

Analysis on the Relationship between Urban Heat Island Temperature and Vegetation Index in Chongqing City Based on Landsat/TM

DAN Bo^{1,2}, DAN Shang-ming³, YANG Ling⁴, XIE Ming-Yuan⁴, GAO Yuan⁴

1. Key Laboratory of Atmosphere Sounding, China Meteorological Administration, Chengdu 610225, P.R.China

2. Sichuan Provincial Meteorological Observatory, Chengdu 610072, P.R.China

3. Sichuan Province Agrimeteorological Center, Chengdu 610072, P.R.China

4. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, P.R.China

1. danhoulin@163.com, 2. danscqx@163.com

Abstract: This paper aimed at studying Chongqing City which is mountain city on complex geography environment. Landsat / TM was used in this research which obtained on May 1, 2008. Firstly, the following work was fulfilled: geographical projection, radiometric calibration, Black-body Temperature extracting, terrain correction for temperature, and calculation NDVI. Secondly, according to vegetation cover, choose forty-five sampling regions whose area is 1.6km² inside and outside of the city. Research conclusions are the following: (1) High-temperature region of Urban heat island are mainly locate in the north and south of the main urban areas, which coincide with surface nature and construction. (2) There is correlation between average temperature and vegetation cover. Make linear regression for average temperature and average NDVI, $R^2=0.5986$; When NDVI increased 0.1, temperature reduced 1.2126°C.

Keywords: Landsat/TM; urban heat island; black-body temperature; NDVI; linear regression; Chongqing city.

基于 Landsat/TM 的重庆热岛温度与 NDVI 的相关性分析

但 玻^{1,2}, 但尚铭^{1,3}, 杨 玲^{1,4}, 谢明元⁴, 高 远⁴

1. 中国气象局大气探测重点开放实验室, 成都, 中国, 610225

2. 四川省气象台, 成都, 中国, 610072

3. 四川省农业气象中心, 成都, 中国, 610072

4. 成都信息工程学院, 成都, 中国, 610225

1. danhoulin@163.com, 2. danscqx@163.com

【摘要】文章针对复杂地理环境的山地城市重庆, 使用 2008 年 5 月 1 日的 Landsat/TM 数据, 进行了地理投影、辐射定标、亮温反演及温度的地势高度矫正、NDVI 计算等处理, 在主城区内、外按照植被覆盖程度共选择 45 个面积约 1.6km² 的采样区, 得到以下主要结论: 热岛高温区主要位于主城区的北部和南部, 与地表性质及建筑状况等相吻合; 采样区平均温度与的植被覆盖度相关, 且与 NDVI 平均值的线性回归结果良好, $R^2=0.5986$; NDVI 每增大 0.1 时, 温度降低 1.2126°C。

【关键词】Landsat/TM; 城市热岛; 亮温; NDVI; 线性回归; 重庆

1 引言

自 Lake Howard(1833)首次发现伦敦的城市热岛现象后, 世界各大城市从各个角度对城市热岛(Urban Heat Island,简称 UHI)效应的研究一直持续不断。

RIZWAN Ahmed Aemon 等^[1]综述了全球 UHI 研究的

资助信息: 中国气象局大气探测重点开放实验室开放课题(KLAS200703)和四川省环境保护局重点项目(2008HBY002)共同资助。

主要进展, 包括 UHI 对环境的危害, UHI 的基本规律及其与城市人口数量、气象条件的关系, 热岛强度的监测结果, 热源的组成, 主要研究方法和技术, 以及缓解 UHI 的措施等。我国 UHI 研究比较深入的有北京、上海等城市。UHI 增加能源消耗, 使城市生态环境恶化, 如 C.Sarrat 等^[2]通过数字模拟证实了 UHI 影响大气污染物的空间分布。

