

北京市城市热岛与土地利用/覆盖变化的关系研究

官阿都 陈云浩 李京 胡华浪

(北京师范大学资源学院, 北京 100875) (北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘要 本文以北京市为例,在遥感和GIS技术的支持下,以TM热红外遥感影像定量反演的城市地表温度为为基础,分析了城市热岛效应与城市土地利用/覆盖变化的关系,以期为缓解城市热岛效应提供科学依据。

关键词 城市热岛效应 城市土地利用/覆盖 归一化植被指数(NDVI) 北京

中图分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)08-1476-07

Study on Relationship between Urban Heat Island and Urban Land Use and Cover Change in Beijing

GONG A-du, CHEN Yun-hao, LI Jing, HU Hua-lang

(College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875)

(State Key Laboratory of Earth Surface Process and Resource Science and Technology, The Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract In this paper, taking advantages of RS and GIS technology, we firstly retrieved the urban surface temperature (LST) in Beijing from Landsat TM thermal-infrared data using the single-window algorithm. Then we analyzed the relationship between Urban Heat Island(UHI) effect and Urban Land Use and Land Cover Change(LUCC) character. This work provides some scientific basis for the reduction of UHI effect in Beijing.

Keywords urban heat island effect, urban land use and land cover change, normalized difference vegetation index (NDVI), Beijing

1 引言

长期以来城市热环境问题都是一个倍受关注的热点。城市热岛现象的出现,一方面是自然条件的原因,比如城市地形地貌特点和气候特点使城市上空热量聚集,或因为山体阻隔,散热不易,容易造成热岛效应;但另一方面,更重要的原因还在于人为原因,比如城市大规模建设、扩张改变了城市原有的自然下垫面性质,或者城市大量的工业生产和居住生活、商业交通等活动长期、快速地排放出大量的人为热,从而造成城市长期处于热量充裕状态,与郊区接

近自然的生产生活形态形成鲜明的对比,城市热岛效应凸现。

城市热岛效应的产生、发展就是随着城市的发展而凸现的,热岛现象与城市土地利用/覆盖变化相伴而生,密不可分,而且随着城市经济社会的发展和人口、规模的急剧膨胀,人为作用的影响越来越大。

以北京市为例,在遥感和GIS技术的支持下,采用单窗算法对TM热红外遥感影像进行定量反演,求算了北京市城市地表真实温度,得到了北京地区城市地面温度的空间分布^[1],在此基础上分析了北京市城市热岛效应与城市土地利用/覆盖的关系。

基金项目:国家自然科学基金项目(40671130);测绘遥感信息工程国家重点实验室开放研究基金项目(WKL(06)0103);国土资源部土地利用重点实验室开放基金项目(07-04)

收稿日期:2007-03-28;改回日期:2007-05-11

第一作者简介:官阿都(1976-),男,讲师。2005年于北京师范大学获地图学与地理信息系统专业博士学位。主要研究方向为城市热环境遥感。E-mail: gad@ires.cn

2 地表温度与 NDVI 的关系研究

大多数情况下,植被覆盖度与 NDVI(normalized difference vegetation index)具有正相关关系,另外,NDVI 也在一定程度上代表了土地利用/覆盖的变化情况,可以认为探讨 NDVI 与地表温度的关系,在一定程度上既代表了植被覆盖度与地表温度的关系,也间接探讨了土地利用/覆盖变化与地表温度的关系。

采用 NDVI 代替植被覆盖度,分析其与城市地表温度的关系。研究发现,NDVI 与地表温度之间存在较大的负相关关系。

城市地表温度与 NDVI 的关系如图 1 所示。

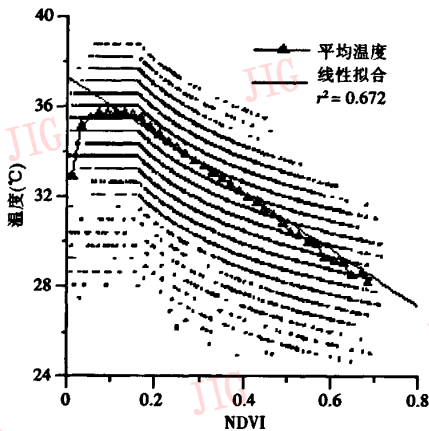


图1 北京城区地表温度与 NDVI 散点分布图

Fig.1 The land surface temperature and NDVI scatter diagram in urban area of Beijing

