

文章编号 :1671-7244(2018)01-0085-06

基于 P-R-S 模型的土地生态安全评价与预测 ——以宁夏固原市为例

陈晓, 王鹏

(宁夏大学 资源环境学院, 宁夏 银川 750021)

摘要:运用熵权法、P-R-S 模型、地理探测器和 GM(1,1) 预测模型等方法对固原市土地生态安全进行评价研究。结果表明,固原市土地生态安全指数在研究期间呈现出先减小后增大的态势。2006—2010 年土地生态安全指数下降 0.134 8,2010—2015 年土地生态安全指数上升 0.345 9,安全等级由较不安全发展到临界安全,土地生态安全状况不断改善和提高。通过地理探测器探测得到人口密度,化肥使用量,工业固体废物产生量,废水排放量,综合能量消耗量,环境空气质量达标率,水利、环保和公共设施投资占固定投资的比率等 7 项指标因子的 Q 值均大于 0.9,成为影响固原市土地生态安全的主要因素。利用 GM(1,1) 预测模型对固原市未来 10 年土地生态安全发展水平进行预测,结果表明,2016—2025 年该区域土地生态安全水平不断上升。

关键词:土地生态安全评价;P-S-R 模型;地理探测器;GM(1,1)模型;固原市
中图分类号:F327 **文献标志码:**A

生态安全的概念从生态风险研究中发展而来^[1],并逐步发展成为当前可持续发展研究的新主题。土地生态安全是土地资源持续利用的基础,也是保障社会安全的基本前提条件^[2]。随着社会经济的迅速发展和城市化水平的不断加快,环境污染和生态破坏日趋严重,加之人类活动和土地资源开发强度的不断增强,土地生态环境遭到严重破坏,正在威胁着人类的生存和发展。因此,土地生态安全评价对区域生态、经济、社会发展起到至关重要的作用^[3]。当前,土地生态安全评价主要运用 P-S-R 模型^[4]、DPSIR-TOPSIS 模型^[5]、生态足迹法^[6]、主成分分析法^[7]、物元模型^[8]、BP 神经网络^[9]等方法,结合遥感和 GIS 技术^[10],对城市^[11]、流域^[12]、旅游景区^[13]等区域的土地生态安全进行评价研究。其逐步完善的评价理论和方法为土地生态风险评价提供了有力的科学依据和技术支持。目前,对于宁夏土地生态安全的评价研究主要集中在全区尺度上,例如,王磊、李茜等^[5,14]采用不同的研究方法对宁夏全区进行研究。目前,对于宁夏市域的生态安全评价研究较少。该研究选用能综合反映自然、经济和社会因素关系的 P-S-R 模型,构建固原市生态安全评价指标体系,对固原市 2006—2015 年生态安全状况进行评价,以期对固原市生态

安全建设及管理提供科学的指导和依据。

1 研究区概况

固原市位于宁夏南部六盘山区,黄土高原的西北边缘,地处西安、兰州、银川三个省会城市构成的三角地带中心,东经 105°19′—106°57′,北纬 35°14′—36°31′。境内以六盘山为南北脊梁,将全市分为东西两壁,呈南高北低之势,平均海拔在 1 500~2 200 m,属于典型的大陆性季风气候,年平均气温 6.2℃,年平均日照时数 2 518.2 h,无霜期达 152 d,平均降水量 492.2 mm,且区域降水差异较大。目前,区域总面积 1.05 万 km²,辖西吉县、隆德县、泾源县、彭阳县和原州区四县一区,62 个乡镇,4 个街道办事处。截至 2015 年总人口约 149 万人,其中回族人口占总人口的 46.7% 左右^[15]。

2 研究方法与数据来源

科学合理的评价指标体系以及对所选取指标权重的计算是生态安全评价的关键步骤。本文采用由联合国经济合作开发署(OECD)提出的 P-S-R 模型,运用熵值法计算指标权重,最后利用生态安全评价模型计算得到综合生态安全指数,对固原市土地