UHI 温度与植被状况关系密切, 良好的植被环境能够使 UHI 得到缓解, 研究 UHI 与植被的关系具有重要现实意义。Marina Stathopoulou 等^[3]利用 ETM+数据研究了希腊主要城市白天 UHI 温度与陆地覆盖类型的关系, Fei Yuan 等^[4]基于 TM 和 ETM+研究了陆面温度与城市防渗表面覆盖率的关系, Steve Kardinal Jusuf 等^[5], Alexander Velazquez-Lozada 等^[6]分析了土地利用对 UHI 的影响, 指出城市绿地是缓解热岛效应的重要因子。李延明等^[7]基于遥感研究了北京城市绿化与热岛效应的关系, 唐曦^[8]等利用 ETM+影像分析了上海的 UHI, 证实 UHI 温度与 NDVI 值呈明显负相关。由于陆面温度与 NDVI 的相关度与城市所在地理条件、季节、天气等因素有关, 因此, 本文的研究是必要的。

基于遥感图像研究 UHI 温度与植被关系的采样方法也各有不同。例如, 陈珂^[9]等是将上海城区分成若干 600m×600m 的栅格, 而黄金海等^[10]是在除水体之外的地方随机获取 500 个像素点, 分别进行线性回归, 分析 UHI 温度与 NDVI 的相关性。

2 研究区概况

重庆市位于四川盆地东南, 处于东北-西南走向的华莹山帚状余脉南部, 市区中部的纬度和经度分别约为 29° 35' E 和 106° 33' N。研究区的范围、地势、河流和主要道路见图 1, 图中等高线的间距为 100m。区域内东西宽约 30km, 南北长约 37km, 面积约 1100km²。

市区西侧为中梁山, 山脉海拔高度 500~650m; 东南侧为南山(真武山), 海拔高度 400~600m; 两山脉相距 16~20km。除东北部的部分地方外, 城区的海拔高度大多在 200~350m; 属中亚热带季风气候, 具有夏热冬暖风速小的特点, 河谷地方(沙坪坝)的年平均温度为 18.4℃, 日照时数约 1260h, 降水量在 1000mm 以上。

市区河流和交通干道相互交错, 市中区被两江环抱, 江面海拔高度低于 200m。长江自西南向东北流经市区东部, 嘉陵江顺中梁山东侧由北、向南、再向东横穿市区与长江汇合。受东西两侧山脉的制约, 最近十几年城市向南、北两个方向扩展, 城市功能区更加明确。其中, 南面的九龙坡区、大渡口区南岸区主要为传统重工业、交通运输业集中区, 扩展相对较小; 北面的江北区发展迅速, 在绕城高速道路外侧拓展了渝北区和重庆出口加工区, 主要包含了商业、住宅、政府部门和出口加工业等。图 1 中的 3 个环形道路内分别是主城区、出口加工区和小城镇, 在连接其

