

基于多时相遥感影像分析的城市土地利用/覆盖变化与热环境演变))) 以徐州市为例

刘培^{1,2}, 杜培军^{1,2}, 赵卫常³, 张华鹏^{1,2}

(1. 中国矿业大学 地理信息与遥感科学系, 江苏 徐州 221008; 2. 江苏省资源环境信息工程重点实验室, 江苏 徐州 221008; 3. 河北省煤田地质局物测地质队, 河北 邢台 054000)

摘要: 以 1987, 1994, 2000 和 2005 年共 4 期的 Landsat TM 遥感影像为数据源, 利用先进的决策树分类法获取徐州市土地利用/覆盖信息, 通过单通道算法反演地表亮温获取城市热场分布与热环境变化信息, 采用土壤调节植被指数 SAVI 定量描述研究区植被覆盖变化, 并综合采用这些信息对城市热环境演变与城市扩展、植被覆盖变化的关系进行了综合分析。结果表明, 利用 Landsat TM 数据结合决策树分类方法, 是获取土地覆盖/利用的有效方法。通过计算地表辐射亮温来研究城市热环境变化是合适的, SAVI 等因子与城市热环境显著相关, 能够有效地定量描述城市扩展及其生态环境响应。研究结果可服务于城市环境保护与人居环境改善。

关键词: 土地利用/覆盖变化; 地表亮温; 多时相遥感影像

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)01-0045-06

中图分类号: TP79, X144

Relationship Between Land Use/ Cover Change and Urban Thermal Environment Evolution) Taking Xuzhou City as an Example

LIU Pei^{1,2}, DU Pei2jun^{1,2}, ZHAO We2chang³, ZHANG Hua2peng^{1,2}

(1. Department of Remote Sensing and Geographical Information Science, China

University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of

Resources and Environmental Information Engineering, Xuzhou, Jiangsu 221008, China; 3. Geophysical

Prospecting and Surveying Team, Hebei Bureau of Coal Geological Exploration, Xingtai, Hebei 054000, China)

Abstract: Using Landsat TM remotely sensed images captured in 1987, 1994, 2000, and 2005 as data source, land use/cover change (LUCC) information of Xuzhou City is obtained by decision2tree classification, urban thermal area distribution and thermal environment change are described by land surface temperature which is retrieved through mon2window arithmetic from thermal infrared bands, and then vegetation coverage change is quantitatively depicted by soil adjusted vegetation index (SAVI). Based on information on land cover, land surface temperature, and vegetation coverage, the relationships among vegetation coverage, urban expansion, and urban thermal environment change are comprehensively analyzed. Results show that using decision2tree algorithm is an effective method to obtain the data on land use and land cover. It is appropriate to use land surface radiance bright temperature for the analysis of urban heat environment change. The factors such as SAVI are significantly correlated with urban heat environment and can be used to quantitatively describe urban expansion and eco2environmental response. Research outcomes can be used for the protection of urban environment and the optimization of urban human settlement.

Keywords: land use/cover change; brightness temperature; multi2temporal remote sensing image

随着社会经济发展和科技的进步,城市化进程不断加快,各种人造地表(尤其是建筑物、道路等为主的不透水层)逐渐取代以植被等为主的自然景观,引起城市土地利用/覆盖的根本变化。城市土地利用变化的主要驱动因素是经济社会发展和人口增长,尤其经济发展是城市土地利用扩张的根本驱动力,产业结构调整与经济效益差异则是其直接诱导因素^[1]。缺乏合理规划的城市扩展严重影响城市生态环境,其中一个非常重要的方面就是城市热岛效应加剧,不仅使城市气候发生变化,而且还加剧城市大气污染,降低人居环境舒适度。因此对城市扩展过程中的生态环境效应进行评价,从而为减弱或调节各种负面影响提供信息支持是很有必要的^[2]。一般来讲,城市扩展区和热状况加重区具有很好的对应性,建筑用地往往对应着城市温度较高区域或热岛效应显著的地区,植被增加区则对应着热状况减轻区和热状况基本未变化区^[3]。另一方面,城市土地利用类型及其空间结构的生态环境效应同时又是城市生态学中的关键问题,对优化城市功能分区和城市规划管理以及城市可持续发展等都具有重要意义^[4]。就城市扩展与热扩展之间的关系,很多学者已做了大量的研究,Ruiliang Pu, Peng Gong 等人^[5]采用了多分辨率多源遥感数据分析了城市地表温度与植被指数之间的关系,认为即使在不同的温度图像之间,植被指数和地表温度的相关性细微的情况下,地表温度和植被指数之间的强负相关性依然占主导地位。Y. Julien 等人^[6]利用利用地表温度和植被指数估算了 1982—1999 年间欧洲大陆植被的变化情况。而本研究以多时相遥感影像数据为基础数据源,选择江苏省第二大城市、也是典型矿业城市之一的徐州市作为研究区,提取与城市热环境相关的环境影响因子,并通过环境影响因子参数对城市扩展进行了综合分析评价。结果表明 SAVI 等因子与城市热环境显著相关,能够有效地定量描述城市扩展及其生态环境响应。

