

不同城市化阶段景观演变的热环境效应动态 ——以深圳西部地区为例

谢苗苗^{1,2}, 王仰麟^{1,2*}, 李贵才¹, 常 青^{1,2}, 吴健生^{1,2}, 曾祥坤¹

(1 北京大学深圳研究生院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055;

2 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要: 热环境效应是城市化过程中景观格局演变对区域生态环境影响研究的重要内容之一。通过热环境效应动态研究有助于理解景观对区域生态环境效应的影响在不同阶段的规律特性。本文利用深圳市 1987 年、1995 年和 2005 年 3 期 Landsat TM 影像, 通过构建热环境效应变化指数描述不同城市化阶段热环境效应的发展特征, 并通过景观分布指数表征景观演变对其的影响作用。结果表明热环境效应的空间特征在城市化进程中由聚集型逐渐转变为零散与破碎分布; 在快速城市化阶段, 景观演变对热环境效应动态的影响主要体现为热中心的扩展, 同时自然景观对热环境效应的缓解作用有所减弱; 城市化稳定阶段, 景观变化的热环境效应由空间的扩张转为强度的提高。

关键词: 热环境效应动态; 城市化; 景观演变分布指数; 深圳西部地区

文章编号: 1000-0585(2009)04-1085-10

1 引言

城市化过程对区域的生态环境产生深刻影响, 首先在空间上体现为自然景观被城市景观所替代的过程^[1], 通过影响生态系统的物质循环和能量流动改变区域生态环境整体状况^[2]。景观演替造成物种丰度降低、土壤性状退化、水气交换平衡状态改变等, 表现为气候、土壤、水环境、生物多样性等方面的生态环境效应^[3]。城市热环境效应是其中的重要内容之一, 表征人为活动与自然系统之间的能量交换状况^[4], 是城市化影响区域气候的重要例证^[5], 也是理解城市区域的生态系统如何响应景观演变的重要依据。

随着遥感与 GIS 技术的发展, 通过地表温度表征的城市热环境与热岛效应研究已经较为充分。在城郊差异、时空分布特征等方面取得了一些公认结论^[6~8], 并从土地利用/土地覆被类型、地表覆盖指数等角度探讨热岛形成的影响因素^[9]。在此基础上, 城市热环境效应的动态研究有助于理解城市气候响应景观演替的生态过程, 但这方面的研究相对较少, 仅在热中心空间位置迁移、地表温度变化趋势等领域有所涉及^[10,11]。对城市热环境效应的动态进行定量表征, 并分析其在城市化进程中的阶段特性, 有助于理解景观对整个区域生态环境效应作用发生改变的规律。

收稿日期: 2008-06-11; 修订日期: 2008-09-13

基金项目: 国家自然科学基金重点基金(40635028)与面上基金(40571051)资助项目。

作者简介: 谢苗苗(1982-), 女, 河北保定人, 博士研究生。主要研究方向为景观生态与土地利用。

E-mail: xmiaomiao@gmail.com.

*通讯作者: 王仰麟, 教授, 博士生导师。E-mail: ylwang@urban.pku.edu.cn

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

本文借鉴景观变化轨迹分析 (landscape change trajectory analysis)^[12] 的研究思路, 以具有典型城市化特点的深圳西部地区为例, 基于热环境效应指数描述两个不同城市化阶段的热环境效应动态特征。并以分布指数 (distribution index) 来表征景观变化对热环境效应动态的影响, 从而体现热环境效应演变过程的特征与驱动因素^[12]。

2 研究区与研究方法

2.1 研究区概况

深圳市位于广东省中南部沿海, 东临大亚湾, 西濒珠江口, 北与东莞市和惠州市接壤, 南与香港特别行政区仅一河之隔。陆地范围为 $E113^{\circ}45'44'' \sim E114^{\circ}37'21''$, $N22^{\circ}26'59'' \sim N22^{\circ}51'49''$ 。深圳市地势东南高、西北低, 地貌类型多样, 其中丘陵面积最大, 平原次之。深圳市属南亚热带海洋性季风气候, 年平均气温 22.4°C , 平均年降水量 1948mm。

深圳市自改革开放后步入快速经济发展时期, 在二十余年内经历了较为完整的城市化过程, 是研究景观演变及生态环境效应的典型实验区。本文选择深圳城市化较为迅速的西部地区为研究区, 较东部地区更易于体现生态环境效应的动态特征, 同时也可减少遥感影像跨景拼接的误差^[9]。研究区包括深圳市南山区、福田区、罗湖区、宝安区, 以及盐田区的大部和龙岗区的一部分 (图 1), 面积 1472 km^2 , 占全市总面积的 $3/4$ 。

