

农业遥感

“高分五号”卫星地表温度反演与验证*

王殿中¹, 李任君^{2,3}, 高懋芳^{2*}, 朱晓琳²

(1. 北京空间机电研究所, 北京 100094; 2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;
3. 桂林理工大学测绘地理信息学院, 广西桂林 541006)

摘要:【目的】“高分五号”卫星是中国首颗同时具有4个热红外通道的遥感卫星, 文章目的是促进中国遥感卫星的应用, 提高地表温度反演能力。【方法】文章对“高分五号”卫星分别采用两通道劈窗算法和四通道劈窗算法反演得到内蒙古地区2019年3月份的地表温度, 并通过实测站点温度数据对反演温度进行检验。【结果】两通道劈窗算法的温度RMS为2.168 K, 四通道劈窗算法的温度RMS为1.609 K, 结果表明四通道劈窗算法反演精度更高。将四通道劈窗算法应用到2019年3月至6月获取的山东省部分区域数据, 反演了地表温度, 用于区域尺度农情信息监测与定量评价, 为农业精细化管理提供技术支持。【结论】研究结果表明, “高分五号”卫星地表温度反演精度较高, 其高空间分辨率的地表温度信息将在农业干旱监测中发挥重要作用。

关键词: 劈窗算法; 地表温度; 热红外遥感; “高分五号”卫星

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20200203

0 引言

地表温度是农作物生长发育过程中的一个重要参数, 是农业旱灾监测模型和农作物估产模型的关键因子^[1], 准确获取地表温度对农业旱灾监测具有重大意义, 其研究进展直接关系到农业旱情遥感监测研究的发展方向^[2], 因此获取地表温度的精度直接影响到农业旱灾的准确监测。在地表温度反演算法中, 分裂窗算法因其原理清晰、计算简单得到了广泛的应用^[3-5]。其基本原理是利用大气窗口内, 相邻通道对大气不同的吸收作用, 通过两个或两个以上相邻通道获取的星上亮温的线性组合或二次多项式组合反演地表温度^[6-7]。

“高分五号”(GF-5)卫星是我国热红外波段空间分辨率最高的民用卫星^[8]。其搭载的全谱段光谱成像仪(VIMS)是我国第二代从可见光到热红外光谱范围的星载多光谱成像仪, 该成像仪以60 km幅宽、20/40 m的空间分辨率的能力, 获取地物在可见光到长波红外的光谱辐射信息^[9]。VIMS具有4个热红外通道, 可以应用劈窗算法反演地表温度,

收稿日期: 2020-02-28

第一作者简介: 王殿中(1979—), 博士、研究员。研究方向: 光学传感器成像质量预估与评价。Email: drgnw@163.com

* 通信作者简介: 高懋芳(1980—), 博士、副研究员。研究方向: 农业定量遥感。Email: gaomaofang@caas.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目“耦合遥感与作物生长模型的农业干旱预警研究”(41871282); 高分辨率对地观测系统重大专项(50-Y20A07-0508-15/16)

监测局部地区高温，为干旱监测提供相关信息。陈媛媛等^[10]对二次项劈窗算法中地表比辐射量对地表温度反演精度的影响进行了分析与改进，得到适于 GF-5 卫星的地表温度反演算法；Ren^[11]将温度比辐射率分离算法和劈窗算法结合应用到 GF-5 卫星上，得到了较为准确的结果；Xin 等^[12]提出了一种非线性四通道劈窗算法，用于从 GF-5 卫星图像中提取地表温度，结果与以往的算法相比具有较高的精度；崔文杰等^[13]利用单通道以及多通道劈窗算法对 GF-5 卫星热红外数据进行海表温度的模拟反演，验证与分析得出在多通道算法中，四通道劈窗反演精度最高的结论。2018 年 5 月 9 日 2 时 28 分“高分五号”卫星成功发射，目前研究学者提出的适用于“高分五号”卫星热红外地表温度反演的算法大部分是在卫星发射之前使用其他卫星数据模拟生成“高分五号”卫星影像反演地表温度并验证算法精度。主要有劈窗算法、温度辐射分离算法和混合算法，基于真实“高分五号”卫星数据地表温度反演和精度验证的文章比较少。

