

候 启,师春香,盛春岩,等.多源融合降水实况产品在日照市暴雨过程中的适用性[J].气象研究与应用,2024,45(1):56-63.  
HOU Qi, SHI Chunxiang, SHENG Chunyan, et al. Applicability of multi-source precipitation merging products during rainstorms in Rizhao[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2024, 45(1): 56-63.

## 多源融合降水实况产品在日照市暴雨过程中的适用性

候 启<sup>1,2</sup>, 师春香<sup>3</sup>, 盛春岩<sup>1,4</sup>, 冯 勇<sup>1,5</sup>

(1. 山东省气象防灾减灾重点实验室, 济南 250031; 2. 日照市气象局, 山东 日照 276800; 3. 国家气象信息中心, 北京 100081; 4. 山东省气象科学研究所, 济南 250031; 5. 山东省气象数据中心, 济南 250031)

**摘要:**为评估融合降水实况产品在日照市的适用性,以日照市气象和水文降水观测数据为检验源,对2019—2021年5—10月和2022年5—7月融合降水数据以及发生在该时段内的25次暴雨过程进行评估检验。结果表明:(1)融合降水和观测降水空间分布一致性较好,融合降水产品可以在无降水观测地区提供参考。(2)融合降水和观测降水时间序列一致性较好,相关系数在0.9以上,长序列评估的均方根误差各月均在1.0 mm以内。平均值误差和均方根误差长序列评估结果均随着小时雨强的增大而增大。(3)融合降水存在对暴雨过程降水量和短时强降水的低估,两者差值随着小时雨强的增大而增大,当融合降水大于或小于观测降水时,两者差值较小或较大;在对暴雨极值点评估中融合降水较观测降水偏小,极值差异多在 $\pm 20$  mm以内。

**关键词:**融合降水产品;适用性;独立检验;日照市

**中图分类号:** P426.6

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2024.1.10

为提高对降水尤其是对雨季暴雨时空分布的监测能力,解决自动站空间分布在精细化监测中存在的不足,利用多源数据融合和数据同化技术开发和应用降水融合产品,是近年来国际的主流趋势<sup>[1-2]</sup>。国家气象信息中心面向气象业务发展的需求,逐步开展卫星、雷达和地面观测降水的融合实验,消化吸收国际先进融合技术并自主创新,建成中国区域融合降水分析系统<sup>[3]</sup>,并逐步提高反演降水的精度和产品质量<sup>[4-8]</sup>,在防灾减灾、灾害性天气的短时临近监测和预报等领域得到广泛应用<sup>[9-10]</sup>。

降水融合产品的应用需要利用降水观测产品做比对和检验,近年来已有学者开展对多源融合降水产品在不同区域范围的适用性评估。多位学者对国家气象信息中心研制的高时空分辨率多源融合降水分析产品进行整体评估表明,多源融合降水产品在中国区域的质量优于国外其他同类产

品<sup>[11-13]</sup>,可以较好地反映降水实况时空变化特征,其中三源降水的评估结果优于二源降水<sup>[14-16]</sup>,弱降水量级融合降水产品和观测降水更接近<sup>[17]</sup>,融合产品误差随季节变化明显,且1 km产品在精细化检测能力方面更优<sup>[18-19]</sup>。融合降水实况分析产品在暴雨过程中的适用性评估指出,国家气象信息中心研制的融合降水实况分析产品质量较高,CMPAS产品能够较好地反映降水强弱变化和时空分布特征,融合降水实况产品的真实性较好,但较降水实况有不同程度的低估,融合产品准确率随着降水量级增大而减小<sup>[20-23]</sup>,强降水时段融合降水资料与实况偏差不大,质量上1 km产品优于5 km产品<sup>[24-26]</sup>。

上述研究表明,融合降水实况产品在大部分地区的适用性较好,对降水分布特征和强弱变化描述较好,但是对融合产品的评估多是基于气象观测数据作为检验源数据,利用其他降水观测产品对融合降水进行独立性检验的评估研究仍不多见,且对同