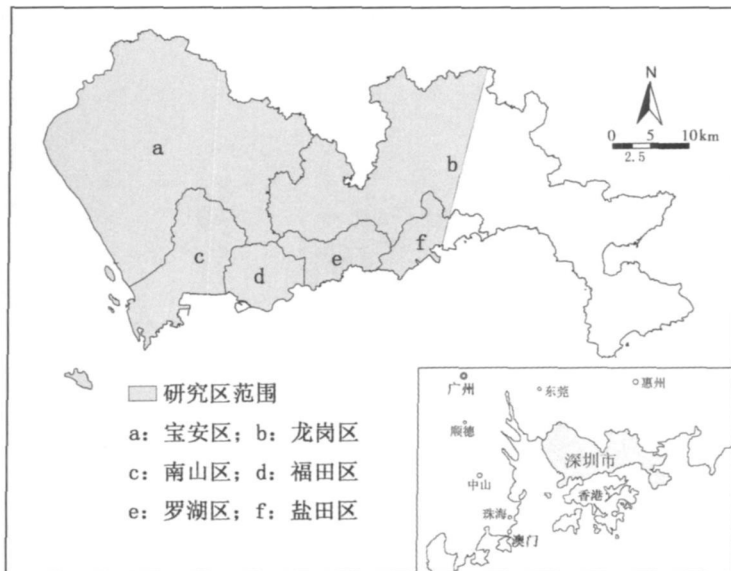


图 1 研究区示意图

Fig 1 Sketch map of the study area

根据常规气象站的观测数据, 深圳市年平均气温呈现上升趋势。与周边城市化进程较为缓慢的惠州相比, 温度上升幅度和速率都较大。两市常规站观测气温差由 70 年代初的 0.25°C 上升至 2005 年的 0.98°C ^[13], 深圳市热岛效应表现得更为明显^[14]。

2.2 景观类型划分

本文选取 1987 年初、1995 年末和 2005 年末 3 期 Landsat TM 影像 (成像日期分别为 1987 年 1 月 6 日、1995 年 12 月 30 日、2005 年 11 月 23 日) 为数据源, 在 ERDAS 8.6

中利用 *cost* 模块进行辐射定标与大气校正^[15,16],之后进行几何配准、图像融合等预处理,将各波段数据几何配准误差控制在一个像元之内。按照景观对人类社会的环服务、生物生产和文化支持三大功能^[17]将研究区景观分为三种类型,即自然景观、半自然景观和城市景观。自然景观包括林地、湿地、水域等发挥环境调节功能的土地利用类型,半自然景观是半自然半人文生态系统,包括园地、耕地、园林绿地等土地利用类型,城市景观是受人类干扰较为强烈,并体现文化支持功能的建设用地与推平未建土地^[18]。结合土地利用实地调查资料进行监督分类,并依据分层随机采样法选取 210 个典型样点,参照 1995 年和 2005 年两期深圳市土地利用变更调查数据进行精度评价,总体精度为 92.9%, Kappa 系数为 89.2%,可以满足研究需求。

将解译所得 3 个时期的景观类型数据进行叠加分析,可得到 9 种景观变化类型,其中包含 3 种保持不变的景观类型,即自然景观至自然景观(N-N)、半自然景观至半自然景观(S-S)、城市景观至城市景观(C-C);以及发生变化的 6 种类型,即自然景观变为半自然景观(N-S),自然景观变为城市景观(N-C),半自然景观变为自然景观(S-N),半自然景观变为城市景观(S-C),城市景观变为自然景观(C-N),城市景观变为半自然景观(C-S)。

2.3 地表温度反演

本文采用覃志豪等单窗算法进行地表温度反演^[19],此算法适用于缺少实时探空数据的情况,对大气参数的估算较为准确,反演误差较小,并已在珠三角地区得到验证^[11],基本可以满足研究需要^[20,21]。

首先进行亮温标定,由 EOS 数据网的官方手册中获取公式^[22],将像元灰度值(DN)转换为辐射强度(L_λ),GAINS 和 BIASES 分别为影像数据的增益和偏差,可从头文件中获取:

$$L_\lambda = GAINS \times DN + BIASES \quad (1)$$

利用公式(1)计算出辐射强度,代入公式(2)反演地表辐射温度 T_k ,单位为 K:

$$T_k = \frac{K_2}{\ln\left[\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right]} \quad (2)$$

