

袁媛,郭毅春,杜婧,等. 基于哨兵 2/3 卫星高分辨率地表温度的降尺度方法[J]. 陕西气象,2021(3):41-44.

文章编号:1006-4354(2021)03-0041-04

# 基于哨兵 2/3 卫星高分辨率地表温度的降尺度方法

袁媛<sup>1,2</sup>,郭毅春<sup>1</sup>,杜婧<sup>1</sup>,屈妍<sup>1,2</sup>

(1. 商洛市气象局,陕西商洛 726000;

2. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710016)

**摘要:**针对卫星遥感数据提取或生成地表温度(land surface temperature, LST)存在的时空分辨率矛盾,利用哨兵 2/3 卫星产品数据,其中哨兵 3 数据提供高时间分辨率影像,哨兵 2 数据提供高空间分辨率信息,并利用 SNAP7.0 及 Excel2010 软件,建立归一化植被指数与 LST 的相关关系,利用统计降尺度方法,成功将 LST 的空间尺度从 1 000 m 降至 10 m,生成高时间分辨率 10 m 空间分辨率的 LST。将原始 1 000 m 分辨率哨兵 3 地表温度图与降尺度到 10 m 空间分辨率的地表温度图对比,可以发现:降尺度地表温度图可以覆盖大部分原始 1 000 m 分辨率的地表温度信息,说明降尺度结果较好地保留了原始 LST 影像热特征的分布情况;而且,所生成的高空间分辨率的地表温度产品地物特征清晰,纹理明显。利用地面国家气象自动观测站实测 0 cm 地温数据验证降尺度结果,可以看出:误差平均值为 2.6 K,误差值较小,说明降尺度结果精度较高。

**关键词:**哨兵 2/3;卫星数据;LST;统计降尺度

**中图分类号:** TP701

**文献标识码:** A

“哨兵(Sentinel)”系列卫星是欧洲“哥白尼”对地观测计划部分的专用卫星系列。其中,哨兵 2 卫星承担着多光谱高分辨率成像任务,用于陆地监测,可提供植被、土壤和水覆盖、内陆水路及海岸区域等图像,还可用于紧急救援服务。哨兵 3 卫星携带多种有效载荷,用于高精度测量海面地形、海面和地表温度、海洋水色和土壤特性,还将支持海洋预报系统及环境与气候监测。哨兵 3-A 卫星上搭载的海陆表面温度辐射计(SLSTR)拥有较高时间分辨率和 2 个热红外通道,提供垂直观测(0°)和前向观测(55°),可获取高精度的海面和地表温度<sup>[1]</sup>。

地表温度(land surface temperature, LST)就是地面的温度。LST 作为一种重要的气候参数,在城市热岛效应、火情监测等领域被广泛应用<sup>[2-4]</sup>。但是,热遥感系统存在时空分辨率之间的

矛盾,不能同时满足时间和空间的高分辨率需求<sup>[5]</sup>,比如静止气象卫星(FY-4)可连续观测地表热特征,但是空间分辨率粗糙,不能很好地反应地物特征<sup>[6]</sup>,MODIS Terra/Aqua 和哨兵 3 每天都可以采集数据,同样空间分辨率较低<sup>[7]</sup>。因此,对低空间分辨率的 LST 进行降尺度,提高其空间分辨率很有必要<sup>[8]</sup>。目前,国内外大多数学者对于地表温度降尺度的研究是基于 MODIS 地表温度产品和 Landsat 影像<sup>[9-10]</sup>,鲜少有学者使用哨兵 2/3 影像数据。为填补国内空白,本研究系统介绍了运用哨兵 2 影像对哨兵 3 地表温度进行降尺度的方法,为哨兵数据用户的相关研究提供参考。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

研究区域为商洛市周边地区,随机选取 2019

收稿日期:2020-12-11

作者简介:袁媛(1988—),女,汉族,陕西商洛人,硕士,工程师,研究方向为土地资源与空间信息技术。

基金项目:陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放研究基金课题(2020Y-13);秦岭生态监测服务系统商洛示范项目(2020-611002-74-01-006200)

年一张成像质量高、天空晴朗无云的影像,将影像中的区域作为研究区,该区横跨河南省三门峡市、南阳市少部分地域,陕西省渭南市南部及商洛市中东部大部分地区。该区域横跨亚热带和暖温带两个过渡性季风气候带,四季分明,冬无严寒,夏无酷暑。区域内水资源丰富,森林植被覆盖率分布不均,地形、地貌差异较大,因此,对该区域进行LST降尺度方法研究有较好的典型性。

