

倪敏莉,申双和,张佳华.长江三角洲城市群热环境研究[J].大气科学学报,2009,32(5):711-715.

长江三角洲城市群热环境研究

倪敏莉^{1,2},申双和¹,张佳华²

(1.南京信息工程大学 应用气象学院,江苏 南京 210044;2.中国气象科学研究院 遥感与气候信息开放研究实验室,北京 100081)

摘要:选取 2001 年 10 月 8—15 日和 2005 年 10 月 8—15 日 MODIS 地表温度产品数据,对长江三角洲城市群热环境进行了研究,并结合 GIS 技术依据景观生态学理论对该地区热环境的时空格局进行了量化对比分析。结果表明,由于长江三角洲地区城市化规模巨大,5 a 内一直存在一个由上海、苏州、无锡、常州形成的“热岛群”。由于长三角地区各城市合理规划布局、规范用地,注意环境保护,在城市化发展的同时,该地区一定范围内的热岛效应得到了有效的控制。

关键词:城市热岛效应(UHI);MODIS;热力景观;长江三角洲

中图分类号: P423 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097(2009)05-0711-05

A Study on Thermal Environment of Urban Group in Yangtze River Delta

NIMIN-LI^{1,2}, SHEN Shuang-he¹, ZHANG Jia-hua²

(1. School of Applied Meteorology, NUIST, Nanjing 210044, China;

2. Laboratory for Remote Sensing and Climate Information Sciences,

Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Changes in the urban thermal environment of the Yangtze River Delta are studied based on the two scenes of MODIS land surface temperature (LST) data from October 8th to 15th in 2001 and 2005, and the time-space patterns of the thermal landscape are quantitatively analyzed using knowledge of landscape ecology in conjunction with the GIS technique. Finally the research indicates that there was a group of urban heat islands composed of Shanghai, Suzhou, Wuxi and Changzhou in the delta in the past five years. The UHIs have been under control effectively in some cities of the Yangtze River Delta due to rational city programming and protecting environment.

Key words: urban heat islands(UHI);MODIS; thermal landscape; Yangtze River Delta

0 引言

自 1833 年,Howard^[1]就伦敦市中心的气温比郊区高的现象提出“城市热岛”概念以来,城市热环境问题就一直备受关注。城市空间热环境对城市微气候、空气质量、能源消耗结构以及公共健康等方面产生深远的影响,因此,城市热环境及其热效应已经成为当前城市气候与环境研究中最为重要的内容之一。

研究“城市热岛效应”(urban heat island effect, UHI)的传统方法是观测资料研究法,这种方法虽然定位精确、数据准确,但很难全面、同步地反应地面的热辐射状况。随着科技发展的进步,遥感作为一种先进的对地观测手段成为研究 UHI 的方法之一。此外,目前还有一些学者通过模式模拟的方法研究城市热岛效应,也得到了不错的效果。在这些方法中,遥感以其空间上连续覆盖和时相上的持续成像的优势,使其成为目前研究“城市热岛”应用最多、

收稿日期:2008-08-10;改回日期:2009-04-25

基金项目:中国气象局 FY-3 应用系统项目(FDAF-1-02)

作者简介:倪敏莉(1983—),女,江苏海门人,硕士,研究方向为城市环境气候与遥感应用, chilliren@163.com;申双和(通信作者),男,江苏泰州人,博士,教授,研究方向为农业气象、生态环境气象, yqzhr@nuist.edu.cn