收稿日期:2017-10-31

作者简介:陈晓(1994—),女,硕士,主要从事生态经济与生态评估研究(1196033608@qq.com)。

生态安全进行评价。P-S-R模型是20世纪80年代联合国经济合作开发署(OECD)提出的,其以人类与自然系统相互制约和依存关系为出发点建立指标体系,具有较强的系统性^[16]。P-S-R模型由“压力—状态—响应”3部分指标组成。压力指标(P)表示环境承受人类各种生产、生活活动对其造成的压力;状态指标(S)表示自然资源和环境所处的现状;响应指标(R)表示人类在面对各种压力时所采取的手段和措施^[17]。该模型较好地反映生态系统和人类社会间的关系,并将二者紧密联系起来,具有较强的使用价值^[18]。

2.1 数据来源

该研究数据来源于2006—2015年《宁夏统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《固原经济要情手册》《固原市情数据手册》,宁夏回族自治区官方网站公布的数据与宁夏回族自治区国民经济和社会发展统计公报。

2.2 指标体系的构建

该研究根据指标选取的科学性、可操作性以及数据获取的可得性原则,运用P-S-R模型,结合固原市土地生态安全特点,在借鉴已有研究成果^[19-20]的基础上,从研究区的土地资源状况及社会经济发

展情况2方面选取资源、环境、经济和社会等方面指标,对宁夏固原市土地生态安全进行综合评价。考虑到评价需要和数据获取的可行性,本文构建了包括目标层、准则层、指标层3个层次、23个指标的固原市土地生态安全评价指标体系(表1)。

2.3 土地生态安全计算

2.3.1 构建样本评价矩阵 定义 x_{ij} 为第 i 年的第 j 项指标的实际值,从而构建研究区域生态安全评价 m 个评价指标和 n 个评价对象的样本矩阵 X :

$$X=(x_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

2.3.2 指标的标准化处理 为了消除量纲影响,本文采用极差法对各项指标进行标准化处理,得到矩阵 Y ,记为

$$Y=(y_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

$$\text{正向指标: } Y_{ij} = \frac{(x_{ij} - x_{ij\min})}{(x_{ij\max} - x_{ij\min})} \quad (3)$$

$$\text{负向指标: } Y_{ij} = \frac{(x_{ij\max} - x_{ij})}{(x_{ij\max} - x_{ij\min})} \quad (4)$$

式中: Y_{ij} 为指标标准化后的值, $Y_{ij} \in (0, 1)$; $x_{ij\max}$ 和 $x_{ij\min}$ 分别为第 j 项指标的最大值和最小值。

2.3.3 熵权法确定权重 定义 f_{ij} 为标准化值占总标准化值的比重,则有

表1 固原市土地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标属性	指标权重
A 土地生态安全系统	B ₁ 压力系统	C ₁ 人口密度/(人·km ⁻²)	-	0.036 0
		C ₂ 自然人口增长率/%	-	0.049 2
		C ₃ 回族人口比率/%	-	0.027 4
		C ₄ 化肥使用量/t	-	0.033 7
		C ₅ 工业固体废物产生量/万 t	-	0.034 2
		C ₆ 农用塑料薄膜使用量/kg	-	0.032 2
		C ₇ 废水排放量/万 t	-	0.036 5
		C ₈ 人均耕地面积/hm ²	+	0.032 4
	B ₂ 状态系统	C ₉ 年降水量/mm	+	0.038 0
		C ₁₀ 恩格尔系数/%	-	0.047 3
		C ₁₁ 综合能量消耗量/万 t	-	0.038 5
		C ₁₂ 人均粮食产量/kg	+	0.051 2
		C ₁₃ 农村人均纯收入/(元·人 ⁻¹)	+	0.053 6
		C ₁₄ 单位耕地粮食产量/(kg·km ⁻²)	+	0.054 1
		C ₁₅ 农村固定资产投资/万元	+	0.072 7
		C ₁₆ GDP增长率/%	+	0.033 4
	B ₃ 响应系统	C ₁₇ 环境空气质量达标率/%	+	0.054 3
		C ₁₈ 第三产业占GDP的比重/%	+	0.058 3
		C ₁₉ 生活垃圾处理率/%	+	0.047 3
		C ₂₀ 固体废物综合利用率/%	+	0.041 5
		C ₂₁ 废气治理设施套数/套	+	0.050 1
		C ₂₂ 水利、环保和公共设施投资占固定投资的比率/%	+	0.042 6
		C ₂₃ 每万人在校学生数/人	+	0.035 5

