

# 基于 GIS 的山地城市生态敏感性分析研究

张伟<sup>1</sup>, 王家卓<sup>1</sup>, 任希岩<sup>1</sup>, 高均海<sup>1</sup>, 何舸<sup>2</sup>

(1. 中国城市规划设计研究院, 北京 100037; 2. 中国城市规划设计研究院深圳分院, 广东 深圳 518040)

**摘要:**生态敏感性分析是城市规划布局的重要依据。以典型山地城市谷城县为例,根据山地生态系统特征,选取坡度、高程、植被覆盖、地质灾害、河流水库缓冲区 5 个因子,将研究区划分为极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感和不敏感 5 个等级。利用 AHP 确定因子权重,结合 GIS 空间分析技术,得到综合生态敏感性空间分布图,5 个敏感级面积比重分别为 23.96%, 13.56%, 36.68%, 17.26%, 8.54%。在生态敏感性分析的基础上,对生态功能区进行了划定,并分别提出了相应的保护和发展建议,为城市规划和城市发展用地选择提供了科学依据,减小了城市发展对生态系统破坏的风险。

**关键词:**生态敏感性; 生态功能区; GIS; 山地

**中图分类号:** TU982.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2013)03-0044-04

## GIS-based Ecological Sensitivity Analysis of Mountainous Areas

ZHANG Wei<sup>1</sup>, WANG Jia-zhuo<sup>1</sup>, REN Xi-yan<sup>1</sup>, GAO Jun-hai<sup>1</sup>, HE Ge<sup>2</sup>

(1. China Academy of Urban Planning and Design, Beijing 100037, China;

2. China Academy of Urban Planning and Design in Shenzhen, Shenzhen, Guangdong 518040, China)

**Abstract:** Ecological sensitivity analysis is frequently used in urban planning. A typical mountainous city (Gucheng county) is studied. Five factors are selected to evaluate the eco-sensitivity, including slope, elevation, vegetation cover, geologic hazards, and buffer zone of rivers. Ecological sensitivity is classified into five grades, that is extreme sensitivity, strong sensitivity, moderate sensitivity, slight sensitivity and insensitivity. The overall ecological sensitivity is evaluated and displayed on space scale by using analytic hierarchy process (AHP) and spatial analysis in Geographical Information System (GIS). The area percentages of the five grades are 23.96%, 13.56%, 36.68%, 17.26% and 8.54%, respectively. Ecological function regions are determined based on the evaluation results and advice for each region is given respectively to provide the scientific support for urban planning and land use aiming to reduce the risk of ecosystem damage.

**Key words:** ecological sensitivity; ecological function region; GIS; mountainous areas

随着人类对自然环境干扰范围和强度的不断加大,由此引起的区域生态环境问题已不容忽视,保护和改善生态环境已经成为全球日益重视的重大问题,生态敏感性评价是确定需要优先或重点开展生态环境建设和保护的区域的一种有效的方法。生态敏感性指生态系统对人类活动干扰和自然环境变化的反应程度,表征发生区域生态环境问题的难易程度、可能性大小及恢复的速度<sup>[1]</sup>。目前国内外对生态系统敏感性的研究日益重视,已从单一生态敏感性研究发展到生态敏感性综合评价,取得了不少成果<sup>[2-6]</sup>,但研究多集中在流域<sup>[7-8]</sup>、地区或省级区域<sup>[9-14]</sup>等大尺度

上,对县域等中等尺度的研究较少<sup>[15-16]</sup>。

本文在县域尺度上,以典型山地城市——湖北省襄樊市谷城县为例,在借鉴相关研究成果的基础上,借助 GIS 的空间分析功能,采用因子叠加法<sup>[17-18]</sup>,探索山地生态敏感性评价的指标体系,通过单因子分析和多因子综合评价相结合,明确生态敏感性的区域分布特征,以期对谷城县的城市发展规划以及生态环境建设和保护规划方案的制定提供科学依据。

