

# 多源融合降水实况分析产品在山东一次强降水过程中的质量评估

张茜茹<sup>1,2\*</sup>, 陈益玲<sup>1,2#</sup>, 李长军<sup>1,2</sup>, 崔雅琴<sup>1,2</sup>, 周笑天<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>山东省气象防灾减灾重点实验室, 山东 济南

<sup>2</sup>山东省气象信息中心, 山东 济南

收稿日期: 2022年8月16日; 录用日期: 2022年9月13日; 发布日期: 2022年9月20日

## 摘要

利用山东省地面观测小时降水数据, 针对2021年发生在山东地区的一次强降水过程, 从降水时空特征、降水分量级检验等多个方面, 评估分析了1 km逐小时降水实时多源融合实况分析产品的数据质量。结果表明: 1) 融合降水产品质量较高, 能较好地反映降水落区与降水变化趋势, 整个降水过程的平均绝对误差为0.21 mm, 均方根误差为1.04 mm, 相对偏差为3.12%, 相关系数达0.97。2) 在降水发生初期和末期, 融合降水产品与观测降水的相对偏差较大、相关性较差, 在降水较强的时段降水产品与观测降水更接近。3) 融合降水产品在弱降水量级的技巧评分和命中率最好, 但对弱降水存在明显的高估; 对于大值降水, 降水产品的命中率较低, 并存在低估大值降水的现象。

## 关键词

1 km多源融合降水实况分析产品, 强降水过程, 质量评估

# Quality Assessment of Multi-Source Merged Precipitation Live Analysis Product in a Heavy Precipitation Process in Shandong

Qianru Zhang<sup>1,2\*</sup>, Yiling Chen<sup>1,2#</sup>, Changjun Li<sup>1,2</sup>, Yaqin Cui<sup>1,2</sup>, Xiaotian Zhou<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong, Jinan Shandong

<sup>2</sup>Shandong Meteorological Information Center, Jinan Shandong

Received: Aug. 16<sup>th</sup>, 2022; accepted: Sep. 13<sup>th</sup>, 2022; published: Sep. 20<sup>th</sup>, 2022

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 张茜茹, 陈益玲, 李长军, 崔雅琴, 周笑天. 多源融合降水实况分析产品在山东一次强降水过程中的质量评估[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(5): 804-811. DOI: 10.12677/ccr.2022.115083

## Abstract

Based on the hourly precipitation data of ground observation in Shandong Province, the 1 km hourly precipitation real-time multi-source merged live analysis product is evaluated in a heavy precipitation process in Shandong in 2021 from the aspects of precipitation spatial-temporal characteristics and precipitation component level inspection. The results show that: 1) The quality of merged precipitation product is high, and it can better reflect the precipitation area and precipitation change trend. The mean absolute error of the whole precipitation process is 0.21 mm, the root mean square error is 1.04 mm, the relative deviation is 3.12% and the correlation coefficient is 0.97. 2) In the initial stage and final phase of precipitation, the relative deviation of the merged precipitation product and the observed precipitation is relatively large, and the correlation is relatively poor, while precipitation product is closer to the observed precipitation in the period of strong precipitation. 3) The skill score and hit rate of the merged precipitation product are the best in the weak precipitation level, but there is an obvious overestimation of the weak precipitation; for the large-value precipitation, the hit rate of the precipitation product is low, and there is a phenomenon of underestimating the large-value precipitation.

## Keywords

1 km Multi-Source Merged Precipitation Live Analysis Product, Heavy Precipitation Process, Quality Assessment

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来, 国家气象信息中心开启了多源降水融合探索[1] [2] [3] [4] [5], 在改造国外技术基础上, 重点解决如何引入雷达、卫星等多源数据, 在提升产品分辨率的同时不降低精度的原理方法问题, 陆续研制了 10 km、5 km 和 1 km 降水融合技术方案, 并在业务应用中优化了数据源使用策略, 为强降水监测和智能网格预报业务提供了“零时刻”分析场。2021 年, 国家气象信息中心完成了 1 km 逐小时降水实时多源融合实况分析产品的研制工作, 该产品的研发综合了地面自动气象观测站、天气雷达、风云卫星和数值模式等多源数据优势, 采用了多元协同质量控制、概率密度匹配、贝叶斯模型平均、多重网格变分和最优插值等核心多源融合分析技术, 提升了复杂地形、冬季降水以及极值刻画能力, 将空间分辨率提升至 1 km, 产品时效提高至 5 分钟。