文章针对 GF-5 卫星热红外数据采用两通道劈窗算法和四通道劈窗算法反演得到内蒙古地区 2019 年 3 月份的地表温度，通过实测站点温度对两种劈窗算法获取的地表温度结果进行验证得到两种劈窗算法的精度，择优选取算法用于反演山东省局部地区地表温度，以使该数据在干旱监测遥感中得到进一步的应用。

1 地表温度反演方法

1.1 两通道劈窗算法

地表温度是衡量地球生态环境的重要指标，劈窗算法是目前利用遥感反演地表温度最成熟的算法^[14]，陈媛媛等^[10]针对 GF-5 卫星热红外数据，分析线性劈窗算法发展过程的两个假设和近似条件对地表温度反演精度的影响，修正近似条件，对二次项劈窗算法在低比辐射率情况下的反演误差进行改进，得到针对 GF-5 卫星数据的海表温度和地表温度反演方法，推进高分辨率热红外数据在相关领域的应用，算法公式为：

$$T_s = T_{10.8} + A (T_{10.8} - T_{11.95})^2 + B (T_{10.8} - T_{11.95}) + (C_{m1} (1 - \varepsilon) + C_{m2} \Delta \varepsilon) W + C_{n1} (1 - \varepsilon) + C_{n2} \Delta \varepsilon + C_0, \quad W < 1g/cm^2 \tag{1}$$

$$T_s = \frac{T_{10.8} + A (T_{10.8} - T_{11.95})^2 + B (T_{10.8} - T_{11.95}) + [C_{a1} (1 - \varepsilon) + C_{a2} \Delta \varepsilon] W^2}{1 - [C_{111} (1 - \varepsilon) + C_{112} \Delta \varepsilon] W} + \frac{[C_{b1} (1 - \varepsilon) + C_{b2} \Delta \varepsilon] W + C_{c1} (1 - \varepsilon) + C_{c2} \Delta \varepsilon + C_d}{1 - [C_{111} (1 - \varepsilon) + C_{112} \Delta \varepsilon] W}, \quad W > 1g/cm^2 \tag{2}$$

式(1)~(2)中， T_s 表示地表温度， $T_{10.8}$ 和 $T_{11.95}$ 分别表示 Band11 和 Band12 的星上亮温； ε 和 $\Delta \varepsilon$ 分别表示 Band11 和 Band12 的平均比辐射率和差值比辐射率； W 表示大气水汽含量。相关系数和常量通过模拟获取参考引用原文。

1.2 四通道劈窗算法

四通道劈窗算法是两通道劈窗算法的再组合，利用 4 个热红外通道对大气不同的吸收作用，对 4 个通道测量值进行各种组合来消除大气的影。Xin 等^[12]基于 GF-5 卫星

2020年4月

开发了一种新的非线性四通道劈窗算法反演地表温度, 算法系数是基于不同地表条件下大气柱水汽的几个子范围获得的, 通过与广义二通道劈窗算法和三通道算法进行比较, 验证得知新算法精度更高^[12]。其公式为:

$$T_s = b_0 + \left(b_1 + b_2 \frac{1 - \varepsilon_{12}}{\varepsilon_{12}} + b_3 \frac{\Delta \varepsilon_{12}}{\varepsilon_{12}^2} \right) \left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right) + \left(b_4 + b_5 \frac{1 - \varepsilon_{12}}{\varepsilon_{12}} + b_6 \frac{\Delta \varepsilon_{12}}{\varepsilon_{12}^2} \right) \left(\frac{T_1 - T_2}{2} \right) \\ + \left(b_7 + b_8 \frac{1 - \varepsilon_{34}}{\varepsilon_{34}} + b_9 \frac{\Delta \varepsilon_{34}}{\varepsilon_{34}^2} \right) \left(\frac{T_3 + T_4}{2} \right) + \left(b_{10} + b_{11} \frac{1 - \varepsilon_{34}}{\varepsilon_{34}} + b_{12} \frac{\Delta \varepsilon_{34}}{\varepsilon_{34}^2} \right) \left(\frac{T_3 - T_4}{2} \right) + \\ b_{13} (T_1 - T_2)^2 + b_{14} (T_3 - T_4)^2 \quad (3)$$