其中 $K_1 = 607.66 (w \times m - 2sr - 14m - 1)$, $K_2 = 1260.56 (K)$ 。

之后采用大气透射率、地表比辐射率和平均作用温度代入单窗算法(公式 3、4、5),进行地表温度反演。其中大气透射率、地表比辐射率和平均作用温度利用深圳市气象数据采用文献[19]中的估算方法进行参数估算。

$$T_s = \{a_6(1 - C_6 - D_6) + [(b_6 - 1)(1 - C_6 - D_6) + 1]T_k - D_6T_a\} / C_6 \quad (3)$$

$$C_6 = \epsilon_6 \tau_6 \quad (4)$$

$$D_6 = (1 - \epsilon_6)[1 + (1 - \epsilon_6)\tau_6] \quad (5)$$

其中, ϵ_6 为地表比辐射率,由归一化植被指数推导而来^[11]。 τ_6 为大气透射率,选取大气透射率的低气温计算公式,用水分含量计算而来^[20]。 T_a 为大气平均作用温度,采用热带地区平均大气的估算公式进行计算^[20]。

2.4 热环境效应及动态表征

为体现热环境的空间差异,并消除自然背景对地表温度的影响,本文构建热环境效应指数表征每个像元对研究区内热环境的影响程度,作为热环境效应动态分析的状态值。其定义为第 i 个像元的地表温度与区域平均地表温度的偏离率(公式 6),其高值分布区往往

代表某时点区域的热中心,对区域整体的热环境效应贡献程度较大。

$$THI_i = \frac{T_i - T}{T} \times 100\% \quad (6)$$

热环境效应动态借鉴景观变化轨迹分析 (landscape change trajectory analysis) 中的变化指数^[12]来表征。本文中的变化指数定义为第 i 像元时段末的热环境效应与时段初的热环境效应之差,表示某像元对区域热环境效应影响程度在研究时段内的变化。

$$CI_i = THI_{i+1} - THI_i \quad (7)$$

其中, CI_i 表示第 i 个像元在某时间段内的热环境效应变化指数, THI_{i+1} 表示其在 $t+1$ 时刻的热环境效应指数, THI_i 表示其在 t 时刻的热环境效应指数。若 CI_i 为正,此像元在时段内对区域整体热环境效应的贡献程度增加,负值时表明对区域整体热环境效应的贡献程度减弱,零值表明不变。运用此指数分析城市热环境效应的动态变化,关注效应变化的过程而非以地表温度表征的状态值。

2.5 景观演变分布指数

为进一步明确热环境效应在城市化进程中的主要景观变化驱动因素,对各种景观变化类型的热环境效应特征进行分析。首先根据指数分布的统计规律将热环境效应变化指数分为 4 个等级 (表 1),包括热环境效应减弱、不变、略有增加和明显增加,表明热环境效应变化的方向和程度。

表 1 热环境效应变化指数等级划分

Tab 1 Grades of thermal effect change index

代码	1	2	3	4
热环境效应变化类型	减弱	不变	略有增加	明显增加
CI 取值范围	$< -1.5\%$	$-1.5\% \sim 0.1\%$	$0.1\% \sim 1.5\%$	$\geq 1.5\%$

将热环境效应数据重采样为 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 分辨率,与景观类型数据相匹配,在 ArcGIS9.0 中对热环境效应变化等级与景观变化的 9 种类型进行叠加分析与空间统计。引入景观演变分布指数 DI (distribution index)^[23,24] 来表征景观变化类型在每个热环境变化级别上的分布特征,从而提炼每个热环境变化级别的主导景观变化类型,分析其影响因素。

$$DI = \frac{S_{ij}}{S_i} / \frac{S_j}{S} \quad (8)$$

其中, i 为热环境效应变化等级的代码, S_i 为第 i 级热环境效应区域的总面积; j 为景观变化类型的代码, S_j 为景观变化类型 j 的总面积; S 为区域总面积。 S_{ij}/S_i 表示 j 类景观变化类型在热环境效应 i 等级中出现的频率, S_j/S 表示 j 类景观变化类型在总面积中出现的频率。若 $DI > 1$, 表明 j 类景观变化类型在第 i 热环境效应等级中的分布频率大于平均分布频率,说明 j 类景观变化类型在热环境效应等级 i 中分布相对较为聚集,两者具有密切联系;若 $DI = 1$, 表明 j 类景观变化类型在第 i 热环境效应等级中的分布频率等同于平均分布频率;若 $DI < 1$, 表明 j 类景观变化类型在此等级中出现的频率较小,两者关联程度相对较低。

