



论 文

基于国产卫星数据的深圳城市化进程中土地利用/覆盖变化探讨

郑盛^{①③}, 曹春香^{①*}, 程锦泉^②, 吴永胜^②, 谢旭^②, 徐敏^{①③}

① 遥感科学国家重点实验室, 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101

② 深圳市疾病预防控制中心, 深圳 518020

③ 中国科学院研究生院, 北京 100049

* 通信作者. E-mail: cao413@irsa.ac.cn

收稿日期: 2011-05-30; 接受日期: 2011-08-04

国家科技重大专项课题 (批准号: 2008ZX10004-012)、国家自然科学基金 (批准号: 40871173) 和国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2007CB714404) 资助项目

摘要 土地利用/覆盖变化是全球变化中的重要组成部分, 城市化进程将导致大规模的土地利用/覆盖变化. 文中首先分别对 1999 年、2006 年、2010 年的 CBERS 和 HJ-1B 数据进行几何校正、拼接裁剪、分类等处理, 生成土地利用/覆盖分类图, 然后分别计算求得深圳市 1999 年到 2006 年和 2006 年到 2010 年的土地利用/覆盖变化转移矩阵. 在此基础上, 研究深圳市从 1999 年到 2010 年期间土地利用/覆盖变化的空间过程. 结果表明: 深圳市在快速城市化进程中发生了大规模的土地利用/覆盖变化, 大量的草地、耕地、未利用土地转化为城镇用地, 草地和林地之间部分结构相互转化调整. 同时, 10 年来深圳市土地利用/覆盖变化区域差异明显, 伴随着宝安和龙岗两区城市化进程加快, 关外土地利用/覆盖变化强度逐渐加强, 而关内逐渐减弱. 在深圳城市化进程中, 城镇用地重心呈现出向北部扩展的趋势.

关键词 国产卫星 土地利用/覆盖 遥感 中国深圳

1 引言

自 1995 年国际地圈—生物圈计划 (IGBP, international geosphere-biosphere program) 和全球变化中的人文领域计划 (IHDP, international human dimension of global environmental change programme) 于 1995 年联合提出了“土地利用/土地覆被变化”(land use and land cover change, LUCC) 研究计划以来, 土地利用和土地覆盖变化已经成为全球环境变化研究中的一个关键问题^[1-4]. 中国作为一个高速发展的国家, 土地利用/覆盖态势随着一直处于不断调整的过程中, 尤其是城市化进程导致的大规模的土地利用/覆盖变化正成为了众多研究者关注的问题^[5-11]. 同时, 中国拥有复杂的自然环境背景和广阔的陆地面积, 其土地利用/覆盖变化不仅对国家的可持续发展, 还会对全球环境变化产生重要的影响^[12,13].

引用格式: 郑盛, 曹春香, 程锦泉, 等. 基于国产卫星数据的深圳城市化进程中土地利用/覆盖变化探讨. 中国科学: 信息科学, 2011, 41(增刊): 140-152

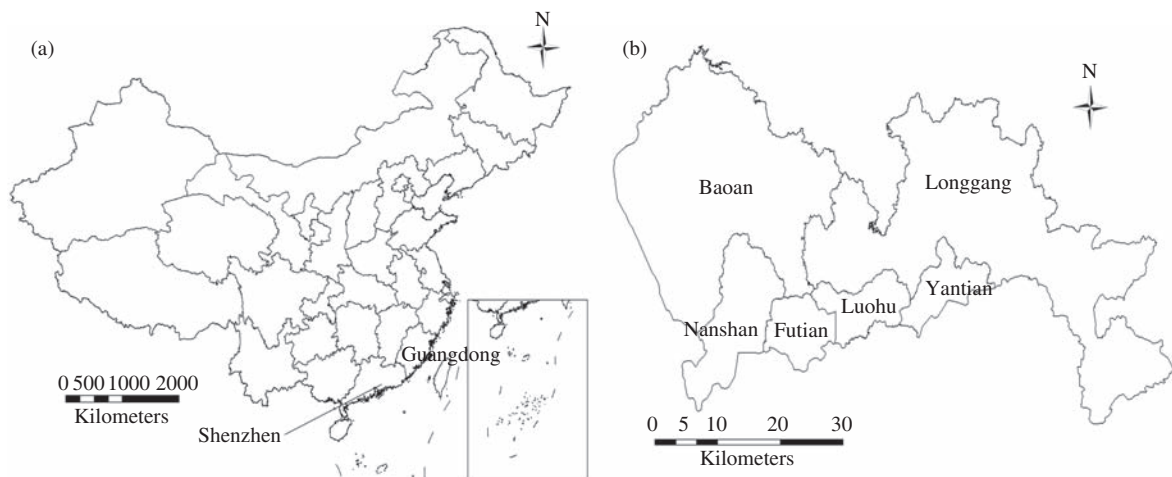


图 1 研究区域

Figure 1 The location of the study area

(a) The map of China, in which the annotated area is the location of Shenzhen; (b) the map of Shenzhen

由于遥感技术观测具有大面积、连续、动态监测的优势,人们越来越多地借助遥感卫星这一先进的技术手段来解决环境监测问题.目前,我国已先后发射了气象、资源、海洋及环境与灾害监测预报小卫星星座等卫星系列,在环境监测领域发挥了越来越重要的作用^[14].