## 1 研究区域概况

谷城县位于湖北省襄樊市西北部,处于东经

111°7'30"—111°52'0", 北纬 31°53'0"—32°29'40" 之间,东西全长 69 km,南北宽 66 km,县域平面呈不规则的等腰三角形,版图面积 2 553 km<sup>2</sup>。谷城县地势西南高、东北低,海拔在 71 m(茨河镇的九道湾)至 1 584 m(赵湾乡的青龙山)之间。南河以南的山脉为荆山山脉的余脉,南河以北属武当山脉的余脉。山地面积为 1 986 km<sup>2</sup>,丘岗为 332 km<sup>2</sup>,平原为 255 km<sup>2</sup>,俗称“八山半水一分半田”。县内主要河流有南河、北河、汉江 3 条水系,流域面积 1 110.88 km<sup>2</sup>。全县多年平均降雨量为 981.4 mm,最大年降雨量为 1 723.3 mm,最小年降雨量为 572.6 mm。谷城县自然资源丰富,拥有大薤山国家级森林公园,汉江国家级湿地公园,南河湿地省级自然保护区。谷城县辖 9 镇、1 乡、1 个经济开发区、1 个旅游度假区。据 2010 年第六次全国人口普查结果,谷城县总人口 52.36 万人,其中城镇人口 17.90 万人,非城镇人口 34.46 万人,男女性别比为 100.52(女=100)。

## 2 研究方法

### 2.1 生态敏感评价因子的选择

影响生态敏感性的因子随研究区域和研究尺度而不同。欧阳志云等<sup>[1]</sup>在对中国生态环境敏感性划分研究中选用了气候、地形、土壤、地表覆盖度等因子;杨志峰等<sup>[19]</sup>在进行广州市生态敏感性分析时,根据城市生态系统的特点和当地实际,选用了土地利用现状、面积、坡度、当地保护区类型和物种多样性 5 个生态因子。

本文选用层次分析法(AHP)进行生态敏感性综合评价研究<sup>[20]</sup>。由于生态环境系统具有综合性和复杂性特点,生态敏感性指标选取不宜过细,否则难免交叉重叠<sup>[21]</sup>,为减小指标之间的相关性,并考虑数据的可获得性,AHP 只包括目标层和指标层。目标层为综合生态敏感性。根据谷城县山地地形地貌及河流特征,依据区域特殊性、综合性、代表性等原则,选取 5 个生态环境因子(坡度、高程、植被覆盖、地质灾害、河流水库缓冲区)作为 AHP 指标层要素。地形地貌是影响生态敏感度的重要因子,其中高程和坡度较为明显;谷城县内山林面积大,植被类型多样,其对生态敏感度的影响也会不同;山地城市地形地貌复杂、自然环境多变,地质灾害多发;城市开发建设在不同程度上会对河流水库的水环境产生影响,而水环境质量的优劣直接影响着生态系统的稳定性和可持续性。作为自然保护区、森林公园、湿地公园、地震断裂带缓冲区等具有重要生态地位的要素不进行单独评价,而作为重点生态敏感区进行标记。

### 2.2 评价指标体系的构建

根据 AHP 方法来构建指标体系,具体步骤为:

(1) 建立由选取的 5 个生态因子组成的生态敏感性评价层次结构模型;分级主要是依据公认的分级标准和相关研究成果,并结合谷城县特殊的地形地貌、生态本底和城市发展的需要。

以对高程和坡度因子的分级为例,谷城县地形起伏多变,主要组成为海拔 100 m 以下为平原;100~150 m 之间为平岗地;150~500 m 之间为剥蚀丘陵区,大于 500 m 的为侵蚀溶蚀中低山区,因此在分级体系中高程以 100、150 m 和 500 m 作为分级界点。按照《水土保持综合治理规划通则(GB/T15772—2008)》中的分级标准,将坡度划分为五级。

(2) 根据每个评价因子的不同分级对环境敏感度影响程度的不同,对每个分级进行评价标准赋值。本研究采用 5 级评价标准,0 为极敏感,1 为高度敏感,2 为中度敏感,3 为轻度敏感,5 为不敏感。