虽然网格实况产品开始在预报预警服务中应用, 但产品仍存在检验评估不完善、应用不全面等问题, 尤其是 1 km 高精度网格实况产品的应用潜力尚未得到充分发挥, 产品在不同区域没有充分评估, 在不同灾情事件中的真实性分析急需加强。本文以山东 2021 年 7 月 11 日~7 月 13 日一次强降水过程为例, 评估 1 km 逐小时降水实时多源融合实况分析产品的精细化监测能力。

## 2. 数据与方法

### 2.1. 多源融合降水实况分析产品

本文评估对象为山东 2021 年 7 月 11 日 17 时~7 月 13 日 12 时(北京时, 下同)强降水期间的 1 km 逐小时降水实时多源融合实况分析产品(简称“融合降水产品”)的数据质量。该产品首先利用概率密度匹配订

正了雷达估测降水产品、卫星反演降水产品和模式降水产品,之后利用贝叶斯模型平均方法生成了雷达-卫星联合降水场,并用最优插值方法将多源协同质量控制后的地面降水格点分析场与联合降水场进行融合[6],生成了空间分辨率为1 km的格点数据。评估时段内,应获取产品数和实际获取数均为44个时次。

## 2.2. 地面观测资料

本文通过“气象大数据云平台·天擎”接口获取了同时段的地面自动气象观测数据,包括123个国家地面自动气象观测站(简称“国家站”)和1862个区域自动气象观测站(简称“区域站”)的逐小时降水数据。经过“气象资料业务系统(MDOS) 2.0”质量控制后,国家站降水数据可用率为100%;区域站降水数据可用率为94.87%,其中部分海岛站的数据可用率为0%(期间数据均缺测)。为保证检验质量,评估前将数据可用率为0%的区域站全部剔除,筛选后,共计1770个区域站参与评估,数据可用率达99.96%。

## 2.3. 检验标准与方法

本文评估指标及计算方法参考了《中国区域降水网格实况产品全流程检验评估细则(2020版)》及《ART\_1 km降水网格实况产品对不同风险点的真实性评估方法》[7],对已参与融合的国家站和区域站采用非独立样本检验。将地面观测数据作为“真值”,采用自然临近的插值方法,选距离站点最近的网格实况值插值到观测点,统计比较评估时间内两者的降水数据、误差、相关关系与传统检验评分。本文用到了平均绝对误差(简称“MAE”)、均方根误差(简称“RMSE”)、相对偏差(简称“BIAS”)和相关系数(简称“COR”)4个检验误差指标,和技巧评分(简称“TS”)、相当技巧评分(简称“ETS”)、命中率(简称“POD”)、空报率(简称“FAR”)和漏报率(简称“MR”)5个评分指标[8][9],公式如下:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |G_i - O_i| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - O_i)^2} \quad (2)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (G_i - O_i) \times \frac{1}{N}}{\sum_{i=1}^N O_i \times \frac{1}{N}} \times 100 \quad (3)$$

$$COR = \frac{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2}} \quad (4)$$

$$TS = \frac{NA}{NA + NB + NC} \quad (5)$$

$$ETS = \frac{NA - R(a)}{NA + NB + NC - R(a)} \quad (6)$$

$$POD = \frac{NA}{NA + NC} \quad (7)$$

$$FAR = \frac{NB}{NA + NB} \quad (8)$$

$$MR = \frac{NC}{NA + NC} \quad (9)$$

公式(1)~(4)中,  $O_i$  为站点观测值,  $G_i$  为融合降水产品插值到检验站点得到的数值,  $N$  为参与检验的总样本数; 公式(5)~(9)中,  $NA$  为地面观测和融合降水产品均发生的站点数(即命中),  $NB$  为观测不发生而产品发生的站点数(即空报),  $NC$  为观测发生而产品不发生的站点数(即漏报),  $ND$  为观测和产品都不发生的站点数(即命中否定); 公式(6)中  $R(a) = \frac{(NA + NB) \times (NA + NA)}{NA + NB + NC + ND}$ 。

