

不同分辨率的气温格点实况分析产品在重庆的对比检验

李奇临¹ 旷兰² 魏麟骁³ 朱浩楠³ 王娜⁴

(1 重庆市气象信息与技术保障中心, 重庆 401147; 2 重庆市綦江区气象局, 重庆 401420;
3 重庆市气候中心, 重庆 401147; 4 重庆市渝北区气象局, 重庆 401120)

摘要: 通过对比检验1 km与5 km分辨率的国家级气温格点实况分析产品在重庆地区高温月份的数据质量, 为两种产品在业务上的合理应用和高温天气过程中数据改进提供参考依据。结果表明: 1 km与5 km气温产品数值均以偏小为主, 平均绝对误差分别为0.63 °C、1.1 °C。站点观测气温偏高时, 两种产品的平均值误差均增大, 1 km产品在各高温区间的平均误差始终小于5 km产品; 随海拔的升高, 两种产品的准确率均降低, 且均在气温观测值为[20, 25] °C区间内准确率最高; 在不同海拔高度区间, 1 km产品准确率均比5 km的产品准确率高, 5 km产品准确率呈现夜间高于白天的特征。两种实况产品受高温天气及高海拔影响较大, 未来可以结合重庆本地复杂的地形特征, 选择最优的数据融合方案做本地化改进。

关键词: 气温, 质量检验, 陆面数据同化系统, 高分辨率多源融合实况分析产品, 重庆

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.06.011

Comparative Validation of Gridded Real-time Temperature Analysis Products with Different Spatial Resolutions in Chongqing

Li Qilin¹, Kuang Lan², Wei Linxiao³, Zhu Haonan³, Wang Na⁴

(1 Chongqing Meteorological Information and Technical Support Center, Chongqing 401147 2 Qijiang Meteorological Bureau, Chongqing 401420 3 Chongqing Climate Center, Chongqing 401147 4 Yubei Meteorological Bureau, Chongqing 401120)

Abstract: By comparing and testing the data quality of 1 km and 5 km resolution national gridded real-time temperature analysis products in high temperature months in Chongqing, we provide reference for the operational application of the two products and for enhanced data quality in high temperature weather. The results show that the values of both 1 km and 5 km products are relatively small, with the average absolute errors being 0.63 °C and 1.1 °C, respectively. The increase of the observed temperature at the stations is accompanied with the increase of the average error for both of the two products. Meanwhile the average error of 1 km products in each high temperature range is always less than that of 5 km products. Moreover, with the increase of altitude, the accuracies of the two products decrease, which reach the highest in the temperature observation range of [20, 25] °C. Under the different altitude intervals, the accuracy of the gridded real-time products of 1 km is always higher than that of 5 km, and the accuracy of 5 km products is higher at night than that during the day. It can be seen that the two gridded real-time products are greatly affected by high temperature and high altitude. In the future, optimized data fusion scheme can be selected based on the local complex terrain of Chongqing for improved localization measures.

Keywords: temperature, quality assessment, HRCLDAS, CLDAS, Chongqing

0 引言

站点观测、风云卫星和气象雷达单一的探测系统都有一定的局限性, 多源数据融合技术让多圈层

观测系统发挥最大化效益, 多源数据融合技术也因此逐步由科研成果转化为业务化产品, 在天气气候监测、气候变化研究、模式预报检验等业务中广泛应用^[1-4]。中国气象局研发的陆面数据同化系统(CLDAS)已实现多模式集成的业务化运行, 其输出的实况分析产品时空分辨率为5 km/h, 包含亚洲区域范围的降水、气温、风等气象要素^[5-6]。CLDAS是经质

收稿日期: 2021年6月11日; 修回日期: 2021年12月23日

第一作者: 李奇临(1987—), Email: 342455539@qq.com

通信作者: 旷兰(1987—), Email: 612437331@qq.com

资助信息: 重庆市气象部门业务技术攻关项目(YWJSGG-202110)

