

# 基于GIS的宁夏中部干旱带土地利用 生态安全动态评价

程淑杰<sup>1</sup>, 王重玲<sup>1</sup>, 王婷<sup>1</sup>, 朱志玲<sup>2</sup>

(1. 银川能源学院 土木建筑学院, 银川 750105; 2. 宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021)

**摘要:**土地利用生态安全评价是区域可持续发展关注的重要内容之一。以宁夏中部干旱带为例, 针对研究区实际生态问题, 基于RS和GIS技术, 构建“隐患—状态—免疫”生态安全评价指标体系, 采用熵权法与综合指数模型, 实现了30 m×30 m栅格水平可视化的土地利用生态安全综合评价。结果表明: 2004—2014年, 研究区土地利用变化和区域政策的实施结果一致。草地、林地面积急剧扩大, 旱地和未利用地面积持续下降, 建设用地和水域面积变化不大, 水浇地面积呈缓慢增加趋势。结合已有研究成果与研究区实际, 采用聚类法, 将研究区土地利用安全分为5个等级: 生态安全区(I)、生态较安全区(II)、生态临界安全区(III)、生态不安全区(IV)和生态极不安全区(V)。研究区土地利用生态安全指数从2004年的-0.12上升为2014年的0.03, 整体状态呈变好趋势, 但ESI指数仍小于0.1, 处于临界安全状态。具体表现为: I级乡镇从4个增加为5个、II级区从10个增至11个、III级乡镇从13个减少为12个、IV级乡镇从5个减少为4个、V级乡镇从8个减少为7个, 针对评价结果分析其动态演变机制。通过对宁夏中部干旱带土地利用生态安全动态评价, 以期为宁夏境内生态移民区选址和生态环境保护提供数据支撑。

**关键词:** 土地利用; 生态安全; 宁夏中部干旱带; GIS

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)04-0342-07

## Land Use Change and Ecological Security Assessment of the Central Arid Zone in Ningxia Based on GIS

CHENG Shujie<sup>1,2</sup>, WANG Zhongling<sup>1</sup>, WANG Ting<sup>1</sup>, ZHU Zhiling<sup>2</sup>

(1. Civil Engineering and Architecture, Yinchuan Energy Institute, Yinchuan 750105, China;

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

**Abstract:** The assessment of land use is one aspect of the studies on sustainable development. In order to testify these views, a case study was conducted in the central arid zone in Ningxia. The existing ecological problems and major ecological processes were analyzed, as well as land use/cover change and its effect on soil erosion, ecological water requirement and biodiversity were explored by using RS and GIS techniques combining with field investigation in this study. We analyzed land use change in the central arid zone in Ningxia from 2004 to 2014, and then established an evaluation index system on the basis of Hazard-State-Immune model. Entropy methods were used for determining index weights, for evaluating ecological security on 30 m×30 m grid scale in the period from 2004 to 2014. The results of the study were as follows. The change of land use followed the regional policy, the areas of grassland, woodland expanded largely, the areas of farmland and unused land kept decreasing, construction land and water area were almost same, irrigated land increased slowly. Combined with the existing research results and practical situation, based on cluster analysis methods, ecological security assessment grade in the research area can be divided into five levels: the area of very security(I), relative security area(II), critical security area(III), relative insecurity area(IV), very insecurity area(V). From 2004 to 2014, the land ecological composite index showed the increasing trend, but the ESI index was still less than 0.1 and showed critical security state. The area of very security towns increased from four to five, relative security villages increased from ten to eleven, critical security towns decreased

from thirteen to twelve, relative insecurity town decreased from five to four, very insecurity towns decreased from eight to seven with respect to the evaluation results to analyze its dynamic evolution mechanism. The study results may provide the data support and basis for choosing the ecological immigration sites and ecological environment protection in Ningxia.