## 1.2 研究方法

降尺度方法可分为热锐化和温度分解两种方法<sup>[11-12]</sup>。本研究使用的统计降尺度方法是热锐化方法的一种,它是通过使用多源卫星探测器,将低空间分辨率采集的数据应用在高空间分辨率的探测器上,进而获得高时空分辨率影像的过程。本研究是利用归一化植被指数(Normalized Differential Vegetation Index, NDVI)和LST之间存在的相关关系,结合哨兵2/3的观测数据实现的。

首先提取哨兵3的1000 m尺度上LST与NDVI,建立两者之间的关系,得到简单的线性回归模型,计算公式如下

$$T_{S1000} = a + b I_{NDVI1000} + \epsilon = f(I_{NDVI1000}) + \epsilon \quad (1)$$

其中, $T_{S1000}$ 为1000 m尺度上根据NDVI与LST的关系,计算得到的LST真实值; $a, b$ 为回归系数; $I_{NDVI1000}$ 为1000 m尺度上NDVI值; $\epsilon$ 为

回归残差。式中 $f(I_{NDVI}) = a + b I_{NDVI}$ , $f(I_{NDVI})$ 是NDVI和LST之间的函数关系,是NDVI的转换函数,也适用于10 m尺度上NDVI与LST之间的关系转换,它的这一特性是能够将哨兵3的1000 m空间分辨率上的LST降尺度到哨兵2的10 m空间分辨率的关键所在。另外,应用相关关系的回归模型对低空间分辨率NDVI影像LST值也可进行模拟, $T'_{S1000}$ 表示1000 m尺度上LST的估算值,如公式(2)所示

$$T'_{S1000} = f(I_{NDVI1000}) \quad (2)$$

但在这过程中,由于受到不同地形、地貌等因素的影响,运用NDVI很难精准地计算出LST实际值,由公式(1)和(2)可得到在1000 m空间分辨率上每个像元的残差值 $\Delta T'_{S1000}$

$$\Delta T'_{S1000} = T_{S1000} - T'_{S1000} = \epsilon \quad (3)$$

将残差值 $\Delta T'_{S1000}$ 和在哨兵2的10 m空间分辨率上提取的NDVI值,代入由1000 m空间分辨率建立的NDVI转换函数 $f(I_{NDVI})$ ,得到10 m尺度上的LST值。公式如下所示

$$T'_{S10} = f(I_{NDVI10}) + \Delta T'_{S1000} \quad (4)$$

式中, $T'_{S10}$ 为10 m尺度上的LST值,它是由10 m空间分辨率的NDVI与1000 m空间分辨率降至10 m空间分辨率的精确计算残差相加得到的。具体降尺度方法技术路线如图1所示。

