

快速城市化过程与景观格局研究 ——以深圳经济特区为例*

宋艳曦¹, 余世孝¹, 李楠², 李勇², 龚友夫³, 陈涛³

(1. 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275)

2 深圳市仙湖植物园, 广东 深圳 518004

3 深圳市城市管理科学研究所, 广东 深圳 518036)

摘要: 利用 1979 – 2003 年四期遥感图像结合景观生态学原理和方法着重分析了快速城市化过程和景观时空格局自特区设立以来的变化特征。结果表明: 深圳经济特区在 1979 – 2003 年总体表现出随城市化过程, 景观时空格局复杂性程度不断增加的趋势, 但变化速率、强度和发展态势在 4 个行政区域表现出一定的分异特征, 其中盐田区、罗湖区较大景观结构变化发生在 1979 – 1990 年, 表现出上述区域城市化干扰程度较轻, 特别是盐田区表现为受重干扰的次数较少; 福田区表现出景观时空结构变化持续时间长、开始时间早的特点与特区总体景观结构变化特征较一致; 南山区主要的变化主要发生在 1990 年以后。同时福田区和南山区表现出多次多段干扰的迹象, 受城市化干扰程度巨大。4 个行政区域由于规划发展目的不同表现出不同的时空变化特点。

关键词: 景观动态; 深圳经济特区; 快速城市化过程

中图分类号: Q 149 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529 6579 (2006) 06 0087-06

城市作为目前人类活动干扰最为剧烈的生态系统, 它的发生发展是人类社会的必然趋势^[1-2]。城市化发展的直接后果是城市景观组分在不同水平下发生剧烈变化^[3-5], 不同景观组分之间的相互作用除受到建设用地扩张外, 还受到自然资源环境、区域生产经营和生态环境容纳量等因素的综合制约^[6-7]。

深圳作为我国第一个经济特区, 在建立之初就根据现实的自然地理条件和对未来发展的预测, 科学地制定了城市总体规划, 确定了“网状组团式”的城市格局。建市以来它特殊的地理区位、经济实施政策等对于整体景观格局产生的影响, 对于地形位置、开发时间和规划目不同的 4 个行政区产生的影响各不相同, 有必要利用景观生态学原理和方法进行定量研究, 合理把握这些驱动因素的影响程度、作用方式和影响效果。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

研究地区为深圳市经济特区内的南山、福田、罗湖和盐田四区, 不包括特区外的宝安区和龙岗区, 特区背山面海, 东西长 49 km, 南北宽约 8 km, 呈狭长形, 总面积为 397.76 km², 气候属亚

热带海洋性气候。全年气候温和, 雨量充沛, 日照时间长。年平均气温为 22.3 ℃, 无霜期为 355 d 年均日照 2 060 h 太阳年辐射量 5 225 MJ/m²。每年 5 – 9 月为雨季, 年平均降雨量为 1 924.7 mm。

1.2 研究方法

本研究的基础数据源为 1979 – 2003 年 4 个时段的卫星遥感图像。利用 Erdas8.6 系统进行了图像预处理以及采用 Hybrid 方法的景观分类与制图^[8]。以自然属性的相似性和人为利用方式下的趋同性为原则确定了以下 8 种景观类型: 非透水表面 (各种硬化不透水层类型); 建设用地 (各种建设用地类型); 林地 (包括以乔木为主体的植被类型); 灌丛; 灌草丛 (与草丛的区别主要为分布在山地上的天然高草所组成的植被类型, 它的盖度和高度都显著高于草滩类型); 草丛; 裸地 (无植被覆盖的沙滩, 泥滩, 废弃地和少量处于建设前期阶段已完成三通一平工作的建设用地); 水体 (包括湖泊、池塘、河流、水库)。对于 4 期遥感图像的分类结果进行精度检验, 4 期图像的 Kappa 指数都达到 0.75 以上, 符合应用要求。在 ArcGIS 9.0 和 Fragstats 3.3 平台上计算景观格局指数^[9]:

1) 景观类型 *i* 面积 (Class Area CA);

* 收稿日期: 2006 03 09

基金项目: 深圳市城市管理局重点资助项目; 广东省自然科学基金资助项目 (021657)

作者简介: 宋艳曦 (1976 年生), 男, 博士生; 通讯联系人: 余世孝; E-mail: lssyx@mail.sysu.edu.cn

$$CA_i = \sum_{j=1}^{n_i} a_{ij} \tag{1}$$

a_{ij} 是斑块 j 的面积, n_i 为斑块数量 (NP).

