

# 宁夏市域生态安全动态评价及预测

郭永杰<sup>1</sup>, 米文宝<sup>1,2</sup>, 赵莹<sup>1</sup>, 郑芳<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021; 2. 宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 银川 750021)

**摘要:**以压力—状态—响应模型为框架,研究宁夏市域生态安全的时空变化趋势并对其未来的发展做出预测。为克服主观赋权的弊端,运用熵值法确定各项指标的权重,结合综合指数法计算、分析各市的生态安全度。在 ArcGIS 10.0 平台上对比分析宁夏不同时期的生态安全状况,最后使用 GM(1,1)模型对宁夏各市未来的生态安全趋势进行预测。结果表明:宁夏地区的生态安全现状不容乐观,2005—2011 年银川市的生态安全度从 0.278 下降到 0.201,并有继续下降的趋势;在此期间,固原市从 0.295 1 上升到 0.324 5,而且有继续上升的趋势;石嘴山、吴忠、中卫三市生态安全水平较低,根据模型预测在未来一段时间中无明显变化。

**关键词:**宁夏;生态安全;动态评价;预测

**中图分类号:**X171.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)02-0205-06

## Evaluation and Prediction on Ecological Security of Ningxia Hui Autonomous Region

GUO Yong-jie<sup>1</sup>, MI Wen-bao<sup>1,2</sup>, ZHAO Ying<sup>1</sup>, ZHENG Fang<sup>1</sup>

(1. School of Resources and Environment, Ningxia University,

Yinchuan 750021, China; 2. Key Laboratory of Restoration and Rehabilitation of the Degraded Ecosystem in Northwestern China, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:**On the basis of PSR model, spatiotemporal variation trends of Ningxia regional ecological security were discussed in this paper and their relevant future development were predicted. In order to overcome the shortcomings of subjective weight definition, entropy method was used to determine the weight of each index, and then ecological security degree of each municipality was calculated by means of synthetically index method. Furthermore, ecological security situations of Ningxia Hui Autonomous Region in different years were analyzed contrastively based on ArcGIS 10.0 platform, finally GM(1,1) model was used to make prediction for future development about ecological security degree of each municipality. The research results showed as followings. The regional ecological security status quo of Ningxia Hui Autonomous Region was not optimistic. From 2005 to 2011, the ecological security degree of Yinchuan showed a decline from 0.278 to 0.201, and it would decrease continuously according to the prediction; while ecological security degree of Guyuan showed a rising trend from 0.295 1 to 0.324 5, and it will go up continuously according to the prediction; moreover, ecological security degree of Shizuishan, Wuzhong, Zhongwei City were relatively low, and they had inconspicuous variation according to the GM(1,1) model.

**Key words:**Ningxia Hui Autonomous Region; ecological security; dynamic evaluation; prediction

自 1989 年国际应用系统分析研究所提出生态安全概念以来<sup>[1-2]</sup>,学者们对生态安全进行了系列的理论以及实证研究。研究涉及的对象众多:蒙晓等<sup>[3]</sup>对宝鸡市的生态安全进行了综合评价,并就其未来 10 a 的发展进行了动态预测;邓楚雄等<sup>[4]</sup>研究了上海

市农业的生态安全发展,分析了影响农业生态安全的主要障碍因素;孙彩歌等<sup>[5]</sup>利用遥感影像分析东江流域近 20 a 的生态安全时空变化;此外,部分学者也对草原<sup>[6]</sup>、土地<sup>[7-9]</sup>、湿地<sup>[10]</sup>等对象的生态安全进行了定量评价。在构建生态安全指标体系的过程中因

收稿日期:2013-07-30

修回日期:2013-09-03

资助项目:国家自然科学基金“宁夏回族聚居限制开发区区域发展机理与模式研究”(41161020)