量控制后的温、压、湿、风观测数据与欧洲中期天气预报中心(ECMWF)分析背景场通过时空多尺度数据分析同化系统(STMAS)融合,并订正高度后生成的实况分析产品。2020年4月底,CLDAS-V2.1产品新增了非考核站观测资料和产品质量标识码,其质量、时效、稳定性均有提升,各省已在业务应用中。2020年7月,高分辨率多源融合实况分析产品(HRCLDAS)时空分辨率提高到1 km/h,融合了非考核站点资料,并通过服务器移植、编译器和库函数的升级,以及程序与流程的优化,其时效和空间分辨率均优于CLDAS系列产品。对比国际同类产品^[7-9],包括ECMWF研发的第五代全球大气再分析数据高精度地面融合产品ERA5-Land、ECMWF再分析产品ERA-interim、美国国家环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)联合制作的NCEP/NCAR再分析数据集、韩国陆地数据同化系统产品KLDAS、日本气象厅(JMA)研发的55年全球大气再分析产品JRA-55等,CLDAS与HRCLDAS产品在空间分辨率、数据准确率方面呈现出一定的优势。

从以往的气温格点实况产品的评估研究^[10-16]中可见,CLDAS与HRCLDAS产品在中国东部地区的适用性优于西部地区,低海拔地区的适用性优于高海拔地区,对全国范围的整体检验多,针对区域的特色评估不多,尤其是高温灾害天气过程中产品准确率的研究较少。重庆地区地形地貌复杂,盛夏期间高温天气过程频繁,本文针对重庆地区2020年8月气温显著偏高月份,对CLDAS与HRCLDAS产品的气温格点实况分析产品质量进行对比检验,分析产品的误差时、空特征和准确率,并从海拔高度、高温区间对两类产品进行对比检验,以期两种产品在业务上的合理应用和数据改进提供参考依据,助力精细化网格预报业务建设。

1 资料与方法

1.1 数据来源

本文针对不同分辨率的国家级气温格点实况产品进行对比检验,使用的资料均来源于国家气象信息中心。格点实况产品包括CLDAS-V2.1(5 km/h)和HRCLDAS(1 km/h),地面站点观测资料包括重庆地区35个国家气象站和1937个省级自动站的逐小时观测资料,对以上3种资料分别提取2020年8月期间逐小时的气温要素数据,其中地面站点观测数据经过了气象资料业务系统(MDOS)三级质量控制流程质控^[17-18]。根据质控码为0(代表数据正确)、数据可用率、设备可用性等计算综合指标,筛选出1396440个样本数,

选为此次检验标准数据的“真值”数据,以确保评估检验结果的科学性。重庆地区气象站点空间分布如图1所示。

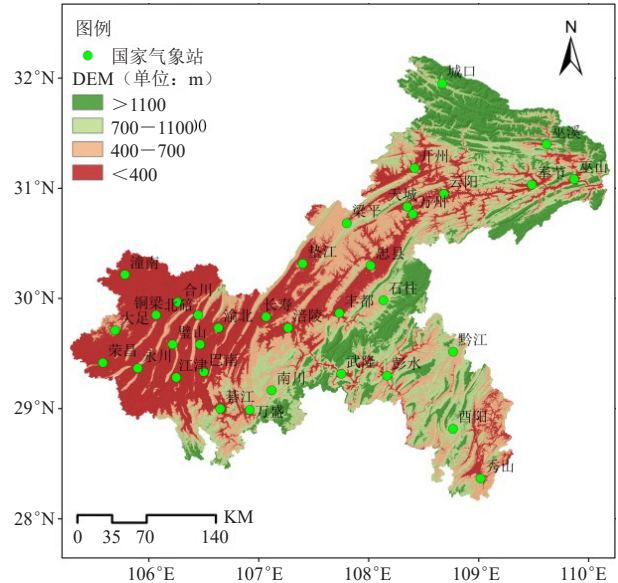


图1 重庆地区地形与国家气象站分布图

Fig. 1 Topography of Chongqing and spatial distribution of national weather stations in Chongqing

1.2 检验方法

依照中国气象局发布的《实况分析产品质量评估规范(2019版)》^[19]提出的统计评估方法和误差指标,对小时气温格点实况产品进行评估。以经过质量控制的站点观测资料作为“真值”,采用非独立样本检验方法,对比检验2020年8月1 km与5 km两种不同分辨率格点实况产品的2 m小时气温要素,基于双线性插值方法,对逐日、逐时的误差指标、准确率以及不同海拔高度、不同高温区间的误差变化特征进行分析。各误差指标及准确率计算方法如下:

$$\text{平均值误差}(ME): ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - O_i),$$

$$\text{平均绝对误差}(MAE): MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |G_i - O_i|, \quad (1)$$

$$\text{均方根误差}(RMSE): RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - O_i)^2}, \quad (2)$$

