

# 宁夏限制开发生态区生态敏感性综合评价与保护对策

杨美玲<sup>1,2</sup>, 米文宝<sup>1</sup>, 李同昇<sup>2</sup>, 周民良<sup>2,3</sup>, 王婷玉<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学 资源环境学院, 银川 750021; 2. 西北大学 城市与环境学院,  
西安 710127; 3. 中国社会科学院工业经济研究所, 北京 100836)

**摘 要:**以乡镇为基本研究单元,针对宁夏限制开发生态区存在的主要生态环境问题,选取土壤侵蚀、土地沙漠化作为评价因子,运用 GIS 技术在单因子评价的基础上,采用多因子综合评价的方法,对宁夏限制开发生态区生态敏感性进行综合评价。结果表明:(1)研究区内各乡镇均存在生态敏感性问题,生态敏感程度分为轻度敏感、中度敏感、高度敏感、极敏感 4 个等级,且 94.34% 的面积属于中度以上敏感性。(2)生态敏感性的空间分布特征为:位于中部干旱半干旱风沙区的各乡镇,主要的生态问题是土地沙漠化;位于南部黄土丘陵沟壑区的各乡镇,主要的生态环境问题是土壤侵蚀。(3)以市(县)为基本空间单元所得的评价结果,没有考虑县内各区域之间的差异性,研究结果可操作性较差,以乡镇为基本空间单元所得的评价结果因均质性较好,研究结果具有较强的针对性和可操作性。

**关键词:**生态敏感性;土壤侵蚀;土地沙化;限制开发生态区;GIS

**中图分类号:**F062.2;P901

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)03-0103-06

## Eco-sensitivity Analysis and Protection in the Restricted Development of Ecological Zones, Ningxia Hui Autonomous Region

YANG Mei-ling<sup>1,2</sup>, MI Wen-bao<sup>1</sup>, LI Tong-sheng<sup>2</sup>, ZHOU Min-liang<sup>2,3</sup>, WANG Ting-yu<sup>1</sup>

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

Yinchuan 750021, China; 2. School of Urban and Environmental Science, Northwest

University, Xi'an 710127, China; 3. Institute of Industrial Economics CASS, Beijing 100836, China)

**Abstract:** As a special type of main functional areas in China, restricted exploitation area is one of the ecologically fragile, long-term underdeveloped areas in China. Also, it is a special complex area among China's ecologic security, food security, and homeland security. So, it is one of the hot issues of academic concern. On the basis of analyzing and summarizing the relevant literature, with the township as the basic units, based on the main eco-environment problems in the Restricted Development Area of Ningxia Hui Autonomous Region, soil erosion and land desertification are chosen to carry out single factor and integrated appraisal of eco-sensitivity with GIS technology to analyze the eco-sensitivity in the Restricted Development Area of Ningxia Hui Autonomous Region. The results show that: (1) the major ecological problems in the study area are land desertification and soil erosion, spatial differentiation is significant. All the townships in the study area are ecological sensitivity, the townships in the central arid semiarid areas with sparse vegetation, strong sunshine, very little precipitation, the major ecological problems are land desertification; the townships in the southern loess hilly region with rapidly terrain slope, soil matrix loam, barren land, water erosion, the major environmental problems are soil erosion, there are four grades of eco-sensitivity, namely slight sensitive, moderately sensitive, highly sensitive, extremely sensitive, and 94.34% of the area belongs to the moderately sensitivity; (2) extremely sensitive and highly sensitive areas are fragile ecological environment area, system stability, development costs and repair costs are high, should be used as a key protection areas, and large-scale, high-intensity of industrialization and urbanization development activities should be prohibited; moderately sensi-

收稿日期:2013-09-29

修回日期:2013-10-24

资助项目:国家自然科学基金资助项目(41161020);国家自然科学基金资助项目(41361024);国家自然科学基金资助项目(41271131);宁夏高等学校科学研究项目(NXGX2012)

作者简介:杨美玲(1979—),女,宁夏灵武人,博士生,副教授,从事区域经济社会可持续发展研究。E-mail:nxdxym1@163.com

通信作者:米文宝(1962—),男,陕西富平人,教授,博士生导师,主要从事区域经济社会研究。E-mail:miwbao@nxu.edu.cn

tive areas are more vulnerable which have a certain amount of resistance to outside interference, within the scope of the ecological carrying, moderate development activities can be engaged; mildly sensitive and non-sensitive areas can be used as a suitable development zone, which allows a certain scope of industrialization and urbanization activities.

