

快速城市化区域生态安全的空间模糊综合评价 ——以广州市为例

龚建周^{1,2}, 夏北成^{1,*}, 陈健飞²

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275; 2. 广州大学地理科学学院, 广州 510006)

摘要:随着经济的快速发展,城市生态安全状况令人担忧。进行城市生态安全评价,了解城市生态安全状况成为城市生态建设、改善和提高城市生态安全状况的前提。基于 TM 遥感数据以及 GIS 平台,构建评价指标体系,采用空间模糊评价方法进行生态安全的空间综合评价,进而分析其时间与空间变化。生态安全空间分布图及其属性的统计结果表明,整体上讲,广州市生态安全等级为一般,并且随时间推移,生态安全状态比较稳定,但是在 1995 年受到较大的破坏;不同区域之间生态安全的对比分析显示,广州市生态安全的城乡差异明显,中心城区生态安全状态堪忧;将研究结果与作者早已经完成的同区域基于统计数据的生态安全评价分析结果进行趋势对比,二者显示出一致性,表明基于格网的空间模糊综合评价方法用于生态安全评价是可行的,研究的设计也是合理的,但是这种空间综合评价方法却具有传统方法不具备的优点:不仅具有可视化的表达效果,还有利于不同范围大小区域之间的对比研究。

关键词:区域生态安全;空间模糊评价;3S;变权;广州

文章编号:1000-0933(2008)10-4992-10 中图分类号:Q142, Q149, X171.1 文献标识码:A

Spatially fuzzy assessment of regional eco-security in Guangzhou, a fast-urbanizing area: a case study in Guangzhou City

GONG Jian-Zhou^{1,2}, XIA Bei-Cheng^{1,*}, CHEN Jian-Fei²

1 School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

2 School of Geographical Sciences, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4992 ~ 5001.

Abstract: The security of ecosystems (eco-security) in urban areas has become a serious problem in fast economic development and urbanization. Regional eco-security and environmental conditions must be improved, first, by understanding eco-security and making assessments of its current status. Based on remote-sensing TM images of Guangzhou and using GIS methods, an index system for eco-security assessment was developed, an assessment was performed with spatially fuzzy sets, and the temporal and spatial dynamics of regional eco-security were analyzed. The index system and gridded pattern of eco-security revealed that the level of eco-security in Guangzhou has been fairly steady with some variation at different times. Before 1995, eco-security was stable but decreased near 1995, when its level was lowest. Comparing different districts, the level in Guangzhou City was lower than that in its suburb districts and in a serious state. The results of assessment for eco-security based on gridding could be shown spatially and visibly, and were useful for spatial comparison to understand different regional eco-security levels. This achievement with the spatially fuzzy set method was an obvious

基金项目:中山大学 985 工程环境污染控制技术创新平台资助项目

收稿日期:2008-03-22; 修订日期:2008-04-28

作者简介:龚建周(1970~),女,土家族,湖北恩施人,博士,从事环境生态与生态环境管理研究. E-mail: gongjzh66@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zsxhbc@163.com

Foundation item: The project was financially supported by environment and pollution control project of 985 engineering of Sun Yat-Sen University

Received date: 2008-03-22; **Accepted date:** 2008-04-28

Biography: GONG Jian-Zhou, Ph. D., mainly engaged in environmental ecology and management. E-mail: gongjzh66@126.com

improvement over results obtained by the author with other assessment methods. In eco-security levels, results were the same, but more characteristics for assessment were included in this method, such as the spatial pattern of eco-security. This work shows that using spatially fuzzy sets for regional eco-security assessment is a reasonable and reliable method.

Key Words: regional eco-security; spatially fuzzy set; 3S; variable weight; Guangzhou City

城市化的快速推进给人类创造出极丰富的物质财富,同时也给生态环境带来诸多问题,危害到城市生态安全。进行城市生态安全评价,了解掌握城市生态安全状况与发展动态,成为解决城市生态环境问题的前提,是维持城市的持续发展能力与生态系统结构和功能完整性的基础^[1]。

城市是一个半自然半人工的复合生态系统,进行城市生态安全的评价也有别于其它生态系统,许多学者对此进行了探索。如谢花林^[2]、刘福智等^[3]、赵运林^[4]等都对城市生态安全评价指标体系的构建进行研究,周文华^[5]、施晓清^[6]、龚建周^[7]、高长波^[8]等专门对城市生态安全评价方法与模型进行的探索。尽管如此,城市生态系统是复杂的、动态的并且具有区域特色,如何构建适当的评价体系以及选择合理的评价模型,仍然是城市生态安全评价的难度,并且这些研究的成果也缺乏可视化的效果。随着遥感与计算机技术的发展,构建空间的综合评价模型开始受到关注^[9],为获得直观可视化的评价结果、进行不同空间尺度下生态安全状况的比较分析提供可能。

广州市是中国经济快速发展的前沿多功能特大城市,其独特的经济发展速度与规模以及自然的地理区位特点,使大气与水环境的问题成为城市生态安全水平的关键性生态环境要素。而经济的持续发展和人口规模的膨胀,不可避免地以侵占大量自然资源为代价,绿地被大量蚕食所带来的生态环境问题,严重影响了人们的生活质量,也影响到区域中心城市形象。基于这些生态环境问题,以及前人的相关研究,本文采用模糊综合评价模型,进行基于格网的广州城市生态安全的空间综合评价,进而分析生态安全的时间动态与空间差异。不仅是对城市生态安全评价方法和模型的探讨,也是城市生态安全状态与趋势的剖析,为构建景观安全的城市生态格局和城市生态建设提供理论支持。