2) 景观类型斑块密度 (Patch Density PD)

$$PD_i = \frac{n_i}{A} \tag{2}$$

A 为总景观面积.

3) 最大斑块指数 (Largest Patch Index LPI):

$$LPI_i = \frac{\max(a_{ij})}{A} \times 100 \tag{3}$$

4) 景观形状指数 (Landscape Shape Index LSI):

$$LSI_i = e_i \ln e_i \tag{4}$$

e_i 是景观类型 i 边界线的总和, $\ln e_i$ 是景观类型 i 的最小可能边界.

5) 周长面积分形维数 (Perimeter-Area Fractal Dimension, PAFRAC):

$$PAFRAC_i = \frac{2 \left[\left(\sum_{j=1}^{n_i} \ln p_{ij}^2 \right) \left(\sum_{j=1}^{n_i} \ln p_{ij} \right)^2 \right]}{n_i \sum_{j=1}^{n_i} \ln p_{ij} \ln a_{ij} - \sum_{j=1}^{n_i} \ln p_{ij} \sum_{j=1}^{n_i} \ln a_{ij}} \tag{4}$$

取值范围 $1 \leq PAFRAC_i \leq 2$ p_{ij} 是斑块 j 的周长 (m).

6) 景观多样性指数 (Shannon's Diversity Index SHDI):

$$SHDI = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \tag{5}$$

p 是景观类型 i 占据的比例.

7) 分散混合指数 (Interspersion & Juxtaposition Index IJI):

$$IJI = \frac{- \sum_{k=1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \ln \left(\frac{e_{ik}}{\sum_{k=1}^m e_{ik}} \right) \right]}{\ln(m-1)} \times 100 \tag{6}$$

e_{ik} 表示景观类型 i 和 k 相连接的总边界长度, m 是景观类型数量.

2 结果与分析

2.1 景观水平结构特征

从景观水平格局指数上看 (图 1), 1979 - 2003 年, 斑块数量、斑块密度、多样性指数和景观形状指数都表现出逐步增加的趋势, 最大斑块指数表现出逐步下降的趋势, 说明随时间变化整个特区和 4 个行政区域城市化过程导致景观破碎化程度不断加剧, 斑块数量增加, 斑块越来越趋向于离散分布, 面积趋向于小型化. 但各时间段内的变化速率表现出一定的差异, 其中 1979 - 1990 年时间段内的变化最为强烈, 这归咎于 1979 年开始的特区