$$f_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{i=1}^m Y_{ij}} \quad (5)$$

令 e_i 为第 j 项指标的熵值, 则有:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (f_{ij} \ln f_{ij}),$$

$$k = \frac{1}{\ln m}; \text{当 } f_{ij}=0 \text{ 时, 令 } f_{ij} \ln f_{ij}=0. \quad (6)$$

计算第 j 项指标的权重 w_j , 有

$$w_j = \frac{(1-e_j)}{\sum_{i=1}^m (1-e_i)}, (0 \leq w_j \leq 1, \sum_{i=1}^m w_j = 1). \quad (7)$$

式中: w_j 为第 j 项指标的权重; e_i 为第 j 项指标的熵值; m 为研究期; j 为指标个数。根据式(7)计算得到各指标权重(表 1)。

2.3.4 土地生态安全综合指数 本文采用综合评价法, 利用土地生态安全综合评价模型计算得到固原市土地生态安全综合指数(表 2)。

$$A = \sum_{i=1}^m (Y_{ij} \times w_j). \quad (8)$$

式中: A 为土地生态安全综合指数; w_j 为第 j 项指标的权重; Y_{ij} 为第 i 年的第 j 项指标的标准化值; m 为指标个数。

2.4 生态安全评价标准的划分

土地生态安全评价标准划分是生态安全评价的重要环节, 然而国内对于生态安全评价标准的研究尚不成熟, 还处于探索阶段, 无明确、统一的划分标准。本文参考相关学者的研究成果^[20-24], 对固原市土地生态安全等级按照生态安全评价标准进行了划分(表 2)。

表 2 土地生态安全评价标准与安全等级

等级	不安全	较不安全	临界安全	较安全	安全
生态安全指数	(0,0.4)	(0.4,0.6)	(0.6,0.7)	(0.7,0.9)	(0.9,1.0)

表 3 2006—2015 年固原市土地生态安全指数

年份	压力指数	状态指数	响应指数	综合生态安全指数	安全等级
2006	0.149 235	0.121 870	0.138 874	0.438 832	较不安全
2007	0.152 373	0.100 985	0.129 896	0.400 710	较不安全
2008	0.159 165	0.077 864	0.116 841	0.353 871	不安全
2009	0.169 829	0.058 767	0.108 476	0.317 244	不安全
2010	0.178 089	0.046 320	0.106 104	0.304 030	不安全
2011	0.153 160	0.174 654	0.184 870	0.512 684	较不安全
2012	0.138 089	0.208 588	0.220 949	0.567 625	较不安全
2013	0.130 713	0.230 787	0.230 949	0.592 449	较不安全
2014	0.112 288	0.264 273	0.240 293	0.616 853	临界安全
2015	0.100 120	0.276 718	0.273 094	0.649 931	临界安全

2.5 地理探测器机理

地理事物空间分布的差异性, 受经济社会或自然要素影响较深, 探明其机理是地理学研究的重要内容, “地理探测器”研究方法首次应用于地方性疾病形成原因的探测^[25]。其模型为

$$P_{D,U} = 1 - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m n_{D,i} \sigma_{U_{D,i}}^2 / n \sigma_U^2 \quad (9)$$