相关系数(COR):

$$COR = \frac{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}}, \quad (3)$$

$$\text{准确率}(P_t): P_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (|G_i - O_i| \leq t), \quad (4)$$

其中, O_i 为站点观测值, G_i 为实况产品插值到检验站点得到的数值, \bar{O} 和 \bar{G} 分别为站点观测与格点插值到站点后的平均值, N 为参与检验的总样本数(站数), t 为设定的判断阈值, 本文设定准确率阈值 t 为 1°C 和 2°C 。

双线性插值方法^[15]: 双线性插值是有两个变量的插值函数的线性插值扩展, 其核心思想是在两个方向分别进行线性插值。首先在纬向方向进行线性插值:

$$T(x, y_1) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} T(x_1, y_1) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} T(x_2, y_1), \quad (5)$$

$$T(x, y_2) = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} T(x_1, y_2) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} T(x_2, y_2), \quad (6)$$

然后再经度方向进行线性插值:

$$T(x, y) = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} T(x, y_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} T(x, y_2), \quad (7)$$

$T(x, y)$ 是插值后站点变量值。其中 $T(x_1, y_1)$ 、 $T(x_2, y_1)$ 、 $T(x_1, y_2)$ 、 $T(x_2, y_2)$ 为对应网格变量值, $T(x, y_1)$ 、 $T(x, y_2)$ 分别是 x_1, x_2 纬度上的线性插值结果。