**Key words:** ecological sensitivity; soil erosion; land desertification; restrict development of ecological zones; GIS

限制开发生态区作为我国主体功能区划的一个基本类型区,关系到全国乃至更大区域范围的生态安全,是我国重要的生态功能区。同时,其内部生态系统类型多样、复杂,既有石(沙)漠化区、水土流失严重区、水资源严重短缺区、自然灾害频发区,也有重要的水源保护区等地区。虽然同属限制开发生态区,但这些区域内部在自然环境、社会经济等方面均存在较大的区域差异,影响各区域发展的因素、动力机制也显著不同。但现有对限制开发区域的研究多集中在省域尺度、流域尺度、城市范围等专项区域,研究的尺度较大,且大多没有对内部差异性很大的区域进行细分研究,这就使得研究结果宏观性较强,难以反映区域内部的差异性,从而造成研究结果的实际可操作性较差;另一方面,虽然《全国主体功能区规划》(以下简称“规划”)提出对限制开发区域要进行适度开发,但如何适度开发?适度的标准是什么?《规划》却并没有作出具体说明。基于此,有必要在相关理论的指导下,对限制开发区域进行细分,在此基础上对细分之后的各类型区进行综合研究。

生态敏感性作为主体功能区划中的重要评价指标之一,是指生态系统对人类活动反应的敏感程度,用来反映受干扰区域产生生态失衡与生态环境问题的可能性大小,是划分禁止开发区和限制开发区的基本依据,也是对限制开发生态区进行空间功能细分的主要指标。国外对生态敏感性研究主要是针对单一生态敏感性问题,如 Rodriguez 等<sup>[1]</sup>对大陆架的生态敏感性进行了研究, Horne 等<sup>[2]</sup>研究了澳大利亚雨林对选择性伐木的生态敏感性,国内研究已从单一生态敏感性问题发展到基于单一生态敏感性评价的多因子生态敏感性综合评价。一些学者<sup>[3-4]</sup>基于自然条件的考虑,选取土壤侵蚀、土地沙漠化、土壤盐渍化作为评价因子,运用 GIS 软件分别采取单因子评价和多因子综合评价的分析方法,从国家、省域、流域、城市内部等尺度进行生态敏感性评价<sup>[3-7]</sup>;另外一些学者<sup>[8-10]</sup>在对区域生态敏感性进行评价时,除了考虑自然因素之外,加入了人类活动的影响。这些都丰富了生态敏感性评价的理论和方法,为区域生态环境治理提供了科学的依据。但纵观现有研究,大多是从大的

区域尺度对区域进行生态敏感性评价,以乡镇为基本研究单元的较少,这难免会造成研究结果过于宏观,不利于制定有针对性的治理对策。基于此,本文在借鉴相关研究成果的基础上,以宁夏限制开发生态区为例,以乡镇为基本研究单元,对区域生态敏感性进行综合评价,进而提出对生态保护和区域开发具有实际指导意义的建议 and 对策。

## 1 研究区概况

宁夏限制开发生态区主要包括宁夏中南部的盐池县、同心县、红寺堡开发区、西吉县、海原县、彭阳县、泾源县、隆德县 8 个县(区),共 93 个乡镇,该区域位于鄂尔多斯台地、宁夏南部黄土高原、腾格里沙漠等地形单元的交接过渡区域,总面积为 27 921.34 km<sup>2</sup>,占宁夏总面积的 42.05%,总人口 203.81 万人,占宁夏总人口的 33.83%。作为一种特殊的人地关系地域系统类型,宁夏限制开发生态区生态环境脆弱,人口压力较大,经济发展长期处于欠发达状态。根据研究区内部自然环境条件的差异,可以进一步将其划分为中部干旱风沙生态区和南部黄土丘陵水土流失生态区两个区域。

