

基于 RS 与 GIS 的北京市热岛研究

张兆明^{1,2}, 何国金¹, 肖荣波³, 王 威¹, 欧阳志云³

(1. 中国科学院 中国遥感卫星地面站重点实验室, 北京 100086; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3. 中国科学院 生态环境研究中心系统生态重点实验室, 北京 100085)

摘要: 基于普适性单通道算法, 利用 2005 年 5 月 6 日的 TM 数据反演北京市区的实际地表温度。在此基础上, 分析了北京市区的热环境特征、热岛分布的位置。运用 GIS 空间分析工具, 分析了地表温度与地形特征和地表覆盖类型之间的关系。结果表明, 北京市热岛分布具有环状和带状分布特征, 高程较低处和坡度较小处更容易形成热岛中心, 不同地表覆盖类型的热特征具有显著的差异。

关键词: 城市热岛; 北京; 普适性单通道算法; TM

中图分类号: X16 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672 6561(2007)01 0107 04

Study of Urban Heat Island of Beijing City Based on RS and GIS

ZHANG Zhao ming^{1,2}, HE Guo jin¹, XIAO Rong bo³, WANG Wei¹, OU YANG Zhi yun³

(1. Key Laboratory of China Remote Sensing Satellite Ground Station, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100086, China; 2. School of Graduate, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Key Laboratory of System Ecology Research Center for Eco Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract Land surface temperature of Beijing city was retrieved based on the TM imagery data acquired on May 6th 2005 with the generalized single channel algorithm. The characteristics of the thermal environment and the distribution of the urban heat island of Beijing city were addressed. The relationships between topographic factors, various land cover types and the land surface temperature were analyzed using GIS spatial analysis tools. The results show that the urban heat island area of Beijing city is strip shaped and ring shaped. Lower elevation and smaller slope are favorable to form the urban heat island, and the various land cover types have dramatically different thermal properties.

Key words: urban heat island; Beijing; generalized single channel algorithm; TM

0 引言

城市热岛(UHI)现象是指城市气温高于郊区的现象。1818 年 Lake Howard 首先发现伦敦城市中心的气温比郊区高, 并提出了“城市热岛”的概念, 此后各国学者针对这一问题展开研究。

城市热岛形成主要和下垫面类型改变有关。城区地表多为建筑物, 道路和其他不透水表面, 能吸收更多的太阳辐射, 热容量和热传导率也较大。

由于地表热学性质的差异, 再加上城市建筑、交通和工业排放的热量等促成了热岛的形成。

根据测量温度方法的不同, 城市热岛可分为城市冠层热岛(UCL)和城市边界层热岛(UBL)^[1]。城市冠层热岛发生在地面到建筑物屋顶, 可以采用表面温度来研究。城市边界层热岛发生在建筑物顶层到边界层顶, 一般用城郊气象站的气温数据进行研究。

城市热岛起初只是比较城郊气温的差异, 后来

收稿日期: 2006 04 26

基金项目: 国家自然科学基金项目(60272032)

作者简介: 张兆明(1980), 男, 河南郑州人, 硕士研究生, 从事遥感图像与信息处理研究。E-mail: zming_1980@163.com

发展为利用移动样带的方法测定热岛水平空间分布,垂直布点测定热岛立体空间分布。遥感技术以其较高的空间分辨率,并且能够对地表进行周期性重复监测,逐渐在城市生态环境研究中得到了应用^[2],由此推动了城市热岛研究。

目前基于卫星遥感对城市热岛的研究基本可归为 3 种:研究城市热环境的空间结构以及与城市地表特征的关系;结合城市气候模型研究城市地表能量平衡;通过遥感探测和地表观测相结合研究空气热岛和地表热岛的关系^[3]。

Landsat5 发射于 1984 年 3 月 1 日,星上携带专题制图仪(TM)。TM 共有 7 个波段,其中 1~5 和 7 波段为多光谱波段,空间分辨率为 30 m,6 波段为热红外波段,空间分辨率为 120 m。与 NOAA /AVHRR 相比, TM6 的空间分辨率大大提高,能够更细致地刻画地表热场结构,因而被应用于城市热岛研究。但是由于 TM 只有一个热通道,不能运用劈窗算法反演实际地表温度,而运用辐射传输方程则需要与卫星过境同步的实时资料,而这些资料又很难获得。因此,在以往的城市热岛研究中用 TM6 数据得到的通常都是星上亮度温度。由于大气辐射和地表热特性的影响,星上亮度温度与实际地表温度有较大差距,这就使 TM 数据在城市热岛研究中的应用受到限制。近年来提出的普适性单通道算法为从 TM 数据反演地表真实温度提供了可能。笔者运用该算法和 2005 年 5 月 6 日的 TM 数据反演了北京市的实际地表温度,分析了热环境的空间分布特征,并探讨了热岛分布的影响因素。