收稿日期: 2023-11-17

基金项目: 山东省自然科学基金面上项目(ZR2020MD055)、山东省气象防灾减灾重点实验室面上项目(2022SDQXM02)、日照市自然科学基金青年基金项目(RZ2022ZR57)

第一作者简介: 候启(1994—),男,工程师,硕士,主要从事气象实况产品评估与应用工作。E-mail:houqi9466@163.com

一降水融合产品的长序列评估和暴雨过程评估的对比研究较少。本文选取山东省 1 km 逐小时融合降水实况分析产品, 将被检验时段的日照市水利局降水观测数据作为“真值”, 分析评估融合降水产品在日照市 2019—2022 年暴雨过程中的表现, 为应急决策服务提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 融合降水数据

融合降水数据采用 2019—2021 年 5—10 月和 2022 年 5—7 月的山东省 1 km 逐小时融合降水实况产品, 空间分辨率为  $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ , 数据空间范围为  $114.21^\circ \sim 123.50^\circ \text{E}$ ,  $33.81^\circ \sim 38.69^\circ \text{N}$ , 评估区域为山东省日照市, 数据来源于气象大数据云平台。

### 1.2 站点实测降水数据

站点实测降水数据包括日照市气象局和水利局数据, 气象数据采用与融合降水资料同时段的日照市 3 个国家站和 70 个区域站的分钟降水数据, 并将其处理为逐小时降水数据, 测量精度为 0.1 mm, 气象数据用于统计日照市暴雨过程, 数据来源于气象大数据云平台; 水文数据采用同时段日照市 61 个水利站的逐小时降水观测数据, 测量精度为 0.5 mm, 数据用于暴雨过程的统计和作为检验源数据对融合降水数据进行评估检验, 数据来源于日照市水利局。

### 1.3 基础地理数据

文中涉及的地图底图来源于中华人民共和国自然资源部标准地图服务网站 (<http://bzdt.ch.mnr.gov.cn/>), 数字高程数据采用中国科学院资源环境科学数据中心发布的全国空间分辨率为 250 m 的 DEM 数据 ([www.resdc.cn/DataSearch.aspx](http://www.resdc.cn/DataSearch.aspx))。

### 1.4 评估方法

首先对站点降水观测数据进行质量控制, 剔除异常值、缺测时次和观测连续性较差的站点, 将气象观测数据作为“真值”, 对气象站相邻 10 km 内的水文观测数据进行时间一致性检验, 剔除相关性较差的站点, 结果显示水文和气象观测的降水时间一致性整体较好, 可将水文观测降水作为独立检验数据源使用, 最终选取 73 个气象站和 61 个水利站数据, 为描述方便, 下文将融合降水实况分析产品数据称为融合降水, 将水文观测降水称为观测降水。将 2019—2021 年 5—10 月和 2022 年 5—7 月逐小时降水定义为长序列降水时段, 将时段内小时降水数

据处理为逐日降水 (08 时至次日 08 时, 北京时), 选取日降水量  $\geq 50 \text{ mm}$  的站点, 若一天内达到暴雨标准的站点  $\geq 10$  个, 定义为一个暴雨过程, 若两天或以上均出现暴雨过程, 则将其合并为 1 个暴雨过程, 经统计, 2019 年 5 月至 2022 年 8 月共出现 25 次暴雨过程。

确定长序列降水时段和暴雨过程时段后, 采用自然临近的差值方法, 选择距离站点最近的网格实况插值到站点上, 构成评估样本, 统计比较一段时间内两者的误差和相关关系, 融合降水和观测降水精度均保留一位小数。采用独立样本检验的方法, 将日照市水利局 61 个站点作为检验的“真值”数据, 评估方法参考中国气象局《实况分析产品质量评估规范》和《中国区域降水网格实况产品全流程检验评估细则 (2020 版)》, 借用降水预报的检验方法, 将融合降水看作预报数据, 将站点水文观测数据作为“真值”, 评估融合降水的统计误差和技巧评分, 如公式 (1) 至公式 (5) 所示, 评估指标包括相关系数 ( $COR$ )、平均值误差 ( $ME$ )、均方根误差 ( $RMSE$ )、技巧评分 ( $TS$ ) 和命中率 ( $POD$ )。传统技巧评分基于二分类列联表统计结果如表 1 所示, 降水量分级如表 2 所示。