1 研究区概况与基础数据

1.1 研究区概况

广州市位于珠江三角洲的中心腹地,地处 $E112^{\circ}57' \sim 114^{\circ}3'$, $N22^{\circ}26' \sim 23^{\circ}56'$ 。行政区域界线曾多次调整,本文采用2000年的行政分区方案,即:芳村、荔湾、越秀、东山、海珠、天河、黄埔、白云、番禺、花都等10区和从化、增城2个市。总面积 7434.4 km^2 ,地势东北高,西南低,北部和东北部是山区,中部是丘陵、盆地,南部是珠江三角洲沿海冲积平原。

广州是中国走向世界的优良海港和重要的进出口岸,同时还与全国各地密切联系,素有中国“南大门”之称。改革开放以来,广州凭其优良的地理优势和丰厚的文化底蕴,经济得以迅速发展,城市以惊人的速度扩展,给城市生态环境带来了巨大的压力,产生了一系列城市环境问题,严重影响了人们的生活质量,影响到区域中心城市形象。

1.2 基础数据

研究所用的基础数据包括:覆盖广州市域的 Landsat TM 遥感影像数据(1990-10-13、1995-12-30、2000-10-14、2005-10-22),为研究的主要空间数据,卫星轨道号为 122/04385(122/44 上移 15%),以此为基础生成许多衍生数据;辅助图件数据包括广州市行政区划图(2000 年区划图)和广州市地形图(1:5 万);另外还有来源于《中国统计年鉴》、《广东省统计年鉴》的人文社会经济统计数据,以及来源于各行政区域的环境监测数据。

2 评价指标体系

2.1 评价指标体系的建立

基于 PSR 概念模型,即压力-状态-响应模型^[10~12],参考相关文献资料^[13],兼顾评价的科学性、地域性要

求和数据的可获取性,以及以遥感影像为主要数据源,同时考虑到研究区主要生态环境要素的,从人口-资源-经济-环境污染与城市生态环境状况等多个方面出发,构建研究区生态安全评价的指标体系(表1)。

表1 广州城市生态安全评价指标及其标准值

Table 1 Indicators and their criteria for assessment of urban eco-security in Guangzhou

目标层 Object layer	准则层 Criteria layer	指标层 Index layer		数据来源 Data source	趋向 Tendency	标准值 Mark value	标准志参考标准 Reference standard
		指标名称 Index name	代码 Code				
城市生态安全 评价指标体 系 UEAIS	人文社会环境 压力指标 Human-social- environment pressure index	人口自然增长率 I_1	x_1	统计资料 Statistic	逆 Negative	5.87	2004 年全国平均值 S_1
		人均 GDP(元/人) I_2	x_2		正 Positive	80 000	进入发达国家的基本 标准(世界银行标准) S_2
		人类干扰指数 I_3	x_3	影像影像 TM image	逆 Negative		专家评分后赋值 S_3
		主要交通干线缓冲区分级 I_4	x_4				
		城镇建设用地缓冲区分级 I_5	x_5				
		SO ₂ 日均值超标率(%) I_6	x_6	统计资料 Statistic		0	环境空气质量标准二 级标准(GB3095-1996) S_4
		工业废水达标排放率(%) I_7	x_7		正 Positive	100	国际大城市标准以及 国内领先城市值 S_5
		区域环境噪声平均分贝(db) I_8	x_8		逆 Negative	60	国家环境保护局规定 的创模指标 S_6
		年降雨量距平百分比(%) I_9	x_9				平均值 S_7
		暴雨次数 I_{10}	x_{10}				
	状态指标 State index	地表亮温分布 I_{11}	x_{11}	影像影像 TM image			直接在图层数据上采 取极差赋值法 S_8
		海拔高度 I_{12}	x_{12}	DEM			
		地形坡度 I_{13}	x_{13}				
		土壤侵蚀强度指数 I_{14}	x_{14}	影像影像 TM image			
		生态系统服务价值 I_{15}	x_{15}		正 Positive		
		归一化植被指数(NDVI) I_{16}	x_{16}				
		植被盖度(%) I_{17}	x_{17}				
		生态环境系统弹性度 I_{18}	x_{18}				
		景观多样性指数 I_{19}	x_{19}				
		高生态功能景观类型面积比率 I_{20}	x_{20}				
		高生态功能景观类型的密度指 数 I_{21}	x_{21}		逆 Negative		
	人文环境响应 指标 Human- environment response index	文体卫科学事业费用占 GDP 的比 重(%) I_{22}	x_{22}	统计资料 Statistic	正 Positive	3.76	2004 年全国平均值 S_9
		每千人口医院卫生院床位数(张/ 千人) I_{23}	x_{23}		逆 Negative	5.02	2004 年北京、上海、广 州平均值 S_{10}

I_1 : Natural growth rate of population; I_2 : GDP per capital (yuan); I_3 : Index of human impact; I_4 : Buffer grade of main traffic roads; I_5 : Buffer grade of constructed land; I_6 : Rate of exceeding criteria of SO₂; I_7 : Legal rate of industrial discharge (%); I_8 : Average of regional noise (db); I_9 : Rate of difference of annual precipitation to average; I_{10} : Times of rainstorm annually; I_{11} : Temperature of land surface from TM image; I_{12} : Elevation; I_{13} : Terrain; I_{14} : Index of soil erosion; I_{15} : Value of eco-system service; I_{16} : Normalized vegetation index; I_{17} : Index of vegetation cover; I_{18} : Flexibility of eco-system; I_{19} : Index of Landscape diversity; I_{20} : Rate of landscape area with high ecological value; I_{21} : Density of landscape area with high ecological value; I_{22} : Percent of cultural, physical, and scientific investment to GDP; I_{23} : Hospital beds percent thousand people. S_1 : Average of natural growth rate of whole China in 2004; S_2 : Reference value of GDP as a developed country (World bank criteria); S_3 : Assessment value by experts; S_4 : Second level of atmosphere environment (GB3095-1996); S_5 : Reference value of advanced city in the world; S_6 : Criteria as a Model City of Environmental Protection; S_7 : Average; S_8 : Extreme difference derived from digital map; S_9 : Average of China in 2004; S_{10} : Average of Beijing, Shanghai, and Guangzhou in 2004

