

基于土地利用变化的珠江三角洲生态风险评价

叶长盛¹, 冯艳芬²

(1. 东华理工大学地球科学学院, 南昌 330013; 2. 广州大学地理科学学院, 广州 510006)

摘要: 为了探讨经济快速发展地区土地利用变化对土地生态系统造成的风险, 该文以珠江三角洲为研究对象, 分析了其 1990—2006 年土地利用变化特征, 构建了区域生态风险指数, 并以 5 km×5 km 的单元网格进行系统采样, 借助空间自相关和半方差分析方法, 探讨了珠江三角洲的生态风险空间分布及变化特征, 结果表明: 1990—2006 年, 珠江三角洲土地利用发生变化的面积高达 12 105.05 km², 占土地总面积的 29.35%, 建设用地快速扩张, 基塘持续增加, 耕地、林地迅速减少; 整个珠江三角洲的生态风险指数由 1990 年的 0.2713 增至 2006 年的 0.3318, 风险程度增加了 22.31%, 在空间分布上具有明显的正相关性, 空间集聚逐渐增强, 深圳、东莞、广州市区、花都、南海、顺德、佛山市区及中山等是生态风险指数高值聚集区, 指数变化更为明显, 风险程度明显提高; 高、较高生态风险区面积快速增加, 由 1990 年的 4874.52 km² 增加到 2006 年的 12 494.93 km², 占土地总面积的比例由 11.82% 增至 30.30%; 生态风险程度呈现明显的圈层结构, 以佛山市区—广州市区—深圳为轴向外风险程度逐渐降低。研究结果为区域土地可持续利用提供新的思路和方法, 从而促进土地利用与生态环境的协调发展。该研究为生态风险管理政策的制定提供科学依据。

关键词: 土地利用, 生态, 风险评价, 珠江三角洲

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.19.028

中图分类号: F301.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-19-0224-09

叶长盛, 冯艳芬. 基于土地利用变化的珠江三角洲生态风险评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 224—232.
Ye Changsheng, Feng Yanfen. Ecological risk assessment for Pearl River Delta based on land use change[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(19): 224—232. (in Chinese with English abstract)

0 引言

土地利用变化不仅影响土地资源的结构与类型, 而且通过改变土地生态系统的结构和功能, 影响着土地生态系统的风险与健康程度^[1], 其变化过程对区域生态安全起着决定性的作用^[2-3]。土地利用的组分结构特征是最易于保存的信息, 可以利用土地类型结构和土地利用转移特征进行生态风险分析, 揭示综合性生态影响的程度^[4-5]。目前研究大多就是利用土地类型结构数据、景观结构数据来构建土地利用生态风险指数, 借助地统计学方法对区域土地利用变化造成的生态风险进行评价^[4,6-16], 采样方式为等间距系统采样法, 研究区域主要是城市(大庆、武汉、南京、温州、上海、太原等)和生态脆弱区(阜康三工河流域、翁牛特旗等), 这些研究对于促进区域土地资源的合理利用具有重要意义。但现有研究忽视了评价单元之间的相关性,

不能揭示深层次的生态风险空间变化规律, 将地统计学方法与空间统计分析(空间自相关)方法相结合可以深入揭示土地利用变化造成的生态风险的空间特征及其变化规律, 相关研究甚少, 有待进一步探索。

珠江三角洲地处中国改革开放的前沿, 随着人口的激增, 工业化、城市化的快速兴起和外资的涌入, 其土地利用发生了剧烈变化^[17-25], 大量的农业用地转换为建设用地, 耕地资源锐减, 用地结构调整频繁, 原有土地生态系统已遭受和正在遭受破坏, 生态系统受到严重威胁, 土地利用变化造成的生态风险持续增加。目前珠江三角洲土地利用变化研究更多侧重于土地数量变化及其动力机制、土地利用变化模拟等方面的研究^[17-25], 而对于土地利用变化所造成生态风险的研究相对薄弱。为此, 本文利用 1990 年、2000 年和 2006 年 3 期遥感数据, 分析珠江三角洲土地利用变化特征, 构建土地利用生态风险指数, 借助空间自相关和半方差函数法, 研究珠江三角洲土地利用生态风险的空间分布及变化特征, 以期对区域土地可持续利用和生态风险管理提供科学依据, 进而促进土地利用与生态环境的协调发展。

收稿日期: 2013-01-12 修订日期: 2013-08-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41001371, 41001048);

作者简介: 叶长盛(1977—), 男, 江西临川人, 副教授, 博士, 研究方向土地资源开发利用与保护。南昌 东华理工大学地球科学学院, 330013。Email: ycs519@163.com

1 研究区概况

珠江三角洲位于广东省中南部, 处于 $21^{\circ}17' \sim 23^{\circ}55'N$ 、 $111^{\circ}59' \sim 115^{\circ}25'E$, 由西江、北江、东江及其支流潭江、绥江、增江带来的泥沙堆积而成的复合型三角洲, 是中国亚热带最大的冲积平原。行政区划上包括广州、深圳、珠海、佛山、江门、中山、东莞 7 市和惠州市的惠城区、惠阳区、惠东县、博罗县以及肇庆市的端州区、鼎湖区、高要市、四会市, 总面积为 4.1 万 km^2 。2009 年珠江三角洲常住人口为 4 560 万人, 占广东省常住人口的 47.32%, 生产总值为 31 826 亿元, 占广东全省的 80.61%, 出口总额 3 415.40 亿美元, 占广东全省的 95.15%, 是中国经济最发达、人口最稠密的地区之一, 也是中国外向型经济最明显的地区之一。根据研究需要, 把珠江三角洲划分为 28 个行政单元。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本研究原始数据源为 1990 年、2000 年和 2006