间的道路两侧已有大量城市建筑。重庆城市扩展很快, 规模巨大, 属于典型的复杂地理环境城市。

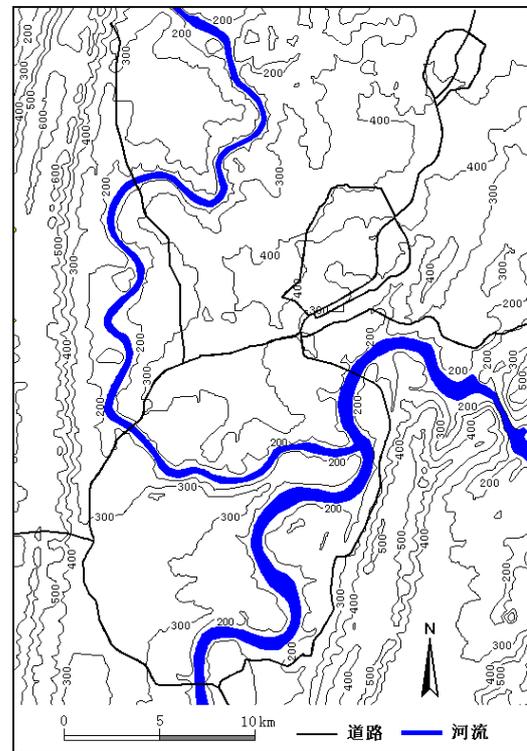


Figure 1. Topography, rivers and main roads in study area
图 1. 研究区地势、河流和主要道路

3 数据和方法

3.1 遥感数据及其处理

使用 2008 年 5 月 1 日的 Landsat/TM 数据。对源数据进行了辐射定标, 采用下式将第 6 波段 TM6 的辐射强度值反演为亮度温度^[4]:

$$T_B = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_\lambda + 1)} \quad (1)$$

式中, T_B 为亮度温度值(单位为 K), $K_1 = 607.76 W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$, $K_2 = 1260.56K$ 为卫星发射前的校准常数, L_λ 为 TM6 的辐射强度。为便于使用, 再按式 $T = T_B - 273.15$ 将 T_B 转换为摄氏温度(℃)。考虑到重庆地形起伏、海拔高度相差较大, 按照文献^[11]的方法选择热岛基准点, 基准温度为 26.45℃, 将温度计算成位温。

归一化指标指数 NDVI 采用下式计算:

$$NDVI = \frac{TM_4 - TM_3}{TM_4 + TM_3} \quad (2)$$

式中, TM_3 和 TM_4 分别为 TM 传感器的红色波段和近

红外波段。

3.2 样本区

通过样本区分类采样方法研究 UHI 温度 T 与 NDVI 的关系。单个样本区的大小为 50 像元 \times 50 像元，面积约为 1.6km^2 。为保证样本的代表性，分别在中心城区(包括出口加工区)、城市边沿区和近郊区按照植被覆盖比例分 3 大类，再将各大类按植被覆盖率为 A、B 和 C3 个子类，每个子类选 5 个样本区，共选取 45 个样本区。

45 个样本区的分布及其位置见图 2。位于中心城区和出口工业加工区内的 3 个子类的绿地面积在样本区中所占比例(即绿地覆盖率)分别为 $<10\%$ 、 $10\sim30\%$ 和 $30\sim50\%$ ；城市边沿区 3 个子类的绿地覆盖率分别为 $20\sim40\%$ 、 $40\sim60\%$ 和 $60\sim80\%$ ；城市近郊 3 个子类的绿地覆盖率分别为 $50\sim70\%$ 、 $70\sim90\%$ 和 $>90\%$ 。

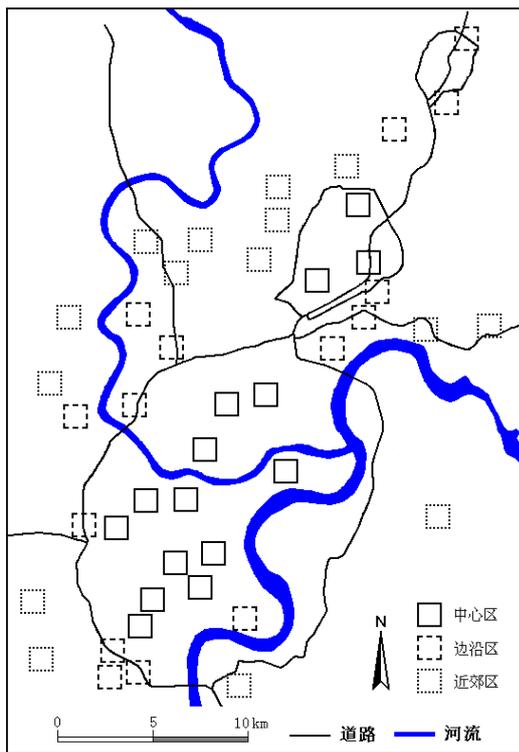


Figure 2. Distribution of sampling regions

图 2. 采样区位置分布

最后，对每个样本区内的亮温 T 和植被指数 NDVI 做统计计算，共得到 45 组数据，用作 T 与 NDVI 的线性回归计算；将 9 个子类的样本区求平均值，用作基本特征分析。