从图中可以看出总体上地表温度随着 NDVI 的增加而下降。当 $NDVI < 0.161$ 时,地表温度与 NDVI 的相关系数为 0.009,说明当 $NDVI < 0.161$ 时,地表温度与 NDVI 基本上不存在相关关系,这是因为 $NDVI < 0.161$ 对应的是裸地像元,NDVI 的大小并不指示像元内的植被数量,而是地表 NDVI 本底值。但这些像元的地表温度最高,平均 35.7°C 。对相同 NDVI 对应的地表温度取平均值得到平均地表温度随 NDVI 变化曲线(图 1)。从图中可知当 $NDVI > 0.161$ 时,地表温度随 NDVI 的增加直线下降,从 35.5°C 下降到 28.2°C ,这说明地表植被的数量在一定程度上决定地表平均温度。NDVI 为 0.02 时地表平均温度为 32.9°C ,低于裸地平均温度,在

遥感图像上这些像元是水体与陆地的混合像元,所以 NDVI 值小,地表平均温度偏低。对图中所有的点进行线性回归分析,得到回归方程:

$$T_s = 37.26 - 12.66NDVI \quad (1)$$

NDVI 与地表温度 T_s 的相关系数 r 为 -0.820 ,两者负相关,决定系数 r^2 为 0.672,剩余标准差 RMSD 为 1.057。这说明城市地表温度与 NDVI 具有明显的相关关系,NDVI 每升高 0.1,平均地表温度则降低 1.27°C ,可见城市地表植被覆盖度低是城市热岛出现的主要原因。

在像元尺度上 ($120\text{m} \times 120\text{m}$),大部分城市地表是植被与裸地的混合像元,混合像元的温度是像元内植被与裸地在一定意义上的平均温度,像元内植被越多则平均温度越低。NDVI 能够指示像元内植被的数量,所以 NDVI 与地表温度呈负相关关系。很多文献都指出了这种相关性^[2-5]。Weng 利用 ETM+ 数据研究了城市地表温度与植被丰度之间的关系,发现在 $120\text{m} \times 120\text{m}$ 分辨率上居民区地表温度与 NDVI 的相关系数为 -0.6845 ,并指出地表温度与植被覆盖度之间的相关关系还要略高一点^[6]。

3 地表温度与土地利用/覆盖类型的关系

在城市化过程中,城市扩展通常引起城市区域地表的剧烈变化,城市人口和经济高速增长,土地利用/覆盖类型逐渐从乡村用地转变为城市用地,并且这个过程不可逆,原本自然的植被、土壤表面逐步被不透水、不透气的水泥、砖瓦、沥青、建筑等所取代,城市下垫面的热辐射性质发生了很大的变化,这也不可避免地导致城市与郊区的太阳辐射分布出现巨大差异,从而造成城乡之间的地表温度出现较大差异,因此,土地利用/覆盖类型与地表温度之间存在一定的定量关系,借助于遥感和 GIS 技术的空间分析功能可以探讨两者的关系。

为了进一步研究不同地表覆盖类型与城市热岛之间的关系,在 ArcGIS 软件的支持下,分别把 1997 年、2001 年和 2004 年的研究区土地覆盖类型图与地表真实温度图进行叠加处理(overlay),得到北京市研究区内不同土地覆盖类型的地面真实温度平均值及其在不同年份间的变化,结果如表 1 所示。