对土地利用/覆盖动态空间格局的理解与划分,是区域尺度土地利用/覆盖变化监测、驱动力分析的基础^[15-17].本文利用遥感对地观测技术,通过对深圳地区 1999、2006、2010 年的中巴地球资源卫星和环境与灾害监测预报小卫星星座 B 星数据的处理,研究了深圳市 10 年来城市化进程中的土地利用/覆盖变化的空间过程.

2 研究区域和数据简介

深圳市位于我国东南部沿海地区,地理坐标范围为 $113^{\circ}46'—114^{\circ}37'E$, $22^{\circ}27'—22^{\circ}52'N$; 深圳市共设 6 个市辖区:福田区、罗湖区、南山区、盐田区、宝安区、龙岗区,见图 1. 深圳地势东南高,西北低,多为低丘陵地,间以平缓的台地,西部沿海一带是滨海平原. 深圳属亚热带海洋性气候,风清宜人,降水丰富. 常年平均气温 $22.5^{\circ}C$, 极端气温最高 $38.7^{\circ}C$, 最低 $-2^{\circ}C$. 无霜期为 355 天, 年平均降雨量 1924.3 mm (<http://baike.baidu.com/view/694048.htm>).

改革开放以来,深圳已经建设成为中国高新技术产业基地和区域性金融中心、信息中心、商贸中心、运输中心及旅游胜地. 深圳市高速的城市化过程为人们揭示城市化过程的土地利用/覆盖空间变化规律提供了很好的条件.

具备深圳城市这个研究对象后,国产卫星技术的不断提高又为研究土地利用/覆盖空间变化提供了技术支持. 本文研究过程中用到的数据资料如表 1 所示,其中中巴地球资源卫星 (CBERS) 和环境与灾害监测预报小卫星星座 B 星 (HJ-1B 星) 光学数据的基本特征参数如表 2 所示.

表 1 深圳土地利用/覆盖数据

Table 1 Data resources used in the research of land use/cover change in Shenzhen

Data types	Time	Sources	Study area
CBERS-01	1999-11-23	China Centre for Resources Satellite Data and Application	Cover overall
CBERS-02	2006-11-06	China Centre for Resources Satellite Data and Application	Cover partly
CBERS-02	2006-12-25	China Centre for Resources Satellite Data and Application	Cover partly
HJ-1B	2010-11-12	China Centre for Resources Satellite Data and Application	Cover overall
Land use/cover map of China	2000	Institute of Geographic Sciences and Natural Resources, CAS	Cover overall
Landsat TM	2002	University of Maryland	Cover overall

表 2 中巴地球资源卫星和环境与灾害监测预报小卫星星座 B 星光学数据的基本特征参数

Table 2 Characteristic parameters of optical data from CBERS and HJ-1B satellite

Platform	Sensor types	Band number	Spectral range (μm)	Spatial resolution (m)	Revisit time (Day)
CBERS-01/ CBERS-02	Visible/ near-infrared	1	0.45—0.52	19.5	26
		2	0.52—0.59	19.5	
		3	0.63—0.69	19.5	
		4	0.77—0.89	19.5	
		5	0.51—0.73	19.5	
HJ-1B	Visible/near-infrared	1	0.43-0.52	30	4
		2	0.52-0.60	30	
		3	0.63-0.69	30	
		4	0.76-0.90	30	

3 深圳城市化进程中土地利用/覆盖变化研究

本文的数据处理流程如图 2, 首先对选取的遥感影像进行几何校正、拼接、裁剪、相对辐射校正等预处理, 之后进行影像分类、重采样, 并计算求得深圳市土地利用/覆盖变化转移矩阵. CBERS 和 HJ-1B 数据的空间分辨率不一样, 如果对它们先重采样, 再进行分类; 会由于重采样造成影像光谱等信息的损失, 从而造成后期分类的精度降低. 因此本文对影像数据先分类后重采样. 完成影像的处理后, 最后提取并分析土地利用/覆盖变化动态信息.

3.1 遥感数据预处理

本文以 2002 的 TM 数据为基准, 在待几何校正的 4 景遥感影像中分别均匀有序地选取了 20 个地面控制点; 采用二次多项式数学模型进行几何校正, 总体均方根误差不超过一个像元. 将 2006 年几