**Keywords:** land use; ecological security; the central arid zone in Ningxia; GIS

生态安全是21世纪人类社会可持续发展面临的一个新主题<sup>[1]</sup>。在面临全球性生态问题的大背景下,区域生态系统、环境生态效益遭到严重破坏,使区域生态安全状况发生巨大变化。土地是人类社会存在和发展的保障,人类活动导致的土地覆被变化必然对区域土地利用生态安全起着决定性作用<sup>[1-2]</sup>。因而,区域土地利用生态安全状况成为各领域学者研究的焦点。

土地利用生态安全是指在一定时空范围内,土地生态系统能够持续、稳定的提供人类社会经济可持续发展所需的自然资源而其自身生态系统能够保持完整的结构和健康的功能的状态<sup>[3]</sup>。随着人地矛盾的日益尖锐,土地资源生态效益受到人们越来越多的关注,基于土地利用生态安全变化的动态评价及空间格局研究成为一种趋势<sup>[4]</sup>。此外,土地利用生态安全评价对于避免因规划造成的环境影响和维护区域生态安全有着重要意义<sup>[5]</sup>。国外研究侧重从土地优化配置角度关注生态安全问题,如土地利用结构<sup>[6]</sup>、土地类型<sup>[7]</sup>和土地政策的优化配置<sup>[8]</sup>。从不同角度探讨生态安全问题的研究有基因工程、生态入侵、食品安全和生态系统健康等方面<sup>[9-12]</sup>。国内研究主要涉及研究手段、计算方法、构建指标体系、评价模型和生态安全等级划分等内容。对生态安全评价的研究方法也不断创新,主要有:灰色综合评估法、系统聚类法、生态足迹法、最小累计阻力法、主成分分析法、GIS空间叠置分析、模糊数学法、系统动力法和神经网络法等。关于评价指标体系构建的方法主要有P-S-R(“压力—状态—响应”)模型<sup>[13]</sup>、D-S-R(“驱动力—状态—响应”)模型,DPSEEA(“驱动力—压力—状态—暴露—影响—响应”)模型<sup>[14]</sup>,在此基础上改进的有DPSIR(“驱动力—压力—状态—影响—响应”)模型<sup>[15]</sup>、H-S-I(“隐患—状态—免疫”)模型等。研究尺度主要集中于国家、市域、县域和乡镇层面。

本研究在梳理相关国内外研究的基础上,借助RS/GIS技术、选取北方农牧交错带的典型区域——宁夏中部干旱带为研究区,结合非遥感数据,分析了2004—2014年的土地利用动态变化。在此基础上,借鉴“隐患—状态—免疫”的评价指标体系,利用熵权法和综合指数法进行评价,并依据分级标准,得到生态安全水平状况,从而实现了30 m×30 m栅格水平的土地利用安

全综合评价,提出促进区域土地利用生态安全的对策建议。以期揭示研究区生态安全状态的时间演变规律和空间分异特征,探索土地利用变化过程中的生态安全状态,为合理制定区域土地利用规划和指导区域生态建设,实现该区域土地资源可持续利用提供依据。

## 1 研究区概况

宁夏中部干旱带地处黄土高原、鄂尔多斯台地、腾格里沙漠及毛乌素沙地等地貌区的过渡地带,是宁夏回族自治区典型的生态脆弱区,地理坐标介于104°17′—107°39′E,36°54′—38°23′N。属温带大陆性干旱半干旱气候,年降水量为125~226 mm,蒸发强烈,干燥度3~4;日照充足(3 000 h/a);风大(24~44 d/a)沙多;年均温10.4℃。北部与沿黄灌区相连,南靠宁南黄土丘陵山区,西接卫宁平原和腾格里沙漠,东邻鄂尔多斯台地及毛乌素沙地,属典型的景观过渡地带。

研究区主要包括盐池县、同心县、海原县和红寺堡开发区,占宁夏自治区国土总面积的35.6%。红寺堡区包含红寺堡镇、太阳山镇、大河乡、南川乡4个乡镇;盐池县包含花马池镇、大水坑镇、高沙窝镇、冯记沟乡、青山乡、惠安堡镇、麻黄山乡、王乐井乡等8个乡镇;同心县包含豫海镇、下马关镇、丁塘镇、马高庄乡、河西镇、张家塬乡、韦州镇、王团镇、田老庄乡、兴隆乡、预旺镇等11个乡镇;海原县包括海城镇、关庄乡、红羊乡、曹洼乡、郑旗乡、七营镇、甘城乡、三河镇、九彩乡、李俊乡、西安镇、关桥乡、高崖乡、树台乡、贾塘乡和李旺镇共17个乡镇,168个行政村,总面积约20 141 km<sup>2</sup>。2014年总人口为115.28万人,占自治区总人口的17.27%,区域GDP占全区生产总值的6.15%。属全国18个集中连片特殊困难地区之一,生态环境承载力低。

