

## 基于单通道算法的 HJ-1B 与 Landsat 5 TM 地表温度反演一致性研究

罗菊花<sup>1,2</sup>, 张竞成<sup>2,3</sup>, 黄文江<sup>2\*</sup>, 杨贵军<sup>2</sup>, 顾晓鹤<sup>2</sup>, 杨浩<sup>2</sup>

1. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 遥感科学国家重点实验室, 北京 100875
2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097
3. 浙江大学环境与资源学院/农业遥感与信息技术应用研究所, 浙江 杭州 310029

**摘要** 针对传感器参数与 Landsat 5 TM 较为相近的环境减灾卫星 HJ-1B 的热红外数据是否能达到与 TM6 反演地表温度同样的效果的问题, 作者获取了 2009 年 4 月 15 日覆盖北京地区相同范围的 HJ-1B 影像和 Landsat 5 TM 影像, 采用 Jiménez-Muñoz 和 Sobrino 的普适性单通道算法, 通过遥感数据获取反演参数, 对研究区的地表温度进行反演, 并对两类数据反演结果的一致性进行了分析和评价。通过对反演结果的统计分析和分级填图表明, 基于普适性单通道算法的 HJ-1B 与 TM 的热红外波段反演的地表温度在数值上和空间分布趋势上一致性较高。因此, 具有较高时间分辨率和较大幅宽等优势 HJ-1B IRS 数据在地表温度反演方面具有更大的潜力和应用范围。

**关键词** 单通道算法; HJ-1B; Landsat 5 TM; 地表温度

**中图分类号:** TP751 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2010)12-3285-05

### 引言

地表温度是地-气系统相互作用过程的一个重要的物理参数, 它综合反映了地-气能量与物质交换的结果, 在气候、水文、生态学和生地化学等许多领域都有广泛的应用。近年来, 随着遥感技术的快速发展, 国内外不少学者在热红外遥感数据反演地表温度领域做了大量研究, 并取得了一定的成果, 提出了一系列的地表温度反演算法, 包括单通道法<sup>[1]</sup>、单窗口法<sup>[2]</sup>、多通道法(分裂窗法或劈窗法)<sup>[3, 4]</sup>和多通道多角度法<sup>[5]</sup>等, 基于各种算法反演的大面积地表温度信息已被广泛的应用在农作物估产、大面积病虫害监测、预测林业灾情、作物长势和农业旱情监测、农田耗水量估算、生态评估、灾害监测及城市环境等方面。Weng 等利用 Landsat 7 ETM+ 热红外数据反演得到地表温度数据来研究美国印第安纳州 Indianapolis 市的城市热岛效应<sup>[6]</sup>; Roth 等利用 AVHRR 数据对北美西海岸的几个重要城市的地表温度及其差异进行了研究<sup>[7]</sup>; Gallo 等分析了 NDVI 与利用遥感数据反演的地表温度之间的关系<sup>[8]</sup>; 马建文等利用 MODIS 数据对蝗虫发生环境的地表温度进行反演, 从而为监测和预测蝗虫的发生情况提供了依据<sup>[9]</sup>。目前利用单一热红外通道反演地表温度的研

究中, 研究最多的是 Landsat TM 数据, 其反演算法主要为大气校正法、单窗口算法和普适性单通道算法, 且均得到了广泛的应用。刘绍明等针对 TM/ETM+ 数据, 分别利用三种遥感反演方法对地表温度进行了反演和验证, 结果表明, 三种反演算法反演的地表温度空间分布趋势一致<sup>[10]</sup>。

