

文章编号: 2096-1618(2024)03-0334-09

风云气象卫星-4A 陆表温度数据在四川省境内的真实性评价

李超, 何晓, 冯建东, 刘正源, 刘文佳, 张洋, 刘志红
(成都信息工程大学资源环境学院, 四川 成都 610225)

摘要:陆表温度数据是地球环境监测的重要指标,是衡量地球表面与大气层之间稳定性的重要参数。基于 FY-4A 陆表温度产品,结合 8 个地面站点温度数据、MODIS 陆表温度产品的 66 组数据,探究 FY-4A 陆表温度产品在四川地区的精度及其影响因素。结果显示:与地面站点温度数据的平均误差、平均绝对误差、均方根误差和相关系数分别为-6.39 K、6.81 K、9.10和0.945,其中地形平缓区优于地形起伏区。FY-4A 陆表温度产品与 MODIS 陆表温度产品的平均误差、平均绝对误差、均方根误差和相关系数分别为-0.585 K、2.625 K、3.49和0.931,其中夜间优于日间,各季节相关性不同,且普遍存在低估现象;在空间差异上整体呈现东部优于西部的特征,成都平原精度高,在四川省西部地形起伏明显地区的精度有所下降。对 17 种土地利用类型验证结果表明,农田与自然植被类型的陆表温度产品精度明显优于常绿阔叶林类型。

关键词:风云四号;陆表温度;真实性评价;遥感

中图分类号:P423.7

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2024.03.011

0 引言

陆表温度(land surface temperature, LST)是地气交换系统中的重要指标之一,是地球表面与大气环境多种因素相互影响的结果^[1-2],对反映地表与大气之间的通量具有重要意义,在气候、生态、水文以及农业生产的相关研究中起关键作用^[3-9]。

陆表温度数据具有明显的时空差异性^[10-11]。传统的陆表温度监测是利用地面站点温度数据,由于每个站点之间距离过远,无法实现空间连续性^[12-13]。而遥感技术为解决气象站点分布稀疏的问题提供了新的技术手段。

目前全球广泛应用的陆表温度数据有 MODIS 陆表温度产品数据、Copernicus 陆表温度产品数据、日本全球环境变化观察卫星的陆表温度产品数据^[14]。作为中国自行研制的风云 4A 卫星,主要作用于大气环境监测、亚太地区气候变化监测等工作。风云 4A 静止轨道成像仪(AGRI)传感器为全圆盘成像,卫星位置位于 105°E 的赤道上方,通过精密的双扫描镜机构实现精确和灵活的二维指向,可进行分钟级的区域快速扫描,达到 5~15 min 成像 1 次,使中国大气监测、气象变化的探测工作得到明显提高^[15-17]。风云卫星气

象中心提供了 FY-4A /AGRI 2019 年 8 月 1 日至今的陆表温度日产品数据,该数据具有很强的连续性,在高时空性监测中起重要作用。然而,该产品的真实性检验研究仍然缺乏,因此无法确定其在定量研究中的不确定性。

四川省位于中国中部偏西南地区,占地范围广、经纬度跨度大、土地利用类型丰富^[18],本文利用四川省 8 个气象观测站点(阿坝、稻城、石渠、双流、理塘、巴中、古蔺、西昌)的地面温度数据进行直接验证,以及 2019 年 1 月 1 日至 2021 年 12 月 1 日,云覆盖小于 10% 的(MISSING)MODIS 66 组陆表温度产品数据,进行 FY-4A 陆表温度数据的交叉验证,对 FY-4A 陆表温度数据在四川地区的适用性开展综合评价。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

四川省位于中国西南地区,处于中国大地貌的第二阶梯与第三阶梯^[19],地理位置介于 26°03'N~34°19'N, 97°21'E~108°12'E。全省面积 48.6 万 km²,海拔跨度大、土地利用类型全面。四川省的大型城市分布比较均匀,西部多为地形起伏地带。海拔变化决定了人类活动范围以及植被生长趋势^[20],由图 1 可明显看出,

四川省具有 17 种类型丰富的土地利用类型,且不同土地利用类型在四川省分布的位置具有明显的地理分界。这对于开展 FY-4A 陆表温度产品在不同地理位置、不同地表覆盖下的真实性检验与分析提供了良好条件。

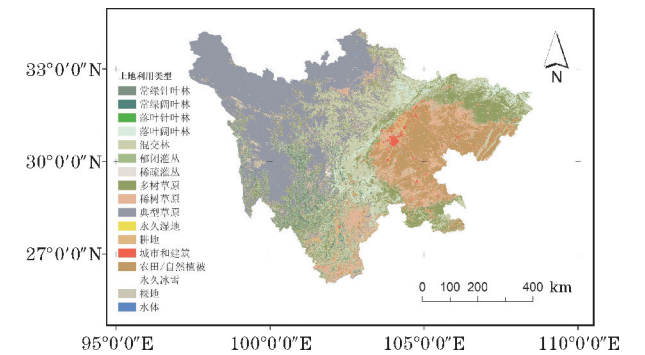


图 1 四川省土地利用类型分布图

1.2 遥感数据

1.2.1 FY-4A 数据

FY-4A 卫星所搭载的静止轨道辐射成像仪 (AGRI)可拍摄整个亚太地区,可实现分钟级的区域快速扫描^[21],可探测0.45~13.8 μm共 14 个波段通道的亮温值,14 个通道在波段上分为可见光与近红外、短波红外、中红外、水汽、长波红外 5 类(表 1)。

