

全天候地表温度的验证与应用进展

周纪¹, Frank-M. Göttsche², 唐文彬¹, 丁利荣¹, Lluís Perez-Planells², 马晋¹, Joao Martins³, 张文江⁴

1 电子科技大学资源与环境学院

2 Institute of Meteorology and Climate Research, Karlsruhe Institute of Technology

3 Portuguese Institute for Sea and Atmosphere

4 四川大学水利水电学院

地表温度 (LST) 是量化控制地表与大气之间能量交互的主要指标之一。本摘要概述了龙计划五期项目 (全天候高空间分辨率 LST: 验证和应用, 59318) 的最新研究进展, 包括:

(1) 全天候 LST 的生成方法及实现; (2) 全天候 LST 的降尺度方法研究; (3) 基于地面站点观测的遥感 LST 验证。

为了研究中国的 LST 的时空变化规律, 迫切的需要长时序的、高质量的全天候 LST 数据集。当前的全天候 LST 大多是从 MODIS LST 数据集中延伸而来。然而, 在 2000-2002 年 MODIS 的时间空档期内, 并没有全天候 LST 的公开报道。在此背景下, 我们基于改进的 RTM 方法 (E-RTM) 生成了逐日四次的中国大陆域及周边 1km 全天候 LST 产品—TRIMS LST (2000-2021) (Tang et al., 2023)。利用 19 个地面站点的实测 LST 对 TRIMS LST 进行验证, MBE 在 -2.26~1.73 K 之间, RMSE 在 0.80~3.68 K 之间, 精度略高于 MODIS LST。鉴于其良好的精度表现, TRIMS LST 已在蒸散发估算和城市热岛建模等研究中得到应用。

静止轨道卫星上的热红外 LST 产品具有较高的时间分辨率, 但在多云天气条件下有许多缺失值。在此背景下, 我们基于 LST 时间分解模型, 提出了一种融合再分析数据和静止卫星 TIR 数据的逐小时全天候 LST 重建方法 (RTG) (Ding et al., 2022)。该方法在青藏高原地区得到了应用, 实现了 FY-4A LST 和 CLDAS 数据的融合。基于实测 LST 的验证结果表明, 在全天候条件下, 全天候 LST 的精度优于 FY-4A LST 和 CLDAS LST。在各种情况下的平均 RMSE 均优于 3.94 K。重建的全天候 LST 也具有良好的图像质量, 并提供可靠的空间分布模式。

为了获取高分辨率的全天候 LST, 我们开发了两种 LST 降尺度方法。第一种是利用 LightGBM 对西藏东南部的 TRIMS LST 从 1km 降尺度到 250 米 (Huang 等, 2021)。根据实测站点温度的验证, 白天和夜间的 MBE 分别为 0.74K (-0.01K), RMSE 为 2.25K (2.15K)。第二种是基于地理加权回归 (GWR) 和随机森林 (RF), 并考虑 LST 描述因子的权重而提出的一种降尺度方法 (Ding 等, 2023)。该方法将聚合到 1km 的 ASTER LST 降尺度到 100 m。通过地面站点的验证结果表明, MBE 和 RMSE 均至少降低了 0.22 K 和 0.1 K。降尺度方法的探索为获取高分辨率全天候 LST 提供了方法基础。

为了验证公里尺度的卫星反演地表温度, 我们提出了一种地面站点空间代表性时序量化方法 (Ma et al., 2021)。该方法提供了一个空间代表性评价因子 (SRI), 即地面站点辐射计视场尺度与卫星像元尺度的地表温度差异。然后根据地表温度在时间尺度上的变化规律和相关因子进行时序化。结合 SRI 将地面站点地表温度转换到卫星像元尺度, 以验证 MODIS 和 AATSR LST。结果表明, 若不考虑站点空间代表性, 在所选站点会导致验证结果存在 -1.95~5.60 K 的系统性偏差和 0.07~3.72 K 的随机误差。因此, 建议在地表温度及其他相关参数的验证中, 应当考虑不均匀下垫面站点在卫星像元尺度的空间代表性。在后续的研究中, 我们将对 KIT 站点、HiWATER 站点以及其他相关验证站点进行空间代表性评价, 并将其用到全天候地表温度的验证中。

自 2008 年以来, KIT 在纳米比亚 Gobabeb 附近布设了一个永久性的 LST 验证站点 (Göttsche et al., 2022)。在 2010/2011 年的雨季, Gobabeb 气象站测得了历史上最大的降雨量 (Eckhardt et al., 2013), 这导致砾石平原上大部分地区的草本植物生长异常旺盛。由于极

端大气条件和地表生物属性的变化，该时期的 LST 反演可以为 LST 产品提供有趣的发现。在此，我们比较了砾石平原上的两种全天候 LST 产品：1) 融合再分析资料和 MODIS 热红外数据的全天候 LST (Zhang et al., 2021); (2) LSA ASF 业务化运行的融合 MSG/SEVIRI LST 和土壤-植被-大气 (SVAT) 模型的全天候 LST 产品 (Martins et al., 2019)。这两个全天候 LST 数据均采用实测站点 LST 进行了验证，研究了它们在历史平原上的空间变化，从而全面分析了它们在 Gobabeb 遇到的各种大气和地表条件下的性能。

- Eckardt, F.D., Soderberg, K., Coop, L.J., et al., 2013. The nature of moisture at Gobabeb, in the central Namib Desert. *JARID ENVIRON*, 93, 7–19.
- Ding, L., Zhou, J., Li, Z.-L., et al., 2022. Reconstruction of Hourly All-Weather Land Surface Temperature by Integrating Reanalysis Data and Thermal Infrared Data From Geostationary Satellites (RTG). *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 60, 1–17.
- Ding, L., Zhou, J., Ma, J., et al., 2023. A Spatial Downscaling Approach for Land Surface Temperature by Considering Descriptor Weight. *IEEE Geosci. Remote Sensing Lett.*, 20, 1–5.
- Göttsche, F.-M., Cermak, J., Marais, E., et al., 2022. Validation of Satellite-Retrieved Land Surface Temperature (LST) Products at Gobabeb, Namibia. *Journal Namibia Scientific Society*, 69, 43 – 61.
- Huang Z., Zhou J, Ding L., et al., 2021. Toward the method for generating 250-m all-weather land surface temperature for glacier regions in Southeast Tibet. *Journal of Remote Sensing*, 25, 1873 – 1888.
- Ma, J., Zhou, J., Liu, S., et al., 2021. Continuous evaluation of the spatial representativeness of land surface temperature validation sites. *Remote Sensing of Environment*, 265, 112669.
- Martins, J. P. A., Trigo, I. F., Ghilain, N., et al., 2019. An All-Weather Land Surface Temperature Product Based on MSG/SEVIRI Observations. *Remote Sensing*, 11(24), 3044.
- Tang, W., Zhou, J., Ma, J., et al., 2023. TRIMS LST: A daily 1-km all-weather land surface temperature dataset for the Chinese landmass and surrounding areas (2000–2021), *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* in review.