

## 珠江三角洲典型地物空间分布特征研究

李慧<sup>1\*</sup>, 王云鹏<sup>2</sup>, 李岩<sup>1</sup>, 王兴芳<sup>1</sup>, 陶亮<sup>3</sup>

1. 华南师范大学计算机学院, 广东 广州 510631; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;

3. 广东省生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650

**摘要:** 珠江三角洲改革开放30年以来经历了巨大的发展,但也导致了城市的迅速扩张以及大量宝贵农田的流失,引起了诸多环境和社会问题。因此探讨珠江三角洲土地利用的演变规律对于未来土地利用的发展变化具有重要的借鉴和指导意义。空间分析因其能有效揭示隐藏在区域数据之后的规律信息以及提供直观的可视化信息表达,已引起许多学者的关注。引入空间整体统计参数中的平均中心、标准距离和标准偏移椭圆,探讨珠江三角洲耕地和建设用地两种典型地物1990—2005年间空间整体特征变化规律。通过对研究区及研究区各市(区)空间中心转移、空间分布扩散和空间分布偏移的计算,表明珠江三角洲耕地空间特征在1990—2005整个阶段均呈现扩散状态,而建设用地空间特征在1990—2000阶段和2000—2005阶段呈现收缩和扩散两种特征。两类地物空间特征变化强度2000—2005阶段均大于1990—2000阶段。典型地物空间特征的发展变化与社会经济发展相一致。通过对比发现,耕地与建设用地空间中心迁移呈现反向变化,揭示了经济发展中大量的耕地转化为经济价值更高的建设用地。研究区中各市(区)典型地物在不同阶段、不同区域土地利用发展也存在空间差异性。空间统计指标能直观有效地揭示地物空间分布格局变化规律,有利于深入探讨研究区土地利用/覆盖变化。

**关键词:** 空间中心统计; 空间特征; 土地利用/覆盖; 时空演变; 珠江三角洲

**中图分类号:** X14

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-5906(2013)01-0164-06

**引用格式:** 李慧,王云鹏,李岩,王兴芳,陶亮. 珠江三角洲典型地物空间分布特征研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(1): 164-169.  
LI Hui, WANG Yunpeng, LI Yan, WANG Xingfang, TAO Liang. Spatial characteristic of land use/cover change in Pearl River Delta based on centrographics [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(1): 164-169.

空间分析是地理学研究的常用手段,但对于空间分析的理解,存在很大差异<sup>[1]</sup>,本文所采用的空间分析是空间统计分析。空间统计分析是现代计量地理学中一个快速发展的方向和领域,研究分布于空间并呈现出一定随机性和结构性的自然现象的科学,其核心就是认识与地理位置相关的数据间的空间依赖、空间关联或空间自相关,通过空间位置建立数据间的统计关系。地理空间统计分析侧重空间分布的两方面特征:属性方面的空间局部性、差异性或依赖性;二维空间上的整体性特征。地理空间分布的整体性特征是指它在二维空间上的中心和方位以及它自身的地理范围、空间密集度和形状。地理空间分布整体统计作为一个相对独立的研究领域,已经应用于人口分布、经济要素特征分析等领域的研究中<sup>[2-7]</sup>。

土地利用/覆盖变化(Land use/cover change, LUCC)一直是国内外学者关注的热点问题之一<sup>[8-11]</sup>,特别是珠江三角洲地区,经过30多年的改革开放土地利用和土地覆盖发生了前所未有的变化,国内学者已经从土地利用变化驱动力、动态演变模

拟、遥感监测等方面进行了大量卓有成效的研究<sup>[12-15]</sup>,但这些研究主要集中在土地利用/覆盖变化的数量、强度等方面的研究,而对于区域时空结构演变内在规律的研究较少。分析土地利用空间演变不仅具有较高的理论意义,也是政府制定有关政策的主要依据之一<sup>[16]</sup>。珠江三角洲各类用地中耕地和建设用地的变化强度最大,与国计民生最息息相关,最具有研究意义的地物类型,因而本文在研究中引入空间纬度,主要分析耕地和建设用地两类地物的空间整体特征变化,从新的角度探讨土地利用/覆盖变化的特点。