中部干旱风沙生态区主要指红寺堡区以及盐池县和同心县的大部分区域,具体包含 20 个乡镇,总面积为 12 576.72 km<sup>2</sup>,占宁夏限制开发生态区总面积的 45.04%。此区域东临毛乌素沙地,西接腾格里沙漠,降雨稀少,气候干旱,风大多沙,土壤风蚀强烈,植被稀疏,覆盖度低,水热资源失调。区内有罗山和哈巴湖两个国家级自然保护区,本区的植被类型属于荒漠草原和草原化荒漠,大部分地区土壤沙性重,地表物质干燥,土壤含水率低,加之植被稀疏,极易遭受风蚀,主要的生态环境问题是水资源短缺、土地沙化、草场退化。

南部黄土丘陵水土流失生态区主要指泾源县、隆德县、彭阳县、西吉县、海原县以及同心县、盐池县的部分地区,具体包含 73 个乡镇,总面积为 15 344.62 km<sup>2</sup>,占宁夏限制开发生态区总面积的 54.96%。本区除六盘山山地外,多为黄土丘陵,部分地区分布有一些河谷平原及较大塬地,土壤类型主要是黑垆土、

黄绵土和新积土;主要山地有六盘山、南华山、西华山及月亮山等,属隆起构造山地地貌。此生态区地形破碎、沟壑纵横、土壤质地比较疏松,抗侵蚀性能差,山地剥蚀切割严重,主要的生态环境问题是水土流失。

2 数据来源与研究方法

2.1 指标选取

研究区包含宁夏中部干旱、半干旱风沙区和南部黄土丘陵沟壑区,主要的生态环境问题是水资源短缺、土地沙化、水土流失严重等。考虑到在宁夏限制

开发生态区主要的生态问题是土壤侵蚀和土地沙漠化,因此,选取土壤侵蚀、土地沙漠化作为生态敏感性评价的指标<sup>[11-12]</sup>。其中,选择降水侵蚀力、土壤质地、地形起伏度、地表覆盖类型作为土壤侵蚀敏感性评价指标;选择湿润指数、冬春季大于 6 m/s 大风天数、土壤基质、植被覆盖率作为土地沙漠化评价指标。参考《生态功能区划暂行规程》中省级区域生态敏感性评价指标及分级标准,考虑到研究区生态实际以及以乡镇为评价单元的特点,对具体指标和分级标准进行调整(表 1)<sup>[13]</sup>。

表 1 宁夏限制开发生态区生态敏感性评价指标与分级标准

| 敏感因子     | 影响指标               | 不敏感        | 轻度敏感               | 中度敏感           | 高度敏感         | 极敏感      |
|----------|--------------------|------------|--------------------|----------------|--------------|----------|
| 土壤侵蚀     | 降水侵蚀力( <i>R</i> 值) | <25        | 25~100             | 100~400        | 400~600      | >600     |
|          | 土壤质地               | 石砾、沙       | 粗砂土、细砂土、黏土         | 面砂土、壤土         | 砂壤土、粉黏土、壤黏土  | 砂粉土、粉土   |
|          | 地形起伏度/m            | 0~20       | 20~50              | 51~100         | 101~300      | >300     |
|          | 地表覆盖类型             | 水体、草本沼泽、稻田 | 阔叶林、针叶林、草甸、灌丛和萌生矮林 | 稀疏灌木草原一年一熟粮食作物 | 沙生植被三年两熟粮食作物 | 裸地、荒漠、沙地 |
| 土地荒漠化    | 湿润指数               | >1         | 0.65~1             | 0.50~0.65      | 0.40~0.50    | <0.40    |
|          | 冬春季大于 6 m/s 大风天数   | <15        | 15~30              | 30~45          | 45~60        | >60      |
|          | 土壤基质               | 基岩         | 黏质                 | 砾质             | 壤质           | 沙质       |
|          | 植被覆盖率              | >30        | 20~30              | 10~20          | <10          | 0        |
| 分级赋值     |                    | 1          | 3                  | 5              | 7            | 9        |
| 分级标准(DS) |                    | 1.0~2.0    | 2.1~4.0            | 4.1~6.0        | 6.1~8.0      | >8.0     |