HJ-1B 卫星是我国自行研制的两颗环境与灾害监测预报小卫星(HJ-1B, HJ-1A)星座的重要组成部分之一, 于 2008 年 9 月 6 日上午 11 点 25 分成功发射。其中, HJ-1B 卫星有效载荷为两台宽覆盖多光谱可见光相机(CCD)和一台红外相机(IRS)。与 Landsat 5 TM 传感器相似, HJ-1B 的 IRS 只有一个热红外通道, 其光谱范围(10.4~12.5 μm)亦与 TM6 非常接近。相比 Landsat 5 TM, HJ-1B 具有重访周期短(2 d), 幅宽大(720 km)等优势, 因此, 在环境灾害监测及其他领域将有更广泛的应用。

然而, 目前罕有报道两类传感器在地表温度反演方面一致性的研究。本文通过对同一区域同日获取的 HJ-IRS 和 TM 影像, 分别利用普适性单通道算法进行地表温度的反演研究。通过比较和分析反演结果, 对两类传感器在地表温度反演方面的一致性进行评价。

收稿日期: 2010-02-10, 修订日期: 2010-05-20

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2008BADA8B02-2, 2007BAH12B02, 2007BAD44B06, 2008BADA8B02-2), 国家(863 计划)项目(2006AA10A302, 2006AA10Z203)和环境与灾害监测预报小卫星星座减灾应用系统项目资助

作者简介: 罗菊花, 女, 1981 年生, 北京师范大学博士研究生 e-mail: luojuhua@126.com

\* 通讯联系人 e-mail: yellowstar0618@163.com

# 1 研究方法

## 1.1 遥感数据源及预处理

基于普适性单通道算法的需要及相关参数获取,本研究

获取了同一天覆盖共同区域的 HJ-1B IRS、TM 影像以及 1 km 的 MODIS L1B Calibrated Radiances 产品。另外,由于后期的参数求算需要,本研究还获取了 HJ-1B 的 CCD2 影像。各遥感数据源的详细情况如表 1。

Table 1 Category of data source and corresponding parameters

遥感数据类型	Landsat 5 TM	HJ-1B		BMODIS
		HJ-1B IRS	HJ-1B CCD2	L1B Calibrated Radiances 产品
获取数量	1 景	1 景	1 景	2 景
产品轨道号	123/032	3/64	455/68	
空间分辨率	120 m(热红外)	300 m(热红外)	30 m	1 km
重返周期	16 天	2 天	2 天	1 天
获取时间(北京时间)	2009-4-15 10:40	2009-04-15 11:53	2009-04-16 12:23:57	2009-04-15 10:20 2009-04-15 12:00

数据准备完成后,对遥感影像进行预处理,包括对 TM 和 HJ-1B CCD2 数据的定标和辐射校正、对 TM 及 HJ-1B 数据的几何精校正以及各影像的截取和重采样。其中几何精校正是通过一景带有准确空间位置的 TM 历史影像为基准进行的,使得校正后的误差控制在半个象元之内;对于

MOD021KM-Level 1B Calibrated Radiances 产品,使用 ENVI 自带的校正模块对其进行几何校正。然后使用 ENVI 软件提取 TM 及 HJ-1B 的热红外波段,对研究区进行裁剪和重采样。其中,研究区为各影像数据的共同区域,该研究区包含了北京市区和大部分近郊(图 1)。