### 1 研究方法

用于描述空间整体分布的指标很多,主要包括平均中心、中值中心、标准偏差、标准距离和标准偏差椭圆等<sup>[17-21]</sup>。本文采用平均中心指标进行中心转移研究,采用标准距离进行空间扩散研究,以及通过计算标准偏差椭圆来进行方向偏移研究。

#### 1.1 空间中心转移

空间中心转移是计算研究期内各种资源类型的

**基金项目:** 华南师范大学青年教师科研培育基金(2012KJ005); 国家自然科学基金项目(41171288)

**作者简介:** 李慧(1980年生),女,讲师,博士,主要从事遥感理论、方法与应用、空间信息分析和处理。E-mail: monicearhust@126.com

**收稿日期:** 2012-11-19

分布中心, 通过比较各个时期内中心分布的变化, 可以了解研究期内各资源类型的迁移轨迹。与经典统计指标平均值、中值和众数相对应, 空间中心包括空间分布的平均中心(Mean center)、中值中心(Median center)和众数中心(Modal center)。本文选择平均中心来描述空间分布的平均位置, 其定义如下:

$$X_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ii} \times X_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ii}} \quad Y_t = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{ii} \times Y_i)}{\sum_{i=1}^n C_{ii}} \quad (1)$$

其中:  $X_t, Y_t$  表示第  $t$  年某资源类型分布中心的经纬度坐标;  $C_{ii}$  表示第  $i$  个小区域该种土地资源的面积;  $X_i, Y_i$  表示第  $i$  个小区域的几何中心的经纬度坐标,  $n$  为研究区域内小区域的个数。

中心迁移距离: 计算不同时期资源分布中心的变化距离。

$$D = \sqrt{(X_{t+1} - X_t)^2 + (Y_{t+1} - Y_t)^2} \quad (2)$$

其中:  $X_{t+1}, Y_{t+1}$  分别表示第  $t+1$  年某资源类型分布中心的经纬度坐标;  $X_t, Y_t$  分别表示第  $t$  年某资源类型分布中心的经纬度坐标。

### 1.2 空间分布扩散

本文采用标准距离(Standard Distance, SD)来表征数据的空间扩散范围。以空间均值, 即空间中心为圆点, 以标准距离为半径绘圆, 可以直观了解研究区域内各种资源类型的空间分布特征。

$$SD_w = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i (X_i - X_{mc})^2 + \sum_{i=1}^n w_i (Y_i - Y_{mc})^2}{\sum_{i=1}^n w_i}} \quad (3)$$

其中:  $X_i, Y_i$  表示第  $i$  个小区域几何中心的经纬度坐标;  $X_{mc}, Y_{mc}$  表示某资源类型分布中心的经纬度坐标;  $n$  为研究区域内小区域的个数;  $w_i$  为权重。在本文的研究中由于各个资源点重要性相同, 因此权重  $w_i = 1$ 。

### 1.3 空间分布偏移

土地利用的变化往往是受到多个因素的影响。在多种要素的作用下, 土地利用的分布可能会呈现出方向偏移。因此, 采样标准偏移椭圆(Standard Deviation Ellipse)用于构建土地利用/覆盖类型分布的方向偏移。偏移角的计算如下:

$$\text{令: } X'_i = X_i - X_{mc}, \quad Y'_i = Y_i - Y_{mc}$$

$$\tan \theta = \frac{\sum_{i=1}^n X_i'^2 - \sum_{i=1}^n Y_i'^2 + \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n X_i'^2 - \sum_{i=1}^n Y_i'^2\right)^2 + 4\left(\sum_{i=1}^n X_i' \sum_{i=1}^n Y_i'\right)^2}}{2 \sum_{i=1}^n X_i' \sum_{i=1}^n Y_i'} \quad (4)$$