1 研究区和遥感数据

1.1 研究区简介

研究区域为徐州市,位于江苏省西北部。徐州地处苏、鲁、豫、皖 4 省交界,中心地理坐标东经 117°18′,北纬 34°17′。属暖温半湿润季风气候区,夏热多雨,冬寒干燥。降雨多集中在夏季。年平均降雨量 859.5 mm,年平均蒸发量 1 200 mm,历年最高气温 40.1℃,历年最低气温 -23.3℃,年平均气温 14℃,最高月平均气温 26.9℃,最低月平均气温 0.7℃。徐州市是江苏省第二大城市,也是华东地区

典型矿业城市之一,近年来正在向旅游城市、生态城市的方向积极努力。

1.2 数据和预处理

采用的数据源为 1987 年 9 月 19 日、1994 年 9 月 6 日、2000 年 09 月 11 日、2005 年 08 月 12 日多时相的 Landsat TM/ETM⁺ 影像,辅助数据为 1:50 000 的行政区划图。几何精校正是最重要的预处理工作,匹配精度控制在 0.5 个像元。为了消除不同成像时期干扰因素的影响,使分析结果建立在统一的基准上,对数据进行了基于主成分分析的辐射归一化处理。同时,为提高比辐射率的计算精度,对 TM 影像第 3、4 和 5 波段进行基于图像的大气校正。

2 土地利用/覆盖类型及热环境因子的提取

2.1 城市土地利用/覆盖类型

5 土地利用现状分类 6 标准将土地利用采用两级分类,共分 12 个一级类,56 个二级类。根据徐州市的实际情况,结合热环境下垫面特点,研究中将土地覆盖分 4 大类,主要包括建设用地、农用地、林地、水体。

从遥感影像上提取城市土地利用信息的常用方法包括土地利用遥感影像分类法和专题要素信息提取法(如提取植被指数、建筑物指数等)^[7]。对不同时期的遥感图像根据地物的光谱信息分别建立决策树。利用所建立的决策树进行分类,得到分类结果。

从不同时相的分类结果可以得出,由于社会发展造成的城市地表下垫面演变过程。值得注意的是对城市热环境影响较大的建筑用地(包括城市用地、城镇用地、农居点等)随着经济社会的加快发展不断扩展过程。

1987 年建筑土地用地占 7.560 8%,主要集中在市政府、彭城广场、淮海东路与解放路相交处的市中心地带,从图像上看建筑区绝大多数以上都集中在二环以内。

1994 年建筑土地用地占 9.726 4%,主要扩展集中在泉山区的西南、东北方向,且以西南方向发展较为迅速,云龙湖以北明显出现了大片的建筑用地,市中心黄河故道以北建筑面积也有所增加,主要表现为建筑体密度上的加重,并没有明显的范围扩大,由此可以看出城市的扩展首要是以市中心为重点的。

2000 年建筑土地用地占 15.360 7%,原有的城市建筑区建筑物密度又有了明显加重,九里区一带的建筑物有所增加,泉山区云龙湖与小泰山之间和小泰山以南建筑物明显增加。

2005 年建筑土地用地占 17.752 7%, 九里区以东、鼓楼区及鼓楼区以北、泉山区以南建筑体明显有所增加, 城市东北鼓楼区主要表现为建筑体密度的增加, 城市南部泉山区不仅建筑体密度有明显增加, 建筑体范围也有明显扩展。

