

基于土地利用变化和 空间统计学的区域生态风险分析 ——以武汉市为例

杜军¹, 杨青华²

(1. 河南省科学院地理研究所, 郑州 450000; 2. 广西师范大学环境资源学院, 桂林 541004)

摘要: 基于2000年、2005年TM影像获取的土地利用信息,以武汉市为研究区域,根据其土地利用结构特征,以GIS技术为数据分析平台,构造了综合性生态风险指数。同时利用空间分析方法对生态风险指数进行了变量空间化,通过对生态风险指数采样结果进行半变异函数分析和空间插值,编制了武汉生态风险程度分布图,以分析解释研究区的生态风险空间分布特征和形成机理。结果显示:2000年、2005年研究区生态风险水平分为3个层次,广大的植被和水域集中分布区域属于低生态风险区,城市建成区和靠近城市建成区边缘形成中度生态风险和生态风险相对较高的分布区域。5 a内各个等级分布的空间也发生了一定程度的变化。

关键词: 土地利用; 生态风险; 空间统计学; 地理信息系统

中图分类号: X 21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2010)02-0102-05

0 引言

区域生态风险评价是在区域尺度上描述和评估区域的环境污染、人为活动或自然灾害对生态系统及其组分产生不利作用的可能性和大小的过程^[1]。20多a来,生态风险评价研究经历了从环境风险到生态风险再到区域生态风险评价的发展历程,风险源由单一风险源扩展到多风险源,风险受体由单一受体发展到多受体,评价范围由局部扩展到区域景观水平^[2]。区域生态风险评价的方法主要有美国生态风险评价的“三步法”,即问题提出、分析和风险表征^[3];荷兰的阈值判定法;英国的基于可持续发展生态风险评价方法及澳大利亚的定性定量相结合的生态风险评价方法^[4,5]。国内还有部分学者从土地利用或景观结构的角来进行区域生态风险评价^[6,7]。不同土地利用方式和强度产生的生态影响具有区域性和累积性的特征,并且可以直观地反映在生态系统的结构和组成上。

本文以武汉市为例,从土地利用对维持和调节区域生态环境的能力存在差异的角度出发,利用层次分析法构建了不同土地利用类型对区域生态风险的权重,利用系统空间采样和空间统计学方法对武汉的区域生态风险进行评价,将土地利用的空间结

构转化为生态风险变量,旨在为武汉生态环境管理提供数量化的决策依据和理论支持。

1 研究方法

1.1 数据获取与空间采样

以武汉2000年和2005年2个时段的TM遥感影像为数据源,对TM4、3、2波段进行假彩色合成。所有遥感图像经过增强、纠正、镶嵌等处理后,根据影像特征,建立不同土地利用类型的判读标志并进行人机交互解译。基于2个年份对应期间的土地利用现状图和相关统计资料,根据全国土地利用分类系统,采用遥感图像处理软件ERDAS 9.1、地理信息系统软件ArcGIS 9.0,通过室内人机交互进行监督分类。完成2000年和2005年土地利用遥感影像分类。数据为Coverage格式,投影方式为等面积割圆锥投影(Albers),中央经线为105°E,双标准纬线分别为25°N和47°N,使用KRASOVSKY椭球体,坐标原点为(0, 0)。将研究区域分为10种土地利用类型:耕地、有林地、疏林地、灌丛、果园、草地、水体、城镇及居民点、工矿用地、未利用土地。对研究区域按照栅格(1 km × 1 km)进行系统采样(图1),以每个栅格的生态风险指数计算结果作为样地中心的生态环境风险值。

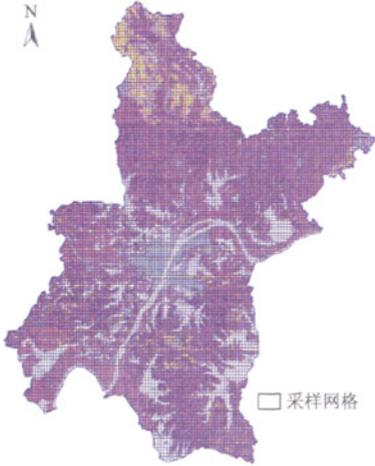


图 1 研究区采样网格

Fig. 1 The sampling grid of study area

1.2 空间分析方法

1.2.1 构建生态风险指数

为建立土地利用与区域生态风险之间的经验关系,利用土地利用类型的面积比重,构造了一个生态风险指数 ER ,用于描述一个样地内综合生态风险的相对大小,以便通过采样方法将土地利用的空间结构转化为生态风险变量,即