4 结果、分析与讨论

4.1 UHI 温度场和 NDVI 的空间特点

根据 2008 年 5 月 1 日重庆的热岛温度场(见图 3)可见，热岛温度场呈明显的西南-东北走向，温度高值区出现在主城区西南部的高速公路内侧和东北面的出口加工区。沿中梁山两侧的较高温度条带，与山坡朝向和地面性质及植被状况有关。城区内 NDVI 值较低，而郊区 NDVI 值较高，这与植被分布状况直接相关(见图 4)。

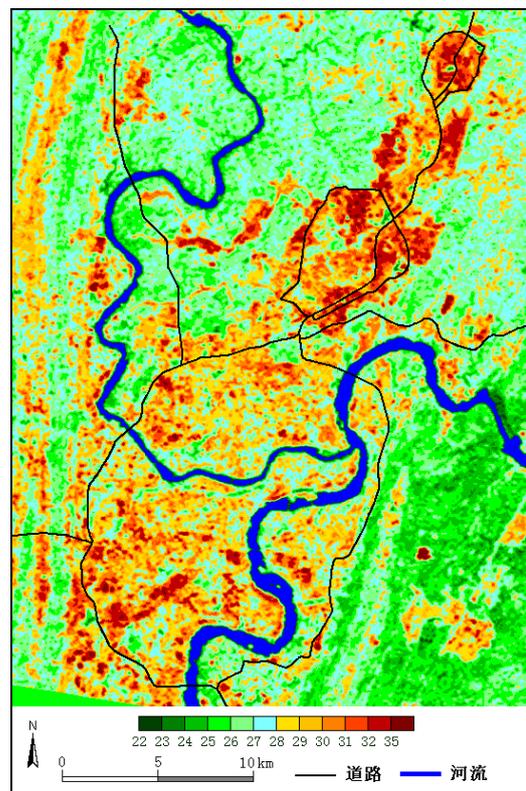


Figure 3. Temperature field on May 1, 2008

图 3. 2008. 5.1 的温度场

4.2 UHI 温度与 NDVI 相关性的定量分析

将 9 个子类样本区的亮温和 NDVI 的统计结果按绿地面积所占比例依次列于表 1。由表 1 可知，随着样本区绿地覆盖率逐渐增大，温度值呈由高到低，而 NDVI 的值则呈由低到高的趋势。当绿地覆盖率为 $<10\%$ 时，平均亮温为 29.946°C ，平均 NDVI 为 -0.0039 ，当绿地覆盖率 $>90\%$ 时，平均亮温为 26.334°C ，平均 NDVI 为 0.2712 ，二者的平均亮温之差达 3.612°C ，NDVI 相差达 0.2751 。由此可见，热岛温度与 NDVI 呈明显的负相关性。

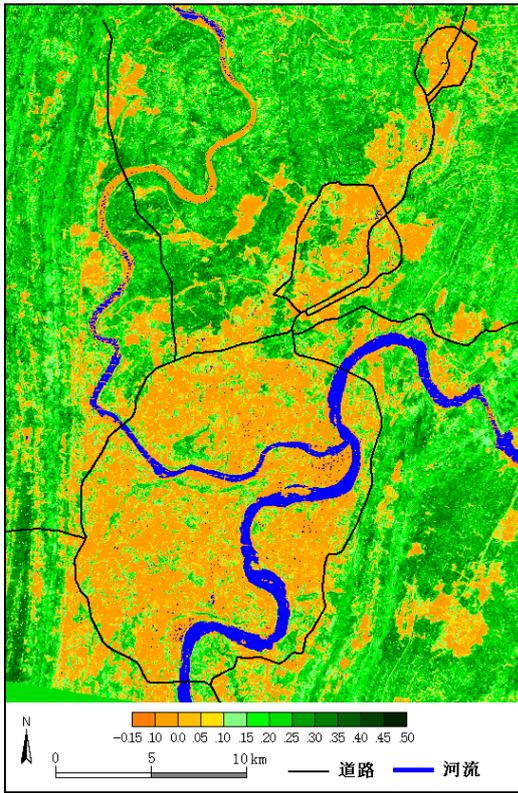


Figure 4. NDVI on May 1, 2008
图 4. 2008. 5.1的植被指数(NDVI)

