

CBERS-02 IRMSS 热红外数据及 UTAE 算法在城市热岛研究中的应用

刘宇鹏^{①②③}, 杨波^{①*}, 于德永^{②③}, 武建军^③, 蒋卫国^③

① 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410081

② 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

③ 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875

* 通信作者. E-mail: yb@hunnu.edu.cn

收稿日期: 2011-05-30; 接受日期: 2011-08-04

湖南省自然科学基金 (批准号: 10JJ3022)、湖南省高校创新平台开放基金 (批准号: 10K042)、湖南省重点学科建设项目 (批准号: 2008001) 和中德国际合作项目 (批准号: 20070FA90500-1) 资助

摘要 文中使用城市热异常信息提取算法 (urban thermal anomaly extraction, UTAE) 提取城市热岛信息. 该算法使用不同大小的滑动窗口来探测整幅图像, 根据稳健估计的方法设定地表温度高于全部像元以及窗口内像元温度统计均值加标准差的像元为热异常像元, 并将滑动窗口的范围设置在 3×3 至 9×9 个像元之间, 根据像元被记为热岛像元的次数是否为 0 来区别热岛区与非热岛区, 在热岛区域内根据次数的多少来决定热岛强度, 具有动态阈值的特点和无偏特性. 研究表明, 在城市热岛范围的提取上, 2004 年 2 月 13 日长沙市热岛面积在 $27.21\text{--}33.98 \text{ km}^2$ 之间; 在城市热岛强度和尺度效应分析上, 宏观尺度的研究应选用较大的窗口来体现城—郊热岛关系以及热岛发展的总体趋势, 而小窗口在微观分析城区内热岛的具体分布、与下垫面的关系以及驱动因子方面较有优势. 最后, 对 UTAE 算法在中巴地球资源卫星后继星数据上的应用做出了展望.

关键词 遥感 城市热岛 UTAE 算法 中巴地球资源卫星

1 引言

19 世纪, Howard^[1] 针对伦敦市首次提出“城市热岛”(urban heat island, UHI) 概念, 它是指在气温上, 城区气温高、郊区气温低的现象, 在温度的空间分布上, 城市犹如一个温暖的岛屿^[2]. 随着全球城市化进程的加速, 城市热岛效应对城市的生态环境和人居环境的影响越来越大, 因此引起国内外的广泛重视.

城市热岛资料的获取方法随着遥感技术的出现发生了革命性的变化. 1972 年, Rao^[3] 首次利用遥感卫星手段研究了城市热岛效应, 随后出现了大量的相关研究^[4-7]. 目前, 城市热岛研究的遥感数据源主要有 NOAA/AVHRR, EOS-TERRA AQUA/MODIS, Landsat TM/ETM+ 和 CBERS-02 IRMSS 等, 其中 IRMSS 热红外波段 (第 9 波段) 的空间分辨率为 156 m, 适于进行城市区域尺度的热环境研究^[8,9]. 利用遥感数据进行城市热岛研究主要通过反演地表温度^[10,11]、植被指数^[12,13] 和热力景观进

行监测,其中以反演地表温度的方法最为直接.地表温度的反演方法包括回归分析法^[10]、大气校正法、单窗算法^[14]和普适性单通道算法^[15].Huang等^[16]通过比较认为单窗算法精度最高并且无须同步大气廓线数据.经过地表温度反演后,需要对地表温度的空间分布和时间序列加以分析.Streutker^[17]提出了基于稳健估计的方法将地表温度分成高、正常和低3个等级.Wang等^[18]也利用该方法进行珠江流域的城市热岛效应研究,并将3个等级的阈值设定为:高($T \geq \text{均值} + \text{标准差}$)、正常($\text{均值} - \text{标准差} \leq T < \text{均值} + \text{标准差}$)和低($T < \text{均值} - \text{标准差}$),将温度位于“高”等级的区域列为热岛效应较强的区域.Zhang等^[8]则利用地表温度与地表平均温度的比值计算出城市热岛强度,根据不同的阈值将热岛强度划分为不同的等级.综上所述,在目前的城市热岛研究中,热岛与非热岛区域的区别以及热岛强度的表示主要以人工阈值法为主,各学者采用的阈值也不尽相同,造成了研究结果的差异,研究结果之间也缺乏可比性.本文使用针对城市热岛特点提出的UTAE算法进行城市热岛效应研究,该算法以像元是否被提取为热异常区域来确定热岛区域的范围,以像元被提取为热异常区域次数的多寡来区分热岛的强弱,具有动态阈值的特点和无偏(umbias)特性^[19].