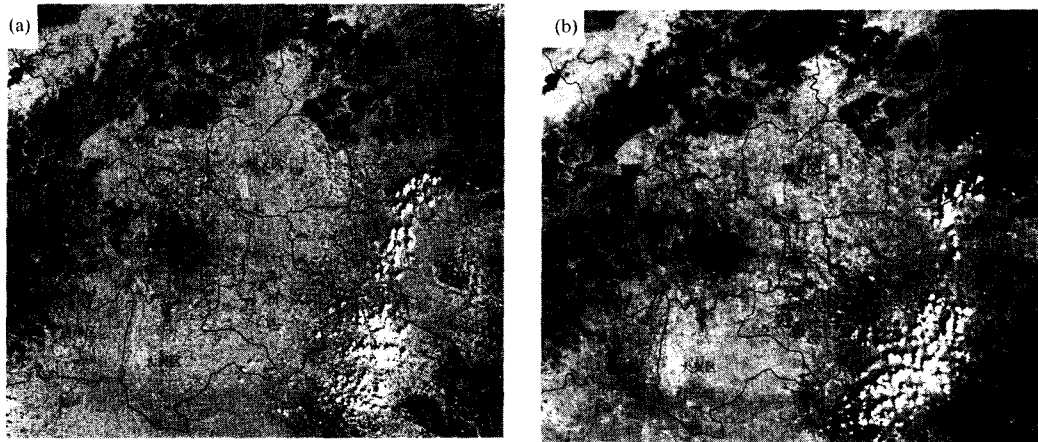


Fig. 1 Landsat 5 TM image (a) and HJ-1B IRS image (b) of study area in 15th, Apr. 2009

## 1.2 普适性单通道算法及参数获取

单通道算法是由 Jimenez 等<sup>[1]</sup>提出的一种基于一个热红外通道的遥感反演地表温度的普适性算法。具体计算公式如下

$$T_s = \gamma \times [(\Psi_1 \times L_{\text{sensor}} + \Psi_2) / \epsilon + \Psi_3] + \delta$$

$$\gamma = 1 / [C_2 L_{\text{sensor}} / T_{\text{sensor}}^2 (\lambda^1 L_{\text{sensor}} / C_1 L_{\text{sensor}} + \lambda^{-1})]$$

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

其中,  $T_s$  为地表温度,  $L_{\text{sensor}}$  为星上辐射亮度,  $T_{\text{sensor}}$  为星上辐射亮度对应的亮度温度,  $\lambda$  为有效波长,  $C_1$  和  $C_2$  是 Planck 函数常量,  $C_1 = 1.191 04 \times 10^8 (\Omega \cdot \mu\text{m} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{sr}^{-1})$ ,  $C_2 = 1.438 77 \times 10^4 (\mu\text{m} \cdot \text{K})$ , 大气函数  $\Psi_1$ ,  $\Psi_2$  和  $\Psi_3$  是关于大气水汽含量  $\omega$  的函数。

对于不同的传感器,单通道算法的原理虽然是相同的,但算法中的一些经验公式必须根据传感器相应的热红外波段

相应特征重新进行拟合得到。

对于 Landsat TM 的热红外波段而言<sup>[11]</sup>

$$L_{\text{sensor}} = 1.237 8 + 0.055 158 DN$$

其中 DN 为热红外波段的像元灰度值。

$$T_{\text{sensor}} = 1 260.56 / \ln(607.76 / L_{\text{sensor}} + 1)$$

$$\lambda = 11.457$$

$$\Psi_1 = 0.147 14 \omega^2 - 0.155 83 \omega + 1.123 4$$

$$\Psi_2 = -1.183 6 \omega^2 - 0.376 07 \omega - 0.528 94$$

$$\Psi_3 = -0.045 54 \omega^2 + 1.871 9 \omega - 0.390 71$$

而对于 HJ-1B 卫星数据的热红外波段,段四波等根据其通道响应函数对普适性单通道算法进行了修订,重新得到了算法中的经验关系<sup>[12]</sup>

$$L_{\text{sensor}} = (DN + 44.598) / 61.472$$

$$\lambda = 11.511$$

$$\Psi_1 = 0.04 12\omega^2 - 0.093 6\omega + 0.985 6$$

$$\Psi_2 = -0.717 4\omega^2 - 0.881 2\omega - 0.394 1$$

$$\Psi_3 = 0.263 9\omega^2 + 0.649 9\omega - 0.470 3$$

由以上公式可知,单通道算法反演地表温度的关键在于地表比辐射率  $\epsilon$  和大气水分含量  $\omega$  的获取。

### 1.2.1 地表比辐射率的计算

地表比辐射率是热红外波段反演地表温度的关键参数之一,主要取决于地表的物质结构和遥感器的波段区间,HJ-1B的热红外波段范围为 10.4~12.5  $\mu\text{m}$ ,与 TM 热红外波段的光谱范围(10.5~12.5  $\mu\text{m}$ )十分接近,因此,本研究暂不考虑波段区间的差异对比辐射率的影响,只考虑地表的物质结构。地球表面不同区域的地表结构虽然很复杂,但从卫星像元的尺度来看,可以大体由三种类型构成,分别为自然表面,城镇地表和结构简单的水面。

