

珠江三角洲城市群热环境空间格局动态

江学顶 夏北成*

(中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275)

摘要 :以广州为中心的珠江三角洲城市群发展十分迅速,区域内热岛强度与规模日益加剧,受研究方法和技术的限制,热岛空间格局及其动态研究不深入。因此,研究城市特别是城市群热环境空间格局的日变化特征具有重要的现实意义和理论意义。采用遥感反演和中尺度模式 MM5 模拟的结果研究城市热力景观及其日变化规律,其中 MM5 模拟采用四重嵌套网格,最高分辨率为 1km,遥感数据采用 ETM+ 的热红外波段。结果表明该区域热岛具有多中心的特征,两种方法得到的热岛空间分布特征一致,其精度均较高,但遥感反演结果更为细致。两者的空间格局与自相关性较接近,数值模拟结果的空间自相关程度呈近似余弦曲线变化,热力景观格局指数白天波动明显、夜间波动较小,且斑块数和景观形状指数白天大于夜晚,并在 5:00 出现小波峰;景观水平上的景观指数 11:00~14:00 出现最大值,夜间较小,其中景观分离度和面积-周长分维数在 5:00 出现小波峰,21:00 出现拐点;下垫面性质、地表热量交换、局地环流等对热力景观格局影响较大。以数值模拟为基础,借助 3S 技术能较好研究城市热力景观空间格局的日变化特征。

关键词 城市热岛;中尺度模式 MM5;热力景观;空间格局;日变化

文章编号:1000-0933(2007)04-1461-10 中图分类号:X16 文献标识码:A

Spatial characteristics and dynamic simulations of urban heat environment of cities in Pearl River Delta

JIANG Xue-Ding, XIA Bei-Cheng*

School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27(4): 1461-1470.

Abstract :Influences of the urban heat island (UHI) became more and more serious in the industrial areas of Pearl River Delta. Spatial patterns and dynamic characteristics of the UHI were not well understood because of limitation of research methods and techniques used for this type of study. The spatial patterns of meteorological conditions were important for the formation of the UHI. Spatial patterns of urban heat environment were simulated by the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5) and studied using data retrieved from remote sensing (RS) images. Thermal landscape was described by using classic landscape indices.

The non-hydrostatic mesoscale model (MM5) simulations were conducted using four nested domains, and used to simulate the thermal environment. The finest mesh grid increment of the nesting was 1 km. The land surface temperature (LST) was retrieved by single sixth thermal infrared data of ETM+ at 11:00 am (local time) on Sep 14, 2000. The distributions of LST and urban heat island intensity (UHII) were similar between model simulations and RS data. It showed that there were several UHI centers in Pearl River Delta. The differences of temperature between simulated by MM5 and RS

基金项目:中山大学 985 工程 环境与污染控制技术创新平台资助项目

收稿日期:2006-03-01;修订日期:2006-12-18

作者简介:江学顶(1979~)男,湖北公安人,博士生,主要从事城市生态、城市环境、大气数值模式与 3S 应用研究。E-mail:jgreatding@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:xiabch@mail.sysu.edu.cn

Foundation item :This work was financially supported by environment and pollution control project of 985 engineering of Sun Yat-Sen University

Received date 2006-03-01; **Accepted date** 2006-12-18

Biography JIANG Xue-Ding, Ph. D. candidate, mainly engaged in urban ecology and environment, numerical simulation and 3S. E-mail:jgreatding@163.com

images and observed data from automatic weather stations (AWS) were roughly 1 °C. LST distributions retrieved by ETM + showed more fine-scale details than MM5 simulations. Wetland landscape, urban green-land, and river could break up UHI into segments. It revealed that these three types of land-use were important to define urban heat environment. Some small urban cold islands appeared near large parks, lakes, and reservoirs.

The intensity of UHI was divided into six categories by temperature differences. The heterogeneity of thermal environment could be revealed by using the categories of UHI intensity. Therefore the thermal landscape types were defined with six types. By the methods of landscape ecology and GIS, the spatial pattern indices of thermal landscape from MM5 and RS were analyzed. Spatial autocorrelation indices (Moran I and Geary c indices) of LST obtained from MM5 and RS were relatively approximate and similar, and the dynamic curve of autocorrelation was nearly cosinoidal. Some landscape indices were very closely correlated such as Percent of Landscape (PLAND), Number of Patches (NP), Mean Fractal Dimension index (FRAC-MN), Landscape Shape index (LSI), Perimeter-Area Fractal Dimension (PAFRAC), Simpson's Diversity index (SIDI), Simpson's Evenness index (SIEI) and Landscape Division index (DIVISION). So the dynamic characteristics of spatial pattern of thermal landscape from MM5 simulations could be described by these indices. The results showed that LSI and NP were higher during daytime than during night time, and that all the indices were more fluctuant during daytime than during night time. Indices of DIVISION and PAFRAC had small wave peak values at 5:00 am (local time) and had inflexions at 21:00 pm (local time) because of land-sea breezes, urban-rural breezes and the surface long-wave radiation divergence.