作者简介:郭永杰(1989—),男,河南许昌人,硕士研究生,主要从事区域可持续发展方面的研究。E-mail:guoxguo2008@163.com

通信作者:米文宝(1962—),男,陕西富平人,教授,博士研究生导师,主要从事生态学、区域地理与可持续发展研究。E-mail:miwbao@nxu.edu.cn

采用的模型不同而表现出差异性:杨春红等<sup>[11]</sup>基于 PSR 模型研究了汕头市土地生态安全的发展趋势;杨俊等<sup>[12]</sup>则使用 DPSRC 模型构建指标体系,结合地信和遥感技术分析大连市生态安全的空间分异;张继权等<sup>[13]</sup>在评价吉林省白山市的生态安全时采用 DPSIR 模型构造指标体系;DSR 模型、DPSEEA 模型在研究过程中也得到广泛应用<sup>[14]</sup>;其中 PSR 模型从人类与生态系统的相互作用与影响出发对生态指标进行分类,具有较强的系统性<sup>[15]</sup>,所以本文使用该模型进行生态安全评价。宁夏地区生态环境脆弱,进行生态安全的定量评价有利于和谐自然、经济、社会系统的关系,促进地区的可持续发展。鉴于此,本文使用 PSR 模型构建生态安全指标体系,结合熵值法对宁夏 5 个地级市的生态安全进行综合评价,最后运用 GM(1,1) 模型对其未来的生态安全趋势进行预测。

# 1 研究区概况

宁夏回族自治区处在中国西部的黄河上游地区,位于北纬 35°14′—39°23′,东经 104°17′—107°39′,是我国五大省级自治区之一。宁夏包括五个地级市,分别为银川市、吴忠市、石嘴山市、中卫市、固原市。根据第六次全国人口普查统计,全区常住人口数约为 630.14 万人。研究区地处我国半干旱与干旱区的过渡地带,以年降水量 200 mm 和 400 mm 等值线为

界,可以划分为三大地理单元:北部属于干旱区,中部属于半干旱区,南端六盘山属于半湿润区。南北相距约 456 km,东西相距约 250 km,总面积约为 5.19 万 km<sup>2</sup>。宁夏周围有毛乌素沙地,乌兰布和沙漠和腾格里沙漠三大沙漠,生态环境脆弱,是我国西部生态安全建设的重要屏障。

# 2 研究数据与研究方法

## 2.1 研究数据

2.1.1 指标体系 PSR 模型由经济合作与发展组织与联合国环境规划署(UNEP)共同提出,具体由压力体系、状态体系和响应体系三部分组成。结合宁夏自然环境和经济发展现状,并借鉴相关学者的研究成果<sup>[16-17]</sup>,本文构建由目标层、项目层、因素层、指标层构成的合计 20 项指标:目标层(A)为生态安全度;项目层(B)由生态安全压力(B<sub>1</sub>)、生态安全状态(B<sub>2</sub>)和生态安全响应(B<sub>3</sub>)组成;生态安全压力(B<sub>1</sub>)反映人类活动对自然、经济、社会带来的压力,具体包括人文社会压力(C<sub>1</sub>)、资源压力(C<sub>2</sub>)和环境压力(C<sub>3</sub>);生态安全状态(B<sub>2</sub>)反映了资源(C<sub>4</sub>)、环境(C<sub>5</sub>)等的发展现状;生态安全响应(B<sub>3</sub>)则显示了人类面对问题采取的措施,具体包括人文社会响应(C<sub>6</sub>)、环境响应(C<sub>7</sub>)、经济政策响应(C<sub>8</sub>);指标层(D)则是体现因素层各种压力、状态和响应的具体指标,是整个指标体系最基础的部分(表 1)。