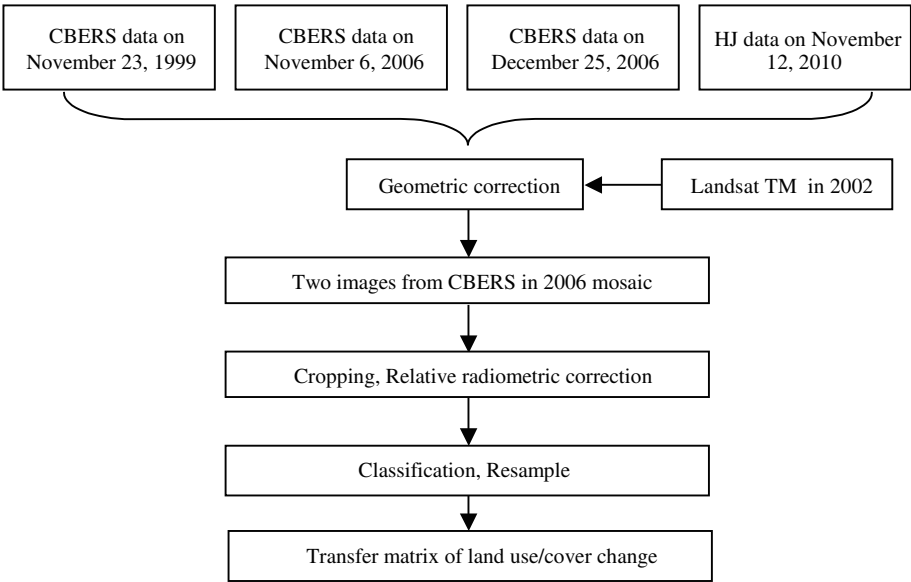


图 2 遥感影像处理流程图
Figure 2 Flowchart of remote sensing images process

表 3 土地利用/覆盖分类说明

Table 3 Classification description of Land use/cover

Types	Description
1 Plough land	It refers to the land of agricultural land, including cultivated land, newly reclaimed land, fallow land, swidden, and the grass-arable land.
2 Forestland	It refers to the land of trees, shrubs, bamboo, and coastal mangrove, etc.
3 Grassland	It refers to all kinds of grass which are mainly herbaceous plants, including field, thickets grass for grazing, and thin grass whose crown density below 10%.
4 Water body	It refers to the natural water area and land for water facilities.
5 Urban land	It refers to the residential land in urban and rural areas, and industrial land, mining land and traffic land etc. outside.
6 Unused land	It refers to the land not been used yet, which includes the land difficult to be used.

何校正后的两景 CBERS 数据进行拼接, 然后利用深圳市行政区划矢量图分别从 3 个时期的遥感影像中裁剪出研究区域, 裁剪出的深圳市面积是 1936 km². 以 2010 年的遥感影像为基准, 应用伪不变特征法 (PIF, pseudo-invariant features) 对 1999 年和 2006 年的遥感影像进行相对辐射校正.

3.2 土地利用/覆盖分类

参照 Anderson J R 的分类体系^[18], 以及 2000 年的全国土地利用/覆盖现状图, 将深圳市研究区的土地利用/覆盖类型划分为: 耕地、林地、草地、水域、城镇用地、未利用土地, 共 6 大类, 6 大类相应的说明如表 3. 本研究中草地包括园地, 以牧为主的灌丛草地等. 根据以往的深圳市土地利用/覆盖

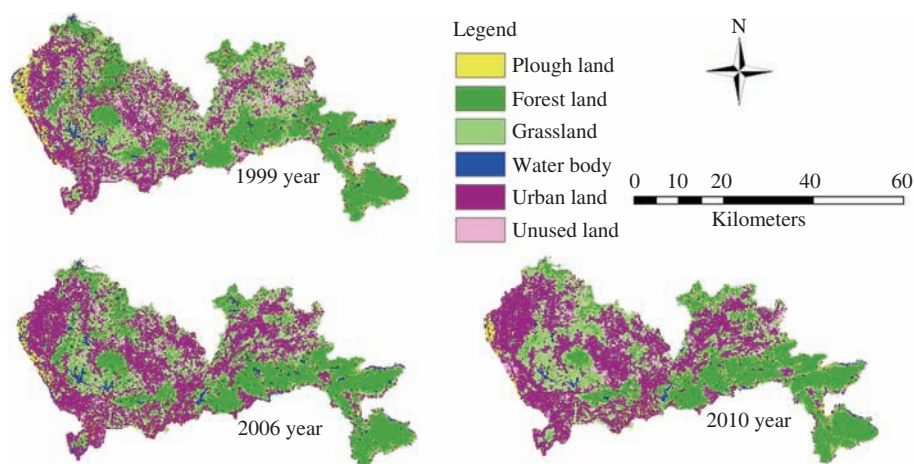


图 3 深圳市三期土地利用/覆盖分类图

Figure 3 Classification maps of land use/cover in 1999, 2006, and 2010 in Shenzhen

变化研究^[8], 以及 2006 年至 2008 年的年深圳市土地变更调查统计 (<http://61.144.226.82:8088/was40/outline?page=1&channelid=13815&searchword=%B2%DD%B5%D8&ispage=yes>), 本文定义的草地面积占深圳总土地面积的比例均超过 10%. 因此本研究将草地作为其中一种土地利用/覆盖类型. 6 大类在各个时期的样本信息可以参考同期地面资料, 包括土地利用/覆盖现状图, Google Earth 卫星地图等.

遥感影像分类的主要依据是地物的光谱特征, 即地物电磁波辐射的测量值. 最大似然法分类主要是利用概率密度函数, 求出每个像素对于各类别的似然度, 将该像元分到似然度最大的类别中. 它假定研究区地物的光谱特征和自然界大部分随机现象一样, 近似服从正态分布. 根据以往的研究表明最大似然法在 CBERS 星 CCD(charge-coupled device) 数据上有较好分类效果^[19,20]. 董双发等人 (<http://www.cresda.com/n16/n1115/n1522/n2149/10139.html>) 以 CBERS-02B 星 CCD 数据为信息源, 认为最大似然法和最小距离法在 CBERS-02B 星 CCD 数据上有较好分类效果; 周翔等人^[19]在基于 CBERS 影像的土地覆盖动态监测方法研究中, 发现最大似然法较最小距离法的分类效果好. 李伟萍等人^[20]基于 Landsat5-TM 和 HJ-1A/B CCD 遥感数据, 用最大似然监督分类方法对三峡水库蓄水位和退水位时水体的范围进行了提取. 本文正是利用最大似然法对三个时期的 CBERS 和 HJ-1B 影像进行分类.