2 研究区与研究数据

长沙市是湖南省的省会,位于湖南省东部、湘江中游,与株洲市、湘潭市鼎足而立,地理坐标为东经 $111^{\circ}53' - 114^{\circ}5'$,北纬 $27^{\circ}51' - 28^{\circ}40'$.东西长约230 km,南北宽约88 km.2010年,长沙市GDP已达4547亿,人口超过650万,步入大城市行列.

数据选用2004年2月13日湖南省长沙市的CBERS-02 IMRSS数据(轨道号:1/68),空间分辨率经过重采样处理达到78 m(原始空间分辨率为156 m),像元数量为 402×409 ,图像质量好,清晰无云.该景数据采集时间为冬末春初,该时节长沙气温变化十分剧烈.晴天时太阳辐射较强,使得长沙市的气温增加较快(白天最高温度达 20°C 以上),阴雨天时气温又很低(白天温度在 $0^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C}$ 左右).对冬季城市热岛效应的研究始于20世纪80年代,Zhou等^[20]、Li等^[21]均研究了北京市冬季热岛效应的影响因子,还有学者研究了兰州^[22]、西安^[23]和重庆^[24]等城市的冬季热岛效应.

3 研究方法

3.1 地表温度反演

首先,将遥感影像经过必要的辐射校正和几何校正后,需要把像元DN(digital number)值转化为辐射亮度值.公式如下^[25]:

$$L_{\lambda} = \text{Gain} \times \text{DN} + \text{Offset}, \quad (1)$$

式中 L_{λ} 为辐射亮度($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$),DN为像元灰度值,Gain、Offset根据Zhang等^[25]的方法通过5种辐射定标方式的测算比较后得出.

再根据普朗克定律将辐射亮度值转化为亮度温度,公式如下^[25]:

$$T_{\text{rad}} = c_2 \lambda^{-1} / \ln(c_1 \lambda^{-5} / L_{\lambda} + 1), \quad (2)$$

式中 L_{λ} 为辐射亮度($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$), T_{rad} 为亮度温度, $c_1 = 1.19104 \times 10^8 (\text{W} \cdot \mu\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1})$, $c_2 = 11.43877 \times 10^4 (\mu\text{m} \cdot \text{K})$,对于CBERS-02 IRMSS热红外波段 λ 有效作用波长取 $11.245 \mu\text{m}$ ^[9],由于亮度温度与地表温度差距往往过大($>5^{\circ}\text{C}$)^[26],因此需进一步反演地表温度^[27]:

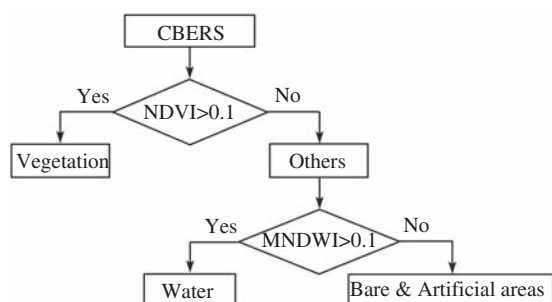


图 1 决策树分类

Figure 1 Decision tree classification

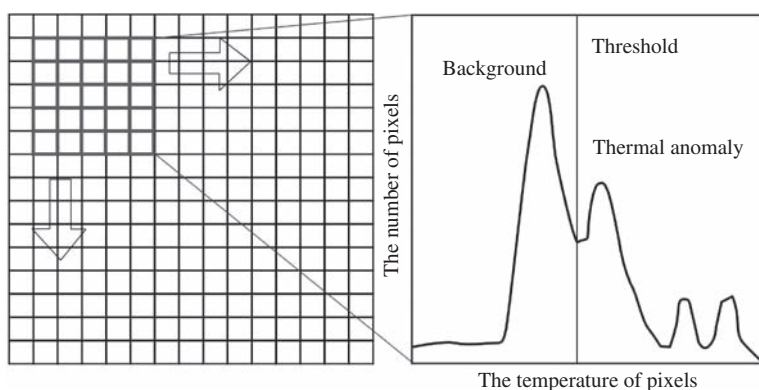


图 2 滑动窗口法

Figure 2 Moving window method

$$T_{\text{Kin}} = \varepsilon^{-0.25} \times T_{\text{rad}}, \quad (3)$$

式中 T_{rad} 为亮度温度, T_{Kin} 为地表温度, ε 为地表发射率, 对于大多数地表物质 (水体、植被、岩石和土壤) 而言, 比辐射率值通常在 0.93–0.99 之间 [28]。根据不同地物比辐射率值的差异, 利用 NDVI [29] 和 MNDWI [30,31] 指数来构造决策分类树, 将土地利用/覆盖类型分为植被、水体、裸地和建筑用地 (图 1)。其中植被的比辐射率为 0.986 [32], 水体为 0.995 [32], 裸地和建筑用地比辐射率相近, 近似看作 0.970 [33,34]。经过亮度温度至地表温度的转换后, 地表温度反演精度在 2°C 左右 [32]。

3.2 TAE 算法与 UTAE 算法

热异常信息提取算法 (the algorithm of thermal anomaly extraction, TAE) 由 Zhang [27] 和 Kuenzer 等 [28,35] 提出, 是一种利用夜间遥感影像提取地下煤火所产生的热异常信息的算法。该算法以每个像元为中心选取一定大小的滑动窗口, 通过分析窗口内像元的 DN 值直方图来动态设定阈值, 从而区分热异常区域和非异常区域, 热异常区域内的像元将被记录一次 (图 2)。因此当滑动窗口探测完整幅图像之后, 每个像元被记录为热异常区的累积总次数也将确定, 从而得到热异常信息提取结果。

UTAE 算法, 即 Urban-TAE 算法 [19] 1) 是根据城市热岛效应的特点将 TAE 算法予以改进而来。并

1) Liu Y P, Yang B, Chen C. Spatial scale analysis about using U-TAE algorithm to extract the information of urban heat island. *Prog Geogra*, 2011, 30 (in press)

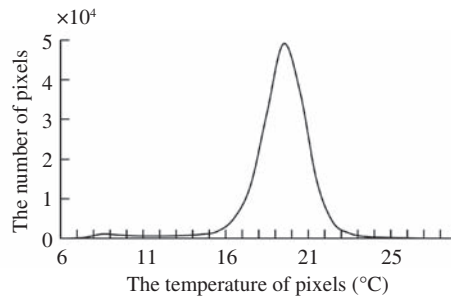


图 3 2004 年冬季长沙地表温度图像直方图

Figure 3 The histogram of LST image in winter, 2004

且由于城市热岛表明的是市区与郊区温度的差别,若直接使用 DN 值将无法准确的表明城郊温度差异,因此原始数据需经过地表温度反演后再利用 UTAE 算法提取城市热岛信息.

3.3 城市热岛信息提取

根据 UTAE 算法提取城市热岛信息的主要参数包括窗口阈值的设定和窗口大小的选择.在进行窗口阈值的设定时,由于地表温度信息呈正态分布的特点(图 3),根据 Streutker^[17] 以及 Wang 等^[18] 提出的基于稳健估计的方法可以将地表温度分成高 ($T \geq \text{均值} + \text{标准差}$)、正常 ($\text{均值} - \text{标准差} \leq T < \text{均值} + \text{标准差}$) 和低 ($T < \text{均值} - \text{标准差}$). 由于温度高于均值与标准差之和的部分才被认作是热异常区域,因此在 UTAE 算法中,将滑动窗口的阈值设定为均值 (Mean)+ 标准差 (SD, standard deviation),即地表温度高于窗口内阈值同时高于全局阈值的像元认定为热岛区域,在热岛区域内的像元累积记录次数加一次:

$$\begin{cases} 1, & T \geq \text{Mean} + \text{SD}, \\ 0, & T < \text{Mean} + \text{SD}. \end{cases} \quad (4)$$

设定滑动窗口的阈值后,需根据城市热岛的特点重新设定滑动窗口的大小.根据长沙市区面积的大小 (1000 km^2) 以及像元的空间分辨率 (78 m),将 UTAE 算法的滑动窗口范围设置在 3×3 至 9×9 个像元,即窗口面积从 $0.05 \text{—} 0.5 \text{ km}^2$. 在分别设定 UTAE 算法的窗口阈值和窗口大小后,即可输入遥感影像进行运算.在运算结果中,根据累积次数是否为 0 来区别非热岛区与热岛区,并根据累积次数的多少来决定热岛强度的强弱.