从表中可以看出,3 个时期的影像中,城镇用地的地表真实温度的平均值都比较高。但并非总是

表 1 北京地区各土地覆盖类型的地表温度平均值和标准差(1997~2004年)

Tab. 1 The value of average land surface temperature and standard variance for different land cover type in urban area of Beijing

类型	1997年		2001年		2004年	
	平均值	标准差	平均值	标准差	平均值	标准差
耕地	27.11	1.78	37.92	3.84	33.00	2.18
休耕地	29.78	1.23	43.37	3.12	35.53	2.42
林地	27.85	1.38	36.62	2.48	33.94	2.45
草地	29.94	0.96	37.01	2.76	35.42	2.92
城镇	30.42	0.86	41.04	2.12	38.55	2.75
水体	26.07	1.88	33.65	4.58	28.25	3.51
其他	31.17	1.67	44.13	2.38	34.49	2.25

最高。按平均温度由高到低的顺序排列,1997年的次序是其他类型用地、城镇、草地、休耕地、林地、耕地、水体;2001年的次序是其他类型用地、休耕地、城镇、耕地、草地、林地、水体;2004年的次序是城镇、休耕地、草地、其他类型用地、林地、耕地、水体。3个时期各个土地覆盖类型的温度排序并不一致,总体上,城镇和其他类型用地基本是平均温度最高的两类,而水体的温度则始终排在最低。城镇用地的平均温度很高,主要是因为城区建筑高大密集,不利于空气流通,同时砖瓦水泥等建筑材料的热容量和热惯量小,但热传导率和热扩散率大,在接收太阳的辐射后很快向周围的大气中扩散,导致周围温度比有植被覆盖的地区要高。城镇用地的温度标准差在1997年(0.8583)和2001年(2.1156)都是当年所有用地类型中温度标准差最小的,分析认为城区内部地表(绿地、水体除外)由于地表干燥、蒸散作用弱,因而相对温度变化小,而其他类型用地(主要为沙地及在建工地等)的温度高则由于裸地的特点,温度特别容易上升。水体由于热容量大,热传导率小,温度上升得特别缓慢,因而温度总是最低。草地的平均温度基本是有植被覆盖类型当中温度最高的类别,这说明草地对城市热岛的降温作用并不明显,而林地、水体则相对更能影响城市热岛的温度变化。

另外,城市热岛研究的重点在于城区。因此,为了重点研究城区内不同地表覆盖类型的地面温度差异,仍以上面的城区样区为例,在样区中提取出裸地(代表无植被覆盖地表类型)、植被和水体的温度,因为三环内是典型的城市地表,具有代表性。裸地

和植被是根据NDVI来提取。NDVI < 0.157的地表在图像上对应为纯裸地像元,假设NDVI > 0.5的像元对应的是植被像元,植被像元在样区中占3.1%。纯水体像元可以根据TM第5波段(1.55~1.75 μm)影像灰度值(digital number, DN)值来提取,该波段在水的吸收带(1.4~1.9 μm)内,对地表水分含量敏感。在样区内纯水体像元的TM第5波段DN值都为0,根据这个条件可以很好地提取出纯水体像元,这部分像元在样区中占0.96%。这3种典型的纯像元温度频率分布如图2所示。

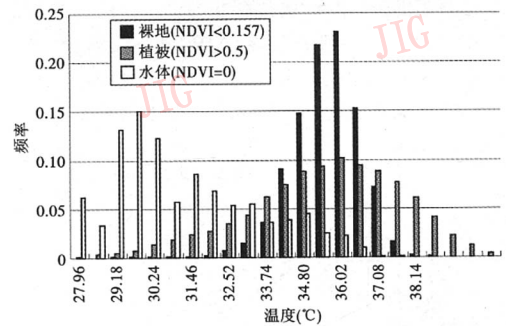


图 2 北京市三环内不同下垫面温度对比

Fig. 2 Comparison of temperature among different types of underlying surfaces inside the 3rd ring road of Beijing