Based on the methods of landscape ecology, the integration of MM5 simulation and RS was found to be effective approach to analyze the spatial patterns of UHI. Dynamic characteristics, especially diurnal variation of spatial patterns of thermal landscapes and other meteorological conditions could be studied with the mesoscale model MM5 simulations.

Key Words: urban heat island; MM5; thermal landscape; spatial pattern; diurnal variation

城市热岛是在一定天气形势与局地天气条件的共同作用下,因城乡下垫面差异及人为热源等而形成的中小尺度环流^[1,2]。1833年霍华德发现城市热岛以来,各国学者从热岛的常规观测研究^[3~5]、数值模拟^[6~13]、遥感研究^[14~18],以及城市化对热岛的影响^[19~21]等方面研究了城市热岛的形成机制与分布特征,并从城市环境与生态等方面探讨了城市热岛的影响^[1,2],借鉴景观生态学的理论,陈云浩等将热场视为热力景观,分析了上海城市热力景观的格局特征^[15],但是对热力景观格局的动态分析还很缺乏。

从研究方法手段来看,数值模拟是研究大气和地表相互作用的最为有效手段之一^[7~9],利用遥感数据研究热岛具有多时相、分辨率高等特点^[15]。目前结合数值模拟与遥感技术的研究多集中在用遥感反演的地温来检验模拟的精度方面^[6,9],而热岛的数值模拟研究则重视从气象学角度分析热岛的形成机制,忽略了热岛的空间格局和过程的研究;目前有关热环境空间格局的研究主要是利用遥感数据进行对比分析和格局特征描述^[15],均未能与数值模拟进行结合,因此较难研究热环境空间格局的日变化特征。

改革开放以来,以广州为中心的珠江三角洲城市群发展十分迅速,其强度与规模日益加剧,已引起学者们的广泛关注,因方法和技术的限制,对热岛空间格局及其动态特征的研究还不够深入。本文以经济发展迅速的珠江三角洲地区城市群为对象,借鉴景观生态学分析方法,从数值模拟与遥感反演的热环境空间格局的对比分析入手,将数值模拟与遥感技术结合,分析热力景观(热岛)空间格局动态特征,揭示该区域热岛的形成机制、影响因子及其空间格局变化规律,是城市气象研究方法的一个有益探索,也是对大气科学研究方法的拓展,为气象要素空间格局特征的定量分析提供了新思路。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

本文的研究区域为覆盖整个广州的矩形区域(E112.95°~114.21°,N22.48°~23.95°),即狭义珠江三角洲地

区,包括部分珠江口东西岸城市(佛山、东莞等)。广州市已成为中国南方最大的海滨城市,属亚热带海洋季风气候,南部是珠江三角洲冲积平原,为河网区和河口,其森林主要分布在从化、增城,并从北向南逐渐减少。

1.2 数值模式简介及参数资料处理

模式为美国国家大气研究中心和宾夕法尼亚州立大学研制的中尺度模式第3版本 MM5V3,具有多重嵌套、非静力平衡、四维资料同化及提供多种物理过程选择的功能^[10~12]。

1.2.1 参数设置

模式采用双向反馈的四重嵌套网格,水平格距分别为27、9、3、1km,所取中心点为23.1°N,113.5°E,格点数分别为166×136、97×88、73×73、61×61,最小区域计算范围为22.48°~23.95°N,112.95°~114.21°E。垂直分辨率为23层(δ坐标),其顶层气压为100hPa,底层气压为1000hPa。边界层方案为高分辨率Blackadar方案,侧边界为松弛边界条件,湿物理过程为显式Mixed-Phase方案,辐射方案为云辐射方案。积分时间步长为60s,积分时间为2000年9月13日8:00~15日8:00,共积分48h,主要了解14日的模拟状况。

1.2.2 模式资料的输入

地形与地表资料是美国地质调查局30"×30"的格点资料,模式的初始和边界资料来自美国环境预报中心和美国国家大气研究中心一日4次的1°×1°的再分析格点资料。

1.3 城市地表温度的反演

选用广州2000年9月14日11:00 Landsat7-ETM+遥感图像,因该图像已经过辐射校正和几何校正,因此直接利用热红外波段反演地表温度(LST)。

(1) 辐射定标

采用 Landsat 用户手册提供的公式:

$$L_{\lambda} = \text{gain} \times DN + \text{bias} \quad (1)$$

式中 L_{λ} 为辐射强度值, gain 和 bias 分别为增益和偏移,其在 ETM+ 头文件中获取。

(2) 辐射亮温计算

$$T_B = K_2 / \ln(K_1 / L_6 + 1) \quad (2)$$

式中 T_B 为辐射亮温(K); L_6 为利用式(1)计算的第六波段的辐射强度值; K_1, K_2 为校订系数, $K_1 = 666.09 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ster}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, $K_2 = 1282.7 \text{ K}$ 。

