042.85 hm<sup>2</sup>,农用地、建设用地、其他用地面积比例分别为73.44%,4.85%,21.71%,土地利用存在的问题是耕地减少数量多、速度快,人地矛盾突出,土地利用不充分,生产率和利用率相对较低,土地利用布局与结构不尽合理,土地生态安全面临新的挑战。

### 1.2 数据来源

文中相关研究数据资料来源于《中国统计年鉴2001—2010年》、《中国环境统计年鉴2001—2010年》、《中国区域经济统计年鉴2001—2010年》、《山西

省统计年鉴2001—2010年》、《晋城市土地利用总体规划(1997—2010年)》、《晋城市土地开发整理规划(2001—2010年)》、《晋城市林业发展规划》、《晋城市国土资源公报》和《晋城市环境保护公报》。

## 2 评价方法与过程

### 2.1 构建评价指标体系

评价指标体系是土地生态安全定量评价的基础,也是土地生态安全评价的准绳和关键,直接影响评价结果的科学性和可靠性<sup>[12]</sup>。本文运用P-S-R框架模型,综合分析黄土高原山丘区土地生态系统特点和主要生态安全问题后,遵循指标选取科学性、可比性、可量化性、可操作性、完整性和区域性等原则,构建了目标层、准则层、指标层3个层次、24个指标的黄土高原山丘区土地生态安全动态评价指标体系(表1)。

### 2.2 选取基准值、计算指标值

土地生态安全基准值确定实质上是评价标准制定的问题,是土地生态安全评价的关键环节,目前土地生态安全评价在我国尚处于探索阶段,还没有统一的基准值<sup>[15]</sup>。土地生态安全的基准值确定不仅复杂,而且需要因地制宜。因此,采用的基准值主要考虑以下几个方面:(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。根据指标体系中确定的指标含义,直接获取对应指标值或间接计算得出各指标值原始值<sup>[10]</sup>。

### 2.3 指标值标准化、确定指标权重

为消除各指标单位不统一,增强指标数据可比性,需要对所有的指标值进行标准化。目前数据标准化处理方法应用最多的有标准位评分法、极差法和标准差法等。本文研究的内容为土地生态安全动态评价,评价指标的原始数据,是在已有评价标准(参考基准值)基础上进行评价的,因此选择标准位评分法进行标准化处理。

$$\begin{aligned} \text{正向指标: } r_i &= \begin{cases} \frac{x_i}{z_i} & x_i < z_i \\ 1 & x_i \geq z_i \end{cases} \\ \text{负向指标: } r_i &= \begin{cases} 1 & x_i \leq z_i \\ \frac{x_i}{z_i} & x_i > z_i \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $x_i$ ——第*i*个指标值实际值; $z_i$ ——第*i*个指标的基准值; $r_i$ ——第*i*个指标的无量纲化后的生态安全指数。

表 1 黄土高原山丘区土地生态安全动态评价指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	安全趋势	基准值	基准值来源	权重
黄土高原山丘区土地生态安全综合值 LESIV	黄土高原山丘区土地生态安全压力值 LESPV	人均耕地面积	hm <sup>2</sup>	正	0.12	全省平均值	0.0228
		人均水资源量	m <sup>3</sup>	正	2200	全国平均值	0.008
		人口承载量	人/km <sup>2</sup>	负	129	国际公认值	0.0360
		城镇化水平	%	正	60	国际公认值	0.0383
		单位面积原煤产量	t/hm <sup>2</sup>	负	29.34	山西省平均值	0.0535
		单位面积发电量	kW·h/hm <sup>2</sup>	负	7145	山西省平均值	0.0485
		单位面积工业废气排放量	m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>	负	6660	全国期望值	0.0415
		单位耕地化肥施用量	kg/hm <sup>2</sup>	负	255	国际公认值	0.0563
	黄土高原山丘区土地生态安全状态值 LESSV	森林覆盖率	%	正	40	国际公认值	0.0510
		水土协调度	%	正	70	全国平均值	0.0080
		农田旱涝保收率	%	正	30	全国平均值	0.0127
		农业机械化水平	kW/hm <sup>2</sup>	正	20	全国平均值	0.0538
		自然灾害受灾面积比例	%	负	10	全国平均值	0.0448
		水土流失比重	%	负	38	全国平均值	0.0442
		工业废水排放达标率	%	正	89.7	全国平均值	0.0490
		工业固体废弃物综合利用率	%	正	85.3	全国平均值	0.0323
	黄土高原山丘区土地生态安全响应值 LESRV	工矿废弃地复垦率	%	正	12	全国平均值	0.0464
		环保支出占 GDP 比重	%	正	2.5	国际公认值	0.0505
		林业系统营林固定资产投资比	%	正	1.7	全国平均值	0.0384
		农村人均宅基地面积	m <sup>2</sup>	负	31.6	全国平均值	0.0259
		农民人均纯收入	元	正	3538	全国平均值	0.0549
		粮食单产	kg/hm <sup>2</sup>	正	3550	山西省平均值	0.0519
		人均 GDP	元	正	18934	全国平均值	0.0465
		第三产业比重	%	正	38.4	全国平均值	0.0524