3 结果分析

3.1 城市化进程中的景观演变特征

城市化进程在空间上体现为自然景观向城市景观演替的过程,在城市化的不同发展阶

段, 景观演变也相应地体现出不同的特征。深圳市自 1979 年建市以来, 至 2004 年农村人口全面转为城市居民, 经历了较为完整的城市化过程, 亦具有明显的阶段性。就本文的研究时段来说, 从景观演变的角度分析, 同样体现两个阶段的差异。采用景观演变动态度^[25]说明不同城市化阶段景观变化程度的差异, 此指数综合考虑研究时段内各景观类型间的转移, 表明景观变化的剧烈程度。

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LU_{ij}}{\sum_{i=1}^n LU_i} \quad (9)$$

式中, LC 表示景观动态度, ΔLU_{ij} 表示研究时段内由 i 景观类型转变为 j 类型 ($j \neq i, j = 1, 2, \dots, n$) 的面积, LU_i 为研究期初 i 类景观的面积。经计算, 研究区在 1987~1995 年的景观动态度为 51.3%, 1995~2005 年为 41.9%, 表明两阶段的城市化与景观变化特征具有一定差距。1987~1995 年间, 是深圳市城市化高速发展的时期, 景观变化剧烈, 迅速完成了由传统农业地区向高速城市化地区转化的过程^[26]; 1995~2005 年深圳市城市化进入了一个新的阶段, 虽然城市景观继续扩展, 但演变速度变缓, 典型城市化区域的特点已经基本成型, 进入景观演变较为稳定的时期。

3.2 热环境效应空间分布与动态

以地表温度的反演结果为基础计算热环境效应指数 THI , 得到 1987 年、1995 年和 2005 年 3 年的热环境效应分布图 (如图 2a, b, c)。对三期 THI 数据进行标准差分