表 1 宁夏地区各市生态安全评价指标体系

目标层(A)	项目层(B)	因素层(C)	指标层(D)
生态安全度	压力(B <sub>1</sub> )	人文社会压力(C <sub>1</sub> )	(D <sub>1</sub> )人口密度(人/km <sup>2</sup> )
			(D <sub>2</sub> )人口自然增长率(‰)
			(D <sub>3</sub> )城镇化率(%)
		资源压力(C <sub>2</sub> )	(D <sub>4</sub> )万元 GDP 耗水量(m <sup>3</sup> )
			(D <sub>5</sub> )万元工业产值煤炭消费量(t)
		环境压力(C <sub>3</sub> )	(D <sub>6</sub> )工业废水排放量(t)
			(D <sub>7</sub> )工业固体废物产生量(t)
			(D <sub>8</sub> )工业废气排放总量(亿标 m <sup>3</sup> )
			(D <sub>9</sub> )化肥施用强度(t/hm <sup>2</sup> )
	状态(B <sub>2</sub> )	资源状态(C <sub>4</sub> )	* (D <sub>10</sub> )全市水资源总量(亿 m <sup>3</sup> ) * (D <sub>11</sub> )森林覆盖率(%)
		环境状态(C <sub>5</sub> )	* (D <sub>12</sub> )空气质量优于二级标准的天数(d)
			(D <sub>13</sub> )土地垦殖指数(耕地面积/土地面积)(%) (D <sub>14</sub> )水土流失率(%)
	响应(B <sub>3</sub> )	人文社会响应(C <sub>6</sub> )	* (D <sub>15</sub> )每万人拥有执业医师数(人)
		环境响应(C <sub>7</sub> )	* (D <sub>16</sub> )工业固体废物综合利用率(%)
			* (D <sub>17</sub> )造林面积(万 hm <sup>2</sup> )
		经济政策响应(C <sub>8</sub> )	* (D <sub>18</sub> )第三产业产值占生产总值比例(%)
			* (D <sub>19</sub> )农民年人均纯收入(元)
			* (D <sub>20</sub> )人均 GDP(元)

注:带“\*”指标为正向指标,其余为逆向指标。

2.1.2 数据来源 本文所涉及的指标数据来源于《宁夏统计年鉴》(2006—2012)、《宁夏水资源公报》(2005—2011)、《宁夏环境状况公报》(2005—2011)、银川市统计公报(2005—2011)、石嘴山市统计公报(2005—2011)、吴忠市统计公报(2005—2011)、固原市统计公报(2005—2011)、中卫市统计公报(2005—2011)、以及宁夏国土部门和林业部门的相关资料、国研网宁夏分区造林面积(2005—2011)。

2.2 研究方法

2.2.1 综合指数法 熵的概念来源于热力学,是统计物理中描述分子运动无序状态的量度。1948 年 Claude E. Shannon 将其引入信息论(信息熵)中,作为系统无序程度(或系统中数值离散程度)的一种度量<sup>[18-19]</sup>。指标的信息熵越小,表明其离散程度越大,提供的信息量越多,权重也越大。反之,信息熵越大,表明其离散程度越小,提供的信息量越少,权重也越小<sup>[20]</sup>。利用信息熵确定权重的具体步骤<sup>[21-23]</sup>:

(1) 构造判断矩阵,假设存在  $n$  个指标, $m$  个研究对象,则可以构造一个  $m$  行  $n$  列的原始矩阵。对于本文而言, $m$  取值为 5,相当于宁夏 5 个地级市:银川市、石嘴山市、吴忠市、固原市、中卫市; $n$  取值为 20,

相当于数据分析过程中选取的 20 项指标。

(2) 矩阵归一化为了方便数据的分析与处理,需要对原始矩阵进行无量纲化。无量纲化的方法有很多,文中采用的是极差法。

正向指标的计算公式为:

$$X_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{jmin}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \quad X_{ij} \in (0,1) \tag{1}$$

逆向指标的计算公式为:

$$X_{ij} = \frac{x_{jmax} - x_{ij}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \quad X_{ij} \in (0,1) \tag{2}$$

式中: $x_{ij}, X_{ij}$ ——第  $i$  年第  $j$  个指标的原值和标准化后的数值; $x_{jmax}, x_{jmin}$ —— $X_{ij}$  所在序列的最小值和最大值。