2.2 数据来源

借助 GIS 软件,根据 30 m 分辨率的遥感影像(2011 年)获得研究区植被类型、土壤质地等方面的数据,具体数据来源及处理过程为:“降水侵蚀力(*R* 值)”参考朱志玲等<sup>[4]</sup>的研究成果,公式(1)进行计算;“土壤质地”根据宁夏土壤类型分布图(比例尺为 1:350 万),结合《宁夏土壤》对土壤质地的描述,得出各乡镇土壤质地空间分布图;“地形起伏度”利用 ArcGIS 软件在 Spatial Analysis 下使用栅格邻域计算工具对宁夏地形 DEM 影像进行处理,得到各乡镇地形起伏度等级分布图;“地表覆盖类型”及“植被覆盖率”根据 2011 年宁夏遥感影像,结合 2012 年对研究区生态环境现状调查数据获得;“湿润度指数”为干燥度的倒数,干燥度采用张宝堃等提出的方法进行计算(公式 2);冬春季大于 6 m/s 的大风天数根据 2001—2011 年宁夏各气象站点的冬春季大风天数,利用 GIS 软件生成各乡镇冬春季大于 6 m/s 大风天数。

$$R=\sum_{i=1}^{12}(-2.6398+0.3046P_i)$$
 (1)

式中:*R*——降雨侵蚀力[(J·cm)/(m<sup>2</sup>·h)];*P<sub>i</sub>*——年均降雨量(mm)。

$$K=\frac{0.16\sum t}{r}$$
 (2)

式中:*K*——干燥度;∑*t*——日平均气温 10℃ 期间的

稳定积温;*r*——同时期的降雨量。

2.3 评价方法

2.3.1 单因子评价方法 根据宁夏土壤类型图、气候区划图、植被类型分布图、水土流失现状图,运用 GIS 技术得到以乡镇为单元的区域单因子敏感性空间分布图,各单因子敏感性指数等级按照不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极敏感分别赋值 1,3,5,7,9(表 1),在此基础上,通过以下计算公式来计算土壤侵蚀敏感性指数:

$$SS_j=\sqrt[4]{\prod_{i=1}^4C_i}$$
 (3)

式中:SS<sub>*j*</sub>——空间单元对第 *j* 项因子的生态敏感性指数;*C<sub>i</sub>*——*i* 项指标的敏感性等级值。

2.3.2 多因子生态敏感性综合评价 生态敏感性综合评价涉及诸多因子,其中任何一个因子受影响的程度一旦超过阈值,整个生态环境将受到严重破坏。考虑到将多个评价结果进行加权求和,会导致单因子评价结果之间的抵消或放大,从而影响区域生态敏感性综合评价的评价结果。本研究采用极大值方法,即取各因子生态敏感性评价结果中的最大值作为最终结果。

$$I=\max(SS_j)$$
 (4)

### 3 宁夏限制开发生态区生态敏感性评价结果及保护对策

根据表 1 的指标体系及分级标准,在单因子分析的基础上,利用极大值法对研究区进行生态敏感性综合评价,以评价结果为依据,得到研究区生态敏感性分布图(附图 8)。

#### 3.1 土壤侵蚀敏感性评价结果

通过对宁夏限制开发生态区土壤侵蚀敏感性进行综合评价,得出其土壤侵蚀敏感性分为不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感、极敏感 5 个等级<sup>[15-17]</sup>(表 2,附图 8)。

(1) 极敏感区。极敏感区区域面积为 4 699.33 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 16.83%,处于极敏感区域的乡镇主要分布在宁夏南部黄土丘陵沟壑区、葫芦河两岸部分川地区。此区地貌类型以黄土丘陵为主,是典型的黄土丘陵沟壑区。在此区域内,窑山、云雾山等低山突起于黄土丘陵之上,高差较大,且地形破碎凌乱,土壤以黑垆土和黄绵土为主,土壤质地以持水性差的粉土和壤黏土为主,土壤侵蚀极敏感。

