

# 基于 RS 和 GIS 的长沙市生态功能分区\*

曹小娟 曾光明\*\* 张硕辅 周建飞 朱华 石林

(湖南大学环境科学与工程系, 长沙 410086)

**【摘要】** 提出了基于城市、城郊生态过渡区及其周围自然生态支持系统为统一体的城市生态功能分区思想,并建立了长沙市生态-社会-经济信息系统数据库.通过参数选取与权重确定,进行生态适宜度、生态环境敏感性、生态服务功能重要性与经济社会发展水平分区.依据生态功能的空间异质性和生态功能单元内部均质性,将长沙市划分为5类城市生态功能区:Ⅰ类区占总面积的29.47%;Ⅱ类区占总面积的32.5%;Ⅲ类区占总面积的25.95%;Ⅳ类区占总面积的9.63%;Ⅴ类区占总面积的2.45%.分区结果对长沙市发展有指导意义.该研究方法优点有:制图过程量化、自动化;可在短期内产生最新专题图产品;结合GPS和RS,可以通过监测区域边界类型的变化,进行生态环境监控,为RS数据实时进入GIS系统提供了途径.

**关键词** 生态功能分区 城市生态系统 遥感 空间异质性

文章编号 1001-9332(2006)07-1269-05 中图分类号 Q149 文献标识码 A

**Ecological functional regionalization of Changsha City based on RS and GIS.** CAO Xiaojuan, ZENG Guangming, ZHANG Shuofu, ZHOU Jianfei, ZHU Hua, SHI Lin (*Department of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410086, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(7): 1269 ~ 1273.

A delineation method based on the idea of regarding urban-suburban-supporting area as a system was presented in this paper, with an ecological-social-economic database created. A total of five ecological suitability regions, four ecological sensitivity regions, four ecological service regions, and five economic development regions were plotted out, and the Changsha City ecosystem was divided into five ecological functional regions, according to the heterogeneity among ecological functional units and the similarity of interior units. The areas of the five functional regions accounted for 29.47%, 32.5%, 25.95%, 9.63% and 2.45% of the total area, respectively. This research method had some advantages over traditional methods. It was flexible and efficient, because it could accept any combination of parameters organized on a polygonal base map. The variables could be added, deleted, or updated to produce new thematic map products in a short period of time. Mapping procedures were quantitative and automated. With the incorporation of remote sensing data and global position system rapid positioning, the ecological and environmental changes could be detected by monitoring the changes of regional boundary patterns. Therefore, the ecological functional regionalization of Changsha City provided a fine way of integrating remote sensing data, global position system, and geographic information system.

**Key words** Ecological functional regionalization, Urban ecosystem, Remote sensing, Spatial heterogeneity.

## 1 引言

生态分区经历了从自然分区到功能分区的发展,研究对象也从以自然要素为基础发展到以生态系统为基础<sup>[30]</sup>.生态功能是生态系统的属性.传统的生态功能分区主要考虑生态、地理和气候的空间分异特征<sup>[9]</sup>.本研究把城市生态系统看作由城市、城郊生态过渡区及周围自然生态支持系统组成的有机统一体<sup>[26]</sup>,充分考虑了人类活动与生态系统的相互作用.随着地理信息系统(GIS)的空间分析功能的增强<sup>[1,11]</sup>,遥感(RS)技术在开发各种生态系统数据库中具有一定的优势<sup>[20,25]</sup>.对生态系统类型和时空尺度问题的量化研究在增长<sup>[16]</sup>,但生态分区的纯定量技术还不太成熟<sup>[4]</sup>,遥感数据直接用于生态分区研究也存在一定的阻力<sup>[8,17]</sup>,RS和GIS结合用于

生态分区的方法还不太完善<sup>[14,28]</sup>.本研究采用Landsat TM遥感数据,利用GPS快速定位和获取数据准确的能力,为GIS采集、更新和修正数据,为RS数据实时进入GIS系统提供了途径,研究结果对城市规划具有指导意义.

## 2 研究地区与研究方法

### 2.1 自然概况

以长沙市(111°53'~114°15'E, 27°51'~28°40'N)为研究区,总面积为11 819.5 km<sup>2</sup>,其中城区面积1 450 km<sup>2</sup>,海拔高程23.5~1607.9 m.研究区地质构造复杂,地层褶皱、断裂发育,地势由南向北倾斜,气候为亚热带季风湿润气候.区域

\* 国家杰出青年科学基金(50225926, 50425927)、高等学校博士学科点专项科研基金项目(20020532017)和2000年教育部高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目.