(3) 计算指标比重  $P_{ij}: P_{ij} = X_{ij} / \sum_{i=1}^5 X_{ij} \tag{3}$

(4) 计算信息熵  $e_j: e_j = -k \sum_{i=1}^5 P_{ij} \ln P_{ij} \tag{4}$

式中, $k>0, e_j \geq 0$ ,此处  $k=1/\ln m$ ,使  $0 \leq e_j \leq 1$ 。

(5) 计算差异系数  $A_i: A_i = 1 - e_j \tag{5}$

(6) 计算熵权  $B_j: B_j = A_j / \sum_{i=1}^{20} A_j \tag{6}$

通过计算,2005—2011 年宁夏地区各市生态安全评价指标权重计算结果详见表 2。

表 2 指标体系权重

指标	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年
$D_1$	0.065	0.059	0.051	0.042	0.038	0.035	0.036
$D_2$	0.059	0.053	0.061	0.053	0.051	0.054	0.058
$D_3$	0.040	0.043	0.042	0.040	0.043	0.051	0.048
$D_4$	0.044	0.049	0.055	0.058	0.058	0.050	0.054
$D_5$	0.059	0.057	0.063	0.048	0.096	0.075	0.036
$D_6$	0.045	0.061	0.049	0.055	0.055	0.052	0.040
$D_7$	0.032	0.033	0.031	0.036	0.037	0.038	0.037
$D_8$	0.037	0.035	0.039	0.044	0.048	0.031	0.055
$D_9$	0.043	0.046	0.038	0.053	0.051	0.050	0.041
$D_{10}$	0.093	0.075	0.095	0.090	0.062	0.073	0.095
$D_{11}$	0.043	0.068	0.052	0.049	0.048	0.045	0.049
$D_{12}$	0.041	0.040	0.040	0.051	0.034	0.039	0.043
$D_{13}$	0.033	0.033	0.029	0.031	0.029	0.040	0.032
$D_{14}$	0.044	0.037	0.046	0.049	0.053	0.047	0.039
$D_{15}$	0.098	0.093	0.115	0.075	0.069	0.075	0.083
$D_{16}$	0.043	0.051	0.046	0.049	0.057	0.053	0.067
$D_{17}$	0.039	0.035	0.044	0.055	0.036	0.040	0.041
$D_{18}$	0.052	0.046	0.037	0.045	0.054	0.051	0.045
$D_{19}$	0.038	0.038	0.035	0.038	0.035	0.040	0.042
$D_{20}$	0.056	0.046	0.052	0.048	0.052	0.056	0.057

(7) 计算生态安全度  $Z_i$ :

$$Z_i = \sum_{j=1}^{20} B_j X_{ij} \quad (i=1,2,\cdots,m) \tag{7}$$

其中, $Z_i \in (0,1)$ 。 $Z_i$  越大,说明生态安全度越高,反之越低。

2.2.2 GM(1,1)预测 GM(1,1)表示一阶、一个变量的微分方程,是灰色系统理论中常用的预测模型<sup>[24]</sup>。具体的建模过程如下<sup>[25-27]</sup>:

设存在原始数据序列  $X^{(0)}$ :

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \cdots, x^{(0)}(7)\}$$

(1) 对原始数据进行一次累加生成,得到新数列  $X^{(1)}$  :

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(7)\}$$

(2) 构建累加矩阵  $B$  和常数项向量  $Y$

$$B = \begin{bmatrix} -0.5(x^{(1)}(1)+x^{(1)}(2)) & 1 \\ -0.5(x^{(1)}(2)+x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -0.5(x^{(1)}(6)+x^{(1)}(7)) & 1 \end{bmatrix},$$
$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(7) \end{bmatrix} \tag{8}$$