(3) 地表温度计算

参考 Artis 与 Carnahan 1982 年提出的公式^[14]:

$$T_s = T_B / [1 + (\lambda \times T_B / \rho) \ln \varepsilon] \quad (3)$$

式中 T_s 为地温(K); 出射辐射率的波长 $\lambda = 11.5 \mu\text{m}$ ^[22], $\rho = 0.01438 \text{ m} \cdot \text{K}$, ε 为比辐射率。

(4) 比辐射率的计算

Griend^[23]及 Weng^[16]等的研究表明 ε 与 NDVI 相关性很好,本文 ε 的计算参考 Griend1993 年提出的公式^[23]:

$$\varepsilon = 1.0094 + 0.047 \ln(\text{NDVI}) \quad (4)$$

计算 NDVI 时,先按式(1)对经几何纠正后的 ETM+ 第3和第4波段进行辐射标定,然后利用大气校正模型 6S 进行大气校正,最后用校正后的第3和第4波段的地表反射率计算 NDVI。式(4)是在自然地表上总结出来的,所取 NDVI 范围为0.157~0.727,对于 NDVI 在0.157~0.82范围内的象元, ε 按式(4)计算; NDVI 小于0.157的地表主要由裸地和水体组成,从这部分地表中提取水体后,剩下的是裸地,城市裸地的 ε 为0.92,水体的 ε 为0.99^[17]。

1.4 空间格局指数与空间自相关指数

本文采用景观生态学的指数方法对数值模拟(MM5)与遥感反演(RS)的热力景观的空间格局进行比较研究。为了减小或消除尺度效应对景观指数的影响,先将原始数据重采样到1km,使两者的像元大小相等,

然后再反演地温,并参考 DB/T235-2004 对热岛进行分级。由于热环境具有高度异质性,本文把热岛的不同类型作为热力景观的不同类型,热力景观划分见表 1。

本文选取斑块面积比例 (PLAND)、斑块数 (NP)、聚集度指数 (Clumpy)、连通性指数 (Cohesion)、平均分维数 (FRAC-MN)和景观形状指数 (LSI)来研究热岛斑块类型的固有特性;选取面积-周长分维数 (PAFRAC)、Simpson 多样性指数 (SIDI)、Simpson 均匀度指数 (SIEI)、景观分离度 (DIVISION)来研究热力景观在景观水平上的特征^[24-27]。并选取 Moran I 指数和 Geary c 指数作为空间自相关的指标^[24]。

2 结果与分析

2.1 城市热岛数值模拟与遥感反演对比分析

2000 年 9 月 14 日 11:00 数值模拟 (MM5)与遥感 (RS)反演的 1km 分辨率的地温分布情况见图 1。两者的高温区域(热岛中心)、低温区域(冷岛中心)的位置、形状较一致。高温中心均出现在城市化较严重的区域,如广州老城区、开发区及珠江口东西岸的佛山、东莞等地;低温区域主要分布在广州的北部以及河流、湖泊、水库,河流廊道景观对高温区域进行了分割,充分说明湿地景观对城市气候的调节作用。

本文选取广州 6 个自动站 (AWS)的实测温度来检验两种方法得到的地温 (1km 分辨率)的精度 (见表 2)。MM5 模拟温度与 6 站实测温度差在 -1.4~0.8℃ 之间;遥感反演的温度与 6 站的差在 -0.6~1.3℃ 之间。两种方法得到的温度与实测温度差大多在 1℃ 左右,表明两种方法的精度较高。研究区域平均地温相差 0.6℃,表明两种方法得到的地温很接近。

表 2 2000 年 9 月 14 日 11:00 MM5 和 RS 反演结果与 AWS 实测温度比较 (℃)

Table 2 Comparison of temperature of MM5, RS and AWS at 11:00 on Sep 16, 2000 (℃)

站名 Station	天河站 Tianhe	天麓湖水库 Tianluhu	增城站 Zengcheng	从化站 Conghua	番禺气象局站 Panyu	花都站 Huadu
AWS	28.7	26.6	27.7	27.1	27.4	27.5
MM5	29.3	25.2	28.1	27.9	26.6	28.0
RS	29.1	26.9	27.1	28.4	27.9	27.0

在热岛强度求算过程中,考虑到广州从化的森林覆盖率高,城市化水平相对较低,以广州从化的平均地温为参考地温,各点地温与平均值的差就是热岛(负热岛,也称冷岛)强度值。数值模拟和遥感反演的强热岛区集中在城区、工业区及珠江口东岸城市,热岛最大值分别为 7.4℃和 9.1℃。数值模拟和遥感反演的城市冷岛分布区域较一致,其强冷岛强度分别为 3.5~5.5℃、4.2~6.6℃。珠江水系等廊道景观对城市热岛进行了分割,使广州地区热岛总体趋势上分为几大斑块。两种方法结果的差别主要是因 MM5 输入的下垫面数据与真实下垫面存在差异造成,但热岛(冷岛)总体的分布特征是一致的。