\*\* 通讯联系人. E-mail: zgming@hnu.cn  
2005-07-05 收稿, 2006-05-26 接受.

内植物属亚热带常绿阔叶林植物,植物种类繁多。

## 2.2 分区原则

生态系统功能分区遵循了如下几个原则: 1) 生态系统功能的分异原则. 城市生态系统内部结构、功能和过程具有分异特征<sup>[31,32]</sup>. 生态功能分异原则是城市生态功能分区的理论基础<sup>[12,18]</sup>. 2) 主导生态功能一致性原则. 在各评价参数中, 筛选出主导参数, 并赋予相关权重, 同时还应考虑参数的相互影响与综合作用. 在同一生态功能区域, 其生态系统结构、功能基本相同<sup>[33]</sup>. 3) 生态-社会-经济可持续发展原则. 城市生态功能分区要结合社会经济发展水平, 实现资源的合理开发利用, 避免生态环境破坏, 坚持生态、社会、经济效益相统一<sup>[5,22]</sup>. 4) 可操作性原则。

## 2.3 研究方法

本研究选取 1986 和 2000 年两期 Landsat TM 遥感影像作为数据源, 经过配准校正、降噪增强、数据融合, 采用自动分类、结合目视解译的方法, 并通过全球定位系统 (GPS) 进行空间定位与野外实地校核, 得到土地利用、坡度、植被等数据<sup>[19,24]</sup>, 并利用长沙市 1:25 万 DEM 数据及经济、社会数据, 建立长沙市生态-社会-经济信息系统数据库. 考虑到不同尺度生态分区结果的统一与分级管理的需要<sup>[6,23]</sup>, 长沙市生态功能分区应与大尺度生态分区结果相协调<sup>[10]</sup>, 其主要划分依据为生态适宜度、生态环境敏感性、生态服务功能重

要性与经济社会发展水平, 技术路线见图 1。

## 3 结果与分析

### 3.1 生态适宜度分区

依据对土地利用方式影响的显著性及指标的相对独立性<sup>[21,27]</sup>, 筛选评价因子, 用 5、3、1 表示评价因子对城市生态适宜程度的高低, 并采用层次分析法 (AHP) 确定指标权重 (表 1). 依据评价因子分级标准, 计算出基于不同栅格的单因子评价结果, 并在 GIS 的栅格加权叠加技术支持下, 采用加权因子法对单因子评价结果进行叠加分析, 计算公式为:

$$S_i = \sum_{k=1}^n B_{ki} W_k \quad (1)$$

式中,  $i$  为栅格编号,  $k$  为影响第  $i$  个栅格的评价因子编号,  $n$  为影响第  $i$  个栅格的评价因子总数,  $W_k$  为  $k$  因子对第  $i$  个栅格的权值,  $B_{ki}$  为第  $i$  个栅格的第  $k$  个评价因子适宜度评价,  $S_i$  为第  $i$  个栅格的综合评价值。