式中: $P_{D,U}$ 为生态安全影响因素探测力指标; $n_{D,i}$ 为生态安全因子 D 的子区域 i 内的样本数; U 为生态安全综合指数; n 为整个区域样本数; m 为次级区域个数; σ_U^2 为整个区域土地生态安全的离散方差; $\sigma_{U_{D,i}}^2$ 为子区域 i 内的离散方差。当 D 对疾病具有决定力, 则每个子区域的离散方差 $\sigma_{U_{D,i}}^2$ 会很小, 而子区域之间的方差很大。假设 $\sigma_{U_{D,i}}^2 \neq 0$, 模型成立, $P_{D,U}$ 的取值区间为 $[0, 1]$, $P_{D,U}=0$ 时, 表明生态安全指数分布呈随机分布, $P_{D,U}$ 值越大, 说明分区因素对固原市土地生态安全分异的影响越大。

2.6 土地生态安全动态预测

灰色建模理论的灰色预测法是地理学中重要和较为常用的预测方法^[26]。按照预测问题的特征分类, 可分为数列预测、季节灾变预测、拓扑预测、灾变预测以及系统综合预测 5 种基本类型。本文以 2006—2015 年固原市土地生态安全综合指数作为基础数据源, 采用灰色系统预测的数列预测法对其未来 10 年土地生态安全发展趋势进行预测。在 Matlab 2012 软件中运用 GM(1, 1) 模型程序可以得到土地生态安全值的时间动态模型如下:

$$x(k+1) = 24.402 5 \exp(0.012 4k) - 24.018 2. \quad (10)$$

式中: x 为土地生态安全综合值; k 为预测时间点。

为使预测结果更为准确, 对模型预测精度进行检验。检验结果发现, 原始数列的还原值与实际值之

间的残差值的方差 $C=0.3852$, 最小误差概率 $P=0.8600$ 。在灰色预测模型精度检验等级标准中, $P>0.8, C<0.5$ 即为合格, 因此该预测模型通过检验, 预测结果合理。运用 GM(1,1) 预测 2016—2025 年固原市土地生态安全态势见图 1。

3 结果与分析

3.1 土地生态安全评价结果及总体特征

根据土地生态安全评价模型计算得到 2006—2015 年固原市土地生态安全评价综合指数。由表 2 和表 3 可知, 2006—2015 年固原市土地生态安全综合指数处于 0.3~0.7, 固原市土地生态安全综合指数由 2006 年 0.438 832 上升至 2015 年的 0.649 931, 土地生态安全等级由较不安全上升到临界安全, 土地生态安全得到提升和改善。其中, 2006—2010 年土地生态安全指数呈现下降的态势, 由 2006 年的 0.438 832 下降到 2009 年的 0.304 030; 2010—2015 年固原市土地综合生态安全指数不断上升, 由 2010 年的 0.304 030 上升到 2015 年的 0.649 931。但从压力指数、状态指数以及响应指数来看, 研究期间固原市的状态指数和响应指数整体呈现出增大趋势, 而压力指数整体呈现出减少趋势。固原市自生态移民工程实施以来, 减轻了固原市的土地生态压力, 改善了山区贫困面貌, 促进了其土地生态安全指数和等级的上升。

3.2 土地生态压力系统评价分析

由表 3 可以看出, 固原市土地生态安全压力指数在研究期间整体上处于不断下降的趋势, 中间略有波动。从 2006 年的 0.149 235 下降至 2015 年的 0.100 120。其中, 2006—2010 年处于波动微增状态, 主要原因是人口密度和自然增长率增加 (分别从 106 人/km² 增加到 147 人/km²), 及化肥使用量和“三废”(废气、废水、废渣) 排放量增加所导致的。2010 年土地生态压力指数开始下降, 说明固原市土地资源面临的压力不断降低。虽然化肥使用量和三废排放量都在增加, 但土地生态压力指数下降的根本原因是人口密度的下降, 由 2009 年的 147 人/km² 下降至 2015 年的 90 人/km²。特别是“十二五”生态移民开始后, 固原市的大量贫困户进行易地搬迁, 大多数搬迁至红寺堡安置区, 人口的大量迁移减轻了当地土地资源承载的压力。