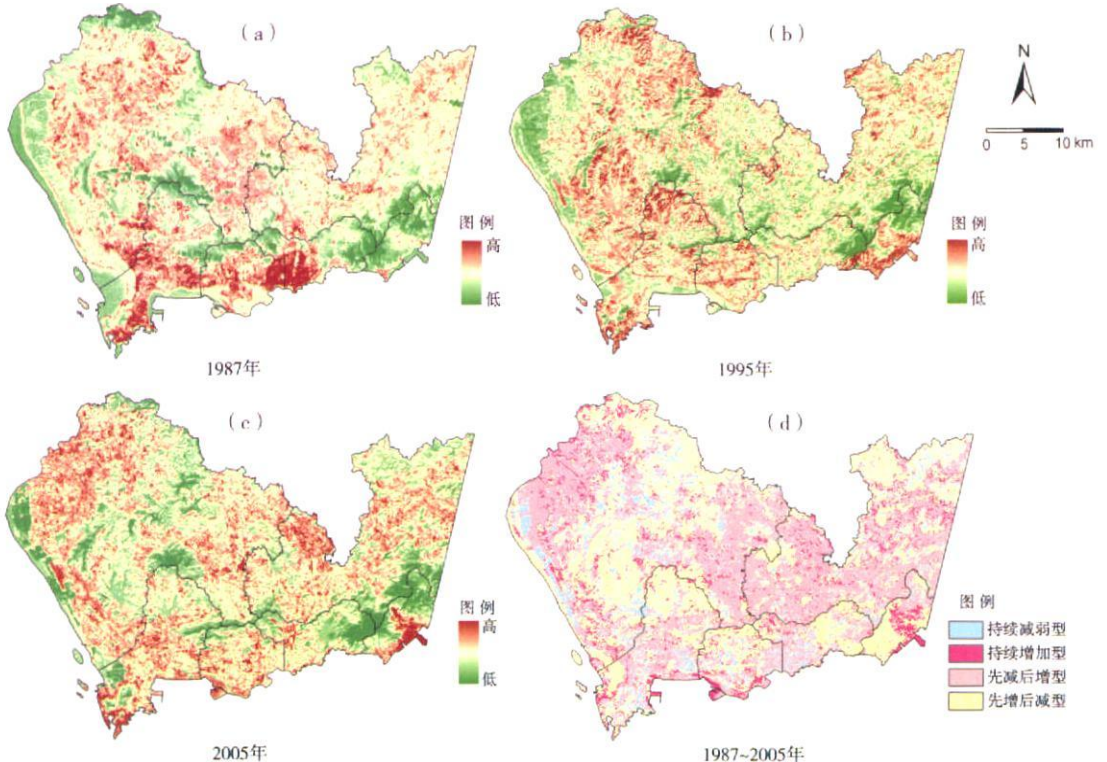


图 2 热环境效应分布及动态类型图

Fig 2 Thermal effect distribution and dynamic modes in western Shenzhen

级^[27], 将所得的最高一级作为热中心。1987 年热环境效应在空间上呈现聚集型特征, 根据区域统计 (zonal statistics) 的结果 (表 2), 52.4% 的热中心位于罗湖、福田、南山沿海等最早开发地区, 而这三个区仅占研究区总面积的 21.8%。1995 年热环境效应分布较为分散, 热中心随着城市化的推进, 转移至盐田、特区内外交界处、宝安区等城市化前缘地带; 位于盐田、宝安、龙岗三区的热中心占热中心总面积的 70.4%, 而罗湖、福田、南山的热中心面积比例均有所下降。2005 年热环境效应破碎程度加剧, 热中心继续外移, 由聚集型热源变为众多零散热中心, 盐田区与龙岗区的热中心面积比例增长较为显著, 分别由 1995 年的 5.6% 和 10.1% 增长为 2005 年的 22.7% 和 15.1%。深圳市城市化进程由特区内的罗湖—福田—南山—盐田向特区外的宝安—龙岗推进, 热环境效应的变化轨迹也基本顺应此路径。

表 2 各区热中心面积分布比例 (1986 年、1995 年、2005 年)

Tab 2 Area proportion of hotspots in each region (1986, 1995, 2005)

年份	罗湖区	福田区	南山区	盐田区	宝安区	龙岗区	研究区
1986 年	12.0	15.7	24.7	0.3	38.6	8.7	100
1995 年	3.1	1.9	24.5	5.6	54.8	10.1	100
2005 年	4.2	8.0	16.8	22.7	33.2	15.1	100
各区占研究区面积比例	5.4	5.3	11.2	3.6	48.7	25.8	100

按照热环境效应在整个研究时段内的动态特征将其划分为 4 种类型 (图 2d), 表示热环境效应的不同变化过程。研究时段内, 热环境效应持续减弱型分布较为零散, 多处于城市景观与自然景观的交接地带; 热环境效应持续增加型多分布于市域边界, 包括湿地、填海造地的港口等, 原景观生态系统受到的干扰最为明显; 热环境效应先减弱后增加型分布在于城市化起步较晚的宝安区西北部和龙岗区西部地区, 成为热中心的生长点; 热环境效应先增加后减弱型多与现状自然景观相对应, 表明自然景观对热岛效应的削弱功能虽然与全面城市化之前相比有所下降, 但在城市化稳定阶段发挥了重要的缓解作用。

3.3 热环境效应动态的景观变化影响因子

3.3.1 快速城市化阶段 (1987~1995 年) 1987~1995 年间是深圳市城市化高速发展时期。在此阶段内热环境效应不变与略有增加区域占据主体, 分别为 864km² 和 521km²; 热环境效应减弱区域面积较小, 仅为 31km², 明显增加区域的面积为 56km²。

此时段内, 热环境效应减弱等级中, 三种景观变化类型的分布指数 (图 3) 大于 1, 分别是自然景观至自然景观、城市景观至自然景观、城市景观至城市景观 3 类。其中城市景观至城市景观的分布指数最高, 为 4.98。城市景观虽然具有较高的地表温度, 但在此阶段中对区域热环境效应的贡献程度有所减弱。表明城市化进程拓展了城市景观的空间, 热中心随之发生了扩散。与新生长的城市中心相比, 原有城市景观对区域热环境效应的贡献程度相对下降。

在热环境效应不变的等级中, 各类景观变化类型的分布特征较为均衡, 在 0.62 至 1.25 之间。分布指数大于 1 的景观变化类型包括半自然景观至自然景观、半自然景观至城市景观、城市景观至半自然景观、城市景观至城市景观, 其分布指数大致相当。表明这几种景观变化类型构成热环境效应较为稳定地区的主体。