本文针对耕地、林地、草地、水域、城镇用地、未利用土地 6 种土地类型, 通过目视解译在遥感影像上选择 ROI 作为各地类的训练样本. 根据深圳市地类分布的特点, 分别在 3 个时期影像上针对每种地物至少选取了 15 个训练样本. 基于最大似然法, 利用所选择的训练样本进行分类, 然后打开分类后的影像与原影像进行对比. 根据影像判读知识得知, 部分阴坡的林地和城镇用地的阴影被分类为水体, 草地和林地也有一定程度的混分. 对分类发生错误的地区重新选取训练样本, 发现大部分分类错误都是由于训练样本选取不够, 不足以代表各地类的组成. 因此针对各地类又增选了训练样本, 以提高分类精度. 分类结束后, 由于 CBERS 数据和 HJ-1B 数据的空间分辨率不同, 我们统一将分类结果重采样成 30 m, 分类重采样后的影像如图 3.

参考同期地面资料, 在研究区域随机选取若干样本, 通过计算分类混淆矩阵和 kappa 系数, 对图 3 的土地利用/覆盖分类结果进行精度检验. 3 期影像分类图的 kappa 系数分别是 0.79 (1999 年), 0.79 (2006 年), 0.81 (2010 年), 均达到最低允许判别精度 0.7 的要求^[21]. 这表明三景影像的分类结果均比

表 4 深圳市 1999—2006 年土地利用转移矩阵 ^{a)}
Table 4 The land use/cover change matrix from 1999 to 2006 in Shenzhen

1999	2006						Total Percent%
	Plough land	Forestland	Grassland	Water body	Urban land	Unused land	
Plough land	21.85	2.11	7.19	13.86	26.94	2.53	74.48
B	29.332	2.84	9.65	18.604	36.174	3.4	
C	37.128	0.368	1.530	34.546	3.727	3.555	3.846
Forestland	2.6	462.46	74.73	2.08	18.05	4.06	563.98
B	0.461	82.001	13.25	0.368	3.2	0.719	
C	4.418	80.624	15.898	5.184	2.497	5.705	29.122
Grassland	7.25	91.07	264.22	0.89	160.67	31.47	555.57
B	1.304	16.393	47.559	0.161	28.92	5.664	
C	12.319	15.877	56.211	2.218	22.229	44.218	28.688
Water body	6.73	0.18	0.49	18.08	2.9	0.59	28.97
B	23.212	0.637	1.699	62.413	9.998	2.041	
C	11.436	0.031	0.104	45.065	0.401	0.829	1.496
Urban land	19.18	16.5	101.16	4.91	417.78	18.66	578.19
B	3.318	2.854	17.496	0.85	72.255	3.227	
C	32.591	2.877	21.521	12.238	57.799	26.219	29.856
Unused land	1.24	1.28	22.26	0.3	96.47	13.86	135.41
B	0.918	0.943	16.44	0.223	71.243	10.232	
C	2.107	0.223	4.736	0.748	13.347	19.474	6.992
Total	58.85	573.6	470.05	40.12	722.81	71.17	1936.6
Percent%	3.039	29.619	24.272	2.072	37.324	3.675	100

a) 行表示 k 时期的 i 种土地利用类型, 列表示 $k+1$ 时期的 j 种土地利用类型; 黑字部分表示的是 k 时期的土地利用类型转变为 $k+1$ 时期各种类型的面积 (单位是 km^2), 即原始土地利用变化转移矩阵 $\mathbf{A}_{ij}$. $\mathbf{B}_{ij} = \mathbf{A}_{ij} \times 100 / \sum_{i=1}^6 \mathbf{A}_{ij}$, 表示 k 时期 i 种土地利用类型转变为 $k+1$ 时期 j 种土地利用类型的比例. $\mathbf{C}_{ij} = \mathbf{A}_{ij} \times 100 / \sum_{j=1}^6 \mathbf{A}_{ij}$ 表示 $k+1$ 时期的 j 种土地利用中由 k 时期的 i 种土地利用类型转化而来的比例. 行、列的合计分别表示 k 时期和 $k+1$ 时期各种土地利用类型的面积及其占总土地面积的比例.

较理想, 可以用于提取土地利用/覆盖变化动态信息.

3.3 土地利用/覆盖变化转移矩阵计算

对任意两个时期的土地利用/覆盖类型图 $\mathbf{A}_{ij}^k$ 和 $\mathbf{A}_{ij}^{k+1}$, 按照 (1) 式的地图代数方法, 可以求得由 k 时期到 $k+1$ 时期的土地利用/覆盖变化图 $\mathbf{C}_{ij}$, 它表现了土地利用/覆盖变化的类型及其空间分布, 据此可进一步求得反映土地利用/覆盖类型相互转化定量关系的转移矩阵 [8,22,23], 表 4 和 5 分别是深圳市 1999—2006 年土地利用变化转移矩阵和 2006—2010 年土地利用变化转移矩阵.

$$\mathbf{C}_{ij} = \mathbf{A}_{ij}^k \times 10 + \mathbf{A}_{ij}^{k+1} \text{ (土地利用类型} < 10 \text{时适用).}$$

(1)