1987) 2005 年期间徐州市城市扩展的动态趋势为以城市市政府、彭城广场为中心地带, 不断向城市周边主要表现为东北西南方向扩展, 城市建筑扩展表现为建筑体占地范围的增加和建筑体集中密度的上升同时并进, 城市建筑用地面积增加必将引起其他非建筑用地面积减少, 由此引起地表下垫面类型的改变是城市热场分布、热环境演变的关键性因素。

对分类结果进行误差矩阵进行分析决策树分类精度如表 1 所示, 从表中可以看到 1987, 1994, 2000 和 2005 年的分类总体精度分别为 84.731 0%, 86.937 1%, 86.485 5%, 88.964 3%; Kappa 指数分别为 0.843 1, 0.865 3, 0.863 7, 0.873 5。表明该方法有着很好的分类精度。本研究采用的决策树分类法, 经过验证有着较高的分类精度, 而且有研究表明决策树分类能够有效的消除由于同物异谱、同谱异物造成的错分、误分^[8], 能够满足城市扩展对地表温度影响问题研究的精度要求。

表 1 决策树分类精度统计

项 目	1987 年	1994 年	2000 年	2005 年
总精度	84.731 0	86.937 1	86.485 5	88.964 3
Kappa 系数	0.843 1	0.865 3	0.863 7	0.873 5

2.2 植被信息提取与定量描述

城镇化建设的加快带来土地结构的变化, 也引起植被覆盖的变化。根据绿色植物的光谱特性, 已有多种植被指数得到应用^[9]。综合已有研究成果表明^[9,13] SAVI 适合于植被覆盖度较低的城市地区植被覆盖研究。故本研究采用 SAVI 模型^[3]:

$$SAVI = \frac{1}{1+L} \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \quad (3)$$

式中: SAVI))) 土壤调整植被指数; NIR))) 近红外波段反射率; RED))) 红光波段反射率; L))) 调节因子。

综合考虑前人的研究成果^[3, 14, 15], 本研究中调节因子 L 值取 0.5。通过上述模型计算得到各时相土壤调节植被指数(SAVI), 通过不同时相遥感影像数据 SAVI 的变化来更为精确反应城市植被覆盖变化。

2.3 地面辐射亮温反演

城市热岛研究大多注重的是温度相对强弱的空

间分布特点, 且城市下垫面辐射温度与低空(地表 1.5 m 以内)气温呈显著线性关系, 可以用地面辐射亮度来研究城市热岛^[2]。

本研究的重点在于比较分析 3 个不同时期的温度变化。因此, 通过计算地面辐射亮温的方法来研究城市热环境是合适的。

反演地面辐射亮温的数学模型为^[16]:

$$T = K_2 / \ln(K_1 / L_6 + 1) \quad (4)$$

式中: L_6))) 热红外波段的辐射亮度 $\Delta(K_1, K_2)$))) 计算常数, 对于 TM 遥感影像, 取 $K_1 = 607.776 \text{ mW}/(\text{m}^2 \# \text{Sr} \# \text{Lm})$, $K_2 = 126.0 \text{ K}$, 对于 ETM⁺ 影像取 $K_1 = 666.093 \text{ mW}/(\text{m}^2 \# \text{Sr} \# \text{Lm})$, $K_2 = 1282.7108 \text{ K}$ 。

计算辐射亮度需先对遥感影像数据进行辐射校正, 采用的数学模型为^[17]:

$$L_K = \frac{(L_{\max_K} - L_{\min_K})}{Q_{\max}} Q_K + L_{\min_K} \text{ 或 } L_K = g_K \# Q_K + b_K \quad (5)$$

式中: L_K))) 像元在传感器处的光谱辐射值 $\Delta(Q_K)$))) 像元值; Q_{\max}))) 8 位灰度值 DN 的最大值(取 255); L_{\max_K}, L_{\min_K}))) 最大光谱辐射值和最小光谱辐射值 $\Delta(g_K$ 和 $b_K)$))) 增益值和偏置值, 可以从遥感数据头文件获得。