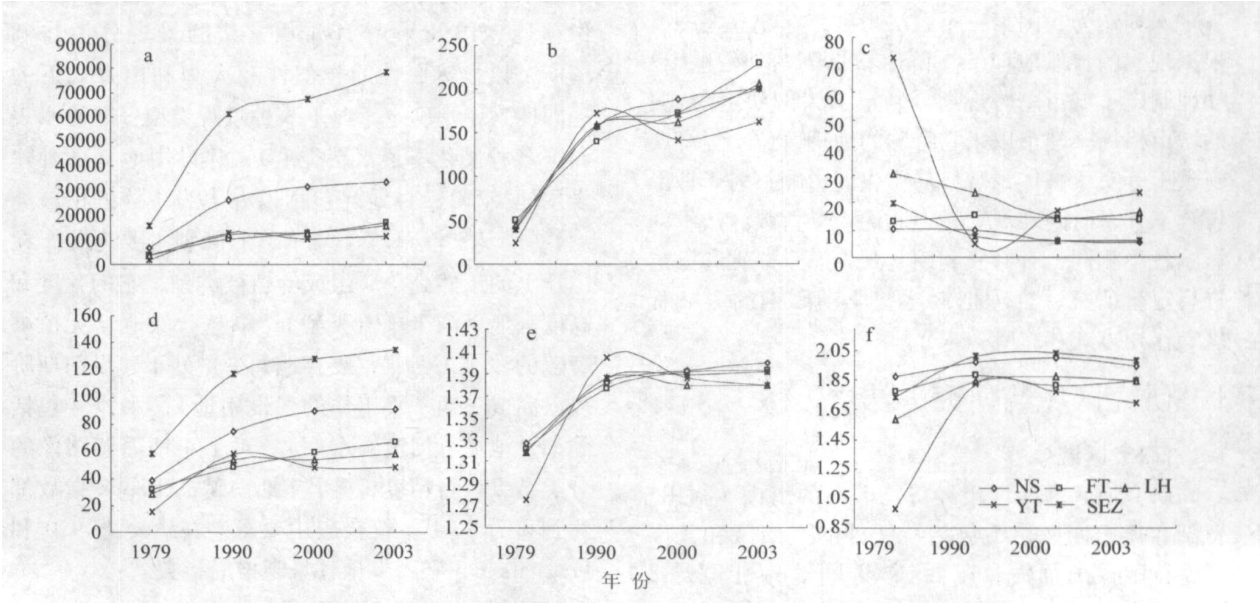


图 1 景观水平结构特征

Fig 1 Landscape-level patch structure

a 斑块数量 (NP); b 斑块密度 (PD); c 最大斑块指数 (LPI); d 景观形状指数 (LSI);
e 分形维数 (PAFRAC); f Shannon多样性指数 (SHDI)
LH 罗湖区; NS 南山区; SEZ 深圳经济特区; YT 盐田区; FT 福田区 (图 3-4 相同)

建设城市化过程所造成的总体景观格局的变化，但各区存在差异。从斑块数量和景观形状指数看（图 1a 1d），南山区的斑块绝对数量、景观形状指数都明显高于其它三个区域，表明该区域内城市化过程的干扰处于中游水平且持续时间最长，符合生态学的中度干扰假说，即干扰处于中度，斑块数量和类型更加多样化，另外一个原因可能是南山区北部的西历水库周围破碎化的植被斑块造成。从斑块密度上看（图 1b），南山区和福田区表现出稳步上升的态势，但罗湖区和盐田区则在 2000 年时表

现出斑块密度下降的状况。从最大斑块指数、分形维数和多样性指数看（图 1g 1e 1f）。盐田区表现出一定分异特征，最大斑块指数在 1979 ~ 1990 年大幅度降低之后逐渐上升，分形维数 1979 ~ 1990 年大幅度上升后又逐渐降低，景观多样性指数 1979 ~ 1990 年大幅上升后逐步降低，结合盐田区 3 个指数的变化表明 1979 ~ 1990 年的盐田区受到重大的城市化干扰过程的影响导致这种结果，分析表明主要是盐田港的建设和施工过程的影响。