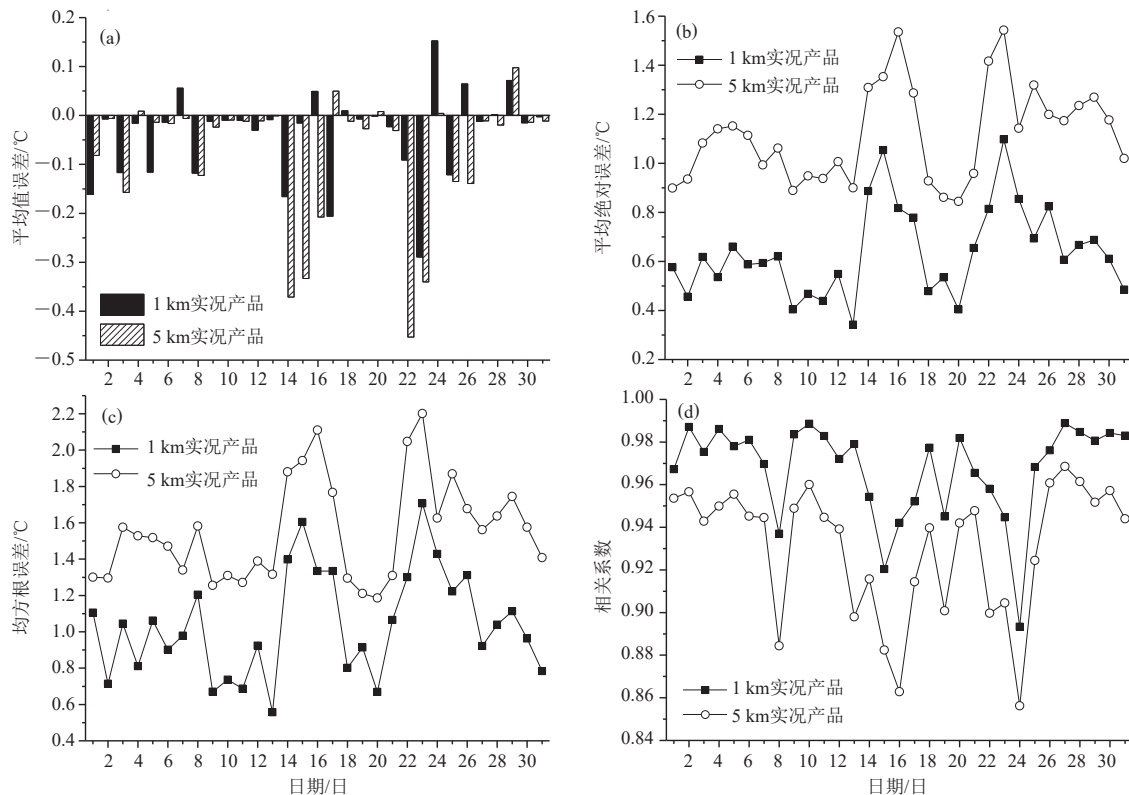


图2 2020年8月不同分辨率气温格点实况产品日序误差对比图

(a) 平均值误差 (ME), (b) 平均绝对误差 (MAE), (c) 均方根误差 (RMSE), (d) 相关系数 (COR)

Fig. 2 Comparison chart of daily sequence errors of gridded real-time temperature analysis products with different resolutions in August 2020

(a) ME, (b) MAE, (c) RMSE, (d) COR

进一步研究高温天气 ($\geq 35^\circ\text{C}$), 两种格点实况产品的误差指标情况, 结果如图3所示。在高温站次样本中发现, 随着观测气温的不断升高, 高温站次样

2 结果分析

2.1 逐日误差对比

将2020年8月1—31日1 km与5 km小时气温格点实况产品分别插值到重庆地区1972个站点, 计算得出产品插值与站点观测值的偏差序列, 再分别统计四个误差指标逐日值, 结果如图2所示。从图2a平均值误差指标可见, 1 km与5 km产品数值均以偏小为主, ME区间分别为 $[-0.29, 0.15]^\circ\text{C}$ 和 $[-0.45, 0.1]^\circ\text{C}$, 其中5 km产品在14—17日、22—23日偏小较明显。从图2b平均绝对误差指标可见, 1 km产品在15日和23日处于误差峰值, 5 km产品在16日和23日处于误差峰值, 8月MAE分别为 0.63°C 、 1.1°C 。图2c表示的均方根误差与图2b走势几乎一致, 1 km与5 km产品RMSE分别为 1.04°C 、 1.56°C , 两种产品在14—17日、22—25日期间误差波动均较大。以上三种误差指标与图2d相关系数较为对应, 1 km产品的相关系数大于5 km产品, 两者均在24日处于最低值。

本数相应降低, 而两种产品的平均值误差呈负增长趋势。1 km产品在 $[35, 38]^\circ\text{C}$ 的高温区间内, 平均值误差小于 -1°C , 5 km产品在高温天气下, 平均值误差均超

过-1℃; 1 km产品在40℃以上的高温天气下, 平均值误差超过-2℃; 5 km产品在39℃以上的高温天气下, 平均值误差超过-2℃。1 km产品在各高温区间的平均误差始终小于5 km产品。

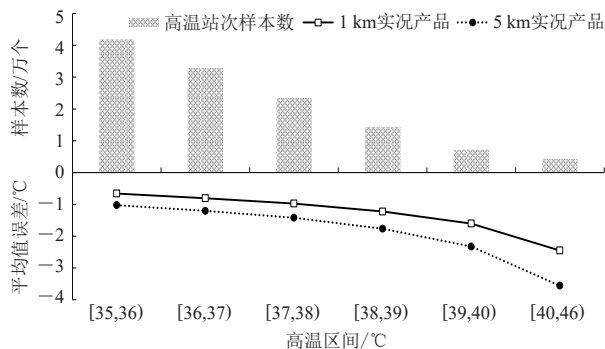


图3 不同高温区间的气温格点实况产品平均值误差变化
Fig. 3 Mean error distribution of gridded real-time temperature analysis products in different high temperature intervals

对比1 km和5 km产品误差在1℃、2℃以内的准确率(图4), 1 km产品准确率明显优于5 km产品, 14—17日、22—25日期间两种产品的准确率均下降。根据8月天气形势来看, 14—17日处于持续性高温天气过程, 日平均气温在27.4~29.2℃, 19个区县最高气温超过37℃, 18日出现强降水过程, 日平均气温降至24.7℃, 两种产品准确率有所提升。5 km产品误差在1℃以内的准确率相对偏低, 尤其在16日和23日偏低明显, 1 km产品误差在1℃以内的准确率与5 km产品误差在2℃以内的准确率较一致, 误差在2℃以内的1 km产品准确率在各日均高于其余指标, 可达82%以上。