对表 1 中的 8 个评价因子加权叠加, 对综合适宜度  $S_i$  叠加结果进行处理、聚类, 划分为最适宜用

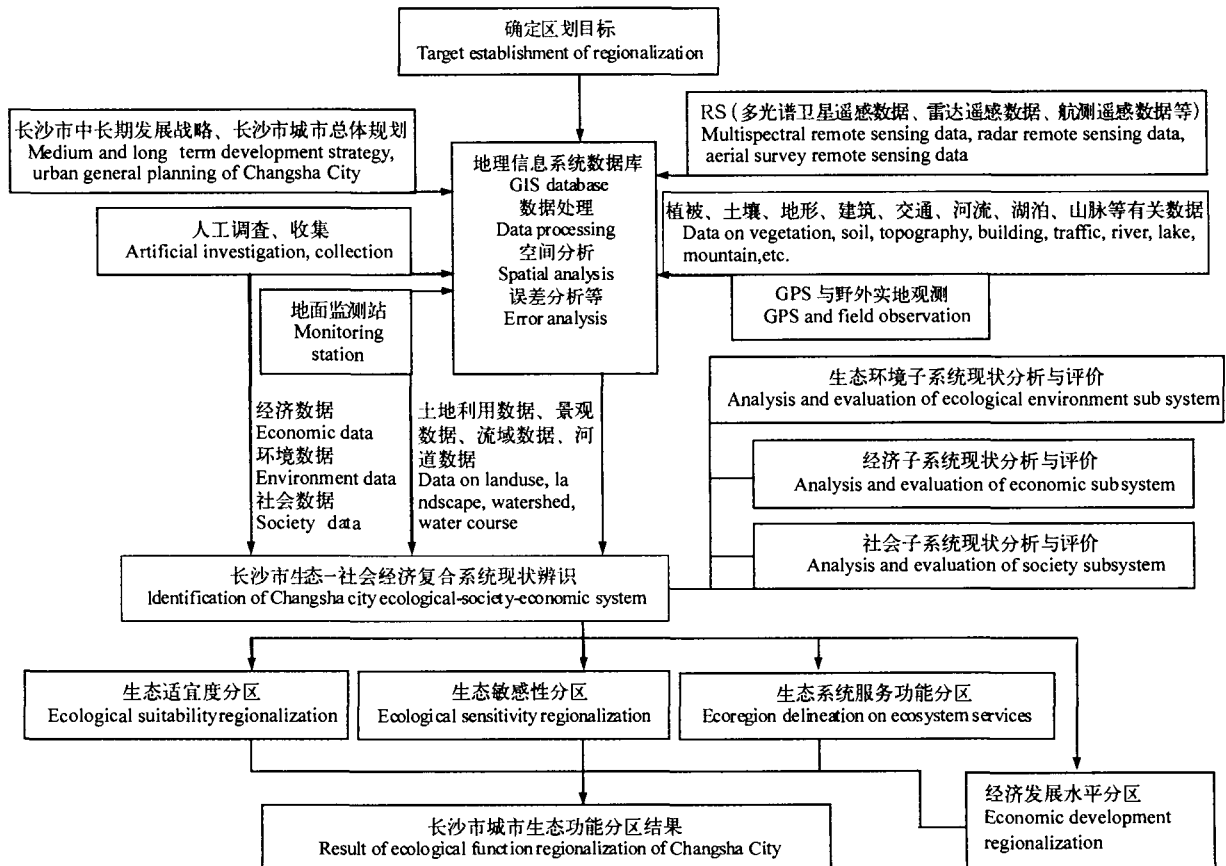


图1 长沙市城市生态功能分区技术路线

Fig. 1 Flow chart of Changsha ecological function regionalization.

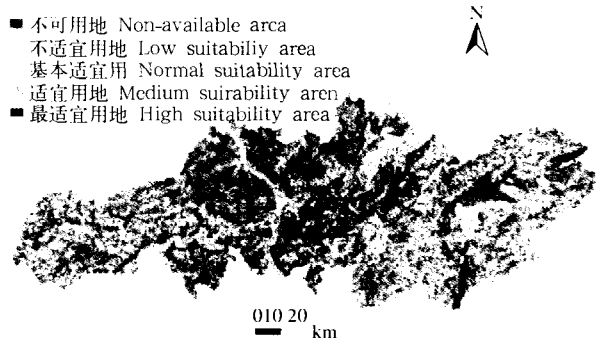
**表 1 生态适宜性评价因子分级标准及权重**  
**Table 1 Classification standard and weights of ecological suitability evaluation factors**