则 GM(1,1)模型的白化微分方程为:

$$dx^{(1)}/dt+ax^{(1)}=b \tag{9}$$

(3) 利用最小二乘法求解模型参数  $a, b$ :

$$\hat{a}=[a, b]^T=(B^TB)^{-1}B^TY \tag{10}$$

(4) 求解时间响应函数:

$$\hat{X}^{(1)}(k+1)=[x^{(0)}(1)-b/a]e^{-ak}+b/a \tag{11}$$

(5) 对上式进行累减还原,得到原始数列  $x^{(0)}$  的时间响应函数:

$$\hat{X}^{(0)}(k+1)=\hat{X}^{(1)}(k+1)-\hat{X}^{(1)}(k)=(1-e^a)[x^{(0)}(1)-b/a]e^{-ak} \tag{12}$$

2.3 生态安全分级

参考相关学者的研究<sup>[28-29]</sup>,结合专家的咨询意见,设计生态安全度分级表,共分为 5 个等级(表 3)。

表 3 宁夏生态安全分级

生态安全等级	I	II	III	IV	V
生态安全度	(0.0~0.15]	(0.15~0.3]	(0.3~0.45]	(0.45~0.7]	(0.7~1.0)
生态安全状况	很不安全	不安全	临界安全	较安全	安全

3 结果与分析

运用上述综合指数法和 GM(1,1)模型分别计算出 2005—2011 年期间、2012—2018 年宁夏各市生态安全度的实际值和预测值,本研究还利用 Excel 直线图(图 1)更加直观显示生态安全度的演变趋势。

3.1 宁夏各市生态安全度的现状分析

3.1.1 生态安全度的时间演变分析 图 1 左半部分显示,从整体上看,2005—2011 年期间,固原市的生态安全状况处在临界安全的范围内。除固原市外,其他地区的生态安全状况均处于不安全、很不安全的级别。除银川市之外,石嘴山市、吴忠市、固原市以及中卫市的生态安全度均呈现出波动上升的趋势。

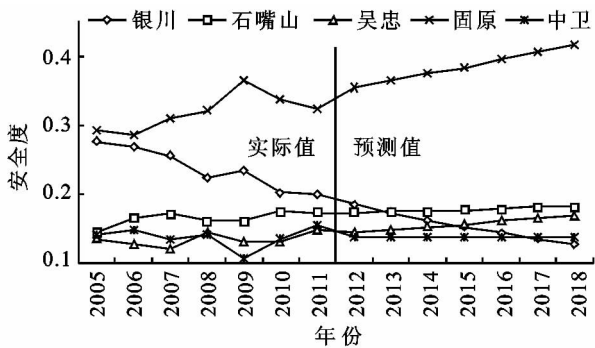


图 1 2005—2018 年宁夏各市生态安全度变化趋势

银川市生态安全度在 2005—2011 年期间从 0.278 下降到 0.201,几乎每年都会出现下降的现象;一方面,随着银川地区社会经济的快速发展,人口日益集聚,需水量持续增加,这都对本区域的生态安全造成很大的压力;另一方面,宁东能源化工基地的建

设以及大规模生产,为银川的国民经济发展做出了巨大贡献,但是发展工业的同时必然会带来“三废”的产生,这会为本区域的生态环境产生不利影响。固原市的生态安全度在此期间呈波动上升趋势,图 1 左半部分可明显看出,其上升幅度比其它四个地级市的幅度要大;固原地处宁夏南部黄土丘陵区,原本是生态脆弱地区,在宁夏主体功能区规划中,大部分被划定为限制开发和禁止开发区域<sup>[30]</sup>,随着近些年此区域退耕还林还草、生态移民、生态补偿等一系列生态工程的实施,取得了显著的效果,大力发展第三产业,增加人均收入,注重环境保护等措施都为此区域生态安全度的持续上升提供了动力。石嘴山市、吴忠市和中卫市的生态安全度在图 1 中十分接近,并且发展趋势也十分相似,均在小幅度的波动中上升,但吴忠市的生态安全状况一直处在很不安全的级别。