(2) 高度敏感区。高度敏感区区域面积为 5 504.21 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 19.71%,处于高度敏感区域的乡镇主要分布在葫芦河西黄土丘陵沟壑区。此区海拔 1 900~2 100 m,沟深坡陡,切割强烈,植被

稀少,土壤以黑垆土和黄绵土为主,土壤质地以壤土和黏壤土为主,水土流失严重,土壤侵蚀高度敏感。

(3) 中度敏感区。中度敏感区区域面积为 8 612.85 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 30.31%,处于中度敏感区域的乡镇主要分布在海原盆垭丘陵区及六盘山水源涵养林区,海原盆垭丘陵区属于半干旱区,年降水量 350~400 mm,土壤多为侵蚀灰钙土,由于源自西华山、南华山的双河、杨坊河等向东北注入清水河,这些河流将黄土切割成梁峁状,使得此区域水土流失较为严重。六盘山水源涵养林区是宁夏雨量最多、森林资源最为丰富的地区,但由于土层较薄,加上人类不合理的开发活动,造成区域水土流失非常严重。

(4) 轻度敏感区。轻度敏感区区域面积为 3 204.98 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 11.48%,处于轻度敏感区域的乡镇主要分布在黄土丘陵区北缘以北。此区地形平坦,气候干旱,风大沙多,降水少,蒸发强烈,土壤以灰钙土、新积土、风沙土为主,土地沙化较严重,土壤侵蚀轻度敏感。

(5) 不敏感区。不敏感区域面积为 6 051.14 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 21.67%,不敏感区域主要分布在宁夏中部干旱半干旱风沙区。此区地表组成物质较粗,土壤以易沙化的灰钙土、新积土、风沙土为主。降水稀少,蒸发强烈,生态环境问题以土地沙化和草场退化为主,土壤侵蚀不敏感。

表 2 生态敏感性分析结果及相关指数

| 类别       | 不敏感区            |       | 轻度敏感区           |       | 中度敏感区           |       | 高度敏感区           |       | 极敏感区            |       |
|----------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
|          | 面积/             | 占区域总  | 面积/             | 占区域总  | 面积/             | 占区域总  | 面积/             | 占区域总  | 面积/             | 占区域总  |
|          | km <sup>2</sup> | 面积比/% | km <sup>2</sup> | 面积比/% | km <sup>2</sup> | 面积比/% | km <sup>2</sup> | 面积比/% | km <sup>2</sup> | 面积比/% |
| 土壤侵蚀敏感性  | 6051.14         | 21.67 | 3204.98         | 11.48 | 8612.85         | 30.31 | 5504.21         | 19.71 | 4699.33         | 16.83 |
| 土地沙漠化敏感性 | 2992.26         | 10.72 | 6336.55         | 22.69 | 10894.74        | 39.02 | 6364.88         | 22.80 | 1332.92         | 4.77  |
| 综合生态敏感性  |                 |       | 1579.68         | 5.66  | 8932.05         | 31.99 | 11377.37        | 40.75 | 6032.25         | 21.60 |

#### 3.2 土地沙漠化敏感性评价

通过对宁夏限制开发生态区土地沙漠化敏感性进行综合评价,得出宁夏限制开发生态区土地沙化敏感性分为不敏感、轻度敏感、中度敏感、高度敏感和极敏感五个等级(表 2,附图 8)。

(1) 极敏感区。极敏感区区域面积为 1 332.92 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 4.77%,极敏感区域主要位于中部干旱带。此区域土壤以易沙化的灰钙土、新积土为主,土壤质地以砂土为主,植被稀少,且以草原带沙生植物为主,是宁夏土地沙化最严重的地区。

(2) 高度敏感区。高度敏感区区域面积为 6 364.88 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 22.80%,处于高度敏感区域的乡镇与毛乌素沙地接壤,受毛乌素沙地的影响,土地沙漠化程度严重,加上植被稀少,干旱少雨,

土地沙化高度敏感。

(3) 中度敏感区。中度敏感区区域面积为 10 894.74 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 39.02%,处于中度敏感区域的乡镇主要分布在高度沙漠化区周围的荒漠草原区。此区日照充足,蒸发强烈,常年干旱少雨,风沙危害严重,属于土地沙化中度敏感区。