$$ER = \frac{\sum_{i=1}^n A_i R_i}{SA} \quad (1)$$

式中, ER 为生态风险指数; n 为土地利用类型的数量; A_i 为区域(样地)内第 i 种土地类型的总面积; R_i 为第 i 种土地利用类型所反映的生态风险强度参数; SA 为土壤侵蚀强度类型(样地)总面积。采用层次分析法确定 R_i 。不同土地利用类型的生态风险权重参数依次为:耕地 0.32、有林地 0.12、疏林地 0.15、灌丛 0.16、果园 0.25、草地 0.16、水体 0.53、城镇及居民点 0.72、工矿用地 0.95、未利用土地 0.82。

1.2.2 空间分析方法

区域生态风险的空间分析利用地统计学方法完成,在生态风险系统采样的基础上,利用 ArcGIS 统计分析模块,计算出半变异函数^[8,9],即

$$r(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_i^{n(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (2)$$

式中, $\gamma(h)$ 为空间上相距 h 的点对的半方差; $n(h)$ 为相距 h 的点对数目; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别为点 x_i 和与 x_i 相距 h 的点的某性状的观测值; $\gamma(h)$ 为距离 h 的函数,其随 h 的变化曲线称为半方差图。根据半方差的定义,当 $h = 0$ 时, $\gamma(h) = 0$ 。

实际样本半方差图计算过程中,其近似平滑曲线并不通过原点,而是具有一个正的截距 C_0 ,地统计学上将其定义为块金方差(Nugget Variance)(如图 2 所示),它来源于远小于抽样尺度上存在的差异误差。具有空间相关性分布的变量,其半方差先随 h 增加而增大,当 h 增加到一定程度时,半方差便维持在一定水平,不再有明显的增加,此时的 $\gamma(h)$ 称为阈值(Sill),与此阈值对应的空间距离 h 定义为空间自相关尺度或变程(Range),以 a 表示。阈值与块金方差之差定义为结构方差(C_1)。变程是一个重要的基本参数,它给出了随机变量在空间上自相关性的尺度,相距大于变程的点之间不具备自相关性^[10]。

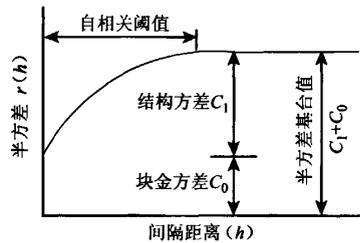


图 2 一个典型化的半方差示意图

Fig. 2 The classical sketch map of semi-variogram

1.2.3 生态风险空间可视化表达

综合生态风险程度的空间可视化表达是利用地统计学方法完成的。该方法是在生态风险指数系统采样的基础上,计算得出实验变异函数,然后进行理论半变异函数的拟合。在半变异函数分析的基础上,运用 Kriging(可瑞金)局部插值法进行空间插值。Kriging 方法是根据半方差分析所提供的空间自相关程度的信息来进行插值,因此可以对未测点给出最优无偏估计,而且能同时提供估计值的误差和精确度。本研究是在 ArcGIS 9.0 地质统计分析模块的支持下计算完成的,并绘制了 2000 年、2005 年的生态风险程度图,直观地描述了武汉市的生态风险空间分布状况。

2 结果与分析

2.1 土地利用结构变化特征分析

土地利用变化包括土地类型的面积变化、空间分布变化和土地的质量变化。土地利用类型的面积变化反映了土地利用变化的总态势和土地利用结构的变化。利用遥感和 GIS 技术得到研究区不同时期土地利用图,并对研究区土地利用变化进行空间分析和统计分析,得到研究区土地利用变化的总体特征(表 1)。

表 1 2000 年 ~2005 年一级土地利用类型的净变化面积

土地利 用类型	2000 年		2005 年		净变化 面积	净变化 百分率/%
	面积	比例/%	面积	比例/%		
耕地	5 250.4	61.38	5 183.8	60.59	-66.6	-1.28
林地	793.2	9.36	792.6	9.35	-0.6	-0.08
草地	69.9	0.82	73.0	0.86	3.2	4.52
水域	1 705.1	20.12	1 725.5	20.36	20.4	1.20
居民用地	619.6	7.31	665.5	7.85	45.9	7.41
未利用地	84.8	1.00	82.6	0.98	-2.2	-2.62