评价因子 Evaluation factors	属性 Attributes	评价价值 Evaluation of estimate	权重 Weights
坡度 Slope	< 5%	5	0.15
	5 ~ 20%	3	
	> 20%	1	
地基承载力 Ground bearing capacity	承载力大 High capacity	5	0.10
	承载力中等 Medium capacity	3	
	承载力小 Low capacity	1	
土壤生产力 Productivity of soil	生产力低 Low productivity	5	0.10
	生产力中等 Medium productivity	3	
	生产力高 High productivity	1	
植被 Vegetation	旱地, 无自然植被区 Dry land, no natural vegetation area	5	0.15
	荒山灌木草丛区 Fell, shrub, tussock area	3	
	自然密林、果林区 Natural dense crop, fruit bearing forest area	1	
	土壤渗透性 Soil permeability	渗透性低 Low permeability	
渗透性中等 Medium permeability	3		
渗透性高 High permeability	1		
地表水 Surface water	小水塘及无水区 Small pond, non-aqueous area	5	0.10
	灌溉渠及大水塘 Irrigation channel, large pond	3	
	支流、溪流及其影响区 Tributary stream, rivulet and influence area	1	
居民点用地程度 Residential area land use	< 5%	5	0.12
	5 ~ 30%	3	
	> 30%	1	
景观价值 Landscape value	人文、自然景观价值低 Low value of human and natural landscape	5	0.18
	人文、自然景观价值中等 Medium value of human and natural landscape	3	
	人文、自然景观价值高 High value of human and natural landscape	1	

地(3.95 < S<sub>L</sub> ≤ 4.79)、适宜用地(3.55 < S<sub>L</sub> ≤ 3.95)、基本适宜用地(3.15 < S<sub>L</sub> ≤ 3.55)、不适宜地(2.69 < S<sub>L</sub> ≤ 3.15) 和不可用地(1.97 ≤ S<sub>L</sub> ≤ 2.69) 5类(图2)。

**表 2 生态敏感性评价因子分级标准及权重**  
**Table 2 Classification standard and weights of ecological sensitivity evaluation factors**

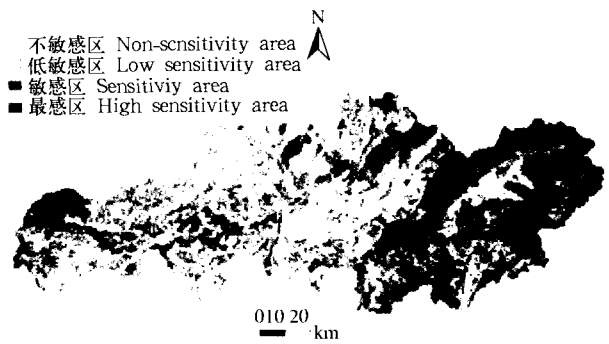
评价因子 Evaluation factors	评价标准 Evaluation standard	分级 Classification	评价价值 Evaluation of estimate	权重 Weights
土壤渗透性 Soil permeability	保护地下水回复、减少对地下水、土壤的污染 Groundwater reversion protection, groundwater and soil pollution abatement	渗透性高 High permeability	5	0.1
		渗透性中等 Medium permeability	3	
		渗透性低 Low permeability	1	
植被类型 Vegetation pattern	景观游憩, 生物多样性, 环境改善, 水土流失 Landscape excursion, biodiversity, environmental improvement, soil and water loss	密林、立体种植果园 Dense crop, stereo planted orchard	5	0.3
		一般果园, 灌木草丛区 Orchard, shrub-tussock area	3	
		农地及其它 Farm land and others	1	
地表水 Surface water	景观游憩, 野生生物生境, 污染敏感性 Landscape excursion, wildlife habitat, pollution sensitivity	溪流及其影响区 rivulet and influence area	5	0.1
		大水塘, 灌溉渠 Large pond, irrigation channel	3	
		其它 Others	1	
坡度 Slope	水土流失, 土壤侵蚀 Soil and water loss, soil erosion	> 20%	5	0.2
		5 ~ 20%	3	
		< 5%	1	
特殊价值 Special value	生态保护、美学价值、历史文化价值、娱乐价值 Ecological protection, aesthetic value, historical value, recreation value	价值高 High value	5	0.3
		价值中等 Medium value	3	
		价值一般 General value	1	



**图 2 生态适宜度分区**  
**Fig. 2 Ecological suitability regionalization.**

### 3.2 生态敏感性分区

考虑城市生态资源的可持续利用, 选取生态敏感性分区的评价因子<sup>[13,15]</sup>, 用 AHP 法赋予合适权重, 如表 2 所示. 依据适宜度评价价值 S<sub>E</sub> 把土地生态敏感性分为最敏感区(3.6 < S<sub>E</sub> ≤ 4.4)、敏感区(2.8 < S<sub>E</sub> ≤ 3.6)、低敏感区(2.0 < S<sub>E</sub> ≤ 2.8) 和不敏感区(1.0 ≤ S<sub>E</sub> ≤ 2.0) 4 个类型(图3)。