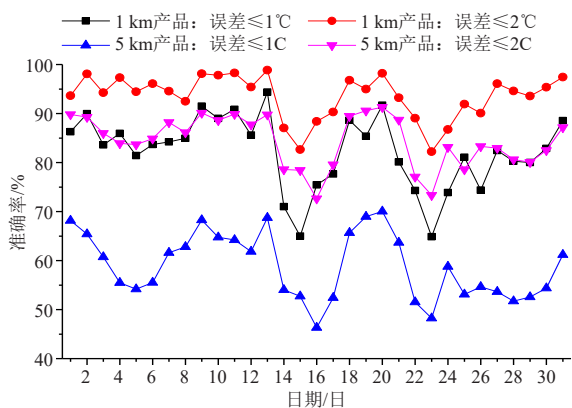


图4 2020年08月不同分辨率气温格点实况产品误差≤1℃、误差≤2℃准确率日序图
Fig. 4 Daily sequence diagram of error ≤ 1°C and error ≤ 2°C for the gridded real-time temperature analysis products with different resolutions in August 2020

2.2 逐时误差对比

对两种产品2020年8月逐时误差指标序列进行

分析, 如图5a所示, 1 km与5 km产品数值在09—18时数值均明显偏小, 5 km产品在10时ME达到最大值-0.61℃。在11—13时, 1 km较5 km产品数值偏小更严重, ME达到-0.27℃以上, 5 km产品ME在0.19℃以下。对照平均绝对值误差与均方根误差指标, 如图5b、5c, 1 km产品在11—13时也较其他时次误差偏大, MAE分别为0.90℃、0.76℃、0.90℃, 5 km产品在10时的MAE达到最大值1.5℃, 两者在10—17时数值波动较大。

对比1 km和5 km产品误差分别在1℃、2℃以内的准确率(图5d), 1 km产品准确率在11时、13时这两个时次偏低, 而5 km产品准确率在10时、14时偏低, 5 km产品准确率呈现夜间高于白天的特征。从误差在1℃以内的准确率来看, 1 km产品明显高于5 km产品, 5 km产品在2—8时准确率略超过60%, 其余时刻均小于60%。从误差在2℃以内的准确率来看, 1 km产品仍然优于5 km产品, 1 km产品准确率范围在87%~97%, 5 km产品准确率范围在75%~87%。

2.3 空间误差对比

分析重庆地区2020年8月站点平均小时气温与2 m小时气温格点实况产品的平均绝对误差空间分布特征, 如图6所示, 5 km产品误差明显大于1 km产品, 尤其在海拔较高的站点, 平均绝对误差在1~3℃的站点较多。统计MAE在不同区间的站点个数(表1)可知, 1 km产品平均绝对误差小于2℃的站点达到99%, 绝对误差小于1℃的站点达到96%; 5 km产品平均绝对误差小于2℃的站点达到96%, 绝对误差小于1℃的站点为80%。MAE超过6℃的站点有1个, 为万盛地区的自动观测站, 1 km产品MAE为6.4℃, 5 km产品MAE为6.3℃。经核查, 该站点位于城市中心区域, 受城市热效应影响较大, 因此实况分析产品数值偏低。从两种产品的最大误差值站次来看, 1 km产品误差更大, 且这些误差大的站点海拔也较高。

2.4 不同海拔的准确率对比

按照海拔高度划分, 对比分析1 km与5 km格点实况产品在不同海拔平均绝对误差≤1℃的准确率, 结果如表2, 表中分别给出了两种产品在海拔高度500 m以下、500~1000 m和1000 m以上MAE≤1℃的准确率对比。1000 m海拔高度以下, 两种产品均在25~30℃区间的样本数最多, 20℃以下的样本数最少; 1000 m海拔高度以上, 两种产品均在20~25℃区间的样本数最多, 35℃以上的样本数量最少。随海拔的升高, 总样本数下降, 两种产品的准确率也下降, 但1 km的实况产品准确率始终比5 km的实况产品准确率高。