式(3)中, T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 分别表示GF-5卫星Band9、Band10、Band11和Band12的星上亮温, b_0 、 $b_1 \cdots b_{14}$ 为算法回归系数和常量, 基于不同地表条件下大气柱水汽的几个子范围获取算法系数; ε_{12} 、 ε_{34} 、 $\Delta \varepsilon_{12}$ 、 $\Delta \varepsilon_{34}$ 分别表示GF-5卫星Band9、Band10、Band11、Band12这4个通道间的平均比辐射率和差值比辐射率, 系数和常量详见引用原文。

2 数据处理与参数获取

2.1 数据预处理

GF-5卫星地表温度反演是使用全谱段光谱成像仪(VIMS)传感器获取的数据, 该传感器实现12个谱段、60 km幅宽对地观测, 可满足中国在农业精细化监测和生态环境监测等方面的应用需求。GF-5卫星影像的坐标系统为有理多项式(RPC), 每个像素的分辨率并不一定, 利用ENVI的Orthorectify using RPC or RSM模块将GF-5卫星影像转换成UTM投影, 由于Band3和Band4的空间分辨率与热红外波段空间分辨率不同, 在此需要对Band3和Band4的影像进行重采样处理。该实验采用的GF-5卫星数据来源于中国资源卫星应用中心。

由于GF-5卫星Band11和Band12的数据受噪声影响较大, 定标系数不稳定, 反演的地表温度精度较低, 因此该实验通过交叉定标的方法获取GF-5卫星的定标系数。交叉定标法是使用定标精度较高的参考传感器对目标传感器进行定标, 选择两个传感器同时时间相同区域的成像, 通过光谱响应匹配, 建立两个传感器图像之间的联系, 利用参考传感器的定标系数, 实现目标传感器的定标^[15-16]。

下载与GF-5卫星数据对应的同时同地区AST_L1B影像数据, 选取Band10、Band11、Band13、Band14的辐射亮度影像, 作为交叉辐射定标数据, 分别对应GF-5卫星的Band9、Band10、Band11、Band12。在挑选地面定标区域时, 选取比较均一的地方, 为避免像素之间的差异, 在每个定标区域上选择若干个像素, 求取平均值作为该地物的辐射亮度值。提取GF-5卫星影像与ASTER影像在多个定标区域的像素平均值之后, 将ASTER的辐射亮度值与GF-5卫星数据的像素DN值进行线性拟合, 得到GF-5卫星影像的交叉辐射定标系数。如采用两通道劈窗算法可选用与GF-5数据对应的同时同地区Landsat 8卫星影像, 计算Band10、Band11的辐射亮度影像, 作为交叉定标数据, 分别对

应 GF-5 卫星的 Band11、Band12，与利用 AST_L1B 数据交叉定标过程相似。

2.2 获取星上亮度温度

2.2.1 辐射定标

GF-5 卫星图像是用 DN 值来表示，根据交叉定标拟合获取的辐射定标系数将 GF-5 卫星影像灰度值 (DN) 转成辐亮度值，星上辐亮度计算公式为：

$$L=DN \times K+C \tag{4}$$

式 (4) 中， L 为辐亮度； DN 为灰度值； C 、 K 为定标系数。

2.2.2 普朗克函数

在计算得到的辐亮度基础上，利用普朗克函数计算亮度温度，公式为：

$$t(\lambda, L) = \frac{C_2}{\lambda \cdot \ln(C_1/\lambda^5 L + 1)} \tag{5}$$

式 (5) 中， λ 表示中心波长， L 为星上辐亮度，由上一步获取， $t(\lambda, L)$ 表示在中心波长为 λ 通道的星上亮温，单位为 K。Band9、Band10、Band11 和 Band12 的中心波长分别为 8.19 μm 、8.66 μm 、10.89 μm 、11.88 μm ； C_1 、 C_2 分别是第一、第二辐射常数， $C_1=1.191 \times 10^8 \text{W} \cdot (\mu\text{m})^4 / (\text{sr} \cdot \text{mm}^2)$ ， $C_2=1.439 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$ ；根据式 (5) 得到 4 个通道的星上亮温 $T_{8.19}$ 、 $T_{8.66}$ 、 $T_{10.8}$ 和 $T_{11.95}$ 。