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

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (G_i - O_i)^2} \quad (3)$$

式 (1)—(3) 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,  $N$  为参与检验的总样本数 (站次数)。

$$TS = \frac{NA}{NA + NB + NC} \quad (4)$$

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

式 (4)—(5) 中,  $NA$  为观测降水和融合降水均发生降雨的站点数;  $NB$  为融合降水产品发生而观测站未发生的站点数;  $NC$  为融合降水产品未发生而观测站发生的站点数;  $VD$  为观测降水和融合降水均不发生的站点数。

## 2 结果与分析

### 2.1 融合降水和观测降水对比

分析日照市 2019—2022 年融合降水和观测降

表1 降水二分类列联表

		观测(O)	
		是(Y)	否(N)
	是(Y)	命中(NA)	误报(NB)
实况(G)	否(N)	漏报(NC)	命中“否”(ND)

表2 降水量等级划分表

	1 h降水量/mm	24 h降水量/mm
小雨	0.1 ~ 1.9	0.10 ~ 9.9
中雨	2.0 ~ 4.9	10.0 ~ 24.9
大雨	5.0 ~ 9.9	25.0 ~ 49.9
暴雨	10.0 ~ 19.9	50.0 ~ 99.9
大暴雨	≥ 20.0	100.0 ~ 249.9
特大暴雨		≥ 250.0

水空间分布对比(图1)可知,融合降水和观测降水空间分布一致性较好,融合降水对空间降水大值区和偏少区域均有体现,2019—2022年两者空间分布相关性分别为0.750、0.835、0.796和0.519,均通过99%的显著性检验,表明融合降水产品在空间分布上可以体现不均匀的降水特征。从两者空间差值可以看出,大部分地区观测降水与融合降水的差值在 $\pm 60$  mm以内,多数年份两者差值为负值,表明融合降水相较实况观测降水偏小。融合和观测降水的差值存在观测降水大/小值区融合降水产品偏小/大现象,降水的差值在莒县和岚山区多为负值,五莲县中部和东港区北部多为正值,在部分融合降水大值区,观测实况由于站点分布密度问题没有表现,表明融合降水产品可以在无降水观测地区提供参考。