4 结果分析

4.1 热岛范围提取

经过对 IRMSS 数据的地表温度反演后,2004 年 2 月 13 日长沙市的地表温度最低为 5.9°C , 最高为 25.3°C , 平均值为 18.7°C , 标准差为 2.1°C . 利用多个大小的滑动窗口同时提取 2004 年冬季长沙市的热岛区域(表 1). 从统计结果可以看出 UTAE 法提取的城市热岛面积介于 $27.21 \text{—} 33.98 \text{ km}^2$ 之间. 温度相对较高的区域集中于长沙火车站四周以及湘江东侧伍家岭市北工业区、五一路商业中心及居民区、东郊的长沙经济技术开发区、河西的银盆岭居民区等地.

表 1 不同窗口尺寸提取城市热岛范围对比

Table 1 UHI areas comparison in different extraction methods

| Moving window | The number of UHI pixels | Area (km ²) |
|---------------|--------------------------|-------------------------|
| 3×3 | 5585 | 33.98 |
| 5×5 | 5137 | 31.25 |
| 7×7 | 4761 | 28.97 |
| 9×9 | 4473 | 27.21 |

4.2 热岛强度分析

通过设置不同的窗口范围, 得到 2004 年长沙城市热岛强度图 (图 4). 通过图 4(a)–(d) 可以看出, 在小窗口范围下, 热岛强度达 100% 的像元多且分散于城市各处, 也说明在小范围窗口内强度达到 100% 相比大范围窗口更容易. 随着滑动窗口尺寸的增大, 高强度的热岛像元明显开始集中于市中心区, 并且强度达 100% 的像元数量开始减少, 表明在大范围窗口内强度达到 100% 更加困难, 同时, 原本在小窗口内强度达 100% 的像元向低强度区域转移. 强热岛主要出现在高能耗的工厂区, 其次位于商埠和市场周围, 居民区或住宅小区相比工厂区其热岛程度较弱, 热异常累积次数多在 75% 以下. 窗口大小为 3×3 个像元时, 理论上热异常累积次数最多可达 9 次, 将每个像元的累积次数除以总次数即得到该像元所处的百分比 (图 4(a)), 同理得到窗口大小为 5×5, 7×7 以及 9×9 时累积次数的百分比图 (图 4(b)–(d)). 从图 4(c), (d) 中, 可以看出热异常累积次数从四周向市中心递增的规律, 热异常次数累积最多的区域集中在长沙火车站四周以及湘江东侧伍家岭市北工业区、五一路商业中心及居民区, 说明大窗口从宏观尺度反映了城—郊热岛关系以及热岛总体布局; 图 4(a), (b) 相比图 4(c), (d) 可以看出, 由于窗口尺度的缩小, 热异常累积次数相对较高的区域更加分散, 遍布于市中心区, 东郊的长沙经济技术开发区, 河西的银盆岭居民区等地, 说明较小的窗口更能体现小范围内热异常的相对高值.

4.3 热岛调查与验证

较小的窗口 (3×3 以及 5×5) 针对小范围的热岛较为敏感, 因此适用于研究城市热岛产生的根源和驱动因子. 根据热岛信息提取结果并结合实地调查, 找出了提取结果中 5 处面积最大的典型热岛区域 (图 5). 在图 5 中, No.1, 2 为长沙车站周围的商埠、市场和小商品集散地 (长沙火车站、高桥建材世界、高桥大市场、东屯液压面机制造有限公司、友谊机床厂、重型机械厂); No.3, 4 为位于长沙县的长沙经济技术开发区, 分布了很多高能耗的工厂 (星沙镇居民区、中南汽车世界、三一重工); No.5 为长沙市政府周围的居民区或住宅小区 (长沙市政府、银盆岭居民区), 其热岛程度相比工厂区和商埠较弱, 分布较分散, 未形成大面积连续的热岛区域.