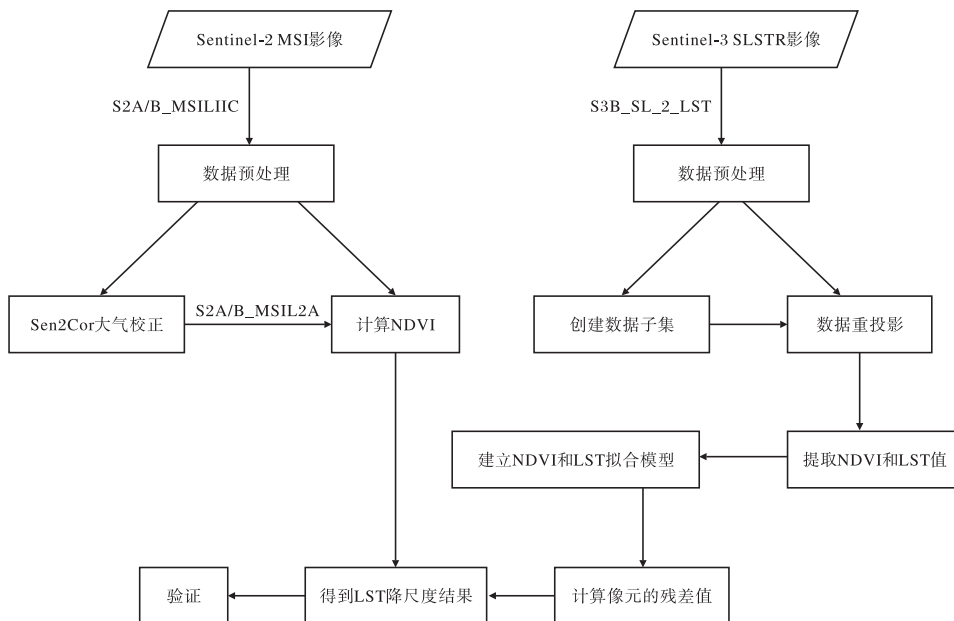


图1 基于哨兵2/3卫星数据的地表温度空间降尺度方法技术路线

### 1.3 地表光谱数据及预处理

本研究使用的卫星数据是哨兵 2 MSI 传感器和哨兵 3 SLSTR 传感器的数据(表 1),通过 ESA 官网(<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>)下载数据。哨兵 2 下载到的数据 L1C,是大气表观反射率产品,已经经过辐射定标、几何重采样、大气表观反射率转换和地理配准等处理;使用欧洲空间局自行研发的 Sen2cor 大气校正插件对数据进行批量大气校正,获得 S2A 级数据;再使用 SNAP7.0 遥感影像分析处理软件进行 NDVI 计算,如公式(5)所示。

$$I_{NDV} = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} = \frac{\rho_{B8} - \rho_{B4}}{\rho_{B8} + \rho_{B4}}, \quad (5)$$

式中,  $I_{NDV}$  为归一化植被指数值,  $\rho_{NIR}$  和  $\rho_{RED}$  分别表示近红外波段(NIR)和红光波段(RED)的反射率,  $\rho_{B8}$  和  $\rho_{B4}$  分别表示在 S2 数据中近红外波段(B8)和红光波段(B4)的反射率。

表 1 研究中所用卫星数据信息列表

序号	传感器	空间分辨率	卫星过境时间
1	哨兵 2 MSI	10 m、20 m、 60 m	2019-07-05 T03:15:49
2	哨兵 3 SLSTR	1 000 m	2019-07-05 T02:41:00

哨兵 3 SLSTR 传感器数据同样通过 ESA 官网下载,选取与哨兵 2 影像时间相近的一幅影像提取研究数据,数据类别为 SL\_2\_LST。在 SNAP7.0 软件中创建数据子集,包括波段、空间、连接点网格子集,并对数据进行重投影(UTM/WGS 84),在 Excel2010 软件中对提取到的 NDVI 和 LST 数值进行拟合,得到的 LST 和 NDVI 的拟合关系式如下

$$T_s = -27.584 I_{NDV} + 325.070. \quad (6)$$

式中,  $T_s$  为地表温度值。

### 1.4 验证方法

为验证生成的高空间分辨率 LST 的精度,选取商洛市 5 个地面国家气象自动观测站实测 0 cm 地温数据进行验证,将数据单位由摄氏温度  $^{\circ}\text{C}$  转换为绝对温度 K,站点分布如图 2 所示。

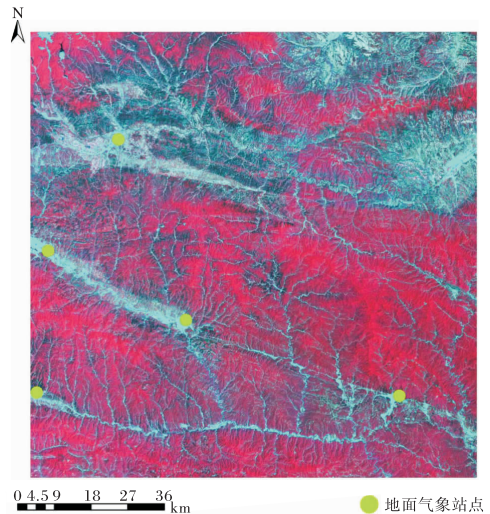


图 2 研究区地面气象站点分布

## 2 结果分析

### 2.1 降尺度结果分析

利用 ArcMap10.2 软件输出原始 1 000 m 空间分辨率哨兵 3 LST 图,与降尺度到 10 m 空间分辨率的 LST 图对比,可以发现,原始 1 000 m LST 与降尺度结果中地表温度信息特征基本一致,高温区和低温区均高度吻合,说明降尺度结果较好地保留了原始 LST 影像热特征的分布情况。另外,10 m LST 降尺度影像地貌纹理、地物特征更加清晰,色调更加丰富,温度过渡较平滑,可以清楚地看到地表温度的空间异质性,且原始 1 000 m LST 影像的“马赛克”现象消失,降尺度前后的低温区和高温区分布也高度吻合(如图 3)。

### 2.2 地面点验证

选取本研究区商洛市境内的 5 个国家气象观测站与遥感影像相同时间的 0 cm 地温分钟数据,根据气象观测站的精准地理位置信息,在降尺度结果中提取对应的 LST,发现误差结果平均值为 2.6 K,误差很小,说明降尺度结果精度较高。

