快速城市化地区土地利用变化及驱动因素分析
——以广东省东莞市为例

陈红顺[1,3], 夏 斌[2,3]

(1. 北京师范大学 珠海分校 信息技术学院, 广东 珠海 519087;
2. 中山大学 海洋学院, 广东 广州 510275; 3. 中国科学院 广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘 要: 以东莞市为研究区域,利用 5 期不同时相的 Landsat TM/ETM$^+$ 遥感影像,从土地利用数量变化、土地利用重心转移和土地利用变化的空间分异特征 3 方面探讨了研究区的土地利用变化特征,并采用定性与定量相结合的方法从自然和人文两方面分析了土地利用变化的驱动因素。研究结果表明:(1) 1988—2005 年,东莞市土地利用变化总的态势是耕地大幅减少,城镇用地迅速扩张。(2) 各土地利用类型重心转移距离较大,且农业用地的重心转移方向和城镇用地重心转移方向大致相反。(3) 耕地分布的空间正相关性减弱,城镇用地分布的空间正相关性增强。(4) 经济发展与人口增长是东莞市土地利用变化的主要驱动因素;由于地形条件的限制,土地利用变化剧烈的区域主要集中在海拔低、坡度缓的区域。

关键词: 土地利用变化; 城市化; 驱动力; Landsat; 东莞市

文献标识码: A **文章编号**: 1000-288X(2012)01-0054-06 **中图分类号**: TP79, F301.24

Land Use Change and Its Driving Factors in Rapidly Urbanized Area Based on Remote Sensing
—A Case Study of Dongguan City, Guangdong Province

CHEN Hong-shun[1,3], XIA Bin[2,3]

(1. *School of Information Technology, Beijing Normal University Zhuhai Campus, Zhuhai, Guangdong* 519087, *China*; 2. *School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong* 510275, *China*; 3. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong* 510640, *China*)

Abstract: Taking Dongguan City as the study area and applying satellite images of the Landsat TM/ETM$^+$ in five different times, authors discussed characteristics of land use changes in the three aspects of the quantitative change, centric migration, and spatial differentiation of land uses and analyzed its driving factors from natural and human perspectives. Results from the study showed that (1) from 1988 to 2005, the overall land use change was the greatly decreased farmland and rapidly expanded urban land; (2) gravity centers of all the land uses moved far away and centric migration of farmlands was basically opposite to that of urban land; (3) spatial autocorrelation for farmlands was deceased and that for urban lands was enhanced; (4) economic development and population growth were the main driving factors for land use changes in the study area and land uses in the area with low altitude and gentle slope changed more rapidly because of topographical conditions.

Keywords: land use change; urbanization; driving force; Landsat; Dongguan City

20 世纪 80 年代以来,我国东南沿海经济处于快速发展时期,特别是珠江三角洲地区,在经济高速发展的同时,也经历了快速城市化进程。在城市化和工业化的带动下,珠江三角洲地区的城镇用地快速扩张导致耕地大量流失,传统以农业用地为主的土地利用格局发生了明显变化,因而成为区域土地利用变化研究的热点区域,如张文忠等[1]、黎夏[2]、周静[3]、闫小培等[4]、方元[5]、叶长盛等[6]、李颖等[7]研究了珠三角洲地区的土地利用变化。已有的研究结果表明,在城市化和工业化的带动下,珠江三角洲地区的土地利用发生了显著变化,但是由于区域内各城市的自然条件、社会经济条件等方面的差异,珠江三角洲地区的

收稿日期:2011-06-13 修回日期:2011-09-08
作者简介:陈红顺(1982—),男(汉族),湖南省永州市人,讲师,博士,主要研究方向为遥感与 GIS 应用。E-mail:chen.hongshun@163.com。

土地利用变化存在明显的空间差异。作为珠江三角洲快速城市化的典型地区,东莞市在快速城市化进程中的土地利用变化更具有代表性。本文选取东莞市为研究区域,对 1988—2005 年的土地利用变化以及引起变化的驱动因素进行分析,以期为区域土地资源的可持续利用及区域土地管理决策提供有价值的科学依据,同时为我国正在经历快速城市化的地区提供有益的参考。