2.2 部分评价指标的解释

人类干扰指数参照陈浮的 Leopold 矩阵方法和 Delphi 打分法^[14,15],分别计算了各种土地利用/覆被类型的人类影响参数,本文取两种方法确定的参数的平均值。

缓冲区效应指数^[16~18]包括交通干线和居民地两种缓冲区的效应指数。基于已有的城市梯度分异的研究成果^[19],分别以铁路、高速公路、国道和省道为轴线,形成主要公路的缓冲区效应强度分值图。基于城镇用地和农村居民用地对生态环境影响强度,构建建设用地的缓冲区效应指数。

地表温度是环境温度的主体,城市地表温度是城市热岛的体现。通过 TM 影像第六波段数据反演广州市地表亮温,生成亮温指数图层。土壤侵蚀强度指数由 TM 遥感影像解译获取广州市土壤侵蚀分布图,基于通用的土壤强度等级划分方案划分侵蚀强度等级。由 DEM 衍生成海拔高度和地形坡度指标图层。

归一化植被指数(NDVI)和植被盖度指标图层的生成方法见文献^[20]。基于 Constanza^[21,22]对生态系统服务价值的估算,以及研究区地处亚热带地区,生态系统第一性生产力较高的特点,取各类型生态系统的高值,估算研究区的生态服务系统价值。生态系统的弹性力指数基于已经形成的土地覆盖类型图,对土地覆盖类型图与植被盖度图进行叠置分析,获取不同覆被类型的盖度值,参考文献资料,分别赋以弹性度得分而形成。

2.3 指标数据的标准化

各指标的量纲不统一,需先对指标因子进行标准化处理。根据数据来源与特征不同,分别用专家赋值、与标准值的贴近度和极差法 3 种方法。首先,专家赋值法主要针对坡度、海拔等表征地形地貌因子。

其次,由遥感解译直接或间接获取生态系统状态的数据尚属前沿领域,仍然缺乏不同区域之间可以比较的数据,或者缺乏不同区域可以对比分析数据的有效方法。因此,没有可以借鉴的参考或标准值。为此,对于遥感信息源获取的数据,采用极差法进行标准化^[23],包括人类干扰指数、地表亮温、海拔高度、地形坡度、生态系统服务价值、NDVI、植被盖度、生态环境系统弹性度、景观多样性指数、高生态功能景观类型面积比率、高生态功能景观类型的密度指数等共 11 个指标。

最后,其余指标主要来源于统计数据,有可参考的标准值。如果仍然采用极差法对指标进行标准化,而不将指标数据值与其标准值进行关联,某些指标的标准化值反映的环境安全状况可能会偏颇。比如,当所有的人口自然增长率都高于标准值时,用极差方式对数据进行标准化处理后,得到的标准化值仍然在 0~1 之间,显然不能很好地反映实际情况。为此,用指数值与标准值的接近度将原始数据无量纲化,计算模型见文献资料^[24,25]。

以上操作过程生成 3 种类型的图件:专题数据图件、DEM 地形要素图件、TM 遥感影像的专题图件。为满足基于像元的评价分析,所有图层都转换成 grid 格式,栅格大小为 30m×30m。

3 生态安全空间模糊综合评价

空间模糊综合评价是基于 GIS 的空间栅格数据而形成的一种模糊综合评价方法^[9]。以模糊数学为基础,最小评价单元为栅格单元,通过构建空间数据中各格网的单因素指标的隶属函数,求算隶属度,逐格网进行模糊综合评价。从而达到对边界不清、难以量化的空间目标对象定量化评判的目的。

3.1 确定评价对象集、因素集和评语集

根据论文设计方案,对象集 $O = \{\text{区域城市生态系统}\}$,因素集 $U = \{23 \text{ 个评价指标}\}$,评语集 $V = \{\text{差、较差、一般、良、优}\} = \{I, II, III, IV, V\}$ 。

3.2 指标权重的计算

评价因素集中各因素对评价目标的重要性是不等的。根据因素的重要性确定单因素在评价中的重要性比例,就是权重值。所有因素的权重值构成权重向量。权重确定正确与否将直接影响到评价结果的准确性与实用性。因此,权重向量的确定成为模糊评价结论可靠性的关键环节。基于张燕^[26]的变权思想,先用主成分分析方法,确定城市生态安全指标体系中各单项指标的权重,作为生态安全评价的常权;以此为准构造不同数据组的“变权”向量函数,用以惩罚特别差的环境因子对于生态安全的影响。变权向量函数式:

$$S_j = \begin{cases} 1, & x_j \in [a_j, 1000] \\ 2 - \log_{a_j} x_j, & x_j \in (0, \alpha_j) \end{cases} \quad (1)$$

$$w_j = \frac{w_j^0 s_j}{\sum_{j=1}^k w_j^0 s_j} \quad (2)$$

式中, S_j 、 S_j 分别为指标 j 变权系数、变化权重, α_j 为惩罚水平, 根据研究的生态安全指标等级关联, 小于 30 的生态环境的生态安全水平为差, 取 $\alpha_j = 30$ 。

3.3 单因素的模糊评价

模糊综合评价就是确定评价的对象集、因素集、评语集, 运用模糊数学的原理求解, 关联对象集与评语集并作出评语的过程。根据论文设计, 对象集 $O = \{\text{区域城市生态系统}\}$, 因素集 $U = \{23 \text{ 个评价指标}\}$, 评语集 $V = \{\text{差、较差、一般、良、优}\} = \{\text{I, II, III, IV, V}\}$ 。相对于评语集, 对应的等级模糊子集分别为 L, K, J, I, H 。单因素的模糊评价就是求各因素对等级模糊子集中不同等级的隶属度, 通过构建不同的隶属函数来完成。