2.2 城市热环境空间自相关指数分析

热环境空间自相关系数 (Moran I 和 Geary c 指数)反映出温度场在空间上的依赖程度,是其空间分布特征和相互影响程度的度量^[24];Moran I 指数取值在 -1 和 1 之间,小于 0 表示负相关,等于 0 表示不相关,大于 0 表示正相关;Geary c 指数取值在 0 和 2 之间,大于 1 表示负相关,等于 1 表示不相关,小于 1 表示正相关。数值模拟与遥感反演结果的 Moran I 指数分别为 0.637 和 0.524,Geary c 指数分别为 0.365 和 0.476,表明研究区域温度场有较强的空间正相关,且具有一定的空间连续性,但是其水平不是特别高。

受遥感图像时相限制,不能用遥感反演的地温研究热环境空间自相关的动态变化规律,而数值模拟则不受时间限制,因两者在 11:00 的空间自相关指数较接近,本文用数值模拟的地温来分析城市热环境空间自相关的日变化规律(图 2)。

接彩图 1

Moran I 指数总的变化趋势近似余弦曲线,1:00~7:00 均超过 0.9,表现出极强的空间正相关;7:00~9:00 显著变小,仍在 0.7 以上,表现出很强的空间正相关;10:00~18:00,变化不大,维持在 0.6~0.7 之间,表现出较强的空间正相关;日落后,开始逐渐变大,表现出很强的空间正相关。Geary c 指数总的变化趋势近似正弦曲线,1:00~7:00 均低于 0.1,表现出极强的空间正相关;7:00~9:00 增大到 0.1~0.3,表现出很强的空间自相关;10:00~18:00,变化不大,维持在 0.3~0.4 之间,表现出较强的空间自相关;日落至深夜,逐渐变小。研究区域平均温度变化趋势与 Geary c 指数的变化比较相似,日出前温度较低,日出后开始升高,10:00~17:00 温度都在 28℃ 以上,日落后温度开始回落,直至深夜,呈近似正弦曲线变化。以上分析表明,空间自相关程度变化趋势是条近似的余弦曲线,并与温度变化趋势相反,这些与太阳短波辐射、下垫面长波辐射、地面热量等的变化密切相关。

2.3 热力景观空间格局对比分析

本文通过对比分析数值模拟 (MM5) 与遥感 (RS) 反演的热力景观的空间格局指数,以揭示数值模拟与遥感反演的热力景观空间格局的差异性。在斑块类型水平上计算了面积比例、斑块数、聚集度指数、连通性指数、平均分维数、形状指数等 6 种空间格局指数 (表 3)。

表 3 热力景观空间格局指数比较

Table 3 Comparison of thermal landscape spatial pattern indices

热力景观类型 Thermal landscape type	面积比例 PLAND		斑块数 NP		聚集度指数 Clumpy		连通性指数 Cohesion		平均分维数 FRAC-MN		景观形状指数 LSI	
	MM5	RS	MM5	RS	MM5	RS	MM5	RS	MM5	RS	MM5	RS
1	0.83	1.2	24	503	0.62	0.36	67.9	83.8	1.016	1.02	5.89	25.8
2	7.09	9.3	65	694	0.75	0.22	90.3	91.6	1.033	1.03	9.87	41.5
3	17.3	20.7	85	692	0.69	0.12	93.6	89.8	1.045	1.03	16.13	46.9
4	46.8	36.9	62	942	0.74	0.11	98.1	67.4	1.050	1.03	14.48	42.5
5	23.7	27.1	65	729	0.76	0.14	96.1	52.9	1.033	1.02	13.38	32.6
6	4.33	4.8	39	339	0.76	0.34	87.6	63.6	1.028	1.02	7.31	22.0

数值模拟与遥感反演的各类型热力景观面积比例的相关系数为 0.96,呈极显著正相关,斑块数的相关系数为 0.62,表明两者热力景观格局具有一致性;平均分维数的相关系数为 0.766,呈显著正相关,说明两者热力景观形状的复杂性具有一致性;两者景观形状指数的相关系数为 0.82,呈显著正相关,说明热岛的空间分布位置、形状等比较相似;聚集度指数和连通性指数的相关性不大。总体上看,数值模拟与遥感反演的热力景观的空间格局较相似。