近年来,随着生态恢复重建工程和生态移民工程的实施,局部区域生态环境趋于好转,但由于地理环境和气候因素的制约,整体生态环境仍较脆弱。目前主要的生态问题表现为土壤盐渍化、土地沙漠化和水土流失以及由此引发的一系列环境问题。区域生态安全已经制约研究区经济、环境和人口的可持续发展,探讨区域土地生态安全动态变化特征以及改善生态环境问题,建立可持续土地利用模式已迫在眉睫。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据来源

本研就采用数据主要分为三大部分:遥感数据、地图数据和社会统计数据。主要为2004—2014年Landsat-TM数字遥感影像图、区域30 m精度的DEM数字高程图、植被NDVI指数数据;矢量化地图数据主要有土壤类型图、土壤质地图、电子地形图、土地利用类型图等;统计类数据主要有气象、水文站点观测资料、经济社会统计年鉴。此外,还有来源于宁夏中部干旱带实地调研数据和野外GPS数据。由于数据统计口径不同,因此采用以乡镇为背景,将所得的数据经过配准、重采样等处理为30 m×30 m的栅格单元。

### 2.2 土地利用/土地覆盖变化分类

在对比各种遥感解译方法优劣的基础上,文章采用监督分类、室内目视解译和室外调查相结合的方法确定研究区土地利用类型。鉴于研究区发挥的生态保育功能和实际土地利用现状,综合国家土地利用类型划分标准,将宁夏中部干旱带土地利用划分为9类:耕地、林地、高草、中草、低草、建设用地、水域、水田和未利用地。由于研究区范围较大,整体解译困难,因此分县进行解译,最后在GIS软件中合并图像,最终得到研究区2004年和2014年土地利用分类图,经过野外采样验证,分类精度均在85%以上,符合本研究的应用要求。

### 2.3 生态安全评价方法

**2.3.1 空间评价单元的选取** 由于GIS技术具有研究对象实现空间可视化表达、使评价结果能更好地指导实践等优点。文章以研究区42个乡镇为背景,通过对遥感影像的解译、对各类地图矢量化、对社会统计类数据进行Kriging空间插值等运算,采取30 m×30 m的栅格单元作为基本评价单元,在较细粒度上反映研究区土地利用生态安全状态空间差异。

**2.3.2 指标体系构建与权重确定** 文章在借鉴前人相关研究和充分考虑影响研究区土地利用生态安全的各方面因素的基础上,依据科学性、客观性、各指标相对独立和具有可操作性等原则,结合研究区社会、经济和生态环境等实际情况,构建“隐患—状态—免疫”的生态安全指标层次结构模型,共分为目标层、准则层、因素层和指标层4层。借助RS和GIS技术手段,选择能反映研究区土地利用面临的土地沙化、水土侵蚀、水土流失等生态问题的指标,构建宁夏中部干旱带土地利用生态安全评价指标体系(表1)。为了避免主观因素对各指标相对重要程度的影响,文章

采用客观的熵值法对土地生态安全指标进行赋权。

**2.3.3 指标阈值与标准化** 在生态安全评价中,指标的综合评价必须在统一的量纲和标准下进行。指标阈值的选取一般参考环境背景基准值;国际公认值、国家、行业和地方规定的标准;其他来源的指标缺乏不同区域可以对比分析数据的有效方法,则采用极差标准化法标准化和专家分级标准化。具体为:当评价指标为正指标时,

$$P_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

当评价指标为逆指标时,

$$P_i = (X_{\max} - X_i) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

式中: $X_i$ 为某项评价指标的实际值; $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 为时间序列内该项指标的最大值与最小值; $P$ 为标准化后该指标的评价值。评价指标经标准化后,其值介于0~1。其中,0表示时间序列内某一年的某一项指标和其他年份的同一指标相比更差的状态;1表示时间序列内某一年的某一指标和其他年份的同一指标相比处于更佳的状态。

**2.3.4 生态安全综合评价模型** 借鉴已有研究成果,拟采用生态安全指数模型对宁夏中部干旱带各乡镇土地利用生态安全进行量化计算。

$$ESI = \sum_{i=1}^n A_i \times W_i \quad (3)$$

式中:ESI为研究区各乡镇生态安全指数; $A_i$ 为各生态安全评价指标的标准化处理数据; $W_i$ 为熵权法得到的安全评价指标 $i$ 权重, $n$ 为指标总项数。将数据带入模型,在GIS软件中进行空间叠加运算,得到研究区两期土地生态安全指数(ESI)大小。