表 5 深圳市 2006—2010 年土地利用转移矩阵^{a)}

Table 5 The land use/cover change matrix from 2006 to 2010 in Shenzhen

2006	2010						Total Percent%
	Plough land	Forestland	Grassland	Water body	Urban land	Unused land	
Plough land	14.69	0.88	13.84	3.84	21.34	4.25	58.84
B	24.959	1.502	23.522	6.525	36.268	7.224	
C	36.388	0.172	2.752	17.014	2.848	3.901	3.038
Forestland	0.93	440.04	117.86	0.05	8.39	6.34	573.61
B	0.162	76.713	20.548	0.009	1.463	1.106	
C	2.304	85.888	23.432	0.222	1.120	5.819	29.619
Grassland	1.03	62.99	273.44	0.06	98.15	34.38	470.05
B	0.219	13.401	58.172	0.013	20.881	7.314	
C	2.551	12.295	54.363	0.266	13.097	31.556	24.272
Water body	13.79	0.65	3.19	17.23	4.06	1.21	40.13
B	34.362	1.631	7.938	42.928	10.113	3.028	
C	34.159	0.127	0.634	76.340	0.542	1.111	2.072
Urban land	9.76	7.39	83.36	1.37	581.23	39.69	722.8
B	1.35	1.023	11.533	0.189	80.414	5.492	
C	24.176	1.442	16.573	6.070	77.561	36.430	37.323
Unused land	0.17	0.39	11.3	0.02	36.21	23.08	71.17
B	0.243	0.544	15.883	0.021	50.88	32.429	
C	0.421	0.076	2.247	0.089	4.832	21.184	3.675
Total	40.37	512.34	502.99	22.57	749.38	108.95	1936.6
Percent%	2.085	26.456	25.973	1.165	38.696	5.626	100

a) 说明同表 4.

3.4 土地利用/覆盖变化区域差异模型

土地利用/覆盖变化存在着显著的地区差异, 我们可以用各区域某种土地利用/覆盖类型相对变化率来反映土地利用/覆盖变化的区域差异. 某研究区某一特定土地利用/覆盖类型相对变化率可表示为

$$R = (K_a/K_b)/(C_a/C_b), \quad (2)$$

式中, K_a 、 K_b 分别代表某区域某一特定土地利用/覆盖类型研究期初及研究期末的面积, C_a 、 C_b 分别代表全部区域某一特定土地利用/覆盖类型研究期初及研究期末的面积. 相对变化率可以较好地反映土地利用/覆盖变化的区域差异, 如果某区域某种土地利用/覆盖类型的相对变化率 $R > 1$, 则表示该区域这种土地利用/覆盖类型变化较全区域大. 据此可以研究深圳地区土地利用/覆盖变化的区域差异 [22-24].

深圳有 6 个区, 分为关内和关外. 关内 4 个, 分别是福田区、罗湖区、南山区、盐田区; 关外有 2 个, 分别是宝安区和龙岗区. 关内土地面积不到全市总面积的 20%, 大部分属于商业区, 经济发达; 关

表 6 深圳土地利用/覆盖变化区域差异
Table 6 Regional analysis of land use/cover change in Shenzhen

	1999–2006		2006–2010	
	urban area	rural area	urban area	rural area
Plough land	0.60	1.13	1.03	0.99
Forestland	0.85	1.04	0.99	1.00
Grassland	1.08	0.98	0.86	1.04
Water body	1.12	0.97	0.64	1.19
Urban land	1.14	0.96	1.08	0.98
Unused land	1.14	0.97	1.25	0.96

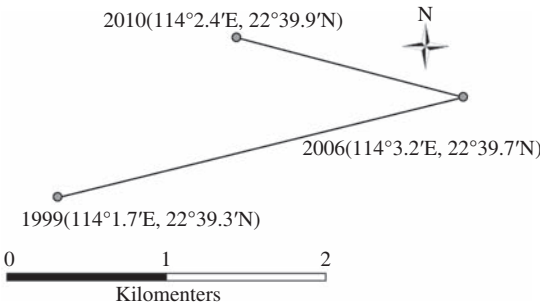


图 4 深圳市城镇用地重心变化
Figure 4 Barycenter change of urban land in Shenzhen

外土地面积超 80%, 拥有大量林地, 耕地, 草地. 深圳市关内和关外两大区域土地利用/覆盖变化相对变化率的计算结果如表 6.

3.5 土地利用/覆盖重心变化模型

土地利用/覆盖类型的重心变化可在一定程度上体现土地利用/覆盖的空间变化. 第 t 年某种土地利用/覆盖类型分布重心坐标 (经纬度) 计算方法为

$$\begin{aligned} X_t &= \sum_{i=1}^n (C_{ti} \times X_i) / \sum_{i=1}^n C_{ti}, \\ Y_t &= \sum_{i=1}^n (C_{ti} \times Y_i) / \sum_{i=1}^n C_{ti}, \end{aligned} \tag{3}$$

式中 X_t 、 Y_t 分别表示第 t 年某种土地利用/覆盖类型分布重心的经纬度坐标, C_{ti} 表示第 i 个小区域该种土地资源的面积, X_i 、 Y_i 分别表示第 i 个小区的几何中心的经纬度坐标, n 表示研究区内小区的总个数.

通过比较研究期初和研究期末各种土地利用/覆盖类型的分布重心, 就可以得到研究时段内土地利用/覆盖类型的空间变化规律 [22–24]. 采用 (3) 式, 深圳市城镇用地重心变化的计算结果见图 4.

4 结果分析

4.1 土地利用/覆盖变化特征分析

根据表 4、表 5 及图 3, 可以发现从 1999 年到 2010 年深圳市在城市化进程土地利用/覆盖变化具有如下特征.