1 地表温度反演

1.1 普适性单通道算法

普适性单通道算法^[4]是 Jiménez Muñoz 和 Sorbrino 在 2003 年针对只有一个热通道的传感器提出的。该方法与其他单通道方法相比,优点是不需要实时资料。同劈窗算法相比,它的优点是适用于不同的传感器。对 TM6 而言反演过程为

$$T_s = \gamma \epsilon^{-1} (\psi L_{\text{sensor}} + \psi) + \psi] + \delta \tag{1}$$

$$\gamma = \left[\frac{c_2 L_{\text{sensor}}}{T_{\text{sensor}}^2} \left(\frac{\lambda^4}{c_1} L_{\text{sensor}} + \lambda^{-1} \right) \right]^{-1} \tag{2}$$

$$\delta = -\gamma L_{\text{sensor}} + T_{\text{sensor}} \tag{3}$$

式中: T_s 为陆地表面温度; L_{sensor} 是星上辐射值; T_{sensor} 是星上亮度温度; λ 是有效波长(TM6 的有效波长为 11.457 μm); ϵ 是地表比辐射率; $c_1 =$

1.191 04 $\times 10^8$; $c_2 = 14\,387.7$ 。 L_{sensor} 和 T_{sensor} 相关计算见文献[5]。

$\psi \sim \Psi$ 是大气函数,对 TM 6 而言,可以由大气水蒸汽含量(w)根据下列方程计算得到

$$\psi = 0.147\,14w^2 - 0.155\,83w + 1.123\,4 \tag{4}$$

$$\psi = -1.183\,6w^2 - 0.376\,07w + 0.528\,94 \tag{5}$$

$$\psi = -0.045\,54w^2 + 1.871\,9w - 0.390\,71 \tag{6}$$

1.1.1 大气水蒸汽含量计算

普适性单通道算法需要大气水蒸汽含量数据,获得实时的大气水蒸汽含量数据较为困难,一般是通过标准大气数据或者通过气象数据来近似得到,得到的大气水蒸汽含量的精度不高。为了提高大气水蒸汽含量计算精度,提高地表温度计算精度,笔者利用 MODIS 数据计算大气水蒸汽含量为^[6]

$$T_w = \rho(0.94)/\rho(0.865) \tag{7}$$

$$w = \left[\frac{0.02 - \ln T_w}{0.651} \right]^2 \tag{8}$$

式中: $\rho(0.94)$ 和 $\rho(0.865)$ 分别代表 MODIS 第 19 波段和第 2 波段的反射率; w 代表大气水蒸汽含量。空间分辨率为 1 000 m,为了便于和 TM 数据匹配,将其重采样为 30 m。为满足 MODIS 和 TM 数据获取的同步性,选用和 TM 数据过境时间接近的 EOS/TERRA MODIS 数据。

1.1.2 比辐射率计算

比辐射率是普适性单通道算法的一个重要参数。笔者先对研究区域进行分类,然后基于 NDVI 来计算比辐射率。为了提高 NDVI 的计算精度,这里对 TM 3 和 TM 4 进行了基于图像数据的大气校正,具体计算流程参见文献[7 8]。

1.2 反演结果分析

根据温度的相对高低将反演结果分为 5 个等级。

通过热状况分布图(图 1),可以看出整体上温度从市中心向周围郊区逐级降低,呈近似环状分布。市中心基本处于温度最高区和温度较高区,这与北京市的环状城市结构相吻合。东西向中心线是一条热岛带。水体和植被覆盖好的地区与温度最低区和温度较低区相对应,对面积较大的水体和植被区来说,中心温度最低,从中心向外围温度逐渐升高。由于河流的影响,在有些地方呈现出明显的随河流形状延伸的线状低温区。有些道路也呈现出明显的降温作用。建筑密集的地区温度普遍很高,首钢工业区因热量排放大,成为一个高温中心。