土地利用安全指数用来度量土地生态系统的安全程度和可持续发展状态,区域土地利用生态安全等级划分及评价标准是否科学直接影响评价结果的正确性,因而仅凭ESI值不能对土地生态安全状态进行直观判断。文章在借鉴现有研究成果的基础上<sup>[16-18]</sup>,结合实际情况,采用组间平均连接方法和Euclidean距离度量标准对生态安全评价结果进行聚类分析。按照聚类分析树状图,将研究区土地利用生态安全分5个等级:生态安全区、比较安全区、一般安全区、临界安全区和不安全区(表2),并对安全系统进行特征描述。生态安全指数分值越高,该地区土地利用生态安全状态越好。根据计算结果,以乡镇为基本单位,探讨研究区2个时相42个乡(镇)土地利用生态安全空间分布格局。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用变化分析

表3给出了宁夏中部干旱带2004—2014年土地利

用空间格局。从各类土地利用类型所占比例来看,研究区土地利用程度总体较低,以旱地和草地为主。草地从 2004 年的 48.99%增至 2014 年的 70.04%;研究区灌溉程度不高,水浇地面积比例从基准年的 5.5%增长为 2014 年的 8.2%;旱地面积比重较大,研究期减少幅度较大,由 5 251.46 km<sup>2</sup> 变为 2 047.45 km<sup>2</sup>;其余依次是未

利用地、水浇地、林地和建设用地和水域,面积均较小,分别由 113.28 km<sup>2</sup>,1 006.36 km<sup>2</sup>,578.20 km<sup>2</sup> 增长至 130.71 km<sup>2</sup>,1 481.92 km<sup>2</sup>,1 195.84 km<sup>2</sup>,主要由旱地和未利用地转化而来。十年间,中、高覆盖度草比例增大,低覆盖度草比例降低,表明草地质量不断转好,卓有成效的退耕还林(草)是其主要驱动力。

表 1 宁夏中部干旱带生态安全评价指标体系

目标层	准则层	因素层	指标层(D)	指标来源	权重	趋向
土地 利用 生态 安全 综合 指数 (U)	土地生态 系统隐患 (U <sub>1</sub> )	人口自然增长率(U <sub>111</sub> )	统计数据	0.0713	—	
			人口密度(人/km <sup>2</sup> )(U <sub>112</sub> )	统计数据	0.0411	—
		资源环境(U <sub>12</sub> )	人均耕地面积(hm <sup>2</sup> /人)(U <sub>121</sub> )	遥感数据	0.0418	+
			单位面积化肥负荷(kg/hm <sup>2</sup> )(U <sub>122</sub> )	统计数据	0.0347	—
		经济(U <sub>13</sub> )	城市化率(%) (U <sub>131</sub> )	统计数据	0.0562	+
			人均 GDP(元/人)(U <sub>132</sub> )	统计数据	0.0362	+
	土地生态 系统状态 (U <sub>2</sub> )	地形(U <sub>21</sub> )	海拔(U <sub>211</sub> )	DEM	0.0177	—
			坡度(U <sub>212</sub> )	DEM	0.0215	—
		气候(U <sub>22</sub> )	年降水量(mm)(U <sub>221</sub> )	监测数据	0.0319	+
			≥10℃ 积温(U <sub>222</sub> )	检测数据	0.0119	+
		水文(U <sub>23</sub> )	水网密度(U <sub>231</sub> )	DEM	0.0472	+
			水质指数(U <sub>232</sub> )	监测数据	0.0276	+
		土壤(U <sub>24</sub> )	土壤有机质含量(U <sub>241</sub> )	专题数据	0.0324	+
			土壤质地(U <sub>242</sub> )	专题数据	0.013	+
			土壤侵蚀模数(U <sub>251</sub> )	遥感调查	0.0254	—
		土地利用(U <sub>25</sub> )	区域开发指数(U <sub>252</sub> )	遥感数据	0.0358	+
			垦殖系数(U <sub>253</sub> )	遥感数据	0.0445	—
			水土流失面积比重(%) (U <sub>261</sub> )	遥感数据	0.0322	—
		土地质量(U <sub>26</sub> )	荒漠化面积比重(%) (U <sub>262</sub> )	遥感数据	0.0323	—
			林草覆盖率(%) (U <sub>263</sub> )	遥感数据	0.0467	+
	土地生态 系统免疫 (U <sub>3</sub> )	社会经济(U <sub>31</sub> )	环保投资占 GDP 比重(%) (U <sub>311</sub> )	统计数据	0.0346	+
			三废治理率(%) (U <sub>312</sub> )	统计数据	0.0412	+
			第三产业比重(%) (U <sub>313</sub> )	统计数据	0.0486	+
		系统恢复(U <sub>32</sub> )	生态环境系统弹性度(U <sub>321</sub> )	遥感数据	0.0781	+
			人类干扰强度(U <sub>322</sub> )	遥感数据	0.0961	—