最有效和最直观的方法。

引起“城市热岛效应”的主要原因是城市化发展。长江三角洲地区是我国经济最发达的地区之一,自从 1978 年改革开放以来,该地区城市化速度不断加快,城市分布密集,对该地区的热环境必定造成一定的影响。一直以来,对该地区的热环境研究有很多,周淑贞等^[2-3]、周红妹等^[4-5]、陈云浩等^[6]利用卫星遥感资料对上海市的城市热岛效应的变化动态以及成因都做了深入的研究。李旭文^[7]对苏州市的城市热岛现象进行了研究。张新刚等^[8]分析了杭州市的热岛效应现状及其热环境格局变化。李俊杰等^[9]利用卫星遥感资料分析了南京热场的分布大小,对南京的城市热岛强度做出了评价。但这些研究都是把单个城市作为研究对象,而把整个长三角地区的城市群整体作为研究对象的却很少。本文以长江三角洲地区城市群作为研究对象,以卫星遥感资料结合 GIS 技术,利用景观生态学理论对该研究区的热场进行分析,研究该地区的热环境的空间格局,为长江三角洲城市群规划以及未来气候变化预测提供参考。

1 研究区域与资料、方法

1.1 区域概况

长江三角洲位于我国大陆海岸线中部、长江入海口处,是一个地跨上海市、江苏省和浙江省两省一市的沿海区域。长江三角洲以上海为中心,包括江苏省的南京、镇江、扬州、泰州、南通、苏州、无锡、常州及浙江省的杭州、嘉兴、湖州、宁波、绍兴、舟山共 15 个地级以上城市,在 118.33~122.95°E, 29.04~33.41°N 区域范围。该地区属于亚热带湿润季风气候,年均温 15~17℃,年降水量 1 000~1 800 mm。地貌以平原为主,西部和南部有一些山地和丘陵。

1.2 数据

采用美国土地过程分布式数据中心 (land processes distributed active archive center, LPDAAC) 提供的 MODIS 地表温度 (land surface temperature, LST) 产品 MOD11A2 与归一化植被指数 (normalized difference vegetation index, NDVI) 产品 MOD13A1,其中地表温度产品为空间分辨率为 1 km 的 8 d 合成数据中 2001、2005 年 10 月 8—15 日两个时相白天的遥感影像图,NDVI 产品为空间分辨率为 1 km 的 16 d 合成数据中 2001、2005 年 9 月 30—10 月 15 日这两个时段的影像图。

1.3 数据处理与研究方法:

首先采用 MODIS-HEG 软件读取 MODIS 的 LST 产品数据,然后利用 ENV I 软件对遥感图像进行拼接、波段运算以及投影转换等一系列的处理,再由研究区域矢量边界为掩膜截取所需的遥感影像图资料。

在获得研究区的热场分布状况后,采用景观生态学中的相关指标对热场的空间格局进行分析,借鉴前人的研究成果,选取以下热力景观指标:

(1) 破碎度^[10]。破碎度表示景观被分割的破碎程度。热力景观的破碎化与城市发展、人类活动引起的下垫面改变密切相关,因此,它可以有效反映其影响程度。计算公式为 $C_i = \frac{N_i}{A_i}$ 。其中: N_i 表示 i 类斑块数目; A_i 表示 i 类斑块面积。

(2) 多样性^[10]。景观空间格局的多样性是指热力景观在结构、功能随空间变化而变化的程度。计算公式为 $H = - \sum_{i=0}^m R_i \times \ln R_i$ 。式中: R_i 为热力景观类型 i 所占面积的比例; m 为类的数目。多样性指数值大表明信息含量越高,热力景观类型越丰富。

(3) 分维数^[10]。分维数是分形理论的度量指标,用于反映景观斑块的复杂程度和稳定程度,计算分维数的模型很多,目前应用最多最成熟的是面积—周长模型,本文亦采用这种模型,计算公式为 $D_i = 2 \ln \left[\frac{P_i}{4} \right] / \ln(A_i)$ 。其中: D_i 为分维值; A_i 和 P_i 分别为某类斑块的面积和周长。 D 的理论值范围在 1~2, $D=1$ 表示各斑块形状为规则四边形, $D=2$ 表示各斑块形状最为复杂, $D=1.5$ 则表示各斑块处于一种类似布朗运动的随机状态,离 1.5 越远则各斑块形状趋向稳定化。为了能更直接研究热力景观斑块的稳定性引入了稳定性指数 V , $V = |D - 1.5|$, V 越大表明斑块的变化状况越趋于稳定。