在类型水平上数值模拟的热力景观的斑块数、景观形状指数比遥感反演的小,其原因是遥感反演的地温反映了真实下垫面的特征,其准确性较高,而数值模拟因受限于模拟的精度,及下垫面的非实时性,其准确率稍低,并引起模拟的热力景观的破碎化程度较低。研究区域热力景观类型 1 和 6 的面积比例较少,类型 4 所占比例最大,类型 5 和 6 的聚集度指数较大,其斑块密度也较大,表明广州与周边城市因城市化严重,形成了多个热岛区域;类型 6 的连通性指数和分维数较低,其斑块数也较少,其原因是城市地形复杂造成城市热岛分布复杂,且因城市与城市之间过渡带的存在,以及河流廊道对城市热环境的切割作用,不易形成大范围的热岛

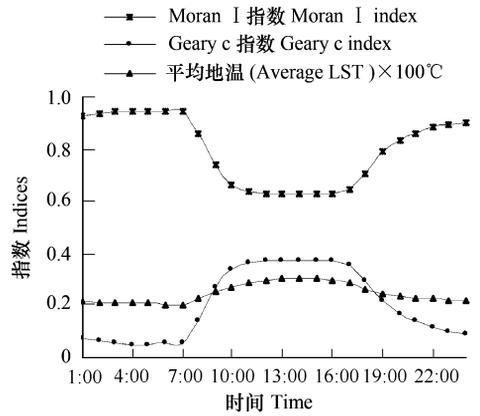


图 2 Moran I、Geary c 指数及平均地温变化曲线

Fig. 2 Dynamic curves of average LST and indices of Moran I and Geary c

中心。类型 1 的分维数最低,其形状指数和斑块数也很小,说明其形状相对规则,分布较集中,是其对应下垫面景观类型的单一性造成的。类型 3 和 4 的形状指数较高,说明其斑块形状较复杂;类型 6 的形状指数较低,说明出现了形状相对较单一的热岛中心,这与其对应下垫面景观的格局特征相关。

在景观水平上,MM5 与 RS 得到的热力景观面积-周长分维数分别为 1.45 和 1.68,表明其空间分布较相似,Simpson 多样性指数分别为 0.688 和 0.777,说明热力景观斑块多样性较大;Simpson 均匀度指数分别为 0.826 和 0.906,说明热力景观有较明显的优势类型;景观分离度分别为 0.91 和 0.99,充分说明斑块的破碎化程度较高,热力景观被切割成很多斑块。以上均表明在景观水平上 MM5 与 RS 得到的热力景观的空间格局特征较相似。

2.4 热力景观空间格局的动态变化

MM5 与 RS 得到的热力景观空间格局的分析表明数值模拟结果能较好反映热力景观的空间格局特征,所以本文用 MM5 模拟的结果来分析热力景观空间格局的动态变化特征。

2.4.1 不同热力景观类型空间格局的动态变化

根据 MM5 与 RS 得到的热力景观类型水平上格局指数的相关性,本文选取面积比例、斑块数、平均分维数和景观形状指数来分析热力景观空间格局的动态变化规律(图 3)。