年 3 个时期的 Landsat TM 遥感影像, 空间分辨率 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$, 经辐射纠正、几何纠正和人工解译后得到 1:10 万土地利用现状图, 1990 年和 2000 年土地利用数据来源于广东省信息中心, 2006 年数据来源于中山大学“985 工程”GIS 与遥感地学应用科技创新平台项目。根据研究区土地资源特征和景观类型差异, 把土地利用类型划分为耕地、林地、草地、基塘、其他水域、建设用地和未利用地等 7 类。

2.2 研究方法

2.2.1 采样方式

根据珠江三角洲各土地利用类型的面积情况, 采用 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ 的单元网格将生态风险指数进行空间化 (图 1), 采样方式为等间距系统采样法, 共有样地 1970 个, 可以保证空间分异特征的呈现。利用生态风险指数公式计算出每个样地的生态风险指数值, 以此作为样地中心点的生态风险水平。

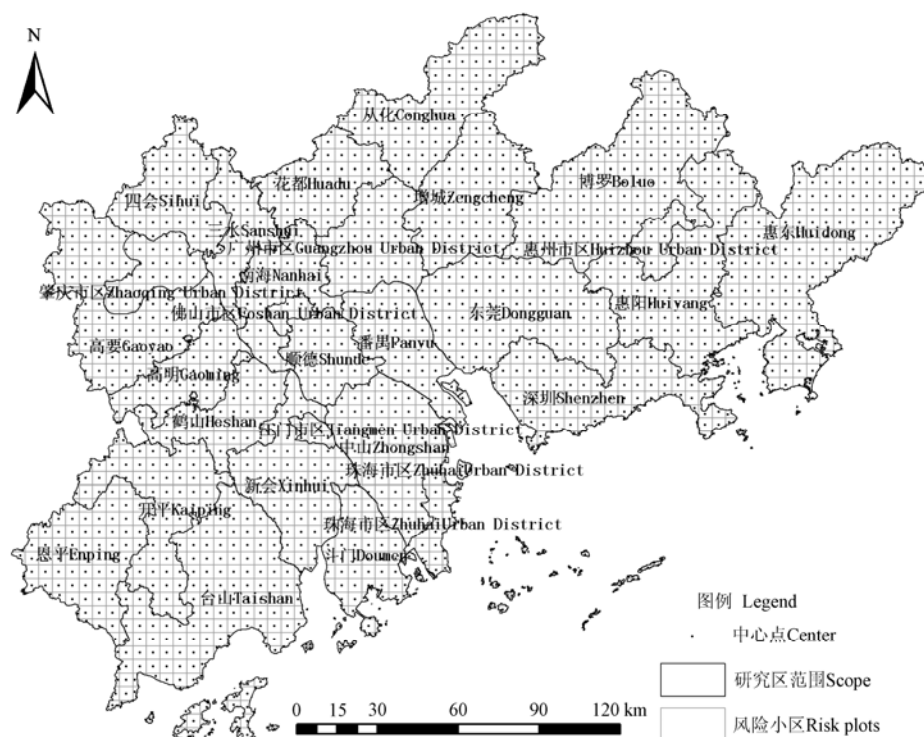


图 1 生态风险样地的划分
Fig.1 Division of ecological risk plots

2.2.2 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联系, 利用各土地利用类型的面积比例来构建土地利用生态风险指数, 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空间结构转化成空间化的生态风险变量, 计算式如下^[6,9-10]

$$R = \sum_{i=1}^m \frac{A_i W_i}{A} \quad (1)$$

式中, R 为土地利用生态风险指数; i 为各土地利用类型; A_i 为样地内第 i 种土地利用类型的面积, hm^2 ; A 为样地总面积, hm^2 ; W_i 为第 i 种土地利用类型所反映的生态风险强度参数。 W_i 的确定将专家咨询法和他人研究成果相结合而得出^[6-7,16], 各土地利用

类型的生态风险强度参数依次为：耕地 0.32、林地 0.12、草地 0.16、水域 0.53、基塘 0.42、建设用地 0.85、未利用地 0.82。

2.2.3 生态风险空间分析方法

1) 空间自相关分析

空间自相关是检验具有空间位置的要素观测值与相邻空间点上的观测值是否具有关联性的方法^[26]，通过对事物或现象空间分布格局的描述与可视化，发现空间集聚和空间异常，揭示研究对象之间的空间相互作用机制，包括全局空间自相关和局部空间自相关。

全局空间自相关是对属性值在整个区域的空间特征的描述，常用 Moran's I 来分析区域总体的空间关联和空间差异程度。计算式如下^[27]

$$I(d) = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (2)$$

式中， x_i 和 x_j 分别是变量 x 在相邻配对空间点的取值； \bar{x} 是变量的平均值； w_{ij} 是相邻权重（若空间点 i 和 j 相邻， $w_{ij}=1$ ，否则 $w_{ij}=0$ ）； n 是空间点总数。Moran's I 系数的取值为 $[-1, 1]$ ，小于 0 表示负相关，等于 0 表示不相关，大于 0 表示正相关。