(3) 根据不同评价因子对环境敏感度的影响不同,对不同评价因子进行权重确定。根据层次分析法构造生态敏感度两两判断矩阵,求得矩阵的特征向量和特征值,初步计算各评价因子的权重,最后通过一致性检验来判断所确定的权重值是否接近客观实际<sup>[22]</sup>。

根据以上分析步骤,确定的谷城县生态敏感性评价指标体系和各因子的权重值见表 1。

表 1 谷城县生态敏感性评价指标体系

评价因子	等级分类	评价值	权重
坡度	<5°	5	0.25
	5°~15°	3	
	15°~25°	2	
	25°~35°	1	
	>35°	0	
高程	<100 m	5	0.30
	100~150 m	3	
	150~500 m	2	
	<500 m	1	
植物多样性	无植被区	5	0.15
	果树林/速生丰产林/其他经济林	3	
	水土保持林/薪炭林	1	
	植被水源涵养区	0	
地质灾害	中易发区	3	0.15
	高易发区	1	
河流水库缓冲区	<400 m	5	0.15
	200~400 m	3	
	100~200 m	2	
	<100 m	1	

## 2.3 数据来源与处理

高程数据利用分辨率为 30 m 的 ASTER DEM 数据,并由其派生出坡度数据;植物多样性数据来自谷城县林业局提供的林相分布图(JPG 格式);地质灾害分区和水系图来自谷城县国土局提供的 MapGIS 数据。

(1) 数据预处理。林相图通过 ArcGIS 10 的影像分类工具建立训练样本,并通过最大似然进行分类,通过众数滤波、边界清理等工具进行分类后处理;地质灾害分区和水系数据通过 MapGIS“属性库管理”功能模块导出为“.dbf”格式,用“文件转换”功能模块把原文件转换成“.shp”格式。

(2) 生态敏感性单因子评价。应用 ArcGIS 10 软件,通过缓冲、要素转栅格、重分类等工具对每个评价因子分别赋予相应的等级数值,制作单因子生态敏感性分析图(附图 4—5、图 1)。

(3) 生态敏感性综合评价。完成单因子生态敏感性分析后,对各因子的生态敏感性进行加权叠加,通过 GIS 空间分析中的栅格计算器,计算得到谷城县的生态敏感性综合评价初步结果。运用自然分类法将其分为极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感和不敏感 5 个区域,并进行聚合和边界清理等后处理,以消除小图斑。最后把具有重要生态敏感性的区域,包括自然保护区、森林公园、湿地公园、地震断裂带缓冲区等叠加到综合评价结果图中,得到最终的生态敏

感性分区图(附图 8),其中重点生态敏感区的评级标准见表 2。

表 2 重点生态敏感区评级标准

类别	评价价值
大薤山国家森林公园	0
南河自然保护区、薤山自然保护区、老街、承恩寺	0
生态保育区	0
汉江湿地公园	1
其他区	1
温泉/南河小三峡风景区	1
地震断裂带 300 m 缓冲区	0

## 3 结果与分析

### 3.1 单因子生态敏感性分析

单因子敏感性的空间分布(附图 4—5,图 1,表 3)表明,水土保持林和薪炭林是整个生态系统的构成主体(73.7%),具有较大的生态服务价值,发挥着重要的生态功能,是高度敏感的用地类型;山地景观丰富,生态系统的垂直地带性分布明显,500 m 以上的高度敏感的地区占 26.6%,150~500 m 之间的中度敏感地区占 46.8%。谷城县地质结构复杂,近 80% 的面积为中低山及丘陵,属鄂西北崩塌滑坡泥石流极易发区。2004 年全县调查地质灾害及其隐患点 190 处,滑坡 112 个、崩塌 13 个、不稳定斜坡 47 个、塌岸 16 个、泥石流 2 个。根据地质灾害易发程度分区评价标准,谷城县地质灾害易发程度分为高易发区和中易发区,分别占总面积的 30.65% 和 69.35%。