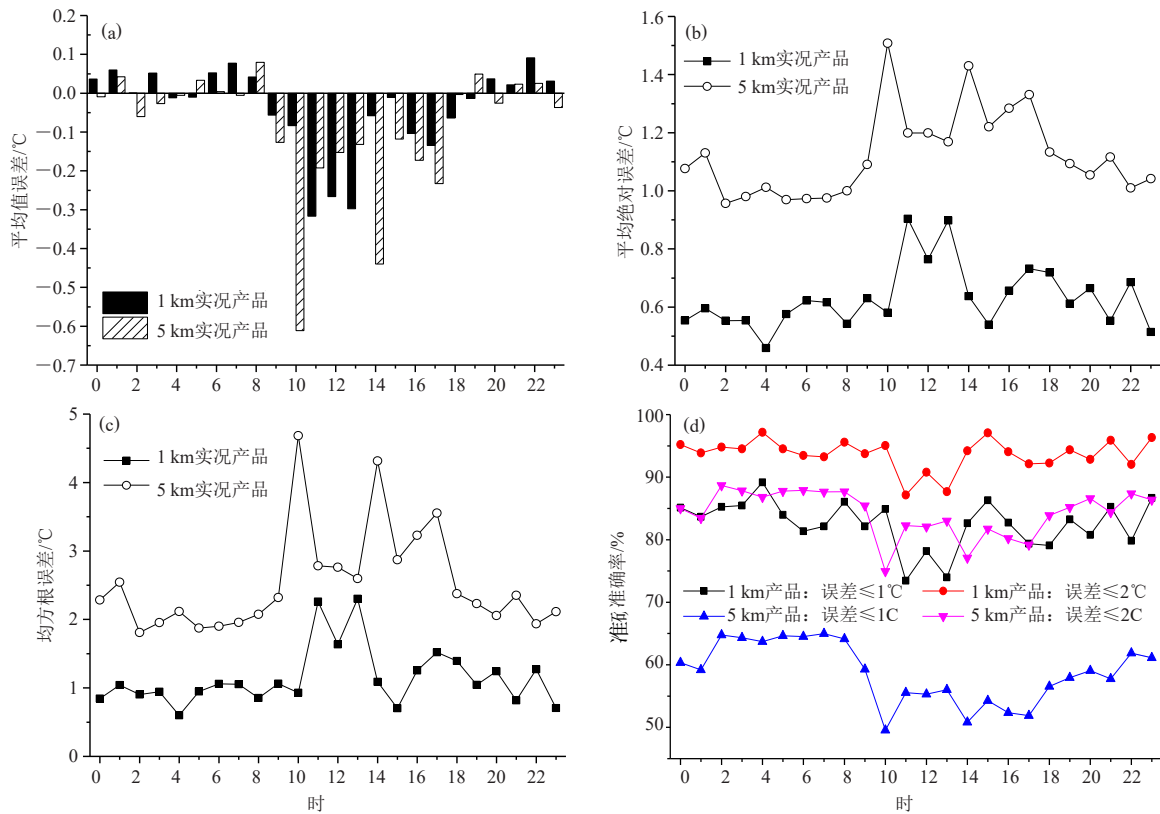


图5 2020年8月不同分辨率气温格点实况产品时序误差对比图

(a) 平均值误差 (ME), (b) 平均绝对误差 (MAE), (c) 均方根误差 (RMSE), (d) 准确率

Fig. 5 Comparison chart of hourly sequence errors of gridded real-time temperature analysis products with different resolutions in August 2020