热环境效应略有增加的等级中, 除半自然景观至城市景观、城市景观至半自然景观、

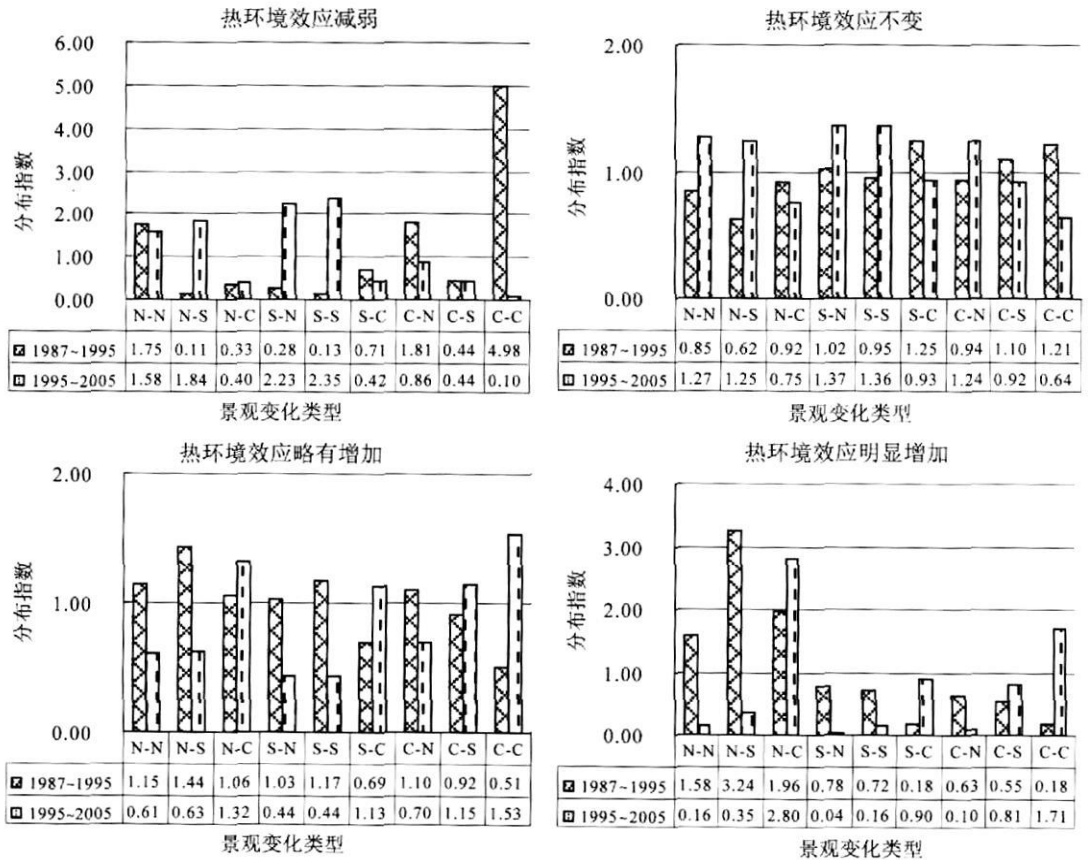


图3 景观变化类型在各热环境效应等级中的分布指数(1987~1995年, 1995~2005年)

Fig 3 Distribution index of landscape change types on thermal environment effect change grades (1987~1995, 1995~2005)

城市景观至城市景观以外,各种景观变化类型的分布指数多在1以上,表明在城市化进程中,多数景观变化类型对热环境效应的增加均有一定贡献。

组成热环境效应明显增加的主导景观变化类型包括自然景观至自然景观、自然景观至半自然景观、自然景观至城市景观,即1987年的自然景观在经过近十年的城市化发展之后,不论是否发生了类型变化或发生何种变化,均占据热环境效应明显增加的主导地位。表明自然景观在此阶段城市化进程中受到的影响最大,类型的变化直接导致下垫面性质改变,对热环境效应的正向作用增强;而类型未发生改变的自然景观也由于城市化过程,其内部组成、覆盖质量发生了改变,相应地,对整个区域热环境贡献度有所增加。

3.3.2 城市化平稳阶段(1995~2005年) 1995~2005年,深圳市进入城市化相对稳定阶段。热环境效应不变与略有增加区域占据主体,分别为 831km^2 和 587km^2 ;热环境效应减弱区域面积为 32km^2 ,热环境效应明显增加区域的面积为 21km^2 。

1995~2005年热环境效应动态的景观变化影响因子与上一时期相比发生了显著变化(图3)。首先,在热环境效应减弱等级中,由城市景观至城市景观占主导的“一枝独秀”转变为4类景观变化同时占据主导地位,包括自然景观至自然景观、自然景观至半自然景

观、半自然景观至自然景观、半自然景观至半自然景观。自然景观和半自然景观之间的转换在此阶段内对热环境效应的影响主要体现为减弱作用，有效地发挥了缓解热岛效应的功能，而城市景观至城市景观在此等级的分布指数非常小。