为了保证评估的科学性, 若观测降水或融合降水产品任意一方缺测, 那么将该站点该时次对应的观测值和融合降水产品值均剔除, 不参与检验评估。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 降水空间特征分析

受副高边缘低涡切变线、低空急流和地面气旋影响, 2021年7月11日17时到13日12时, 山东出现了一次强降水过程, 从观测累积降水量可以看到(图1(a)), 鲁西北、鲁中的西部和半岛的部分地区出现大到暴雨局部大暴雨, 其他地区出现分散性雷雨或阵雨。全省自动气象观测站平均降水量为40.8 mm, 存在两个降水中心, 分别为禹城辛店与临邑翟家站, 降水量分别达249.4 mm、248.0 mm。对比融合降水产品的累计降水量(图1(b)), 融合产品的降水落区与观测较为一致, 能够很好地反映出鲁西北的强降水。融合降水产品的全部站平均降水量为42.0 mm, 较观测偏大1.2 mm。此外, 观测资料中两个降水中心在融合产品中的值分别为269.3 mm、219.6 mm, 分别较观测偏大19.9 mm、偏小28.4 mm。

图2分别给出了融合降水产品和观测降水的差值分布情况(图2(a))以及不同值域下台站所占比例

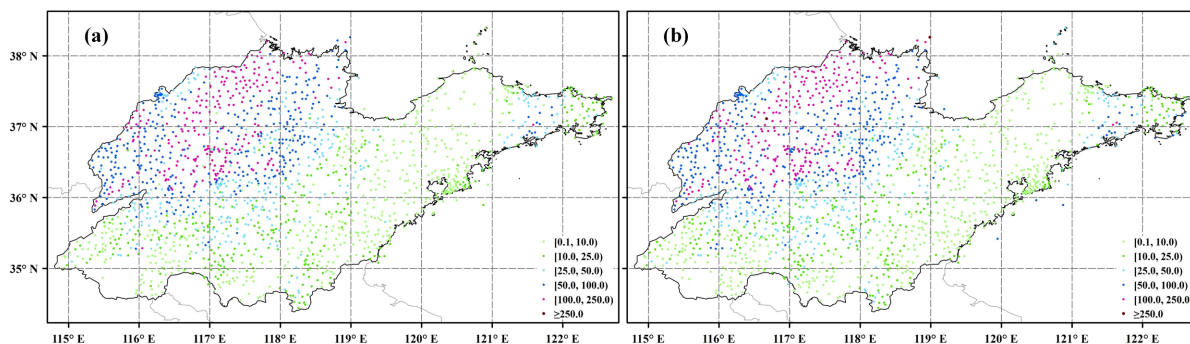


Figure 1. Gauge-based (a) and merged precipitation product (b) cumulative precipitation (mm) from 17:00 11 July to 12:00 13 July 2021 (mm)

图1. 2021年7月11日17时~7月13日12时地面观测(a)和融合降水产品(b)累积降水量(mm)

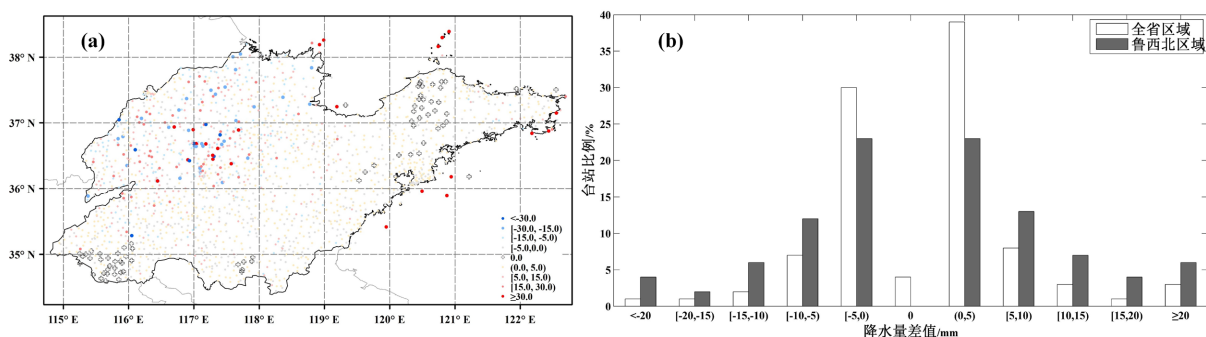


Figure 2. The difference inspection between merged precipitation product and gauge-based cumulative precipitation from 17:00 11 July to 12:00 13 July 2021 (mm)