(a) ME, (b) MAE, (c) RMSE, (d) accuracy

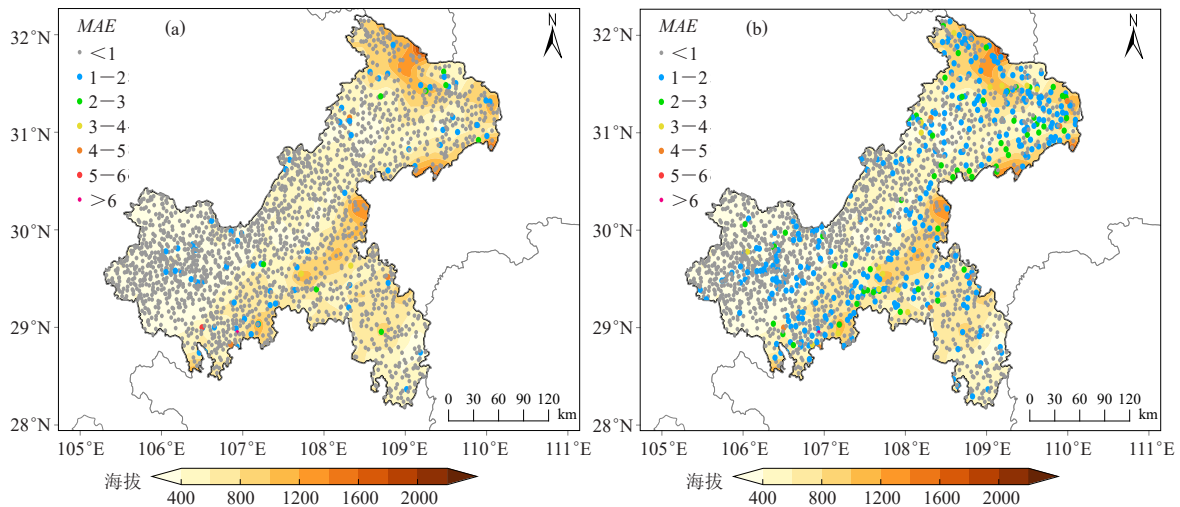


图6 2020年8月不同分辨率气温格点实况产品平均绝对值误差空间分布

(a) 1 km产品, (b) 5 km产品

Fig.6 Spatial distribution of MAE for the gridded real-time temperature analysis products in August 2020

(a) 1 km, (b) 5 km

1 km和5 km产品均在观测值为 [20, 25) °C 区间内准确率最高。1 km产品在海拔1000 m以下的站点, 观测值为[25, 30) °C 区间内准确率次高, 在海拔1000 m

以上的站点, 观测值小于20 °C 内准确率次高; 5 km产品在海拔500 m以下的站点, 观测值为[25, 30) °C 区间内准确率次高, 在海拔500 m以上的站点, 观测值小

表1 不同分辨率气温格点实况产品平均绝对值误差在不同区间站点个数统计表(单位:个)

Table 1 CLDAS and HRCLDAS of MAE with different resolutions (unit: pcs)

实况产品分辨率	≤1 °C	(1, 2] °C	(2, 3] °C	(3, 4] °C	(4, 5] °C	(5, 6] °C	>6 °C
1 km	1888	67	9	3	3	1	1
5 km	1574	314	58	16	9	0	1

表2 不同分辨率气温格点实况产品在不同海拔高度平均绝对误差值≤1 °C的准确率对比

Table 2 Comparison of accuracy between 1 km and 5 km of gridded real-time temperature analysis products with MAE≤1 °C at different altitudes

海拔	产品分辨率	<20 °C	[20, 25) °C	[25, 30) °C	[30, 35) °C	≥35 °C
500 m以下	1 km	81%	86%	85%	81%	80%
	5 km	58%	71%	66%	59%	53%
	样本数(个)	4614	173758	318763	216686	106341
500~1000 m	1 km	78%	85%	80%	78%	75%
	5 km	58%	63%	52%	48%	43%
	样本数(个)	15173	163059	164142	90686	17217
1000 m以上	1 km	77%	79%	73%	72%	44%
	5 km	44%	47%	37%	33%	23%
	样本数(个)	27811	55156	27917	7586	372

于20 °C内准确率次高。

3 总结与展望

通过对2020年8月两种分辨率网格实况产品CLDAS-V2.1与HRCLDAS的检验,结果与全国范围的评估、欧洲中心ERA5-Land产品对比验证结果一致,1 km实况产品更加精细,融合实况质量显著提升,主要结论如下:

1) 1 km与5 km产品数值均以偏小为主,平均绝对误差分别为0.63 °C和1.1 °C。两种产品在14—17日、22—25日期间受持续性高温天气影响,误差波动均较大,在此期间内准确率也下降。

2) 随着观测气温的升高,高温站次样本数相应降低,而两种产品的平均值误差呈负增长,且1 km产品在各高温区间的平均误差始终小于5 km产品。

3) 逐时来看,两种产品在09—18时数值均偏小,其中1 km产品在11—13时数值比5 km产品数值偏小更严重,其余时次以偏大为主,5 km产品准确率呈现夜间高于白天的特征。

