

# 基于 GIS 的陕西省土地生态环境敏感性评价研究

李君轶, 吴晋峰, 薛亮, 陈晓军

(陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:** 依据陕西省土地生态环境目前存在的问题和生态环境敏感性理论, 充分考虑生态环境敏感性的影响因素, 选取了土壤侵蚀、土地沙化、地质灾害、生物多样性和生态环境等 5 个生态敏感性因子, 并确定了其叠加值。通过资料收集、实地调研、遥感影像解译与分析、定量计算、专家评议总结等方法, 得出陕西省土壤侵蚀类型与强度图、陕西省沙漠化类型与强度图、陕西省地质灾害图、陕西省生态环境遥感综合评价图、陕西省自然保护区与森林公园分布图等 5 个评价因子单要素专题图。利用 ArcGIS 软件对 5 幅单要素专题图按照其生态敏感优先度等级进行叠加分析, 得到陕西省土地生态环境敏感性分区。发现极度敏感区占陕西省总面积的 9.38%, 主要分布在陕西西北部的长城沿线地区, 该区生态敏感性很高, 抗干扰能力差, 属重点生态保护区; 重度敏感区占 18.61%, 分布在陕西长城沿线以南的榆林地区和秦岭的局部区域, 该区生态敏感性较强, 可以适度发展畜牧业; 中度敏感区 23.3%, 分布在秦岭大部分区域及榆林和延安的交界地带, 开发强度不宜过高; 敏感区占 33.03%, 分布在渭北旱塬及延安南部、巴山的大部分区域和秦岭的部分区域, 可以进行适度的土地开发; 低敏感区占 15.67%, 主要分布在关中平原、汉水谷地等区域, 这部分的土地是陕西土地利用的重要区域, 适合高强度开发。

**关键词:** 生态环境; 敏感性评价; GIS; 叠加分析

**中图分类号:** X171 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)04-0019-05

## 1 引言

土地生态环境直接影响着土地利用方式, 而土地利用方式的合理性又影响到土地生态环境的变化, 不当的土地利用方式会导致土地生态环境恶化。目前, 由于土地资源利用的盲目性和不合理性, 使区域生态环境遭到严重破坏, 土地资源的缺乏和需求持续上升成为制约区域发展的重大矛盾。本文通过对陕西省土地生态环境敏感性评价, 得出不同区域生态建设和环境保护的方案, 指导陕西省土地利用。

### 1.1 国内外研究现状

目前, 国内外在基于 GIS 环境敏感性评价研究领域都有较快的发展, 并广泛地运用到实际工作中。Hodge 等基于环境敏感性对农村环境和政策适用性进行了评估<sup>[1]</sup>; Garrod 等评价了环境敏感区域的价值和利益<sup>[2]</sup>; Alstair Cameron 等对环境敏感区的动物进行了分类和评估研究<sup>[3]</sup>; 国外研究主要针对环境敏感区的生态价值, 探讨敏感区的保护、应用价值以及环境对策上。林涓涓等在分析了国内外流域生态研究状况的基础上, 提出流域生态敏感性概念, 针对流域内可能出现的各种生态问题及其敏感性, 结合流域特点, 建立了流域生态敏感性评价指标体系<sup>[4]</sup>; 李辉霞等利用 GIS 空间叠加分析, 对西藏

自治区冻融侵蚀的敏感性做了科学的评价<sup>[5]</sup>; 石菊松等对巴东新城区滑坡灾害危险性区划进行研究, 通过全面分析影响巴东新城区滑坡的各个因素, 建立了相应的滑坡灾害危险性评价指标<sup>[6]</sup>。

不难看出, 国内外基于 GIS 的区域敏感性分析主要是针对某一流域分析或者针对区域的某一自然灾害影响因素进行敏感性评价分析。在大尺度多因子综合分析方面研究不多。本文以陕西省土地生态环境为研究对象, 采用基于 GIS 空间分析和土地生态环境影响因子多属性权重分析, 对陕西省土地生态环境敏感性区域划分做出科学的评定。