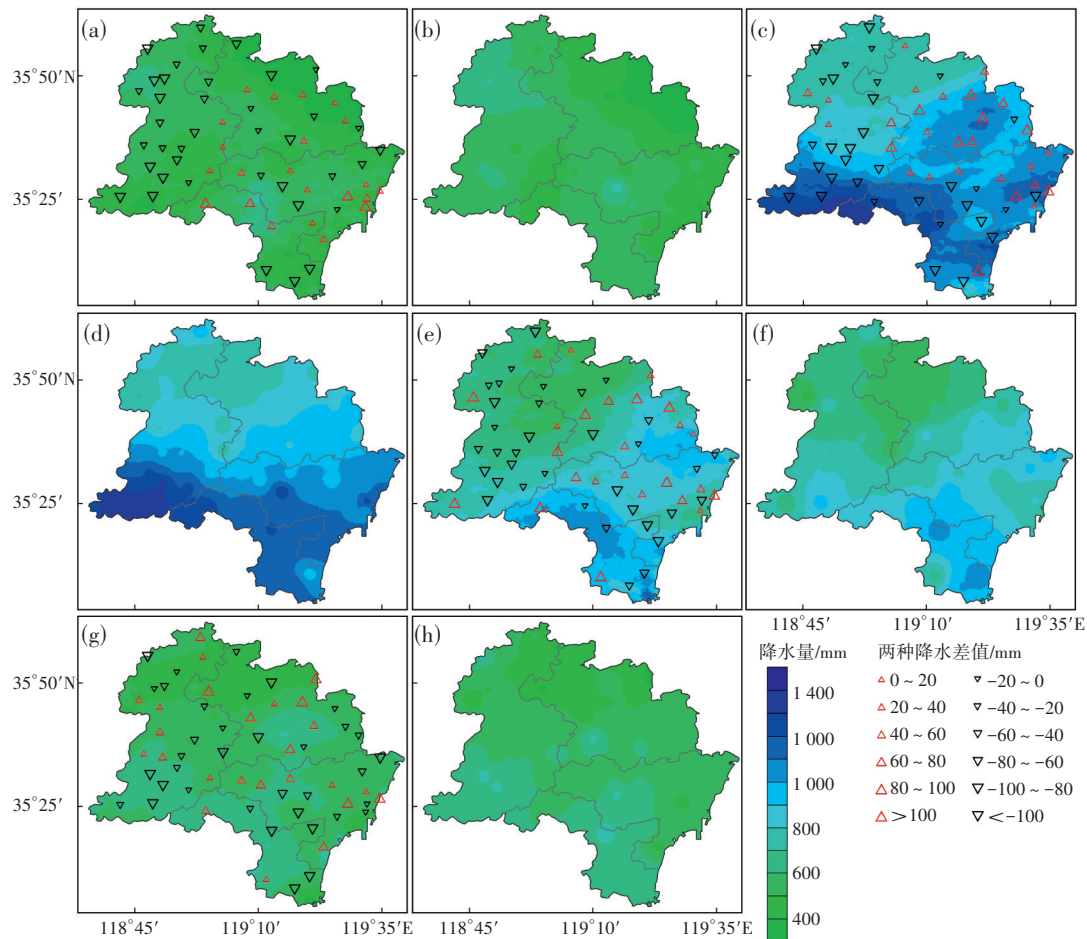


图1 日照市各年融合降水与观测降水对比

(a)2019年融合降水;(b)2019年观测降水;(c)2020年融合降水;(d)2020年观测降水;  
(e)2021年融合降水;(f)2021年观测降水;(g)2022年融合降水;(h)2022年观测降水

## 2.2 长序列和暴雨过程整体独立性评估

对比分析日照市长序列和暴雨过程独立性检

验评估指标空间分布(图2)可知,多数站点相关系数评估结果在0.90以上,长序列和暴雨过程的相关



系数平均值分别为0.91和0.93,表明融合降水和观测降水的时间序列一致性较好,其中莒县和东港区的相关系数较高,岚山区的相关系数相对较低;长序列平均值误差评估结果在 $\pm 0.1$ 之间,暴雨过程的

平均值误差相对较大,莒县和岚山区以负误差为主;均方根误差在长序列评估检验的结果 $<1$  mm,暴雨过程检验小时降水的均方根误差在1~2 mm之间,整体均方根误差较小。