其中:  $X_i, Y_i$  表示第  $i$  个小区域几何中心的经纬度坐标;  $X_{mc}, Y_{mc}$  表示某资源类型分布中心的经纬度坐标。

## 2 研究区概况与分析

### 2.1 研究区和遥感数据

本研究区域位于广东省中南部, 包括广州、深圳、珠海、佛山、江门、东莞、中山等市的全部, 惠州市、肇庆市的部分区县, 总称为珠江三角洲经济区。所使用的遥感数据包括 1990、2000、2005 年 3 个时相的 TM 遥感影像数据(空间分辨率为 30 m×30 m), 影像采集时间为 9 月至下一年的 3 月, 选择无云或少云, 影像质量高的数据。参照国家发布的土地分类标准并结合本文的研究特点将遥感数据分为 5 类, 如图 1 所示。采用随机采样的方法对于分类精度的评价。2005 年的数据, 采用 GPS 测量和直接选取相结合的方法, 对 2005 年以前的历史数据, 采样点直接从遥感图像上获取, 然后采用目视解译的方法进行精度分析。精度分析结果表明 3 期遥感图像分类的总体精度达到 80%, Kappa 系数也超过 0.74, 对于分辨率为 30 m×30 m 的 Landsat TM 图像来说, 分类精度已经达到使用的要求。

### 2.2 地物分布整体特征分析

#### 2.2.1 耕地中心转移和空间分布扩散

根据平均中心计算公式得到研究区 1990、2000 和 2005 三个时期的耕地中心(图 2)。这三个阶段耕地用地中心位置接近, 都位于广州西南方位。中心迁移: 1990—2000 年研究区中心略向西南方向迁移, 迁移距离为 3 103.75 m。2000—2005 年研究区中心依旧向西南迁移, 迁移距离为 19 084.55 m, 迁移距离大于 1990—2000 阶段。耕地中心不断向西南迁移与东莞、佛山等地大量耕地流失相一致, 迁移距离的增强表明 2000—2005 阶段耕地变化更为频繁。

以耕地在 1990、2000、2005 三个时期的中心为原点, 标准距离为半径绘制圆, 得到耕地在不同时期的扩散程度。标准距离按大小排列为 2005 年>2000 年>1990 年, 具体值分别为 94 825.06、89 780.71、87 274.69 m。1990 年标准距离值最小, 表明在整个研究期内 1990 年耕地的空间分布相对集中, 多为大片的农田。标准距离的逐步扩大, 揭示了随着经济的发展, 大量耕地转化为其他用地类型, 耕地的空间分布日益零散。