表 1 FY-4A AGRI 传感器通道介绍

类别	波段/μm	空间分辨率/km	主要用途
可见光与近红外	0.45~0.90	0.5~1	气溶胶、云、雾、植被
短波红外	1.36;1.58~2.35	2~4	卷云、云、雪、气溶胶
中波红外	3.5~4	2~4	火点、地表
水汽	5.8~7.3	4	云导风
长波红外	8.0~13.8	4	云导风、陆表温度、海表温度、云顶温度

FY-4A 卫星陆表温度 (LST) 产品数据可从风云卫星遥感数据服务网获取 (<http://satellite.nsmc.org.cn>),是由长波红外数据反演得到,可以同化进入气候、大气和陆面模式进行潜热和显热通量的估算^[22]。从 2019 年 8 月 1 日起,风云卫星遥感数据服务网开始供应 FY-4A LST 产品数据,分辨率为 4 km。本研究所使用 LST 产品数据的时间为 2019 年 8 月 1 日至 2021 年 8 月 1 日。

1.2.2 MODIS 数据

MODIS 传感器 LST 产品反演方法成熟,长期为用户提供持续稳定的数据产品服务,已在各领域获得广

泛应用。相关研究表明,MODIS LST 产品与地面站站点的实际温度相差约为 ±1 K,具有较高的产品精度^[23]。Terra 卫星和 Aqua 卫星均搭载了 MODIS 传感器,Terra 卫星和 Aqua 卫星每天各可以提供两次陆表温度观测结果。本文使用的是 Terra 卫星 MOD11A1 和 Aqua 星 MYD11A1 的 LST 产品数据 (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>),星下点空间分辨率为 1 km。

1.2.3 地面站点数据

地面站点温度数据源于全国综合气象信息共享平台 (China integrated meteorological information sharing system)。地面站点温度数据为小时观测,观测区间为 -50~80 K,误差为 ±0.2 K^[24-25]。四川省共有 157 个站点,分布广泛,为使在四川省境内选择的站点分布均匀且具有地理位置代表性,所选的站点分别为阿坝站、稻城站、石渠站、双流站、理塘站、巴中站、古蔺站、西昌站 8 个气象站点,具体的空间位置分布如图 2 所示。

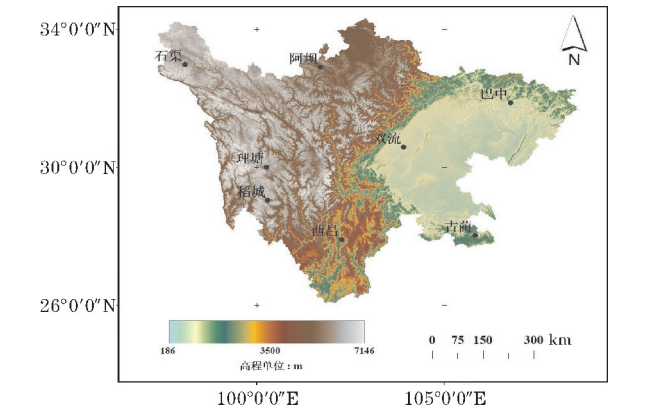


图 2 地面站点分布图

2 数据处理与真实性检验方法

2.1 数据预处理

为保证 FY-4A LST 数据和 MODIS LST 数据在空间分辨率的一致性,须对 FY-4A LST 数据与 MODIS LST 数据进行预处理。

2.1.1 数据格式转换

MODIS 产品数据以 HDF 格式进行存储,须提取出 HDF 文件中的 LST 数据集,再结合文件中自带的经纬度信息,转化为 TIFF 格式输出。

FY-4A 产品数据以 NC 格式存储,需经过 NC 转 TIFF 格式,再经过 FY-4A 4 km 的全圆盘格式文件进行重投影,得到最终的 TIFF 格式文件。

2.1.2 MODIS 数据重采样

风云陆表温度产品数据的空间分辨率为 4 km,而

MODIS 产品数据的空间分辨率为1 km,为保证两种数据的空间一致性,采用三次卷积插值对 MODIS 数据进行降采样操作。

三次卷积插值(bicubic interpolation)是二维空间中最常用的插值方法,它能创造出比双线性插值更平滑的图像边缘,得到的采样结果具有更高的精度。在这种方法中,函数 f 在点 (x,y) 的值可以通过矩形网格中最近的16个采样点的加权平均得到,在这里需要使用两个多项式插值三次函数,每个方向使用一个双立方插值公式:

$$\sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j$$

其中 a_{ij} 为加权系数。

完成重投影后,对 MODIS 数据的像元尺寸进行设置,使之与 FY-4A 数据具有相同像元大小,确保两者空间位置一一对应。

2.2 准确度评价指标及计算方法

本研究使用平均误差、平均绝对误差、均方根误差、相关系数均等作为 FY-4A LST 产品真实性评价的统计指标,具体指标定义如表 2 所示。其中, n 代表样本量, e_i 代表第 i 个样本的误差值, x_i 表示遥感反演温度或实测温度, $x_{n,i}$ 表示参考对象温度, i 表示第 i 个样本。在计算 RMSE、MAE 和 ME 时,可以分别取 x_i 和 $x_{n,i}$ 的平均值作为样本的真实温度值。在计算相关系数时,需要将所有样本的 x_i 、 $x_{n,i}$ 按照样本序号对应起来,计算它们之间的相关系数。RMSE(K)可以评估遥感陆表温度与验证数据值之间的偏差,其值越小,表明遥感反演的准确率越高;MAE(K)为绝对误差的平均值,可以反映差异的实际情况;ME(K)可以反映遥感反演陆表温度的可信程度。由表格参数来说, RMSE、MAE、ME 值越小,说明遥感温度与实测温度越接近,利用遥感产品替代实测序列的潜在可能性更大。