2.3 获取地表比辐射率

地表比辐射率是用热红外波段遥感数据反演地表温度的关键参数^[17]，该实验使用的比辐射率数据来自 ASTER 光谱库，包含多达 2 300 余种典型地物的光谱，其光谱范围从 0.4 μm 到 15.4 μm ^[18]。从 ASTER 光谱库中选取不同类型的土壤、植被、水体 / 雪 / 冰等主要地物的比辐射率光谱曲线与 GF-5 卫星全谱段光谱成像仪的热红外通道光谱响应函数卷积得到对应的通道比辐射率。利用归一化植被指数阈值法求取 GF-5 卫星的地表比辐射率^[19-21]，具体公式为：

$$\epsilon_\lambda = \begin{cases} \epsilon_{s\lambda} & NDVI < NDVI_s \\ \epsilon_{v\lambda} P_v + \epsilon_{s\lambda} (1 - P_v) & NDVI_s < NDVI < NDVI_v \\ \epsilon_{v\lambda} P_v & NDVI > NDVI_v \end{cases} \tag{6}$$

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right]^2 \tag{7}$$

式中， ϵ_i 表示 GF-5 卫星热红外通道的地表比辐射率； λ 表示中心波长， $\epsilon_{v\lambda}$ 和 $\epsilon_{s\lambda}$ 分别是植被和裸土的地表比辐射率； P_v 表示像元的植被覆盖度，由上述公式 (6) ~ (7) 获得 4 个热红外通道比辐射率： $\epsilon_{8.19}$ 、 $\epsilon_{8.66}$ 、 $\epsilon_{10.89}$ 、 $\epsilon_{11.88}$ ，进一步得到平均比辐射率： $\epsilon_{12} = (\epsilon_{8.19} + \epsilon_{8.66}) / 2$ 、 $\epsilon_{34} = (\epsilon_{10.89} + \epsilon_{11.88}) / 2$ ，差值比辐射率： $\Delta \epsilon_{12} = \epsilon_{8.19} - \epsilon_{8.66}$ 、 $\Delta \epsilon_{34} = \epsilon_{10.8} - \epsilon_{11.95}$ 。对于两通道劈窗算法只需计算波段 11 和波段 12 的平均比辐射率和差值比辐射率。

2.4 获取大气水汽含量

地表温度反演所需的另一参数是大气水汽含量，其对于提高地表温度反演的精度起

2020年4月

到极其重要的作用^[22]。MODIS 是 Terra 卫星上的主要探测器，提供包括大气、陆地、海洋、冰雪 4 个专题的数据产品^[23]。该实验选用 MOD05 大气水汽产品作为水汽输入参数，原始数据采用 HDF 文件格式储存，利用 HDF View 软件查看文件列表进行数据提取，并下载对应的 MOD03 产品对 MOD05 做几何校正后得到 TIFF 格式的大气水汽含量数据。

3 算法精度检验

地面验证是地表温度反演算法和产品精度评价的重要手段，目前对卫星反演地表温度验证的方法有基于温度（T-based）、基于辐射（R-based）以及交叉验证 3 种^[24-26]。该实验利用基于温度的方法（T-based）直接验证 GF-5 卫星地表温度反演精度，该方法原理是确定热量均匀的区域，由验证站点地面测量仪器在几个点处测量的地表温度的平均值可以认为是真实的地表温度值，将其与像元尺度上卫星数据反演得到的地表温度值进行比较，评价遥感反演结果^[27]。