(1) 城市化过程明显, 城市化带来城市用地规模的扩展, 主要通过占用草地而来. 从 1999 年到 2006 年这 7 年内, 深圳城镇用地面积从 578.19 km² 扩展到 722.81 km², 占深圳市总体面积从 29.856% 到 37.324%; 7 年内增加的城镇用地有 22.229% 来自草地. 从 2006 年到 2010 年这 4 年内, 深圳城镇用地面积从 722.8 km² 扩展到 749.38 km², 占深圳市总体面积从 37.323% 到 38.696%, 4 年内增加的城镇用地有 13.097% 来自草地. 由此可见, 深圳市城市化过程明显, 城市用地规模随之扩展, 尤其在 1999 年到 2006 年期间扩展迅速, 主要是通过占用草地而来的.

(2) 在城市化过程中, 城镇面积的扩展导致耕地面积减少. 1999 年到 2010 年耕地面积分别是 74.48, 58.85, 40.37 km²; 占深圳市总体面积分别是 3.846%, 3.038%, 2.085%. 从转化上看, 1999 年, 2006 年的耕地分别有 36.174%, 36.268% 转化为城镇用地; 城镇面积的扩展是导致耕地面积减少的重要原因.

(3) 林地和草地两者的面积变化不大, 部分结构相互转化调整. 从 1999 年到 2010 年, 林地的面积分别是 563.98, 573.6, 512.34 km², 草地的面积分别是 555.57, 470.05, 502.99 km². 从来源上看, 2006 年, 2010 年的林地分别有 15.877%, 12.295% 来自于草地; 草地中分别有 15.898%, 23.432% 来自于林地. 从转化上看, 1999 年和 2006 年的草地分别有 28.92%, 20.881% 转化为城镇用地, 16.393%, 13.401% 转化为林地; 林地中分别有 13.25%, 20.548% 转化为草地. 因此, 草地主要转化为城镇用地和林地; 林地主要转化为草地, 这主要是因为林地遭到砍伐而退化为草地, 或转化为园地, 过去的研究^[8,25]也有类似的结果.

(4) 城市化进程中, 未利用土地主要转化为城镇用地. 从 1999 年到 2010 年, 未利用土地占深圳市总体面积分别是 6.992%, 3.675%, 5.626%; 从转化上看, 1999 年和 2006 年的未利用土地分别有 71.243%, 50.88% 转化为城镇用地; 由此可见, 深圳市大部分未利用土地被转化为城镇用地.

从 1999 年到 2010 年深圳市高速城市化进程中, 大量的草地、耕地、未利用土地转化为城镇用地; 城镇用地迅速扩展主要是占用草地而来的, 草地和林地之间部分结构相互转化调整.

4.2 土地利用/覆盖变化区域差异分析

从表 6 可以发现深圳市各种土地利用/覆盖类型相对变化率表现出明显的区域差异. 从 1999 年到 2006 年, 深圳市关内有草地、水域、城镇用地、未利用土地 4 种土地类型的相对变化率大于 1, 关外只有耕地和林地两种土地类型的相对变化率大于 1. 从 2006 年到 2010 年, 深圳市关内有耕地、城镇用地、未利用土地 3 种土地类型的相对变化率大于 1, 关外有林地、草地、水域 3 种土地类型的相对变化率大于 1. 由此, 不难发现在城镇用地和未利用土地的相对变化率上, 深圳市关内高于关外; 在林地的相对变化率上, 深圳市关外高于关内. 从 1999 年到 2006 年, 深圳市关内土地利用/覆盖变化强度在深圳市占有主导地位, 但是从 2006 年到 2010 年, 关外土地利用/覆盖变化强度逐渐上升, 关内土地利用/覆盖变化强度逐渐减弱.

4.3 土地利用/覆盖重心变化分析

伴随着城市化进程深入, 各种土地利用/覆盖变化类型重心在空间上将会发生相应的变化. 本文

以深圳市城镇用地为研究对象, 研究其从 1999 年到 2010 年的重心转移情况. 从图 3 可看出, 城镇用地的重心从 1999 年的 $114^{\circ}1.7'E$, $22^{\circ}39.3'N$ 向东北方向转移到了 2006 年的 $114^{\circ}3.2'E$, $22^{\circ}39.7'N$, 又向西北方向转移到了 2010 年的 $114^{\circ}2.4'E$, $22^{\circ}39.9'N$. 表明从 1999 年到 2010 年深圳市的城镇用地重心呈现出向北部扩展的趋势.

4.4 土地利用/覆盖变化影响因素分析

影响土地利用/覆盖变化的驱动因子包括人口、经济和政策等因素^[26-28]. 人口因素是最具活力的土地利用/覆盖变化的驱动力之一^[29]. 根据 2010 年实施的第 6 次全国人口普查数据, 深圳市市常住人口为 10357938 人, 同 2000 年第 5 次全国人口普查的 7008428 人相比, 10 年共增加 3349510 人, 增长 47.79%, 年平均增长率为 3.98%. 人口的大量增加必然导致促进居住用地增加. 社会经济对土地产品或服务需求、社会群体目标和技术进步等方面对土地利用/覆盖产生影响^[30]. 深圳市的社会经济变化可以从 3 大产业结构体现出来. 3 大产业结构在 2000 年, 2008 年, 2010 年分别为 1.2: 50.5: 48.3, 0.1: 48.9: 51.0, 0.1: 47.5: 52.4. 2008 年深圳第三产业比重首次超过第二产业, 2010 年这种优化结构在继续. 深圳市近 10 年城市人口的迅速增加和以房地产为主的第三产业的发展导致城镇用地的扩张, 在此动力的驱使下逐步侵占其它类型土地的空间, 而各类型土地根据自身布局需求也进行相应调整, 进而引起区域土地格局的整体变化.