**图 3 生态敏感性分区**  
**Fig. 3 Ecological sensitivity regionalization.**

表3 生态系统服务功能评价因子分级标准及权重  
Table 3 Classification standard and weights of ecological service factors

评价因子 Evaluation factors	评价标准 Evaluation standard	评价价值 Evaluation of estimate	权重 Weights
生产功能 Production	土壤生产力、水土保持、生物多样性 Productivity of soil, water and soil conservation, biodiversity	高 High value 5 中等 Medium value 3 一般 General value 1	0.22
土地利用程度 Land use	植被、居民点、城镇用地 Vegetation, Settlements, City land utilization	高 High value 5 中等 Medium value 3 一般 General value 1	0.24
净化功能 Purification	污水处理率、工业废气处理率、固体废物处置率 Polluted water treatment ratio, industry gaseous waste disposal ratio, solid wastes disposal ratio	高 High value 5 中等 Medium value 3 一般 General value 1	0.21
水源涵养 Water conservation	土壤渗透性、植被覆盖、地下水 Soil permeability, greening coverage ratio, groundwater level	高 High value 5 中等 Medium value 3 一般 General value 1	0.18
能源消耗 Energy consumption	煤、石油、天然气、电力 Coal, petroleum, gas, electric power	高 High value 5 中等 Medium value 3 一般 General value 1	0.15

### 3.3 生态系统服务功能分区

一般对生态系统服务功能的研究多限于自然生态系统<sup>[7,29]</sup>。本研究选取坡度、植被、净化功能、水源涵养、能源消耗等能反映城市生态系统生产、生活和还原特征的评价因子(表3),对不同生态服务功能单元及价值大小进行评估,然后根据各生态系统服务功能价值 $S_R$ ,将长沙市生态服务功能分为最重要区( $3.9 < S_R \leq 4.4$ )、重要区( $3.2 < S_R \leq 3.9$ )、一般区( $2.1 < S_R \leq 3.2$ )和不重要区( $1.3 \leq S_R \leq 2.1$ )(图4)。

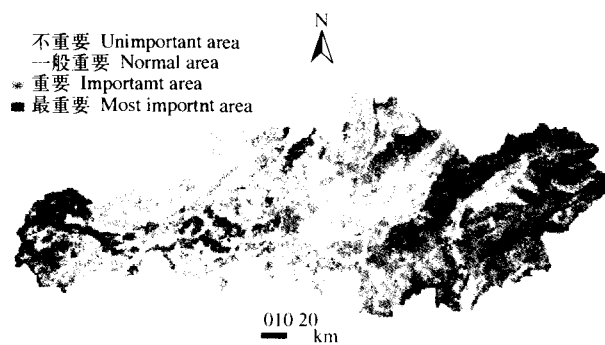


图4 生态系统服务功能分区  
Fig. 4 Ecoregion delineation on ecosystem services.

### 3.4 经济发展水平分区

选取 GDP、农林牧渔业总产值、规模以上工业总产值、固定资产投资额、人口为评价因子,用 AHP 法确定的权重分别为 0.28、0.12、0.16、0.16、0.28。此全重重点反映产业结构与经济发展水平。按行政区划界限将经济发展水平分为 5 类(图5)。

### 3.5 生态功能分区

综合生态适宜性、敏感性、生态服务功能、经济发展水平,将长沙市生态功能划分为 5 类分区(图6): I 类区占总面积的 29.47%,该区经济发展水平低,主要为河流源头区及重要水源涵养林,生态敏感

性最强,很容易受到外来干扰的影响,或具有最重要的生态服务功能,需要重点保护; II 类区占总面积的 32.5%,该区经济发展水平较低,生态敏感性强,对外来的干扰抵抗力弱,或对长沙市的发展具有生态屏障功能; III 类区占总面积的 25.95%,地势平坦,经济发展一般,抵抗外来干扰的能力较强,水网密度较高; IV 类区占总面积的 9.63%,经济发展水平较高,生态敏感性中等,系统稳定性较好,外界的开发建设活动对它的影响不大,生态服务功能一般,城市化程度高; V 类区占总面积的 2.45%,经济发展水平高,生态敏感性低,生态环境较差,是主要的城市区域。