局部空间自相关可以测度一个局部小区域单元上的某种地理现象或某一属性值的空间异质性，推算出集聚地空间位置和范围。用局部 Moran's I 统计量 (LISA) 和 Moran 散点图来揭示各个区域单元空间自相关的程度。局部 Moran 指数计算式为^[27]

$$I_i = (x_i - \bar{x})[(n-1) - \bar{x}^2] / (\sum_{j=1}^n x_{ij}^2) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

当 $I_i \geq E(I_i)$ 时，表明第 i 个地理单元周围有一种相似属性值的空间集聚现象，即空间正相关现象；当 $I_i < E(I_i)$ 时，表明第 i 个地理单元与其周围区域的属性值差别较大，即存在着一种空间负相关现象。

2) 半方差函数法

由于半方差函数可以关联到样本之间的空间独立量，已成为挖掘地理现象空间分布规律的一个重要工具^[28-30]。因此，本文生态风险指数的空间分析利用地统计学中的半方差函数方法完成。通过生态风险指数值的空间插值，以反映各样地之间的空间关系，其计算式为^[31]

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

式中， $r(h)$ 为变异函数； h 为样点空间间隔距离，称为步长， m ； $N(h)$ 为间隔距离为 h 的样点数； $Z(x_i)$

和 $Z(x_i + h)$ 分别是区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 的实测值。

2.2.4 生态风险可视化表达

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。该方法是在生态风险指数系统采样的基础上，运用 ArcGIS9.3 中的地统计分析模块，计算得出试验变异函数，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，运用克里格插值法进行空间插值，编制生态风险程度图，以便直观描述珠江三角洲土地利用生态风险的空间分布情况。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

土地利用转移矩阵能够具体地说明土地类型间的相互转化情况，揭示各用地类型变化的方向，从而了解某一时段土地利用的空间演变过程。将 1990 年和 2006 年 2 期土地利用图进行空间叠置，可以得出珠江三角洲 1990—2006 年间土地利用转移矩阵（表 1），结果表明：

1) 1990—2006 年，珠江三角洲土地利用发生变化的面积占土地总面积的 29.35%，达 12 105.05 km²。

2) 珠江三角洲面积减少最多的土地类型是耕地，净减少 4 469.89 km²，占研究期初耕地面积的 31.74%。主要转化为建设用地、基塘和林地，面积分别是 3 036.52、1 578.38 和 1 454.53 km²；转入以林地为主，面积为 1 244.83 km²。

3) 林地呈逐渐减少的趋势，发生变化比例为 15.51%。主要转化为耕地和建设用地，面积分别为 1 244.83 和 1 083.16 km²，转入以耕地为主。

4) 草地有所增加，发生变化比例大，为 53.86%，主要转化为林地，面积为 239.51 km²，转入则以林地和耕地为主，面积分别为 356.57 和 228.13 km²。

5) 基塘持续增加，发生变化面积为 883.57 km²，占研究期初基塘面积的 44.46%。主要转化的土地类型为建设用地，面积为 460.00 km²，其次是耕地和林地，面积分别为 234.07 和 117.27 km²；转入地类主要为耕地，其次是林地和其他水域，面积分别为 1578.38、241.82 和 152.28 km²。

6) 建设用地快速扩张。主要转化为耕地和林地，面积分别为 321.76 和 168.15 km²；转入地类主要包括耕地、林地和基塘，面积分别为 3 036.52、1 083.16 和 460.00 km²。

7) 其他水域总体呈减少态势，发生变化的比例为 31.18%。转化为其他土地类型相对比较均衡，

包括基塘 152.28 km²、建设用地 134.16 km²、耕地 132.59 km² 和林地 104.92 km²；转入的主要为耕地和林地，面积分别为 198.88 和 112.47 km²。

8) 未利用土地是珠三角发生变化比例最大的土地类型，比例高达 69.59%。主要转化为其他水域和建设用地，转入的地类主要为林地和耕地。

表 1 珠江三角洲 1990—2006 年土地利用转移矩阵

Table 1 Shifted matrix of every land use types of Pearl River Delta during 1990—2006

		2006 年							1990 年
		耕地	林地	草地	基塘	其他水域	建设用地	未利用地	合计
		Farmland	Forests	Grassland	Dike-pond	Other water	Construction land	Unutilized land	Total
1990 年	耕地 Farmland	7578.08	1454.53	228.13	1578.38	198.88	3036.52	8.77	14083.29
	林地 Forests	1244.83	16641.58	356.57	241.82	112.47	1083.16	15.32	19695.75
	草地 Grassland	100.89	239.51	411.32	24.83	13.65	100.47	0.85	891.52
	基塘 Dike-pond	234.07	117.27	11.25	1103.72	59.18	460.00	1.82	1987.31
	其他水域 Other water	132.59	104.92	13.54	152.28	1187.33	134.16	0.49	1725.31
	建设用地 Construction land	321.76	168.15	14.02	80.57	41.41	2202.70	1.10	2829.71
	未利用地 Unutilized land	1.18	2.68	0.34	0.69	6.15	5.85	7.39	24.28
2006 年合计 Total		9613.40	18728.64	1035.17	3182.29	1619.07	7022.86	35.74	

3.2 生态风险指数的空间自相关分析

3.2.1 全局空间自相关

全局空间自相关指标用于验证整个研究区某一要素的空间模式及其显著性。利用 Geo9.5 可以计算出珠江三角洲生态风险指数的全局 Moran's I 估计值。1990 年全球 Moran's I 为 0.6451，2000 年为 0.6686，2006 年为 0.7137。3 个时期全局 Moran's I 估计值均为正值，且在不断增加，显著性水平都小于 0.05。这表明，珠江三角洲生态风险指数在空间分布上具有明显的正相关性，即相邻样地间存在相互影响，呈现出空间上的高度相似性，随着时间的推移，生态风险指数相似样地的空间集聚表现出逐渐增强的趋势。