4.4 尺度效应

利用空间韵律指数对 UTAE 算法在不同窗口下提取热岛的空间构成特征进行定量分析, 其相关指数包括缀块总数 (NP, number of patches)、缀块密度 (PD, patch density) 和最大缀块指数 (LPI, largest patch index). 首先将 UTAE 法提取的热岛范围进行二值化处理 (热岛区域为 1, 非热岛区域为 0), 然后把空间上互不相连的热岛划分为独立的缀块, 经过统计得到缀块总数 (NP); 通过缀块总数与总面积比值处理后得到缀块密度 (PD); 将最大热岛缀块面积与总面积比值处理后得到最大缀块指数 (LPI) (表 2).

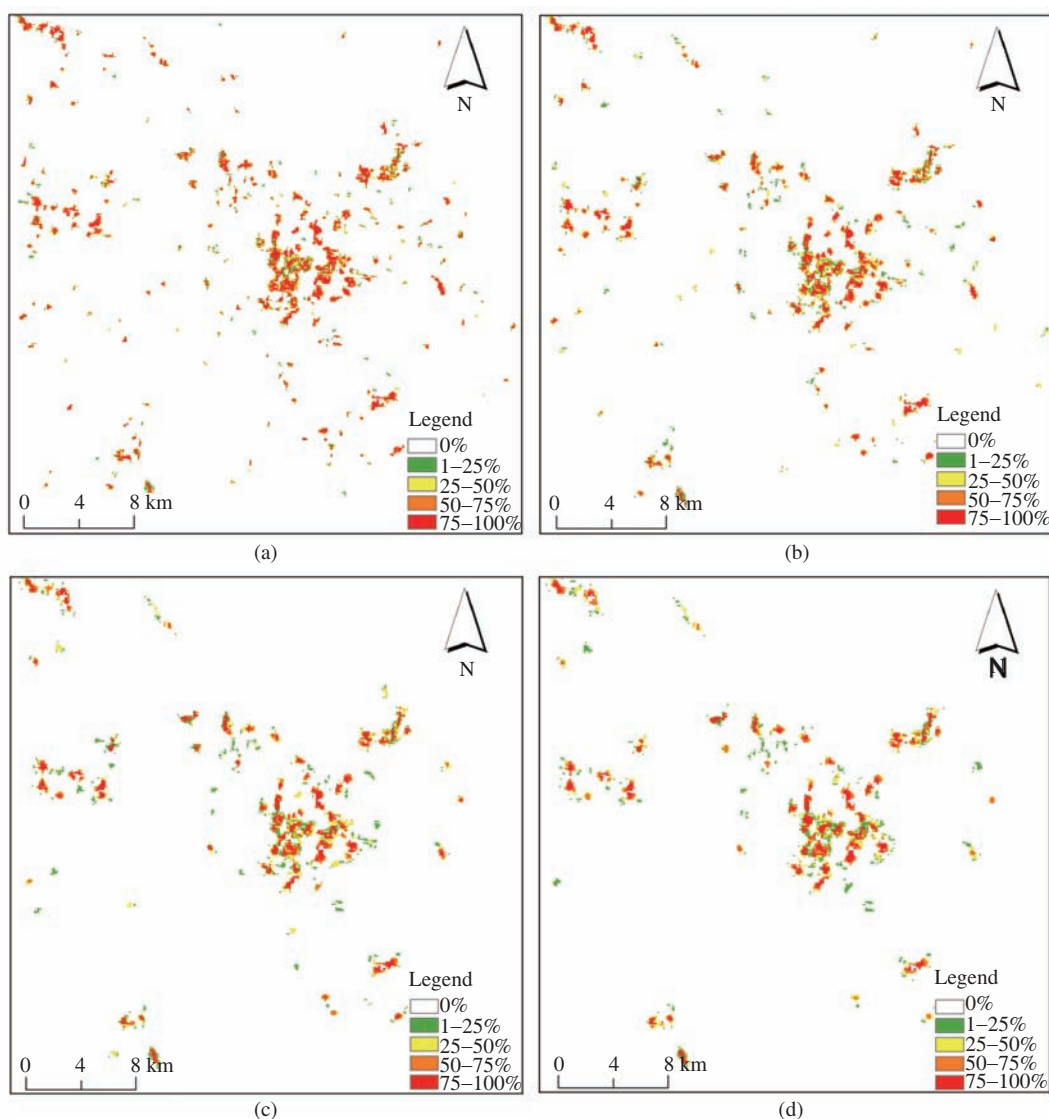


图 4 2004 年长沙城市热岛信息提取结果图

Figure 4 The extraction results of UHI, Changsha, 2004

- (a) The size of moving window is 3×3 ; (b) the size of moving window is 5×5 ;
- (c) the size of moving window is 7×7 ; (d) the size of moving window is 9×9