(4) 优势度^[10-11]。优势度用于测度景观结构中一种或几种景观类型支配景观的程度,它的大小直接反映了各类斑块在景观变化中的作用。具有较大优势度的斑块对景观格局的形成往往起到主导性作用。计算公式为 $D_{0_i} = \frac{R_{d_i} + R_{f_i} + L_{p_i}}{2} \times 100\%$ 。其中:

相对密度 $R_{d_i} = \frac{N_i}{N}$; 相对频率 $R_{f_i} = \frac{S_{N_i}}{S_N}$; 景观比例 $L_{p_i} = \frac{A_i}{A}$; N_i 为 i 类斑块的数目; N 为总斑块数; S_{N_i} 为 i

类斑块数; S_N 为总采样数; A_i 为 i 类斑块面积; A 为研究区总面积。

2 结果分析

2.1 城市群热场

LST 产品可以直接反应出长江三角洲地区的地表温度分布状况,为了提高遥感图像的可比性,对两幅亮温影像图进行了归一化处理^[12],具体公式为

$$Q_i = \frac{T_{S_i} - T_{S_{min}}}{T_{S_{max}} - T_{S_{min}}}$$

其中: Q_i 表示第 i 个像元正规化之后的值; T_{S_i} 为第 i 个像元的绝对亮温值; $T_{S_{min}}$ 表示地面绝对亮温的最小值; $T_{S_{max}}$ 为地面绝对亮温的最大值。经过归一化处理之后温度值分布范围统一到 $0 \sim 1$ 。将图像上归一化处理后的值按 $0 \sim 0.2$ 、 $0.2 \sim 0.4$ 、 $0.4 \sim 0.6$ 、 $0.6 \sim 0.8$ 、 $0.8 \sim 1$ 的范围平均划分成 5 个等级,依次规定为高温区、次高温区、中温区、次低温区和低温区(图 1)。

由图 1 见,两幅影像图共同点是常州、无锡、苏州以及上海等地始终处于高温区和次高温区,在该地区的背景温度下表现为一个“热岛群”,并且每个城市的热岛效应都十分明显。图 1a、b 的不同点是: 2001 年处于高温区与次高温区的南京、扬州、镇江、泰州部分地区形成一个区域性热岛,而到 2005 年时这个区域性热岛消失,处于中温区和次中温区,只是在各个城市内还存在着热岛效应。而宁波、绍兴、台州等市 2001 年时处于中温区,到 2005 年时已处于次高温区,热岛效应有所增强,并且形成了一个较大的“热岛群”。总体上,2005 年较 2001 年,次中温区有所增加,中温区有所减少。

2.2 地表温度与规一化植被指数

植被对城市的热环境具有调节作用,由植被覆盖引起的地表蒸腾减少会使城市地表温度产生改变。植被指数是反映地表植被覆盖状况的重要指标,因此,选择植被指数中的一种—NDVI,研究其与 LST 之间的关系。图 2 是根据 MODIS 的 NDVI 数据产品得到的 2001、2005 年研究区内的 NDVI 分布。

结合图 1 来看,总体上,研究区域中高温区的 NDVI 值较低,低温区的 NDVI 值较高。经计算,两个时段 LST 与 NDVI 的相关系数都在 -0.7 以上,可见 LST 对 NDVI 的变化比较敏感。2001 年,南京、扬州等地的 NDVI 值较低,而 LST 较高,处于整个研究区域的高温区;到 2005 年,南京、扬州等地的 NDVI 值有所升高,处于整个研究区域的中等值范围, LST 也处于中温区。经查阅气象站点的实测数据得知,这两个时段该地区并没有降水。因此,2001 年长三角西北部的高温区在 2005 年明显减弱的现象与该地区 NDVI 值的升高有关。另外,2005 年长江三角洲地区城市群的热岛效应较 2001 年有所减缓,与该研究区域的 NDVI 的变化也有着很好的一致性。2001 年,该研究区域内很大一部分地区的 DNV I 值都处于 0.45 以下,而 2005 年时这些地区的 DNV I 值基本都上升至 $0.6 \sim 0.75$ 。比较 2005、2001 年,长江三角洲地区南部 NDVI 值在 $0.9 \sim 1$ 的地区有所增加。NDVI 值升高,地表植被覆盖度增加,地表温度降低,热岛效应相应有所缓解。因此,城市热环境与其植被覆盖状况有着很大的联系。