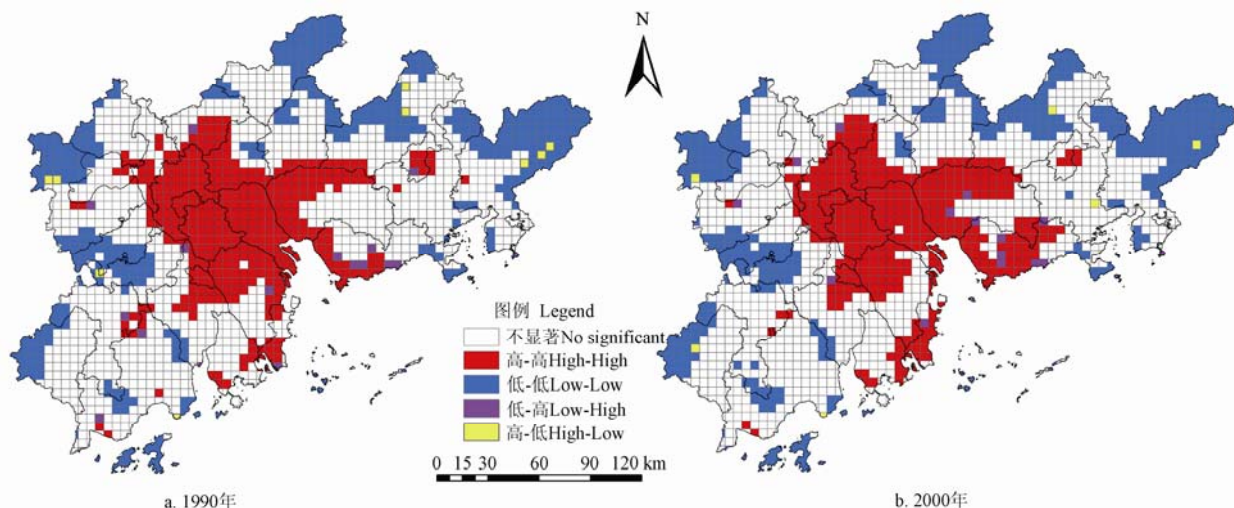
3.2.2 局部空间自相关

由于全局 Moran's I 不能探测相邻区域之间生态风险指数的空间关联模式，所以局部空间自相关系数是可选择度量指标^[15,23]。根据式 (3) 可以得出珠江三角洲 1970 个样区 1990 年、2000 年和 2006

年生态风险指数，以及 1990-2006 年生态风险指数变化的局部空间自相关 LISA 结果 (图 2)。

从图 2a~图 2c 可以看出，1990—2006 年，珠江三角洲生态风险指数的高值聚集区 (H-H) 主要分布在以广州市区、佛山市区、南海、顺德、中山、珠海、番禺、花都、东莞和深圳为主的珠江三角洲核心区，该区域经济发展水平高，建设用地比例大，生态风险程度相对较高。生态风险指数低值聚集区 (L-L) 则明显分布在珠江三角洲东北部、西部以及海岛地区，受人类活动干扰较小，以林地为主，生态风险程度相对较低。

从图 2d 可以看出，1990—2006 年，珠江三角洲生态风险指数变化较为明显的区域也主要分布在深圳、东莞、广州市区、花都、南海、顺德、佛山市区及中山等经济快速发展地区，表明经济的迅猛发展导致生态风险指数显著提高，土地生态系统风险明显加大。



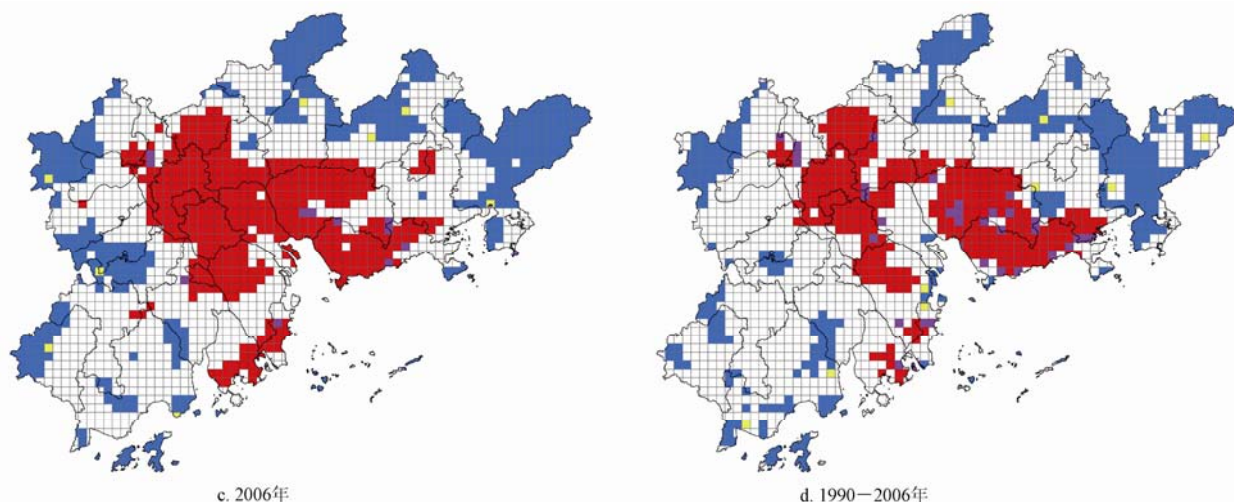


图2 珠江三角洲生态风险指数及变化的局部空间自相关

Fig.2 Local spatial autocorrelation of eco-risk indexes and its changes from 1990 to 2006 in the Pearl River Delta