对于地表比辐射率的求算,本研究参考覃志豪等人对 Landsat TM6 地表比辐射率的估计方法来分别获取典型地物、自然表面以及城镇的混合象元比辐射率<sup>[13]</sup>。

#### (1)地表类型的划分

由于 TM 比 HJ-1B 的空间分辨率高,因此,本研究采用专业分类软件 Ecognition7.0 中提供的非监督分类算法,对 TM 影像执行分类操作。通过对结果的解译和归并,将地表类型划分为三类:水体、自然地表和城镇。由于研究区的影像有 20%左右的云覆盖,因此,除了以上三种类型外,还单独将云提取为一类,以方便后期的处理,在云区的处理中,考虑到 HJ-1B 影像的云区大于 TM 影像的云区,故本研究以 HJ-1B 影像的云区为标准对两幅影像进行了掩膜处理。其中,组成自然表面的像元可以简单的看作是由不同比例的植被叶冠和裸土组成;城镇像元主要是由各种建筑物表面和分布其中的绿化植被所组成。

#### (2)地表比辐射率的求算

根据覃志豪等对地表比辐射率的求算方法<sup>[13]</sup>,利用 TM 和 HJ-1B-CCD2 的 NDVI 值,分别得到了 TM 和 HJ-1B 在 2009 年 4 月 15 日地表比辐射率的空间分布结果。

### 1.2.2 大气水分含量的获取

由孟宪红等的研究表明,MODIS 水汽产品(空间分

辨率为 5 km)对小尺度地区的水汽研究并不一定适用,而与 MODIS 水汽产品相比,认为用通道比值法反演大气水分含量有更高的精度<sup>[14, 15]</sup>。故本研究采用 2009 年 4 月 15 日 MODIS 的第 2, 19 通道比值来计算大气水分含量

$$\omega = [(\alpha \ln(\rho_{19}/\rho_2)/\beta)]^2$$

其中,式中,  $\alpha=0.02$ ,  $\beta=0.651$ ;  $\rho_{19}$ ,  $\rho_2$  为 MODIS 数据第 19 和第 2 波段的表观反射率。

由于本研究用于地表温度反演的 HJ-1B 与 TM 影像,在获取时间上稍有差异(见表 1),因此,为了减小大气水分含量对地表温度反演结果的影响,本研究下载了与这两景影像时间较相近的两景 MOD021KM-Level 1B Calibrated Radiances 产品,并计算得到了与 HJ-1B 和 TM 分别匹配的两套大气水分含量影像数据。

## 2 结果与分析

利用 ENVI 4.5 的 IDL 对以上公式进行编译后运行,计算得到研究区的 TM 与 HJ-1B 的地表温度反演结果图,对其反演结果分别进行局部和整体的统计分析,从而对两种传感器的热红外通道在地表温度反演方面的一致性进行全面的评价分析。

### 2.1 两个传感器的不同地物类型的反演结果分析

根据反演结果图,结合地物分类图,分别统计两个传感器不同地物类别的反演结果参数,包括最大值、最小值、均值、标准差以及两个传感器的同种地物类别反演结果的差异百分比(表 2)。统计分析后发现,HJ-1B 热红外通道反演的地表温度在各地物类别的最大、最小值及均值均比 TM6 的大;两个传感器不同地物类别的地表温度总体呈现如下规律:LST-水>LST-自然地表>LST-城镇;两个传感器的同种地物类别的地表温度差异百分比总体小于 1.5%,不同的地物类别相比,水的差异百分比稍大,其他地物类别的差异百分比相近;另外,同种地物类型反演的地表温度的标准差相近,因此两个传感器同种地物类型的反演结果具有相近的离散性。