由于这3种类型的像元总数差别大,这里用相对频率进行比较。从图中可以看出裸地的温度最高,大部分集中在33.7~37.5 $^{\circ}\text{C}$ 之间,平均温度为35.3 $^{\circ}\text{C}$,温度分布最集中;植被像元的温度比较低,主要分布在26.8~36.5 $^{\circ}\text{C}$ 之间,平均温度是29.9 $^{\circ}\text{C}$;水体像元的温度最低,平均26.5 $^{\circ}\text{C}$,但变化范围大,主要在23.4~29.9 $^{\circ}\text{C}$ 之间。从平均温度来看,裸地比植被地表温度高出5.4 $^{\circ}\text{C}$,比水体高出8.8 $^{\circ}\text{C}$,这说明地表温度与地表覆盖类型关系密切。

4 城市热岛空间变化与土地利用/覆盖的关系研究

4.1 不同土地覆盖类型在各温度等级中的数量分布特征

要研究城市热岛布局与土地利用/覆盖类型的关系,一个重要的方法就是通过计算不同土地覆盖类型的数量面积在不同的温度等级范围内所占的比例,来衡量不同的土地覆盖类型对城市热岛效应的

贡献大小。

表2列出了2004年各温度等级中不同覆盖类型的面积比例。从表中可以看出,在高温区,城镇用

地的面积比例占有绝对的优势,随着温度等级的降低,城镇用地所占比例明显减少,而水域、绿地、农田等的比重逐渐增加。

表2 2004年各温度等级中不同土地覆盖类型的面积比例

Tab. 2 The ratio of different land cover area in different temperature classes in 2004

覆盖类型	温度等级						
	低温区	亚低温区	弱低温区	中温区	弱高温区	亚高温区	高温区
耕地	14.75	44.18	42.34	25.15	1.96	0.09	0.00
休耕地	0.18	1.82	4.28	5.96	3.51	1.22	0.21
林地	5.20	16.64	25.42	15.89	5.82	0.62	0.00
草地	1.93	4.59	5.60	5.67	4.58	1.44	0.75
城镇	3.18	8.13	11.84	38.90	81.12	96.35	99.04
水体	72.57	20.86	3.05	0.50	0.09	0.02	0.00
其他	2.18	3.77	7.48	7.93	2.91	0.26	0.00

在表2中,将每一个温度等级中比例最高的两种覆盖类型和比例最低的一种覆盖类型进行比较。可以发现:

(1) 水体在城市地表温度等级的低温区占据了大部分的份额,达到了72.57%,占据第1位,而在亚低温区的比例也达到了20.86%,占据第2位,两个温区相加的比例达到了93.43%,平均46.72%,而在高温区、亚高温区、弱高温区、中温区和弱低温区的比例都是最低,平均比例仅为0.73%,这说明水体可以显著降低地表温度,对于缓解城市热岛效应、维护城市温度稳定有巨大而独特的作用。这也就如同湿地对于生态系统平衡和稳定的重要性一样,城市水体营造了良好的城市局地小气候,对于城市而言是非常重要的。

(2) 另一个值得关注的是草地和林地的不同作用。分析发现,草地在各个温度等级中的分布比例比较均衡,尤其在两个极端(低温区、高温区),其比例都低于2%,说明草地对于降低城市热岛效应并无多大的益处,而与此对应的林地,其在高温区和亚高温区的比例之和仅为0.62%,而在低温区、亚低温区和弱低温区的比例之和却达到47.26%,说明林地在降低地表温度方面也有着很重要的作用,加上林地在城市中所起的吸尘降尘、防风固土、美化绿化等作用,可以认为林地在维护城市环境稳定中的综合作用非常大。而比较林地与草地可见,大规模种草并不一定能改善城市环境,联想到当前各地城市在城市建设改造中追求大广场、大草坪等做法,这