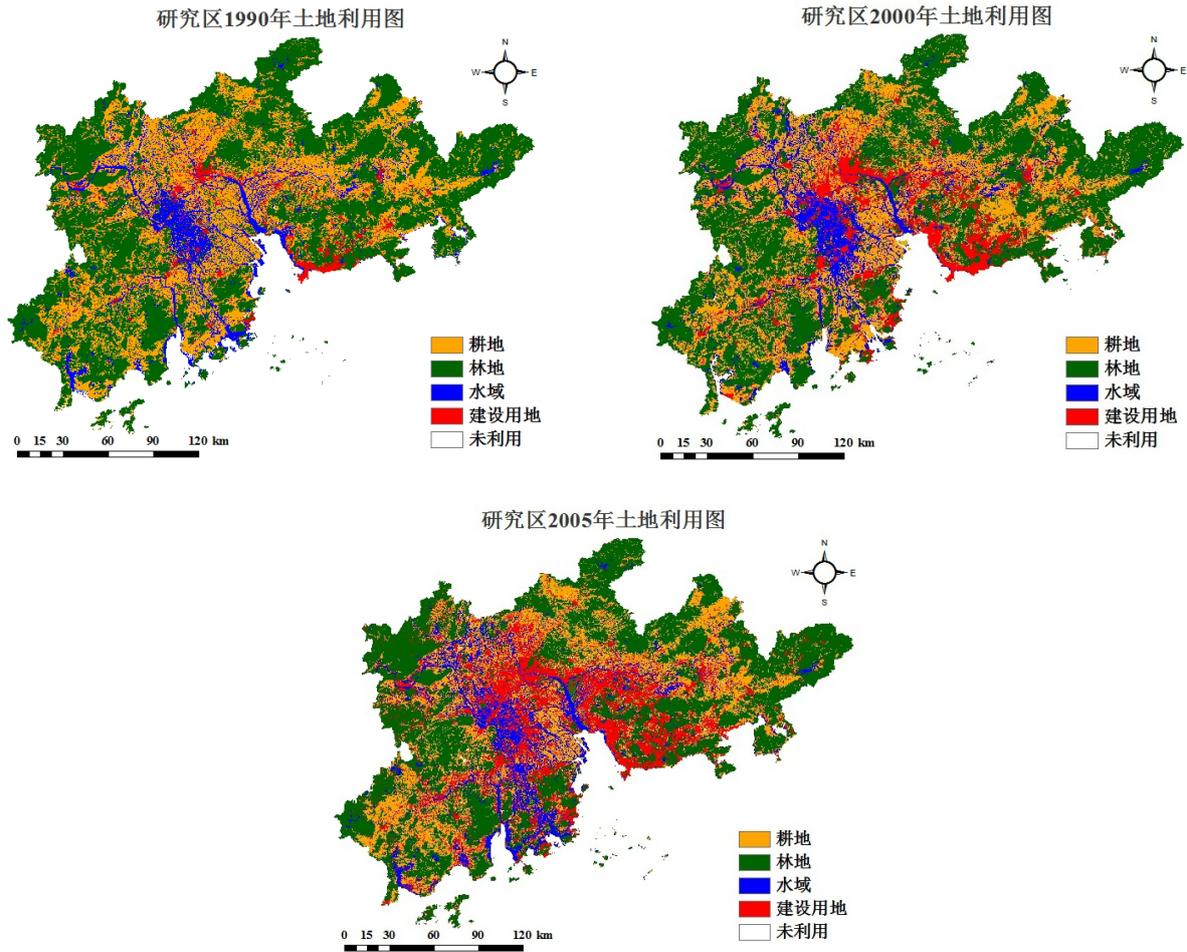


图1 研究区各时期土地利用图

Fig.1 Different time land use remote image of research area

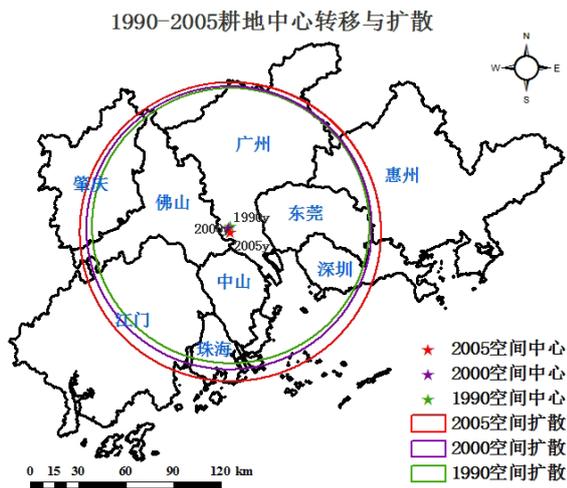


图2 研究区 1990—2005 耕地中心转移及空间扩散 单位(km)

Fig.2 Spatial mean changes and dispersion of farmland of study during 1990—2005 (unit: km)

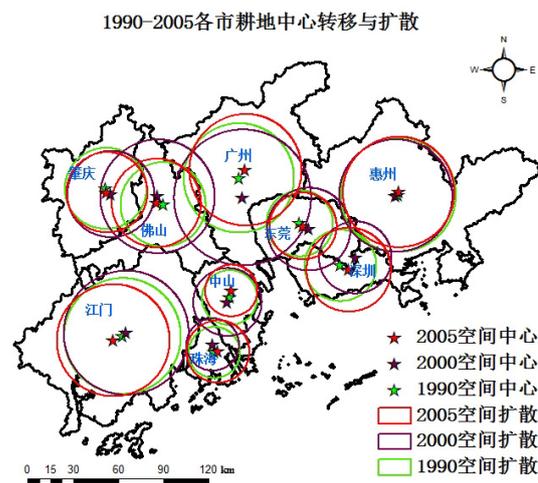


图3 研究区各市 1990—2005 耕地中心转移及空间扩散 单位(km)

Fig.3 Spatial mean changes and dispersion of farmland of study among different cities of study area during 1990—2005 (unit: km)

根据平均中心计算公式得到研究区各市 1990、2000 和 2005 三个时期的耕地中心(图 3)。各市耕地迁移距离(表 1)中广州在 1990—2000 时期与 2000—2005 时期耕地迁移距离均为最大,深圳、佛山、东