3.3 土地生态状态系统评价分析

由表 3 可以看出, 2006—2015 年固原市土地生态状态指数由 0.121 870 增加至 0.276 718, 整体呈现“V”型波浪式增长态势, 表明固原市土地生态安

全状态发生好转。其中, 2006—2010 年响应指数由 0.121 870 下降至 0.046 320, 2010—2015 年由 0.106 104 增至 0.276 718。主要原因是生态环境保护力度的不断加大, 植树造林、退耕还林等政策措施的实施, 使得森林覆盖率增加, 有效地增加了土地的水土保持能力、自我恢复能力, 防止土地退化面积和程度增大。同时, 固原市的固定投资比率不断增大, 由 2006 年的 177 811 万元增加到 2015 年的 3 079 617 万元; 其中用于水利、环保和公共设施投资总额占固定投资总额的比率由 2006 年的 8.1% 升至 2015 年的 13.3%; 为生态建设、环境保护、节能减排以及污染物处理等工作提供了经费支持, 对土地生态系统安全水平的改善和提升起到了促进作用。

3.4 土地生态响应系统评价分析

由表 3 可以看出, 固原市的土地生态安全响应指数整体上呈现先降低后增长的“V”型变化趋势。2006—2010 年响应指数由 0.138 874 下降至 0.106 104, 主要是由固原市固体废物综合利用率、废气治理设施套数, 水利、环保和公共设施投资比率指标数据的变化引起的。2010—2015 年响应指数由 0.106 104 增至 0.273 094, 主要是因为城市生活污水处理率由 21.38% 增加至 73.1%, 每万人在校学生数却由 2006 年的 2 138 人增加至 2010 年的 2 510 人而后减少至 2015 年的 1 976 人, 尤其是“十二五”以来, 人口大量的迁出以及各项扶贫攻坚政策的开展, 各级政府注重生态保护和改善民生, 极大地保护和改善了固原市土地生态状况。

3.5 土地生态地理探测分析

区域土地生态安全受各种因素的综合影响, 本文选取了能够反映土地生态安全的社会、经济、生态等方面的 23 项指标, 对影响土地生态安全的主导因素进行探测研究。首先利用 ArcGIS 软件对土地生态安全体系各指标原始数据进行分级分区, 根据地理探测器模型, 将表 1 指标层中 23 项指标分别与土地生态安全指数进行空间探测分析, 计算得到各因素对土地生态安全指数的影响力(表 4)。P 值越大, 表明该因素对区域土地生态安全影响越大, 本文将 P 值大于 0.9 的指标因素看作为影响土地生态安全的主导因素。由表 4 可以看出, 人口密度, 化肥使用量, 工业固体废物产生量, 废水排放量, 综合能量消耗量, 环境空气质量达标率, 水利、环保和公共设施投资占固定投资的比率 7 项指标因子为固原市土地生态安全的主导因子。

3.6 基于 GM(1,1) 模型土地生态安全预测分析

利用 GM(1,1) 模型对固原市未来 9 a 的土地生

表 4 土地生态安全评价的因子影响力

指标	P 值	指标	P 值
C ₁	0.902 630	C ₁₃	0.569 266
C ₂	0.824 211	C ₁₄	0.894 478
C ₃	0.343 434	C ₁₅	0.590 604
C ₄	0.938 295	C ₁₆	0.120 074
C ₅	0.949 776	C ₁₇	0.939 873
C ₆	0.826 394	C ₁₈	0.211 561
C ₇	0.969 551	C ₁₉	0.833 860
C ₈	0.700 359	C ₂₀	0.764 082
C ₉	0.874 819	C ₂₁	0.860 438
C ₁₀	0.160 352	C ₂₂	0.912 510
C ₁₁	0.937 758	C ₂₃	0.630 559
C ₁₂	0.843 291		

态安全状况进行预测,结果显示,2016—2025 年固原市土地生态安全呈现上升的趋势(图 1),其土地生态安全等级由临界安全向较安全以及安全状态发展。土地生态安全的不断提升和改善有利于农业生产,将促进社会经济实力的不断增强。