表 2 宁夏中部干旱带土地利用生态安全分级及系统标准

生态安全指数(ESI)	等级	表征状态	特征描述
>0.3	I	生态安全	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、功能较强、土地肥力高,农业污染较少,植被覆盖率较高,土地生态问题不显著
0.1~0.3	II	生态较安全	土地生态环境受到干扰,土地生态系统较完整,功能尚好,土壤肥力较高,农业污染程度低,土地利用程度较高,土地生态问题不显著
0~0.1	III	生态临界安全	土地生态环境受到较少破坏,土地生态系统有恶化趋势,但尚能维持基本功能,受到干扰后易恶化,沙化、水土流失、盐碱化等土地生态问题显现
-0.2~0	IV	生态不安全	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,受到外界干扰后恢复困难,沙化、水土流失、盐碱化等土地生态问题较大
≤-0.2	V	生态极不安全	土地生态环境受到很大破坏,土地生态系统结构残缺不全,功能低下,生态恢复与重建较困难,生态灾害严重,表现为有大量生态移民迁出

研究区的土地利用空间分异明显,水浇地比例较小,主要分布在河流两侧,其中以红寺堡灌区、固海灌

区面积为主,清水河沿岸以及石峡口水库区域周围少量分布;建设用地集中分布在红寺堡镇、豫海镇、七营

镇和花马池镇,其他乡镇呈点状分散分布,建设用地面积增加很少,是生态移民、自然村合并等政策使土地利用集集约所致;海原县和同心县是研究区最主要的旱地分布区,此外,其他各乡镇均有广泛分布,随着生态建设工程的实施,总面积呈减少趋势;未利用

地比例由 12.74%减少至 3.22%,减少了 1 741.19 km<sup>2</sup>,减少面积主要转化为中、低覆盖度草;荒漠裸露地主要分布在红寺堡区北部、盐池县西北部以及同心县西南部;由于研究区的生态保育功能,至观测年,林草地所占面积比例达 76.58%,并呈增长趋势。

表 3 宁夏中部干旱带土地利用类型面积

项目	水域	建设用地	水浇地	旱地	高覆盖度草	中覆盖度草	低覆盖度草	未利用地	林地
2004 年	面积/km <sup>2</sup>	113.28	50.29	1006.36	5251.46	2217.65	3596.51	3145.06	2330.09
	比例/%	0.62	0.27	5.50	28.71	12.13	19.66	17.20	12.74
2014 年	面积/km <sup>2</sup>	130.71	53.04	1481.92	2047.45	3111.62	4920.51	4758.89	588.90
	比例/%	0.71	0.29	8.10	11.20	17.01	26.91	26.02	3.22

3.2 土地安全综合评价

具体来看,2004 年位于生态安全等级的乡镇有 4 个,分别是红寺堡镇、大河乡、七营镇和张家塬乡,2014 年生态安全为Ⅰ级的乡镇有 5 个,分别为红寺堡镇、大河乡、七营镇、河西镇和麻黄山乡。由于张家塬乡交通可达性较差,社会经济免疫指数变化不大,使其安全级别从Ⅰ级降为Ⅳ级;河西镇紧邻同心县预海镇,近年来经济免疫指数增加较快,人均耕地占有量较大,人口自然增长率隐患指数较低,使河西镇从生态较安全区上升为生态安全区;由于近年来开发煤矿业和天然气,经济增长较快,故麻黄山乡生态安全级别由Ⅱ级变为Ⅰ级。