(4) 轻度敏感区。轻度敏感区区域面积为 6 336.55 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 22.69%,处于轻度敏感区域的乡镇主要分布在宁南黄土丘陵地区。由于此区域降水、植被覆盖度、湿润指数等均高于中部干旱带,且蒸发较小,因此,位于此区的乡镇土地沙化不太敏感。

(5) 不敏感区。不敏感区区域面积为 2 992.26 km<sup>2</sup>,占区域总面积的 10.72%,处于不敏感区域的乡

镇主要分布在六盘山地区。此区植被覆盖率高,年降水量大,蒸发量小,湿润指数大,土壤基质以基岩为主,难以形成沙质地表。

### 3.3 生态敏感性综合评价

将土壤侵蚀和土地沙漠化两个一级影响因子的生态敏感性空间分布结果经过叠置取最大值,可得到以乡镇为单元的宁夏限制开发生态区生态敏感性综合评价空间分布图(附图8)。评价结果显示,宁夏限制开发生态区生态敏感性分为四个等级:极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感。极敏感区区域面积为6 032.25 km<sup>2</sup>,占区域总面积的21.60%,高度敏感区区域面积为11 377.37 km<sup>2</sup>,占区域总面积的40.75%,极敏感和高度敏感区域面积占区域总面积的62.35%,中度敏感区区域面积为8 932.05 km<sup>2</sup>,占区域总面积的31.99%,轻度敏感区区域面积为1 579.68 km<sup>2</sup>,占区域总面积的5.66%。研究表明:宁夏限制开发生态区绝大部分乡镇生态敏感性都很高,极敏感和高度敏感区主要分布在典型的黄土丘陵沟壑区和干旱风沙区。

处于极敏感和高度敏感区的乡镇植被稀少,干旱少雨,水土流失极为严重,土壤潜在的侵蚀力较强,土地沙化趋势较为明显,生态系统极不稳定,生态环境极易受到人类活动的干扰,且干扰导致区域生态失衡的可能性极大。再加上人类不合理的开发活动,生态环境恶化趋势较为明显,不适宜进行开发活动,区域发展途径以生态修复为主。

中度和轻度脆弱区主要位于六盘山水源涵养林区及河谷川地区和盆地区,六盘山水源涵养林区植被茂盛,森林覆盖率高,是国家级自然保护区。河谷川地区和盆地区大多靠近葫芦河、红茹河,地形平坦,土层深厚,质地良好,灌溉便利,保水保肥性能良好,是农业发展的精华地带。主要的生态环境问题是水土流失以及由于人类不合理的开发活动而导致的土地退化。

### 3.4 不同生态敏感区保护对策

极敏感和高度敏感区属于生态环境极为脆弱的地区,系统稳定性差,容易受到干扰,开发难度较大,且开发成本和开发后的修复成本都很高,应作为重点保护区域,禁止大规模高强度的工业化、城市化开发活动。此区发展应以生态修复为主,发展模式以生态补偿及移民搬迁为主,且今后应继续加大荒山造林和退耕还林(草)力度,提高林地覆盖率<sup>[18]</sup>。

中度敏感区属于生态环境较为脆弱的地区,对外界干扰有一定的抵抗能力,可以在生态承载范围内进行适度的开发活动;河谷川地区经济发展基础较好,

人口密度大,劳动力充足,有利于农业集约化经营。区域发展以特色农业、生态农业、设施农业等现代农业为主;六盘山水源涵养林区属于国家级生态保护区,生态环境较好,具有重要的生态服务价值,要实行严格的生态保护,核心区内不得占用土地进行生产建设活动,并逐步将其土地收归国有。

轻度敏感区系统稳定性较好,生态敏感性处于相对平衡的状态,外部干扰对生态环境的影响较小,可承受一定强度的开发建设,可以作为适宜开发区,允许一定程度的工业化和城市化活动。今后应加强农田管理,改变耕作方式,调整农业产业结构,发展以特色农业、生态农业为主的现代农业。