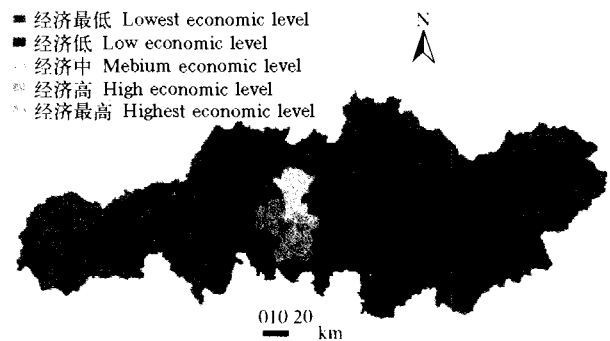


图5 经济发展水平分区  
Fig. 5 Economic development level regionalization.

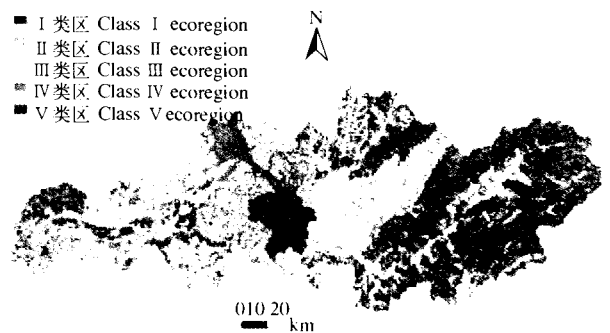


图6 长沙市生态功能分区  
Fig. 6 Ecological function regionalization of Changsha.

## 4 结 语

生态区域的一个重要特征是其层次结构。GIS 空间分析是利用区域聚类分析,将初级单元合并成较大的区域,并建立生态系统的层次结构。尽管气候、植被、坡度、土壤等在形成生态空间类型中的主导作用得到普遍认可,但是在具有管理职能的城市生态功能分区中,确定最具代表性的参数组合仍十分困难。研究区边界是固定的,而在实际自然环境中,通常为过渡边界,即生态交错区<sup>[2,3]</sup>。GIS 空间分析的优点包括:1)制图过程量化、自动化;2)变量可进行增删、更新、重新组合,在较短时间内可生成最新专题图;3)结合遥感数据,可以进行生态环境监控。其缺点有:1)参数选择、分区结果校正都需要专家知识;2)数据要求精度相似,质量可靠,具有代表性,并能反映研究区的环境特性。