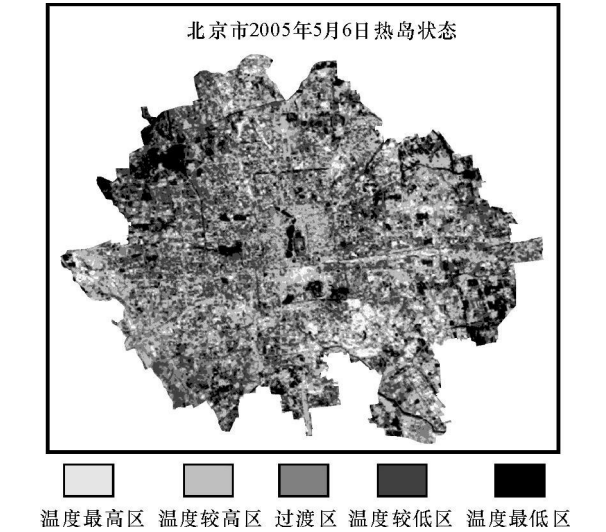


图 1 热状况分布图

Fig. 1 Distribution Map of Thermal Condition

2 热岛影响因素分析

2.1 温度与植被的关系

表征植被覆盖状况的参数很多, NDVI 是其中常用的一种。NDVI 又称为归一化差值植被指数, 根据绿色植被的光谱特征曲线可知, 绿色植被在可见光的蓝红波段有 2 个吸收谷, 在近红外波段有 1 个反射峰。NDVI 是根据这个特征设计的, 用以表征植被的覆盖状况, NDVI 越大, 植被覆盖程度越高。

基于 TM 数据的 NDVI 计算式为

$$V_{NDVI} = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \tag{9}$$

式中: V_{NDVI} 代表 NDVI 值; ρ_4 、 ρ_3 分别是经过大气校正后的第 4、第 3 波段的反射率。运用 GIS 空间分析工具分析各级温度区 NDVI 平均状况。为便于 GIS 分析, 对以上 NDVI 计算结果做线性变换, 使其值处于 0~255 间

$$V_{NDVI\ new} = (V_{NDVI} + 1) \times 127 \tag{10}$$

得到的各级温度区 NDVI 平均状况见图 2。

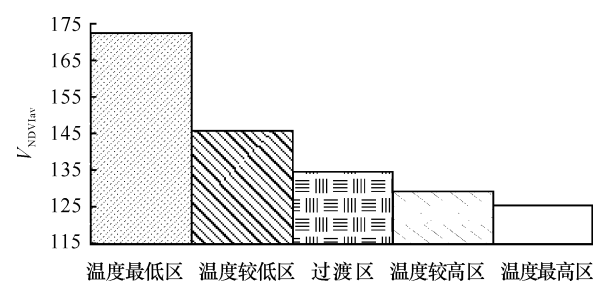


图 2 各级温度区 NDVI 平均状况

fig. 2 Mean NDVI Values of Various Temperature Levels

温度级由低到高对应的 NDVI 的平均值依次为 172、148、138、133 和 130。随着温度的逐级升高, NDVI 平均值随之单调减小, 由此可以看出植被覆盖状况与温度具有明显负相关关系, 对两者进行回归分析, 得到回归方程

$$y = 42.391 - 0.0945x \tag{11}$$

式中: y 为温度; x 为 NDVI 值。相关系数 $r = -0.891$; 显著性水平 $p < 0.0001$ 。

2.2 温度与地形因素的关系

地表形态的变化能够影响热量的空间分异, 文中利用研究区域的 DEM 数据, 提取高程和坡度地形因子, 利用 GIS 的区域统计功能, 统计各个温度分级的地形因子特征(表 1)。

表 1 温度与高程和坡度的关系

Tab. 1 Relationships Between Elevation, Slope and Temperature

温度分级	高程平均值 /m	坡度平均值 (°)
温度最低区	43.6	2.7
温度较低区	39.9	2.1
过渡区	39.2	1.9
温度较高区	37.7	1.7
温度最高区	37.0	1.7

由表 1 可以看出温度与高程和坡度呈反相关关系, 高程越低、坡度越小, 越有利于热岛中心的形成。

2.3 温度与地表覆盖类型的关系

运用监督分类方法将研究区域分为 4 类, 分别是水体、建筑区(包括建筑和道路)、植被和裸地。利用 GIS 空间分析工具计算每种地物类型的各个温度级的比例, 结果见表 2。

表 2 每种地物类型各级温度区比例

Tab. 2 Percentages of Various Temperature Levels of Different Land Cover Types

地物类别	水体	建筑区	植被区	裸地
温度最低区 /%	92	0	25	5
温度较低区 /%	7	21	52	26
过渡区 /%	1	42	21	39
温度较高区 /%	0	33	2	27
温度最高区 /%	0	4	0	3