1　研究区域及数据

1.1　研究区概况

东莞市位于广东省中南部,珠江口东岸,地理坐标为:113°31′—114°15′E,22°39′—23°09′N。境内地貌结构复杂,冲积平原、丘陵地台和山地多种地貌结构并存,属亚热带季风气候,境内河流主要为东江水系。东莞 1985 年撤县建市,1988 年升格为地级市,现辖 28 个镇,4 个街道办事处。全市总面积 2 465 km^2,截至 2008 年底常住人口 694.98 万人。改革开放以来,东莞市经济迅速发展,城市化水平迅速提高,城市用地在短期内占用了大量的农业用地。

1.2　数据来源

本文采用基础数据为 Landsat-5 TM(1988 年 12 月 10 日,1995 年 12 月 30 日,1998 年 12 月 22 日和 2005 年 11 月 23 日)与 Landsat-7 ETM$^+$(2002 年 11 月 7 日)遥感影像数据,轨道号 122/44,成像时间为北京时间上午 10—11 时,成像时间均天气晴朗,天空无云。数据获取时已经作过几何校正和辐射校正,无需作进一步校正,可满足应用。其他辅助数据包括东莞市行政区划图和 1995 年,2000 年 1∶10 万标准分幅的广东省土地利用类型图。

1.3　数据预处理

以经过几何纠正的 2002 年 ETM$^+$ 遥感影像为参考图像,分别选取 25～30 个控制点,控制点均匀分布于整幅图像中。运用二元二次多项式对 1988,1995,1998 和 2005 年的图像进行配准校正,配准的均方根(RMS)误差小于 0.5 个像元。采用双向线性内插法对原图像进行重采样,将各波段的空间分辨率统一调整为 30 m。最后利用东莞市矢量行政区划图提取东莞市的遥感图像。

1.4　土地利用分类

结合东莞市土地利用特点与遥感影像的解译精度,将土地利用类型分为水体、林地、草地、园地、耕地、城镇用地和开发用地共 7 个类型。首先采用波段 543 与波段 432 假彩色合成图像建立遥感解译标志,然后以 1995 年和 2000 年的广东省土地利用数据作为参考建立不同时段遥感影像的分类模板,并用误差矩阵进行模板的精度评价,保证分类模板中不同类别之间的误差矩阵值大于 85%。最后选择最大似然分类法进行监督分类,然后对遥感影像中解译的结果进行过滤、归并等处理,消除小于 5 个像元的类组,并将其合并到相邻的最大的分类中。对解译结果参考广东省 1995 年和 2000 年土地利用类型图并结合野外调查数据进行精度评价,1988,1995,1998,2002 和 2005 年遥感分类结果总体精度分别为 85.42%,87.03%,88.42%,86.94% 和 87.92%,Kappa 系数分别为 0.834,0.821,0.832,0.865 和 0.845,基本能满足应用要求。

2　结果与分析

2.1　土地利用的数量变化

土地利用变化首先反映在各种土地利用类型的面积变化,面积变化可以反映区域土地利用格局的变化。根据土地利用分类结果,对 1988—2005 年东莞市各种土地利用类型的面积进行了统计,其结果见表 1。从表 1 可以看出,东莞市的土地利用变化主要表现为耕地大幅减少,城镇用地迅速增加,其中城镇用地从 1988 年的 6 703.20 hm^2 增加到 2005 年的 75 823.56 hm^2,17 a 间增加了 10.31 倍;耕地则从 1988 年的 114 468.66 hm^2 减少到 2005 年的 47 728.08 hm^2,17 a间减少了 58.30%。

表 1　1988－2005 年东莞市各种土地利用类型面积统计　　hm^2

年份	水 体	林 地	草 地	园 地	耕 地	城镇用地	开发用地	合 计
1988	26 904.78	38 062.89	24 626.07	30 348.27	114 468.66	6 703.20	2 934.99	244 048.86
1995	32 742.63	36 319.32	23 132.61	27 272.70	68 021.01	48 145.86	8 414.73	244 048.86
1998	33 117.30	35 755.83	21 714.93	26 584.02	65 455.83	52 443.27	8 977.68	244 048.86
2002	37 319.13	34 091.28	19 689.21	24 270.57	60 687.54	56 616.75	11 374.38	244 048.86
2005	25 408.17	32 427.63	19 018.35	21 275.46	47 728.08	75 823.56	22 367.61	244 048.86