一个地区的土地利用/覆盖结构变化往往是在特定的政策环境下形成的, 政策因素是土地利用/覆盖变化人文因素发挥作用的基础和保障, 对土地利用/覆盖变化有着强制性的现实影响^[31-33]. 针对深圳市关外地区, 2003 年深圳提出了“关于加快宝安、龙岗两区城市化进程的意见”, 2004 年、2005 年的城市化转地之后, 关外的城市化全面提速, 深圳的建设重点也向关外倾斜 (http://www.curb.com.cn/page-show.asp?id_forum=011268, <http://szzand.com/news.asp?classid=26&id=13>). 因此深圳市关外土地利用/覆盖变化强度的增大与深圳市 2000 年以来的发展战略也是一致的.

5 结论和讨论

从 1999 年到 2010 年, 深圳市城市化发展迅速, 对土地的需求不断增加, 以致土地利用/覆盖类型发生了明显的变化, 其中大量的草地、耕地、未利用土地转化为城镇用地, 城镇用地迅速扩展主要是占用草地而来的, 草地和林地之间部分结构相互转化调整. 同时, 深圳市土地利用/覆盖变化区域差异明显, 从 1999 年到 2006 年期间, 关内土地利用/覆盖变化强度在深圳市占有主导地位; 但是从 2006 年到 2010 年期间, 伴随着宝安和龙岗两区城市化进程加快, 关外土地利用/覆盖变化强度逐渐上升, 关内土地利用/覆盖变化强度逐渐减弱. 在深圳市城市化进程中, 城镇用地重心呈现出向北部扩展的趋势.

我国国产卫星在环境监测领域发挥着越来越重要的作用. 本文正是在国产卫星数据的支撑下, 研究了深圳市近 10 年来城市化进程中的土地利用/覆盖变化. 在此基础上, 还可引出以下两方面的讨论. 其一是土地利用/覆盖变化与生态环境密切相关^[34], 我们将进一步探讨深圳市土地利用/覆盖变化对生态环境的影响. 其二是生态环境破坏会对人类健康产生严重威胁^[35,36], 空间信息技术在土地利用/覆盖变化和人类健康领域均取得了显著成果^[37-39], 我们将利用空间信息技术进一步探讨深圳市土地利用/覆盖变化对人类健康的影响.

参考文献

- 1 Helmut J G, Eric F L. What drives tropical deforestation? LUCC Report Series No. 4. 2001
- 2 Deng X Z, Liu J Y, Zhuang D F, et al. Internet based environmental monitoring information system and its application in Yili Prefecture. *J Geogr Sci*, 2002, 12: 163–170
- 3 Shi P J, Gong P, Li X B, et al. *Methods and Practice of Land Use/Cover Change Research* (in Chinese). Beijing: Science Press, 2000. 1–10
- 4 Wang N, Meng F, Wang Q, et al. Change of land use in rapidly urbanized area: a case study of Pudong New Area (in Chinese). *J Shandong Jianzhu Univ*, 2010, 25: 364–373
- 5 Suo J F, Xu F. Analysis of land use change and its driving forces in a small region scale in rapid urbanization stage (in Chinese). *J Anhui Agr Sci*, 2010, 38: 13420–13422
- 6 Wu W Q, Cao M M. Study on the land use change of Xi'an City during accelerated urbanization (in Chinese). *Bull Soil Water Conserv*, 2008, 28: 129–132
- 7 Zhang X L, Wu Y Z, Guan X. Review of land use change among urbanization (in Chinese). *J Agr Mechan Res*, 2008, 1: 242–245
- 8 Shi P J, Chen J, Pan Y Z. Land use change mechanism in Shenzhen City (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2000, 55: 151–160
- 9 Li P, Li X B, Liu X J. Macro-analysis on the driving forces of the land-use change in China (in Chinese). *Geogr Res*, 2001, 20: 129–138
- 10 Gu C L. A study on land use/cover change mechanism in Beijing (in Chinese). *J Natl Resour*, 1999, 14: 300–312
- 11 Chen S P. *Urbanization and City Geographic Information System* (in Chinese). Beijing: Science Press, 1999. 1–10
- 12 Verbrug P H, Veldkamp A, Fresco L O. Simulation of changes in the spatial pattern of land use in China. *Appl Geogr*, 1999, 19: 211–233
- 13 Zhuang D F, Deng X Z, Zhan J Y, et al. A study on the spatial distribution of land use change in Beijing (in Chinese). *Geogr Res*, 2002, 21: 667–674
- 14 Ma J W, Tian G L, Wang C Y, et al. Review of the development of remote sensing change detection technology (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2004, 19: 192–196
- 15 Liu J Y, Buheasier. Study on spatial-temporal feature of modern land use change in China using remote sensing techniques (in Chinese). *Quatern Sci*, 2000, 20: 229–239
- 16 Liu J Y. *Environmental Resources Macroscopic Survey and Dynamic Study Using Remote Sensing in China* (in Chinese). Beijing: Science and Technology Press of China, 1996. 82–92
- 17 Veldkamp A, Lambin E F. Predicting land-use change. *Agr Ecosyst Environ*, 2001, 85: 1–6
- 18 NASA. Modeling land-use and land-cover changes in Europe and Northern Asia. In: NASA, 1999 Research Plan. USA: Houston, 1998. 14–21
- 19 Zhou X, Lin H, Xue X P. Methods of land cover dynamic monitoring base on CBERS data (in Chinese). *Forest Res*, 2008, 21: 80–84
- 20 Li W P, Zeng Y, Wu B F, et al. Research and monitoring of vegetation recovery based on remote sensing in the drawdown area of the three gorges basin (in Chinese). *Resour Environ Yangtze Basin*, 2011, 20: 332–338
- 21 Lucas F J, Frans J M, Wel V D. Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review. *Photogramm Eng Rem S*, 1994, 60: 410–432
- 22 He C Y, Shi P J, Chen J, et al. A study on land use/cover change in Beijing area (in Chinese). *Geogr Res*, 2001, 20: 679–688
- 23 Jensen J Q, Cowen D. *Principles of Change Detection Using Digital Remote Sensor Data. Integration of GIS and Remote Sensing*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 1–25
- 24 Yu X L, Bao Y H. Study on the methods of land use dynamic change research (in Chinese). *Prog Geogr*, 1999, 18: 81–87
- 25 Li Y J, Zeng H, Wei J B. Vegetation change in Shenzhen City based on NDVI change classification (in Chinese). *Chinese J Appl Ecol*, 2008, 19: 1064–1070