注：(1) 水土协调度=(本区水资源量或全区水资源量/本区耕地规模或全区耕地规模)×100%；(2) 国际公认值数据来源于专家和学者文献资料中标明的数据<sup>[12-14]</sup>。

指标体系中涉及的指标因素较多,为便于筛选指标因素和确定指标权重,本文采取主成分分析法确定指标权重。具体步骤为:将无量纲化处理后的指标数据进行标准整理(横坐标为指标,纵坐标为年份),利用 SPSS 20.0 统计分析软件计算矩阵的特征值和方差贡献率,然后选取累计方差贡献率达 85% 的指标作为主成分,通过解释总方差和碎石图,特征根大于 1 的主成分有 3 个,累计方差贡献率达 94.34%,根据成分矩阵和特征根,最终确定各指标的权重值(表 1)。

2.4 测算生态安全综合指数

采用线性加权方法计算标准化后数据,最终得到土地生态安全的综合值<sup>[16-18]</sup>。步骤如下:

$$LESIV=\sum_{i=1}^{24}P_iw_i$$

(2)

式中:LESIV——土地生态安全综合值; $P_i$ ——第  $i$  个指标的安全值(即第  $i$  个指标的标准化值); $w_i$ ——各指标权重。

用同样的方法,可得到土地生态安全 3 个分项值:土地生态安全压力值(LESPV)、土地生态安全状态值

(LESSV)和土地生态安全响应值(LESRV)(表 2)。

2.5 土地生态安全综合评判

由于计算所得的综合指数值往往不符合人们判断“好”和“差”的习惯,因此需要采用极差标准化的方法,将指标的标准化值和综合指数值转换为等级值,即建立评判集与标准化值的概念关联<sup>[10]</sup>。按照人们对分数等级优劣档次的认知习惯,采用非等间距方法,同时考虑到标准的先进性与超前性的要求,将综合安全值取值范围(0~1)采用非等间距法分为 5 个安全等级,综合安全值越大,土地生态安全状况就越好;反之,则越差,并依次将对应的 5 个等级的系统特征进行描述,得到黄土高原山丘区土地生态安全标准综合评判集(表 3)。

2.6 土地生态安全动态预测

考虑评价指标值变化的模糊不确定性和影响因素的复杂性,本研究采用灰色系统 GM(1,1)模型对 2011—2015 年黄土高原山丘区土地生态安全综合值的变化进行动态预测,进而达到黄土高原山丘区土地生态安全动态评价的效果。