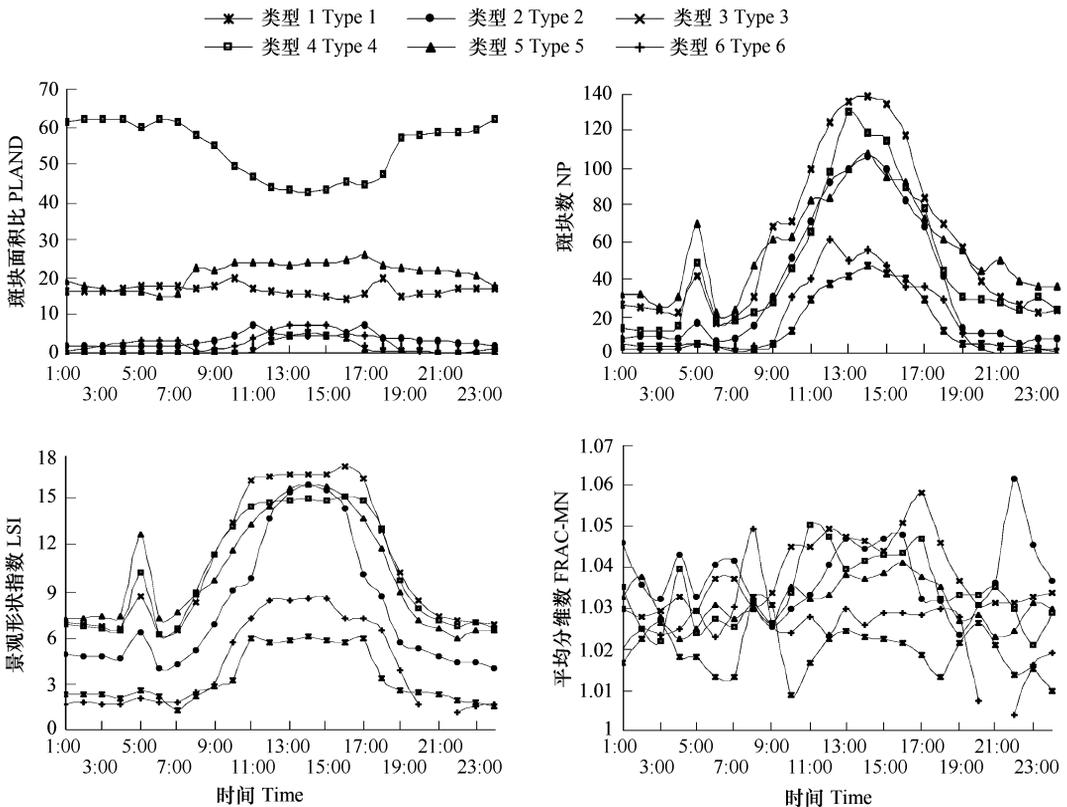


图 3 不同热力景观类型景观指数的动态变化曲线

Fig. 3 Dynamic curves of landscape indices of various thermal landscape types

各类热力景观的面积比例随时间变化明显,1:00~7:00 各类热力景观的面积比例变化幅度不大,类型 4 的面积比例最大,类型 1、2 和 6 的面积比例很低;日出至日落(7:00~17:00)面积比例变化特别明显,11:00~15:00 类型 1、5 和 6 的面积比例达到最大,而类型 4 的面积比例较少;日落后,类型 1 和 2 的面积比例迅速下降,类型 4 的面积比例则迅速上升,但类型 5 和 6 仍维持在较高的水平。各类热力景观面积比例的变化与太阳辐射、地表长波辐射及大气逆辐射等的变化密切相关,日出后太阳辐射的增温作用使城乡地温差异明显,因此类型 1 面积比例减少,而其它类型热力景观的面积则开始发生明显变化;日落后,地面以长波辐射为主,降

温迅速,城乡地温差异减小,所以类型4的面积比例迅速增加。

日出后各类热力景观斑块数开始显著增加,13:00前后达到最大,随后开始减小,日落后都较低,并且整个夜间变化不大。斑块数的变化特征与太阳辐射和地表长波辐射显著相关,并且受下垫面景观影响较大,因不同类型下垫面热力学性质的差异,太阳辐射造成不同下垫面的地温变化差别较大。景观形状指数与斑块数变化趋势一致,白天的形状指数大于夜晚的,其原因是因下垫面形状和性质的差异,在太阳短波辐射及地表长波辐射的作用下,造成地温变化的差异性,从而使各类热力景观形状的复杂性增加,并造成景观形状指数变化明显。另外,各类热力景观的形状指数和斑块数均在5:00出现小波峰。

平均分维数波动较大,类型1的分维数大多时刻较低,主要原因是其对应的下垫面形状较简单、性质较单一,类型2和3午后至日落前的值较日出前的高,且均在5:00出现小波谷;类型4在11:00~14:00的值较高,也在5:00出现小波谷;类型5在午后至日落前的值较上午的高;类型6在8:00出现最大值,5:00出现小波峰。各类型平均分维数的变化主要受地表热量交换、下垫面特性以及海陆风等的影响。

2.4.2 景观水平上热力景观空间格局指数的动态变化

数值模拟与遥感反演的热力景观的面积-周长分维数、Simpson多样性指数、Simpson均匀度指数、景观分离度等指数较接近,能说明热力景观的格局特征,因此选这4个指数来分析MM5模拟的热力景观的空间格局动态变化特征(图4)。

PAFRAC在夜间变化不大,但在5:00出现小波峰,主要原因是研究区域盛行海陆风,此时陆风达到最大,影响了城市及珠江口热环境的空间格局;日出后开始逐渐增大,在14:00达到最大,18:00开始减小,20:00后变化不大。DIVISION与PAFRAC具有相似的变化特征,其变化幅度更大些,且波峰出现在11:00,较PAFRAC有所提前,主要原因是此时热岛破碎化程度达到最大。SIDI的变化趋势与PAFRAC基本相同,夜间其值分布在0.56~0.6之间,白天主要分布在0.7左右,在13:00达到最大0.72,表明白天热力景观的破碎化程度较夜晚的大,且在13:00达到最大。SIEI的变化特征与SIDI非常相似,夜间一般在0.7左右,表明存在优势度较明显的热力景观类型;白天均匀度指数更大,在0.8左右,表明存在优势度很明显的热力景观;与SIDI不同,SIEI在21:00出现了一个小的拐点,表明热力景观优势度在此时发生了变化,此时主要是中等强度的热岛变化明显,且弱强度和中等强度的热岛占有很大优势。

3 结论与讨论

3.1 结论

利用遥感技术研究城市热环境具有多时相、分辨率高等特点,结合GIS技术研究热岛形成机制及其空间格局已成为一大研究热点,但热力景观空间格局动态研究仍很缺乏。结合数值模拟与3S研究城市热岛将成为城市热环境研究的一个重点,其优点在于利用高分辨率的动力学模式与遥感数据能深入分析城市热环境的形成机制与生态效应,并能有效研究其空间格局的日变化特征,揭示景观格局变化对热环境和城市气候的影响。