莞等经济起步较快地区 2000—2005 时期耕地迁移距离均小于前一时期。

各市以耕地在 1990、2000、2005 三个时期的中心为原点,标准距离为半径绘制圆,得到耕地在

表 1 研究区各市耕地中心转移距离及空间扩散半径 单位(meter)  
Table 1 Spatial mean change distance and dispersion distance of farmland of study among different cities of study (unit: meter)

城市	1990-2000 耕地中心迁移	2000-2005 耕地中心迁移	1990 年耕地空间扩散	2000 年耕地空间扩散	2005 年耕地空间扩散
东莞	7115.02	4337.72	22034.98	27603.64	22266.68
佛山	6593.55	4526.48	28183.14	37965.04	29536.68
广州	13275.89	18597.75	36506.23	45399.48	37221.44
惠州	1797.31	3062.26	38118.65	37535.87	36919.60
江门	3295.30	9972.31	38688.03	41423.74	37403.03
深圳	11209.05	9257.54	23792.11	24057.74	27993.65
肇庆	5086.27	2806.92	27063.66	28832.94	26799.58
中山	3275.64	8057.49	18307.26	22675.64	17289.42
珠海	5382.58	5774.33	17041.46	17393.37	20773.45

不同时期的扩散程度(图 4)。各市在三个时期的扩散标准距离(表 1)中 1990 年惠州标准距离在 9 市中最大,佛山在 2000 年及江门在 2005 年是 9 市中标准距离最大。研究区中各市在不同时期扩散强度具有差异性。

1990-2005耕地分布偏移

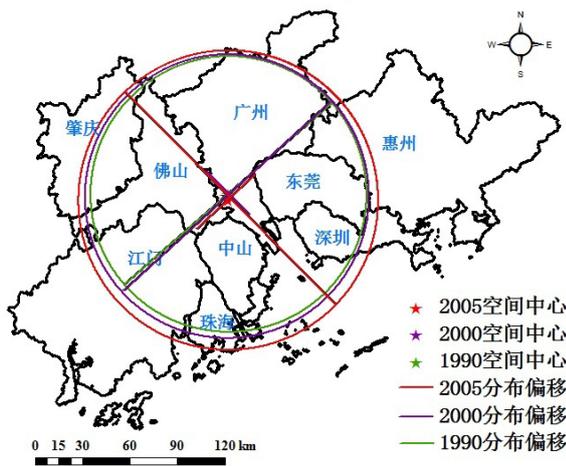


图 4 研究区 1990—2005 耕地空间分布方向偏移 单位(km)

Fig.4 Orientation of the spatial distribution of farmland of study during 1990—2005 (unit: km)

### 2.2.2 耕地空间分布方向偏移

以耕地在 1990、2000 和 2005 年三个时期的中心为原点,绘制各时期偏移角,图中长轴代表相对于 y 轴的偏移,短轴代表相对于 x 轴的偏移(图 4)。1990 年和 2000 年偏移角度约为沿着 x 轴向 y 轴顺时针 45 度,2005 年偏移角度约为沿着 x 轴向 y 轴逆时针 45 度。说明 1990—2000 年耕地空间位置的分布基本不变,研究区空间中心东北部地区耕地在整个研究区耕地的比例较大;而 2000—2005 年耕地空间位置的分布发生了很大的变化,研究区空间中心南部地区耕地所占比例增强。

### 2.2.3 建设用地中心转移和空间分布扩散

研究区 1990、2000 和 2005 三个时期的建设用地中心,见图 5。1990 年和 2005 年建设用地中心位置接近,都位于广州西南方位,2000 年建设中心位于广州东南方向。中心迁移:1990—2000 年研究区中心向东南方向迁移,迁移距离为 6 320.58 m,表明 1990—2000 阶段研究区东部地区城市建设发展速度较快。研究区中深圳、东莞等经济发展迅速的城市均位于的东南部,它们的发展带动了建设用地中心的偏移;2000—2005 年研究区中心向西北方向迁移,迁移距离为 18 939.79 m,2005 年建设用地中心位于 1990 年建设用地中心的南下方,两者空间位置接近。1990 年是改革开放的初期,研究区的建设处于起步阶段,经历了 15 年的发展后,建设中心的迁移回归说明 2000—2005 阶段,整个研究区城市建设发展均衡,之前建设落后地区也逐步发展了起来。对比耕地中心迁移图发现,研究区 1990—2000 阶段的耕地中心迁移与建设用地中心迁移是反向迁移,说明在经济发展当中大量的耕地转化为建设用地。