表 2 准确度评价指标

评价指标	公式
平均误差	$ME = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n}$
平均绝对误差	$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i }{n}$
均方根误差	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}}$
相关系数	$r(x_1, x_2) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - \bar{x}_1)(x_{2,i} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - \bar{x}_1)^2 \sum_{i=1}^n (x_{2,i} - \bar{x}_2)^2}}$

2.3 陆表温度数据真实性检验

2.3.1 基于地面实测直接验证

选取 8 个地面站点温度数据的观测结果对 FY-4A LST 产品进行直接验证。对于二者的时间匹配,由于地面站点的观测结果为逐小时均值,因此本研究选取包含了地面观测时间的所有 FY-4A LST 结果,并对 FY-4A LST 结果求均值,完成二者的时间匹配。对于空间匹配,则以地面站点经纬度为准,选取 FY-4A LST 产品中包含了该经纬度的像元,完成二者的空间匹配。

2.3.2 陆表温度交叉验证检验

由于选取的地面站点数量较少,因此利用交叉检验法,基于 MODIS LST 产品对 FY-4A 产品进行验证,以进一步说明 FY-4A 产品在大空间范围内的真实性。在时间匹配上,所选择的 MODIS LST 数据生成时间与 FY-4A LST 数据生成时间的时间差小于 15 min。MOD11A1 生成时间在 UTC 时间 2:30 - 5:00, MYD11A1 的生成时间在 UTC 时间 18:15 - 19:30。在进行交叉验证时,需要将 FY-4A LST 数据和 MODIS LST 数据以及其他参数数据(如辐射亮度)都重采样到相同的网格上,并且要保证时间上的匹配。同时,还需要考虑空间分布的异质性,即不同区域的陆表温度和辐射亮度差异较大,因此需要在选取地面站点和像元时尽量保证空间分布的均匀性和代表性。

2.3.3 辐射亮度交叉验证检验

热红外波段的辐射亮度是陆表温度反演的重要参数之一,探究 FY-4A 数据和 MODIS 数据相同波长的辐射亮度的差异,有利于从源头寻找二者陆表温度间的差异。本文获取了 MOD021KM 数据、MYD021KM 数据、MOD35_L2 数据、MYD35_L2 数据,以及同时期的 FY-4A 4 KM 一级辐射亮度产品数据,采取和陆表温度一致的时空匹配方法,开展辐射亮度交叉验证。

3 结果分析

3.1 直接验证结果分析

3.1.1 站点直接验证

图 3 与表 3 为 8 个地面观测站站点温度数据直接验证结果。从散点图来看(图 3),8 个站点的相关系数 r 都在 0.9 以上,表明这 8 个站点的观测温度数据与 FY-4A 陆表温度数据在高低趋势上具有一致性。但从体现误差的指标(表 3)可看出, FY-4A LST 数据与站点温度数据相比呈现约 -4 ~ -10 K 的低估,平均误差

为-6.39 K。表现最差的为稻城站点,平均误差达到了9.96 K,其均方根误差也达到了12.22 K,在8个站点中温度反演值与地基相比最不稳定。在空间趋势的分析中,双流站点、巴中站点、古蔺站点3个处于东部平坦地区的站点验证结果明显优于石渠站点、理塘站

点、阿坝站点、西昌站点、稻城站点。具体表现为四川省东部站点绝对平均误差、均方根结果优于四川省西部站点,说明处于地形平坦的地区陆表温度的真实性比地形起伏较大的地区的真实性高。