各种土地利用类型的面积变化,使东莞市的土地利用格局发生了显著改变。1988 年,东莞市占优势的土地利用类型是耕地、林地和园地,三者合占东莞市面积的 74.94%,其中耕地占 46.90%,林地占

15.60%，园地占 12.44%；到 2005 年，土地利用格局发生明显改变，城镇用地的比重上升至 31.07%，成为研究区占绝对优势的土地利用类型。

2.2 土地利用重心转移分析

利用土地利用重心变化模型来研究时段内各种土地利用类型的重心转移，能够揭示区域土地利用的空间分布变化规律[8-11]。为了研究土地利用重心转移的方向和距离，本文对土地利用重心的转移距离(D)和转移角度(α)定义如下：

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

$$\alpha=\begin{cases}\arctan\left(\dfrac{Y_{t+1}-Y_t}{X_{t+1}-X_t}\right) & (X_{t+1}-X_t\geqslant 0)\\ \pi+\arctan\left(\dfrac{Y_{t+1}-Y_t}{X_{t+1}-X_t}\right) & (X_{t+1}-X_t<0)\end{cases} \tag{2}$$

式中：D——从 t 时刻到 $t+1$ 时刻重心转移的距离，(km)；X_t，Y_t——t 时刻某种土地利用类型重心的横坐标和纵坐标；X_{t+1}，Y_{t+1}——$t+1$ 时刻该种土地利用类型重心的横坐标和纵坐标；α——从 t 时刻到 $t+1$时刻重心转移的角度，即重心转移方向与正东方向的夹角，范围为 0°—360°。

根据公式(1)和(2)计算了东莞市 1988—2005 年的各类土地利用类型的重心及重心转移情况，其结果见表 2。总体来看，1988—2005 年，各土地利用类型重心的转移距离都较大，其中林地重心转移距离最大，其重心往 SE 转移了 24.49 km；水体重心转移距离最小，其重心往 SW 转移了 2.70 km；其他各类型重心转移距离也都在 10 km 以上。这说明在该研究时段内研究区的土地利用变化较为剧烈。

表 2 1988－2005 年东莞市各种土地利用类型的重心转移距离和转移角度

	研究时段	水 体	林 地	草 地	园 地	耕 地	城镇用地	开发用地
转移距离 D/km	1988—1995	1.36	7.63	2.35	11.96	17.91	0.43	0.21
	1995—1998	7.41	8.72	10.26	12.78	5.88	0.72	0.36
	1998—2002	7.24	12.16	11.64	12.15	0.22	0.52	0.39
	2002—2005	2.98	14.49	11.92	1.87	0.76	12.79	15.97
	1988—2005	2.70	24.59	14.89	10.90	13.06	12.06	15.47
转移角度 α/(°)	1988—1995	316.79	348.20	296.57	183.02	359.23	129.29	81.87
	1995—1998	32.60	174.07	179.16	0.27	168.23	357.61	4.76
	1998—2002	212.31	355.61	1.18	179.01	344.05	305.54	4.40
	2002—2005	208.89	320.38	325.67	74.18	33.69	153.37	147.12
	1988—2005	236.31	333.87	325.51	172.41	5.80	152.29	144.71