## 4 结论和讨论

(1) 宁夏限制开发生态区主要的生态环境问题是土地沙漠化和土壤侵蚀两个方面,且生态问题空间分异明显。生态敏感性空间分布特征为:土地沙漠化敏感性呈从南向北递增的趋势,土壤侵蚀敏感性呈从北向南递增的趋势。中部干旱半干旱风沙区植被稀疏,日照强烈,降水稀少,土壤基质多为砂土,主要环境问题是土地沙漠化;南部黄土丘陵沟壑区地形坡降迅速,土壤基质以壤土为主,土地贫瘠,水力侵蚀强,主要环境问题是土壤侵蚀。从生态敏感性综合评价的角度看,研究区各地均存在生态敏感性问题,极敏感区比例为21.60%,高度敏感区比例为40.74%,中度敏感区比例为31.99%,轻度敏感区比例仅为5.66%,即研究区大部分乡镇生态环境问题严重,生态系统稳定性极差,区域发展以生态恢复和保护为主。

(2) 以乡镇为基本空间单元,运用GIS技术在对土壤侵蚀敏感性、土地沙化敏感性进行评价的基础上,对宁夏限制开发生态区生态敏感性进行综合评价。研究结果显示:同一县内各乡镇土地沙化敏感性、土壤侵蚀敏感性、生态敏感性均存在较大差异。例如,从宁夏限制开发生态区生态敏感性分级图中可以看出,在同心县境内,土地沙化敏感性、土壤侵蚀敏感性、生态敏感性均分为4个等级,即各乡镇生态敏感性存在较大差异,类似情况在盐池县、西吉县、彭阳县等其他各县也存在。然而,在以县为基本空间单元进行的全国及省级主体功能区规划中,同一县内各乡镇的生态敏感性具有一致性。由此说明,以市(县)为基本空间单元划分出来的结果精确性较差,研究结果的实际可操作性较差。以乡镇为基本空间单元划分出来的结果精确性较好,研究结果具有较强的针对性和可操作性。

(3) 以乡镇为基本空间单元对区域进行生态敏感性评价在方法上是可行的, 研究结果均质性较好, 具有较强的可操作性。此结果可为以乡镇为基本单元的限制开发区“主体功能区建设”等研究提供科学依据。

(4) 文章仅从自然因素的角度评价了区域的生态敏感性, 事实上, 区域系统是自然和人文的耦合系统, 生态敏感性是自然因素和人文因素共同作用的结果, 如何在对自然因子生态敏感性分析的基础上, 引入人文因子, 是今后研究的重点。