表 2 黄土高原山丘区土地生态安全动态评价结果

年份	生态安全压力值	生态安全 状态值	生态安全 响应值	生态安全 综合值	生态安全 等级	生态安全 状态
2001	0.2091	0.1264	0.3039	0.6394	Ⅲ	敏感
2002	0.1794	0.1302	0.3436	0.6532	Ⅲ	敏感
2003	0.1655	0.1619	0.3602	0.6877	Ⅲ	敏感
2004	0.1600	0.1695	0.3751	0.7046	Ⅱ	较安全
2005	0.1600	0.1732	0.3882	0.7215	Ⅱ	较安全
2006	0.1657	0.1733	0.4135	0.7525	Ⅱ	较安全
2007	0.1669	0.1622	0.4268	0.7559	Ⅱ	较安全
2008	0.1620	0.1784	0.4285	0.7688	Ⅱ	较安全
2009	0.1605	0.1546	0.4332	0.7483	Ⅱ	较安全
2010	0.1619	0.1773	0.4309	0.7701	Ⅱ	较安全

表 3 黄土高原山丘区土地生态安全标准综合评判集

等级	生态安全值	系统状态	系统特征
I	≥0.9	安全	土地资源生态系统基本未受干扰破坏,土地生态系统结构完善,功能性强,恢复能力强,生态问题不显著,生态灾害很少,基本处于人与自然和谐发展状态
Ⅱ	0.7~0.9	较安全	土地资源生态系统服务功能较为完善,土地生态系统较少受到破坏,生态系统结构较为完整,功能较好,受干扰后一般可恢复,生态问题不显著,生态灾害很少
Ⅲ	0.6~0.7	敏感	土地资源生态系统服务功能已有退化,土地生态环境受到一定的破坏,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
Ⅳ	0.4~0.6	风险	土地资源生态系统受到较大的人为干扰和破坏,生态系统结构恶化较大,功能不全,恢复和重建困难,生态问题较大,生态灾害较多
V	≤0.4	恶劣	土地资源生态系统受到严重的人为干扰和破坏,生态系统结构残缺不全,功能丧失,恢复和重建很困难,生态问题突出,生态灾害很多

2.6.1 灰色系统 GM(1,1)预测模型原理 数列预测的基础,是基于累加生成的 GM(1,1)模型。在给定的原始数据序列  $X^{(0)}$  中确立任一子数据序列,对数据序列作一次累加生成得到新的数列  $X^{(1)}$ ,用微分方程描述新数列变化趋势,然后构造矩阵 B 与向量  $Y_n$ ,并用最小二乘法拟合求解系数  $\hat{a}$ ,在建立 GM(1,1)模型后,由微分方程推导得到时间响应函数:

$$X^{(1)}(t+1)=[X^{(0)}(1)-u/a]e^{-at}+u/a \tag{3}$$

由式(2)可以求得原始数据的还原值:

$$\hat{X}^{(0)}(t)=\hat{X}^{(1)}(t)-\hat{X}^{(1)}(t-1) \tag{4}$$

灰色 GM(1,1)模型通常采用后验检验方法来检验模型精度:

由原始数据方差  $S_1^2$ 与残差方差  $S_2^2$ 可求得后验差比 C(即预测值和实际值残差的标准差  $S_2$ 与实际值标准差  $S_1$ 之比值):

$$S_1=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^n(X^{(0)}(t)-\bar{x})^2}, S_2=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^n(q^{(0)}(t)-\bar{q})^2} \tag{5}$$

$$C=S_2/S_1 \tag{6}$$

小误差概率:

$$P=\{ |q^{(0)}(t)-\bar{q}| \leq 0.6745S_1 \} \tag{7}$$

根据 C 和 P 值,确定 GM(1,1)模型精度等级。

2.6.2 灰色 GM(1,1)模型动态预测土地生态安全 以2001—2010年黄土高原山丘区土地生态安全综合值为原始数据,利用灰色系统理论及其应用V 3.0软件和 Matlab 8.0 软件,建立灰色 GM(1,1)模型,得到模型的参数估计值、时间响应函数和平均相对误差(表 4)。在预测过程中,后验差比值  $C<0.35$ ,小误差概率  $P>0.95$ ,模型精度检验结果为一级(好),说明模型拟合精度较好,可用建立的 GM(1,1)模型来预测 2011—2015 年土地生态综合值(表 5)。