## 3 结论

本研究利用哨兵 2 详细的地物空间信息和哨兵 3 影像的高时间分辨率地表变化信息,以 NDVI 和 LST 的相关关系为基础,运用统计降尺度方法将 LST 空间尺度从 1 000 m 降至 10 m,生成高时间分辨率 10 m 空间分辨率的 LST。通过国家地面气象站 0 cm 地温分钟观测数据进行验

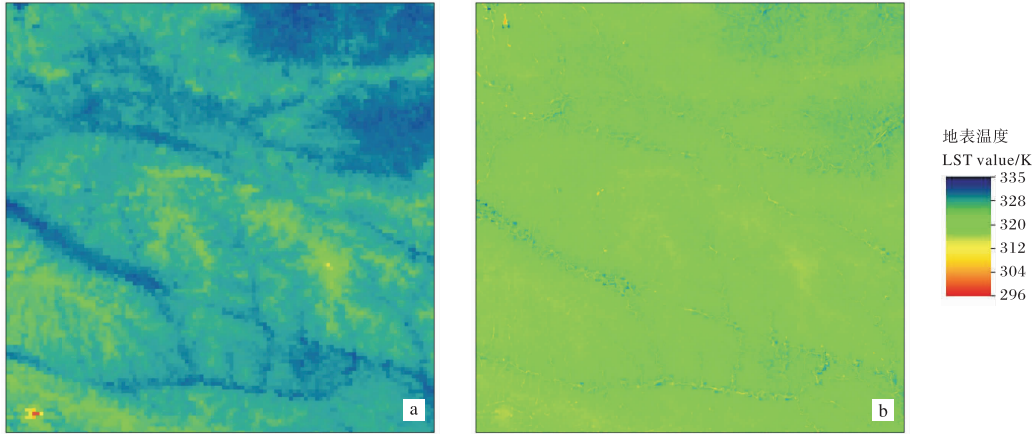


图3 哨兵3原始LST影像(a)及降尺度所得10 m LST影像(b)

证,得出以下主要结论。

(1)本研究方法适用于地表空间异质性区域,所生成的高空间分辨率的地表温度产品地物特征明显,地貌纹理清晰,能够清楚地描绘地表热特征空间分布情况。

(2)利用国家地面气象站0 cm地温分钟观测数据对降尺度结果进行验证,误差平均值很小,说明降尺度结果精度较高,具有广泛适用性。

(3)验证所用到的地面气象站点只有5个,建议在乡镇区域站气象观测要素中可添加地表温度,或在今后的研究中加入人工实地观测,增加地面验证点密度,进一步提高验证的精度。

#### 参考文献:

- [1] 张舒婷. Sentinel-3A/SLSTR 地表温度反演与地表亮温角度效应分析 [D]. 北京:中国农业科学院, 2020.
- [2] 刘良明,魏然,周正. 利用动态阈值的森林草原火灾火点检测算法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2011, 36(12): 1434-1437.
- [3] 王娟敏,孙娴,毛明策,等. 西安市城市热岛效应卫星遥感分析[J]. 陕西气象, 2011(3): 23-25.
- [4] 石玉,宫恒瑞,李聪. 基于MERSI数据的单通道法反演地表温度[J]. 陕西气象, 2014(6): 22-25.
- [5] 李小军,江涛,辛晓洲,等. 基于MODIS的地表温度空间降尺度方法[J]. 生态学杂志, 2016, 35(12): 3443-3450.
- [6] 吴迪. 基于FY-2F静止气象卫星数据的地表温度

重建研究[D]. 南京:南京信息工程大学, 2018.

- [7] PAULINA B, MARIAPINA C, CLAUDIA N. Downscaling land surface temperature from MODIS dataset with random forest approach over alpine vegetated areas [J]. Remote Sensing, 2019, 11(11):1319.
- [8] 王祎婷,谢东,李亚惠. 光谱指数趋势面的城市地表温度降尺度转换[J]. 遥感学报, 2014, 18(6): 1169-1181.
- [9] WENG Q H, FU P, GAO F. Generating daily land surface temperature at Landsat resolution by fusing Landsat and MODIS data[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 145: 55-67.
- [10] YANG G J, PU R L, ZHAO C J. Estimation of subpixel land surface temperature using the end member index based technique: A case examination on ASTER and MODIS products over a heterogeneous area[J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115(5): 1202-1219.
- [11] HA W, GOWDA P H, HOWELL TA. A review of downscaling methods for remote sensing-based irrigation management: part I[J]. Irrigation Science, 2013, 31: 831-850.
- [12] CHEN Y, ZHAN W, QUAN J, et al. Disaggregation of Remotely Sensed Land Surface Temperature: A Generalized Paradigm. IEEE Trans. Geoscience[C]. Remote Sensing, 2014, 52: 5952-5965.