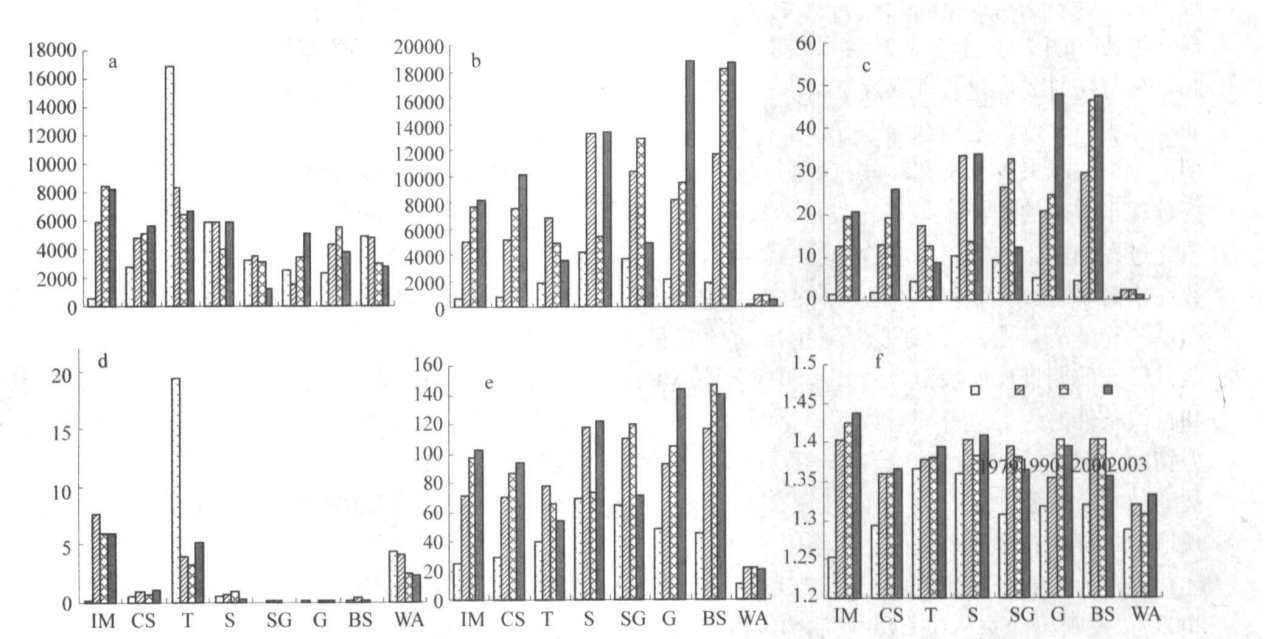


图 2 景观类型水平的结构特征

Fig.2 Class-level patch structures in Shenzhen SEZ

a 类型面积; b 斑块数量; c 斑块密度; d 最大斑块指数; e 景观形状指数; f 分形维数

M: 非渗水表面; CS 建设用地; T 林地; S 灌丛; SG 灌草丛; G 草丛; BS 裸地; WA 水体

2.2 景观类型水平的结构特征

景观水平的时空格局变化反映整个深圳特区城市化过程中多种景观类型相互复杂作用的结果，不同的景观类型产生的作用不同、地位不同，不同景观类型在四个行政区域中的变化趋势也有别于整体景观格局的变化。

从景观类型面积上看（图 2a），非渗水表面、建设用地和裸地 3 种类型表现出随时间推移不断增加的趋势，非渗水表面分别为 555.03 hm²，5 916.19 hm²，8 467.38 hm² 和 8 195.76 hm²，建设用地 1979 1990 2000 和 2003 年的面积分别为 2 723.85 hm²，4 766.36 hm²，5 141.87 hm² 和 5 635.08 hm²，裸地分别为 2 324.70 hm²，4 328.48 hm²，5 511.68 hm² 和 3 727.17 hm²，特别是在 1979 ~ 1990 年时间段都有大幅度增长。相反，林

地和水体都表现出减少的趋势，特别是林地类型，1979 ~ 2003 年林地面积分别 16 926.57 hm²，8 388.59 hm²，6 482.57 hm² 和 6 700.32 hm²，水体分别为 4 907.97 hm²，4 822.90 hm²，3 014.26 hm² 和 2 723.22 hm²。从景观类型水平的斑块数量和斑块密度特征上看（图 2b 图 2c），非渗水表面、建筑用地，裸地和草丛表现出显著的斑块数量增加和斑块密度增大的趋势，而林地和灌草丛则呈现出先增加后减少的趋势。结合上述三个因子时空格局指示可以看出，在类型面积指数上表现出来的林地减少正是由于城市化过程前期斑块破碎化现象和斑块的退化和消失导致的斑块面积的减少，而灌草丛和林地斑块数量和密度上的先增加后降低的格局是因为随着城市化过程加剧，由斑块破碎化所主导的城市化过程逐渐由斑块消失的城市化过程所取

代。从最大斑块指数 (图 2d) 上看, 1979 年是林地具有最大斑块指数值, 而 1990 年, 2000 和 2003 年则变为非渗水表面具有最大斑块指数值, 表明深圳特区已由林地为代表的自然景观类型的景观格局迅速转变为以非渗水表面为代表的人造景观优势类型的格局, 并且这一过程主要发生在 1979 - 1990 年期间即深圳特区建市后的头 10 年。对两个自然景观类型而言, 林地的变化速率明显高于水体。