从不同土地利用类型的转移方向来看，水体、林地、草地、园地和耕地的重心转移方向和城镇用地重心转移方向大致相反。1988—1995 年，水体、林地、草地、园地和耕地的重心分别向 SE，SE，SE，SW 和 SE 方向转移，而城镇用地的重心则向 NW 转移；1995—1998 年，水体、林地、草地、园地和耕地的重心分别向 NE，NW，NW，NE 和 NW 方向转移，而城镇用地的重心也反向往 SE 转移；1998—2002 年，水体、林地、草地、园地和耕地的重心分别向 SW，SE，NE，NW 和 SE 方向转移，城镇用地的重心往 SE 方向转移；2002—2005 年，水体、林地、草地、园地和耕地的重心分别向 SW，SE，SE，NE 和 NE 方向转移，城镇用地的重心往 NW 方向转移。这主要是因为城镇用地扩张占用了大量耕地、园地等农业用地，形成重心移动“一进一退”的趋势[10,12]，在区域土地面积一定的情况下，区域内各土地利用类型的相互转化导致区域土地利用类型重心的变化，在空间上表现为重心方向移动的相反性。

2.3 土地利用变化的空间分异特征

空间自相关是用来检验在空间上具有一定规律性的空间变量在不同空间位置上的相关性[13]，通常采用 Moran I 系数作为空间自相关指标，其表达式为：

$$I=\frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}(X_i-\overline{X})(X_j-\overline{X})}{(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij})\sum_{i=1}^{n}(X_i-\overline{X})^2} \tag{3}$$

式中：X_i，X_j——变量 X 在配对空间单元 i 和 j 上的取值；$\overline{X}$——变量 X 的平均值；W_{ij}——相邻权重或空间权重函数(相邻取值为 1，不相邻取值为 0)；n——空间单元总数；I 系数(取值范围－1～1，$I=0$ 代表不相关，$I>0$ 代表正相关，$I<0$ 代表负相关)。

利用式(3)计算了 1988，1995，1998，2002 和 2005 年各土地利用类型的 Moran I 系数，其结果见图 1。总体来看，耕地、城镇用地和开发用地的 Moran I 系数变化幅度较大，其中耕地的 Moran I 系数减少幅度最大，说明耕地分布的空间正相关性正在减弱；城镇

用地的 Moran I 系数有较大增长,说明其城镇用地分布的空间正相关性正日益增强。水体、林地、草地、园地和耕地的 Moran I 系数变化较小,总体上呈减少趋势,说明它们在空间分布上趋于分散,其空间正相关性有所减弱。这主要是由于在快速城市化进程中,一方面由于大量的耕地转化为城镇用地,导致城镇用地在空间分布上趋于集中,而耕地面积大幅减少,另一方面耕地流失导致耕地分布日趋破碎化。

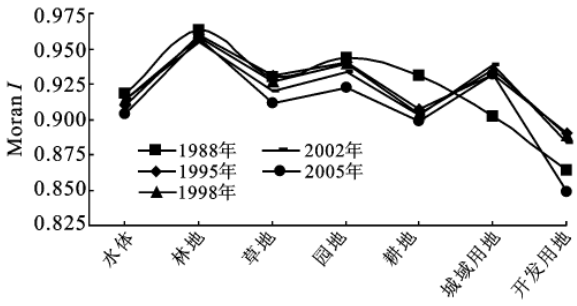


图 1　1988－2005 年各土地利用类型的 Moran I 系数

2.4　土地利用变化的自然驱动因素

不同自然条件适宜的人类社会活动、经济活动方式不同,不同地域决定土地利用的主导性因素也会不同。根据研究区的特点,本文主要选择地形因素来分析自然因素对研究区土地利用变化的影响,并结合研究区的 DEM 数据展开定量分析。根据研究区地形的特点,将研究区的高程和坡度分别划分为 5 个等级(表 3)。

从表 3 中可以看出,东莞市主要土地利用类型分布在高程≤25 m,25～50 m 这 2 个梯度等级范围内,其面积共占东莞市总面积的 82.15%;坡度则主要分布在 0～2.5°,2.5°～5°个梯度等级范围内,其面积占东莞市总面积的 76.16%。

2.4.1　高程影响分析　在高程梯度等级划分的基础上,对 1988,1995,1998,2002 和 2005 年的耕地和城镇用地在不同高程梯度等级的分布情况进行了统计(图 2)。从图 2 可以看出,高程≤25 m,25～50 m 这 2 个梯度等级的低海拔区域是土地利用变化程度最大的区域,耕地的比例分别从 1988 年的 57.67%,49.47%下降到 2005 年的 22.64%,20.65%,城镇用地的比例则分别从 1988 年的 3.77%,1.53%迅速上升为 2005 年的 38.73%,31.54%。由于地形条件的限制,在高程≥50 m 以上的区域,耕地、城镇用地的比例有所增加,但增幅很小。