3.1.2 生态安全度的空间分异分析 总体上看,宁夏各市的生态安全度大致表现出固原市>银川市>石嘴山市>中卫市>吴忠市,其中中卫市、吴忠市生态安全度的相对位置在 2008 年、2009 年两年出现了变动,其余三市的位置均稳定。意味着宁夏南部(固原市)、北部(银川市,石嘴山市)的生态安全形式较好;而中部地区(中卫市,吴忠市)的生态安全度偏低,生态问题严重,主要是由于处于中部干旱风沙带,降水稀少、荒漠化严重。

图 2 反映了 2005—2011 年期间宁夏生态安全度的变化幅度,据此可以将其内部划分为三个类型。第一个类型为固原市和石嘴山市,生态安全度表现出上升趋势,增长幅度均在 0.02 以上,具体分别为

0.029 4,0.028 2;第二类为吴忠市和中卫市,生态安全度虽然表现出上升趋势但增长幅度介于 0.01~0.02 之间,具体分别为 0.013 7,0.013 6;第三类为银川市,生态安全度呈现下降趋势,具体为-0.077 0。

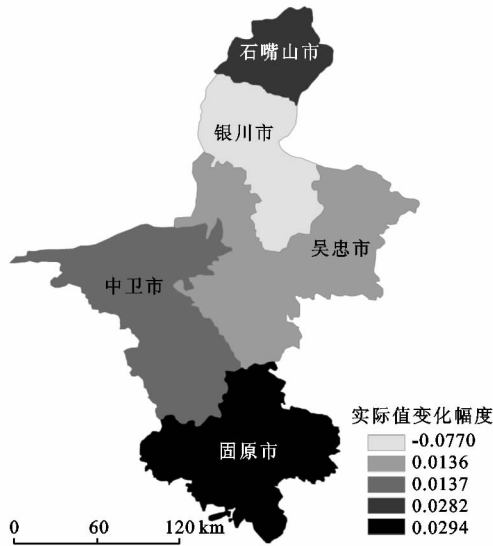


图 2 2005—2011 年宁夏各市生态安全变化

### 3.2 宁夏各市生态安全度的预测分析

图 1 右半部分预测了 2012—2018 年期间宁夏各市的生态安全度发展趋势。从时间尺度上看,除了银川市之外,石嘴山市、吴忠市、固原市、中卫市的生态安全度仍表现出上升趋势,表明宁夏整体的生态安全状况有逐渐好转的迹象。图 1 右半部分直观显示,银川市的生态安全度一直呈下降趋势,生态安全等级将从Ⅱ级逐渐下降到Ⅰ级,应继续加强生态问题的解决力度;固原市一直处于临界安全状态并且呈现出持续好转的趋势;中卫市的生态安全问题突出,始终处于Ⅰ级的范围内;此外,石嘴山市和吴忠市的生态安全度水平相近,发展趋势都十分平缓。

从空间尺度上看,五市的生态安全格局发生了变化。2012 年生态安全度呈现出固原市>银川市>石嘴山市>吴忠市>中卫市的空间特征,由于银川市生态安全度的持续下降,从 2013 年开始转变为固原市>石嘴山市>银川市>吴忠市>中卫市的特征。此外,对比 2005—2011 年的数据不难发现,除了银川市生态安全的相对位置发生变化以外,吴忠市的生态安全度开始稳步高出中卫市。图 3 显示了 2012—2018 年各市预测数据的变化幅度:固原市的生态安全度不断上升,增长幅度为 0.092 3;石嘴山市和吴忠市的生态安全度虽然同样在上升,但幅度不及固原市,具体分别为 0.021 1,0.008 4;中卫市和银川市的生态安全度在下降,增长幅度分别为-0.017 0,-0.073 2。