该实验用于验证的实测地表温度数据来自于内蒙古达拉特旗和包头两个地表温度地面测量实验场，其均位于大面积平坦的沙漠地区，有着较高的均一度，测试场地几乎没有降水，并且具有很高的无云天数百分比。对内蒙古包头 2019 年 3 月 14 日，达拉特旗 2019 年 3 月 7 日和 3 月 14 日的 GF-5 卫星数据，分别使用上述两种劈窗算法反演得到 LST。对反演所得的温度与站点实测温度数据进行对比验证，使用平均偏差（Bias）和均方根误差（RMSE）来评价地表温度的反演精度，结果如图 1 所示。图 1a 和 b 分别表示四通道劈窗算法和两通道劈窗算法反演所得的地表温度与站点实测温度的散点图，可以看出四通道劈窗算法获取的结果精度更高，RMSE 为 1.609 K，Bias 为 -0.919 K；两通道劈窗算法获取的温度 RMSE 为 2.168 K，Bias 为 -1.351 K。

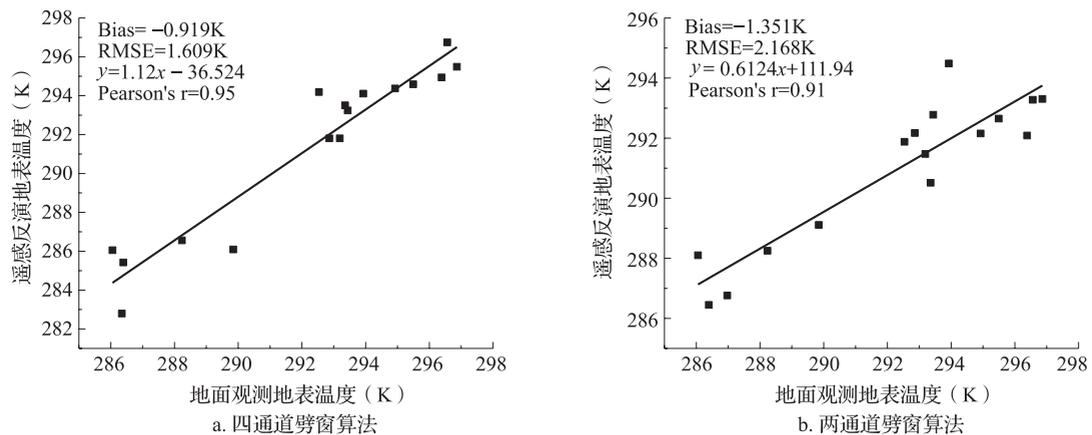


图 1 两种劈窗算法反演的地表温度与实测数据的散点图

Fig.1 Scatter plot of measured data and land surface temperature retrieved by two algorithms

由于山东省地面测量卫星尺度的温度较为困难，该实验选取了同期 MOD11L2 地表温度产品作为参考，与山东省 3 月 11 日“高分五号”卫星热红外数据反演地表温度结果进

行比较，评价四通道劈窗算法地表温度反演的精度和普适性。通过 MRT 读取 HDF 格式的 MOD11A2 数据文件提取温度，由于 MODIS11L2 温度产品空间分辨率为 1 km，高分五号卫星空间分辨率为 40 m，通过重采样处理，经纬度匹配提取对应的温度，散点分布图如下图所示。

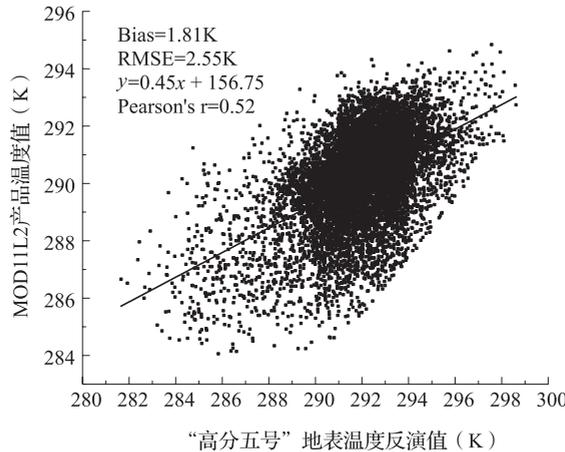


图 2 四通道劈窗算法反演的地表温度与 MOD11L2 温度产品的散点图
 Fig.2 Scatter plot of land surface temperature retrieved by four channel split window algorithms and MOD11L2 temperature products