表 3　高程与坡度梯度等级划分

梯度等级		1	2	3	4	5
高程/m	划分标准	≤25	25～50	50～100	100～200	≥200
	面积比例/%	65.62	16.53	8.42	5.86	3.58
坡度/(°)	划分标准	0～2.5	2.5～5	5～10	10～20	≥20
	面积比例/%	55.41	20.75	10.58	9.48	3.78

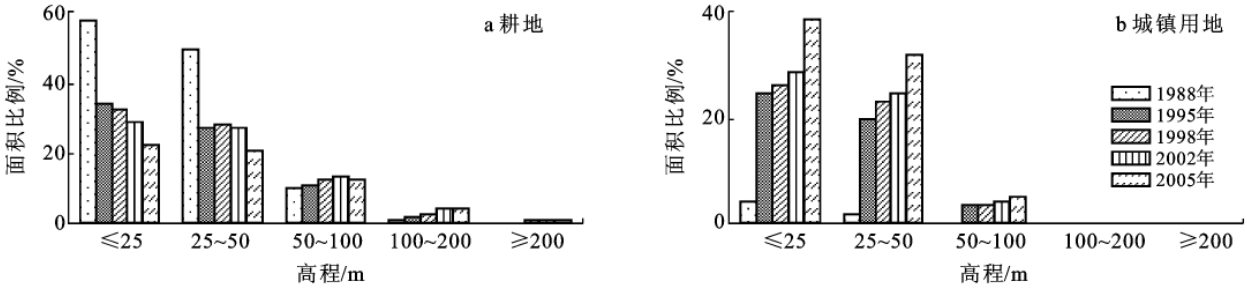


图 2　不同高程梯度等级的耕地和城镇用地分布

2.4.2　坡度影响分析　在坡度梯度等级划分的基础上,对 1988,1995,1998,2002 和 2005 年的耕地和城镇用地在不同坡度梯度等级的分布情况进行了统计(图 3)。

从图 3 可以看出,0°～2.5°,2.5°～5°这 2 个坡度梯度等级的区域为土地利用变化程度最大的区域,耕地的比例分别从 1988 年的 59.31%,51.72%下降到 2005 年的 22.81%,21.48%,而城镇用地的比例分别从 1988 年的 3.60%,3.02%迅速增加到 2005 年的 39.45%,34.46%。随着坡度的增大,由于地形条件人为改造活动的限制,人类对土地利用的程度减小,耕地和城镇用地的变化都很小。