类型的面积, 斑块的数量, 斑块的密度等能够反映景观格局变化的幅度, 而景观形状指数和分形维数则能够表达景观格局变化的烈度信息。从景观形状指数 (图 2e) 上看, 非渗水表面、建设用地和草丛都随时间变化表现出逐渐增加的趋势。通常非渗水表面, 建筑用地和裸地等人工主导的景观类型由于斑块越来越复杂和离散, 从而呈现景观形状指数逐步增加的趋势 (城市化发展阶段), 随着城市化过程加剧, 破碎的斑块趋于连结和聚合使该指数逐步降低。而自然主导的景观类型 (如林地, 灌草丛和灌丛) 由于受到人为干扰被动分割和离散, 导致前期景观形状指数的升高和后期土地整理和自然条件的约束使得该指数逐步变小, 二者驱动力相同, 都是城市化过程的人为干扰, 却有主动和被动的本质区别。从分形维数 (图 2f) 上看, 表现增加趋势的有非渗水表面、建筑用地、林地和水体; 表现为明显下降趋势的只有灌草丛 (1990 - 2003)。反映出灌草丛在 1990 年后边缘褶皱趋于简单化。合理的解释是灌草丛大都分布于地势较低的山体周围, 城市建设初期这些区域是首先受到破坏的区域, 也是破坏最为严重的区域。这时分形维数增加, 城市化过程的后期, 严重的破坏后果使得低地灌草丛斑块的彻底消失直接转化为其它景观类型从而导致分形维数降低。

2.3 主要景观类型时空动态变化的分异特征

从不同景观类型的变化趋势看, 深圳特区的非渗水表面、建设用地、裸地、草丛、灌丛呈正增长趋势, 年变化率分别为 $317.84 \text{ hm}^2/\text{a}$ $121.13 \text{ hm}^2/\text{a}$ $58.36 \text{ hm}^2/\text{a}$ $110.22 \text{ hm}^2/\text{a}$ 和 $0.19 \text{ hm}^2/\text{a}$ 。林地、灌草丛和水体逐渐下降, 年变化率分别为 $-425.21 \text{ hm}^2/\text{a}$ $-85.46 \text{ hm}^2/\text{a}$ 和 $-90.83 \text{ hm}^2/\text{a}$ 。显示出以上 3 种类型作为城市景观变化的“源”向其他景观类型转移的趋势。在整个特区的景观类型中, 1979 年自然植被景观类型 (林地, 灌丛, 灌草丛和草丛) 占了绝大份额, 成为当时景观变化过程中的主要组分, 但是非渗水表面等人为景观类型的面积迅速上升, 到 2003 年时已成为特区主要优势景观类型。

非渗水表面、建设用地在特区和四个行政区的面积比例指数上都表现出逐渐增加的趋势, 且 1979 - 1990 年的变化速率最快。非渗水表面在福田区、南山区、盐田区与特区表现出一致的变化趋势, 但是罗湖区在 1990 年后就开始呈现出下降的趋势。建设用地面积比例指数盐田和罗湖区表现出同样的趋势 - 1990 - 2000 年表现出一定程度下降。以上现象表明 1990 - 2000 期间罗湖区城市化过程强度下降, 人类干扰减轻。林地的面积比例指数显示特区、福田和南山区表现出 1979 - 2003 年的持续降低, 而罗湖和盐田两区在 1990 年后表现出一定程度的上升, 与前面的非渗水表面和建设用地对应, 反应出此阶段罗湖和盐田两区人类干扰趋于缓和。

景观形状指数反映的是景观类型在城市化过程中的聚集程度, 该指数越大表明此景观类型的聚合程度越小。非渗水表面和建设用地表现出持续升高的态势, 表明城市化过程的加剧不断打碎原有自然景观格局。林地整体上表现出 1979 - 1990 的升高, 1990 - 2003 的逐渐降低表明 1990 年以后林地得到一定程度的人工和自然恢复, 也表明整体大幅度上的城市化过程已经消失。

非渗水表面和建设用地在分形维数上变化趋势表现一致, 随着城市化过程的进行, 非渗水表面和建设用地分形维数不断增加。但 1990 - 2003 年变化的速率变缓, 且非渗水表面的变化强度大于建设用地, 1979 - 1990 段非渗水表面的分形维数的变化速率盐田区 > 福田区 > 南山区 > 罗湖区, 1979 - 1990 段建设用地的分形维数罗湖区 > 盐田区 > 福田区 > 南山区。林地在特区和 4 个行政区表现出一定的差异。林地在特区表现为分形维数逐步增加的趋势, 表明林地斑块边缘褶皱程度不断复杂化。罗湖区、福田区和南山区的林地类型分形维数在 2000 年表现出一定程度降低, 而盐田区则在 2000 年的突然增大之后又有所降低, 可能是由于 2000 年的盐田区城区改造、新的居民小区建设以及特区东海岸旅游开发有很大关系。