通过表 2 的统计结果, 表明在窗口从 3×3 增大至 7×7 的过程中, 缀块总数与缀块密度逐渐减小, 但其最大缀块的比重变化不大, 表明窗口大小的变化对提取城市中心热岛并无很大影响, 缀块总数的减少源自于小范围热岛区域的减少. 当窗口从 7×7 增大至 9×9 后, 缀块总数与缀块密度仍旧下降, 但最大缀块密度反而升高, 表明从窗口大于 7×7 以后, 热岛缀块出现粘合式扩展, 也证明了较大范围的窗口更能从宏观尺度反映城 - 郊热岛关系以及热岛总体布局.

综上所述, 对于利用 UTAE 算法提取热岛信息而言, 滑动窗口尺寸的变化会引起提取结果的不同, 这种现象类似于尺度效应. 即对于相同的热分布, 粒度 (空间分辨率) 不变, 幅度 (滑动窗口的尺寸) 的改变就足以影响提取结果.

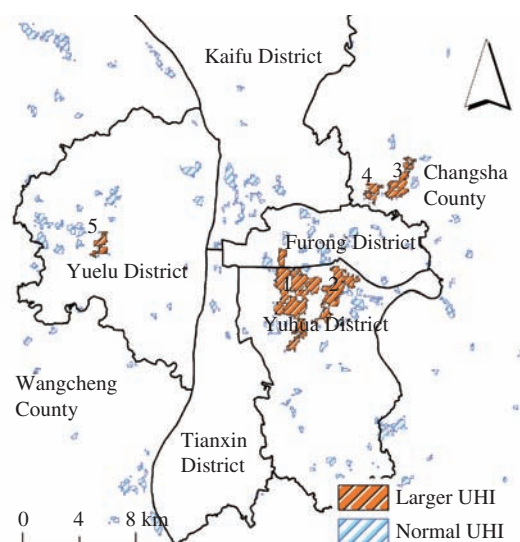


图 5 长沙大面积热岛缀块位置示意图

Figure 5 The distribution of larger UHI patch in Changsha

表 2 长沙形态格局空间韵律指数

Table 1 The morphological pattern spatial rhythm index of UHI in Changsha

| Moving window | NP | PD(number/km ²) | LPI (%) |
|---------------|-----|-----------------------------|---------|
| 3×3 | 274 | 0.2739 | 0.6106 |
| 5×5 | 216 | 0.2159 | 0.6052 |
| 7×7 | 177 | 0.1769 | 0.5906 |
| 9×9 | 166 | 0.1659 | 0.5979 |

5 结论与讨论

本文使用针对城市热岛特点提出的 UTAE 算法, 使用滑动窗口来提取热岛像元和热岛强度, 使得算法具有动态阈值的特点和无偏 (unbias) 特性, 克服了传统城市热岛提取方法中阈值主观性大的缺点. 实验结果表明, 该方法在提取城市热岛的范围以及热岛强度方面具有较好的性能. 较大尺度的窗口可以从宏观尺度反映城—郊热岛关系以及热岛总体布局, 较小尺度的窗口 (3×3 以及 5×5) 针对小范围的热岛较为敏感, 因此适用于研究城市热岛产生的根源和驱动因子. 关于该算法的进一步研究可从以下几个方面展开: (1) 由于所得数据的限制, 未得到长沙地区的夜间热红外数据. 而不同的下垫面在昼夜变化中温度会产生极大差异 (如: 水体), 因此利用 IRMSS 夜间热红外数据的城市热岛信息提取仍需进一步研究. (2) 针对 CBERS-02 IRMSS 数据以及后续星 CBERS-03/04 IRS 数据, 由于空间分辨率的提高, 使得算法所用的滑动窗口的尺度分析需进一步研究. (3) 热岛是气候变化和全球变化的一种反映, 需在长时间地表温度或气温的明显变热的变化过程中确定. 卫星遥感数据为瞬时数据, 只能反映图像采集时刻该地区的温度分布状况. 故日后可尝试采用数据同化方法获得连续的温度信息, 以期更好地研究热岛效应.