综合以上分析,由于地形差异对人类活动的限制,土地利用变化剧烈的区域主要集中在海拔低、坡度缓的区域,这一区域也是人类活动最为频繁的区域。

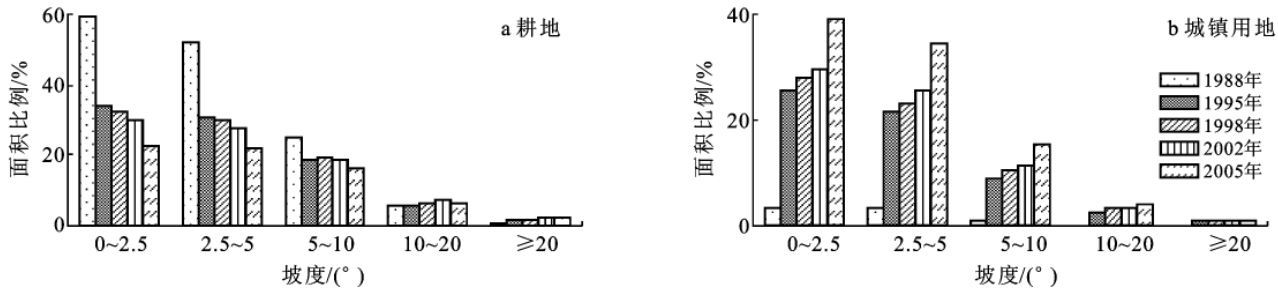


图 3 不同坡度梯度等级的耕地和城镇用地分布

2.5 土地利用变化的人文驱动因素

土地利用变化的人文驱动因素较多，且诸如政治、政策等因素难以量化。本文从影响研究区土地利用变化的人文驱动因素中选取 11 个因子作为分析样本：X_1 总人口(万人)，X_2 国内生产总值(亿元)，X_3 固定资产投资总额(亿元)，X_4 工业生产总值(亿元)，X_5 农业生产总值(亿元)，X_6 第 1 产业比重(%)，X_7 第 2 产业比重(%)，X_8 第 3 产业比重(%)，X_9 高等学校在校人数(人)，X_{10} 粮食总产量(10^4 t)，X_{11} 水产品总产量(10^4 t)。根据主成分分析的基本原理和计算方法，对研究区土地利用变化的人文驱动因子进行分析[4,14-15]。

首先对样本数据计算相关系数矩阵，然后根据主成分计算方法，计算出特征值及各主成分的贡献率与累计贡献率(表 4)，从结果可以看出，第 1，第 2 主成分的累积贡献率达到了 94.41%，完全可以对研究区的土地利用变化给出充分解释。以第 1，第 2 主成分为基础，根据各主成分中各驱动因子荷载可分析其在相应主成分中的贡献率(表 5)，主成分因子载荷矩阵反映出了各主成分和各驱动因子之间的相关关系。

表 4 前 2 个主成分的特征值、贡献率和累计贡献率

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	8.51	77.40	77.40
2	1.87	17.01	94.41

从表 4 可以看出，第 1 主成分对东莞市土地利用变化的贡献率高达 77.40%，是土地利用变化的主要影响因子。在第 1 主成分中，X_1(总人口)，X_2(国内生产总值)，X_4(工业生产总值)，X_8(第 3 产业比重)有较大的正相关，其因子载荷都在 0.93 以上，这些因子与经济发展、人口增长有关，因此第 1 主成分可以认为是经济发展与人口增长因素。1988—2004 年，东莞市的经济快速增长，在经济快速发展的同时，东莞市经历了快速的城市化进程，耕地大量减少，城镇用地迅速增加。通过工业总产值与耕地面积二者的回归分析发现，二者之间存在明显的线性关系(图 4)，建立一元线性回归模型得到 $R^2=0.819\ 6$，并通过 5%的显著性检验。

表 5 主成分因子载荷矩阵

变量	主成分	
	第 1 主成分	第 2 主成分
X_1	0.99	−0.04
X_2	0.93	0.35
X_3	0.84	0.52
X_4	0.93	0.34
X_5	0.78	−0.60
X_6	−0.97	0.20
X_7	0.85	−0.30
X_8	0.97	−0.11
X_9	0.84	0.51
X_{10}	−0.93	0.00
X_{11}	0.58	−0.77

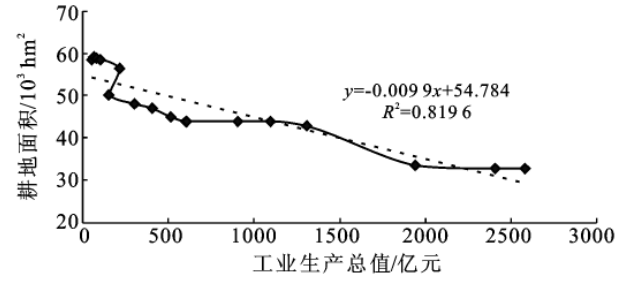


图 4 东莞市 1988−2005 年耕地面积与工业生产总值的相关分析

第 2 主成分对东莞市土地利用变化的贡献率高达 17.01%，也是土地利用变化的重要影响因素。第 2 主成分与 X_{11}(水产品总产量)、X_5(农业生产总值)存在较大的负相关，这些因子与农业产业相关，因此第 2 主成分可以认为是农业产业结构调整因素。由于农业产业结构的大力调整，农业产业向经济效益较好的水产养殖、蔬菜、水果、花卉等生产领域过渡发展。1988—2005 年，东莞市农业总产值总体上呈增加趋势，农业总产值从 1988 年的 20.37 亿元增加到 2005 年的 42.05亿元，东莞市的粮食总产量大幅减少，从 1988 年的 4.61×10^5 t 减少到 2005 年的2.00×10^4 t；与此