### 1.2 陕西省土地生态环境概况

陕西省生态环境具有结构复杂、类型繁多、梯度陡、跨度大、变化性强等特点, 整体生态环境脆弱。目前, 大部分地区尚处于城市化的初中级阶段, 在今后的几十年里将经历较长时期的高强度土地开发。随着开发活动的开展, 土地资源的资源性缺乏和需求持续上升必将成为制约陕西省协调发展的重大矛盾。陕西省土地生态环境问题形成原因复杂多样、区域差异很大, 不同区域所面临的主要生态环境问题不同。因此, 陕西省的土地生态环境建设和保护需要综合评价, 并在合理分区的基础上因地制宜地进行<sup>[7]</sup>。

收稿日期: 2006-09-08

基金项目: 国家自然科学基金(40371003); 陕西省国土资源厅(协调土地利用与生态环境建设)项目资助

作者简介: 李君轶(1975—), 男, 宁夏固原人, 博士, 主要从事 GIS 与区域开发研究。E-mail: lijunyi\_9@163.com

## 2 土地生态环境敏感性评价因子选取

### 2.1 评价因子选取的原则

为了能较好地反映影响因子对陕西省土地生态环境敏感性评价的贡献率。在选取评价因子时,要把握选取评价因子及其量化值在评价体系中的意义,区分开主成因子、次成因子对评价区域的影响度,建立统一的评价指标,这样才能对研究区域有一个整体客观的认识。

### 2.2 评价因子的选取及其分级

水土流失较为严重、土地沙漠化有加剧趋势、洪涝灾害频繁发生、地质灾害时有发生和生物多样性

遭到破坏等是目前影响陕西省土地生态环境的主要问题,在全省范围内各个地域都有不同程度的典型分布。因此,在综合分析陕西省土地生态环境的基础上,确定以下几个方面(因素)作为土地生态敏感性定性定量分析的主要指标。

2.2.1 水土流失因子 陕西省是一个土壤侵蚀极为严重的内陆省份。水土流失面积已达 13.75 万  $\text{km}^2$ , 占全省总面积的 66.63%; 年输沙量 9.2 亿 t, 占全国水土流失总量的 1/5, 严重的土壤侵蚀已成为制约陕西省农业生产和农村经济发展的重要因素。通过资料分析, 实地调查, 对陕西省土壤侵蚀进行分级, 见表 1。

表 1 土壤侵蚀强度分级及叠加赋值

Table 1 Classification of soil erosion intensity and the value

项目 Items	等级 Grade				
	不明显侵蚀 Level 1	微度侵蚀 Level 2	轻度侵蚀 Level 3	中度侵蚀 Level 4	次强度侵蚀 Level 5
指标 Index [ $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ]	<200	200~500	500~1000	1000~2000	2000~5000
赋值 Value	0	1	2	3	4

项目 Items	等级 Grade				
	强度侵蚀 Level 6	极强度侵蚀 Level 7	次剧烈侵蚀 Level 8	剧烈侵蚀 Level 9	极剧烈侵蚀 Level 10
指标 Index [ $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ]	5000~10000	10000~15000	15000~20000	20000~25000	>25000
赋值 Value	5	6	7	8	9

2.2.2 土地沙漠化因子 陕西省风沙区土地面积共达 13 410  $\text{km}^2$ , 主要分布在毛乌素沙漠南缘榆林市的定边县、靖边县、横山县、榆阳区、神木县、府谷县六县区境内。每年由于耕地、林地、牧草地、建筑用地的沙漠化给国家和人民带来了重大的损失。虽

然, 近几年加大了防沙治沙措施, 有效地遏制了沙漠化进程, 全省沙地总面积有所减小。但是, 各类土地又不同程度转化为沙地, 这说明土地沙漠化情况不容乐观, 局部地区还在恶化<sup>[9]</sup>。