对应于表 2 的扇形统计见图 3。

不同地表类型各级温度区比例差异很大, 建筑区和裸地区基本处于温度高的 3 个等级, 而植被和水体区则基本处于温度最低区和温度较低区, 水体

区温度最低区比例高达 92%。对各种地物类型进行温度统计,结果见表 3。

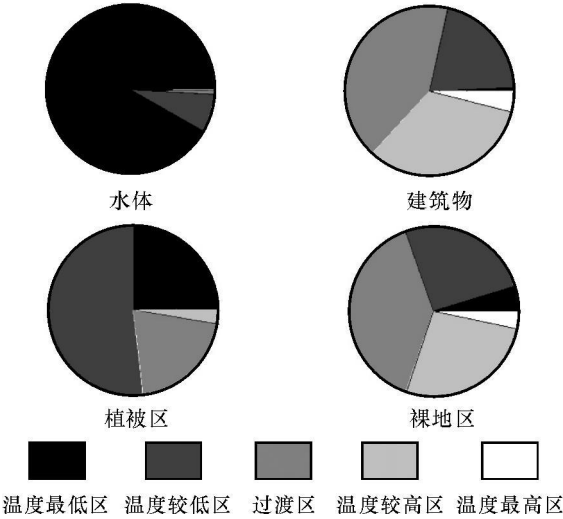


图 3 不同地表类型各级温度区比例

Fig. 3 Percentages of Various Temperature Levels of Different land Cover Types

表 3 不同地物类型的温度统计

Tab. 3 Temperature Statistics of Different Land Cover Types				
温度 /℃	水体	建筑区	植被	裸地
最小值	14. 5	30. 4	21. 5	29. 5
最大值	17. 7	34. 5	27. 2	34. 6
平均值	15. 6	32. 9	24. 3	31. 5

对应于表 3 做图(图 4)(图中 3 个温度特征值分别为最大值、平均值和最小值)。

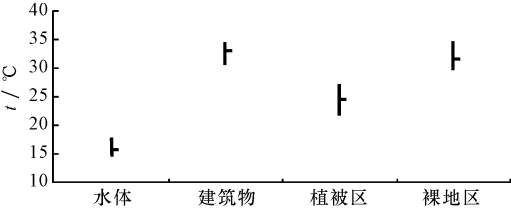


图 4 各地物类型温度特征

Fig. 4 Temperature Characteristics of Different Land Cover Types

从图 4 可以看出,不同地物类型温度特征值差异很大,建筑区和裸地区的温度平均值分别为 32.9、31.5℃,而水体和植被区的温度平均值则分别为 15.6、24.3℃,远低于前者,水体的各种统计值最小。可见城市地表覆盖类型能显著影响地表温度,通过增加人工水面、城市绿化、合理布局不

同地表覆盖类型能够改善城市热环境。

3 结语

(1) 利用普适性单通道算法和 2005 年 5 月 6 日的 TM 数据反演了北京市的实际地表温度。分析了北京市的热环境特征,表明北京市区温度整体上从市中心向周围郊区逐级递减,近似环状分布,二环内是一个热岛中心,东西向中心线是一个热岛带。

(2) 探讨了地形特征和地表覆盖类型与温度的关系,结果表明高程较低处和坡度较小处更有利于热岛中心的形成。不同地表覆盖类型对温度的影响也很大,水体的各种温度统计值最小。在热岛区通过增加人工水面、加大绿化面积能够改善局部热环境,减缓城市热岛效应,对不同地表类型的合理规划能够从整体上改善北京市的热环境状况。

文中 MODIS 数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所国家科技基础条件平台—国家地观测系统 MODIS 共享平台网站(<http://www.nfiieos.cn>),特此致谢。

参考文献:

[1] Oke T R. Review of Urban Climatology[J]. World Meteorological Organization Technical Note, 1979 (169): 43.

[2] 易 秀. 遥感技术在城市生态系统分析和研究中的应用[J]. 西安工程学院学报 2000 22(2): 75 78.

[3] Voogt J A, Oke T R. Thermal Remote Sensing of Urban Climate [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86: 370 384.

[4] Jiménez Muñoz J C, Sobrino J A. A Generalized Single Channel Method for Retrieving Land Surface Temperature from Remote Sensing Data[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D22): 4 688 4 695.

[5] Markham B L, Barker J L. Landsat MSS and TM Post Calibration Dynamics Ranges, Exoatmospheric Reflectances and at Satellite Temperature [J]. EOSAT Landsat Technical Notes, 1986, 1: 3 8.

[6] 毛克彪, 覃志豪. 用 MODIS 反演环渤海地区的大气水汽含量 [J]. 遥感信息, 2004(4): 47 49.

[7] 覃志豪, 李文娟, 徐 斌, 等. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感, 2004(3): 28 32.

[8] 张兆明, 何国金, 肖荣波, 等. 利用 TM6 数据反演陆地表面温度新算法研究[J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(6): 547 550.