参考文献

- 1 Howard L. Climate of London Deduced from Meteorological Observation. London: Harvey and Datron, 1833. 1–324
- 2 Chen Y H, Li J, Li X B. Thermal Environment of Urban Space. Beijing: Science Press, 2003. 1–5
- 3 Rao P K. Remote sensing of urban heat islands from an environment satellite. *B Am Meteorol Soc*, 1972, 53: 647–648
- 4 Li Z Q, Gong C L, Hu Y, et al. The progress of the remote sensing research on urban heat island. *Remote Sens Inform*, 2009, 8: 100–105
- 5 Hu H L, Chen Y H, Gong A D. Advances in the application of remotely sensed data to the study of urban heat island. *Remote Sens Land Resour*, 2005, 3: 5–9, 13
- 6 Li F J, Ma A Q, Ding Y D, et al. Research on urban heat island effect based on Landsat data. *Remote Sens Technol Appl*, 2009, 24: 553–558
- 7 Chen Y H, Shi P J, Li X B. Research on spatial thermal environment in Shanghai city based on remote sensing and GIS. *Acta Geod et Cartogr Sin*, 2002, 31: 139–144
- 8 Zhang Y, Yu T, Gu X F, et al. Land surface temperature retrieval from CBERS-02 IRMSS thermal infrared data and its applications in quantitative analysis of urban heat island effect. *J Remote Sens*, 2006, 10: 789–797
- 9 Ji Q, Yu M. Study on land surface temperature retrieving and thermal environment evaluation based on CBERS-02 IRMSS and MODIS data. *Geogra Geo-Inf Sci*, 2009, 25: 78–81, 87
- 10 Zhou H M, Zhou C H, Ge W Q, et al. The surveying on thermal distribution in urban based on GIS and remote sensing. *Acta Geogr Sin*, 2001, 56: 189–197
- 11 Gong A D, Jiang Z Y, Li J, et al. Urban land surface temperature retrieval based on Landsat TM remote sensing images in Beijing. *Remote Sens Inform*, 2003, 3: 18–20, 30
- 12 Peng Z, Liao H P, Guo Y T, et al. Influence of land cover change on land surface temperature in the mountainous city. *Geogra Res*, 2009, 28: 673–684
- 13 Li H, Zeng Y N, Yun P D, et al. Temporal and spatial characteristics of urban heat island in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan area based on MODIS data. *Sci Surv Mapp*, 2007, 32: 108–110, 116
- 14 Qin Z H, Zhang M H, Karnieli A, et al. Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM6 data. *Acta Geogra Sin*, 2001, 56: 456–466
- 15 Jimenez-Munoz J C, Sobrino J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *J Geophys Res*, 2003, 108: 4688–4695
- 16 Huang M F, Xing X F, Wang P J, et al. Comparison between three different methods of retrieving surface temperature from Landsat TM thermal infrared band. *Arid Land Geogr*, 2006, 29: 132–137
- 17 Streutker D R. A remote sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *Int J Remote Sens*, 2002, 23: 2595–2608
- 18 Zhang J, Wang Y, Wang Z. Change analysis of land surface temperature based on robust statistics in the estuarine area of Pearl River (China) from 1990 to 2000 by Landsat TM/ETM+. *Int J Remote Sens*, 2007, 28: 2383–2390
- 19 Yang B, Liu Y P, Ma S, et al. The technology based on improved TAE algorithm to extract the information of urban heat island. *Geogra Res*, 2011, 30: 871–878
- 20 Zhou M Y, Qu S H, Li Y Y, et al. Heat island and the characteristics of its circulation over Beijing area. *Environ Sci*, 1980, 1: 12–18
- 21 Li X R, Hu F, Shu W J. Research on the characteristics of Beijing winter UHI and the influencing factors of a strong UHI and a weak one. *J Chinese Acad Sci*, 2007, 24: 431–438
- 22 Bai H Z, Ren Y G, Fang F. Characteristics of urban heat island effect and its influencing factors in Lanzhou. *Meteor Sci Technol*, 2005, 33: 492–495, 500
- 23 Liu J P, Lin X D, Liu Y F, et al. Survey on winter urban heat island in Xi'an. *Acta Energ Sol Sin*, 2007, 28: 912–917
- 24 Li Z H, Tang B, Ren Q F. A study on the effects of the heat and wet island in the city of Chongqing during wintertime. *Acta Geogra Sin*, 1993, 48: 358–366
- 25 Zhang Y, Gu X F, Yu T, et al. The synthetic radiometric calibration for CBERS-02 IRMSS thermal band. *Sci China Ser E-Tech Sci*, 2005, 35: 70–88