1990-2005建设用地中心转移与扩散

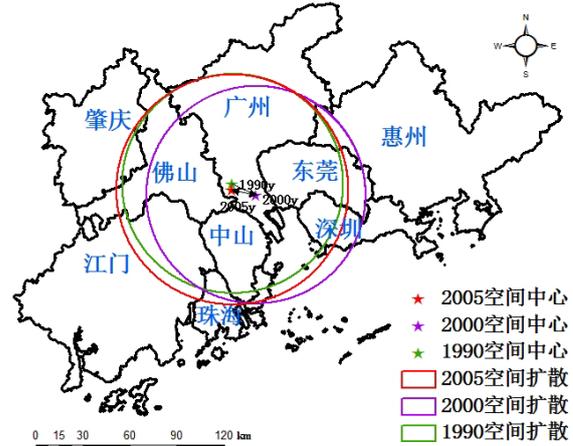


图 5 研究区 1990—2005 建设用地中心转移曲线及空间扩散 单位(km)

Fig.5 Spatial mean changes and dispersion of built land of study during 1990—2005 (unit: km)

建设用地三个时期的标准距离按大小排列为 2005 年>1990 年>2000 年,具体值分别为 73 942.23、70 412.45、69 897.81 m。建设用地的空间扩散随着时间的推移呈现出了先紧缩再扩散的趋势,这与研究区的经济发展相一致。1990—2000 阶段,研究区中广州、东莞、深圳等城市的发展速度超过了其他城市,城市建设往往是与经济发展相一致,所以在此阶段建设用地在空间上呈现出紧缩趋势;2000—2005 年,研究区的经济发展逐步趋于一致,城市建设上也体现为均衡化,建设用地在空间上进一步扩散。

研究区各市 1990、2000 和 2005 三个时期的建设用地中心,如图 6。各市建设用地迁移距离(表 2)比较发现,1990—2000 时期江门建设用地迁移距离最大,广州在 2000—2005 时期建设用地迁移距离均为最大,2000—2005 时期深圳的建设用地迁移距离仅为 1 520 m,这与各市经济发展有关。

1990—2005各市建设用地中心转移与扩散

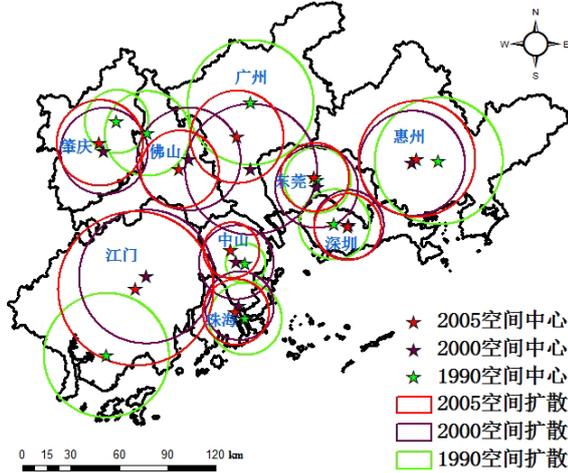


图 6 研究区各市 1990—2005 建设用地中心转移及空间扩散单位(km)

Fig.6 Spatial mean changes and dispersion of built land of study among different cities of study area during 1990—2005 (unit: km)

表 2 研究区各市建设用地中心转移距离及空间扩散半径  
Table 2 Spatial mean change distance and dispersion distance of built land of study among different cities of study 单位(meter)