3 城市热环境演变与城市扩展、植被覆盖变化关系分析

采用上述方法反演获取了 4 个时相的温度分布状况(见附图 1) 4)。从分布状况可见, 1987 年部分地区温度异常, 高温区并未分布在建筑物集中的市中心, 经查证分析原因包括: (1) 高温区, 成像时有较多云量覆盖, 由于大气逆辐射导致出现温度异常区; (2) 1987 年徐州市市区建筑较少, 尚未能构成城市热岛中心。1994 年主要高温区转移至徐州主城区且范围有所扩大, 但 1994 年部分水体(云龙湖), 温度和周边的林地、农田温度几乎一致, 区分不明显。原因为成像时该区域有云层覆盖由于大气逆辐射导致出现温度异常, 经过 1987) 1994 共 7 a 的城镇建设, 徐州市已经出现了显著的城市热岛, 高温区逐渐集中到了以彭城广场、市政府等市中心区域, 到 2000 年高温区以徐州主城区为中心区, 进一步向四周扩展, 扩展范围主要表现为市中心东南和西北部, 区域主要在云龙区西部, 泉山区东南部, 鼓楼区北部和九里区的部分地区。通过和上文获取的城市土地利用变化状况比较可以发现, 1987, 1994, 2000, 2005 年间温度的变化与相应年份建筑用地的增加区域及植被的减少区域都是一致的。同

时也说明城市扩展引起的建筑增加、植被覆盖面积减少对城市的热环境变化造成了显著影响。

对不同时期相的土地利用类别进行统计分析,结果如表 2 所示。1987) 1994 年,城市建筑土地利用增加 2.165 6%,1994) 2000 年城市土地利用增加比例为 5.634 3%,而 2000) 2005 年期间城市土地利用增加比例为 2.392 9%。统计数据表明,徐州市在 1987) 1994 年间城市建筑土地利用变化幅度不大,变化主要集中在市中心。而 1994) 2000 年间城市建

表 2 1987, 1994, 2000, 2005 年土地利用覆盖变化

土地类型	1987 年		1994 年		2000 年		2005 年	
	百分比	像元数	百分比	像元数	百分比	像元数	百分比	像元数
建筑地	7.560 8	52 969	9.726 4	50 890	15.360 7	107 614	17.752 7	124 372
非建筑	92.439 2	647 609	9.726 4	649 688	84.639 3	592 964	82.247 3	576 206

植被的空间变化与城市扩展、热环境的演变具有密切联系。通过分析土地利用/覆盖变化情况可以看出,1987) 1994 年间植被覆盖未变化区域占绝大部分,而增加的植被覆盖面积略小于减少的植被覆盖面积,导致总体植被覆盖地表面积的减少,这与 1987) 1994 年间城市扩展建筑土地利用略有增加的统计结果是一致的。1994) 2000 年间植被覆盖发生了很大变化。植被覆盖区域的减少量远远大于植被覆盖的增加量,植被覆盖面积大量减少,在此期间减少的植被覆盖类型中,林地覆盖地表的减少是主要的植被覆盖减少类别,这与 1994) 2000 年间城市建筑土地利用大面积增加的统计结果也是一致的。由于前面分类别选取对植被面积变化的分析效果不是很好,这里我们通过土壤调节植被指数 SAVI 对植被变化进行定量分析,统计结果如表 3 所示。在第一个阶段 1987) 1994 年减少的面积为 4.481 6%,变化主要分布在城市周围的乡村、农田区域,而第二个阶段 1994) 2000 年植被的变化量为减少 20.429 0%,城市中心及周边地区植被覆盖都有大面积减少,而且市中心的减少量要高于周边地区。第三个阶段 2000) 2005 年研究区域的植被的减少面积为 28.404 3%,植被减少迅速,主要原因是社会经济发展迅速,大量的建筑用地和其它用地替代了原有的植被区域。主要表现为一些现代化建筑设施侵占大面积原有耕地农田所造成的,在第三阶段农用地面积是主要的建筑用地与非建筑用地类型转换区域,也是城镇化发展迅速的特点之一。

植被减少主要是由于城市扩展引起城市下垫面类型及植被覆盖区域范围的变化所引起的。伴随着

筑土地利用有了大幅增加。主要原因是城市发展较快,城市土地利用由市中心向周边地区呈辐射状扩展。2000) 2005 年间城市建筑用地的增长速度有所减慢,但总体还是有所增长,可以看出:(1) 随着社会经济的发展,城市中以建筑用地为主要类型的人造地表逐渐取代自然地表的趋势是确实存在的;(2) 有关部门加强对城市规划建设,在城镇建设扩张占用其它类型用地的同时,也逐步加强城市绿化植被建设,促进自然生态平衡。