- 26 Qin Z H, Li W J, Zhang M H, et al. Estimating of the essential atmospheric parameters of mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat TM6. *Remote Sens Land Resour*, 2003, 56: 37–43
- 27 Zhang J. Spatial and statistical analysis of thermal satellite imagery for extraction of coal fire related anomalies. PhD Thesis. Austria: Technical University Vienna, 2004
- 28 Kuenzer C, Hecker C, Zhang J, et al. The potential of multidiurnal MODIS thermal band data for coal fire detection. *Int J Remote Sens*, 2008, 29: 923–944
- 29 Zhang Y C, Zhao Z Q, Li S C, et al. Indicating variation of surface vegetation cover using SPOT NDVI in the northern part of North China. *Geogra Res*, 2008, 27: 746–754
- 30 Xu H Q. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index(MNDWI). *J Remote Sens*, 2005, 9: 589–595
- 31 Xu H Q. Fast information extraction of urban built-up land based on the analysis of spectral signature and normalized difference index. *Geogra Res*, 2005, 9: 311–320
- 32 Qin Z H, Li W J, Xu B, et al. The estimation of land surface emissivity for Landsat TM6. *Remote Sens Land Res*, 2001, 61: 28–36, 41
- 33 Nerry F, Labeled J, Stoll M P. Spectral properties of land surfaces in the thermal infrared 1. Laboratory measurements of absolute spectral emissivity signatures. *J Geophys Res*, 1990, 95: 7027–7044
- 34 Salisbury J W, D’Aria D M. Emissivity of terrestrial materials in the 8-14- μm atmospheric window. *Remote Sens Environ*, 1992, 42: 83–106
- 35 Kuenzer C, Zhang J, Li J, et al. Detecting unknown coal fires: synergy of coal fire risk area delineation and improved thermal anomaly extraction. *Int J Remote Sens*, 2007, 28: 4561–4585

Application of UTAE algorithm in urban heat island detection based on CBERS-02 IRMSS thermal infrared data

LIU YuPeng^{1,2,3}, YANG Bo^{1*}, YU DeYong^{2,3}, WU JianJun³ & JIANG WeiGuo³

1 *College of Resources and Environmental Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China;*

2 *State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;*

3 *Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs/Ministry of Education, Beijing 100875, China*

*E-mail: yb@hunnu.edu.cn

Abstract This paper discusses the use of the Algorithm of Urban Thermal Anomaly Extraction (UTAE) in extracting information on urban heat islands (UHI) from CBERS-02 Infrared Multispectral Scanner (IRMSS) data. The algorithm uses a robust threshold estimation method that scans the entire image through a moving window (3×3 to 9×9 pixels) and calculates a threshold of mean thermal value $+1\times$ standard deviation. It distinguishes between UHI and non-UHI areas and assesses UHI intensity according to the cumulative number of pixels identified as thermal anomalies. Threshold estimation is dynamic and the algorithm can be considered unbiased. This method is used to estimate the area of UHI in Changsha which varies from 27.21 km^2 to 33.98 km^2 on 13 February 2004. As to UHI intensity analyses at macro-scale, larger windows should be used to reflect the relationship between urban and rural areas embodied in general development trends, while studies at micro-scale smaller windows should be used to analyze the specific distribution of UHIs and identify relationships among different types of underlying surface, and their driving factors. Finally, we discuss the applicability of the method to data generated by CBERS and its successors.

Keywords remote sensing, urban heat island, UTAE algorithm, CBERS