本文在利用MM5模拟城市热岛时使用了四重嵌套和1km的高分辨率方案,并借助景观生态学方法,对城市热岛数值模拟与遥感反演结果的空间格局特征进行了研究,通过GIS把景观生态学的理论引入到大气环境学中,为定量分析气象要素的格局特征开辟了新思路。研究表明两种方法的精度均较高,且热力景观的空

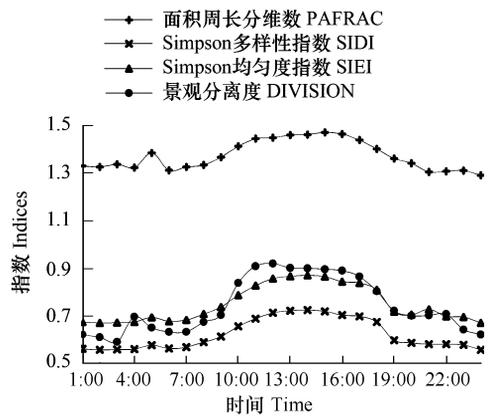


图4 热力景观的景观指数动态变化曲线

Fig. 4 Dynamic curves of landscape indices of thermal landscape

间分布特征一致,该区域的热岛和冷岛具有多中心的特征;湿地景观、城市绿地景观、河流廊道景观等有效地分割了城市热力景观,并增加了其破碎化程度,有效地调节了城市气候;此外城市绿地、水体等还易在城市中形成小冷岛中心。两种方法得到的热力景观空间格局特征较相似,斑块水平上,各热力景观类型的面积比、景观形状、斑块数、平均分维数和景观分离度等指数相关性好,随时间变化明显,日出至日落这段时间变化较大,且热力景观各类型的斑块数、景观形状指数白天的值高于夜晚的,并在 5:00 出现小波峰;景观水平上,面积-周长分维数、Simpson 多样性指数和均匀度指数、景观分离度等指数较接近,夜间变化不大,白天变化明显,且白天整体水平都比夜间高,11:00~14:00 时出现最大值,5:00 前后出现小波峰或波谷。两种方法得到结果的空间自相关系数较接近,研究区域 Moran 的 I 指数总的变化趋势近似余弦曲线,Geary 的 c 指数和平均温度变化趋势都近似正弦曲线。

3.2 讨论

(1)热力景观日变化明显,主要受下垫面性质、地表热量交换和局地环流的影响。下垫面性质直接影响到热力景观的性质和特征,5:00 以及 11:00~14:00 景观指数易出现波峰或波谷,说明地表热量交换及局地环流等对热力景观影响较大。

(2)热力景观的分类直接影响到景观指数的计算。本文主要参考 DB/T235-2004 进行分级,还不能完全反应不同土地类型对热力景观的影响,因此应进一步拓展热力景观方面的研究,为建立科学分级标准提供依据。

(3)四重嵌套及最高分辨率为 1km 的模拟方案对于城市群热岛这种中尺度现象的研究比较合适,但应用于更小尺度,例如街区尺度,热环境研究则不合适,因此建立数值模式、GIS 和 RS 的联合模式,探索小尺度热环境的变化特征将是今后研究的一个重点。

(4)借助 RS 和 GIS,把景观生态学的方法运用到城市热岛研究中,能有效分析热岛的特征及下垫面景观的热环境效应,能分析热力景观空间格局的日变化特征,还能有效评价两者的精度,将其运用到气象要素的空间格局分析中是一个新的研究思路和方向。因此,以数值模拟和遥感数据为基础,借助 GIS 和 RS,借鉴景观生态学的研究方法,研究城市热环境的空间格局特征、形成机制及其生态效应等将成为城市热环境研究的重要方向。

References :

- [1] Zhou S Z, Shu J. The Urban Climate. Beijing: Meteorological Press, 1994. 244-339.
- [2] Xiao R B, Ouyang Z Y, Li W F, et al. A review of the eco-environmental consequences of urban heat islands. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (8): 2055-2060.
- [3] Oke T R. The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands. *Atmosphere*, 1976, 14 (4): 266-277.
- [4] Karl T R, Diaz H F, Kukla G. Urbanization: its detection and effect in the United States climate record. *Journal of Climate*, 1988, 1: 1099-1123.
- [5] He P, Li H B, Lu X Q, et al. The analysis of the urban climate in Chuxiong of Yunnan: Comparison of Urban Heat Island Effect in China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58 (5): 712-720.
- [6] Jan Hafner, Stanley Q K. Urban island modeling in conjunction with satellite-derived surface/soil parameters. *Journal of Applied Meteorology*, 1999, 38 (4): 448-465.
- [7] Li W L, Liu H L, Zhou X J, et al. Analysis of the influence of Taihu Lake and the urban heat islands on the local circulation in the Yangtze Delta. *Science in China (Series D)*, 2003, 33 (2): 97-104.
- [8] Yang Y H, Xu X D, Weng Y H. Simulation of daily cycle of boundary layer heat island in Beijing. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2003, 14 (1): 61-68.
- [9] Chen Y, Jiang W M, Wu J, et al. A numerical simulation on Hangzhou City heat island using regional boundary model. *Plateau Meteorolog*, 2004, 23 (4): 519-528.
- [10] Fan H L, David J S. Modeling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia: a comparison of implementations in two PBL schemes. *Atmospheric Environment*, 2005, 39: 73-84.