城市	1990—2000	2000—2005	1990 年建	2000 年建	2005 年建
	建设用地 中心迁移	建设用地 中心迁移	设用地空 间扩散	设用地空 间扩散	设用地空 间扩散
东莞	4390.57	6299.27	20656.20	25691.96	21409.90
佛山	30318.70	8560.73	26498.95	32188.71	24339.23
广州	41810.29	22071.77	39073.02	40962.29	28980.60
惠州	16653.07	4014.46	39755.81	32847.67	36301.88
江门	55112.40	9933.47	38881.35	41823.05	48219.65
深圳	8954.49	1520.15	21930.93	21707.75	20804.35
肇庆	20152.08	5875.77	19821.07	27070.05	26781.82
中山	5932.93	8129.25	12469.39	23161.05	17427.99
珠海	8901.68	4451.30	22616.24	21478.51	20491.85

各市建设用地在不同时期的扩散程度呈现不一致状态(表 2)。各市在三个时期的扩散标准距离中江门三个时期建设用地在 9 市中标准距离均为最大,这与江门地区的发展政策有关。

2.2.4 建设用地空间分布方向偏移

建设用地空间分布方向偏移(图 7),1990、2000 和 2005 年三个时期偏移角度约为沿着 x 轴向 y 轴逆时针 45 度。说明在 1990—2005 整个研究区空间中心东南部地区建设用地所占比例较重。1990—2000 年间耕地与建设用地偏移成反向角,主要原因

1990—2005建设用地分布偏移

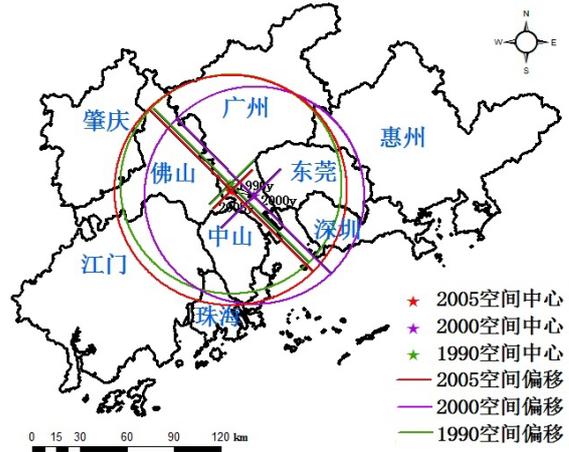


图 7 研究区 1990—2005 建设用地空间分布方向偏移 单位(km)

Fig.7 Orientation of the spatial distribution of build land of study during 1990—2005 (unit: meter)

在于此两类用地集中处于研究区域中不同方位。而随着耕地的减少与扩散,建设用地的增加,2005 年耕地与建设用地偏移趋向一致。

3 结论

本文介绍了空间整体统计方法与技术的基本特点,并利用其对珠江三角洲地区耕地和建设用地两种典型地物空间特征变化进行了深入分析。研究结果表明随着经济的发展,研究区耕地不断流失,在整个研究期内空间上呈现进一步扩散的状态;建设用地由于不断侵入与蚕食其他土地类型,总量急剧增加,但由于所增长的建设用地强度及所处空间位置的差异,1990—2000 阶段和 2000—2005 阶段呈现先紧缩后扩展的空间特征。耕地与建设用地空间中心迁移的反向变化,再次揭示了经济发展中大量的耕地转化为高经济价值的建设用地。空间统计指标可以直观地、量化地表示地物的空间分布格局,对社会经济的发展的决策有指导作用。

本文采用空间整体统计方法,从新角度对珠江三角洲土地利用/覆盖变化进行了研究,但仅仅分析了地物的空间整体特征,在以后的研究中引入空间相关性等方法,全面、深入地探讨珠江三角洲地区土地利用/覆盖变化时空特征。

参考文献:

[1] 王劲峰,李连发,葛咏,等. 地理信息空间分析的理论体系探讨[J]. 地理学报, 2000, 55(1): 92-103.  
 [2] 赵作权. 地理空间分布整体统计研究进展[J]. 地理科学进展, 2009, 28(1):1-8.  
 [3] YUE T X, FAN Z M, LIU J Y. Changes of major terrestrial ecosystems in CHINA since 1960[J]. Global and Planetary Change, 2005, 48: 287-302.  
 [4] SOE W M. An exploration of spatial dispersion, pattern, and association of socio-economic functional units in an urban system [J].