从图 2 可看出高分五号卫星数据反演得到的山东省局部地区的地表温度与 MOD11L2 产品温度高度吻合，RMSE 为 2.55 K，Bias 为 1.81 K，能准确反映当时的地表温度情况，与地面实际情况基本吻合，总体上较理想。

4 算法应用

地表温度是农作物生长过程的重要参数之一，在农情监测上必不可少。山东省是位于我国东部沿海地区的农业大省，耕地率第一，为探索 GF-5 卫星数据在区域性的农情精细化监测中的应用价值，对该卫星在我国典型农田区域山东省局部区域反演地表温度。该实验收集了 2019 年山东省部分地区的 GF-5 卫星全谱段光谱成像仪数据，使用四通道劈窗算法反演得到地表温度并进行简单分析。山东省 GF-5 卫星全谱段光谱成像仪数据时间分别为 2019 年 3 月 11 日、2019 年 5 月 22 日和 2019 年 6 月 7 日，各时间对应的 LST 分布图结果如下图 3~5 所示。

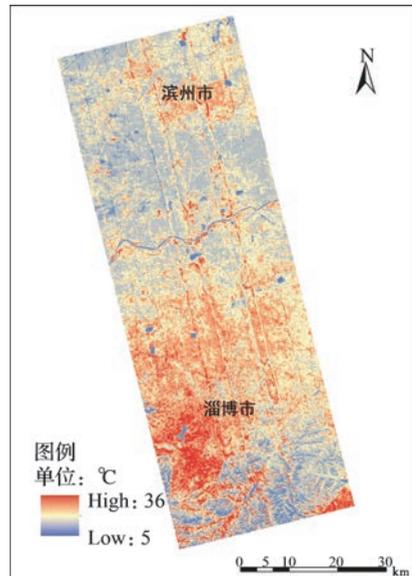


图 3 2019 年 3 月 11 日山东省局部地区地表温度分布
 Fig.3 Land surface temperature map of Shandong province on March 11, 2019