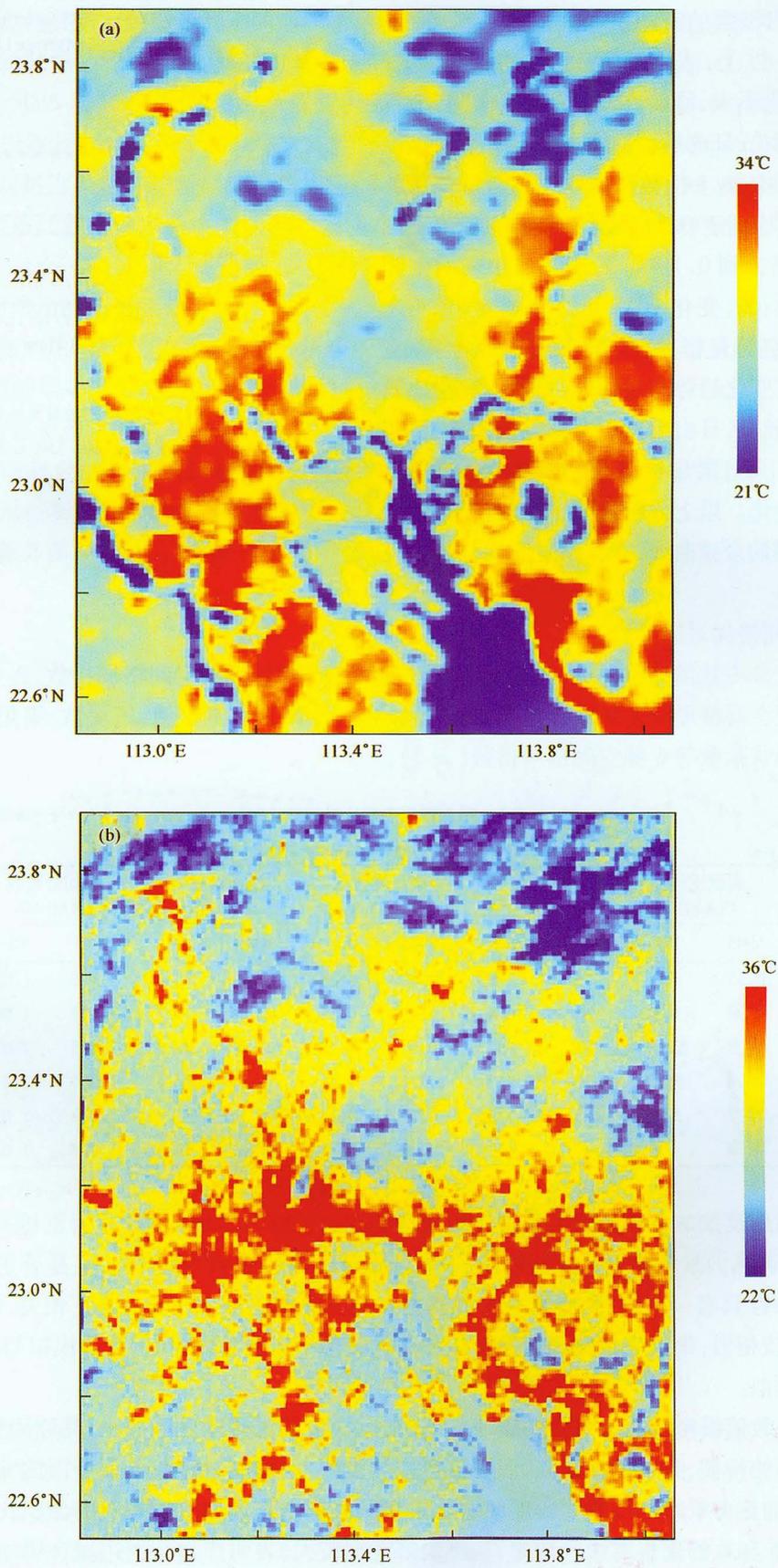


图1 2000年9月14日地表温度数值模拟结果(a)与卫星反演结果(b)比较
Fig. 1 Comparison between simulated LST (a) and retrieved LST by Satellite (b) on Sep 14th 2000