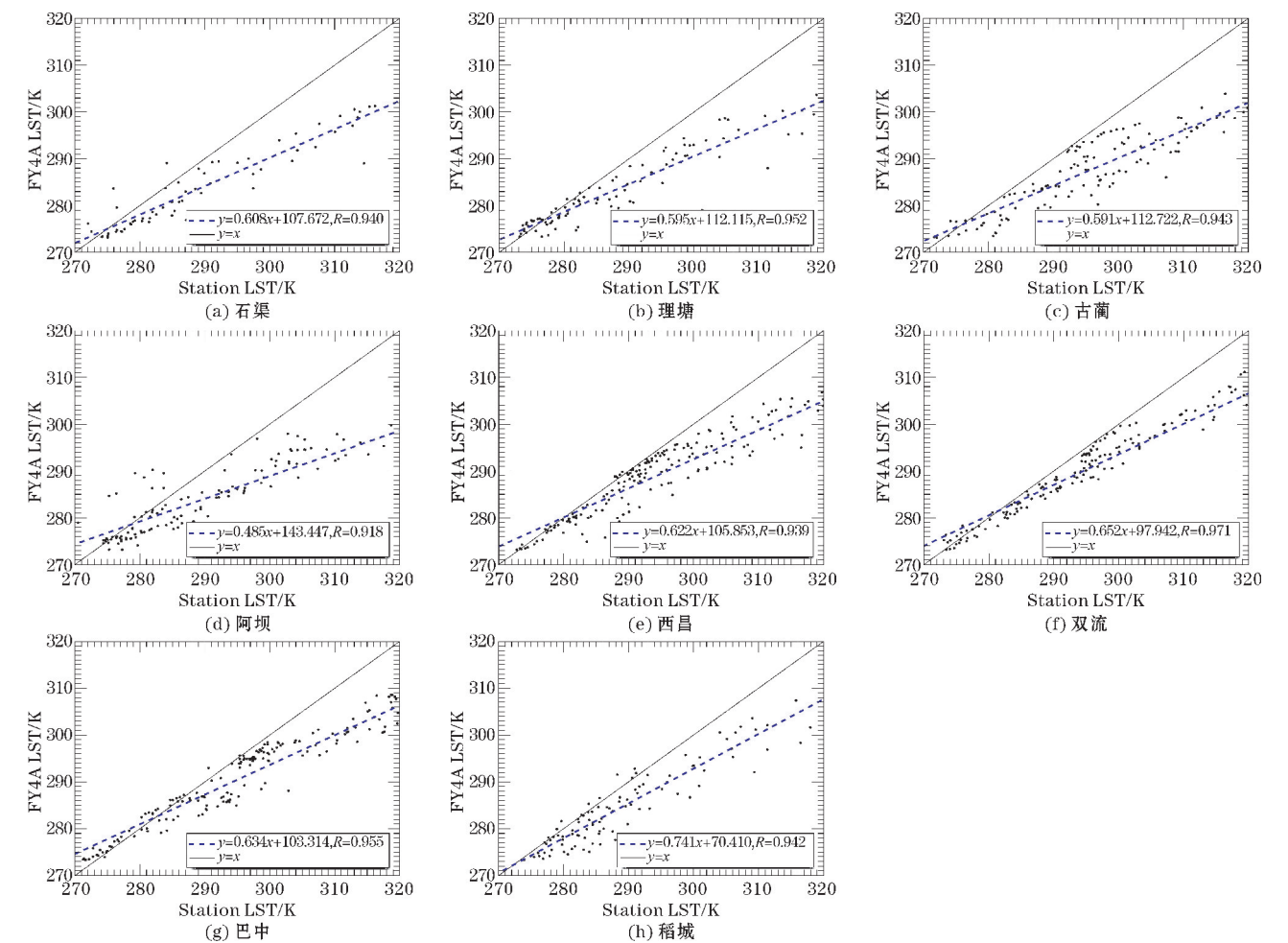


图3 直接验证散点图

表3 直接验证评价表

站点	样本数	平均误差	平均绝对误差	均方根误差	相关系数
石渠	62	-5.76	6.46	8.26	0.940
理塘	99	-5.59	6.01	8.69	0.952
古蔺	100	-4.57	4.82	6.26	0.942
阿坝	137	-7.66	8.82	11.89	0.918
西昌	185	-6.20	6.26	8.73	0.939
双流	172	-5.93	6.09	8.57	0.971
巴中	172	-5.41	5.92	8.19	0.955
稻城	137	-9.96	10.07	12.22	0.943

3.1.2 不同季节、站点的草表温度直接验证

图4为阿坝、巴中、稻城、古蔺、理塘、石渠、西昌以及双流8个站点的观测温度与FY-4A陆表温度的比较。蓝色线表示站点温度,红色线表示FY-4A陆表温度,绿色线表示两者之间的温差。从图4可以看出,站点温度

与FY-4A陆表温度在趋势上一致,FY-4A LST数据变化趋势符合正常的温度变化。然而,以地面站点所测温度为实际温度,可以看出FY-4A陆表温度均低于实际温度,温度越高,温差越大,说明FY-4A存在“高温低估”现象,尤其是16时最明显,温差达到-12 K。

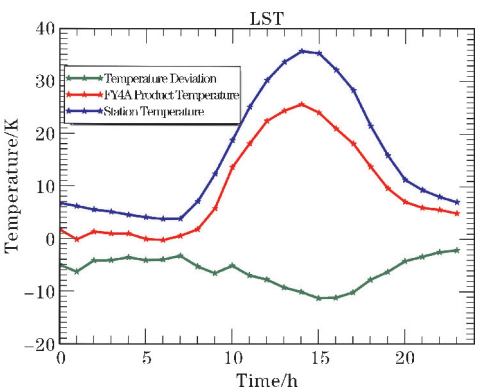


图 4 不同时间站点温度变化

3.2 交叉验证结果分析

3.2.1 整体交叉验证结果分析

筛选出 33 组 MOD11A1 数据和 33 组 MYD11A1 数据,与 FY-4A LST 进行时空匹配,得到总体性的评价结果如表 4 所示。夜间的相关性系数达到了0.977,表明二者在空间趋势上具有很高的一致性。然而,均方根误差为2.65,平均误差为-0.84,平均绝对误差为2.01,FY-4A LST 数据相比 MODIS LST 数据在整体上仍存在低估。日间相关系数为0.885,均方根误差为4.339,FY-4A 在日间得到的陆表温度结果精度需进一步提升。

表 4 整体性交叉验证

参数	北京时间 03 时	北京时间 13 时
平均误差	-0.84	-0.33
平均绝对误差	2.01	3.24
均方根误差	2.65	4.33
相关系数	0.977	0.885

3.2.2 土地利用交叉验证分析

本研究对每种土地利用类型下的陆表温度产品数据进行进一步的趋势性交叉验证,分析不同土地利用类型下陆表温度的误差。基于四川地区土地利用数据,提取 2 种陆表温度产品的 17 种地物类型进行指标计算,结果如表 5 和表 6 所示。但需指出的是,本研究对 MODIS LST 数据做的重采样处理为一种常规的升尺度方法,表 5~6 中的定量差异仅供参考。

分析表 5、表 6 可以发现,17 种不同土地利用类型中,常绿阔叶林类型的相关性系数最小,农田与自然植被类型的相关系数最大。常绿阔叶林的陆表温度结果主要受到地形影响,从而导致其与 MODIS LST 的结果在空间趋势上有一定差异。日间相关性系数的均值低于夜间交叉验证所得的值,这是由于日间温度本身较高,并且存在“高温低估”现象的影响。后文对 FY-4A