分散混合指数以景观类型的斑块为基本计算单位, 衡量该类型斑块的分散与混合程度。它的逐步升高表明混合状态越来越小, 该类型斑块所连接的其他类型的斑块越来越少。非渗水表面表现出在 1979 - 2000 总体降低, 2000 - 2003 的升高趋势, 其中盐田区与其他区域相异, 1990 年出现波谷, 其他区域在 2000 年才出现波谷。表明 1979 - 1990 内盐田区景观类型的混合程度逐渐增大, 在 1990 年达到最大值, 同时说明人类干扰和城市化过程在

此时间段内最强烈，但相比较其他区域强度干扰时间明显较短。建设用地变化趋势则较一致，表现为不断降低，不过降低速率逐渐变缓。林地的分散混合指数表现出两种态势，即特区、南山和福田区逐步降低，罗湖和盐田区上下波动状态，其中在 1990 年罗湖和盐田两区达到波谷，这些指数即表明罗湖区和盐田区城市化过程的强度的波动性，同时也反映出城市化过程和人类干扰在上述两个区域主要发生在 1979 - 1990。

3 结 论

城市化过程是发生在世界范围内的无法回避的现象，它的产生和发展对于全球环境变化的影响巨大。科学合理地认识城市化过程发生发展动力和趋势才能有效地降低和解决城市化所带来的负面影响。同时也应该认识到城市化这一宏观的面状过程可以分解为其他诸如光能利用过程、土地利用覆盖变化过程、水循环过程和人类活动过程等重要的子过程。目前对于城市化的研究还大多局限于城市化过程这一水平，分析也主要以时空格局为主，今后应将景观生态学的分析重点应放在什么过程产生了什么样的格局，什么样的格局对过程产生哪些促进或限制的影响？另外如何有效地设计实验揭示子过程与空间格局的联系也成为景观生态学研究热点和难点，但城市化过程的研究显然是基础和必要的。

深圳作为我国改革开放的排头兵，“快速”成为了深圳特区的一张名片。因此城市化过程在特区也表现出了快速的特点，成为研究城市化过程和景观格局变化的理想之地。从深圳特区和 4 个行政区 1979 - 2003 年景观格局在城市化过程中景观水平和类型水平的变化趋势，速度和强度及其分异特征的分析可以得出以下结论：

1) 深圳经济特区在 1979 - 2003 年间，随着城市化过程推进，人类干扰不断加剧，景观空间格局复杂性不断提高；

2) 深圳经济特区强度最大、最主要的城市化过程发生在 1979 - 1990 年间，城市化过程是导致深圳经济特区景观空间格局变化的最主要的因素，而且影响剧烈。1979 - 1990 年的 10 多年间，深圳特区进行大规模的基础设施建设，开发出 60 多 km^2 以上的城区面积、8 个工业区、1 个科技工业园和 14 个居民住宅区。新建扩建总长 200 多 km 的城区道路；新建了年吞吐能力为 500 万 t 的 7 个港口码头，增开了 5 个出入境口岸；建成了一个直升机场；建成了广深铁路复线和特区管理线，例如

1979 年 7 月的蛇口港建设，1980 年底的罗湖区建设改造，1982 年 9 月的八卦岭工业区建设，1983 年深圳大学建设，1983 年深圳火车站和深圳科技馆建设，1984 年笋岗立交贯通和北环公路的开工，1985 年金融中心大厦动工，特区东部建设开始和妈湾港的正式兴建，1985 年的车公庙工业区动工，1986 年第一家五星级宾馆开业，1987 年深南大道一线贯通和和平高架桥通车，1988 年福田区开始大规模建设以及 10 月的新客运站开工，1989 年广深公路深圳路段竣工^[10]。这些重要的基础设施建设都在这个时间段内开工和完成，也强烈影响着当地的自然景观空间格局。

3) 深圳经济特区主要景观类型表现出来的趋势在 4 个行政区域内表现出一定的分异特征。南山区受城市化过程和人类干扰主要发生在 1990 - 2000 年，并且自然景观类型破坏比较严重。福田区受城市化过程影响表现出的趋势和整个特区最为相似，具有开始时间早且持续时间长的特点，原始自然景观破坏严重，已几乎不复存在。罗湖区的重大城市化过程主要发生在 1979 - 1990 年间，但整体受干扰程度和幅度相对前两区较弱。盐田区的景观组分变化主要发生在 1979 - 1990 年间，而且主要表现为一次重大干扰所导致的水体和林地面积的下降。