Table 2 Comparison of LST in different class

	TM-水 /K	HJ1B-水 /K	差异百分比 /%	TM-自然 地表/K	HJ1B-自然 地表/K	差异百分比 /%	TM-城镇 /K	HJ1B-城镇 /K	差异百分比 /%
最大值	300.7	301.3	0.18	305.8	306.1	0.09	306.10	307.9	0.62
最小值	266.2	269.9	1.41	268.9	270.9	0.76	270.27	271.7	0.49
均值	287.2	290.1	0.99	293.1	295.1	0.68	296.13	298.2	0.69
标准差	11.2	11.2		5.5	5.5		5.8	5.2	

### 2.2 地表温度反演结果的空间分布趋势分析

图 2 分别为研究区的 TM 与 HJ-1B 热红外通道地表温度反演结果的直方图,从直方图可以直观地看出,基于两种传感器的热红外波段反演结果较好,基本服从正态分布,且总体分布特征趋于一致。

利用 ARCGIS 的 Natural breaks (Jenks)分类法,对基于

两个传感器热红外通道反演的地表温度结果进行分类填图,结果如图 3,图 4 所示。

由图不难看出,两种传感器对反演的地表温度空间分布趋势基本一致,可得出以下结论:

(1)就北京地区而言,两个传感器能得出一致的结论:北京地区地表温度的空间分布趋势表现出明显的城市热岛效

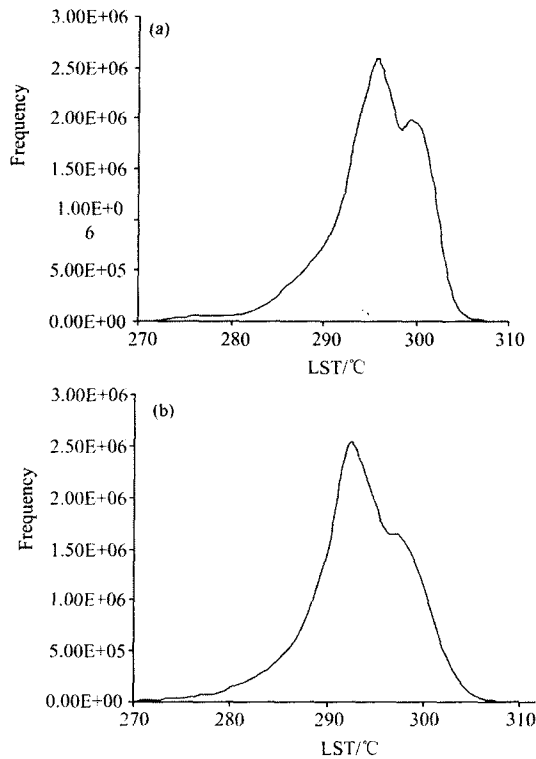


Fig. 2 Histogram of the retrieval LST based on the thermal infrared image of TM and HJ-1B  
(a): HJ-1B; (b): TM