在热环境效应不变的等级中，各种景观变化类型的分布指数差距不大，均在 1 上下浮动。分布指数最大的景观变化类型在上一阶段是半自然景观至城市景观，此阶段为半自然景观至自然景观。

热环境效应略有增加的等级中，除自然景观向城市景观转变的分布指数未发生方向性改变外，其他的变化类型均跨越 1 这一临界值。其中自然景观至自然景观，自然景观至半自然景观，半自然景观至自然景观、半自然景观至半自然景观、城市景观至自然景观等 5 种变化类型的分布指数均由原来的大于 1 变为小于 1，表示此等级的热环境效应动态已不构成这几种景观变化类型的主体。半自然景观至城市景观、城市景观至半自然景观、城市景观至城市景观由上阶段的小于 1 变为大于 1，对此等级的影响逐渐增加。

热环境明显增加等级中的景观影响因子与第一阶段相比变化同样较为剧烈。发生方向性改变并且变化较明显的类型包括自然景观至自然景观、自然景观至半自然景观、城市景观至城市景观，前两类由大于 1 变为小于 1，对此等级的贡献变小；城市景观至城市景观成为热环境效应增加的主导类型。

4 结论与讨论

基于热环境效应指数的动态研究可表征热中心的迁移过程及热环境效应的空间演变特征。深圳西部地区在城市化进程中热中心发生了典型的迁移，由市中心逐渐向城市边缘扩展；热环境效应的空间分布特征由聚集型逐渐转变为零散与破碎分布。

在不同的城市化阶段，景观演化的特征不同，因此景观变化的热环境效应动态显示出较典型的差异性。快速城市化阶段，城市化主要体现为城市景观的空间扩展和自然景观的质量改变。在此阶段，虽然城市景观与自然景观的比例尚可对等，但自然景观的内部构成和质量已经发生显著的变化。伴随景观演变过程，热环境效应动态的突出特点是：覆盖类型未发生变化的自然景观对热环境效应增加的影响较大，代表自然景观对区域热岛效应的缓解作用有所削弱。在城市化稳定阶段，城市景观空间扩展的速率变缓，城市化主要体现为城市景观内部人类活动的增强。因此，景观变化的热环境效应由空间的扩张转为强度的提高，城市景观的热环境效应增加较为显著，而自然景观和半自然景观对热环境效应发挥了较好的缓解作用。

通过热环境效应动态的研究可以探讨不同城市化阶段景观演变过程的差异，有助于理解景观演变的实质。但热环境效应仅仅是景观演变生态环境效应的一个表现，需结合其他领域的研究构建较为完整的规律体系。本文通过研究区发展历程的整合与景观变化特点对城市化阶段进行划分，划分结果尚存在主观推断因素，结合城市化的定量表征进行热环境效应动态分析将是下阶段的研究重点。

参考文献：

- [1] 岳文泽. 基于遥感影像的城市景观格局及其热环境效应研究. 上海: 华东师范大学博士论文, 2005 1~3
- [2] 鄧建国. 景观生态学—格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2000 6~11