再对 45 个样本区的热岛温度和 NDVI 采用一元线性回归方程^[12]:

$$\hat{y} = a + bx \quad (3)$$

式中, 回归系数 a、b 为:

$$\begin{cases} b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \\ a = \bar{y} - bx \end{cases} \quad (4)$$

相关系数:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n\bar{y}^2)}} \quad (5)$$

计算得到关于亮温 T 和 NDVI 的线性回归公式:

$$T = 29.971 - 12.126 \cdot NDVI \quad (6)$$

图 5 是样本区亮温与 NDVI 的散点图。从图中可以看出, 除少数样本点外, 绝大多数样本点集中在直线两侧; 亮温与 NDVI 呈负相关, 相关系数 $R^2=0.5986$, 回归结果良好。

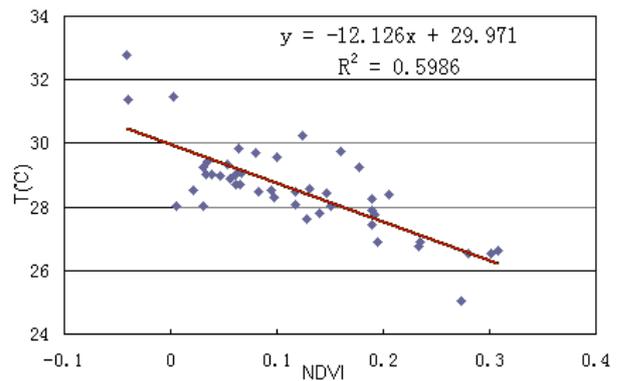


Figure 1. Scattering map and regression line between temperature and NDVI in sampling regions

图 5 样本区温度与 NDVI 散点图及回归直线

Table 1. Relationship between temperature and NDVI in different sampling regions
表 1. 各类样本区温度与 NDVI 的关系

序号	样本区位置及类型	绿地覆盖率 (%)	亮温 (°C)			NDVI		
			(Min)	(Max)	(Mean)	(Min)	(Max)	(Mean)
1	中心区 A	<10	26.349	34.937	29.946	-0.1982	0.3571	-0.0039
2	中心区 B	10-30	25.484	33.765	29.556	-0.2390	0.4047	0.0357
3	边沿区 A	20-40	24.748	33.589	29.276	-0.2979	0.4292	0.0654
4	中心区 C	30-50	25.195	33.775	28.757	-0.1813	0.4412	0.0697
5	边沿区 B	40-60	24.425	33.398	28.929	-0.1591	0.4322	0.0908
6	近郊区 A	50-70	25.038	34.042	28.729	-0.1352	0.4738	0.1487
7	边沿区 C	60-80	25.077	32.966	28.021	-0.1297	0.5484	0.1673
8	近郊区 B	70-90	25.025	31.820	27.514	-0.0824	0.5262	0.2008
9	近郊区 C	>90	24.824	29.192	26.334	-0.1619	0.5166	0.2712
10	平均		25.129	33.054	28.563	-0.1760	0.4588	0.1162

4.3 讨论

式(6)表明,当某个样本区内 NDVI 的平均值每增大 0.1 时,则平均温度降低 1.2126℃。

陈珂等^[9]和黄金海等^[10]采用不同的采样方法,得到与式(6)相同形式的结果。前者的 $a=27.76987$, $b=-4.15274$,即 NDVI 每增大 0.1,温度降低约 0.415℃,没给出相关系数;后者的 $a=24.648$, $b=-9.1657$,即 NDVI 每增大 0.1,温度降低约 0.916℃,相关系数 $R^2=0.37$ 。本文的结果好于前两者。