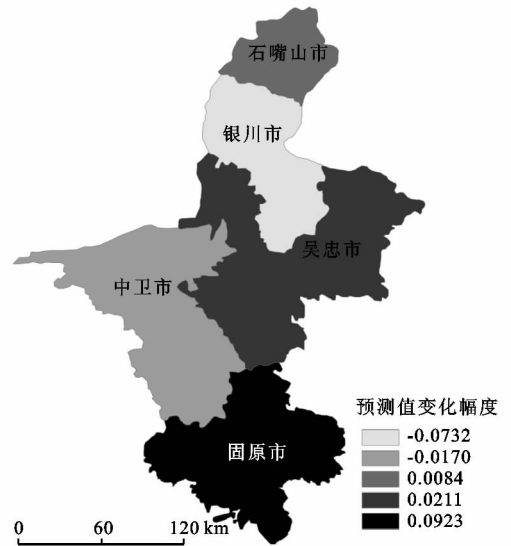


图 3 2011—2018 年宁夏各市生态安全变化

## 4 结论

(1) 2005—2011 年期间,除银川市之外,石嘴山市、吴忠市、固原市以及中卫市的生态安全度均呈现出波动上升的趋势。固原市上升幅度(0.029 4)最大,依次为石嘴山市(0.028 2)、吴忠市(0.013 7)、中卫市(0.013 6)、银川市(-0.077 0)。生态安全度整体表现出宁夏南部(固原市)>北部(银川市,石嘴山市)>中部(吴忠市,中卫市)的空间特征。

(2) 根据 GM(1,1)模型的预测结果可得出:银川市不容乐观,生态安全度一直呈下降趋势,石嘴山市、吴忠市、固原市、中卫市的生态安全度仍表现出上升趋势,表明宁夏整体的生态安全状况有逐渐好转的迹象,而银川市应继续加强生态问题的解决力度。固原市生态安全度的上升幅度(0.092 3)仍然最大,其次为石嘴山市(0.021 1)、吴忠市(0.008 4)、银川市(-0.073 2)、中卫市(-0.017 0)。生态安全度也逐渐转变为固原市>石嘴山市>银川市>吴忠市>中卫市的空间分布特征。

随着生态文明建设的提出,以及宁夏内陆开放型经济试验区的建立,宁夏继西部大开发又迎来了一次生态建设和社会经济发展的机遇。在宁夏主体功能区划定的背景下,探讨本地区各市生态安全,对宁夏地区生态文明建设和内陆开放型经济的发展提供有益的参考。文章在不同时间尺度下研究不同空间尺度的生态安全,并进行对比分析,用宁夏五个地级市最近 7 a 的数据研究各区生态安全度,体现出宁夏各市生态安全现状,探究影响宁夏各市生态安全建设的主要因素,结果符合宁夏地区各市生态安全建设的基本情况。最后利用 GM(1,1)模型进行了 7 a 的预测,

清晰地展现出宁夏地区各市未来生态安全的趋势及变化。

生态安全是一个综合复杂的系统,随着社会人文、资源、环境、经济等不断变化,生态安全的形势也会变化,需长时间的观测、研究。对宁夏地区各市生态安全度的计算应拉长时间序列,评价结果会更客观、合理。利用 GM(1,1)模型进行预测结果具有一定的预见性,但时间尺度越大,预测结果也就越不精准,在以后对本地区生态安全研究中应改进方法,尽量减少误差,使评价和预测结果更具参考价值。

