

西安市城市热岛效应卫星遥感分析

王娟敏¹, 孙 娴¹, 毛明策¹, 杨联安²

(1. 陕西省气候中心, 西安 710014; 2. 西北大学城市与资源学系, 西安 710069)

摘 要: 基于 Landsat 卫星的 ETM⁺ (增强型主题成像传感器) 数据计算西安市亮度温度, 采用监督分类法对西安市影像进行土地利用/覆盖变化分类; 在此基础上对西安市城市热岛的空间分布特征及城市热岛与土地利用/覆盖变化的关系进行研究。结果表明: 西安市城区地表温度明显比郊区地表温度高, 由市中心向外呈现地表温度逐渐降低的趋势。城市地表温度与土地利用类型密切相关, 不同地表覆盖类型的地表温度差异显著, 城市用地和裸地是城市热岛强度的主要贡献因素, 水体和林地具有较好的降温作用。

关键词: Landsat ETM⁺; 城市热岛; 土地利用/覆盖变化; 亮度温度

中图分类号: P463.3

文献标识码: A

1918 年 Lake Howard 首先发现英国伦敦市中心的气温比郊区高, 从而引出了城市热岛的概念^[1]。目前在全国气候变暖和高速城市化的大背景下, 世界上许多城市出现了高强度的城市热岛效应, 城市热环境质量日趋恶化。如何定量检测、分析和评价城市热岛效应已成为当前城市气候与环境研究的重要内容之一, 也是全球气候变化研究的重要方面。研究城市热岛效应一般采用线路观测和定点观测相结合的方法, 但由于观测点位的密度不可能太高, 因此要细致地研究城市热岛的平面展布、内部结构特征有一定困难^[2]。而卫星热红外遥感技术的发展较好地解决了这个问题, 它能有效、全面地探测到下垫面的温度特征, 并能周期性、动态地监测城市热环境的变化趋势, 是研究城市热岛效应的有效手段^[3-5]。目前, 城市热岛研究的遥感数据源主要有 NOAA/AVHRR、TERRA/MODIS 和 Landsat TM/ETM⁺。NOAA/AVHRR 和 TERRA/MODIS 具有较高的时间分辨率, 适合于城市热岛的过程与变化研究, 但受空间分辨率限制, 只能用于宏观尺度的城市热岛研究; Landsat TM/ETM⁺ 数据是区域环境研究中最重要遥感数据之一, 其第 6 波段

具有较高的空间分辨率 (TM 120 m, ETM⁺ 60 m), 适合用来进行城市区域尺度的热环境研究^[6-8]。以西安市为例, 利用 Landsat 卫星的 ETM⁺ (增强型主题成像传感器) 数据反演各种地表参数, 对西安市城市热岛的空间分布特征以及城市热岛与土地利用/覆盖变化之间的关系进行研究。

1 研究区与数据源

以西安市市区为研究区域, 采用 2002 年 6 月 3 日 ETM⁺ 影像, 卫星过境时间为 10:30 左右, 图像质量较好, 清晰无云。

2 影像预处理

Landsat-7 号卫星的增强型主题成像传感器 (ETM⁺), 共有 7 个多光谱波段和 1 个全色波段。实际工作中, 需将 7 个单波段图像文件组合 (Layer Stack) 成一个多波段图像文件, 以便图像解译。按照西安市行政界线绘制所需的感兴趣区域 (AOI), 将其从整幅图像上分幅剪切下来根据影像特点, 选用二次多项式的几何校正方法, 校正精度小于 1 个像元。图像对比度增强采用直方图均衡化处理, 使图像中具有不同亮度值的像元具有相同的亮度值, 一些相似的亮度值则被拉开,

$$t = T - 273.5. \quad (3)$$

计算得到西安市夏季城区亮温分布结果（见图 1）。

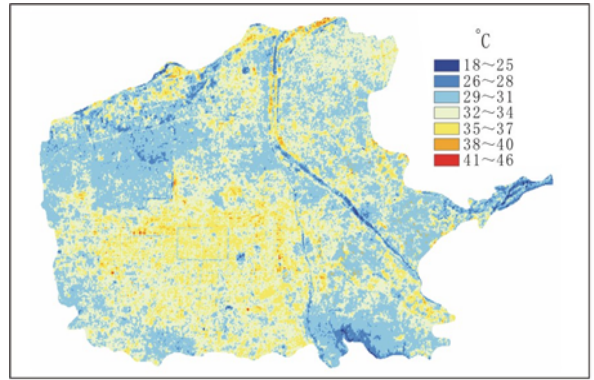


图 1 2002-06-03 西安市亮温空间分布图

3.2 土地利用/覆盖分类

针对研究区域地物类型特点制定分类系统，采用监督分类法^[13-14]对西安市 ETM⁺ 影像分类，将土地利用/覆盖类型分为林地、城市用地、水体（包括河流和基塘）、耕地 4 类（见图 2），总体分类精度为 86.84%，Kappa 系数为 0.81。