研究区生态较安全区由 2004 年的 10 个乡镇增加为 2014 年的 11 个乡镇,生态安全级别未发生变化的乡镇有花马池镇、大水坑镇、太阳山镇、南川乡、韦州镇、豫海镇、三河镇,但各乡镇的生态安全指数均有小幅度增加,总体安全状态有所提升。丁塘镇、高崖乡两个乡镇从Ⅴ级、Ⅳ级改善为Ⅱ级,此外,海城镇与李旺乡Ⅲ级升为安Ⅱ级,生态移民政策是其主要驱动力;预旺镇安全级别从Ⅱ级降为Ⅳ级的主要原因是该乡镇旱地比例较高,且为高度敏感水土流失地区。

生态临界安全状态的乡镇由 2004 年的 13 个变为 2014 年的 12 个,其中安全级别没有变化的乡镇有冯记沟乡、惠安堡镇、贾塘乡、田老庄乡、王团镇、史店乡、西安镇、关桥乡、新隆乡、下马观镇、郑旗乡和甘城乡。总体来看,这些乡镇生态安全级别变化不大,生态安全状态浮动较小,最主要是因为地形破碎,沟壑纵横,降水时空分布极不均衡。社会经济发展较落后,区域经济发展 GDP 能耗较高造成。

基准年,研究区土地状态为不安全的乡镇有 5 个,分别有:高沙窝镇、王乐井乡、青山乡、马高庄乡和高崖乡,除高崖乡以外,均分布于红寺堡区,红寺堡区是宁夏 2003 年新设立地区,区域社会经济发展起步较晚,境内大部分为荒漠和未利用地,时至 2014 年,

区域社会经济发展虽已初具规模,但因在发展过程中人类活动对生态环境干扰大且未对生态环境采取合理保护,致使生态环境系统弹性度较小,致使以上乡镇在研究期内生态安全等级未发生变化。

表 4 宁夏中部干旱带 2004 年生态安全综合评价结果

安全状态	ESI	乡镇
生态安全区 (≥0.3)	0.32	红寺堡镇
	0.33	大河乡
	0.31	七营镇
	0.32	张家塬乡
生态较安全区 (0.1~0.3)	0.22	麻黄山乡
	0.24	花马池镇
	0.17	大水坑镇
	0.19	太阳山镇
	0.21	南川乡
	0.11	韦州镇
	0.14	河西镇
	0.15	豫海镇
	0.18	预旺镇
	0.14	三河镇
生态临界区 (0~0.1)	0.06	冯记沟乡
	0.07	惠安堡镇
	0.02	下马关镇
	0.03	田老庄乡
	0.03	王团镇
	0.05	李旺乡
	0.01	贾塘乡
	0.01	史店乡
	0.03	海城镇
	0.01	西安镇
	0.04	关桥乡
	0.03	新隆乡
	0.02	郑旗乡
	0.01	甘城乡
生态不安全区 (-0.2~0)	-0.17	高沙窝镇
	-0.13	王乐井乡
	-0.15	青山乡
	-0.09	马高庄乡
	-0.16	高崖乡

续表 4

安全状态	ESI	乡镇
生态极不安全区 ( $\leq -0.2$ )	-0.42	甘盐池管委
	-0.29	树台乡
	-0.22	关庄乡
	-0.31	红羊乡
	-0.46	曹洼乡
	-0.34	九彩乡
	-0.36	李俊乡
	-0.26	丁塘镇
生态安全区 ( $\geq 0.3$ )	0.34	红寺堡镇
	0.36	大河乡
	0.31	河西镇
	0.42	麻黄山乡
	0.33	七营镇
生态较安全区 ( $0.1 \sim 0.3$ )	0.28	花马池镇
	0.29	大水坑乡
	0.24	太阳山镇
	0.19	南川乡
	0.17	韦州镇
	0.23	豫海镇
	0.14	丁塘镇
	0.15	高崖乡
	0.17	海城镇
	0.18	三河镇
生态临界区 ( $0 \sim 0.1$ )	0.12	李旺乡
	0.07	冯记沟乡
	0.09	惠安堡镇
	0.05	下马关镇
	0.04	田老庄乡
	0.06	王团镇
	0.05	关桥乡
	0.02	史店乡
	0.02	西安镇
	0.04	贾塘乡
	0.02	郑旗乡
	0.06	甘城乡
	0.02	新隆乡
生态不安全区 ( $-0.2 \sim 0$ )	-0.07	高沙窝镇
	-0.13	王乐井乡
	-0.07	青山乡
	-0.03	马高庄乡
	-0.12	预旺镇
	-0.14	张家塬乡
生态极不安全区 ( $\leq -0.2$ )	-0.24	树台乡
	-0.25	关庄乡
	-0.21	红羊乡
	-0.28	李俊乡
	-0.26	甘盐池管委
	-0.21	九彩乡
	-0.27	曹洼乡