表 2 1991~2001 年陕西省各地市沙地变化

Table 2 Change of sand land in Shaanxi Province 1991~2001

地区 Districts	增加量 Increase ( $\text{hm}^2$ )	占陕西增量的比例 Increase proportion of Shaanxi (%)	减少量 Decrease ( $\text{hm}^2$ )	占陕西减少量的比例 Decrease proportion of Shaanxi (%)	净变化 Difference ( $\text{hm}^2$ )
陕西 Shaanxi	$1.5 \times 10^4$	100	$6.3 \times 10^4$	100	$-4.8 \times 10^4$
西安 Xi'an	126.4	0.83	30.1	0.05	96.3
铜川 Tongchuan	—	—	—	—	—
宝鸡 Baoji	462.6	3.04	558.2	0.88	-95.6
咸阳 Xianyang	91.8	0.60	8.7	0.02	83.7
杨凌 Yangling	—	—	—	—	—
渭南 Weinan	1329.8	8.75	537.9	0.84	791.9
汉中 Hanzhong	251.9	1.66	42.5	0.07	249.4
安康 Ankang	0.35	0.002	0	0	0.35
商洛 Shangluo	3.0	0.02	0.38	0.001	2.62
延安 Yan'an	0.3	0.002	0	0	0.3
榆林 Yulin	$1.3 \times 10^4$	85.31	$6.2 \times 10^4$	98.15	$-4.9 \times 10^4$

注: 根据土地沙漠化的强度将沙漠化分成轻度、中度、重度和极重度 4 个等级(数据来源于 2005 年陕西省林业厅沙漠化监测数据)。

Note: Sand land is classified into 4 grades, such as slight, medium, heavy and extreme according to the intension of its desertification (source: monitor data of 2005 from the Department of Forestry of Shaanxi Province).

表 3 土地沙漠化分级与叠加赋值

Table 3 Classifying of desertification and the value

强度 Intension	轻度 Slight	中度 Medium	重度 Heavy	极重度 Extreme
赋值 Value	0	1	2	3

2.2.3 地质灾害因子 陕西是地质灾害严重的省份之一,主要有滑坡、崩塌、泥石流、地震、断裂等。地质灾害往往造成江河堵塞、通讯中断、交通受阻、建筑物被毁、良田林木遭到破坏,已成为引起全国高度关注的重大自然灾害之一。地质灾害已是制约全省经济和社会发展的一个重要因素之一,在土地利用中尤为重要。因此,积极主动有效地开展地质灾害预防,采取切实可行的防治措施,避免和减轻地质灾害作用给人民生命财产造成的损失,维护社会稳定,保障生态环境安全,促进国民经济可持续发展具有重要意义。陕西省地形复杂,不同区域地质情况各不相同,地质灾害也不同,按照危害程度分为 4 个等级<sup>9</sup>。

表 4 地质灾害分级与叠加赋值

Table 4 Classification of geological disasters and value

等级 Grade	轻度 Slight	中度 Medium	重度 Heavy	极重度 Extreme
赋值 Value	1	2	3	4

2.2.4 生物多样性(自然保护区和森林公园)因子 由于难以获取直接的生物多样性指标,考虑对土地利用的影响,选择利用自然保护区和森林公园替代生物多样性指标,利用自然保护区和森林公园的级别来反映生物多样性的敏感程度。全省截至到 2005 年共有森林公园 68 处,各类自然保护区共 46 处。

表 5 生物多样性级别与叠加赋值

Table 5 Classification of biodiversity and value

等级 Grade	国家级 National	省级 Provincial	地市级 Prefecture level	县级 County level
赋值 Value	4	3	2	1

2.2.5 生态环境因子 利用遥感数据、专题地图以及统计资料,对陕西省的气候、水文、土壤和植被 4 个要素进行综合评价,利用专家打分的方法得到 4 个要素的权重分别为 0.27、0.20、0.23 和 0.30,对每个要素的评价因子进行评价,加权求和后得到综合评价价值,根据综合评价价值将其划分为 8 个等级,用其来反映自然环境对土地利用的敏感性。具体的评