的辐射亮度结果进行了验证,可能与辐射定标导致的辐射亮度误差有关。

表 5 北京时间 03 时 17 类地物真实性验证结果

编码	平均 误差	平均绝 对误差	均方根 误差	相关 系数
常绿针叶林	-0.54	2.51	3.22	0.896
常绿阔叶林	-0.73	2.79	3.51	0.895
落叶针叶林	-0.68	2.55	3.31	0.908
落叶阔叶林	-1.02	2.09	2.73	0.952
混交林	-1.10	2.34	3.00	0.951
郁闭灌丛	-0.93	2.15	2.79	0.960
稀疏灌丛	-0.96	2.26	2.91	0.956
多数草原	-1.15	2.20	2.81	0.972
稀树草原	-1.02	2.20	2.85	0.971
典型草原	0.26	1.73	2.64	0.952
永久湿地	-1.45	2.21	2.80	0.978
耕地	-1.60	2.18	2.76	0.978
城市	-1.83	2.26	2.80	0.982
农田	-2.22	2.34	2.83	0.983
永久冰雪	0.61	2.38	3.27	0.926
裸地	0.52	2.51	3.29	0.904
水	-1.17	2.90	3.66	0.951
均值	-0.88	2.32	3.01	0.948

表 6 北京时间 13 时 17 类地物真实性验证结果

编码	平均 误差	平均绝 对误差	均方根 误差	相关 系数
常绿针叶林	0.38	3.83	4.86	0.786
常绿阔叶林	-0.03	3.86	4.89	0.785
落叶针叶林	0.27	3.74	4.80	0.792
落叶阔叶林	-0.11	3.05	3.84	0.879
混交林	-0.41	3.21	4.06	0.882
郁闭灌丛	-0.07	3.14	4.01	0.886
稀疏灌丛	-0.11	3.22	4.14	0.879
多数草原	-0.25	2.91	3.82	0.900
稀树草原	-0.32	2.91	3.83	0.901
典型草原	-0.01	3.83	5.30	0.822
永久湿地	-0.52	2.47	3.25	0.927
耕地	-0.87	2.59	3.45	0.914
城市	-0.81	2.31	3.04	0.947
农田	-0.91	2.01	2.52	0.955
永久冰雪	1.10	3.02	6.51	0.839
裸地	1.08	4.90	6.27	0.788
水	-0.33	3.72	4.70	0.877
均值	-0.05	3.34	4.31	0.868

3.3 季节对遥感陆表温度精度的影响分析

为探究不同季节对 FY-4A LST 数据精度的影响,结合同期 MODIS 数据,将数据以不同月份为分类,分为

春、夏、秋、冬进行评价。图 5 显示,北京时间 03 时四季整体的散点图分布规律一致,温度范围不同。秋季的温度值高于冬季,夏季的温度值高于春季,符合四季温度情况。表 7 表明,不同季节 FY-4A LST 数据在夜间具有

较高稳定性。表 8 显示,北京时间 13 时四季整体验证结果不稳定,夏季误差较大,结果劣于其他季节。13 时的所有指标均劣于 03 时的结果,与前文得出的 FY4A LST 产品精度在夜间优于日间的结论相符。