徐州市城市化进程过程中城市热状况的转移和变化。城市扩展引起土地覆盖变化对植被指数(SAVI)与地表辐射温度(T_s)产生深远影响,植被覆盖稀疏地区地表辐射温度变化幅度比植被浓密地区要大。缺乏植被覆盖的城市地表,由于其构成材料主要是无蒸发蒸腾作用的物质,且城市下垫面导热率大,比热容高,地表辐射温度往往处于较高水平,如建筑较为密集的城市中心地带。

表 3 1987, 1994, 2000, 2005 年 SAVI 变化结果

时段	SAVI 差值	植被变化	面积变化/ km ²	比例变化/ %
1987) 1994 年	大于 0	增加	16.352 5	2.593 5
	小于 0	减少	28.257 4	4.481 6
	等于 0	未变化	584.910 3	92.924 9
1994) 2000 年	大于 0	增加	2.579 5	0.409 1
	小于 0	减少	128.809 0	20.429 0
	等于 0	未变化	499.131 1	79.161 8
2000) 2005 年	大于 0	增加	1.558 0	0.247 1
	小于 0	减少	179.094 8	28.404 3
	等于 0	未变化	450.866 7	71.348 5

对 1987, 2000 和 2005 年 3 个时相的地温状况在南北、东西方向上分别选取下垫面类型丰富代表性强的剖面,获取温度剖面图。N) S 温度剖面图, W) S 温度剖面图如图 1) 2 所示。

通过对 1987, 2000 和 2005 年 3 个时相的 N) S 温度剖面分析可以看出,在 N) S 方向上除了南方的温度异常区植被温度表现为高温区,低温区依然在北部的植被覆盖区域,植被温度略高于水体的温度,植被覆盖表现为低温。在 2000 年的 N) S 温度剖面图

上可以看出, 植被覆盖的区域表现为低温区, 建筑区表现为最高温, 水体依然为温度最低区域, 与 1987 年相比 2000 年的地表温度变化表现为正常状况。在 2005 年的地表温度剖面图上可以看出建筑区域温度为温度最高区, 植被覆盖区为低温区, 水体范围为最低温度区。综合 3 个时相 N) S 方向剖面图可以看出, 正常情况下, 植被覆盖区都为低温区, 建筑区为高温区, 比较 2000 年与 2005 年 N) S 方向温度剖面图

可以得出, 即使在植被覆盖的低温区植被覆盖面积的大小, 面积分散的程度等因素对温度地面温度值的分布有重要影响。同样为植被低温区, 2000 年的植被低温区要比 2005 年植被低温区温度低且温度起伏变化不大, 比 2005 年表现的平缓些。因此要降低建筑对地表温度的影响, 对于对地表温度有缓和作用的植被、水体等地表覆盖, 不但要增加覆盖面积更重要的还要加大其覆盖密度。