由表 1 可见,研究区土地利用类型以耕地和水域为主,耕地在 2000 年和 2005 年占研究区面积比例分别为 61.38% 和 60.59%,呈减少趋势。林地面积有略微减少,草地有明显的增加。这说明武汉市的农业土地利用按市场规律进行配置。武汉市的农村产业结构在市场机制的作用下,越来越呈现出鲜明的都市农业或城郊农业的特点。水域、居民用地表现为大幅度增加的变化过程,特别是居民用地,2000 年~2005 年增加了 45.9 km²,其面积比例增加 1.35%,净变化率为 7.41%。这充分反映了人口增加和经济的发展导致居民点和建设用地的扩张态势,各远郊区县的城市土地利用面积已具有一定的规模。

2.2 生态风险指数空间分析

2.2.1 空间结构分析

为了分析空间结构或进行空间内插值,都有必要将实际计算所得的半方差图用某种数学模型来拟合。理论半方差图模型分为 3 类:含基台值模型、无基台值模型和自相关阈为零模型,在实际应用中,以球体模型(Spherical model)和指数模型(Exponential model)最为常见。理论半变异函数拟合中,球体模型拟合结果比较理想,武汉市的生态风险空间结构分析主要基于球体模型的计算结果。表 2 为所采用的参数,图 3 为 2000 年和 2005 年的生态风险半变异函数曲线。

表 2 研究区生态风险指数的理论模型和半变异函数参数

Tab.2 The parameter of theoretic model and semi-variogram function of ER index

年份	理论模型	块金值 (C ₀)	基台值 (C ₀ + C)	C/(C + C ₀) ^①	a/m
2000 年	球形模型	0.003	0.015	0.812 5	4 945.817
2005 年	球形模型	0.01	0.025	0.6	15 228.77

① C/(C + C₀) 为空间自相关关系。

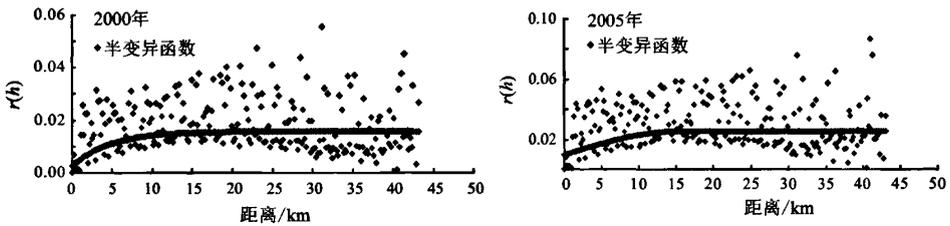


图 3 2000 年(左)和 2005 年(右)生态风险半变异函数曲线

Fig.3 The curve of Semi-variogram function of ER in 2000(left) and 2005(right)

空间异质性主要由两部分组成,即随机部分和自相关部分。块金值表示随机部分的空间异质性,较小的块金方差值(2000 年为 0.003; 2005 年为 0.01)表明较小尺度上的某种过程可以忽视。

基台值是衡量生态风险指数波动幅度的参数,从表 2 可以看出,2000 年的基台值为 0.015,表示生态风险指数强度的空间分布强度比较均匀,差异较小; 2005 年半变异函数的基台值为 0.025,是 2000 年的近 2 倍,表明 2005 年局部生态风险强度明显提高,空间差异增大。人类影响程度增强,不同空间的开发利用强度差异性增加,大量土地被城镇用地所占,使生态风险指数的空间分布差异增大。

变程用来说明生态风险指数的空间相关距离。从变程的变化情况看,2005 年的变程明显大于 2000

的变程,表明生态风险指数的空间相关距离有所增加。随城市化进程和城镇经济的发展,各行政单元间土地利用形式差异减小,生态风险指数空间相关距离有明显增加。

2.2.2 生态风险空间分布

在变异函数分析的基础上,利用 GIS 技术通过插值获得研究区的生态风险分布图(图 4),结果显示 2000 年研究区生态风险水平分为 3 个层次,各个等级分布的空间发生了一定程度的变化,北部山区的空间生态风险水平要明显低于平原区,呈现微度风险,其空间生态风险受区域快速城市化过程影响相对较弱;广大的植被和水域集中分布区域属于低生态风险区;城市建成区和靠近城市建成区边缘形成中度生态风险和生态风险相对较高的分布区域。