图2. 2021年7月11日17时~7月13日12时融合降水产品与地面观测累积降水量的差值检验(mm)

(图 2(b)), 由图可知: 4%的站点差值为 0, 集中于鲁西南、鲁南和半岛西部, 55%的站点差值大于 0, 41%的站点差值小于 0, 说明融合降水产品整体上高估了实际降水。此外, 在降水较强的鲁西北地区差值较大, 对鲁西北地区(36°N~38°N, 115°E~118°E)的降水差值进行统计, 发现该区域差值大于 0 的站点占比 53%, 也存在降水被高估的情况。

### 3.2. 降水及检验误差的时间序列特征分析

图 3 给出了观测降水与融合降水产品 7 月 11 日 17 时~7 月 13 日 12 时逐小时的平均降水量。可以看到两者小时变化趋势基本一致, 都是从 11 日 17 时开始降水量逐步增加, 在 12 日 04 时达到峰值, 12 日 05 时~13 时降水逐渐减弱, 14 时~17 时降水量再次增加, 随后降水呈波动式递减, 至 13 日 12 时降水结束。对整个过程的逐小时降水量进行检验, MAE 为 0.21 mm, RMSE 为 1.04 mm, BIAS 为 3.12%, 相关系数达 0.97。结合检验误差的时间序列来看(图 4), 在降水强度较小的降水初期和结束时段, MAE、RMSE 较小, 其中 MAE 在 0.1 mm 以下, RMSE 在 1 mm 以下, 但是对应的 BIAS 较大, 相关性较差; 在降水

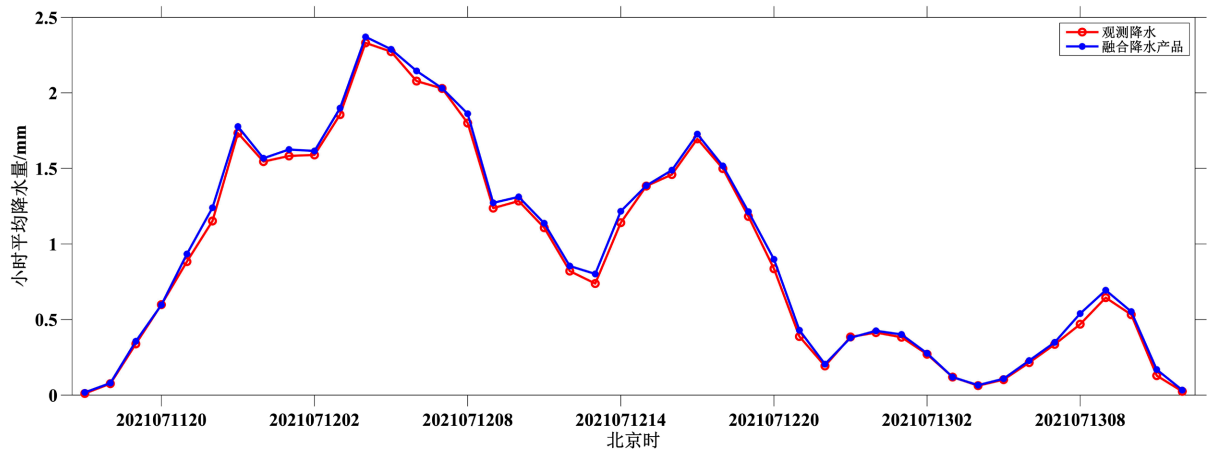


Figure 3. Hourly average precipitation of gauge-based and merged precipitation product from 17:00 11 July to 12:00 13 July 2021 (mm)

图 3. 2021 年 7 月 11 日 17 时~7 月 13 日 12 时逐小时地面观测和融合降水产品平均降水量(mm)