前面已经将所有指标进行了标准化, 指标数据值已不存在正负效应, 数据越大, 其对于生态安全的贡献也越大, 因此, 所有指标的单因素模糊评价方法相同。5 个等级对应的隶属函数表达式为:

$$V_H(x) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 80 \\ 100 \times \left\{ 1 + \left[\frac{3}{10}(x-80) \right]^2 \right\}^{-1} & 80 < x < 90 \\ \frac{x}{100} \times 100 & 90 \leq x \leq 100 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} V_I(x) &= 100 \times \left[1 + \left(\frac{x-80}{10} \right)^2 \right]^{-1} \\ V_J(x) &= 100 \times \left[1 + \left(\frac{x-60}{10} \right)^2 \right]^{-1} \\ V_K(x) &= 100 \times \left[1 + \left(\frac{x-40}{10} \right)^2 \right]^{-1} \end{aligned} \quad (4)$$

$$V_L(x) = \begin{cases} 100 & x \leq 25 \\ 100 \times \left[1 + \left(\frac{x-25}{5} \right)^2 \right]^{-1} & 25 < x \leq 100 \end{cases} \quad (5)$$

构建隶属函数是模糊评价的基础和另一个关键环节。在空间数字环境下, 指标图层的空间运算得到各指标相对于评语等级的隶属度; 利用 GIS 空间图层叠置功能, 在 Arc/info 软件的 grid 模块下, 由条件函数“con”完成。图层运算的范围为广州市域, 基本评价单元为栅格像元, 每个单因素指标的空间模糊评价结果是生成 5 个隶属度图层。

3.4 单层模糊评价和模糊评价结果的单值化

由以上隶属函数的计算结果形成各评价对象的综合评价矩阵, 再进行模糊变换, 生成模糊综合评价向量。其中, 模糊变换模型为 $B_{1 \times 5} = W \circ V$, 符号“ \circ ”为模糊合成算子, 用 $M(\cdot, \oplus)$ 算子。这是一种较为广泛应用的加权模糊合成算子。在研究采用的数字研究环境中, 模糊合成结果是分别对应于评语等级的 5 个图层。这个过程就是单层模糊综合评价的过程。

为进行时间与空间上生态安全水平的比较, 还需进行单值化转换, 即模糊评价结果的单值化。采用的方法是加权平均化。操作步骤是按 5 个等级由高到低分别赋以分值 100、80、60、40、20, 各评价等级向量与对应分值加权求和。模型为:

$$S = \left(\sum_{j=1}^5 b_j^m \varepsilon_j \right) / \sum_{j=1}^5 b_j^m \quad (6)$$

式中, S 为单值化评价结果分值; b_j 为模糊评价向量; m 为待定系数 (一般取 $m = 1$ 或 $m = 2$), 目的是控制

较大的 b_j 所起的主控作用,取 $m=2$,进行评价结果单值化处理; εe_j 为各评语等级赋分值。经过单值化操作后,生成生态安全综合评价指数分布图。

在 GIS 数据指标体系的基础上,对广州市 1990、1995、2000 和 2005 年的生态安全水平进行空间模糊综合评价。最终评价结果为 4 个时相生态安全的空间综合评价指标分布图。

4 结果与分析

4.1 生态安全的隶属特征

按中心城区、花都、番禺、从化市、增城市以及全市范围等 6 个区域,统计各评语等级图层的隶属度平均值(表 2)。表 2 数值是从区域整体平均来讲,评价单元平均隶属于不同模糊等级子集的隶属程度。可以看出,全广州市生态安全主要隶属于等级 V、I 两级,相当于安全评语优、差两个等级;其次是等级 IV(良)。说明生态安全对评语等级的隶属度呈现“极差”现象,生态安全水平的空间差异较大。

表 2 基于变权的各区域生态安全模糊评价不同等级隶属度平均值

Table 2 Mean of degree owed to one security level of each eco-security assessment unit Based on fuzzy mathematics method and changed weights of indices in all areas from 1990 to 2005

区域 Area	年 Year	生态安全评语等级 Grades of eco-security					区域 Area	年 Year	生态安全评语等级 Grades of eco-security				
		I	II	III	IV	V			I	II	III	IV	V
全市 Whole area	1990	31.2	16.6	17.0	20.9	36.2	从化 Conghua	1990	31.6	13.8	16.4	21.8	40.8
	1995	32.3	20.8	16.7	16.3	33.9		1995	31.7	16.7	17.6	16.1	39.1
	2000	29.4	19.2	21.7	19.2	30.5		2000	29.1	15.6	18.6	19.6	39.1
	2005	28.9	19.0	19.2	17.8	35.9		2005	26.7	14.8	18.6	18.1	42.5
中心城区 City center	1990	40.1	15.7	17.5	24.8	28.3	花都 Huadu	1990	33.1	17.9	16.6	20.0	35.8
	1995	43.6	22.0	13.9	14.9	28.3		1995	27.2	20.6	17.6	20.1	33.2
	2000	43.1	19.6	15.3	22.0	26.3		2000	24.6	24.3	19.4	13.3	33.8
	2005	45.6	17.5	16.1	18.5	28.3		2005	28.2	22.4	20.7	16.0	34.4
番禺 Panyu	1990	32.9	17.7	15.5	16.5	35.8	增城 Zengcheng	1990	20.9	19.0	18.5	20.3	38.2
	1995	35.1	25.6	17.8	12.4	31.1		1995	24.1	21.1	16.7	18.6	35.2
	2000	28.0	20.4	25.3	20.8	25.5		2000	22.1	19.4	29.1	18.3	26.1
	2005	35.5	22.1	22.5	12.3	28.5		2005	12.9	20.9	19.4	21.9	41.1