2.3 热场景观格局

根据上文所述破碎度、分维数、稳定度、优势度

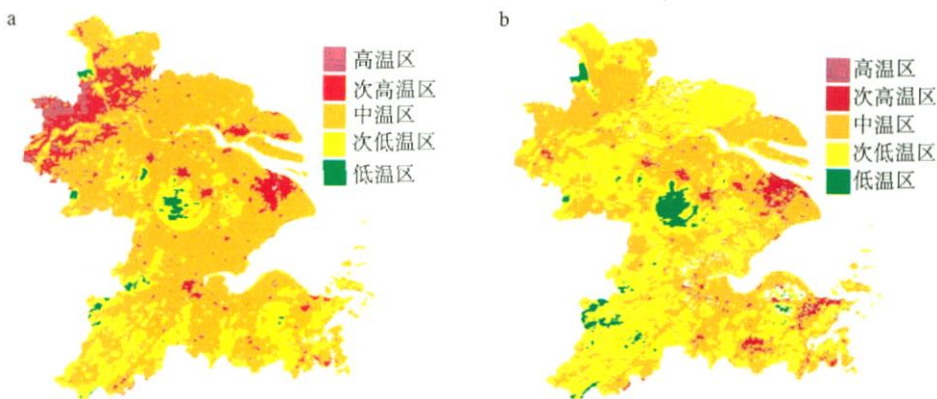


图 1 长江三角洲地区热场分级 a 2001 年; b 2005 年

Fig 1 LST classification of the Yangtze River Delta a 2001; b 2005

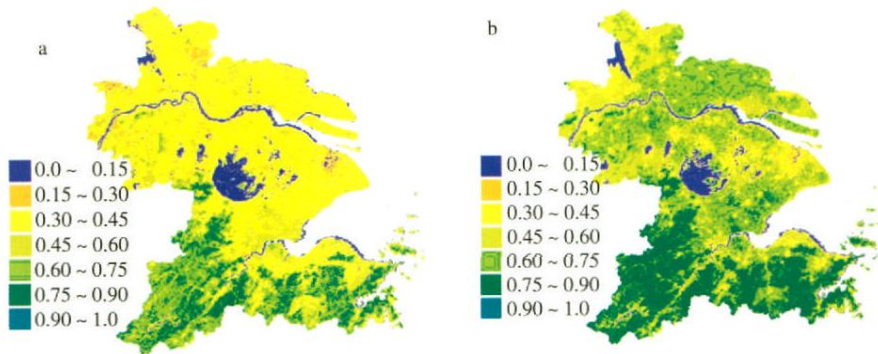


图 2 长江三角洲地区 NDVI 分布 a 2001 年; b 2005 年

Fig 2 NDVI distributions of the Yangtze River Delta a 2001; b 2005

以及多样性指数计算方法,对 2001 年和 2005 年同期的热场分级图像,计算出各指标的值(表 1)。

由表 1 可见,长江三角洲地区 2001 年热场斑块总计为 1 231 块,2005 年为 1 845 块,较 2001 年有所增加,这表明该区域的景观日趋复杂。而多样性指数由 2001 年的 0.90 上升到 0.98,反映了研究区内热力景观斑块之间趋于均衡化,即相互之间的差异逐渐变小。

对于破碎度的变化,低温区、中温区、次高温区和高温区的破碎度增大,其中高温区的增加幅度最大,由 2001 年的 0.024 上升至 2005 年的 0.211,这表明高温区趋于离散化;而次中温区的破碎度却有所降低。