## 参考文献

- Aspinall RJ, Pearson DM. 2000. Integrated geographical assessment of environmental condition in water catchments: Linking landscape ecology, environmental modeling and GIS. *J Environ Manage*, **59**(4):299~319
- Attrill MJ, Rundle SD. 2002. Ecotone or ecocline: Ecological boundaries in estuaries. *Estuarine Coastal Shelf Sci*, **55**(6):929~936
- Bailey RG. 2004. Identifying ecoregion boundaries. *Environ Manage*, **34**(1):14~26
- Bernert JA, Eilers JM, Sullivan TJ, et al. 1997. A quantitative method for delineating regions: An example for the western corn belt plains ecoregion of the USA. *Environ Manage*, **21**(3):405~420
- Bertinelli L, Clarke SE. 2004. Urbanization and growth. *J Urban Econ*, **56**(1):80~96
- Bryce SA, Clarke SE. 1996. Landscape-level ecological regions: Linking state-level ecoregion frameworks with stream habitat classifications. *Environ Manage*, **20**(3):297~311
- Bydekerke L, Ranst E van, Vanmechelen L. 1998. Land suitability assessment for cherimoya in southern Ecuador using expert knowledge and GIS. *Agric Ecosyst Environ*, **69**(2):89~98
- Clarke SE, White D, Schaedel AL. 1991. Oregon, USA, ecological regions and subregions for water quality management. *Environ Manage*, **15**(6):847~856
- Davis WS, Simon TP. 1995. Biological Assessment and Criteria: Tools for Water Resource Planning and Decision Making. US: CRC Press. 49~50
- Fu B-J (傅伯杰), Liu G-H (刘国华), Chen L-D (陈利顶). 2001. Scheme of ecological regionalization in China. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **21**(1):1~6 (in Chinese)
- Harding JS, Winterbourn MJ. 1997. An ecoregion classification of the South Island, New Zealand. *J Environ Manage*, **51**(3):275~287
- Jia L-Q (贾良清), Ouyang Z-Y (欧阳志云), Zhao T-Q (赵同谦), et al. 2005. The ecological function regionalization of Anhui Province. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **25**(2):254~260 (in Chinese)
- Kalogirou S. 2003. Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation. *Computers Environ Urban Syst*, **26**(23):89~112
- Koutsias N, Karteris M. 2003. Classification analyses of vegetation for delineating forest fire fuel complexes in a Mediterranean test site using satellite remote sensing and GIS. *Int J Remote Sensing*, **24**(15):3093~3104
- Lathrop Jr RG, Bogner JA. 1998. Applying GIS and landscape ecological principles to evaluate land conservation alternatives. *Landscape Urban Planning*, **41**(1):27~41
- Levin SA. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, **73**(6):1943~1967
- Li X, Lu L, Cheng GD, et al. 2001. Quantifying landscape structure of the Heihe river basin, north-west China using Fragstats. *J Arid Environ*, **48**(4):521~535
- Liu G-H (刘国华), Fu B-J (傅伯杰). 1998. The principle and characteristics of ecological regionalization. *Techn Equip Environ Pollut Control* (环境污染治理技术与设备), **6**(6):67~72 (in Chinese)
- Liu Y-H (刘勇洪), Niu Z (牛 铮). 2004. Regional land cover image classification and accuracy evaluation using MODIS data. *Remote Sensing Technol Appl* (遥感技术与应用), **19**(4):217~224 (in Chinese)
- Masson V, Champeaux JL, Chauvin F, et al. 2003. A global database of land surface parameters at 1 km resolution in meteorological and climate models. *J Climate*, **16**(9):61~82
- Messing I, Hoang Fageström MH, Chen LD, et al. 2003. Criteria for land suitability evaluation in a small catchment on the Loess Plateau in China. *Catena*, **54**(3):215~234
- Olsson P, Folke C, Berkes F. 2004. Adaptive comanagement for building resilience in social-ecological systems. *Environ Manage*, **34**(1):75~90
- Omerik JM, Bailey RG. 1997. Distinguishing between watersheds and ecoregions. *J Am Water Resour Ass*, **33**(5):935~949
- Price JC. 2003. Compare MODIS and ETM+ data for regional and global land classification. *Remote Sensing Environ*, **86**(4):491~499
- Ramsey RD, Falconer A, Jensen JR. 1995. The relationship between NOAA AVHRR NDVI and eco-regions in Utah. *Remote Sensing Environ*, **53**(3):188~198
- Richard R. 2002. *Ecocities: Building Cities in Balance with Nature*. Berkeley: Hills Books, Inc. 34~35
- Sicat RS, Carranza EJM, Nidumolu UB. 2005. Fuzzy modeling of farmers' knowledge for land suitability classification. *Agric Syst*, **83**(1):49~75
- Singh VP, Singh AN. 1996. Remote sensing and GIS-based methodology for the delineation and characterization of rain fed rice environments. *Int J Remote Sensing*, **17**(7):1377~1390
- Svoray T, Bar P, Bannet T. 2005. Urban land-use allocation in a mediterranean ecotone: Habitat heterogeneity model incorporated in a GIS using a multi-criteria mechanism. *Landscape Urban Planning*, **72**(4):337~351
- Wright RG, Murray MP, Merrill T. 1998. Ecoregions as a level of ecological analysis. *Biol Conserv*, **86**(2):207~213
- Yang X-B (杨小波), Wu Q-S (吴庆书). 2002. *Urban Ecology*. Beijing: Science Press. 47~56 (in Chinese)
- Yang Z-F (杨志峰), Xu Q (徐 俏), He M-C (何孟常). 2002. Analysis of city ecosensitivity. *China Environ Sci* (中国环境科学), **22**(4):360~364
- Zhou YC, Narumalani S, et al. 2003. A GIS-based spatial pattern analysis model for eco-region mapping and characterization. *Int J Geogra Inf Sci*, **17**(5):445~462

作者简介 曹小娟,女,1980年生,硕士生。主要从事 3S 技术与城市生态研究。E-mail:hnu\_cxj@126.com

责任编辑 梁仁禄