土地利用生态安全表现为极不安全的乡镇主要从 2004 年的 8 个乡镇减少为 2014 年的 7 个乡镇。由于区域环境脆弱,加之基准年区域水土流失严重、区域居民受教育水平普遍较低且人口增长较快,退耕

还(林)草工程在该地效果不显著,使甘盐池管委、树台乡、关庄乡、红羊乡、曹洼乡、九彩乡、李俊乡等 7 个乡镇安全级别未发生变化,但由于生态移民和相关政策的帮扶,村民居住环境明显改善,人均 GDP 收入普遍提高,生态安全指数均有所提升。此外,丁塘镇安全级别从 V 级改善为 II 级。

总体来看,从 2004—2014 年,宁夏中部干旱带生态安全状态呈由西南部至东北部依次变好、从东至西依次改善的状态,各乡镇安全状态详见(表 4)。四县区县城所在镇生态安全指数均高于 0.1,主要是这些乡镇地势较平坦,水浇地所占面积比重大,环保投资占 GDP 比重较高。随着退耕还林(草)、生态建设工程的开展,水土流失、土地沙化和土壤侵蚀等土地问题均有所改善,整体处于生态较安全状态。此外,大量乡镇生态安全等级未发生变化,主要表现为区域社会经济发展落后,经济发展 GDP 能耗较高,居民收入和基础设施变化不大。此外,随着土地流转政策的进行,个别乡镇引进新工业,在发展经济的过程中,需要注重各种环境污染和废弃物的处理,否则有可能干扰后期的土地利用安全状态。

#### 4 结论与讨论

文章建立了“隐患—状态—免疫”的生态安全评价指标体系,采用相对客观的熵权法确定权重;借助 GIS 平台,以宁夏中部干旱带 42 个乡镇(镇)为例,对 2004—2014 年土地利用生态安全状态进行动态评价,使土地利用生态安全结果实现空间可视化表达,有较高的空间精度,为人们准确分析与决策区域生态化发展方向提供了参考和依据。研究结果表明:宁夏中部干旱带土地利用安全指数从 2004 年的 -0.12 上升为 2014 年的 0.03,研究期土地利用生态安全不断改善,但研究期末土地系统仍处于临界安全状态。表明,区域生态安全压力尚未得到根本性缓解,人类对土地系统的干扰程度较大,整体来看,社会经济的逐年增长,使土地系统隐患逐年减小、免疫能力逐渐增强;但土地生态系统状态改观不明显,致使土地系统安全状态波动不大。研究期内,由于人类积极采取退耕还林(草)、生态移民等政策;控制人口增长速度、提高人口素质;推进循环经济、实现污染物减量化和资源化;积极推进社会文化事业的发展并控制优化建设用地规模和布局等措施,使区域林草覆盖度不断提高,区域人居环境不断改善,从根本上增加了区域土地系统免疫能力,维护区域土地资源生态安全。对于担任重要生态保育功能的宁夏中部干旱带而言,保持稳定且可持续的土地生态安全状态对整个干旱半旱地区甚至全国具有重要的现实意义。因此,研究区在后续发展中,政府应加大生态建设工程的实施力度;

改善和优化当地农业生产条件;在保护现有的草地和林地的基础上,种植耐旱的草本;以生态保护为主,有序引导人口转移,经济建设应以点、线为主,禁止大面积的开发活动;此外,应转变人们的消费观念,培养生态伦理观念,从而实现人地关系的和谐可持续发展。

文章针对研究区土地利用实际生态安全问题,建立了较为系统的生态安全评价指标体系,各项指标指示意义明确,计算方法较科学,且具有一定的地域性特色。由于研究区土地生态系统生态问题复杂多样,文章所选取的指标均是可比性的指标。文章的生态安全指数评价模型具有一般性,因此,如何构建更加精确的评价模型是今后进一步研究需要加强的主要内容之一。此外,文章采用数据来源众多,统计口径不一,统一矢量化为 30 m×30 m 栅格评价尺度时,可能存在尺度转换上的误差,对评价结果有一定影响。