3.3 生态风险指数的空间分异

为进一步探讨土地利用生态风险指数的空间结构,利用 ArcGIS9.3 的地统计分析模块对 3 期采样数据变异函数进行计算,球状模型的拟合最为理想,可以计算出 3 个时期的半变异函数及参数(基台值、变程和块金值)(表 2)。

表2 土地利用生态风险指数的理论半变异函数

Table 2 Theoretical semivariogram of land use ecological risk index

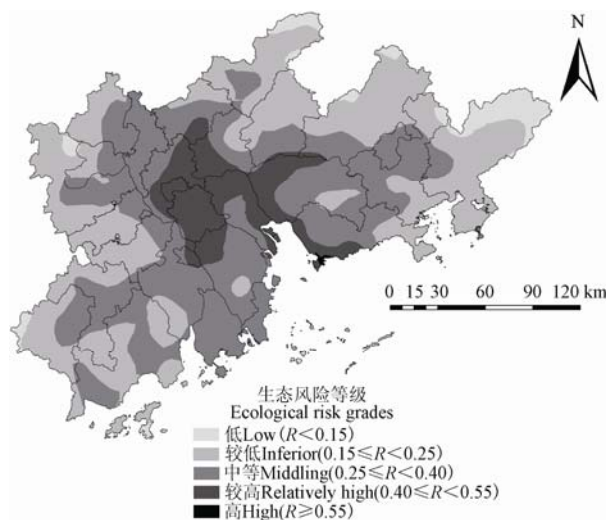
年份 Year	理论模型 Theoretical model	基台值 Sill value	变程 Range/m	块金值 Nugget value	块金基台比 Nugget variance/%
1990 年	球状	0.222852	122382	0.086652	38.88
2000 年	球状	0.267019	117367	0.090169	33.77
2006 年	球状	0.330430	119362	0.101460	30.71

变程可以反映生态风险指数的空间相关距离,1990 年变程为 122 382 m,2006 年减少到 119 362 m,指数的空间距离逐渐缩小,这是各土地利用类型之间相互转化所造成,局部地区出现个别小范围的高生态风险区,使得原本大范围的均质区域被人为破坏,个别土地利用类型片面化,致使生态风险指数的空间相关距离减小。基台值 1990 年为 0.222852,2006 年增加到 0.330430,土地利用生态风险强度的空间分布不均匀性增强,差异逐渐扩大。块金基台比可反映块金方差占总空间异质性变异的大小,1990 年块金基台比为 38.88%,2006 年为 30.71%,说明土地利用生态风险具有中等空间相关性,结构性因素(指稳定性的自然因素,如成土母质、地形、土壤类型等)是导致珠三角生态风险指数空间分异的主导因素,且影响还在加强。

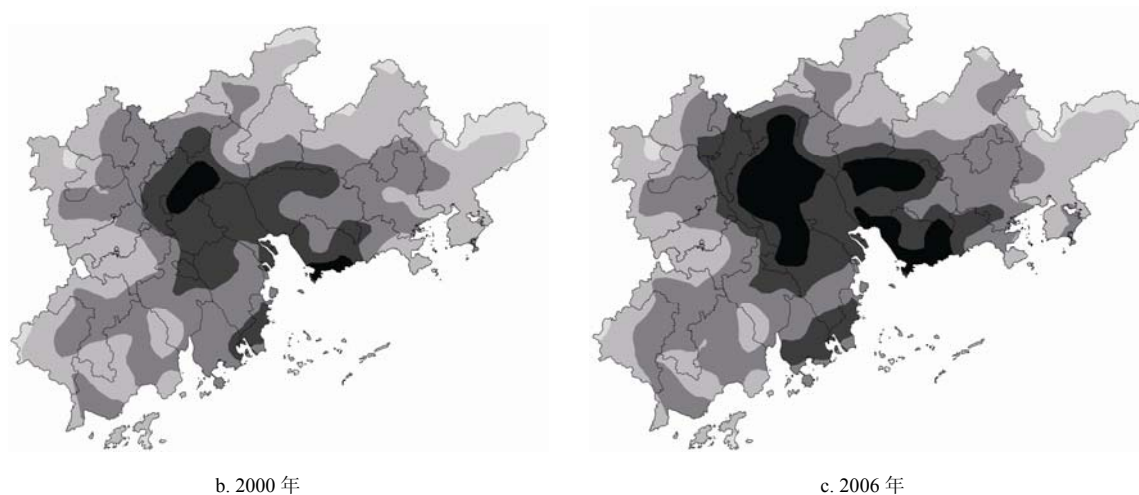
3.4 生态风险指数的空间分布特征

随着珠江三角洲人口增长、城市化、工业化的快速发展,建设用地不断增加,耕地、林地面积持续减少,区域生态风险程度不断提高。整个区域的生态风险指数由 1990 年的 0.2713 增至 2006 年的 0.3318,风险程度增加了 22.31%。根据各样地生态风险指数评价结果,采用相对指标法将生态风险划分为 5 级,即:低生态风险区($R < 0.15$)、较低生态风险区($0.15 \leq R < 0.25$)、中等生态风险区($0.25 \leq R < 0.4$)、较高生态风险区($0.4 \leq R < 0.55$)和高生态风险区($R \geq 0.55$)。