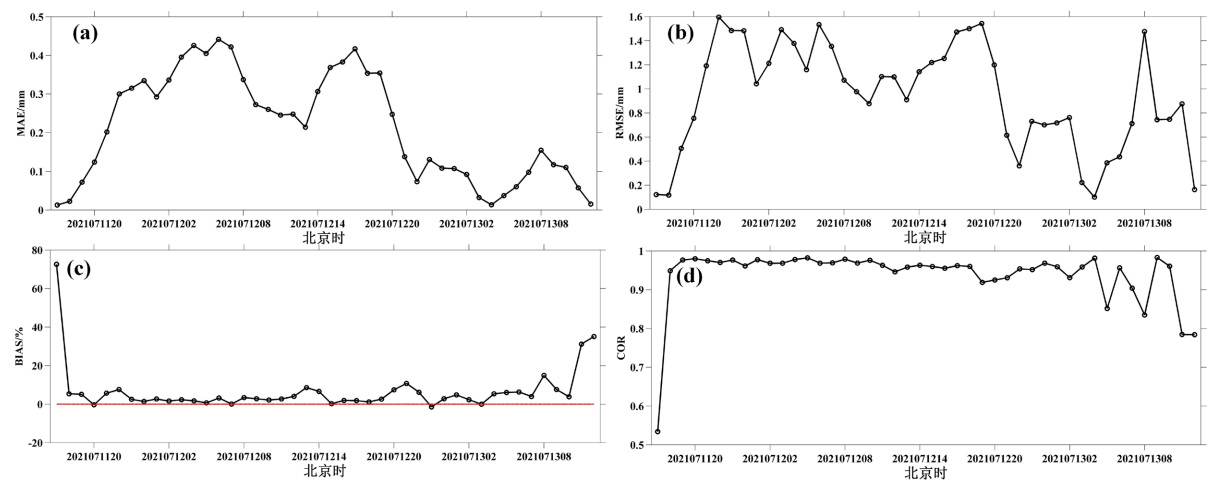


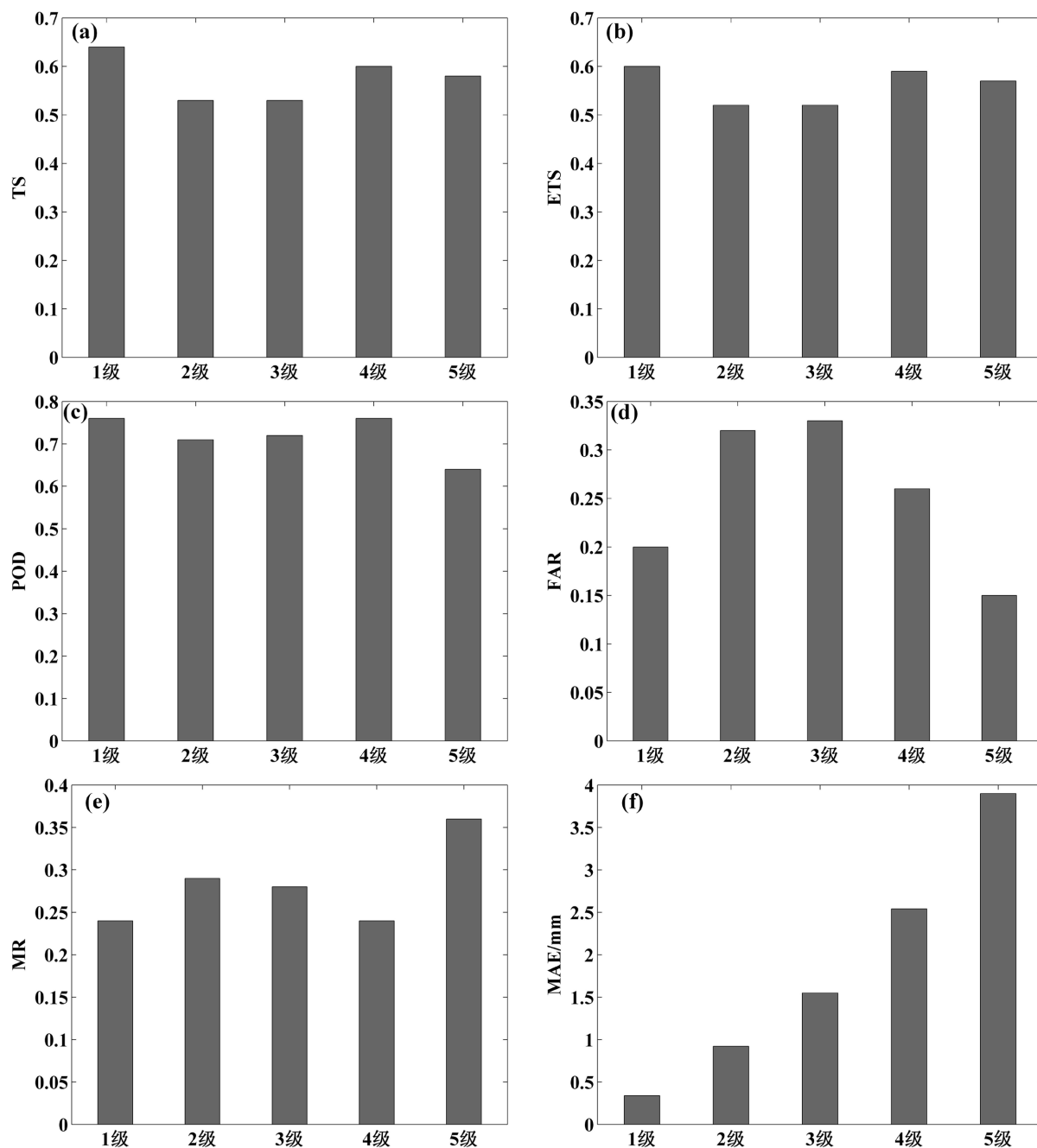
Figure 4. Hourly MAE (a), RMSE (b), BIAS (c) and COR (d) of merged precipitation product and gauge-based from 17:00 11 July to 12:00 13 July 2021 (mm)