同时，东莞市的水产品总产量总体上呈增加趋势，水产品总产量从 1988 年的 5.24×10^4 t 增加到 1998 年的 9.69×10^4 t，随后有所下降，到 2005 年，水产品总产量下降到 6.74×10^4 t。受农业产业结构调整的影响，在一定程度上促使部分耕地与水体、园地之间发生相互转化，对区域土地利用变化也造成了一定影响。

从以上分析结果可以看出，各人文驱动因子都对东莞市的土地利用变化造成了一定影响，但经济发展与人口增长是造成东莞市土地利用变化的主要驱动因素。受国家政策和市场需求的影响，农业产业结构调整因素也对研究区的土地利用变化造成了一定影响。

3　结 论

利用 5 期不同时相的 Landsat TM/ETM$^+$ 遥感影像，分析了东莞市 1988—2005 年土地利用变化及其驱动因素。

（1）东莞市土地利用变化总的态势是耕地大幅减少，城镇用地迅速扩张，大量的农业用地转化为城镇用地，在空间变化上突出表现为农业用地的重心转移方向和城镇用地的重心转移方向大致相反。对土地利用变化空间分异特征的研究结果表明，耕地分布的空间正相关性正在减弱，城镇用地分布的空间正相关性正日益增强。

（2）经济发展与人口增长是东莞市土地利用变化的主要驱动因素，农业产业结构调整也对研究区的土地利用变化造成了一定影响。同时，由于地形条件对人类活动的限制作用，土地利用变化剧烈的区域主要集中在海拔低、坡度缓的平坦区域。

（3）本文采取定性与定量相结合的方法，分别从自然因素和人文因素两方面选取了部分重要驱动因素，探讨了它们对研究区土地利用变化的影响。但土地利用变化是各驱动因素综合作用的结果，如何定量研究各驱动因素的影响至今仍然是 LUCC 的研究难点，今后需要在这一方面继续深入研究。

［参　考　文　献］

[1] 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.

[2] 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.

[3] 周静. 基于 RS 与 GIS 的珠江口两岸景观破碎化分析[D]. 广州：中国科学院研究生院，2005.

[4] 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)：613-621.

[5] 方元. 珠江口两岸土地利用时空演变及其生态环境效应[D]. 广州：中国科学院研究生院，2008.

[6] 叶长盛，董玉祥. 珠江三角洲土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 热带地理，2010，30(6)：603-308.

[7] 李颖，崔海山. 广州市主城区土地利用变化特征的空间分析[J]. 国土与自然资源研究，2011(2)：25-27.

[8] 摆万奇，赵士洞. 土地利用和土地覆盖变化研究模型综述[J]. 自然资源学报，1997，12(2)：74-80.

[9] 王思远. 基于地理时空数据库的中国近期土地利用/土地覆盖变化研究[D]. 北京：中国科学院遥感应用研究所，2002.

[10] 任志远，张艳芳，李晶，等. 土地利用变化与生态安全评价[M]. 北京：科学出版社，2003：9-91.

[11] 包玉海，乌兰图雅，香宝，等. 内蒙古耕地重心移动及其驱动因子分析[J]. 地理科学进展，1998，17(4)：47-54.

[12] Mertens B, Lambin E. Modeling land cover dynamics: integration of fine-scale land cover data with landscape attributes[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 1999, 1(1): 48-52.

[13] 张朝生，陶澎，袁贵平，等. 天津市平原土壤微量元素含量的空间自相关研究[J]. 土壤学报，1995，32(1)：50-57.

[14] 黄宏伟. 基于 GIS 和 RS 的城市土地利用时空演化研究[D]. 北京：中国地质大学(北京)，2008.

[15] 彭文甫. 基于 RS 和 GIS 的城市土地利用变化及其生态环境效应研究[D]. 成都：成都理工大学，2009.