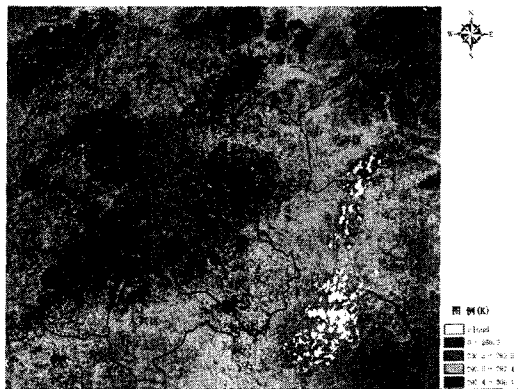


Fig. 3 Retrieval map of LST based on TM6

应, 中心城区地表温度最高, 近郊及远郊地区的温度自城区向四周递减; 就整个研究区而言, 城镇温度高于自然地表温度, 温度最低的为水体, 与前面的各类型地表温度统计结果相一致。这是由于地表温度的高低主要取决于地面物体的热学性质, 如热容量、热惯量、热传导率, 以及地表潜热通量。城市水泥地面和屋顶水分含量低, 接受太阳辐射后地表潜热通量小, 所以升温快, 而水体和植被受热后会以水分蒸发的形式把热量散发出来, 降低自身的温度, 且水体升温慢, 其次, 城市人为放热也是造成城市热岛效应的主要原因<sup>[9]</sup>。

(2) 就两个传感器的反演结果统计可知(表 3), HJ-1B 的

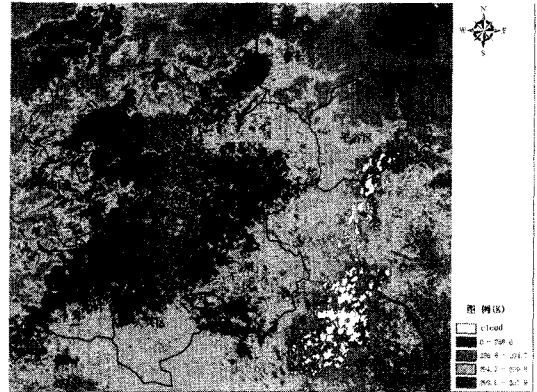


Fig. 4 Retrieval map of LST based on the thermal infrared image of HJ-1B IRS

热红外反演结果比 TM 热红外的反演结果高 2K 左右。在天气晴朗的情况下, 按照温度随时间的日变化规律, 正午前地表温度应逐渐升高, 这与本研究中 HJ-1B(11:53 获取)的平均 LST 高于 TM6(10:40 获取)的平均 LST 的结果一致。

Table 3 Basic statistics of retrieval LST for the two sensors

	Landsat 5 TM 反演的 LST	HJ-1B 反演的 LST
最低温度/K	266.2	269.9
平均温度/K	294.1	296.1
最高温度/K	306.1	307.9
标准差	5.00	5.3

### 3 讨论

利用热红外遥感可以在短时间内获得大范围的地表温度及其温度场的空间分布信息, 与传统方法相比, 具有快速、便捷、观测范围大和信息连续等优点, 因此, 利用热红外遥感数据反演地表温度的技术得到了广泛的应用。目前用一个热红外通道反演地表温度的研究最多的是 TM, 且反演算法较为成熟, 反演结果也较可靠。HJ-1B 与 TM 都仅有一个热红外通道, 且波段范围与 Landsat 5 TM6 相近, 但其具有较高的时间分辨率(2 d), 幅宽大(720 km)的优势。目前利用 HJ-1B 的热红外波段进行地表温度反演的研究尚不多见, 本文通过多源遥感数据获取了反演地表温度所需的参数, 利用普适性单通道算法, 对只有一个热红外通道的 HJ-1B 与 Landsat 5 TM 反演地表温度的一致性进行了评价。通过对两个传感器地表温度反演结果直方图和温度的分级填图比较发现, HJ-1B 与 Landsat 5 TM 热红外通道在地表温度反演方面有很好的 consistency。因此, 具有高时间分辨率, 较大幅宽的 HJ-1B IRS 数据在地表温度反演研究中将有更大的潜力和应用范围。