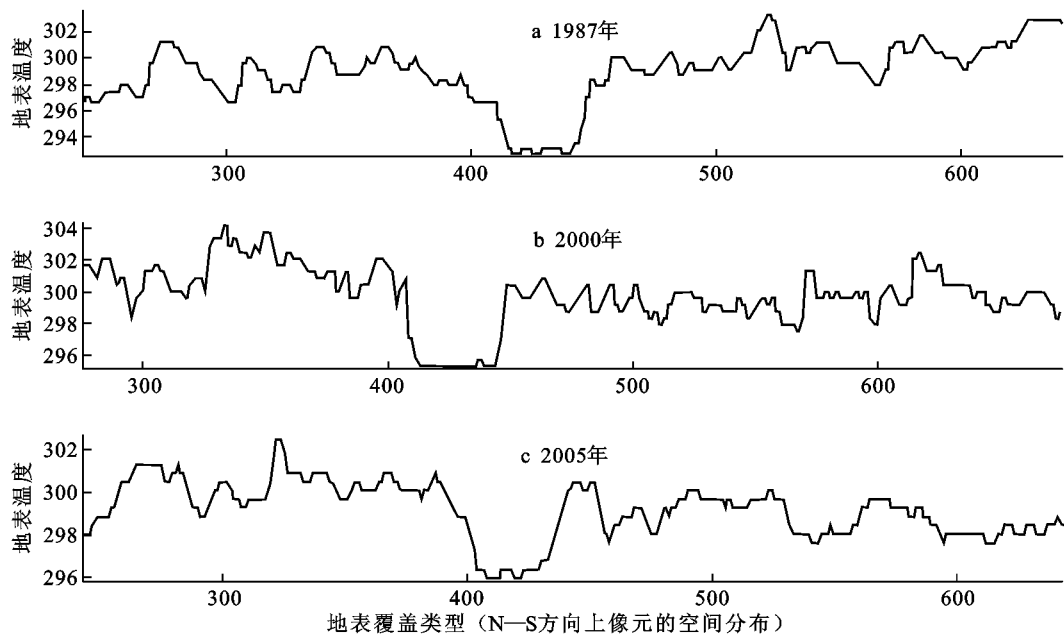


图 1 徐州市 1987, 2000 和 2005 年 N) S 剖面亮温图

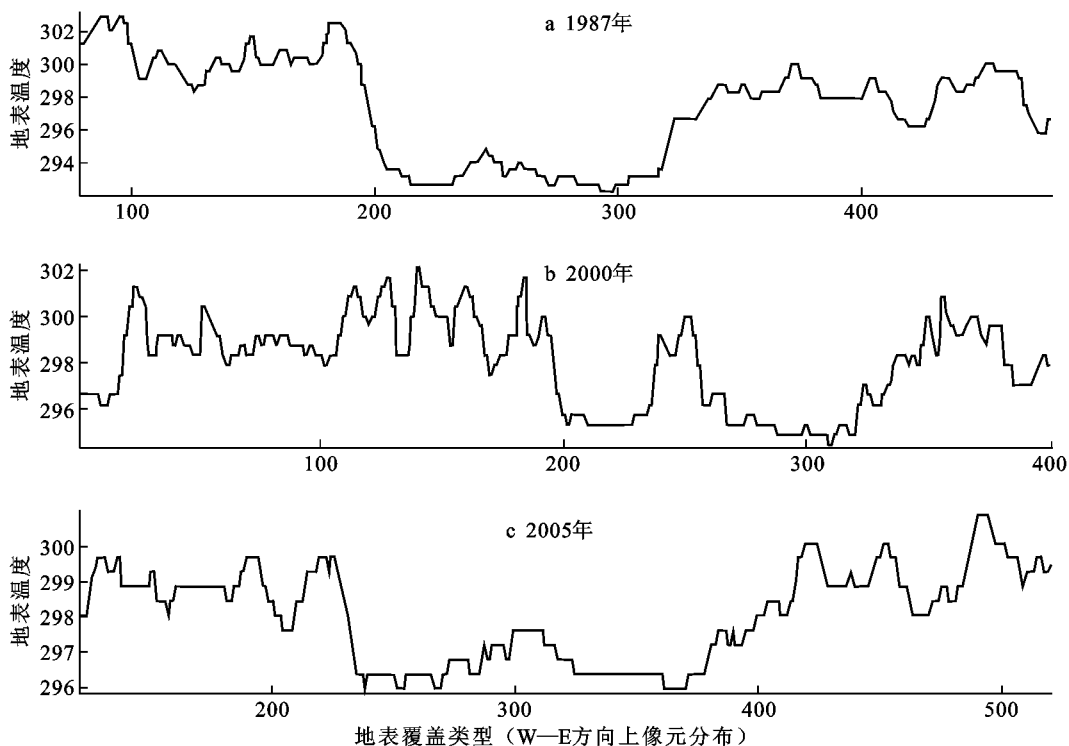


图 2 徐州市 1987, 2000 和 2005 年 W) E 剖面亮温图

同样通过对 3 个时相的地表温度做 W) E 方向的温度剖面图分析(图 2), 在 1987, 2000 和 2005 年的 W) E 方向的温度剖面图上, 经过区域的最南部和最北部多为农田等植被覆盖区, 植被对温度的影响随着植被覆盖面积的减少表现的更为明显。由于建筑面积增加, 大面积的植被覆盖区域被建筑面积所分割, 从 2005 年 W) E 和 N) S 方向的温度剖面图上都可以看出地表温度随着地表下垫面的不同而发生的变化, 剖面曲线呈现复杂变化, 且不同时相的不同下垫面的温度均值也都有明显的升高。