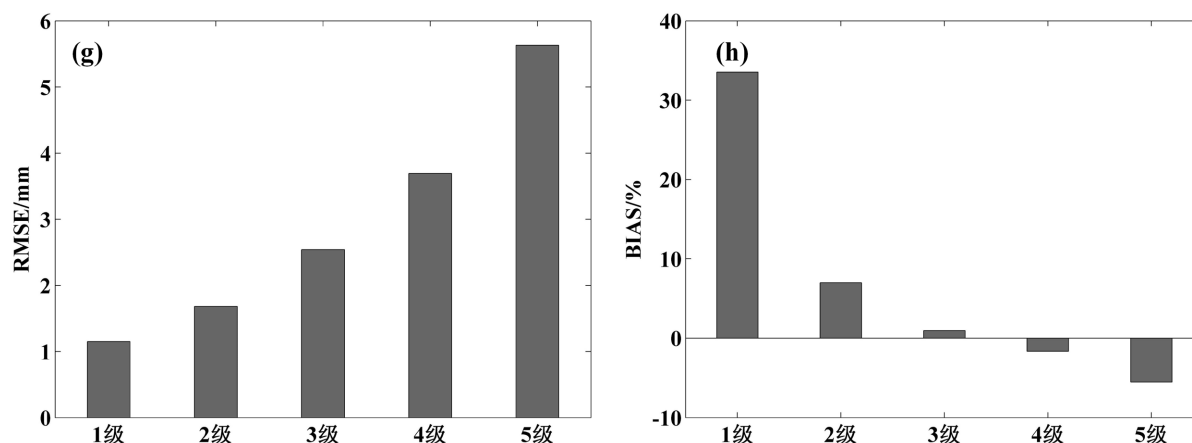
图 4. 2021 年 7 月 11 日 17 时~7 月 13 日 12 时逐小时融合降水产品和地面观测的 MAE (a)、RMSE (b)、BIAS (c)和 COR (d) (mm)

较强的时段, MAE、RMSE 增大, BIAS 急剧减小, 在 0%~10% 浮动, 同时对应相关系数增大, 稳定在 0.95 附近, 说明在该时段融合降水产品与观测降水更接近。

### 3.3. 不同降水量级的检验评分与误差特征分析

为了进一步确定误差的原因, 对降水进行分量级检验。根据《全国智能网格气象预报业务规定》, 将小时降水量分为 5 个等级, 即 0.1~1.9 mm、2.0~4.9 mm、5.0~9.9 mm、10.0~19.9 mm、20 mm 以上, 对比分析了不同量级下融合降水产品与观测降水之间的 TS、ETS、POD、FAR 和 MR 五个传统检验评分, 以及 MAE、RMSE、BIAS 三个检验误差(图 5)。由图 5 可知, TS 和 ETS 评分分布特征基本一致, 均在 1