4) 空间特征来看,5 km产品误差明显大于1 km产品,1 km产品平均绝对误差小于2 °C的站点达到99%,绝对误差小于1 °C的站点达到96%;5 km产品平均绝对误差小于2 °C的站点达到96%,绝对误差小于1 °C的站

点为80%。另外,1 km产品的最大误差值站次较5 km产品更大,这些误差大的站点,海拔均较高。

5) 随海拔的升高,两种不同分辨率产品的准确率均降低,在不同海拔高度区间对比下,1 km的实况产品准确率始终比5 km的实况产品准确率高得多,1 km和5 km实况产品均在气温观测值为[20, 25) °C区间内准确率最高。

总体来说,2020年8月1 km气温实况分析产品优于目前业务应用的5 km产品,有效提高了本地气温实况分析产品的精度,而两种产品均受高温天气及高海拔影响较大,实况产品所代表的地形高度与观测实际高度也有一定差异,未来可以结合重庆本地复杂的地形特征,选择最优的数据融合方案,对气温实况分析产品做进一步的本地化改进。

参考文献

- [1] 李超,唐千红,陈宇,等.多源数据融合系统LAPS的研究进展及其在实况数据服务中的应用.气象科技进展,2017,7(2): 32-38.
- [2] 韩帅,师春香,姜立鹏,等.CLDAS土壤湿度模拟结果及评估.应用气象学报,2017,28(3): 369-378.
- [3] Albergel C, Dorigo W, Balsamo G, et al. Monitoring multi-decadal satellite earth observation of soil moisture products through land surface reanalyses. Remote Sensing of Environment, 2013, 11(138): 77-89.
- [4] Jang K, Kang S, Lim Y, et al. Monitoring daily evapotranspiration in Northeast Asia using MODIS and a regional land data assimilation system. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2013, 118(23): 12927-12940.
- [5] 师春香,潘旸,谷军霞,等.多源气象数据融合格点实况产品研制进展.气象学报,2019,77(4): 774-783.
- [6] 韩帅,师春香,姜志伟,等.CMA高分辨率陆面数据同化系统(HRCLDAS-V1.0)研发及进展.气象科技进展,2018,8(1): 102-116.
- [7] Ye M S, Yao X P, Zhang T, et al. Intercomparison of CRA-interim precipitation products with ERA5 and JRA-55. Journal of Tropical Meteorology, 2021, 27(2): 136-147.
- [8] Kim D, Lim Y J, Kang M, et al. Land response to atmosphere at different resolutions in the common land model over East Asia. Advances in Atmospheric Sciences, 2016, 33(3): 391-408.
- [9] Ma H, Yin Y, Xiao J J, et al. Evaluation of precipitation in Multi-Generation Reanalyses with land observations over Zhejiang Province. Journal of Tropical Meteorology, 2021, 27(2): 148-160.
- [10] 李显风,师春香,胡佳军,等.CLDAS数据质量在线评估系统的设计与实现.气象科技,2017,45(6): 1116-1124.
- [11] 张涛,苗春生,王新. LAPS与STMAS地面气温融合效果对比试验.高原气象,2014,33(3): 743-752.
- [12] 俞剑蔚,李聪,蔡凝昊,等.国家级格点实况分析产品在江苏地区的适用性评估分析.气象,2019,45(9): 1288-1298.
- [13] 陈玉玮,黄晓莹.广东区域智能网格实况分析产品的检验评估.广东气象,2021,43(1): 42-44.
- [14] 张玮,李显风,何瑶,等.基于江西省站点资料对智能网格实况分析产品的检验评估.江西师范大学学报(自然科学版),2020,44(4): 403-410.
- [15] 李翔翔,黄淑娥,杨军,等.多种再分析地面气温资料在江西省的适用性.气象科技,2020,48(6): 877-886.
- [16] 计舒怀.信阳市气温实况插值方法比较研究.南方农业,2017,11(8): 107-108.
- [17] 任芝花,熊安元.地面自动站观测资料三级质量控制业务系统的研制.气象,2007,33(1): 19-24.
- [18] 王海军,杨志彪,杨代才,等.自动气象站试资料自动质量控制方法及其应用.气象,2007,33(10): 102-109.
- [19] 龙柯吉,师春香,韩帅,等.中国区域高分辨率温度实况融合格点分析产品质量评估.高原山地气象研究,2019,39(3): 67-74.