价指标和评价价值见表 6 和表 7。

表 6 生态环境综合评价指标

Table 6 Ecological indicators for the integrated assessment

环境要素 Environment factor	权重 Weight	评价因子 Evaluation factor
气候 Climate	0.27	1 月平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温, 年降水量 Average temperature of January, accumulated temperature ( $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ), annual precipitation
水文 Hydrology	0.20	地表水年径流量, 水污染, 含水层富水性 Annual runoff, water pollution, riching watercraft of aquifer
土壤 Soil	0.23	土地适宜性, 盐碱化, 坡度, 土层厚度 Land suitability, salinization, gradient, thickness of soil
植被 Vegetation	0.30	植被类型, 植被盖度 Vegetation type, plant cover

表 7 生态环境质量综合评价与叠加赋值

Table 7 Ecological value of a comprehensive assessment of environmental quality and value

等级 Grade	取值范围 Range	赋值 Value
优 Level 1	$\geq 2.3414$	0
次优 Level 2	1.9099~2.3413	1
优良 Level 3	1.5720~1.9098	2
良 Level 4	1.2670~1.5719	3
中 Level 5	1.0254~1.2669	4
中下 Level 6	0.7122~1.0253	5
较差 Level 7	0.4279~0.7121	6
差 Level 8	$\leq 0.4278$	7

### 3 陕西省土地生态环境敏感性评价

在分析陕西省的主要生态环境问题格局的分布和空间相关性的基础上,依据生态环境敏感性理论,充分考虑生态环境敏感性的影响因素,科学选取生态敏感性因子,通过资料收集、实地调研、遥感影像解译与分析、定量计算、专家评议总结等方法,得出 5 个单要素专题图。采用 GIS 软件对 5 幅单要素专题图(陕西省土壤侵蚀类型与强度图、陕西省沙漠化类型与强度图、陕西省地质灾害图、陕西省生态环境遥感综合评价图、陕西省自然保护区与森林公园分布图)按照其生态敏感优先度等级进行叠加分析(空间数据叠加,属性数据求和),最终得到能比较全面合理地反映陕西省土地资源生态状况及其敏感性状况的分区图(图 1)。