**Figure 5.** Inspection score and error of merged precipitation product and gauge-based precipitation from 17:00 11 July to 12:00 13 July 2021 (TS (a), ETS (b), POD (c), FAR (d), MR (e), MAE (f), RMSE (g), BIAS (h))

**图 5.** 2021 年 7 月 11 日 17 时~7 月 13 日 12 时融合降水产品和地面观测的检验评分与误差(TS (a)、ETS (b)、POD (c)、FAR (d)、MR (e)、MAE (f)、RMSE (g)、BIAS (h))

级降水量级评分最高,分别为 0.64、0.60。结合 POD 和 MR 分析,5 级降水量级 POD 相对较小,为 0.64,反之 MR 最高,为 0.36。2~4 级融合降水产品的 FAR 较高,分别为 0.32、0.33、0.26。由三个误差指标来看,MAE、RMSE 与降水量呈正比,降水量越小,MAE 和 RMSE 越小,但是在 1 级降水量级 BIAS 最大,达 33.53%。从 BIAS 分布趋势来看,3 级降水 BIAS 最“小”,在 1~3 级降水量级融合降水产品的降水量高于观测降水,但低估了 4~5 级的降水量。总的来说,融合降水产品对小降水量级的技巧评分和命中率较好,但是相对偏差较大,存在明显的高估;对于大值降水,产品的命中率较低,同时对大值降水量存在低估。

#### 4. 结论

本文对山东 2021 年 7 月 11 日 17 时~7 月 13 日 12 时强降水期间的 1 km 逐小时降水实时多源融合实况分析产品(简称“融合降水产品”)的质量进行评估分析,结果表明:

- 1) 融合降水产品可以较好地再现降水落区,但 55%的站点存在降水被高估的情况。
- 2) 融合降水产品的质量较高,整个降水过程与地面观测的平均绝对误差为 0.21 mm,均方根误差为 1.04 mm,相关系数达 0.97,相对偏差为 3.12%。
- 3) 融合降水产品具有与观测降水一致的小时变化趋势,在降水强度较小的降水初期和末期,降水产品与观测值的平均绝对误差、均方根误差较小,但相对偏差较大,相关性较差;在降水较强的时段,相对偏差小于 10%,相关系数稳定在 0.95 附近,融合降水产品与观测降水更接近。
- 4) 融合降水产品在弱降水量级的技巧评分和命中率最好,但对弱降水存在明显的高估;对于大值降水,降水产品的命中率较低,存在低估大值降水量的现象。

#### 基金项目

山东省气象局青年科研基金项目(2021SDQN03);山东省气象局重点科研项目(2021sdqxz02)。

#### 参考文献

- [1] 师春香,潘昉,谷军霞,等.多源气象数据融合格点实况产品研制进展[J].气象学报,2019,77(4):774-783.
- [2] 潘昉,谷军霞,徐宾,等.多源降水数据融合研究及应用进展[J].气象科技进展,2018,8(1):143-152.

- 
- [3] 潘昶, 沈艳, 宇婧婧, 等. 基于贝叶斯融合方法的高分辨率地面卫星-雷达三源降水融合试验[J]. 气象学报, 2015, 73(1): 177-186.
- [4] 潘昶, 沈艳, 宇婧婧, 等. 基于最优插值方法分析的中国区域地面观测与卫星反演逐时降水融合试验[J]. 气象学报, 2012, 70(6): 1381-1389.
- [5] 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[J]. 高原山地气象研究, 2019, 39(3): 67-74.
- [6] 吴薇, 黄晓龙, 徐晓莉, 等. 融合降水实况分析产品在四川地区的适用性评估[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(4): 1-8.
- [7] 李晓俞, 陈生, 梁振清, 等. 台风“山竹”期间 GPM 卫星降水产品的误差评估[J]. 气象研究与应用, 2020, 41(3): 8-15.
- [8] 龙柯吉, 谷军霞, 师春香, 等. 多种降水实况融合产品在四川一次强降水过程中的评估[J]. 高原山地气象研究, 2020, 40(2): 31-37.
- [9] 吴薇, 杜冰, 黄晓龙, 等. 四川区域融合降水产品的质量评估[J]. 高原山地气象研究, 2019, 39(2): 76-81.