表 3 单因子的敏感性分级面积

因子	极敏感		高度敏感		中度敏感		轻度敏感		不敏感	
	面积/ km <sup>2</sup>	比例/ %								
坡度	179.44	7.04	398.64	15.64	667.73	26.20	888.00	34.86	414.35	16.26
高程	—	—	677.62	26.59	1192.22	46.79	421.07	16.53	257.17	10.09
植物多样性	31.67	1.24	1878.11	73.73	—	—	248.45	9.75	389.12	15.28
地质灾害	—	—	780.87	30.65	—	—	1767.19	69.35	—	—
河流水库缓冲区	—	—	254.11	9.97	213.58	8.38	379.96	14.91	1700.42	66.73

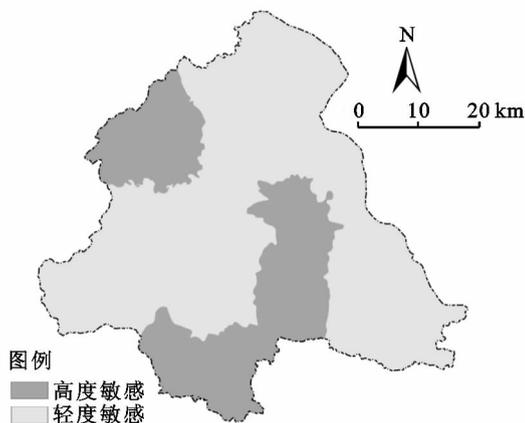


图 1 地质灾害生态敏感性空间分布

### 3.2 综合生态敏感性分析

综合生态敏感性的空间分布(附图 6,表 4)可知,极敏感区域面积占谷城县总面积的 23.96%,主要分布在大薤山国家森林公园、南河自然保护区、地震断裂带缓冲区以及水域用地;高度敏感区域占总面积的 13.56%,主要分布在西南山区和汉江湿地公园的非生态保育区,地形主要以 500 m 以上的中低山为主,坡度在 25°~35°之间,主要为林地;中度敏感区域占总面积的 36.68%,主要分布在高程在 150~500 m 之间的丘陵区,坡度一般在 15°~25°之间,主要也是林业用地。轻度敏感区域占总面积的 17.26%,主要分布在 100~150 m 之间的平岗地,以林地和农业用

地为主;不敏感区域占总面积的 8.54%,主要分布在南北河下游和汉江沿岸,地形以平原为主,土地利用以建设用地为主。

表 4 谷城县综合生态敏感性分析结果

敏感性等级	面积/km <sup>2</sup>	比例/%
极敏感	610.09	23.96
高度敏感	345.40	13.56
中度敏感	934.00	36.68
轻度敏感	439.50	17.26
不敏感	217.40	8.54

### 3.3 基于生态敏感性的生态功能分区

根据地形地貌、生态条件,结合生态敏感性分析结果,将谷城县生态功能区初步划分为生态保护区、生态控制区和生态引导区(附图 7)。

生态保护区主要为极敏感和高度敏感区,分布在谷城县西南丘陵低山地带,此区含有丰富的自然资源,具有很高的生态价值,一旦遭到破坏极易出现生态环境问题。针对该区的生态环境特点和生态敏感性问题,区内应严格限制土地建设,做好生态恢复工作;加强管理力度,禁止进行有损生态环境的各种活动,严禁占用区内土地进行破坏景观、污染环境的开发建设。

生态控制区主要为中度敏感和轻度敏感区,包括水土流失较为严重的山地和丘陵地区、饮用水源地水体周围,主要分布在谷城中部及东北部。此区应严格控制城市建设用地性质的开发,严格控制建筑的密度和体量;对已经破坏的山体、水体和植被进行有计划地修复工作;水土流失严重的山区做好退耕还林工作,禁止陡坡开垦;加强区域生态环境研究,制定生态保护措施。