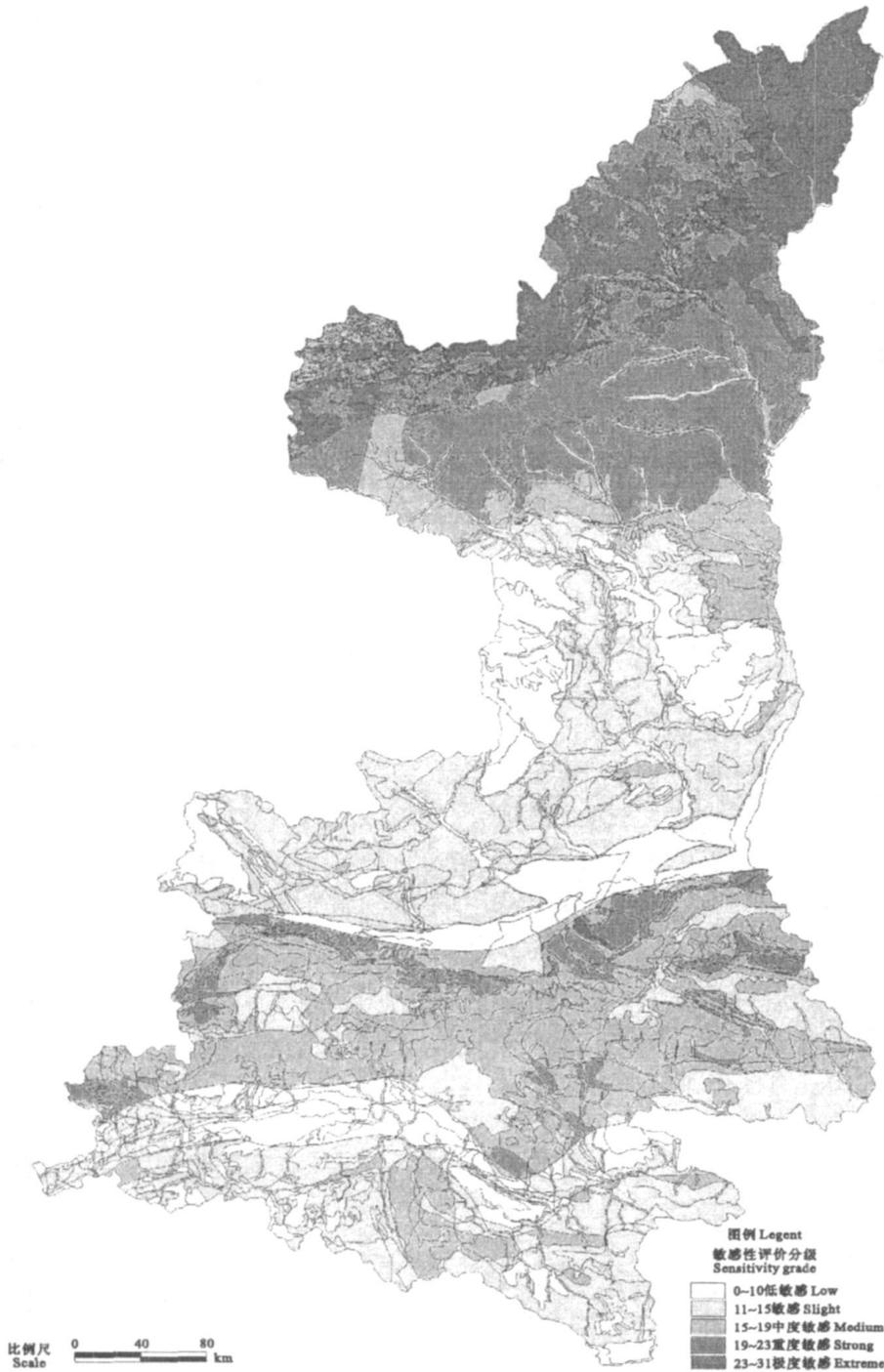


图 1 陕西省土地生态环境敏感性分区

Fig. 1 Shaanxi Province eco environmental sensitivity of district

### 3.1 土地生态环境敏感性综合评价方法

从单因子分析得出的土地生态环境敏感性,只反映了某一因子的作用程度,没有将土地生态环境敏感性的区域变异综合地反映出来。必须对上述各项因子分别赋值,再通过公式(1)计算敏感性指数:

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

式中:  $SS_j$  为  $j$  空间单元土地生态环境敏感性指数;  $C_i$  为  $i$  因素敏感性等级值;  $n$  为因子数。然后根据分级标准来确定土地生态环境敏感性等级。根据上式,利用地理信息系统软件中的空间叠加分析功能,得到陕西省各土地生态环境问题的综合敏感值图。根据综合敏感值,按表 8 的标准划分等级。

表8 土地生态环境敏感性评价分级

Table 8 Classification of assessment on eco environmental sensitivity

敏感等级 Sensitivity grade	低敏感 Low	敏感 Slight	中敏感 Medium	重度敏感 Strong	极敏感 Extreme
$SS_j$	0~10	11~15	15~19	19~23	23~31

由于不同土地生态环境问题之间是相互独立的,为了突出土地生态环境问题的敏感性,在对多个土地生态环境问题进行综合评价时,采用逐步回归方法,通过 Arc View 的空间分析功能实现。上述研究方法以 1:300 万陕西省地形图和行政区划图作为工作底图,将其它各专题图转化为相同比例尺,分别在 ArcInfo 和 Arc View 软件支持下进行空间叠加分析、敏感性分级、面积量算、图形输出<sup>[19]</sup>。

### 3.2 评价结果及其分区管制建议

**3.2.1 极度敏感区** 极度敏感区占 9.38%,主要分布在陕西北部的长城沿线地区,该区生态敏感性很高,外来干扰不仅对其自身影响反应剧烈,甚至有可能波及其它地区,对整个生态系统带来破坏,故应属重点生态保护区。该区应主要以生态建设用地为主,已经开发利用的土地应该退耕还林(草),防风固沙,原则上不宜在此设置大型的污染企业和进行大型的工程建设,可以发展适度的畜牧业。