- 26 Yan X P, Mao J X, Pu J. Research on the human dimensions of land use changes in the mega-urban region: a case study of the Pearl River Delta (in Chinese). *Acta Geogr Sin*, 2006, 61: 613–623
- 27 Chen Z, Hu Y, Liu C W. Analysis on driving forces and spatial-temporal evolution of land use structure in Xianning City (in Chinese). *J Anhui Agr Sci*, 2007, 35: 8299–8301
- 28 Shao J A, Li Y B, Wei C F. The drivers of land use change at regional scale: assessment and prospects (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2007, 22: 798–809
- 29 Li T S. Analysis on dynamic change of land use in Shanxi Province (in Chinese). *Geogr Res*, 2004, 23: 157–164
- 30 Li P, Li X B, Liu X J. Macro-analysis on the driving forces of the land-use change in China (in Chinese). *Geogr Res*, 2001, 20: 129–138
- 31 Reng Z Y. Analysis on the land use change and its driving factors: a case study in Junggar Banner of Inner Mongolia (in Chinese). *Arid Zone Res*, 2003, 20: 202–205
- 32 Pablo P. Agricultural expansion and deforestation in lowland Bolivia: the import substitution versus the structural adjustment model. *Land Use Policy*, 2006, 23: 205–225
- 33 Wang Y H, Liu Y S, Zhou Y H. Analysis of human driving forces underlying land use conversion in coastal developed regions: a case study of Wenzhou City (in Chinese). *Prog Geogr*, 2004, 23: 43–50
- 34 Shi P J, Song C Q, Jing G F. Strengthening the study of land use/cover change and its impact on eco-environmental security (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2002, 17: 161–168
- 35 Cheng Y, Yang L S, Li H R. Global environmental change and human health (in Chinese). *Prog Geogr*, 2006, 25: 46–58
- 36 Lu X W, Chen P. Urbanization and ecological environment problems of Xi'an (in Chinese). *J Arid Land Resour Environ*, 2006, 20: 7–12
- 37 Wang S Y, Zhang Z X, Zhou Q B, et al. Study on spatial-temporal features of land use/land cover change based on technologies of RS and GIS (in Chinese). *J Remote Sens*, 2002, 6: 223–228
- 38 Cao C X, Chang C Y, Xu M, et al. Epidemic risk analysis after the Wenchuan Earthquake using remote sensing. *Int J Remote Sens*, 2010, 31: 3631–3642
- 39 Zhong S B. Application of GIS and remote sensing for study of epidemiology of infectious diseases-case studies of hepatitis B and highly pathogenic avian influenza (in Chinese). PhD Dissertation. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2006. 1–7

A study on land use and land cover change during urbanization in Shenzhen using data from Chinese satellites

ZHENG Sheng^{1,3}, CAO ChunXiang^{1*}, CHENG JinQuan², WU YongSheng², XIE Xu² & XU Min^{1,3}

¹ State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Jointly Sponsored by the Institute of Remote Sensing Applications of Chinese Academy of Sciences and Beijing Normal University, Beijing 100101, China;

² Shenzhen Center for Disease Control and Prevention, Shenzhen 518020, China;

³ Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

*E-mail: cao413@irsa.ac.cn

Abstract Land use and land cover (LUCC) change are key components in global environmental change. Urbanization is a factor that leads to large-scale LUCC changes. In this paper, we used CBERS and HJ-1B data for 1999, 2006 and 2010 to analyze the spatial processes of LUCC from 1999–2010 in Shenzhen, China. After applying several image-enhancing processes (including geometric correction, mosaic calculation, cropping, and classification), land use/cover classification maps for each year were generated and used in the calculation of a transfer matrix for the periods 1999–2006 and 2006–2010. We found that large-scale LUCC changes took place in Shenzhen during rapid urbanization. Large areas of grassland, plowed land and unused land were converted

to urban land; and, some areas of grassland converted into forest, and vice-versa. Regional differences in LUCC changes in Shenzhen during the past 10 years were significant. With the acceleration of urbanization in Baoan District and Longgang District, the intensity of LUCC gradually increased in rural areas of Shenzhen, but decreased in urban areas. The barycenter of urban land in Shenzhen showed a trend of expansion to the north during urbanization.

Keywords China-made satellite, land use/cover, remote sensing, Shenzhen City