分维数的变化表现为低温区、次中温区以及中温区的值增大,而高温区与次高温区的值保持不变。这表明,前三类景观斑块形状日趋复杂,而后两类斑块的复杂度基本没有发生变化。稳定性是与分维数相关的一个指标,其值的大小反映着各类景观斑块的稳定性如何,从表 1 中的结果看来,前三类斑块的

稳定性值下降,后两类斑块的稳定性值没有变化,表明该研究区的低温区、次中温区以及中温区三类斑块处于一个不断变化的时期,而高温区与次高温区则处于一个基本没有变化、相对比较稳定的时期。

长三角地区 2001、2005 年热场优势度的排序相同,从大到小都依次为次中温区、中温区、次高温区、低温区和高温区。次中温区的优势度较大,表明在整个研究区内次中温区占明显优势。中温区和次高温区这两类的优势度居中,说明这两种景观是构成热力景观格局的主要类型。低温区与高温区的优势度较低,对应为部分水体以及城市热岛地区,因此,这两类景观也是整个热力景观格局中不可缺少的构成要素。从各类斑块优势度的具体值来看,低温区、次中温区和中温区的优势度值增大,高温区和次高温区的值减小,表明低温区、次中温区和中温区对整个景观格局的支配程度有所上升,而次高温区对整个景观格局的支配程度有所下降,高温区也是表现为有所下降。

表 1 长江三角洲地区热力景观指数

Table 1 Thermal landscape indexes of the Yangtze River Delta

年份	分类等级	斑块数	破碎度	分维数	稳定性	优势度 /%	多样性
2001	低温区	90	0.048	1.22	0.28	3.99	0.9
	次低温区	615	0.023	1.29	0.21	29.69	
	中温区	135	0.001	1.25	0.25	22.86	
	次高温区	348	0.024	1.27	0.23	16.62	
	高温区	43	0.024	1.21	0.29	2.05	
2005	低温区	205	0.051	1.23	0.27	6.28	0.98
	次低温区	766	0.014	1.3	0.2	30.44	
	中温区	442	0.006	1.29	0.21	25.35	
	次高温区	289	0.047	1.27	0.23	12.04	
	高温区	43	0.211	1.21	0.29	1.21	

3 结论

(1) 2001—2005年,长江三角洲地区各城市的经济发展对该地区的气候产生了一定的影响,也形成了该地区独特的热环境格局。5 a内,由于上海、苏州、无锡、常州一线的城市一直保持的高速发展,使得该区域形成的“热岛群”一直存在。这与近年来该地区提倡的以一个城市为中心,带动周边城市发展的“发散型”经济发展模式相对应,因此,城市群的发展就带来了“热岛群”以及“区域性热岛”效应。

(2)在 2001年与 2005年各项景观指标的变化中,斑块总数和多样性指数的增加反映出研究区的景观日趋复杂化,各类景观之间区域均衡化,相互之间的差异变小。此外,研究区中的次高温区与高温区的破碎度、优势度增大、分维数与稳定性指数不变,低温区、次中温区与中温区的分维数、优势度增大,稳定性降低。这些景观类型的变化都是由于长江三角洲地区城市化进程的加快,人类活动的影响加剧了下垫面土地利用类型的改变,进而使地表的热量分布状况也发生了相应的改变。但同时,温度较高区域的热岛景观正处于日趋离散的阶段,但热岛的形状并没有变复杂,并且在这段时间里处于一个相对稳定的阶段,并且对整个景观格局的支配作用有所降低;而对于低温以及温度中等的区域,各项指标的变化表明这些景观类型的形状复杂化,一直处于变化中,对整个热环境格局的支配程度也有所提高。这表明近年来长江三角洲各地方政府在发展的同时,注意环境保护、城市合理规划,并取得了一定的成效。

长江三角洲城市群独特的热环境结构与该区域的经济有着密切的联系,影响该地区热环境的因素除了地表植被覆盖状况以外,还有很多其它因素,今后将作更进一步的研究。

参考文献:

[1] Howard L. Climate of London deduced from meteorological observations (Vol 1) [M]. 3rd ed. London: Harvey and Darton Press, 1833: 348.