- Applied Geography, 2008, 28: 168-188.
- [5] TIMOTHY A J, ROBERT V R. Kernel density estimation of tropical cyclone frequencies in the north Atlantic basin [J]. *International Journal of Geosciences*, 2010, 1:121-129.
- [6] WANG F H, WANG G X, JOHN H M, et al. Sinification of Zhuang place names in Guangxi, China: a GIS-based spatial analysis approach [J]. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 2011, 37(2): 317-333.
- [7] JOSHUA D K, MICHAEL L. Incorporating land cover within bayesian journey-to-crime estimation models [J]. *International Journal of Psychological Studies*, 2012, 4(2): 120-140.
- [8] 陈佑启, 杨鹏. 国际上土地利用土地覆被变化研究的新进展[J]. *经济地理*, 2001, 21(1):95-100.
- [9] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域: 土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J]. *地理学报*, 1996, 51(6):533-558.
- [10] RINDFUSS R R, WALSH S J, TURNER B L II, et al. Developing a science of land change: challenges and methodological issues [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(39): 13976-13981.
- [11] 史培军, 王静爱, 冯文利, 等. 中国土地利用/覆盖变化的生态环境安全响应与调控[J]. *地球科学进展*, 2006, 21(2):111-119.
- [12] 杨明, 郭仁忠, 李全. 快速城市化地区建设用地演变驱动力研究-以深圳市龙岗区为例[J]. *武汉大学学报*, 2009, 34(2):170-173.
- [13] 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析[J]. *地理学报*, 2000, 55(20): 151-160.
- [14] 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):614-622.
- [15] 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.
- [16] 黎夏. 珠江三角洲发展走廊 1988—1997 年土地利用变化特征的空间分析[J]. *自然资源学报*, 2004, 19(3):307-315.
- [17] 李秀彬. 地区发展均衡性的可视化测度[J]. *地理科学*, 1999, 19(3): 254-257.
- [18] 孟斌, 王劲峰, 张文忠, 等. 基于空间分析方法的中国区差异研究[J]. *地理科学*, 2005, 25 (4):394-400.
- [19] ANTONY M, ALOK P, OLIVER K, et al. A new method for spatial centrographic analysis of mineral deposit clusters[J]. *Ore Geology Reviews*, 2009, 36: 293-305.
- [20] RONALD N B, PAVLOS S K. A GIS toolkit for exploring geographies of household activity/travel behavior[J]. *Journal of Transport Geography*, 2006, 14: 35-51.
- [21] ENEDY J D. Geography and math: a technique for finding population centers [J]. *Journal of Geography*, 1993, 92(1): 23-27.

## Spatial characteristic of land use/cover change in Pearl River Delta based on centrographics

LI Hui<sup>1</sup>, WANG Yunpeng<sup>2</sup>, LI Yan<sup>1</sup>, WANG Xingfang<sup>1</sup>, TAO Liang<sup>3</sup>

1. Computer School, South China Normal University, Guangzhou, Guangdong 510630, China;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China;

3. Guangdong Institute of Eco-Environmental and Soil Science Guangzhou, Guangdong 510650, China

**Abstract:** During the past three decade years of reform and opening up, Pearl River Delta, one of the fastest-growing economies in China, has experienced significant change in land uses. These changes are the subject of increasing concern particularly as they relate to environmental and social problems. So, understanding how land and resource use change can bring forward some countermeasures and suggestions to harmonize development. Spatial analysis which can reveal the hidden rules of region data has been widely used in geographical spatial distribution field. In order to get the spatial expansion pattern of farmland and built-up land in Pearl River Delta during 1990 and 2005, three factors of centrographics were discussed which were spatial mean, standard distance and standard deviational ellipse. The results showed farmland distribution was more and more dispersion, but the dispersion change of built-up land, a tightening-spread trend between two-times periods. Compare the migration of spatial mean center, a reverse change was between those two land use type, especially in the 1990—2000 period. It revealed again that with the quick progress of the economy, especially the rapid industrialization, a great amount of farmland had been converted into built-up land. The spatial expansion pattern of those two land types was affected by the distribution of land type and socioeconomic development. Centrographics is a powerful technique to demonstrate the spatial expansion pattern of LUCC.

**Key words:** centrographics; spatial characteristic; land use/cover; spatial-temporal change; Pearl River Delta