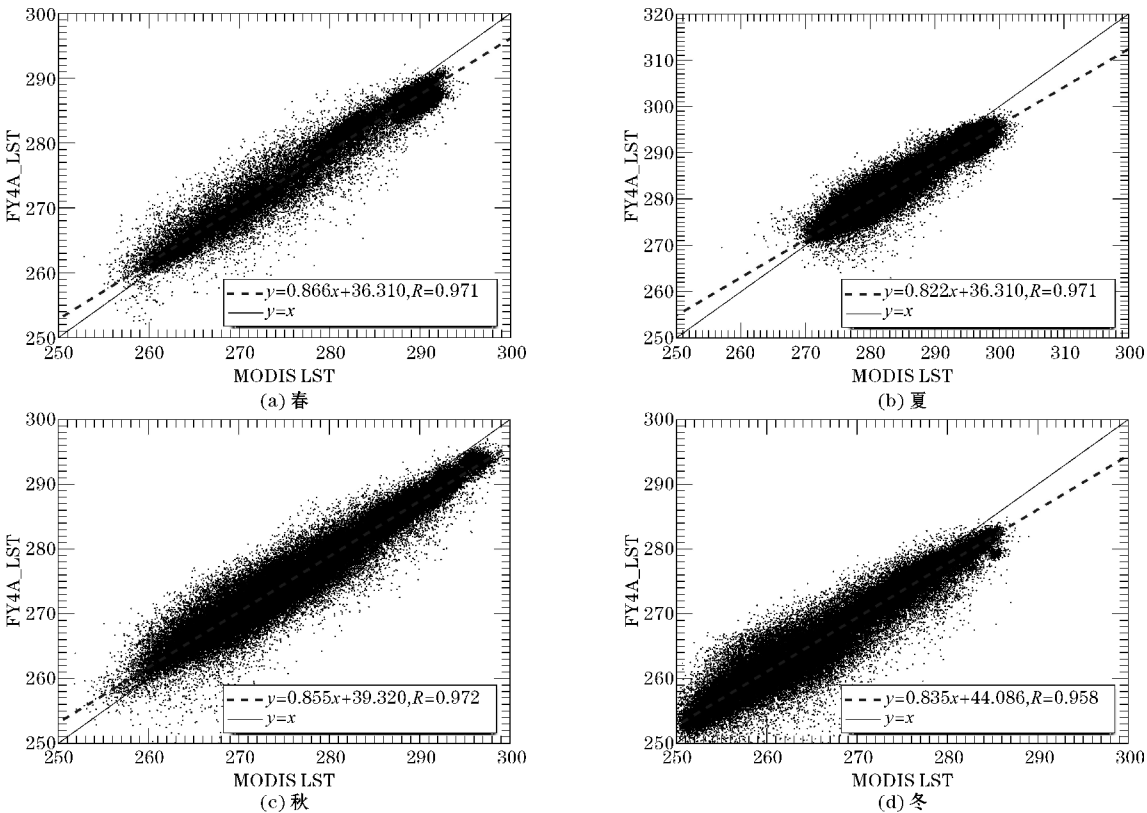


图 5 北京时间 03 时四季整体性散点图

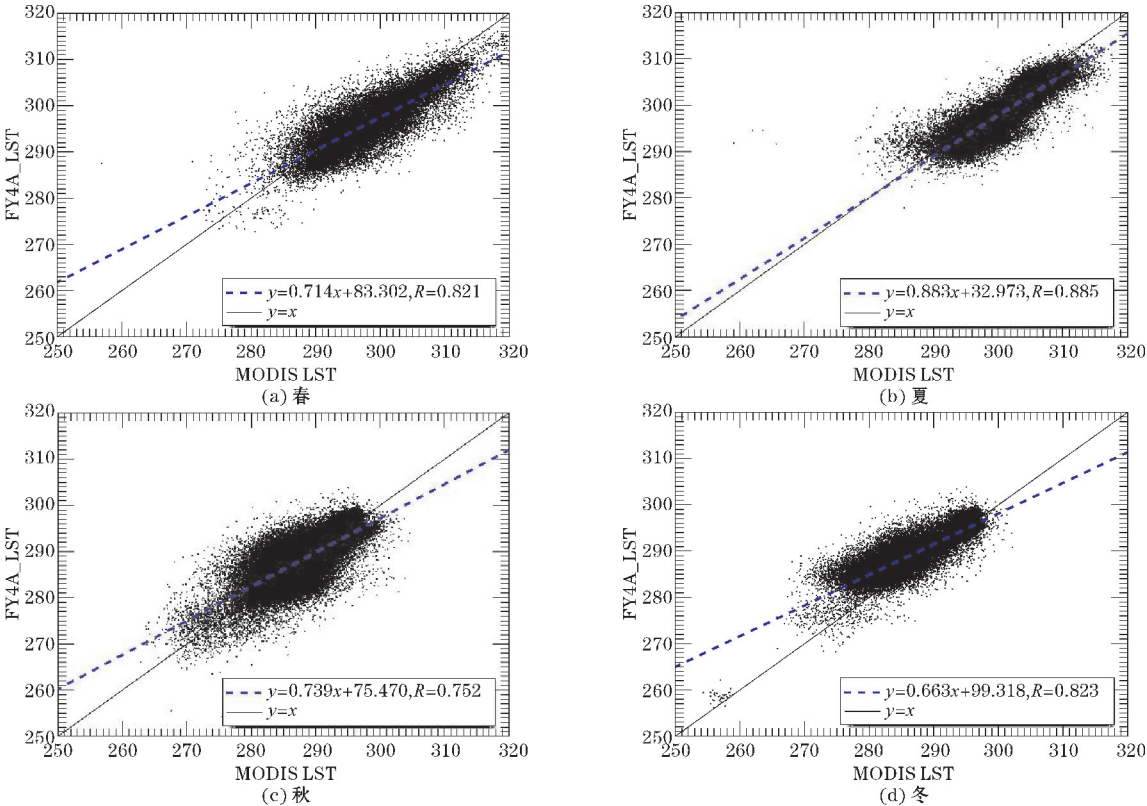


图 6 北京时间 13 时四季整体性散点图

表 7 北京时间 03 时四季整体性验证结果

季节	平均 误差	平均绝 对误差	均方根 误差	相关 系数
春	-0.84	1.93	2.58	0.971
夏	-1.47	2.28	2.93	0.968
秋	-0.79	1.88	2.46	0.972
冬	-0.27	1.94	2.64	0.958

表 8 北京时间 13 时四季整体性验证表

季节	平均 误差	平均绝 对误差	均方根 误差	相关 系数
春	-2.00	3.24	4.09	0.821
夏	-2.75	3.76	4.34	0.885
秋	0.24	3.08	3.99	0.752
冬	2.81	3.37	4.31	0.823

3.4 FY-4A LST 数据辐射定标检验

选取 MODIS 上午、下午的卫星航带覆盖四川省，

且具有较多晴空区的两幅陆表温度影像,与同一时段的 FY-4A 陆表温度影像,将二者重采样到同一尺度后,对数据作差,得到四川省平均辐射亮度差异图。由图 7 可知在夜间 FY-4A 与 MYD02-1KM 两个波段辐射亮度差异普遍集中在 $-0.1 \sim 0.1 \text{ w/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$,且 $10.8 \mu\text{m}$ 和 $12 \mu\text{m}$ 波段辐射亮度差异高度相似;而 FY-4A与 MOD02-1KM 白天数据两个波段辐射亮度差异普遍集中在 $0.2 \sim 0.4 \text{ w/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$,且同一区域 $10.8 \mu\text{m}$ 和 $12 \mu\text{m}$ 波段存在明显差异,说明其通过这两个波段反演出的陆表温度无论是误差还是稳定性,夜间的陆表温度数据均优于白天,这与表 7~8 的结果相吻合。从局部来看,由于成都平原地形平坦,地物种类相对单一,FY-4A 和 MODIS 数据在成都平原的辐射差异始终处于稳定水平;而在川西高原,由于地物种类复杂,地形起伏大,使辐射亮度差异值不稳定。