4 结论

(1) 利用 Landsat TM 数据结合决策树分类方法, 是获取土地利用/覆盖信息的有效方法。

通过计算地表辐射亮温来研究城市热环境变化是合适的。研究表明, 在 1987, 1994, 2005 年间的城市化进程中, 徐州市区人工建筑面积大幅度增加, 植被覆盖面积不断减少, 对徐州市的热环境造成了显著影响, 导致热岛逐渐趋于市中心, 且热岛面积逐年扩大。1987) 2005 年城市土地利用/覆盖变化显著, 建筑用地显著增加, 农用地、林地等植被覆盖区域面积显著减少, 不同类别的城市用地在空间扩展上表现出非均等性。随着建筑用地比例的升高, 峰值地表温度也显著升高且 2005 年温度升高幅度较大。

(2) 土地利用/覆盖对环境关系的直接影响可能导致对其它因子的间接影响。地表温度的增加与徐州市城市扩展的类型密切相关。城市土地利用/覆盖类型变化和城市用地的扩展和耕地的减少是最为主要的因子。

(3) 地表亮温并不能完全反应城市热岛的确切分布, 地表亮温还受热源分布、空气湿度、气候因素的影响, 因此造成实际温度分布与理论上的差异, 如 1987 年的温度最高区并未完全集中于市城区。

本研究只是对城市扩展和城市热环境之间的关系做了粗略的研究, 但已表明城市扩展和热环境之间有着密切的关系, 后续工作将进一步探讨城市扩展与热环境及其它环境破坏因子之间的关系, 并综合利用多源、多时相、高时间空间分辨率遥感数据和非遥感数据, 探索如何通过采取相关措施使城市化进程对城市热环境造成的影响降低到最低程度。

[参 考 文 献]

[1] 王丽萍. 基于多传感器信息融合技术的火灾探测系统研究[D]. 长沙: 湖南大学硕士论文, 2006.

- [2] 黄荣峰, 徐涵秋. 利用 Landsat ETM⁺ 影像研究土地利用/覆盖与城市热环境的关系: 以福州市为例[J]. 遥感信息, 2005(5): 36239.
- [3] 张兆明, 何国金. 北京市 TM 图像城市扩张与热环境演变分析[J]. 地球信息科学, 2007, 9(5): 8288.
- [4] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华. 基于遥感影像的城市土地利用生态环境效应研究: 以城市热环境和植被指数为例[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 14521460.
- [5] Pu R, Gong P, Michishita R, et al. Assessment of multi-resolution and multi-sensor data for urban surface temperature retrieval[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 104(2): 2112225.
- [6] Julien Y, Sobrino J A, Verhoef W. Changes in land surface temperatures and NDVI values over Europe between 1982 and 1999[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 103(1): 4255.
- [7] 徐州市规划局. 规化信息[OL]. [2007209227]. <http://www.xzgh.net>.
- [8] 潘琛, 杜培军, 张海荣. 决策树分类法及其在遥感图像处理中的应用[J]. 测绘科学, 2008(1): 208) 211.
- [9] 徐涵秋. 基于影像的 Landsat TM / ETM⁺ 数据正规化技术[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2007, 32(1): 6266.
- [10] Chen X L, Zhao H M, Li P X, et al. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 104: 1332146.
- [11] 徐涵秋. 基于压缩数据维的城市建筑用地遥感信息提取[J]. 中国图形图像学报, 2005, 10(2): 223229.
- [12] Chehbouni A, Lo S D, Njoku E G, et al. Examination of the difference between radiative and aerodynamic surface temperatures over sparsely vegetated surfaces[J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 58(2): 172186.
- [13] Vander Merr F. Spectral mixture modeling and spectral stratigraphy in carbonate lithofacies mapping[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1996, 51(3): 152162.
- [14] 查勇, 倪绍祥, 杨山. 一种利用 TM 图像自动提取城镇用地信息的有效方法[J]. 遥感学报, 2003, 7(1): 37240.
- [15] Huete A R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI)[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 25(3): 292309.
- [16] 胡德勇, 李京, 陈云浩, 等. 基于多时相 Landsat 数据的城市扩张及其驱动力分析[J]. 国土资源遥感, 2006(4): 46249.
- [17] 徐州市发展和改革委员会. 徐州市国民经济第十一个五年规划纲要[OL]. [2007203224]. <http://jw.xz.gov.cn>.