- [3] 刘杰, 杨志峰, 崔保山, 等. 人为干扰下的生态负效应研究综述. 生态学杂志, 2005, 24(11): 1317~1322
- [4] Voogta J A, Oke T R. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86: 370~384
- [5] 张小飞, 王仰麟, 吴健生, 等. 城市地域地表温度-植被覆盖定量关系分析——以深圳市为例. *地理研究*, 2006, 25(3): 369~377
- [6] Balling R C, Brazel S W. High-resolution surface-temperature patterns in a complex urban terrain. *Photographic Engineering Remote Sensing*, 1988, 54: 1289~1293.
- [7] Roth M, Oke T R, Emery W J. Satellite-derived urban heat island from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 1989, 10: 1699~1720
- [8] Carslon T N, Sanchez-Azofeifa G A. Satellite remote sensing of land use changes in and around San Jose, Costa Rica. *Remote Sensing of Environment*, 1999, 70: 247~256
- [9] Chen Xiao-Ling, Zhao Hong-Mei, Li Ping-Xiang, *et al*. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 104: 133~146
- [10] 张佳华, 侯英雨, 李贵才, 等. 北京城市及周边热岛日变化及季节特征的卫星遥感研究与影响因子分析. *中国科学D辑 地球科学*, 2005, 35(增刊1): 187~194
- [11] 钱乐祥, 丁彦彦. 珠江三角洲土地覆盖变化对地表温度的影响. *地理学报*, 2005, 60(5): 761~770
- [12] Käyhkö Niina, Skanes Helle. Change trajectories and key biotopes: Assessing landscape dynamics and sustainability. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 75: 300~321
- [13] 张恩洁. 珠三角城市群与城市发展关系研究. 北京: 北京大学硕士论文, 2007
- [14] 杨英宝, 苏伟忠, 江南, 等. 南京市热岛效应变化时空特征及其与土地利用变化的关系. *地理研究*, 2007, 26(5): 877~886
- [15] Chavez Jr P S. Image-based atmospheric corrections: Revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1996, 62: 1025~1036
- [16] 李卫锋. 城市景观格局演变及其生态环境效应——以深圳市为例. 北京: 北京大学硕士学位论文, 2004 16~17
- [17] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2005 150~155
- [18] 李卫锋, 王仰麟, 彭建, 等. 深圳市景观格局演变及其驱动因素分析. *应用生态学报*, 2004, 15(8): 1403~1410
- [19] 覃志豪, Zhang Minghua, Arnon Karnieli, 等. 用陆地卫星 TM 6 数据演算地表温度的单窗算法. *地理学报*, 2001, 56(4): 456~466
- [20] 覃志豪, Li Wenjuan, Zhang Minghua, 等. 单窗算法的大气参数估计方法. *国土资源遥感*, 2003, (2): 37~43
- [21] 黄妙芬, 邢旭峰, 王培娟, 等. 利用 LANDSAT/TM 热红外通道反演地表温度的三种方法比较. *干旱区地理*, 2006, 29(1): 132~137
- [22] Landsat Project Science Office. Landsat 7 Science Data User's Handbook. Available URL: http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc.html, 2002
- [23] 周梦维, 王世杰, 李阳兵. 喀斯特石漠化小流域景观的空间因子分析——以贵州清镇王家寨小流域为例. *地理研究*, 2007, 26(5): 898~905
- [24] 喻红, 曾辉, 江子瀛. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究. *地理科学*, 2001, 21(1): 64~69
- [25] 胡召玲, 杜培军, 赵昕. 徐州煤矿区土地利用变化分析. *地理学报*, 2007, 62(11): 1204~1214.
- [26] 李卫锋, 王仰麟, 蒋依依, 等. 城市地域生态调控的空间途径——以深圳市为例. *生态学报*, 2003, 23(9): 1823~1831
- [27] 汤国安, 等. 地理信息系统网络教案. <http://202.119.109.14/dlxx/jaolan/Chinese/第10章%20空间统计分析.htm>, 2005

Thermal environment effect dynamic of landscape changes in different urbanization phases: A case study of western Shenzhen

XIE Miao-miao^{1,2}, WANG Yang-lin^{1,2}, LI Gui-cai¹, CHANG Qing^{1,2},
WU Jiansheng^{1,2}, ZENG Xiang-kun¹

(1. The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School
Peking University, Shenzhen 518055, Guangdong, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Urban thermal environment effect is one of the hotspots of the research on the eco-environmental effects of landscape changes. Research on urban thermal environment effect dynamics can help to get a better understanding the influence of landscape changes in a specific phase. The objectives of this study are: (1) to analyze spatial and dynamics characteristics of urban thermal environment effect based on thermal environment effect index and change index; (2) to assess the influences of landscape change on thermal environment effect by distribution index.

Based on Landsat Thematic Mapper images acquired on January 6, 1987, December 30, 1995, and November 23, 2005, the landscape classifications of Shenzhen were conducted on supervised classification. The surface temperature was derived from TM thermal infrared data by mono-window algorithm. Urban thermal environment effect index was defined to describe the spatial characteristics of thermal environment effect. Dynamics of thermal environment effect was characterized by change index based on urban thermal environment effect index. To assess the influences of landscape changes on thermal environment effect, this paper used distribution index.

Urban thermal environment effect index demonstrates that thermal spatial characteristic is changed from congregating distribution to fragment. The dynamics of thermal environment effect in different urbanization phases display different spatial characteristics, and are influenced by different landscape change impact factors. In the rapid urbanization phase (1987—1995), landscape changes are intense. In this phase, thermal centers expanded to the edge of the city. Thermal environment effect of natural landscape increases in this phase. It indicates that natural landscape has changed in its composition and quality in rapid urbanization phase. Then, the city comes to a relatively steady urbanization phase (1995—2005). The rate of landscape changes slows down. In this phase, the importance of thermal spatial expansion is weaker than in the first phase. The increasing thermal environment effect in urban landscape is prominent.

Key words: dynamics of urban thermal environment effect; urbanization; landscape change
distribution index; western Shenzhen