生态引导区覆盖现有城镇建成区及其周围适宜城镇发展的低敏感区域,是未来城市重点发展的区域。此区应加强城市容量研究,切忌过度开发;开发强调生态环境补偿和城市环境美化;建设要注意防止水体污染。

## 4 结论

本文分析了反映山地特征的主要生态因子,建立了生态敏感性评价指标体系,系统发展了利用 GIS 技术进行生态敏感性评价的方法,引入了层次分析法,减少了主观因素的影响,增加了评价的客观性和科学性。以典型山地城市谷城县为例,通过该方法进行生态敏感性评价并初步进行生态功能区划分,主要结论有:

(1) 本文选取坡度、高程、植被覆盖、地质灾害、

河流水库缓冲区 5 个基础生态因子以及自然保护区、森林公园、湿地公园、地震断裂带缓冲区等重要生态因子作为评价指标,比较适用于县域尺度山地城市的生态敏感性分析评价,并结合 GIS 技术,能够有效地识别生态敏感性空间分布特征,并对其进行定量分析和制图表达。

(2) 谷城县生态敏感性空间分布特征为:极敏感、高度敏感和轻度敏感区主要分布在海拔 150 m 以上的丘陵山地区;轻度敏感和不敏感区集中分布在海拔较低的平岗地和平原。其中生态极敏感、高度敏感、中度敏感、轻度敏感和不敏感 5 个区域面积比重分别为 23.96%, 13.56%, 36.68%, 17.26% 和 8.54%。

(3) 结合生态敏感性分析,将谷城县生态功能区初步划分为生态保护区、生态控制区和生态引导区,并针对不同区域提出了相应的控制措施与策略。

### 参考文献:

- [1] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 10-13.
- [2] 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.
- [3] 张磊,刘利强,胡海波,等. 基于区域开发的钦州市生态敏感性分析及防控对策[J]. 生态与农村环境学报, 2009, 25(3): 16-20.
- [4] 叶其炎,杨树华,陆树刚,等. 玉溪地区生物多样性及生境敏感性分析[J]. 水土保持研究, 2006, 13(6): 75-78.
- [5] Cariboni J, Gatelli D, Liska R, et al. The role of sensitivity analysis in ecological modeling [J]. Ecological modelling, 2007, 203(1): 167-182.
- [6] 罗鹏,石军南,孙华. 基于 GIS 空间模型的库区生态敏感性评价研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(2): 255-258.
- [7] 潘竟虎,董晓峰. 基于 GIS 的黑河流域生态环境敏感性评价与分区[J]. 自然资源学报, 2006, 21(2): 267-273.
- [8] 杜军,姚孝友,孙希华,等. 基于 GIS 的山东沂沭泗河流域土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持研究, 2006, 13(1): 165-167.
- [9] 岳书平,张树文,闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. 地理学报, 2007, 62(8): 879-886.
- [10] 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.
- [11] 陈诚,陈雯,王波. 环太湖地区环境敏感区划定与分区[J]. 经济地理, 2009, 29(1): 97-101.
- [12] 吴克宁,韩春建,冯新伟,等. 基于 3S 技术的土地生态敏感性分区研究[J]. 土壤, 2008, 40(2): 293-298.