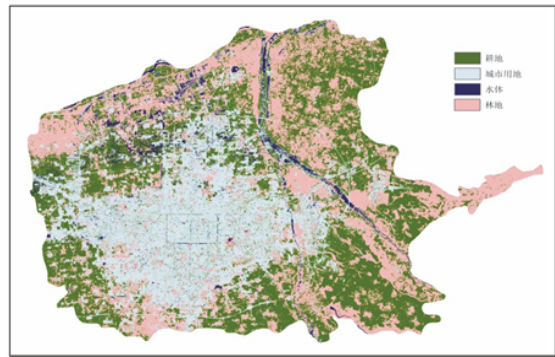


图 2 2002-06-03 西安市土地利用分类图

4 结果与分析

4.1 西安市城市热岛空间分布特征

由图 1 可以看出，西安市城区亮度温度明显比郊区高，由市中心向外呈逐渐降低趋势。城市高温区主要集中在西安市中心城区、商业繁华区及高新工业区，亮温在 32~40℃，平均比周边郊区高 3~6℃ 以上，但城中绿化程度较好的兴庆公园、大唐芙蓉园等地颜色以蓝色为主，亮温明显低于城区。市区周边地区尤其是西北部和东南角地区基本为耕地和果园地，东部伸出的一部分地

提高了图像的视觉显示效果。由于 ETM⁺ 1~7（除第 6 波段）波段数据地面分辨率为 30 m，全色波段地面分辨率为 15 m，因此将 1~7 波段数据与全色波段融合，得到 15 m 分辨率的多光谱图像，便于土地利用/覆盖类型的分类提取研究。

3 亮温反演及土地利用/覆盖的关系研究

3.1 亮温反演

TM/ETM⁺ 的热红外波段接收的是与地表温度相应的热红外辐射强度。由于地表比辐射率与地表温度的耦合性、大气下行辐射效应（环境辐射度）及陆面上方气溶胶的局地变化、比辐射率方向性及非同温混合像元的普遍存在，使得准确反演地表真实温度较复杂。而城市热岛研究大多注重温度相对强弱的空间分布特点，且城市下垫面辐射温度与地面 1.5 m 处气温呈显著线性关系，因此可用地面辐射温度（亮度温度）来研究城市热岛效应。加之城市区域范围有限，可认为区域水汽状况一致，在晴空无云状态下，可直接用亮温表征城市热场的空间相对分布^[9]。

由 Boltzman 定律和物体比辐射率定义，得出非黑体的辐射能量 W 与该物体的温度 T 及辐射率 ϵ 间关系为

$$W = \epsilon \delta T^4,$$

其中， δ 为 Boltzman 常数。这说明 ETM⁺ 6 波段记录的灰度值 (D) 主要取决于地表温度、地物的比辐射率信息和大气影响因子。好在 ETM⁺ 6 波段 (10.40~12.50 μm) 的光谱响应区间处于相当好的大气窗口内，透过率达到 80% 左右；另外考虑西安市研究范围有限，大气状况差异不大，故大气影响可暂时忽略不计。假定下垫面物体为全辐射体的前提下，计算亮温^[10-12]。首先将像元 D 值转化为辐射亮度值

$$L = 0.037\ 058\ 8D + 3.2, \quad (1)$$

其次把辐射亮度值转化为亮度温度

$$T = K_2 / (\ln(K_1/L + 1)). \quad (2)$$

式中： T 为绝对亮度温度， L 为辐射亮度值， K_1 和 K_2 为发射前预设的常量。对于 ETM 数据， $K_1 = 666.09\ \text{mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ ， $K_2 = 1\ 282.7\ \text{K}$ 。最后将绝对亮度温度转化为摄氏温度 (t)

区为山区林地, 植被覆盖度高, 亮温明显低于城区。渭河、灞河和泾河流域一带形成明显的长条形相对低温带, 但沿河河道沙地温度较高。由此可见, 这种分布状况和规律性与下垫面类型有较好的一致性, 水体、植被分布区域温度较低, 而具有水泥结构的工业区、商业区、居住集中区等温度较高。