**3.2.2 重度敏感区** 重度敏感区占 18.61%,分布在陕西长城沿线以南的榆林地区和秦岭的局部区域,该区生态敏感性较强,对维护极度敏感区的功能以及全省整体生态效果起重要作用,故在土地利用中亦应慎重。可以适度发展畜牧业,要加强土地建设,提高土地的生产力,力争粮食自给自足,并努力改善生态环境。

**3.2.3 中度敏感区** 中度敏感区 23.3%,分布在秦岭大部分区域及榆林和延安的交界地带。此处用地可以考虑发展林果业,建设成为陕西省的林果基地,但是也要充分考虑秦岭的生物多样性保护以及其环境承载力,开发强度不宜过高。

**3.2.4 敏感区** 敏感区占 33.03%,分布在渭北旱塬及延安南部、巴山的大部分区域和秦岭的部分区域,此处环境较好,可以进行适度的土地开发,是陕西省主要的粮食产地,应注意多种产业的综合发展,注意开发的强度和环境保护的关系。

**3.2.5 低敏感区** 低敏感区占 15.67%,主要分布在关中平原、汉水谷地和子午岭 3 个区域,这部分的土地是陕西土地利用的主要区域,也是陕西省粮食的主产区,开发中要提高土地的生产力,提高土地效率,该区域适合高强度开发,对环境的影响不大,但

是也要注意环境污染,适合建设大型企业。

### 参考文献:

- [1] Hodge I. and McNally S. Evaluating environmentally sensitive areas: the value of rural environments and policy relevance [J]. *Journal of Rural Studies*, 1998, 14(2): 357-367.
- [2] Garrod G D., Willis K G. Methodological issues in valuing the benefits of environmentally sensitive areas [J]. *Journal of Rural Studies*, 1999, 15(1): 111-117.
- [3] Alastair Cameron, Robert J. Johnston, Jim McAdam. Classification and evaluation of spider (Araneae) assemblages on environmentally sensitive areas in Northern Ireland [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 102(1): 29-40.
- [4] 林涓涓,潘文斌.基于GIS的流域生态敏感性评价及其区划方法研究[J].*安全与环境工程*, 2005, 12(2): 23-26.
- [5] 李辉霞,刘淑珍,钟祥浩,等.基于GIS的西藏自治区冻融侵蚀敏感性评价[J].*中国水土保持*, 2005, (7): 44-46.
- [6] 石菊松,张永双,董诚,等.基于GIS技术的巴东新城区滑坡灾害危险性区划[J].*地球学报*, 2005, 26(3): 275-282.
- [7] 聂树人. *陕西自然地理* [M]. 西安:陕西人民出版社, 1981.
- [8] 胡义成. 陕西认真落实科学发展观的紧迫性[J]. *乌鲁木齐职业大学学报*, 2004, 13(2): 6-10.
- [9] 杨喜成. 陕西地质灾害特点[J]. *陕西地质*, 2001, 19(2): 75-81.
- [10] ESRI. *Arc View GIS* [Z]. USA: Environmental System Research Inc., 1996.
- [11] 甘枝茂. *黄土高原地貌与土壤侵蚀研究* [M]. 西安:陕西人民出版社, 1989.
- [12] 刘彦随. *土地资源开发与区域协调发展* [M]. 北京:中国科学技术出版社, 2005.
- [13] 惠振德,孙虎,郭彩玲. 陕西秦巴山区水土流失灾害及防治对策[J]. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 1994, 22(3): 74-78.
- [14] 陕西省农业气候区划办公室. *陕西省农业气候区划* [M]. 西安:西安地图出版社, 1988.
- [15] 刘彦随. 西部地区县域农业土地利用优化设计[J]. *中国农业资源与区划*, 2000, 21(6): 10-13.
- [16] 刘胤汉. 陕西省生态环境综合分区研究[J]. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2002, 33(2): 109-114.
- [17] 李团胜,马超群. 从土地利用变化看陕西省生态环境的转变[J]. *干旱区地理*, 2005, 28(5): 647-654.
- [18] Liu X L., Yue Z Q., Tham L G., et al. Empirical assessment of debris flow risk on alscalen in Yunnan Province, south western China [J]. *Environmental Management*, 2002, 30(2): 249-264.
- [19] Sudheer R., Satti, Jennifer M., Jacobs, et al. Agricultural water management in a humid region: sensitivity to climate, soil and crop parameters [J]. *Agricultural water management*, 2004, 70(1): 51-65.