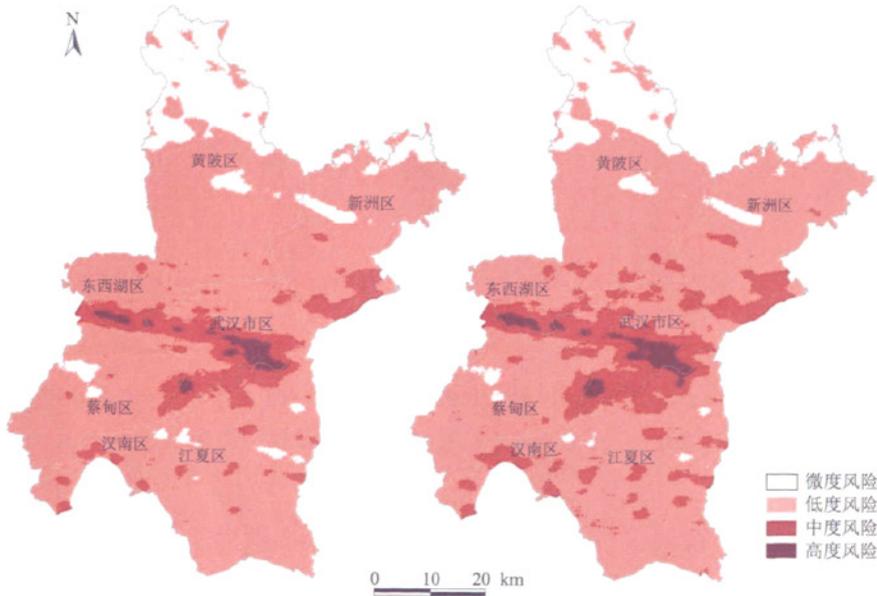


图4 武汉市2000年(左)及2005年(右)生态风险空间分布
 Fig.4 Spatial distribution map of ER in 2000(left) and 2005(right)

生态风险空间分布情况见表3,从中可知全县生态风险空间分布范围和强度都有了较大的变化。2003年生态风险强度高值度明显增加,高值区范围扩大,且中生态风险范围夸大较为明显。2000~2005年微度生态风险等级为区域所占面积比例下降1.73%;低度生态风险等级下降4.03%;中度生态风险等级增加5.18%;高度生态风险等级增加0.58%。

表3 生态风险级别面积及其比例统计
 Tab.3 The grade and area distribution of ecological risk in study area

生态风险级别	2000年		2005年	
	面积/ km ²	面积比 例/%	面积/ km ²	面积比 例/%
微度	1 005.57	11.80	858.36	10.07
低度	6 544.73	76.79	6 201.64	72.76
中度	848.34	9.95	1 289.43	15.13
高度	124.34	1.46	173.55	2.04

在空间分布上,城市用地和建成区边缘依然为生态风险程度最高分布区,但分布范围和风险强度有增加趋势,主要是受城镇用地南北扩张和城郊工矿企业发展的影响。总的来说土地利用类型的变化结果是局部地区生态风险强度提高,范围增大,造成生态风险强度的空间分布不均匀性增强,差异较大。

3 结论

(1)2000~2005年研究区主要的土地利用变化

特征为人工建筑用地持续增加且耕地大量减少。

(2)研究区的生态风险水平2000~2005年总体上表现为增加的趋势。武汉市北部山区的空间生态风险水平要明显低于平原区,其空间生态风险受区域快速城市化过程影响相对较弱。

(3)研究区各种土地利用类型类型间空间生态风险水平也不同,植被和水域集中分布区域属于低生态风险区,城市建成区及其边缘形成中度生态风险和生态风险相对较高的分布区域。

上述研究结果表明,利用多时段的土地利用结构信息,借助空间统计方法可半定量地描述不同区块的相对生态风险程度,揭示生态风险的空间分布特征和动态变化特征。利用这一研究思路还能够有效地阐明生态风险内在动力学机制方面的一些空间细节信息,进一步建立土地利用结构、人为改造活动景观类型与区域生态风险之间的有机联系,为研究区的生态保护决策提供科学依据。生态风险指数的大小只是相当于生态问题可能发生的综合性概率量度,因而无法对具体的、有针对性的生态保护决策提供直接依据。但由于土地利用格局的改变势必会引起区域生态功能的变化,故通过研究不同土地利用类型间的迁移变化特征来识别区域生态环境的变化趋势及其内在因素是可行的、有效的。

参考文献:

[1] 毛小琴,倪晋仁.生态风险评价研究述评[J].北京大学学报(自然科学版),2005,41(4):646-654.