4.2 西安市城市热岛与土地利用/覆盖变化的关系

为了研究不同土地利用/覆盖类型与亮温间的关系, 将亮温与土地利用/覆盖图叠加, 统计各种土地利用类型的辐射亮度(见表1)。从表1可以看出, 城市用地平均亮温最高, 比水体高 3.9°C ; 耕地亮温高于林地; 水体亮温最低。这是由于城区建筑高大密集, 不利于空气流通, 下垫面主要由砖瓦水泥、沥青等非渗透性表面构成, 地表蒸散能力较低, 其热容量和热惯量小, 但热传导率和热扩散率大, 接受太阳辐射后很快向周围大气扩散, 导致城市用地温度比有植被覆盖地区高; 水体由于热容量大, 热传导率小, 温度上升较缓慢, 温度总是最低; 林地、耕地等因植被覆盖度高, 植被大量反射太阳辐射的近红外部分, 并利用可见光的能量进行光合作用, 使太阳能被转化和储存, 因而温度较低。这说明城市亮度温度与土地利用类型密切相关。

表1 各种土地利用类型亮度温度平均值和标准差

土地类型	平均值/ $^{\circ}\text{C}$	标准差/ $^{\circ}\text{C}$
林地	31.0	1.9
城市用地	32.9	1.7
水体	29.0	2.1
耕地	31.5	2.1

5 结论

5.1 西安市城区亮度温度明显比郊区高, 由市中心向外呈现逐渐降低的趋势。城市高温区主要集中在西安市中心城区、商业繁华区以及高新工业区, 低温区主要集中在植被盖度较高的地区, 渭河、灞河流域亮度温度最低。

5.2 城市亮度温度与土地利用类型密切相关, 城市用地平均亮温比水体高出 3.9°C , 不同地表覆盖类型的亮温差异显著。土地利用/覆盖类型的变化会改变温度的空间分布, 城市用地是城市热岛

强度的主要贡献因素, 水体和林地具有较好的降温作用。

参考文献:

- [1] 张勇, 余涛, 顾行发, 等. CBERS-02 IRMSS 热红外数据地表温度反演及其在城市热岛效应定量分析中的应用 [J]. 遥感学报, 2006, 10 (5): 789-795.
- [2] 田武文, 黄祖英, 胡春娟. 西安市气候变暖与城市热岛效应问题研究 [J]. 应用气象学报, 2006, 17 (4): 438-443.
- [3] 胡华浪, 陈云浩, 宫阿都. 城市热岛的遥感研究进展 [J]. 国土资源遥感, 2005 (3): 5-9.
- [4] 但尚铭, 许辉熙, 叶强, 等. 我国城市热岛效应研究方法综述 [J]. 四川环境, 2008, 27(4): 88-91.
- [5] 彭少麟, 周凯, 叶有华, 等. 城市热岛效应研究进展 [J]. 生态环境, 2005, 14 (4): 574-579.
- [6] 覃志豪, Zhang Minghua, Arnon Karnieli. 用陆地卫星 TM6 数据演算地表温度的单窗算法 [J]. 地理学报, 2001, 56 (4): 456-466.
- [7] 王文杰, 申文明, 刘晓曼, 等. 基于遥感的北京市城市化发展与城市热岛效应变化关系研究 [J]. 环境科学研究, 2006, 19, (2): 44-48.
- [8] Sobrino JA, Jiménez-Munoz JC, Paolini L. Land Surface Temperature Retrieval from Landsat TM 5 [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90 (4): 434-440.
- [9] 常庆瑞, 蒋平安, 周勇, 等. 遥感技术导论 [M]. 北京: 科学出版社, 2004: 153-174.
- [10] Stathopoulou Marina, Cartalis Constantinos. Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece [J]. Solar Energy, 2007, 81 (3): 358-368.
- [11] 历华, 曾永年, 柳钦火. 基于遥感的长沙市城市热岛与土地利用/覆盖变化研究 [J]. 国土资源遥感, 2008 (4): 47-52.
- [12] 陈峰, 何报寅, 龙占勇, 等. 利用 Landsat ETM+ 分析城市热岛与下垫面的空间分布关系 [J]. 国土资源遥感, 2008 (2): 56-61.
- [13] 李小娟, 富兆宁, 刘晓萌, 等. ENVI 遥感影像处理教程 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 381-399.
- [14] 党安荣, 王晓栋, 陈晓峰, 等. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理办法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 62-133.