- 2005,37(5):877-887.
- [11] 和文祥,朱铭莪. 陕西土壤脲酶活性与土壤肥力关系分析[J]. 土壤学报,1997,34(4):392-398.
- [12] 戴伟,白红英. 土壤过氧化氢酶活度及其动力学特征与土壤性质的关系[J]. 北京林业大学学报,1995,17(1):37-41.
- [13] 吕桂芬,吴永胜,李浩荒,等. 荒漠草原不同退化阶段土壤微生物、土壤养分及酶活性的研究[J]. 中国沙漠,2010,30(1):104-109.
- [14] 孙权,陈茹,宋乃平,等. 宁南黄土丘陵区马铃薯连作土壤养分酶活性和微生物区系的演变[J]. 水土保持学报,2010,24(6):208-212.
- [15] 刘淑娟,张伟,王克林,等. 桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性[J]. 生态学报,2011,31(19):5789-5796.
- [16] 毛志刚,谷孝鸿,刘金娥,等. 盐城海滨湿地盐沼植被及农作物下土壤酶活性特征[J]. 生态学报,2010,30(18):5043-5049.
- [17] 金裕华,汪家社,李黎光,等. 武夷山不同海拔典型植被带土壤酶活性特征[J]. 生态学杂志,2011,30(9):1955-1961.
- [18] 闫正龙,王晓国,高凡,等. 塔里木河干流上游地区土壤盐渍化时空变化监测分析[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(10):105-110.
- [19] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1986.
- [20] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1977.
- [21] 周兆麟,李毓芝. 数理统计学[M]. 北京:中国统计出版社,1986:56-78.
- [22] 明道绪. 通径分析的原理与方法[J]. 农业科学导报,1986,1(1):39-43.
- [23] 董莉丽,郑粉莉. 黄土丘陵区不同土地利用类型下土壤酶活性和养分特征[J]. 生态环境,2008,17(5):2050-2058.
- [24] 徐万里,唐光木,盛建东,等. 垦殖对新疆绿洲农田土壤有机碳组分及团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报,2010,30(7):1773-1779.
- [25] 左智天,田昆,向仕敏,等. 澜沧江上游不同土地利用类型土壤氮含量与土壤酶活性研究[J]. 水土保持研究,2009,16(4):280-285.
- [26] 余娜,刘济明,张超,等. 不同沙生植被土壤酶活性分异特征研究[J]. 水土保持研究,2010,17(1):78-83.
- [27] 周玮,周运超,李进,等. 喀斯特地区土壤有机碳及其碳转化酶研究[J]. 水土保持研究,2009,16(1):84-89.
- [28] 解媛媛,谷洁,高华,等. 微生物菌剂酶制剂化肥不同配比对秸秆还田后土壤酶活性的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(2):233-238.
- [29] 吴际友,叶道碧,王旭军. 长沙市城郊森林土壤酶活性及其与土壤理化性质的相关性[J]. 东北林业大学学报,2010,38(3):97-99.
- [30] 郑宪滨,张正杨,邢国强,等. 追施钾肥对烤烟叶片和土壤钾含量的影响[J]. 安徽农业科学,2008,36(1):34-37.
- [31] 王群,夏江宝,张金池,等. 黄河三角洲退化刺槐林地不同改造模式下土壤酶活性及养分特征[J]. 水土保持学报,2012,26(4):133-137.

(上接第47页)

- [13] 杨月圆,王金亮,杨丙丰. 云南省土地生态敏感性评价[J]. 生态学报,2008,28(5):2253-2260.
- [14] 单勇兵,李志江,马晓冬. 基于GIS的徐州生态敏感性分析[J]. 水土保持研究,2011,18(4):244-247.
- [15] 尹海伟,徐建刚,陈昌勇,等. 基于GIS的吴江东部地区生态敏感性分析[J]. 地理科学,2006,26(1):64-69.
- [16] 李阳兵,邵景安,王世杰,等. 基于岩溶生态系统特性的水土流失敏感性评价[J]. 山地学报,2007,25(6):671-677.
- [17] Chen Y, Yu J, Shahbaz K, et al. A GIS-Based Sensitivity Analysis of Multi-Criteria Weights [C]. 18th World IMACS/ MODSIM Congress, Cairns, 2009:13-17.
- [18] Chen Y, Yu J, Khan S. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation [J]. Environmental Modelling & Software, 2010,25(12):1582-1591.
- [19] 杨志峰,徐俏,何孟常,等. 城市生态敏感性分析[J]. 中国环境科学,2002,22(4):73-77.
- [20] 赵焕臣. 层次分析法:一种简易的新决策方法[M]. 北京:科学出版社,1986.
- [21] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京:高等教育出版社,2002.
- [22] 边馥萍,杨正方. 城市用地选择的系统分析及程序设计[J]. 城市规划,1997(2):48-51.