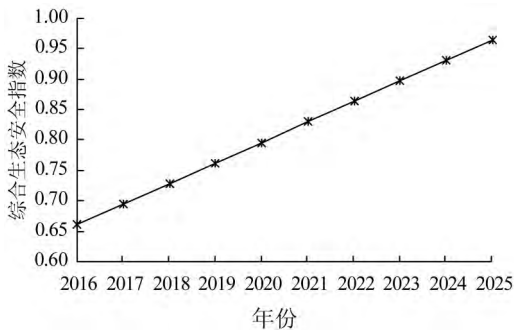


图 1 2016—2025 年固原市土地生态安全变化趋势

4 结论与讨论

本文通过构建基于 P-S-R 模型的固原市土地生态安全评价体系,对 2006—2015 年固原市的土地生态安全进行评价。结果显示,固原市土地生态安全综合指数在研究期间整体呈现出增长的态势,2006—2015 年,综合指数由 0.438 832 增加到 0.649 931,研究期间固原市土地生态安全总体呈逐渐好转状态。

通过研究发现,在研究期间,固原市整体土地生态安全等级处于不安全、较不安全和临界安全之间,2006—2007 年和 2011—2013 年安全等级为较不安全级别;2008—2010 年安全等级为不安全级别;2014—2015 年安全等级为临界安全。2010 年前后各项指数均发生了较大的改变,主要原因是生态移民所致。生态移民是一项兼顾了扶贫和生态保护、建设的工程,它是指把位于生态脆弱区或重要生态功能区、生态环境严重破坏地区,以及自然环境条件恶劣

且已丧失基本生存条件地区的贫困人口向其他地区迁移的过程。因此,生态移民减轻了固原市的土地生态压力,改善了固原市生态环境,提高了生态安全水平。

依据 2006—2015 年生态安全综合指数对 2016—2025 年的土地生态安全进行预测。结果显示,研究期间固原市土地生态安全水平整体呈现上升趋势,2016—2025 年其土地生态安全水平不断上升。利用地理探测器对固原市土地生态安全影响因子进行探测发现,固原市的土地生态安全水平主要受人口密度,化肥使用量,工业固体废物产生量,废水排放量,综合能量消耗量,环境空气质量达标率,水利、环保和公共设施投资占固定投资的比率等要素的影响。因此,为了实现可持续发展和资源的持续利用,保证生态环境的健康良性发展,固原市必须采取相应的政策和措施。

参考文献:

- [1] 陆威,赵源,冯薪霖,等.土地资源生态安全研究综述[J].中国农学通报,2016,32(32):88-93.
- [2] 李昊,李世平,银敏华.中国土地生态安全研究进展与展望[J].干旱区资源与环境,2016,30(9):50-56.
- [3] 裴婷婷,陈英,赵亚南,等.基于 P-S-R 模型的白银市土地生态安全评价[J].中国农学通报,2014,30(2):215-221.
- [4] 林栋,马晖玲,刘小妮.基于 P-S-R 模型的兰州市都市农业生态安全动态评价[J].中国农学通报,2015,31(20):119-125.
- [5] 王磊,郭灿,李慧明.基于 PSR-TOPSIS 模型的宁夏回族自治区土地生态安全评价[J].水土保持研究,2016,23(6):154-159.
- [6] 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.
- [7] 王鹏,况福民,邓育武,等.基于主成分分析的衡阳市土地生态安全评价[J].经济地理,2015,35(1):168-172.
- [8] 常婷婷,姜世中,彭文甫.基于熵权物元模型的四川省土地生态安全评价[J].中国农学通报,2015,31(26):122-127.
- [9] 马志昂,盖艾鸿,程久苗.基于 BP 人工神经网络的区域土地生态安全评价研究——以安徽省为例[J].中国农学通报,2014,30(23):289-295.
- [10] 李璇琼,何政伟,陈晓杰,等.RS 和 GIS 支持下的县域生态安全评价[J].测绘科学,2013,38(1):68-71.
- [11] 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.
- [12] 谢雪峰,吴涛,肖翠,等.基于 P-S-R 模型的东阳江流域生态安全评价[J].资源科学,2014,36(8):1702-1711.
- [13] 蒋依依,张敏.基于 P-S-R 模型旅游地生态持续性空间差异评价——以云南省玉龙纳西族自治县为例[J].资源科学,2013,35(2):332-340.