4) 由于 4 个时期使用的遥感图像源本身分辨率存在差别，虽然在遥感数据处理过程中利用立体卷积法重采样技术使他们一致，但不可避免的会导致在比较时产生一定误差，但基本没有影响整体规律变化趋势的分析。另外，我国的国家发展和城市化建设多以 5 a 作为一个规划期，如能缩小比较时段将更精确地揭示城市化过程与景观格局的相互作用和影响。

综上所述，深圳经济特区的 4 个行政区的景观格局变化由于其所处的地理区位、资源拥有状况和城市发展目标而表现出不同的城市发展规律和城市景观动态变化特征。福田区、南山区表现的干扰强度和幅度极大，而且干扰因素和事件频繁，罗湖区和盐田区干扰强度和幅度相对较小，且更多地表现为某一次的重大干扰痕迹。掌握它们景观格局特征发生变化的规律及其驱动力因素的影响程度和影响效果，对于特区以后土地利用结构整理、城市景观空间格局的调整和可持续发展战略架构和模式提供了科学依据。

参考文献：

[1] SUIDAN IEL Z, ZENG H. Modeling the dynamics of

- landscape structure in asia's emerging desakota regions: a case study in Shenzhen[J]. *Landscape and Urban Planning* 2001, 53: 37–52.
- [2] TORRY B B. We need more research on the impact of rapid urban growth[J]. *Chronicle of Higher Education* 1998, 45(6):
- [3] CARLSON T N, ARTHUR S T. The impact of landuse / land cover changes due to urbanization on surface micro climate and hydrology: a satellite perspective[J]. *Global and Planetary Change* 2000, 25: 49–65.
- [4] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析—以山东省东营市为例[J]. *生态学报*, 1996, 16(4): 337–344.
- [5] 曾辉, 喻红, 郭庆华. 深圳市龙华地区城镇用地动态模型建设及模拟研究[J]. *生态学报*, 2000, 24(4): 545–551.
- [6] WANG Y Q, ZHANG X S. A dynamic modelling approach to simulating socioeconomic effects on landscape changes[J]. *Ecological Modelling* 2001, 140: 141–162.
- [7] OH K. Landscape information system: a GIS approach to managing urban development[J]. *Landscape and Urban Planning* 2001, 54: 79–89.
- [8] SINGH T P, SINGH S, ROY P S et al. Vegetation mapping and characterization in west Siang district of arunachal pradesh, India – a satellite remote sensing – based approach[J]. *Current Science* 2002, 83(10): 1221–1230.
- [9] MCGARGAL K, MARKS B J. Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure [M]. Corvallis Oregon, 1995.
- [10] 深圳市史志办公室. 深圳大事记: 1979–2000 年 [M]. 深圳: 海天出版社, 2001.

Relationship Between Processes of Rapid Urbanization and Landscape Temporal and Spatial Patterns—A Case Study in Shenzhen SEZ

SONG Yan-tun¹, YU Shi-xiao¹, LINan², LIYong², GONG You-fu³, CHEN Tao³

(1. School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2. Fairy Lake Botanical Garden of Shenzhen, Shenzhen 518004, China

3. Institutes of Urban Management Sciences, Shenzhen City, Shenzhen 518004, China)

Abstract The relationship between the process of a typical rapid urbanization and landscape temporal and spatial pattern during the period from 1979 to 2003 was studied. The landscape and class-level pattern indices in the whole Shenzhen special economical zone (SEZ) and four districts were compared. The results showed that landscape structures complexity and fragmentation in Shenzhen SEZ gradually increased from 1979 to 2003, whereas intensity and tendency on four districts represented varied distinct features. It was a rapid development period from 1979 to 1990 in Shenzhen SEZ. Yantian and Luohu districts represent integrative slight disturbance, and urbanization process mainly took place during the period from 1979 to 1990. Urbanization in Futian district began early while it mainly happened after 1990 in Nanshan. Futian and Nanshan districts represent the effects of frequent disturbance and severe intensity. Four districts represented varied in temporal and spatial landscape pattern resulted from different development and planning motive.

Key words landscape change; Shenzhen SEZ; rapid urbanization