采用普通克里格(Ordinary Kriging)方法进行生态风险指数的空间插值,得出珠江三角洲不同时期的土地利用生态风险等级空间分布图(图 3),从而统计出不同时期不同等级分布面积及比例(表 3)。



a. 1990 年



b. 2000 年
图 3 珠江三角洲土地利用生态风险等级空间分布图
c. 2006 年

Fig.3 Distribution of ecological risk of land use in the Pearl River Delta

表 3 珠江三角洲土地利用生态风险等级面积及比例

Table 3 Distribution of the ecological risk grades in the Pearl River Delta

年份 Year	低风险区 Low risk region		较低风险区 Inferior risk region		中等风险区 Middling risk region		较高风险区 Relatively high risk region		高风险区 High risk region	
	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%	面积 Area/km ²	比例 Proportion/%
1990 年	1668.70	4.05	17232.84	41.79	17461.10	42.34	4843.07	11.74	31.45	0.08
2000 年	1815.59	4.40	15920.07	38.61	15638.00	37.92	7040.58	17.07	822.94	2.00
2006 年	1142.07	2.77	12841.80	31.14	14758.36	35.79	8064.28	19.56	4430.65	10.74

由图 3 可知,土地利用生态风险程度呈现明显的圈层结构,以佛山市区—广州市区—深圳为轴向向外风险程度逐渐降低。1990 年,高生态风险区分布在深圳市的深圳湾北部及西部地区,较高生态风险区主要分布在东莞、深圳和番禺的珠江口两岸地区、广州市区、佛山市区、南海、顺德、江门市区、中山等地,低生态风险区则分布在珠江三角洲的边缘地区;2000 年,高生态风险区分布在深圳南部地区、广州市区、佛山市区、南海、顺德的部分地区,较高生态风险区主要分布在广州市区、番禺、深圳、东莞、花都、顺德、南海、中山、江门市区、新会、珠海市区、江门等地;2006 年,高、较高生态风险区扩展至珠江三角洲中部的大部分地区,朝西、往东生态风险程度逐渐降低。

由表 3 可知,1990—2006 年间,珠江三角洲高、较高生态风险区面积快速增加,由 4 874.52 km² 增加到 12 494.93 km²,占土地总面积的比例由 11.82% 增至 30.30%,其中高风险区面积由 31.45 km² 增加到 4 430.65 km²,较高风险区面积则由 4 843.07 km² 增加到 8 064.28 km²;较低、低生态风险区范围逐渐缩小,由 18 901.54 km²,减少到 13 983.87 km²,占土地总面积比例由 45.84% 减至 33.91%;中等风险区面积略有减少,由 17 461.10 km² 减少到 14 758.36 km²。

4 结论与讨论

1990—2006 年,随着珠江三角洲经济社会的快速发展和城市化进程的加速,土地利用发生了剧烈变化,建设用地快速扩张,耕地、林地持续减少,生态风险程度显著提高,空间分布呈现高度相似性,高值聚集区主要分布在以广州市区、佛山市区、南海、顺德、中山、珠海、番禺、花都、东莞和深圳为主的珠江三角洲核心区。高、较高生态风险区面积由 4874.52 km² 增加到 12494.93 km²,占土地总面积的比例由 11.82% 增至 30.30%,这应引起高度重视,探求降低风险的措施,优化土地利用结构,提高土地环境功能,确保绿地、水域和湿地等用地的合理布局,协调好经济发展与生态环境保护的关系。较低、低生态风险区应加强保护,减少人为干扰,按照生态经济规律进行生态环境的建设,促进人口、资源、经济与环境的协调发展。

由于区域生态风险评价涉及内容较多,是一项复杂的系统工程,本文仅是基于土地利用变化探讨经济快速发展地区的生态风险状况,研究结果基本能反映珠江三角洲的生态环境状况,如能适当补充生态风险源度量的其他替代指标,研究结果将更具说服力,今后研究有待进一步补充和完善。

[参 考 文 献]