(英文摘要下转第 29 页)

山风景区生态安全评价中的应用[J].安全与环境学报,2006,(3):123-126.

[12] 陈星,周成虎.生态安全:国内外研究综述[J].地理科学进展,2005,24(6):8-20.

[13] 赵焕臣,许树柏,和金生,等.层次分析法[M].北京:科学出版社,1986.3-5.

[14] 陈理荣.数学建模导论[M].北京:北京邮电大学出版社,1999.

## A fuzzy evaluation of Ruergai grassland ecological security based on RS and GIS

QU Fangqing<sup>1,2</sup>, ZHOU Wancun<sup>1</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract**: On analyzing by synthesis of land use and related socioeconomic data, and on studying of the ecological risk of Ruergai County, we constructed the index system based on P-S-R model, uses AHP to follow the modulus calculating out the corresponding weight<sup>23</sup> appraising an index contributing amounts institutes to grasslands ecological security safety. Then based on fuzzy mathematics in fuzzy level analytic method, we evaluated the ecological security condition of Ruergai grassland on maximal membership degree, and also made a prediction on 2010 using the Markov model. The results indicates that the trend that safe situation of organism's habits has to worsen unceasingly develops since 1995, the "unsafe" membership degree is increased by to some extent, since owing area in 1995 secondary to 0.12538 to arrive at 0.47022 in 2004. The effect to the environment health being continuance degeneration involves three main factors human economic activity, rat damage and global warming and so on.

**Key words**: ecological security; AHP model; index system; fuzzy level analytic method; predict

(上接第23页)

## GIS based assessment of sensitivity of land eco environment in Shaanxi Province

LI Junyi, WU Jinfeng, XUE Liang, CHEN Xiaojun

(College of Tourism and Environmental Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, Shaanxi)

**Abstract**: In accordance with the ecological environment sensitive theory and the problems of land ecological environment existing in Shaanxi Province at present, fully considering the ecological environment sensitive influence factors, this paper has selected soil erosion, geological disaster, biodiversity and other<sup>3</sup> ecologic sensitive factors, and determined its superimposition value. Through the acquisition of information, real investigates and studies, quantitative evaluation and other methods, it obtains special charts of<sup>5</sup> appraisal factors. They are the type of soil erosion and the intensity chart, the type of desert and the intensity chart, the chart of geology disaster, ecological environment remote sensing synthesis evolution map, nature protection area and the forest park distribution map. The paper carries on the superimposition analysis using ArcGIS software to special charts of<sup>5</sup> single essential factors according to first rank of ecologic sensitive, obtains land ecological environment sensitive district of the Shaanxi Province. It has discovered that the extreme sensitive area accounts for 9.38% of the total area in Shaanxi Province, which lies mainly in north Shaanxi along the Great Wall. The specific weight sensitive area accounts for 18.61%, which is distributed in Yulin area south of the Great Wall and part of the Qinling region, the ecologic sensitivity is stronger in this area. The moderate sensitive area accounts for 23.3%, which is distributed in the majority of Qinling region and the border region between Yulin and Yan'an. The sensitive area accounts for 33.03%, which is distributed the Weibei and southern part of Yan'an, the majority of Mountain Ba and part of Qinling regions. The low sensitive area accounts for 15.67%, which is mainly distributed in the Guanzhong plain, the valley of the Han River and so on.

**Key words**: ecological environment; assessment on sensitivity; GIS; Superimposition analysis