#### 参考文献:

- [1] 殷春雪,李锋,钱谊.基于 GM(1,1)模型的长沙市生态安全综合评估预测[J].环境科学与技术,2012,35(61):373-378.
- [2] 刘洋,蒙古军,朱利凯.区域生态安全格局研究进展[J].生态学报,2010,30(24):6980-6989.
- [3] 蒙晓,任志远,戴睿.基于压力—状态—响应模型的宝鸡市生态安全动态评价及预测[J].水土保持通报,2012,32(3):231-236.
- [4] 邓楚雄,谢炳庚,吴永兴,等.上海都市农业生态安全定量综合评价[J].地理研究,2011,30(4):645-654.
- [5] 孙彩歌,钟凯文,刘旭拢.东江流域近20年来生态安全时空变化遥感分析[J].国土与自然资源研究,2012(2):51-52.
- [6] 侯成成,赵雪雁,张丽,等.基于熵组合权重属性识别模型的草原生态安全评价[J].干旱区资源与环境,2012,26(8):44-51.
- [7] 蒙古军,朱利凯,杨倩,等.鄂尔多斯市土地利用生态安全格局构建[J].生态学报,2012,32(21):6755-6766.
- [8] 孙奇奇,宋戈,齐美玲.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(1):234-238.
- [9] 徐辉,雷国平,崔登攀.耕地生态安全评价研究:以黑龙江省宁安市为例[J].水土保持研究,2011,18(6):180-188.
- [10] 韩振华,李建东,殷红.基于景观格局的辽河三角洲湿地生态安全分析[J].生态环境学报,2010,19(3):701-705.
- [11] 杨春红,张正栋,田楠楠.基于 PSR 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.
- [12] 杨俊,李雪铭,张云,等.基于因果网络模型的城市生态安全空间分异:以大连市为例[J].生态学报,2008,28(6):2774-2783.
- [13] 张继权,伊坤朋,HiroshiTani,等.基于 DPSIR 的吉林省白山市生态安全评价[J].应用生态学报,2011,22(1):189-195.
- [14] 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):293-301.
- [15] 彭建,吴健生,潘雅婧,等.基于 PSR 模型的区域生态持续性评价概念框架[J].地理科学进展,2012,31(7):933-940.
- [16] 李佩武,李贵才,张金花,等.深圳城市生态安全评价与预测[J].地理科学进展,2009,28(2):245-252.
- [17] 李媛,谢应忠.宁夏农业生态安全评价与对策研究[J].农业科学研究,2012,33(3):18-22.
- [18] 陈启明,陈华友.改进的熵值法在确定组合预测权系数中的应用[J].统计与决策,2011(13):159-160.
- [19] 杨国华,崔彬.熵权法在水资源可持续利用评价中的应用[J].数学的实践与认识,2011,41(19):8-11.
- [20] 李创新,马耀峰,张颖,等.1993—2008年区域入境旅游流优势度时空动态演进模式:基于改进熵值法的实证研究[J].地理研究,2012,31(2):257-268.
- [21] 温淑红,温学飞,安钰.基于 DPSIR 模型对宁夏同心旱作补水农业可持续发展分析[J].2011,18(5):231-246.
- [22] 石培基等.基于熵值法的建设用地集约利用评价[J].干旱区研究,2009,26(4):502-507.
- [23] 郭锐利,郑钦玉,刘娟,等.基于熵值法 GM(1,1)模型的重庆城市生态系统健康评价[J].中国环境科学,2012,32(6):1148-1152.
- [24] 杨华龙,刘金霞,郑斌.灰色预测 GM(1,1)模型的改进及应用[J].数学的实践与认识,2011,41(23):39-46.
- [25] 李蔚.参数最优化的 GM(1,1)模型[J].计算机工程与应用,2011,47(14):25-27.
- [26] 魏光辉.灰色 GM(1,1)模型在干旱预测中的应用[J].水科学与工程,2010(4):7-9.
- [27] 周健,刘占才.基于 GM(1,1)预测模型的兰州市生态安全预警与调控研究[J].干旱区资源与环境,2011,25(1):15-19.
- [28] 魏小岛,周忠发,王媛媛.基于格网 GIS 的喀斯特生态安全研究:以贵州花江石漠化综合治理示范区为例[J].山地学报,2012,30(6):681-687.
- [29] 邱微,赵庆良,李崧,等.基于“压力—状态—响应”模型的黑龙省生态安全评价研究[J].环境科学,2008,29(4):1148-1152.
- [30] 米文宝,余晓霞,李雯燕,等.宁夏主体功能区划初步研究[J].经济地理,2008,28(11):936-940.