[2] 陈辉,刘劲松,曹宇,等.生态风险评价研究进展[J].生态学报,2006,26(5):1558-1566.

[3] 付在毅,许学工.区域生态风险评价[J].地球科学进展,2001,16(2):267-271.

[4] Power M, McCarty L S. Trends in the Development of Ecological Risk Assessment and Management Frameworks [J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2002, 8 (1):7-18.

[5] Suter GW II, Vermier T, MunnsW R Jr, et al. Framework for the Integration of Health and Ecological Risk Assessment[J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2003, 9:281-302.

[6] 藏淑英,梁欣,张思冲.基于GIS的大庆市土地利用生态风险分析[J].自然灾害学报,2005,14(4):141-145.

[7] 曾辉,刘国军.基于景观结构的区域生态风险分析[J].中国环境科学,1999,19(5):454-457.

[8] 王政权.地统计学在生态学中的应用[M].北京:科学出版社,1999.

[9] 陈鹏,潘晓玲.干旱区内陆流域区域景观生态风险分析——以阜康三江工河流域为例[J].生态学杂志,2003,22(4):116-120.

[10] 刘建,朱选伟,于飞海,等.浑善达克沙地榆树疏林生态系统的空间异质性[J].环境科学,2003,24(4):29-34.

An Analysis of Regional Ecological Risk Based on Land Use Change and Spatial Statistics: A Case Study in Wuhan, Hubei Province

DU Jun¹, YANG Qing-hua²

(1. Institute of Geographical Sciences, Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450000, China;

2. College of Resource and Environmental Science, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

Abstract: In this paper, Wuhan City was selected for case study. Land use information obtained from satellite remote sensing TM image in 2000 and 2005 was used as the main data source, and the GIS technology was employed as the data integration analysis platform. An ecological risk index was constructed based on the varieties of land use, and the systematic sampling method was utilized to make it a spatial variable. After the performance of sampling, the semivariogram analysis and block kriging were conducted to compile the map of ecological risk distribution. The results indicate that the spatial distribution of ecological risk became more uneven in the working area. The level of the ecological risk study area was divided into three levels; the majority of the vegetation and the waters belonged to the low ecological risk area, whereas the urban built-up area and its marginal areas belonged to moderate ecological risk and relatively high risk areas. Spatial distribution of areas of various levels experienced certain extent of changes in the five years.

Key words: Land use change; Ecological risk; Spatial statistics; GIS

第一作者简介:杜军(1981-),男,博士研究生,研究方向为遥感与GIS地学应用。

(责任编辑:李瑜)

=====

(上接第101页)

mountain areas of Mianzhu obtained before and after the Wenchuan May 12, 2008 earthquake for the work of land use classification. With the land-use classification map as the data source, the authors studied the disturbance of the earthquake to the landscape pattern in the aspects of classification and landscape level, and discussed the dominance, shape index and degree of fragmentation in different classes on the basis of FRAGSTATS software. The result shows that the woodland was most greatly affected, as evidence by the facts that its dominance was decreased, its degree of fragmentation was raised, and the edge effect was increased by the increasing edge density. In addition, the area of bush-wood and hilly dry field was deduced evidently, and the circulation and CONTAG of the landscape were decreased. In a word, the stability of the ecosystem is worse than that of the pre-earthquake period.

Key words: Damage land; Landscape index; Ecology; Earthquake

第一作者简介:高慧(1985-),女,甘肃文县人,硕士研究生,主要研究方向为生态遥感与GIS应用。

通讯作者:何政伟(1966-),男,教授,博士生导师,主要从事遥感地质学、生态地理信息系统和生态环境地质等教学科研。邮箱:hzw@cdu.edu.cn.

(责任编辑:李瑜)