- [1] 史培军, 江源, 王静爱, 等. 土地利用覆盖变化与生态安全响应机制[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1—10.
- [2] 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[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 293—299.
Shi Peijun, Pan Yaozhong, Chen Jin, et al. Land use/cover change and environmental security in Shenzhen region[J]. Journal of Natural Resources, 1999, 14(4): 293—299. (in Chinese with English abstract)
- [3] 袁艺, 史培军, 刘颖慧, 等. 快速城市化过程中土地覆盖格局研究: 以深圳市为例[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1832—1840.
Yuan Yi, Shi Peijun, Liu Yinghui, et al. A study on the pattern of land cover during rapid urbanization: Shenzhen City as a case study[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(9): 1832—1840. (in Chinese with English abstract)
- [4] 陆汝成, 黄贤金, 张兴榆, 等. 区域土地利用转移及生态风险分析: 以江苏省环太湖地区为例[J]. 生态经济, 2009(9): 34—37.
Lu Rucheng, Huang Xianjin, Zhang Xinyu, et al. Analysis of regional land-use transfer and ecological risk: A case study of the around Taihu Lank regions in Jiangsu Province[J]. Ecological Economy, 2009(9): 34—37. (in Chinese with English abstract)
- [5] Pungetti G. Anthropological approaches to agricultural landscape history in Sardinia[J]. Landscape and Urban Planning, 1995, 31(1): 47—56.
- [6] 臧淑英, 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.
Zang Shuying, Liang Xin, Zhang Sichong. GIS-based analysis of ecological risk on land-use in Daqing city[J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(4): 141—145. (in Chinese with English abstract)
- [7] 杜军, 杨青华. 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[J]. 国土资源遥感, 2010, 22(2): 102—106.
Du Jun, Yang Qinghua. An analysis of regional ecological risk based on land use change and spatial statistics: A case study in Wuhan, Hubei Province[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2010, 22(2): 102—106. (in Chinese with English abstract)
- [8] 孙洪波, 杨桂山, 苏伟忠, 等. 沿江地区土地利用生态风险评价: 以长江三角洲南京地区为例[J]. 生态学报, 2010, 30(20): 5616—5625.
Sun Hongbo, Yang Guishan, Su Weizhong, et al. Ecological risk assessment of land use in the area along Changjiang River: A case study of Nanjing, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(20): 5616—5625. (in Chinese with English abstract)
- [9] 宋国利, 臧淑英, 钟婷婷. 温州市乐清湾土地利用的生态风险: 基于 RS 和 GIS 的分析[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(6): 76—85.
Song Guoli, Zang Shuying, Zhong Tingting. Ecological risk of land-use in Yueqing Bay in Wenzhou: An analysis based on RS and GIS[J]. Journal of Natural Disasters, 2010, 19(6): 76—85. (in Chinese with English abstract)
- [10] 安佑杰, 尹占娥, 殷杰, 等. 上海城市土地利用变化及生态风险研究[J]. 地域研究与开发, 2011, 30(1): 130—134.
An Youzhi, Yin Zhane, Yin Jie, et al. A study on land use changes and ecological risk in Shanghai[J]. Areal Research and Development, 2011, 30(1): 130—134. (in Chinese with English abstract)
- [11] 刘勇, 张红, 尹京苑. 基于土地利用变化的太原市土地生态风险研究[J]. 中国土地科学, 2009, 23(1): 52—57, 61.
Liu Yong, Zhong Hong, Yin Jingyuan. Study on land ecological risk in Taiyuan City based on land use change[J]. China Land Science, 2009, 23(1): 52—57, 61. (in Chinese with English abstract)
- [12] 肖杨, 毛显强. 区域景观生态风险空间分析[J]. 中国环境科学, 2006, 26(5): 623—626.
Xiao Yang, Mao Xianqiang. Spatial analysis of regional landscape ecological risk[J]. China Environmental Science, 2006, 26(5): 623—626. (in Chinese with English abstract)
- [13] 陈鹏, 潘晓玲. 干旱区内陆流域区域景观生态风险分析: 以阜康三工河流域为例[J]. 生态学杂志, 2003, 22(4): 116—120.
Chen Peng, Pan Xiaoling. Ecological risk analysis of regional landscape in inland river watershed of arid area: A case study of Sangong River Basin in Fukang[J]. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(4): 116—120. (in Chinese with English abstract)
- [14] 李谢辉, 王磊, 李景宜. 基于 GIS 的渭河下游河流沿线区域生态风险评价[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5523—5534.
Li XieHui, Wang Lei, Li JingYi. Regional ecological risk assessment in catchment area along the Weihe River based on GIS[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5523—5534. (in Chinese with English abstract)
- [15] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 5020—5026.
Xie HuaLin. Regional eco-risk analysis of based on landscape structure and spatial statistics[J]. Acta

- Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5020—5026. (in Chinese with English abstract)
- [16] 杨永峰, 孙希华, 王百田. 基于土地利用景观结构的山东省生态风险分析[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1): 232—235.
- Yang Yongfeng, Sun Xihua, Wang Baitian. Ecological risk assessment in Shandong Province based on landuse landscape structure[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(1): 232—235. (in Chinese with English abstract)
- [17] 黎夏, 叶嘉安. 利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程: 以东莞为例[J]. 地理研究, 1997, 16(4): 56—62.
- Li Xia, Anthony Gar-on Yeh. Application of remote sensing for monitoring and analysis of urban expansion: A case study of Dongguan[J]. Geographical Research, 1997, 16(4): 56—62. (in Chinese with English abstract)
- [18] Weng Q H. Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling[J]. Journal of Environment Management, 2002, 64(3): 273—284.
- [19] Li X, Yeh A G O. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS[J]. Landscape and Urban Planning, 2000, 69(4): 335—354.
- [20] 张文忠, 王传胜, 吕昕, 等. 珠江三角洲土地利用变化与工业化和城市化的耦合关系[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 677—685.
- Zhang Wenzhong, Wang Chuansheng, Lü Xin, et al. Coupling relationship between land use change and industrialization and urbanization in the Zhujiang River Delta[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(5): 677—685. (in Chinese with English abstract)
- [21] 叶长盛, 董玉祥. 珠江三角洲土地利用的分形特征及其影响机制[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 330—335.
- Ye Changsheng, Dong Yuxiang. Fractal analysis of land use in Zhujiang River Delta[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(4): 330—335. (in Chinese with English abstract)
- [22] 叶长盛, 王枫. 珠江三角洲地区土地利用和景观格局变化研究[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1): 238—243.
- Ye Changsheng, Wang Feng. Variations of land use and landscape pattern in Zhujiang River Delta[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(1): 238—243. (in Chinese with English abstract)
- [23] 王丽萍, 金晓斌, 杜心栋, 等. 基于灰色模型-元胞自动机模型的佛山市土地利用情景模拟分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 237—242.
- Wang Liping, Jin Xiaobin, Du Xindong, et al. Land use scenarios simulation of Foshan city based on gray model and cellular automata model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(3): 237—242. (in Chinese with English abstract)
- [24] 黎夏, 刘小平. 基于案例推理的元胞自动机及大区域城市演变模拟[J]. 地理学报, 2007, 62(10): 1097—1109.
- Li Xia, Liu Xiaoping. Case-based cellular automaton for simulating urban development in a large complex region[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(10): 1097—1109. (in Chinese with English abstract)
- [25] 闫小培, 毛蒋兴, 普军. 巨型城市区域土地利用变化的人文因素分析: 以珠江三角洲地区为例[J]. 地理学报, 2006, 61(6): 613—623.
- Yan Xiaopei, Mao Jiangxing, Pu Jun. Research on the human dimensions of land use changes in the Mega-Urban region: Case study of the Pearl River Delta[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(6): 613—623. (in Chinese with English abstract)
- [26] 刘敏, 赵翠薇, 施明辉. 贵州山区土地利用变化多尺度空间自相关分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(20): 239—246.
- Liu Min, Zhao Cuiwei, Shi Minghui. Spatial autocorrelation analysis of multi-scale land use change at mountainous areas in Guizhou province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(20): 239—246. (in Chinese with English abstract)
- [27] Anselin L. Local indicators of spatial association-LISA[J]. Geographical Analysis, 1995, 27: 93—115.
- [28] 杨奇勇, 蒋忠诚, 马祖陆, 等. 基于地统计学和遥感的岩溶区石漠化空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 243—247.
- Yang Qiyong, Jiang Zhongcheng, Ma Zulu, et al. Spatial variability of karst rock desertification based on Geostatistics and remote sensing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(4): 243—247. (in Chinese with English abstract)
- [29] 刘欢, 张荣群, 郝晋民, 等. 基于半方差函数的银川平原土地利用强度图谱分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23): 225—231.
- Liu Huan, Zhang Rongqun, Hao Jinmin, et al. Tupu analysis of land use intensity using semi-variance in Yinchuan Plain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(23): 225—231. (in Chinese with English abstract)

- [30] 陈天恩, 陈立平, 王彦集, 等. 基于地统计的土壤养分采样布局优化[J]. 农业工程学报, 2009, 25(13): 49—55.
Chen Tianen, Chen Liping, Wang Yanji, et al. Optimal arrangement of soil nutrient sampling based on geostatistics[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(13): 49—55. (in Chinese with English abstract)
- [31] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 1—193.

Ecological risk assessment for Pearl River Delta based on land use change

Ye Changsheng¹, Feng Yanfen²

(1. School of Geosciences, East China Institute of Technology, Nanchang 330013, China;

2. School of Geographical Science, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract: Land use changes not only affect the land structure and types, but also affect the degree of health of the land ecological system. In order to explore the ecological risks caused by the land use change, and provide scientific support for the formulation of the relevant policies and the measures, this paper described a case study on the Pearl River Delta. The characteristics of land use change were analyzed during 1990 to 2006, and the ecological risk was conducted based on the land use change, the ecological risk plots of 5km×5km were applied. Spatial distribution and gradient differentiation characters of the ecological risk in the study area were analyzed by means of spatial autocorrelation and sub-analysis of variance. The conclusions were as follows: 1) The changed land (12105.05km²) occupied 29.35% of the total land in the Pearl River Delta during 1990 to 2006. The area of construction land expanded quickly, while dike-pond increased intensively, and farmland and forests evidently decreased. Population growth, economic development, industrialization, urbanization, and the swarm of foreign investment were the main factors which led to the land use changes. 2) In 1990, the ecological risk value of the whole region was 0.2713, which increased to 0.3318; the degree of risk has increased by 22.31%. Moran's I was used to estimate the spatial autocorrelation of the ecological risks. From 1990 to 2006, the global Moran's I from 0.6451 increased to 0.7137. The spatial distribution of ecological risk showed a positive autocorrelation and significant local spatial clustering pattern. The spatial variability was primarily the result from structural factors. The high-value regions included Shenzhen, Dongguan, Guangzhou Urban District, Huadu, Nanhai, Shunde, Foshan Urban District, and Zhongshan. The changes of ecological risk in these regions were more significant, and the degree of risk increased intensively. 3) The area of high risk region and relatively high risk region expanded quickly, from 4874.52 km² in 1990 to 12494.93 km² in 2006, and the proportion of the total land from 11.82% to 30.30%. Meanwhile, the area of low risk region and inferior risk region decreased from 18901.54 km² in 1990 to 13983.87 km² in 2006, and the proportion of the total land from 45.84% to 33.91%. 4) Ecological degree of risk showed an obvious ring structure, and decreased from the axis of Foshan Urban District-Guangzhou Urban District-Shenzhen to other regions. From 1990 to 2006, the high and relatively high risk region expanded gradually from the two banks of Pearl River Estuary to the middle area of Pearl River Delta, and the degree of risk reduced gradually towards the west and the east of the Pearl River Delta. With the speeding up of the economic development and urbanization course in the Pearl River Delta, land use has intensively changed, which obviously increases land ecological risks. These conclusions can provide new ideas and methods for sustainable land use and ecological risk management, and help promote the coordination of land use and the ecological environment.

Key words: land use, ecology, risk assessment, Pearl River Delta

(责任编辑: 张俊芳)