些举动的实际效果值得商榷。

(3) 对于耕地,从表2中可见,其在高温区和亚高温区中的比例之和仅为0.09%,而在低温区、亚低温区、弱低温区和中温区的比例之和达到126.42%,平均每个等级的比例为31.61%,达到较高的比例,这说明耕地对于缓解城市热岛效应也有很重要的作用。分析认为,由于时处夏季,5月时耕地上的作物生长较好,植被覆盖度高,因此降低了地表裸露面积,使地表温度显著下降。

(4) 同样值得注意的是城镇用地的独特作用。从表中可见,城镇在高温区、亚高温区、弱高温区和中温区的比例都占据第一位,各比例之和为315.41%,平均比例78.85%,尤其在高温区和亚高温区的平均比例为97.70%,占据了绝对的主导地位,这充分说明城镇建设对城市热岛的巨大贡献,北京市的最高温度等级主要分布在市区,这也说明了在城市中尤其是像北京这样的大城市中热岛效应确实存在。

4.2 地表温度等级演变与土地覆盖类型的关系研究

将1997~2004年北京城区的地表温度等级图在ERDAS软件下进行变化检测分析,根据3年的土地覆盖类型变化情况,划分出3个增温区:一级增温区(增温幅度5~6℃)、二级增温区(增温幅度3~4℃)、三级增温区(增温幅度1~2℃),3个降温区:一级降温区(降温幅度>4℃)、二级降温区(降温幅度2~4℃)、三级降温区(降温幅度1~2℃),以及恒温区,如图3、图4、图5所示。

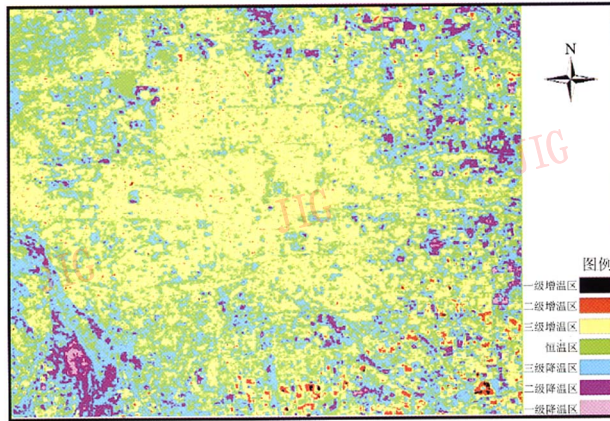


图 3 1997~2001 年北京城市地表温度演变图

Fig.3 The land surface temperature evolution in urban area of Beijing from 1997 to 2001

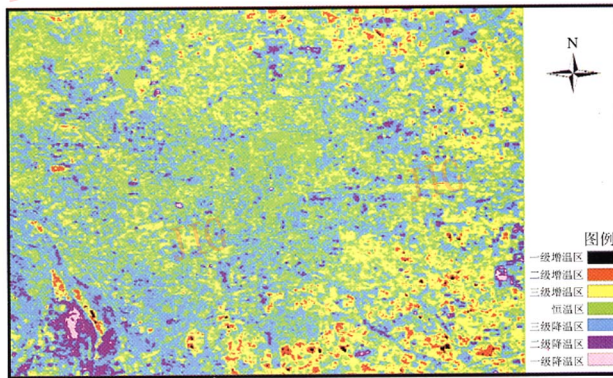


图 4 2001~2004 年北京城市地表温度演变图

Fig.4 The land surface temperature evolution in urban area of Beijing from 2001 to 2004