3 结果与分析

3.1 土地生态安全时间变化

3.1.1 总体变化分析 对表 3 中的土地生态安全综合值进行描述性统计,可知,2001—2010 年,土地生态安全综合值的变化范围为 0.639~0.770,10 a 均值为 0.720,方差为 0.002,偏度标准误差和峰度标准误差分别为 0.687,1.334,可初步判断土地生态安全综合值呈上升趋势。根据土地生态安全动态评价结果(表 2)和预测结果(表 5),绘制土地生态安全综合值动态变化曲线(图 1),从中可以看出,2001—2010 年期间,土地生

态安全综合值从 2001 年的 0.639 变化为 2010 年的 0.770,土地生态安全级别由Ⅲ级变为Ⅱ级,土地生态安全状态由敏感状态变化为较安全状态,突变时间点为 2004 年,由 2003 年 0.688 递变为 0.705。

表 4 灰色 GM(1,1)模型

时间响应函数	平均相对误差	后验差比	小误差概率	精度检验
$x(k+1)=36.721202\exp(0.01827k)-36.081802$	-0.0529	$C=0.3474$	$P\rightarrow 1$	一级(好)

表 5 基于 GM(1,1)模型的土地生态安全动态预测结果

年份	实际值	拟合值	相对误差/%	等级	状态
2001	0.6394	0.6394	—	Ⅲ	敏感
2002	0.6532	0.6770	-3.6499	Ⅲ	敏感
2003	0.6877	0.6895	-0.2657	Ⅲ	敏感
2004	0.7046	0.7022	0.3348	Ⅱ	较安全
2005	0.7215	0.7152	0.8747	Ⅱ	较安全
2006	0.7525	0.7284	3.2056	Ⅱ	较安全
2007	0.7559	0.7418	1.8646	Ⅱ	较安全
2008	0.7688	0.7555	1.7323	Ⅱ	较安全
2009	0.7483	0.7694	-2.8207	Ⅱ	较安全
2010	0.7701	0.7836	-1.7522	Ⅱ	较安全
2011	—	0.7980	—	Ⅱ	较安全
2012	—	0.8128	—	Ⅱ	较安全
2013	—	0.8277	—	Ⅱ	较安全
2014	—	0.8430	—	Ⅱ	较安全
2015	—	0.8585	—	Ⅱ	较安全

黄土高原山丘区土地生态安全日益受到重视,随着工业废水处理、固体废弃物综合利用、工矿废弃地复垦、林业系统营林固定资产投入、水土流失治理和农村建设用地集约节约利用等环保项目的启动,晋城市土地生态安全综合值呈现出稳步上升的趋势,但依然处于较安全状态中的低中值水平,其中人均耕地面积、人均水资源含量、人口承载量、单位耕地化肥施用量和水土协调度依然面临严峻的环境压力。

根据 2001—2010 年土地生态安全变化趋势,预测 2011—2015 年的变化情况可知,黄土高原山丘区(晋城市)土地生态安全综合值呈近似直线上升趋势,

由中低值水平的较安全状态变化为中高值水平的较安全状态,该区不断采取积极改善措施,致使土地生态安全状况不断得到优化,且有明显改善的趋势,使得整个预测期间的生态安全为良好水平。但距离安全水平 0.9 依然还有很大差距,生态安全水平依然还有提升的空间,生态环境改善的潜力较大。