2020年4月

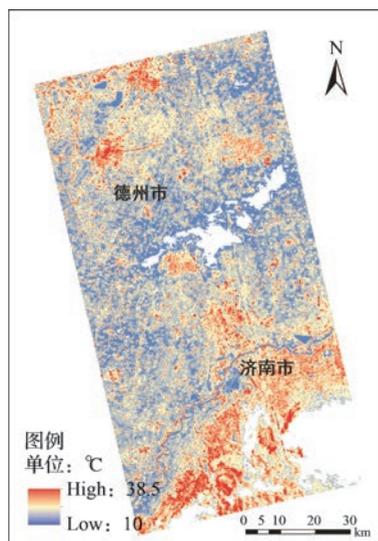


图4 2019年5月22日山东省局部地区地表温度分布

Fig.4 Land surface temperature map of Shandong province on May 22, 2019

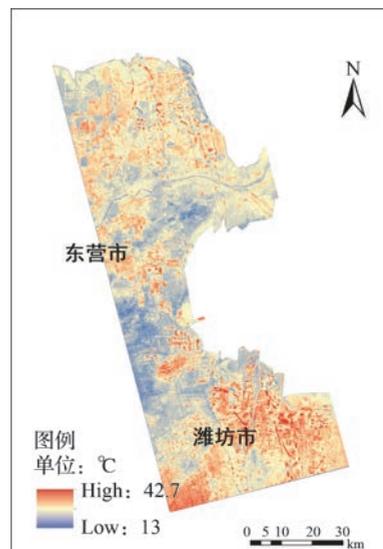


图5 2019年6月7日山东省局部地区地表温度分布

Fig.5 Land surface temperature map of Shandong province on June 7, 2019

GF-5 卫星数据反演得到的山东省局部地区的地表温度分布图结果能反映当时的地表温度情况。2019年3月11日高温区域主要位于淄博市和滨州市市区，大部分地区处于 25°C 以上，淄博市高温面积较大，是因为其西南处淄川区具有多个工业园区；南边是高植被覆盖的森林景区，温度为 10°C 左右，明显低于其它地区；两市周边大面积农田区域，温度表现相对较低，为 17°C 左右。2019年5月22日德州市和济南市局地温度高达 38.5°C ，济南周边温度明显高于其他区域，尤其是济南南部是山区带，植被覆盖率低，温度达 25°C 以上，该区域地表温度分布与地形密切相关；德州与济南中间区域由于地势平坦，基本是农田区域，有河流穿过，灌溉方便，地表温度相对较低为 20°C 左右。2019年6月7日东营和潍坊局部地表温度高达 40°C 以上，两市中间区域是大面积农田区域和湿地公园等，温度相比较市区较低，达 25°C 。从空间分布总体上可看出中心城区温度明显高于其他地区，另外地表温度和地形、植被覆盖程度和类型密切相关。计算所得的地表温度数据，可以结合NDVI值获取温度植被干旱指数从而监测植被生长情况，直观地观察到干旱分布状况，对当地防旱抗旱工作具有重要指导意义。

5 结论

该文对GF-5卫星数据采用两种不同的劈窗算法反演地表温度，通过地面站点实测温度验证，择优选取高精度的劈窗算法应用于其他区域，为推进GF-5卫星在相关领域进一步的应用奠定基础。得到的主要结论如下。

(1) 综合考虑光谱响应差异和观测时间等因素，通过选取其他在轨卫星传感器为参



考, 拟合获取的交叉定标系数可以满足 GF-5 卫星地表温度反演的要求。

(2) 通过地面数据验证可知, 采用四通道劈窗算法进行 GF-5 卫星数据地表温度反演的精度高于两通道劈窗算法, 均方根误差分别为 1.609 K, 2.168 K。GF-5 卫星数据反演得到的山东省局部地区的地表温度分布图结果与地面实际情况基本吻合, 能直观反映空间分布特征。