5 结论

重庆热岛温度场呈明显的西南-东北走向,温度高值区出现在主城区西南部的高速公路内侧和东北面的出口加工区,热岛温度的由高到低与 NDVI 值的由小到大有很好的对应关系。

针对温度与 NDVI 关系的定量分析已有一些成果,作者进一步证实了植被对于缓解热岛效应的作用。更为重要的是,本文提出了基于绿地覆盖率的采样方法,一元线性回归效果良好, $R^2=0.5986$,即重庆初夏 NDVI 每增大 0.1 时,温度降低 1.2126℃。

References (参考文献)

- [1] RIZWAN Ahmed Aemon, DENNIS Y.C. Leung, LIU Chunho. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2008, 20: 120-128
- [2] C. Sarrat, A. Lemonsu, V. Masson, D. Guedalia. Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, 40: 1743-1758.
- [3] Marina Stathopoulou, Constantinos Cartalis. Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece [J]. *Solar Energy*, 2007, 81: 358-368.
- [4] Fei Yuan, Marvin E. Bauer. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 106: 375-386.
- [5] Steve Kardinal Jusuf, N.H. Wong, Emlyn Hagen, Roni Anggoro, Yan Hong. The influence of land use on the urban heat island in Singapore [J]. *Habitat International*, 2007, 31: 232-242.
- [6] Alexander Velazquez-Lozada, Jorge E. Gonzalez, Amos Winter. Urban heat island effect analysis for San Juan, Puerto Rico [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, 40: 1731-1741.
- [7] Li Yanming, Zhang Jihe, Gu Runze. Research on the Relationship between Urban Greening and the Effect of Urban Heat Island [J]. *Journal of Chinese Landscape Architecture*, 2004, (1): 72-75 (China).
李延明, 张济和, 古润泽. 北京城市绿化与热岛效应的关系研究 [J]. *中国园林*, 2004, (1): 72-75.
- [8] Tang Xi, Shu Jiong, Le qun. Relationship between vegetation and urban heat-island effect in Shanghai [J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2008, (1): 119-128 (China).
唐曦, 束炯, 乐群. 基于遥感的上海城市热岛效应与植被的关系研究 [J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2008, (1): 119-128.
- [9] Chen Ke, Rui Jianxun. Relationship Between Urban Thermal Distribution and NDVI Of Shanghai City [J]. *Journal of Jishou University (Natural Science Edition)*, 2007, 28(2): 90-94 (China).
陈珂, 芮建勋. 上海市城市热场与植被指数的相关性 [J]. *吉首大学学报(自然科学版)*, 2007, 28(2): 90-94.
- [10] Huang Jinhai, Wang Haizhen, Wu Jianjun, et al. Studies on the Relationship between Vegetation Index and Urban Heat Island Effect [J]. *Bulletin of Science and Technology*, 2007, 23(3): 446-450, 457 (China).
黄金海, 汪海珍, 吴建军, 等. 植被指数与杭州市热岛效应的关系研究 [J]. *科技通报*, 2007, 23(3): 446-450, 457.
- [11] Dan Shangming, An Haifeng, Dan Bo, et al. An Analysis of Urban Heat Island Effects in Chongqing Based on AVHRR and DEM [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(7): 670-675 (China).
但尚铭, 安海锋, 但玻, 等. 基于 AVHRR 和 DEM 的重庆城市热岛效应分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(7): 670-675.
- [12] The preparation group of 《Mathematics Handbook》. *Mathematics Handbook* [M]. Beijing: Higher Education Press, 1979: 836-837 (China).
《数学手册》编写组. *数学手册* [M]. 北京: 高等教育出版社, 1979: 836-837..