中心城区生态安全不同等级子集的隶属情况却不然,以对等级 I 的隶属度最大,其次是属于等级优,除 2000 年较前期略低外,随时间推移,属于等级 V 的隶属度比较稳定,因为广州市中心城区范围包括白云山在内,白云山起到了城市肺的作用,对于提高城市生态安全水平正效应。表 2 还显示,中心城区生态环境堪忧,表现为属于一般、较差和差的安全等级的隶属度总和较其余区域以及全广州市一直维持高值,且最低安全等级差的隶属度有增大的趋势。同期,等级良的隶属度单调下降。中心城区生态安全各等级隶属度的这种情况表明,广州中心城区仍然将是生态环境恢复、建设与保护的重点,中心城区是生态元素最缺乏的区域,同时又是人口聚集、经济高度集中的区域,如何提高中心城区的生态安全水平,将是广州市生态环境建设、建设生态城市的重中之重,也是提高城市人民生态质量与城市可持续发展的前提与保障。

除此之外,其余 4 个区内的生态安全对各评语等级的隶属度以及变化趋势相似。表现为隶属度随时间波浪式变化,各安全等级的隶属度值的时间变化不大;对安全等级差和优隶属度较大。

4.2 生态安全评价总体状态

用 reclassify 命令,对生态安全评价指数分布图进行分级,生成安全等级分布图(图 1)。从图上可以看出,城市中心区域的生态安全水平较低,为较差安全等级;北部山地和南部海域的生态安全水平较高,属于安全等级水平以上;中部山地区域生态安全水平多为等级良,增城和从化境内部分山地的生态安全水平为等级优。总的说来,广州市生态安全有以下特点:

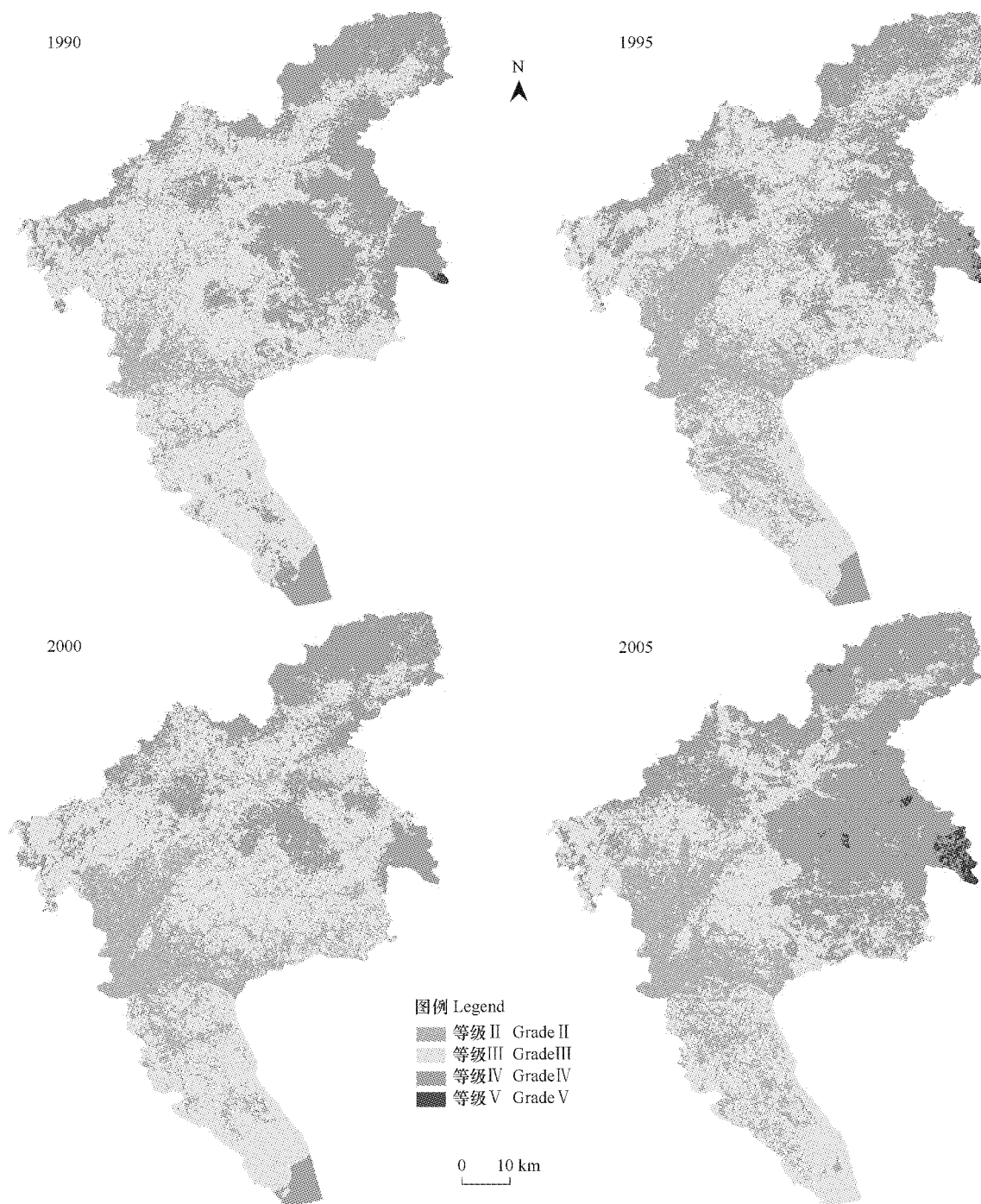


图1 广州市生态安全综合评价等级图

Fig. 1 Classes of synthetic eco-security in Guangzhou City

(1)生态安全水平不高 模糊评价等级结果显示城市生态安全有优(V)和良(IV)的等级,但仍然以一般安全为主。

(2)区域之间的生态安全水平参差不齐 北部山地位置的生态安全水平较高,城区中心最低。然而城市中心区域属于人口和工商业的聚集地,也是生态元素最为缺乏的区域。最应该引起城市规划部门以及相关部门的重视,改善与保护中心城区的生态环境安全状态将成为生态城市建设的主要任务及工作重点。