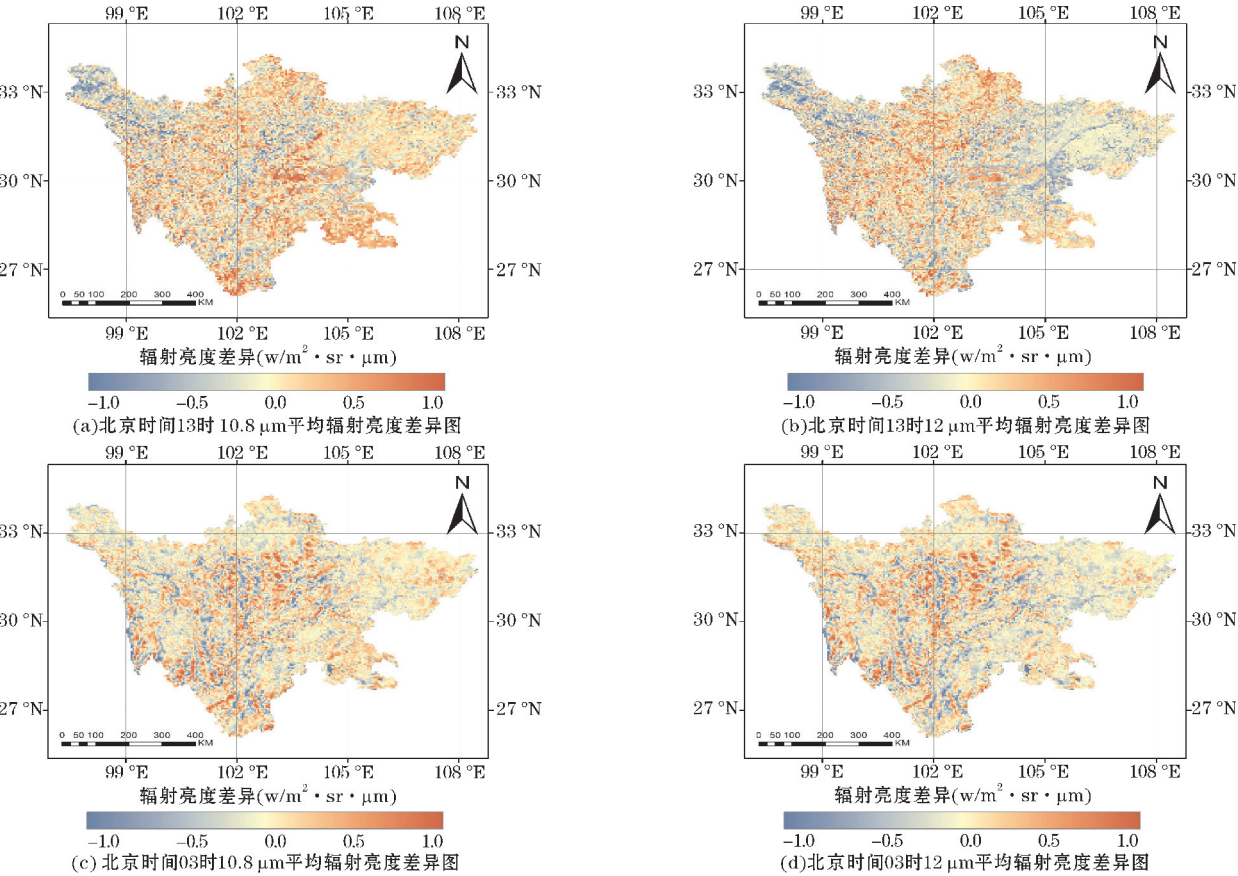


图 7 FY-4A 与 MYD02-1KM 两个波段白天夜间平均辐射亮度差异图

4 结束语

本文针对 FY-4A LST 数据验证,利用 MODIS LST 产品数据、地面站点温度数据进行验证。研究使用的时间序列长,得到的结果具有真实性,相关结论总结如下:

- (1) FY-4A LST 产品与地面站点观测数据及
- (2) FY-4A LST 产品与站点温度直接验证的结果

MODIS 陆表温度产品具有高相关性,但 FY-4A LST 产品观测结果比后两者低,误差在日间和夜间观测中有所不同。整体平均误差、平均绝对误差、均方根误差和相关系数均表明 FY-4A LST 产品结果比其他两种方法的结果低。多次交叉验证表明,FY-4A LST 数据夜间温度更稳定。

表明,FY-4A 陆表温度比站点实测温度低,误差为 $-9.96 \sim -4.57$ K。不同季节温度差异的验证显示,夏季的陆表温度真实性低于其他季节,且 FY-4A 陆表温度在所有季节的结果均低于站点温度,在高温情况下会出现“高值低估”现象。多种验证表明,FY-4A LST 的准确性受当陆表温度的影响较大,真实性与温度的高低呈现负相关。

(3)通过在 17 类土地利用类型的交叉对比验证,发现 FY-4A LST 与 MODIS LST 在各类地物对应中有较高一致性,相关系数集中在 $0.78 \sim 0.98$,夜间结果优于日间结果。但在地形起伏区域存在较大差异。

(4)通过 FY-4A 和 MODIS 在热红外通道的辐射定标对比可知,FY-4A 的热红外辐射亮度值在夜间存在 $-0.1 \sim 0.1 \text{ w/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ 的差异,日间存在 $0.2 \sim 0.4 \text{ w/m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$ 的差异,且在地形起伏区域的辐射亮度结果存在较大不确定性。FY-4A LST 产品的不确定性主要来自辐射定标的误差。

参考文献:

- [1] 范嘉智,罗宇,谭诗琪等. 基于 FY-3C_MWRI 的湖南省陆表温度遥感反演评价[J]. 国土资源遥感,2021,33(1):1-7.
- [2] 梁洪武,阿里木江·卡斯木,赵禾苗,等. 天山北坡城市群陆表温度时空差异及贡献度分析[J]. 干旱区研究,2021,11(1):1-14.
- [3] 王顺久,唐信英,王鸽,等. 藏东南地区复杂下垫面地气交换观测试验研究[J]. 干旱区资源与环境,2018,32(2):149-154.
- [4] 裔传祥,盛也,周宏伟,等. 基于 MODIS 数据的盐城市热岛效应特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2022,16(1):104-109.
- [5] 王博,郭鹏,孟春红,等. 基于 FY-3D 微波成像仪的陆地区域陆表温度反演及验证[J]. 大气科学学报,2022,45(1):112-123.
- [6] 朱金顺,任华忠,叶昕,等. 热红外遥感陆表温度与发射率地面验证进展[J]. 遥感学报,2021,25(8):1538-1566.
- [7] 熊威. 基于高分辨率多光谱遥感数据的城市森林反射率真实性检验[J]. 北京测绘,2019,33(10):1214-1217.
- [8] 李特雅,宋妍,于新莉,等. 卫星热红外温度反演钢铁企业炼钢月产量估算模型[J]. 自然资源遥感,2021,33(4):121-129.
- [9] 张晓东,赵银鑫,马风华,等. 基于遥感数据的银川市城市公园对城市热环境降温效应分析[J]. 水土保持通报,2021,41(5):338-347.
- [10] 刘红波. 大连旅顺区土地利用及陆表温度时空分异研究[J]. 国土与自然资源研究,2022,12(5):24-25.
- [11] 熊晓峰,张德州. 长三角地区地表覆盖与城市热岛时空演变分析[J]. 地理空间信息,2021,19(11):71-74.
- [12] 余卫国,房世波,齐月,等. ASTER 数据陆表温度产品精度评价[J]. 干旱气象,2019,37(6):987-992.
- [13] 朱玲,顾正强,龚强,等. 辽宁省积雪对自动气象站观测地气温差的影响[J]. 冰川冻土,2019,41(2):293-303.
- [14] Xingwei He, Na Xu, Xiaohu Feng. Assessment of multi-resolution and multi-sensor data for urban surface_Ruiliang Pu[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,2022,60(1):1-12.
- [15] Jing Ren, Guirong Xu, Wengang Zhang. Evaluation and Improvement of FY-4A AGRI Quantitative Precipitation Estimation for Summer Precipitation over Complex Topography of Western China [J]. Remote Sensing,2021,13(1):1-17.
- [16] Marie bouillon, Sarah Safieddine, Juliette Hadji-Lazaro. Ten-Year Assessment of IASI Radiance and Temperature [J]. Remote Sensing, 2020, 23(1):1-14.
- [17] Bo Zhong, Yingbo Ma, Aixia Yang, Junjun Wu. Radiometric Performance Evaluation of FY-4AAGRI Basedon AquaMODIS [J]. Sensors, 2021,21(1):1-11.
- [18] 周若雨. 四川省各市州土地资源可持续利用研究[J]. 国土与自然资源研究,2021,10(4):28-32.
- [19] 宁珂,王石英. 基于 GIS、RS 的四川省地貌区划[J]. 云南地理环境研究,2018,30(3):47-54.
- [20] 章金城,周文佐. 四川省地形起伏度与人口经济的空间自相关关系[J]. 水土保持通报,2019,39(1):1-8.
- [21] 吴进群. 风云四号遥感产品质量检验评估技术研究与应用[C]. 第 34 届中国气象学会年会 S21 新一代静止气象卫星应用论文集,2017.

[22] 罗双,狄迪,崔林丽. 基于信息容量的 FY-4A_GIIRS 红外光谱探测能力研究[J]. 红外与毫米波学报,2019,38(6):1-12.

[23] Zhenngming Wan. MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document[R]. 1999.

[24] 蔡晶晶. 温度传感器辐射误差修正及自动气象站设计[D]. 南京:南京信息工程大学,2018.

[25] 张莉莉. 自动气象站温度校准系统中测温部分的设计与误差分析[D]. 南京:南京信息工程大学,2013.

Authenticity Evaluation of Land Surface Temperature Data of
FY-4A in Sichuan Province

LI Chao, HE Xiao, FENG Jiandong, LIU Zhengyuan, LIU Wenjia, ZHANG Yang, LIU Zhihong
(College of Resource and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract:Land surface temperature (LST) data is a crucial indicator for monitoring the Earth’s environment and measuring the stability between the Earth’s surface and atmosphere. Based on FY-4A LST products,combined with the LST of 8 meteorological stations and 66 groups of MODIS LST products,this paper explores the accuracy and influencing factors of FY-4A LST products in Sichuan. The results indicate that the average error,the average absolute error,the root mean square error and the correlation coefficient between the temperature data and the ground station are -6.39 K, 6.81 K,9.10 and 0.945 ,among which the flat terrain area is better than the undulating terrain area. The average error, the average absolute error,the root mean square error and the correlation coefficient between FY-4A LST product and MODIS LST product are -0.585 K,2.625 K,3.49 and 0.931. Among them,Nighttime results are better than daytime, and the correlation of each season is different,and underestimation is common. In terms of spatial difference,the East is better than the West as a whole. The accuracy of Chengdu Plain is high,but it decreased in the area with obvious topographic relief in the west of Sichuan Province. The verification results of 17 land use types show that the accuracy of LST products of farmland and natural vegetation types is significantly better than that of evergreen broad-leaved forest types.

Keywords:FengYun-4A;land surface temperature;accuracy evaluation;remote sensing