本研究分别利用 HJ-1B 和 Landsat 5 TM 的热红外通道进行了地表温度的反演, 并得到较为一致的结果。但由于缺乏卫星过境时研究区域的地面红外辐射数据, 故无法对反演结果进行检验, 有关这一方面的研究还有待于继续深入。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 8(D22): 4688.
- [ 2 ] QIN Zhi-hao, ZHANG Ming-hua, Arnon Karnieli, et al(覃志豪, Zhang Minghua, Arnon Karnieli, 等). *Acta Geographica Sinica(地理学报)*, 2001, 56(4): 456.
- [ 3 ] Qin Z, Karnieli A, Berliner P. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(18): 3719.
- [ 4 ] Ulivieri C, Castromuovo M M, Francioni R, et al. *Remote Sensing of Earths Surface and Atmosphere*, 1993, 14(3): 59.
- [ 5 ] Sobrino J A, Li Z L, Stoll M P, et al. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(11): 2089.
- [ 6 ] Deng W, Wan Y Q, Zhao R C. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22: 933.
- [ 7 ] Roth M, Oke T R, Emery W J. *International Journal of Remote Sensing*, 1989, 10: 1699.
- [ 8 ] Gallo K P, MeNab A L, Karl T R, et al. *International Journal of Remote Sensing*, 1993, 14(11): 2223.
- [ 9 ] MA Jian-wen, HAN Xiu-zhen, LUO Jing-ning, et al(马建文, 韩秀珍, 罗敬宁, 等). *Geographical Research(地理研究)*, 2003, 22(2): 253.
- [ 10 ] BAI Jie, LIU Shao-ming, HU Guang(白洁, 刘绍明, 扈光). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(农业工程学报)*, 2008, 24(9): 148.
- [ 11 ] José A, Sobrino J A, Juan C, et al. *Remote Sensing of Environment*, 2004, 90(4): 434.
- [ 12 ] DUAN Si-bo, YAN Guang-jian, QIAN Yong-gang, et al(段四波, 阎广建, 钱永刚, 等). *Progress in Natural Science(自然科学进展)*, 2008, 18(9): 1001.
- [ 13 ] QIN Zhi-hao, ZHU Wen-juan, XU Bin, et al(覃志豪, 朱文娟, 徐斌, 等). *Remote Sensing for Land & Resources(国土资源遥感)*, 2004, (3): 28.
- [ 14 ] MENG Xian-hong, LÜ Shi-hua, ZHANG Yu, et al(孟宪红, 吕世华, 张宇, 等). *Advances in Water Science(水科学进展)*. 2007, 18(2): 264.
- [ 15 ] LI Hua, ZENG Yong-nian, YUN Pei-dong, et al(历华, 曾永年, 贲培东, 等). *Journal of Remote Sensing(遥感学报)*, 2007, 11(6): 891.

## The Analysis of Consistency between HJ-1B and Landsat 5 TM for Retrieving LST Based on the Single-Channel Algorithm

LUO Ju-hua<sup>1,2</sup>, ZHANG Jing-cheng<sup>2,3</sup>, HUANG Wen-jiang<sup>2\*</sup>, YANG Gui-jun<sup>2</sup>, GU Xiao-he<sup>2</sup>, YANG Hao<sup>2</sup>

1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

3. Institute of Agriculture Remote Sensing & Information System Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

**Abstract** To ascertain whether the thermal infrared image of HJ-1B which has the similar sensor parameter and setting to Landsat 5 TM6 image is applicable for retrieving the land surface temperature (LST), a comparison of retrieved LST between two types of sensors was conducted. Two scenes of thermal infrared images that came from different sensors were acquired in 5th, Apr 2009, which covered the same region in Beijing. To retrieve LST, a generalized single-channel algorithm developed by Jiménez-Muñoz and Sobrino was applied. The LST of study area for both images was thus generated. Based on the LST mapping results and corresponding statistics, an apparent trend could be observed which indicated the consistency in both LST value and its spatial distribution. Consequently, the performance of HJ-1B IRS serving as the data source for LST retrieval was assessed and illustrated in this study. Besides, a high temporal resolution as well as wide swath of the HJ-IRS data suggested its potential in application.

**Keywords** Single-channel algorithm; HJ-1B; Landsat 5 TM; Land surface temperature (LST)

(Received Feb. 10, 2010; accepted May 20, 2010)

\* Corresponding author