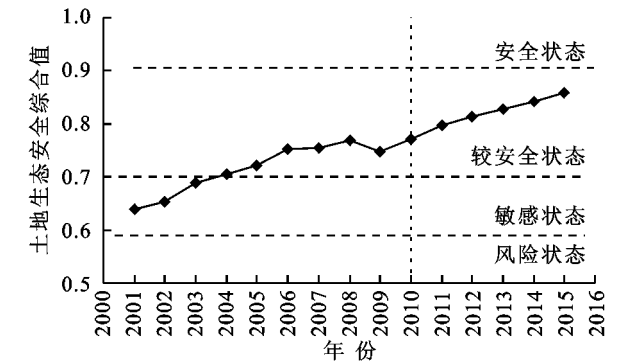


图 1 黄土高原山丘区土地生态安全总体变化曲线

3.1.2 子系统变化分析 将表 2 中的土地生态安全压力值、状态值和响应值分别除以 3 个准则层的权重(0.337 6,0.214 5,0.447 9)得到土地生态安全 3 个系统的压力系数、状态系数、响应系数,及其安全状态(表 6)。从压力系统来看,压力系数从 2001 年的 0.619 下降到 2010 年的 0.480,10 a 期间土地生态安全状态由敏感状态变化为风险状态,土地生态安压力系数呈波动中下降趋势,该区土地生态安全面临的人均耕地面积、人均水资源量、城镇化水平和人口承载量等压力依然很严峻,不仅制约着当地的社会经济的发展,同时也给土地生态环境造成一定压力。

表 6 黄土高原山丘区土地生态安全子系统

年份	土地生态安全压力系统			土地生态安全状态系统			土地生态安全响应系统		
	压力值	压力系数	安全状态	状态值	状态系数	安全状态	响应值	响应系数	安全状态
2001	0.209	0.619	敏感	0.126	0.589	风险	0.304	0.678	敏感
2002	0.179	0.531	风险	0.130	0.607	敏感	0.344	0.767	较安全
2003	0.166	0.490	风险	0.162	0.755	较安全	0.360	0.804	较安全
2004	0.160	0.474	风险	0.170	0.790	较安全	0.375	0.837	较安全
2005	0.160	0.474	风险	0.173	0.807	较安全	0.388	0.867	较安全
2006	0.166	0.491	风险	0.173	0.808	较安全	0.414	0.923	安全
2007	0.167	0.494	风险	0.162	0.756	较安全	0.427	0.953	安全
2008	0.162	0.480	风险	0.178	0.832	较安全	0.429	0.957	安全
2009	0.161	0.475	风险	0.155	0.721	较安全	0.433	0.967	安全
2010	0.162	0.480	风险	0.177	0.827	较安全	0.431	0.962	安全

从状态系统来看,状态系数从 2001 年的 0.589 升高到 2010 年的 0.827,10 a 期间土地生态安全状态经过了风险状态—敏感状态—较安全状态的正向演变,土地生态安全状态系数呈“S”型增长趋势,后

续虽有波动,但趋向于稳定,该区随着《晋城市林业发展规划》、《山西省大水网规划》和《城乡土地综合整治专项规划》的实施,森林覆盖率得到有效提高,自然灾害受灾面积比率和水土流失比重不断降低,从而使得土地生态安全状态系统达到较安全状态。从响应系统来看,响应系数从 2001 年的 0.678 升高到 2010 年的 0.962,土地生态安全状态经历敏感状态—较安全状态—安全状态的正向演变,土地生态安全响应系数呈平稳上升的趋势,随着产业结构不断优化和调整,环保投入不断加大和环保政策不断深入,《土地利用总体规划》的贯彻实施,使得土地利用结构不断优化,土地节约集约利用水平得到有效提高,从而使得工业废水排放达标率、工业固体废弃物综合利用率、工矿废弃地复垦率、农民人均纯收入、粮食单产和人均 GDP 等指标达到土地生态安全良好水平。

3.2 土地生态安全空间分异

以晋城市所辖的各区县(市)为基本评价单元,按照上述评价方法和指标体系对晋城市各区县(市)的土地生态安全进行分析(图 2)。从 2010 年来看,晋城市土地生态安全总体处于“较安全”状态,但各区县(市)的土地生态安全状态存在明显的空间分异。晋城市北部高平市的土地生态安全为“风险”状态,在市域范围内处于最差水平,该区地形破碎复杂,自然条