[2] 周淑贞,吴标. 上海下垫面湿度与城市热岛 [J]. 环境科学学报, 1987, 67(3): 261-267.

[3] 周淑贞. 上海城市气候中的“五岛”效应 [J]. 中国科学 B 辑, 1988, 11: 1226-1234.

[4] 周红妹. NOAA 卫星在上海市热力场动态监测中的应用 [J]. 大气科学与应用, 1998, (1): 23-28.

[5] 周红妹,周成虎,葛伟强,等. 基于遥感和 GIS 的城市热场分布规律研究 [J]. 地理学报, 2001, 56(2): 189-196.

[6] 陈云浩,李晓兵,史培军,等. 上海城市热环境的空间格局分析 [J]. 地理科学, 2002, 22(3): 317-323.

[7] 李旭文. 苏南大运河沿线城市热岛现象的卫星遥感分析 [J]. 国土资源遥感, 1993, 18(4): 28-33.

[8] 张新刚,周斌,王珂. 杭州市热岛效应的遥感监测 [J]. 科技通报, 2004, 20(6): 501-505.

[9] 李俊杰,何隆华,陈杰. 南京城市热场的卫星遥感分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 760-763.

[10] 陈云浩,李京,李晓兵. 城市空间热环境遥感分析 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.

[11] 肖笃宁,赵羿,孙中伟. 沈阳西郊景观格局变化的研究 [J]. 应用生态学报, 1990, 1(1): 75-84.

[12] 徐涵秋,陈本清. 不同时相的遥感热红外图像在研究城市热岛变化中的处理方法 [J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(3): 129-133.

[13] 周志恩,蒋维楣,胡非,等. 气象卫星观测资料的分析在城市区域气象环境研究中的应用 [J]. 气象科学, 2003, 23(3): 292-299.

[14] 曾侠,钱光明,潘蔚娟. 珠江三角洲城市群城市热岛效应初步研究 [J]. 气象, 2004, 30(10): 12-16.

[15] 王天星,陈松林,陈志强,等. 基于 TM/ETM+ 的城市热岛景观分析 [J]. 聊城大学学报, 2006, 19(4): 71-74.

[16] 郑祥芳,刘伟东,王迎春. 北京地区城市热岛的时空分布特征 [J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(5): 694-699.

[17] 张月维,何全军,赵晓利,等. 2005年 7月珠三角地表温度场的遥感监测分析 [J]. 气象, 2006, 32(9): 23-27.

[18] 肖荣波,欧阳志云,李伟峰,等. 城市热岛时特征及其影响因素 [J]. 气象科学, 2007, 27(2): 230-236.

[19] 江学顶,夏北成. 珠江三角洲城市群热环境空间格局动态 [J]. 生态学报, 2007, 27(4): 1461-1470.

[20] 郝丽萍,方之芳,李子良,等. 成都市近 50年气候年代际变化特征及其热岛效应 [J]. 气象科学, 2007, 27(6): 648-654.

[21] 王桂玲,蒋维楣,魏鸣. 城市热岛效应的卫星遥感分析 [J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(3): 298-304.

[22] 谢志清,杜银,曾燕. 长江三角洲城市带扩展对区域温度变化的影响 [J]. 地理学报, 2007, 62(7): 717-727.

[23] 李兴荣,胡非,舒文军. 北京城市热岛特征及强热岛影响因子 [J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(1): 129-134.

[24] Weng Q H. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta China [J]. Int J Remote Sens, 2001, 22(10): 1999-2014.

[25] Weng Q H, Yang S H. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city [J]. Journal of Environmental Management, 2004, 70(2): 145-156.

[26] Weng Q H, Lu D S, Jacquelyn S. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies [J]. Remote Sens Environ, 2004, 89(4): 467-483.

[27] Zhou Liming, Robert E D, Tian Yuhong, et al. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(26): 9540-9544.

(责任编辑:刘菲)