(3)从时间动态来看,广州城市生态安全曾接受了挑战 快速城市化的15a间,广州城市生态安全曾一

度受到威胁,城市化过程对城市生态安全的负面影响不仅表现在中心城区生态不安全区域面积的增大,也表现为北部山区和南部海域生态安全较高的安全等级区域面积的减少及其景观的破碎化。

(4)从发展趋势看,生态安全已趋向良性方向发展 广州市生态安全良性发展趋势表现为:在 2005 年时,广州市生态安全水平有所提高,表现为中心城区安全性较差的区域面积没有继续增大,而北部山区优和良两个安全等级的面积增加。

4.3 广州市生态安全的基本特征与动态

评价结果进行统计分析,从生态安全综合评价指数分布图的属性获取统计数据,包括最小值、最大值、平均值和变异系数,绘制成图 2 的基本特征统计曲线。

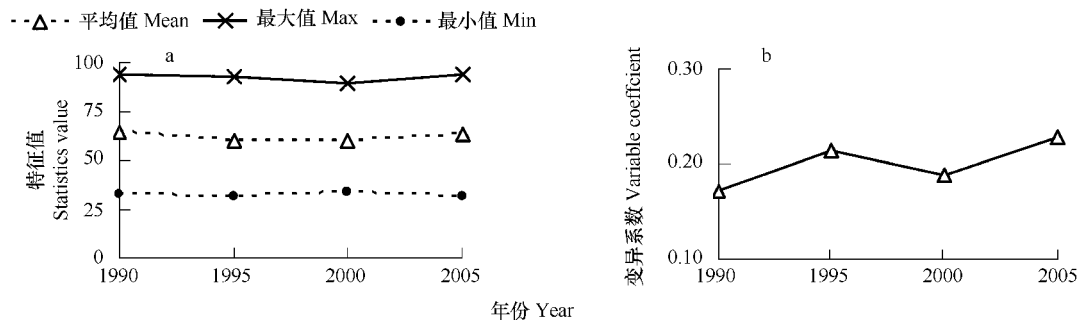


图 2 1990~2005 年间广州城市生态安全动态特征曲线

Fig. 2 Characteristic dynamics of urban eco-security in Guangzhou from 1990 to 2005

从图 2a 可以看出,随时间推移,广州市生态安全水平比较稳定,最小值、最大值、平均值的曲线起伏不大,曲线两端几乎在同一水平线上,较小的波动主要在 1995、2000 年。其中,1995 年时,生态安全最小值、平均值都较低,表示从平均状况和最差安全等级来看,研究区生态安全状态是 1995 年最差,1995~2000 年为恢复与改善时期。尽管如此,最大值的动态曲线显示,生态安全的最大值至 2000 年才出现。图 2b 显示,变异系数总的变化趋势是增大,但不同时段内呈现升降升波动的变化,表明在整个研究时段内,研究区生态安全状态的空间差异呈增大趋势,而不同时段内,这种趋势得到一定缓和。

4.4 不同区域生态安全的特征与动态

分区统计生态安全指数值的平均值以及变异系数,绘制成曲线图 3。从图 3 可以看出,据平均值变化趋势可将区域分成 3 类:一是全市、从化市和增城市,曲线呈“V”型变化(图 3a1),但是各区域曲线到达谷底的时间不同,从化和全市在 1995 年,而增城在 2000 年。说明增城的发展过程较中心城区滞后,曾出现生态安全恶化变化也存在时差。另一类是番禺和中心城区(图 3a2),两曲线几乎平行,番禺区生态安全指数绝对值略大,反映两个区域内生态环境质量的变化趋势相似。第三类是花都,在 1990~1995 年间,其平均值有上幅升高,之后的研究时段内,平均值平稳地小幅度下降,对于这种变化趋势值得引起警惕。

表征区域生态环境安全水平空间变异大小的变异系数图(图 3b)显示,区域呈现出 3 类:一是全市、花都和番禺,变异系数的时间动态变化呈升降升的波浪式变化,系数绝对值也最大,表明从整个市域范围来讲,生态安全指数值的变幅最大;另一类是从化和增城两区域,变异系数曲线呈“U”型变化;最后一类是中心城区,其变异系数值较大,但是其时间动态不大。以上这些动态特征显示,城市生态安全水平既存在时间上的变化,也存在空间上的差异。

5 结论与讨论

本文以 GIS 为研究的数字平台,以 TM 影像为基本数据源,尝试构建主要指数源于遥感数据源的区域生态安全评价指标体系,针对生态安全的模糊性,选用模糊模型对快速城市化地区中心城市——广州城市生态安全进行空间模糊综合评价的案例分析。得到以下主要结论:

生态安全综合评价结果显示,广州市生态安全为一般安全等级,但城乡空间差异较大。北部山地生态安

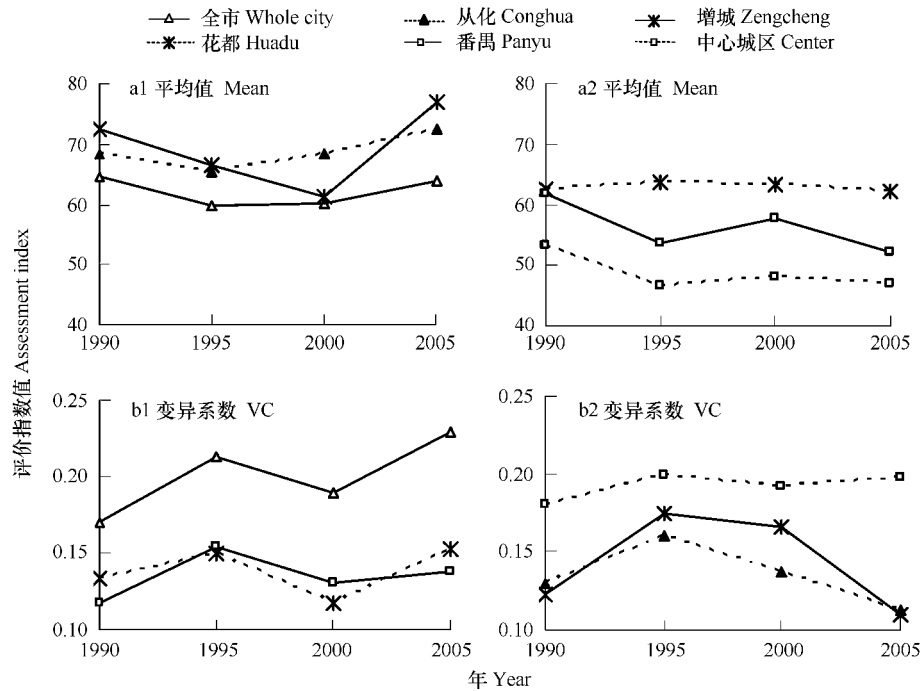


图3 1990~2005年间各区域生态安全平均值及其变异系数

Fig. 3 Means and its variational coefficients of eco-security for different districts from 1990 to 2005

全水平较高,所占区域面积较大,对广州市生态安全水平的正效应贡献大。而城镇所在地以及中心城区的生态安全水平较低,其负效应明显。表明山地区域在维持广州市生态安全格局的重要地位,而中心城区是人口聚集、经济发展的区域,改善其生态环境状况,提高生态安全水平对于整个城市生态安全以及城市持续健康的经济发展的作用却是十分显著的,而且也是迫切需要的,并将持续成为生态城市建设的中中之重。

从时间动态来看,广州市生态安全水平比较稳定,表现为基于像元评价单元的生态安全评价指数值的平均值、最小值、最大值以及变异系数值的时间变化都不大。尽管如此,在1990~1995年间,生态安全仍历经挑战,平均值、最小值都曾达最低,最大值在2000年才至最低值。

采用趋势对比法,将本研究结果与已经完成的基于统计资料的评价结果进行趋势比较^[7],结果表明两种数据源以及不同评价模型反映的广州市生态安全趋势是一致的:都揭示出广州市生态安全在1995年左右为最差。这种结果表明,以遥感影像为数据源进行区域生态安全空间模糊综合评价是可行的,本研究的设计也是合理的。而这种空间综合评价结果具有直观地表达效果,可以很方便地进行不同区域尺度的对比分析,具有独特的优势。生态安全是地理对象呈现出的一种整体状态,具有过渡性特点,对其评价分析结果进行界线分明的等级划分显然偏颇,而模糊评价方法正好可以弥补这种缺陷。

References:

- [1] Zhang H, Ma W C, Ho H H. Recent advances in research on LUCC: based urban ecological security. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(5): 2109-2117.
- [2] Xie H L, Li B. A study on indices system and assessment criterion of ecological security for city. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2004, 40(5): 705-710.
- [3] Liu F Z, Tan L B. A Study on the city landscape ecology security and evaluating model. *J. Xi'an Univ. of Arch. & Tech (Natural Science Edition)*, 2006, 38(2): 253-257.
- [4] Zhao Y L. Appraisal index system & structure function analysis of city ecology security. *Journal of Hunan City University (Natural Science)*, 2006, 15(3): 1-4.
- [5] Zhou W H, Wang R S. Methodology assessment of urban ecological security — a case study of Beijing. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(7): 848-852.
- [6] Shi X Q, Zhao J Z, Ouyang Z Y. Urban eco-security and its dynamic assessment method. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(12): 3237-3243.