件较为恶劣,人口密度较大,人均水资源含量较低,加之社会经济发展水平较低,生态环保措施难以落实,森林覆盖率、水土协调度和农田旱涝保收率在市域内处于中低水平,表现出该区域土地生态环境存在较为严重的威胁。城区和阳城的土地生态安全为“敏感”状态,虽然这两个区域的生态安全综合值很接近,但其土地生态安全子系统的结构存在差异,相比而言,城区作为市域内的经济、文化和政治中心,社会经济发展水平处于较高水平,其环保投资率很高,生态环保措施落实较好,但因其受自然资源的制约,人口密度较高,城市建设用地比重不断加大,人口承载量超出土地生态系统的环境容量,表现为土地生态安全处于“风险”状态;而阳城县地处晋城市的西南部,地貌类型主要为山区和丘陵,自然条件较为优越,是重要的农业发展区,但因社会经济发展水平较低,科技和环保投入有限,农用地集约利用水平不高,农业机械化耕种率较低,水土流失比重较大,表现为土地生态安全处于“风险”状态。泽州县、陵川县和沁水县的土地生态安全为“较安全”状态,这 3 个区域的共同特点是:人均水资源含量和森林覆盖率较高,人口承载量较低,自然资源条件较为优越,且自然保护区建设投入较大,水源地保护得到有效落实,社会经济发展处于较好水平,因而表现为土地生态安全处于“较安全”状态。

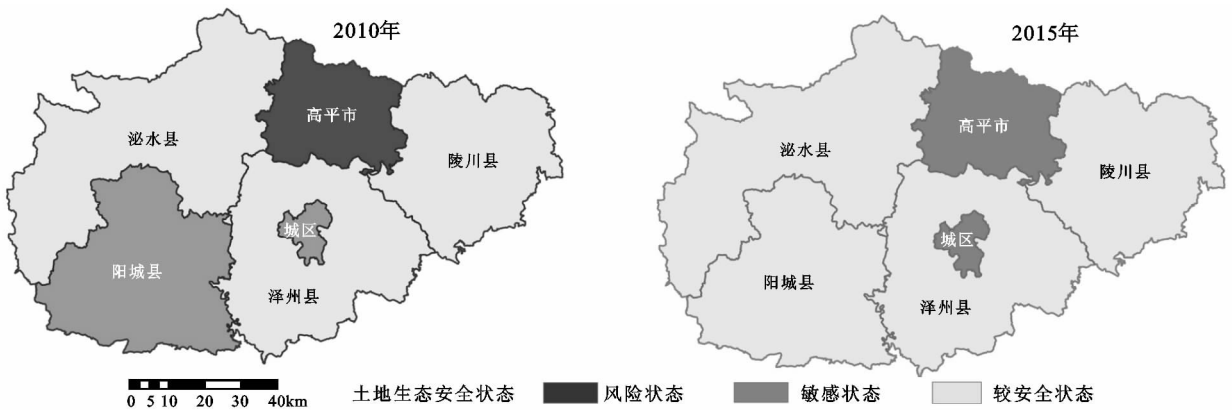


图 2 黄土高原山丘区土地生态安全分布

通过对比 2010 年、2015 年的土地生态安全空间分布图可知,晋城市土地生态安全状况空间演化显著,且总体呈优化的趋势。阳城县和高平市随着社会经济的转型发展,土地利用总体规划的有效落实,土地利用结构不断得到优化,加之产业结构不断优化和调整,工业废气治理效果凸显,土地生态安全状态由“敏感”状态、“风险”状态分别转变为“较安全”状态和“敏感”状态。沁水县、陵川县和泽州县的土地生态安全状态仍然保持着“较安全”状态,但从土地生态安全综合值来看,土地生态安全由较安全中低水平转变为较安全中高水平,这 3 个区域的土地生态安全状况均

有明显改善,这种变化的主要原因是土地综合整治的力度不断加大、环保投入比率有所提升、自然保护区和水源地保护建设投入加大,但因其土地生态安全的本底值较高,深度优化和改善生态环境的成本和难度加大,加之各项政策的出台、环保的投入和规划的落实,其产生的效果或效益具有滞后性,因此在短期内其生态安全值提高的幅度控制在一定的范围之内,而没有突破所处状态的阈值。城区土地生态安全状态仍然保持着“敏感”状态,但土地生态安全综合值有所升高,在敏感状态中有改善的趋势,出现这种状况的原因是城区面临社会经济地快速发展、城镇化水平稳