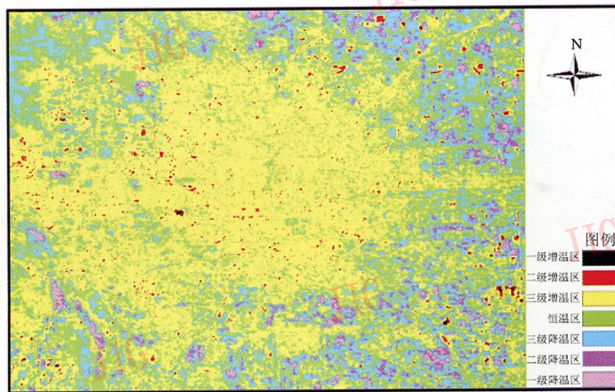


图 5 1997~2004 年北京城市地表温度演变图

Fig.5 The land surface temperature evolution in urban area of Beijing from 1997 to 2004

4.3 北京市四环、五环路沿线地表温度及土地覆盖类型的缓冲分析

根据北京市的城市发展特点,选择四环路和五环路环线两侧分别进行半径 1km 的缓冲区分析,统计出缓冲区内 1997 年、2001 年、2004 年的各温度等级面积和土地利用类型面积所占百分比(表 3、表 4)。

表 3 北京市四环、五环路环线各温度等级的面积百分比(1997~2004 年)

Tab.3 The ratio of area of different temperature classes along the 4th and 5th ring road of Beijing(1997~2004)

类型	四环路环线			五环路环线		
	1997 年	2001 年	2004 年	1997 年	2001 年	2004 年
低温区	0.47	0.30	0.26	4.79	3.65	0.83
亚低温区	1.45	0.85	1.13	10.21	4.79	3.09
弱低温区	2.24	5.20	7.05	11.07	11.18	18.23
中温区	15.59	35.69	19.94	19.04	24.20	32.96
弱高温区	27.76	38.55	32.74	26.61	33.36	27.14
亚高温区	45.18	18.25	29.24	22.59	18.58	13.13
高温区	7.31	1.17	9.64	5.69	4.25	4.62

从表 3、表 4 和图 6 中可以看出,四环路、五环路环线两侧 1km 的缓冲区内低温区面积所占比例,从 1997 年到 2004 年是逐渐降低的;在四环路缓

表 4 北京市四环、五环路环线各土地覆盖类型的面积百分比(1997~2004 年)

Tab.4 The ratio of different land cover area along the 4th and 5th ring road of Beijing(1997~2004)

类型	四环路环线			五环路环线		
	1997 年	2001 年	2004 年	1997 年	2001 年	2004 年
耕地	11.17	7.94	6.05	29.96	27.81	24.26
休耕地	1.86	3.80	1.75	8.00	6.88	3.07
林地	6.92	4.45	5.52	13.16	10.87	9.05
草地	1.30	3.87	5.04	3.71	6.78	8.48
城镇	76.44	78.72	80.34	35.65	40.12	48.22
水体	2.75	1.16	0.84	5.64	3.03	1.45
其他用地	0.48	0.08	0.47	3.89	4.51	5.47

冲区,亚低温区的面积从 1997 至 2001 至 2004 年,呈现先降后升的趋势,而在五环路缓冲区则是持续下降。弱低温区的面积比例则基本呈缓慢增加的趋势。中温区以上等级的温区面积变化规律不明显,有升有降,不同等级之间也存在相互转化的现象。但是总体上高温区和亚高温区的面积所占比例有所降低,而弱高温区和中温区的面积所占比例则有所上升。这可能同近年来北京新建城区注重绿化有关。同期的土地利用类型中,耕地和水体面积比例,无论是四环路还是五环路的缓冲区范围内,都呈现