#### 参考文献:

- [1] 唐华俊,吴文斌,杨鹏. 土地利用/覆被变化(LUCC)模型研究进展[J]. 地理学报,2009,64(4):456-468.
- [2] 吕建树,吴泉源,张祖陆,等. 基于 RS 和 GIS 的济宁市土地利用变化及生态安全研究[J]. 地理科学,2012,32(8):928-934.
- [3] 曲青林,曹爱霞,刘学录. 兰州市土地利用生态安全评价[J]. 环境科学研究,2009,22(6):753-756.
- [4] 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.
- [5] 谢花林. 基于 GIS 的典型农牧交错区土地利用生态安全评价[J]. 生态学杂志,2008,27(1):135-139.
- [6] McHarg I L, Mumford L. Design with nature[M]. New York: American Museum of Natural History, 1969.
- [7] Campbell J C, Radke J. An application of linear programming and geographic information systems: Cropland allocation in Antigua [J]. Environment and Planning, 1992,24(4):535-549.
- [8] Kishindo P. Land reform and agricultural development: the case of Lesotho[J]. Journal of Rural Development, 1994,13(3):319-326.
- [9] Hughey K F D, Cullen R, Kerr G N. Application of the pressure-state-response framework to perceptions reporting of the state of the New Zealand environment [J]. Journal of Environmental Management, 2004,70(1):85-93.
- [10] Tran L T, Knight C. Fuzzy decision analysis for integrated environmental vulnerability assessment of the Mid Atlantic region [J]. Environment Manage, 2002,29(6):845-859.
- [11] Steven M B. An Ecosystem model for assessing ecological risks in Quebec rivers, lakes, and reservoirs [J]. Ecological Modeling, 1999,124(1):43-67.
- [12] Robin S V. Developing programs to monitor ecosystem health and effectiveness of management practices on lakes states national forests, USA [J]. Biological Conservation, 1997,80(3):289-302.
- [13] 曲青林,曹爱霞,刘学录. 兰州市土地利用生态安全评价[J]. 环境科学研究,2009,22(6):753-756.
- [14] 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.
- [15] 林佳,宋戈,宋思铭. 景观结构动态变化及其土地利用生态安全:以建三江垦区为例[J]. 生态学报,2011,31(20):5918-5927.
- [16] 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.
- [17] 卢金发,尤联元,陈浩,等. 内蒙古锡林浩特市生态安全评价于土地利用调整[J]. 资源科学,2004,26(2):108-114.
- [18] 陈西蕊,张蓉珍. 基于 P-S-R 模型的陕西省土地资源生态安全动态评价[J]. 南方农业学报,2011,42(2):224-228.

(上接第 341 页)

- [16] 黎建强,张洪江,程金花,等. 长江上游不同植物篱系统的土壤物理性质[J]. 应用生态学报,2011,22(2):418-424.
- [17] Six J, Bossuyt H, Degryze S, et al. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics[J]. Soil and Tillage Research, 2004,79(1):7-31.
- [18] 王会利,唐玉贵,韦娇媚. 低效林改造对土壤理化性质及水源涵养功能的影响[J]. 中国水土保持科学,2010,8(5):72-78.
- [19] 王树力,沈海燕,孙悦,等. 长白落叶松纯林改造对林地土壤性质的影响[J]. 中国水土保持科学,2009,7(6):98-103.
- [20] 北京林业大学. 土壤学[M]. 北京:中国林业出版社,1993.
- [21] 李沛霖. 杉木林土壤理化性质与水源涵养功能及相关性研究:以福寿林场为例[D]. 长沙:中南林业科技大学,2014:37.
- [22] 胡建忠,郑佳丽,张春霞. 黄河上游退耕地植被组成、结构及水土保持功能评价[J]. 中国水土保持科学,2005,3(2):42-50.
- [23] 张洪江,杜士才. 重庆四面山森林植物群落及其水土保持与水文生态功能[M]. 北京:科学出版社,2010:238.
- [24] 陈延武,史正涛,曾建军,等. 水源地不同林分水源涵养功能评价[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(2):67-74.