- [14] 李茜,任志远.区域土地生态安全评价——以宁夏回族自治区为例[J].干旱区资源与环境,2007,21(5):75-79.
- [15] 固原市统计局,国家统计局固原调查队.2015固原市情数据手册[M].固原:固原博奥彩色印刷有限公司,2016.
- [16] 张松男,雷国平,李秀霞,等.基于P-S-R模型的城市生态安全模糊物元评价——以吉林省四平市为例[J].水土保持研究,2013,20(2):170-175.
- [17] 杨伶,张大红,王金龙,等.中国县域森林生态安全评价研究——以5省15县为例[J].生态经济,2015,31(12):120-124.
- [18] 祝培甜,赵中秋,陈勇,等.基于三角模型的土地生态安全动态评价——以西安市为例[J].水土保持研究,2016,23(1):244-248.
- [19] 张永利,吴宜进,王小林,等.内蒙古贫困地区生态安全评价及空间格局分析[J].地球信息科学学报,2016,18(3):325-333.
- [20] 张宇,游和远.基于P-S-R的土地资源生态环境安全评价——以湖北省为例[J].生态经济,2015,31(8):125-128.
- [21] 王雪,杨庆媛,何春燕,等.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[J].水土保持研究,2014,21(3):169-175.
- [22] 黄木易,何翔.基于云模型与熵权法的安徽省土地生态安全评价研究[J].土壤,2016,48(5):1049-1054.
- [23] 王磊,郭灿,李慧明.基于PSR-TOPSIS模型的宁夏回族自治区土地生态安全评价[J].水土保持研究,2016,23(6):154-159.
- [24] 朱培甜,赵中秋,陈勇,等.基于三角模型的土地生态安全动态评价——以西安市为例[J].长江流域资源与环境,2016,23(1):244-248.
- [25] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [26] 严超,张安明,吴仕海.基于GM(1,1)模型的土地生态安全动态分析与预测[J].西南大学学报(自然科学版),2015,37(2):103-109.

Evaluation and prediction of land ecological security based on P-R-S model —A case of Guyuan, Ningxia

CHEN Xiao, WANG Peng

(College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: Land ecological security has a direct impact on the level of regional sustainable development, and its assessment has become one of the main core of ecological risk research. In this paper, the entropy weight method, P-R-S model, geography detector and GM (1,1) prediction model are used to evaluate the land ecological security of Guyuan city. The results show that the land ecological security index of Guyuan city has a tendency of decrease firstly and then increase during the study period. From 2006 to 2010, the land ecological security index was decreased 0.134 8. From 2010 to 2015, the land ecological security index was increased 0.345 9, and the safety level ascends from less safe to critical level, which means that the land ecological security situation continues to improve. Finally, the factors affecting the ecological security of land are detected by geographical detectors including the ratio of population density, fertilizer use, industrial solid waste generation, waste water discharge, comprehensive energy consumption, ambient air quality compliance rate, water conservancy, environmental protection and public facilities investment to fixed investment. The Q value is greater than 0.9, which is the key factor affecting the ecological security of land in Guyuan city. The GM (1,1) prediction model is used to predict the level of land ecological security development in Guyuan city in the next 10 years. The results show that the level of land ecological security in the region is increasing from 2016 to 2025. Since the implementation of the eco-immigration project in Guyuan city, the soil ecological pressure has been greatly reduced, and the poverty situation in mountainous areas has been improved with the promotion of its land ecological security index.

Key words: evaluation of land security; P-S-R model; Geographic detection; GM (1,1) model; Guyuan city

(责任编辑、校对 韩小珍)