- [7] Gong J Z, Xia B C. Assessment and prediction models of urban ecological security. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2006, 45 (1): 107 — 111.
- [8] Gao C B, Chen X G, Wei C H. Application of entropy weight and fuzzy synthetic evaluation in urban ecological security assessment. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10): 1923 — 1927.
- [9] Liu D W, Zhou Y X, Fu Z. Study on spatial fuzzy comprehensive assessment of ecological and environmental quality in west Jilin Province. *Arid Zone Research*, 2006, 23(1): 155 — 159.
- [10] Zuo W. Comprehensive assessment of the regional ecological security based on RS & GIS. Beijing: Surveying and Mapping, 2004.
- [11] Xie H L, Zhang X S. Research on measuring and countermeasure of ecological security in suburb — a case study on haidian district, Beijing City. *China Population, Resources and Environment*, 2004, 14(3): 23 — 26.
- [12] Zuo W, Zhou H Z, Zhu X H, *et al.* Integrated evaluation of ecological security at different scales using remote sensing. *Pedosphere*, 2005, 15(4): 456 — 464.
- [13] Zuo W, Wang Q, Wang W J. Comprehensive assessing models for regional ecological security. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(2): 209 — 214.
- [14] Shi P J, Pan Y Z, Chen J, *et al.* Land use / cover change and environmental security in Shenzhen region. *Journal of Natural Resources*, 1999, 14(4): 293 — 299.
- [15] Chen F, Ge X P, Chen G, *et al.* Spatial different analysis of landscape change and human impact in urban fringe. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(3): 210 — 216.
- [16] Edward J T, Krakover S, Gauthier H. Interactions Between Spread-and-backwash, Pulation Turnaround and Corridor Effects in the Intermetropolitan Periphery. A Case Study. *Urban Geography*, 1992, 13(6): 503 ~ 533.
- [17] Forman R, Godron M. Landscape Ecology. Xiao Du L Tran. Beijing: Science Press, 1990. 67 — 84.
- [18] Zong Y G. Method of marginal utility analysis applied in ecological valuation on urban landscape. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1998, 11(4): 52 — 54.
- [19] Gong J Z, Xia B C. Temporal-spatial grading diversification of land-cover at landscape level in Guangzhou since 1990. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(2): 181 — 190.
- [20] Gong J Z, Xia B C. Remote sensing estimation of vegetation coverage in Guangzhou based on the correction of atmospheric radiation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(3): 575 — 580.
- [21] Costanza R D, Arge R, Groot R D, *et al.* The value of the World's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387: 253 — 260.
- [22] Guo Z, Xiao X, Li D. An assessment of ecosystem services supplied by a Yangtze river watershed: water flow regulation and hydroelectric power production. *Ecology Applied*, 2000, 10(3): 925 — 936.
- [23] Zhang Y, Deng X H, Peng B Z. Evaluating comprehensive quality of sediment in dianchi lake using adjusted AHP method and 137Cs dating. *Environmental Science*, 2006, 27(8): 1531 — 1536.
- [24] Qing S K. Theory and Method of Comprehensive Assessment. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. 13 — 14.
- [25] Zhang B P, Yao Y H, Zhu Y H, *et al.* Scientific basic and working frame for regional ecological security research. *Progress in Geography*, 2005, 24(6): 1 — 7.
- [26] Zhang Y, Dun X H, Peng B Z. Evaluating comprehensive quality of sediment in Dianchi Lake using adjusted AHP method and 137Cs dating. *Environmental Science*, 2006, 27(8): 1531 — 1536.

参考文献:

- [1] 张浩, 马蔚纯, Ho Honghing. 基于 LUCC 的城市生态安全研究进展. *生态学报*, 2007, 27(5): 2109 ~ 2117.
- [2] 谢花林, 李波. 城市生态安全评价指标体系与评价方法研究. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 40(5): 705 ~ 710.
- [3] 刘福智, 谭良斌. 城市景观生态安全及评价模式. *西安建筑科技大学学报(自然科学版)*, 2006, 38(2): 253 ~ 257.
- [4] 赵运林. 城市生态安全评价指标体系与结构功能分析. *湖南城市学院学报(自然科学版)*, 2006, 15(3): 1 ~ 4.
- [5] 周文华, 王如松. 城市生态安全评价方法研究——以北京市为例. *生态学杂志*, 2005, 24(7): 848 ~ 852.
- [6] 施晓清, 赵景柱, 欧阳志云. 城市生态安全及其动态评价方法. *生态学报*, 2005, 25(12): 3237 ~ 3243.
- [7] 龚建周, 夏北成. 城市生态安全评价与预测模型研究. *中山大学学报(自然科学版)*, 2006, 45(1): 107 ~ 111.
- [8] 高长波, 陈新庚, 韦朝海, 等. 熵权模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用. *应用生态学报*, 2006, 17(10): 1923 ~ 1927.
- [9] 刘殿伟, 周云轩, 付哲. 吉林西部环境质量空间模糊综合评价. *干旱区研究*, 2006, 23(1): 155 ~ 159.
- [10] 左伟. 基于 RS、GIS 的区域生态安全综合评价研究——以长江三峡库区忠县为例. 北京: 测绘出版社, 2004.
- [11] 谢花林, 张新时. 城郊区生态安全水平的量度及其对策研究——以北京市海淀区为例. *中国人口. 资源与环境*, 2004, 14(3): 23 ~ 26.
- [13] 左伟, 王桥, 王文杰, 等. 区域生态安全综合评价模型分析. *地理科学*, 2005, 25(2): 209 ~ 215.
- [14] 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. *自然资源学报*, 1999, 14(4): 293 ~ 299.
- [15] 陈浮, 葛小平, 陈刚, 等. 边缘区景观变化与人为影响的空间分异研究. *地理科学*, 2001, 21(3): 210 ~ 216.
- [17] 肖笃宁等译. 景观生态学. 北京: 科学出版社, 1990. 67 ~ 84.
- [18] 宗跃光. 城市景观生态价值的边际效用分析法. *城市环境与城市生态*, 1998, 11(4): 52 ~ 54.
- [19] 龚建周, 夏北成. 1990 年以来广州市土地覆盖景观的时空梯度分异. *地理学报*, 2007, 62(2): 181 ~ 190.
- [20] 龚建周, 夏北成. 基于大气辐射校正的广州市植被覆盖度遥感估算. *应用生态学报*, 2007, 18(3): 575 ~ 580.
- [23] 张燕, 邓西海, 彭补拙. 调整 AHP 法结合 137Cs 计年法评价滇池沉积物综合质量. *环境科学*, 2006, 27(8): 1531 ~ 1536.
- [24] 秦寿康. 综合评价原理与应用. 北京: 电子工业出版社, 2003. 13 ~ 14.
- [25] 张百平, 姚永慧, 朱运海, 等. 区域生态安全研究的科学基础与初步框架. *地理科学进展*, 2005, 24(6): 1 ~ 7.
- [26] 张燕, 邓西海, 彭补拙. 调整 AHP 法结合 137Cs 计年法评价滇池沉积物综合质量. *环境科学*, 2006, 27(8): 1531 ~ 1536.