#### 参考文献:

- [1] Rodriguez E, Vila L. Ecological sensitivity atlas of the Argentine continental shelf[J]. International Hydrographic Review Monaco, 1992, 69(2): 47-53.
- [2] Horne R, Hickey J. Ecological sensitivity of Australian rainforests to selective logging[J]. Australian Journal of Ecology, 1991, 16(1): 119-129.
- [3] 徐广才, 康慕谊, 赵从举, 等. 阜康市生态敏感性评价研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2007, 43(1): 88-92.
- [4] 朱志玲, 吴咏梅, 张敏. 基于 GIS 的宁夏生态环境敏感性综合评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 101-105.
- [5] 吴金华, 李纪伟, 朱鸿儒. 基于 ArcGIS 区统计的延安市土地生态敏感性评价[J]. 自然资源学报, 2011, 26(7): 1180-1188.
- [6] 万洪秀, 孙占东, 王润. 博斯腾湖湿地生态脆弱性评价研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 248-254.
- [7] 李丁, 王生霞, 苗涛. 生态脆弱地区生态农业模式的参与式发展研究与实践: 以民勤县绿洲边缘区为例[J]. 干旱区地理, 2011, 34(2): 337-343.
- [8] 刘康, 欧阳志云, 王效科, 等. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2711-2718.
- [9] 刘焱序, 李春越, 任志远, 等. 基于 LUCC 的生态型城市土地生态敏感性评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 125-130.
- [10] 颜磊, 许学工, 谢正磊, 等. 北京市域生态敏感性综合评价[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3117-3129.
- [11] 潘峰, 田长彦, 邵峰, 等. 新疆克拉玛依市生态敏感性研究[J]. 地理学报, 2011, 66(11): 1497-1507.
- [12] 贾科利, 张俊华. 宁夏中部干旱带土地利用变化及驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 62-66.
- [13] 国家环境保护总局. 生态功能区划技术暂行规程[J]. 北京: 环境出版社, 2002.
- [14] 韩贵锋, 赵珂. 袁兴中, 等. 基于空间分析的山地生态敏感性评价: 以四川省万源市为例[J]. 山地学报, 2008, 26(5): 531-537.
- [15] 卢远. 基于 GIS 的广西土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 98-100.
- [16] 王小丹, 钟祥浩, 范建容. 西藏水土流失敏感性评价及其空间分异规律[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 183-188.
- [17] 曹建军, 刘永娟. GIS 支持下上海城市生态敏感性分析[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1805-1812.
- [18] 孙晓一, 汤青, 徐勇, 等. 宁南山区特色农业发展模式探讨[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 181-185.
- [19] Rodriguez E, Vila L. Ecological sensitivity atlas of the Argentine continental shelf[J]. International Hydrographic Review Monaco, 1992, 69(2): 47-53.
- [20] 王良健, 包浩生. 基于遥感和 GIS 的区域土地利用变化的动态监测研究[J]. 经济地理, 2000, 20(2): 47-50.
- [21] 李虎杰. 岷江上游生态环境建设与经济可持续发展[J]. 四川环境, 2001, 20(4): 51-56.
- [22] 刘洋. 岷江源头区植被景观与流域土壤侵蚀的动态相关性[D]. 成都: 中国科学院成都生物研究所, 2007.
- [23] 刘庆. 亚高山针叶林生态学研究[M]. 成都: 四川大学出版社, 2002.
- [24] 冯异星, 罗格平, 周德成, 等. 近 50 a 土地利用变化对干旱区典型流域景观格局的影响: 以新疆玛纳斯河流域为例[J]. 生态学报, 2010, 30(16): 4295-4305.
- [25] 徐达. 中山陵景区 SPOT5 融合及分类技术研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.
- [26] 史培军, 潘耀忠, 陈晋, 等. 深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 293-299.
- [27] 陈利顶, 傅伯杰, 王军. 黄土丘陵区典型小流域土地利用变化研究[J]. 地理科学, 2001, 21(1): 46-51.
- [28] Horne R, Hickey J. Ecological sensitivity of Australian rainforests to selective logging[J]. Australian Journal of Ecology, 1991, 16(1): 119-129.
- [29] 徐广才, 康慕谊, 赵从举, 等. 阜康市生态敏感性评价研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2007, 43(1): 88-92.
- [30] 朱志玲, 吴咏梅, 张敏. 基于 GIS 的宁夏生态环境敏感性综合评价[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 101-105.
- [31] 吴金华, 李纪伟, 朱鸿儒. 基于 ArcGIS 区统计的延安市土地生态敏感性评价[J]. 自然资源学报, 2011, 26(7): 1180-1188.
- [32] 万洪秀, 孙占东, 王润. 博斯腾湖湿地生态脆弱性评价研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(2): 248-254.
- [33] 杨桂山, 翁立达, 李剑锋. 长江保护与发展报告[M]. 武汉: 长江出版社, 2007.
- [34] 潘攀, 慕长龙, 牟菊英, 等. 杂谷脑河流域河谷区植被及其生物多样性[J]. 东北林业大学学报, 2005, 33(5): 55-58.
- [35] 刘世荣, 孙鹏森, 罗佳文. 岷江上游生态水文研究图集[M]. 北京: 中国地图出版社, 2008.
- [36] 傅伯杰. 黄土区农业景观空间格局分析[J]. 生态学报, 1995, 15(2): 113-119.
- [37] 王宪礼, 肖笃宁, 布仁仓, 等. 辽河三角洲湿地的景观格局分析[J]. 生态学报, 1997, 17(3): 317-323.
- [38] Buheasier, Liu Jiyan. Using Remotely Sensed Study on Land Cover Change in China Based on Seasonal and Longitudinal Characteristics Data [M]. Asahikawa: IGU-LUCC Press, 1997.
- [39] 谢高地. 人口增长胁迫下的全球土地利用变化研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(3): 233-241.

(上接第 102 页)