(3) 基于 GF-5 卫星的地表温度反演的实现对监测农业干旱、旱害早期预警以及农作物估产等农业方面的研究起到很大的推动作用。

参考文献

- [1] Qin Z H, Karnieli A, Berliner P. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(18): 3719-3746.
- [2] 独文惠, 覃志豪, 黎业. 热红外遥感及其在农业旱情监测中的应用研究进展. *中国农业信息*, 2018, 30(2): 24-41.
- [3] Wan Z M, Dozier J. A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 1996, 34(4): 892-905.
- [4] Price J C. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 Advanced Very High Resolution Radiometer. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 1984, 89(D5): 7231-7237.
- [5] Mao K B, Tang H J, Chen Z X, et al. A split-window algorithm for retrieving land surface temperature from ASTER data. *Remote Sensing Information*, 2006, 58(5): 7-11.
- [6] 覃志豪, Zhang M H, Karnieli A. 用 NOAA-AVHRR 热通道数据演算地表温度的劈窗算法. *国土资源遥感*, 2001(2): 33-42.
- [7] 刘超, 历华, 杜永明, 等. Himawari 8 AHI 数据地表温度反演的实用劈窗算法. *遥感学报*, 2017, 21(5): 702-714.
- [8] 赵少华, 刘思含, 吴迪, 等. 高分五号卫星生态环境领域应用前景. *航天返回与遥感*, 2018, 39(3): 115-120.
- [9] 范斌, 陈旭, 李碧岑, 等. 高分五号卫星光学遥感载荷的技术创新. *红外与激光工程*, 2017, 46(1): 16-22.
- [10] 陈媛媛. 高分五号热红外数据地表温度反演算法研究. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [11] Ren H Z, Ye X, Liu R, et al. Improving land surface temperature and emissivity retrieval from the Chinese GF-5 satellite using a hybrid algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2018, 56(2): 1080-1090.
- [12] Xin Y, Ren H Z, Liu R, et al. Land surface temperature estimate from Chinese GF-5 satellite data using split-window algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 2017, 55(10): 5877-5888.
- [13] 崔文杰. GF-5 号卫星 SST 反演与应用研究. 廊坊: 防灾科技学院, 2019.
- [14] 孟鹏, 胡勇, 巩彩兰, 等. 用劈窗算法反演地表温度的通道问题讨论. *国土资源遥感*, 2012, 24(4): 16-20.
- [15] 高海亮, 顾行发, 余涛, 等. 星载光学传感器可见近红外通道辐射定标研究进展. *遥感信息*, 2010(4): 117-128.
- [16] 吕文博. 国产中—高分辨率遥感数据反射波段交叉辐射定标方法与体系研究. 成都: 西南交通大学, 2014.
- [17] 柳菲. 地表比辐射率遥感反演方法研究. 武汉: 湖北大学, 2012.
- [18] Baldridge M A, Hook J S, Grove I C, et al. The ASTER spectral library version 2.0. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(4): 711-715.
- [19] 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. *国土资源遥感*, 2004, 16(3): 28-32.
- [20] Sobrino J A, Jimenez-Muoz J C, Soria G, et al. Land surface emissivity retrieval from different VNIR and TIR sensors. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 2008, 46(2): 316-327.
- [21] Sobrino J A, Raissouni N. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to morocco. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(2): 353-366.
- [22] Li Z L, Jia L, Su Z B, et al. A new approach for retrieving precipitable water from ATSR2 split-window channel data over land area. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(24): 5095-5117.
- [23] Kaufman Y J, Gao B C. Remote sensing of water vapour in the near IR from EOS/MODIS. *IEEE Trans Geoscience & Remote Sensing*, 1992, 30(5): 880-884.
- [24] 李召良, 段四波, 唐伯惠, 等. 热红外地表温度遥感反演方法研究进展. *遥感学报*, 2016, 20(5): 899-920.
- [25] 白洁, 刘绍民, 扈光. 针对 TM/ETM+ 遥感数据的地表温度反演与验证. *农业工程学报*, 2008, 24(9): 148-154.
- [26] Yu W, Ma M. Validation of the MODIS land surface temperature products—a case study of the Heihe river basin. *Remote*



2020年4月

Sensing Technology & Application, 2011, 26(6): 705–712.

[27] Sánchez J M. Validation of Landsat-7/ETM+ thermal-band calibration and atmospheric correction with ground-based measurements. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 2010, 48(1): 547–555.

Land surface temperature retrieval and validation of GF-5 satellite

Wang Dianzhong¹, Li Renjun^{2, 3}, Gao Maofang^{2*}, Zhu Xiaolin²

(1. Beijing Institute of Space Mechanics & Electricity, Beijing 100094, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning of CAAS, Beijing 100081, China; 3. College of Geomatics and Geoinformation, Guilin University of Technology, Guangxi Guilin 541006, China)

Abstract: [Purpose] GF-5 is Chinese first satellite that equipped with four channels in thermal infrared spectrum. The purpose of this study is to advocate the application of domestic remote sensing satellite and improve the capability of surface temperature inversion. [Method] we adopted both two-channel and four-channel split window algorithm to retrieve land surface temperature (LST) in Inner Mongolia, where site records were available for validation. [Result] Comparison between these two algorithms showed that temperature RMSE of two-channel and four-channel split window algorithm was 2.168 K and 1.609 K, respectively. Since the four-channel split window algorithm representing higher precision, it was chosen and applied in LST retrieval in Shandong province. The LST retrieving result of GF-5 satellite data will be used for regional monitoring and quantitative evaluation of agricultural information, and thus provided technical support for precise agriculture. [Conclusion] The results shows that the land surface temperature of gaofen-5 satellite has high accuracy, and it's high spatial resolution land surface temperature information will play an important role in agricultural drought monitoring.

Key words: split window algorithm; land surface temperature; thermal remote sensing; GF-5 satellite