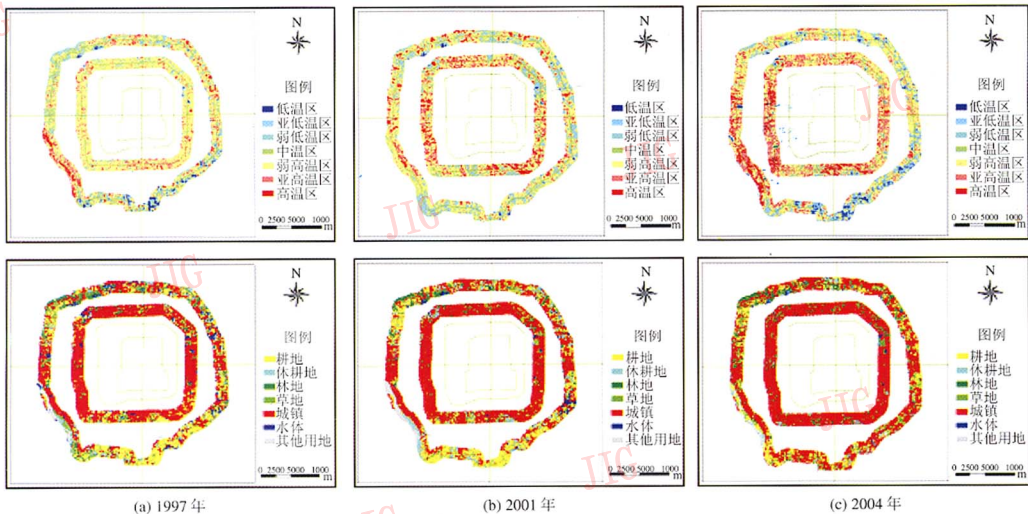


图 6 1997~2004 年北京市区四五环路沿线地表温度等级与土地覆盖类型分布图

Fig.6 The distribution map of land surface temperature classes and land cover type along the 4th and 5th ring roads in urban area of Beijing from 1997 to 2004

明显的减少趋势,这同四、五环路缓冲区的低温区和五环区的亚低温区的趋势是一致的,而城镇用地所占比例则呈现明显的增加趋势。林地的比例在四环路缓冲区有所起伏,先降后升,这恰好同四环路二级温区的变化一致;而五环路缓冲区内的比例则呈现减少的趋势。草地的面积比例则基本上是上升趋势。这证实了城市热岛的扩展同城市发展有着密切的关系,也进一步验证了水体、耕地和林地对减缓城市热岛效应有着明显的效果。

5 结 论

(1) NDVI 能够指示像元内植被的数量。研究发现:当 $NDVI \geq 0.161$ 时,城市地表温度与 NDVI 具有明显的负相关关系,总体上地表温度随着 NDVI 的增加而下降,NDVI 每升高 0.1,平均地表温度则降低 1.27°C ,可见城市地表植被覆盖度低是城市热岛出现的主要原因之一。

(2) 通过对 1997~2004 年北京市各种土地覆盖类型在城市各温度等级中的比例排序来看,城镇用地和其他用地类型是总体平均温度最高的两类,而水体的温度则始终排在最低,表明城市水体、林地和耕地对减缓城市热岛效应有较明显的效果。

(3) 分析表明:北京市城市热岛效应与城市土

地利用/覆盖类型及其空间分布具有密切的关系。随着城市经济社会的发展和人口、规模的急剧膨胀,人为作用的影响越来越大。

参考文献 (References)

- 1 Gong A-du, Li Jing, Wang Xiao-di, et al. Study on temporal and spatial distribution characteristics of the urban heat island in Beijing [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2005, 21(6): 15~18. [宫阿都, 李京, 王晓迪等. 北京城市热岛环境时空变化规律研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2005, 21(6): 15~18.]
- 2 Kawashima. Relations between surface temperature and air temperature on a local scale during winter night [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2000, 39: 1570~1579.
- 3 Lee H. An application of NOAA AVHRR thermal data to the study of urban heat islands [J]. *Atmospheric Environment*, 1993, 27b: 1~13.
- 4 Lo C P, Quattrochi D A, Luvall J C. Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18(2): 287~304.
- 5 Matson M E P, McClain D F, McGinnis. Satellite detection of urban heat islands [J]. *Monthly Weather Review*, 1978, 106(12): 1725~1734.
- 6 Weng Qi-hao. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in Zhujiang delta, China [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(10): 1999~2014.