步提高和人口密度不断加大的生态环境压力,加之水资源和土地资源等自然条件的制约,经济发展指标主要集中在该区,必然导致建设用地比率不断扩大,生态设施用地空间相对较小,土地利用结构难以调整到经济效益、社会效益和生态效益耦合最佳水平,因而表现为土地生态安全状态不变。

## 4 结论与讨论

本文从土地生态安全压力、土地生态安全状态和土地生态安全响应3个方面构建黄土高原山丘区土地生态安全动态评价指标体系,运用主成分分析法确定各指标权重,并采用灰色GM(1,1)模型对晋城市未来土地生态安全状况进行预测,在此基础上对晋城市2001—2015年的土地生态安全状况进行了动态评价。研究结果表明晋城市土地生态安全综合值总体上呈上升趋势,土地生态安全等级从Ⅲ级变成Ⅱ级,土地生态安全状态从“敏感”状态变成“较安全”状态。晋城市土地生态安全状况空间分异显著,不同区县(市)由于社会经济发展水平、自然条件状况、环保投入水平、土地利用结构和产业布局的不同,导致全市土地生态安全格局分布的差异性和空间演化的异质性。

土地生态安全动态评价的核心是指标体系构建,在构建指标体系过程中,应注重指标选取的地域性、针对性、完整性、有效性和独立性,充分反映研究区的自然和社会经济特点。而指标权重的确定是土地生态安全动态评价的关键,权重确定是否科学有效,关系着土地生态安全总值的测算和生态安全等级和状态的判别,对评价结果影响较大。本文运用PSR框架模型构建的指标体系,运用主成分分析法确定指标权重,通过指数和法求取土地生态安全综合值,并借鉴学者们的土地生态安全标准判别研究成果,对晋城市的土地生态安全进行了动态评价,其评价结果较好地反映了该地区的土地生态安全状况,研究成果可为黄土高原山丘区土地生态安全动态评价提供参考,为制定科学有效的土地生态环境相关政策和措施提供依据。

由于本文构建的指标体系比较庞大,涉及到的评价指标众多,给相关数据的收集带来困难,因此在土地生态安全基准值的确定中,部分指标基准值参考了研究区域处所地域的背景值,在一定程度上对评价结果有影响,但这种处理体现的是地域对比思想,能够满足区域土地生态安全评价精度要求。在土地生态安全空间分布分析中,由于评价方法与之前保持一致,使得数据收集的难度较大,只能选择区县(市)作为评价单位,可能对空间分布的微观分析存在影响,

在后续研究中将进一步完善。

### 参考文献:

- [1] 高桂芹,韩美.区域土地资源生态安全评价:以山东省枣庄市中区为例[J].水土保持研究,2005,12(5):271-273.
- [2] 曲福田,赵海霞,朱德明.江苏省土地生态安全问题及对策研究[J].环境保护,2005,21(2):57-59.
- [3] 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.
- [4] 庞雅颂,王琳.区域生态安全评价方法综述[J].中国人口·资源与环境,2014,24(3):340-343.
- [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] 杨赛明,徐跃通,张邦花.区域土地资源可持续利用的生态安全评价[J].中国人口·资源与环境,2010,20(3):325-328.
- [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):276-279,284.
- [8] Li X, Tian M, Wang H, et al. Development of an ecological security evaluation method based on the ecological footprint and application to a typical steppe region in China[J]. Ecological Indicators, 2014, 39: 153-159.
- [9] Wang Y, Xian Yu H, Lv D. Analysis on dynamic ecological security and development capacity of 2005—2009 in Qinhuangdao, China[J]. Procedia Environmental Sciences, 2011, 10: 607-612.
- [10] 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.
- [11] 谢嗣频.土地生态安全评价指标体系研究:以无锡市为例[D].南京:南京农业大学,2011.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 马艳.基于AHP法和熵权法的武汉市土地生态安全评价[J].农村经济与科技,2014,25(1):5-7.
- [15] 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):88-92.
- [16] 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.
- [17] 张虹波,刘黎明,张军连,等.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.
- [18] 舒瑞琴,何太蓉,班荣舶.重庆市土地资源生态安全研究[J].重庆师范大学学报:自然科学版,2013,30(5):44-48.