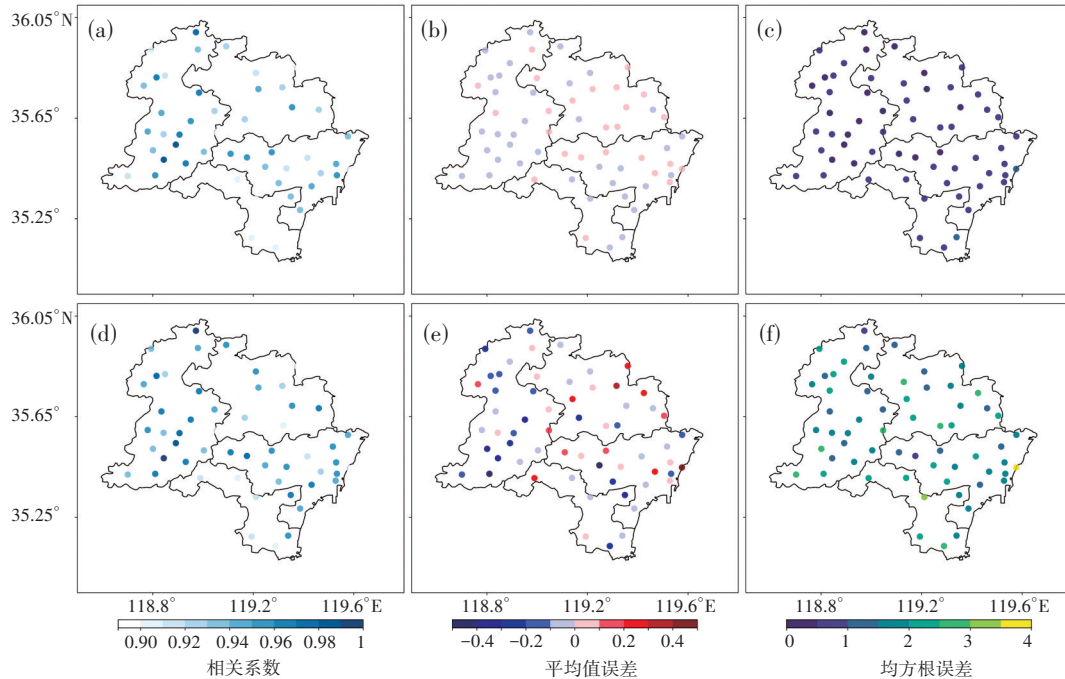


图2 2019—2022年日照市长序列和暴雨过程独立评估指标空间分布

(a) 长序列评估相关系数;(b) 长序列评估平均值误差;(c) 长序列评估均方根误差;  
(d) 暴雨过程评估相关系数;(e) 暴雨过程评估平均值误差;(f) 暴雨过程评估均方根误差

分析各月长序列和暴雨过程独立检验相关系数和均方根误差结果可知(表3),两者相关系数的评估结果分别在0.85和0.89以上,基于暴雨过程的相关系数各月评估结果较优,在降水量相对较少的5月、9月和10月,长序列评估的相关系数相对较低,6月和8月相关系数较高。基于长序列评估的均方根误差各月均在1 mm以内,7月、8月均方根误差相对较大,而降水较少的5月和10月均方根误差较小;基于暴雨过程评估的均方根误差较长序列评估结果大,6月均方根误差最大,7月、8月、9月均方根误差在1.9 mm左右。

分析不同量级的小时降水长序列和暴雨过程独立评估结果可知(图3),两者平均值误差和均方根误差的评估结果均随着小时雨强的增大而增大。长序列的平均值误差均为负误差,暴雨过程的平均值误差在5 mm以下为正误差, $\geq 5$  mm为负误差,小时雨量 $\geq 10$  mm平均值误差迅速增大(图3a)。当小时雨量 $< 5$  mm时,长序列和暴雨过程的均方根误差在2 mm以内,且暴雨过程的均方根误差相比较,当小时雨量 $\geq 10$  mm时,长序列的均方根误差超过暴

表3 各月长序列和暴雨过程独立检验评估结果

	COR		RMSE	
	长序列	暴雨过程	长序列	暴雨过程
5月	0.894	—	0.271	—
6月	0.933	0.942	0.617	2.621
7月	0.895	0.914	0.938	1.940
8月	0.924	0.936	0.914	1.841
9月	0.898	0.896	0.402	1.951
10月	0.853	—	0.157	—

雨过程(图3b)。小时雨强的TS评分在0.4~0.6之间,且各降水量级暴雨过程的TS评分均优于长序列,其中小时雨量在2~5 mm之间和 $\geq 20$  mm时的TS评分相对较高,小时雨量 $< 2$  mm的情况下TS评分相对较低(图3c)。分析不同量级小时降水量命中率可知(图3d),两者命中率均在0.5以上,且暴雨过程的降水命中率高于长序列命中率,其中降水在2~10 mm之间的命中率最高,而小时降水 $< 2$  mm时命中率相对较低。

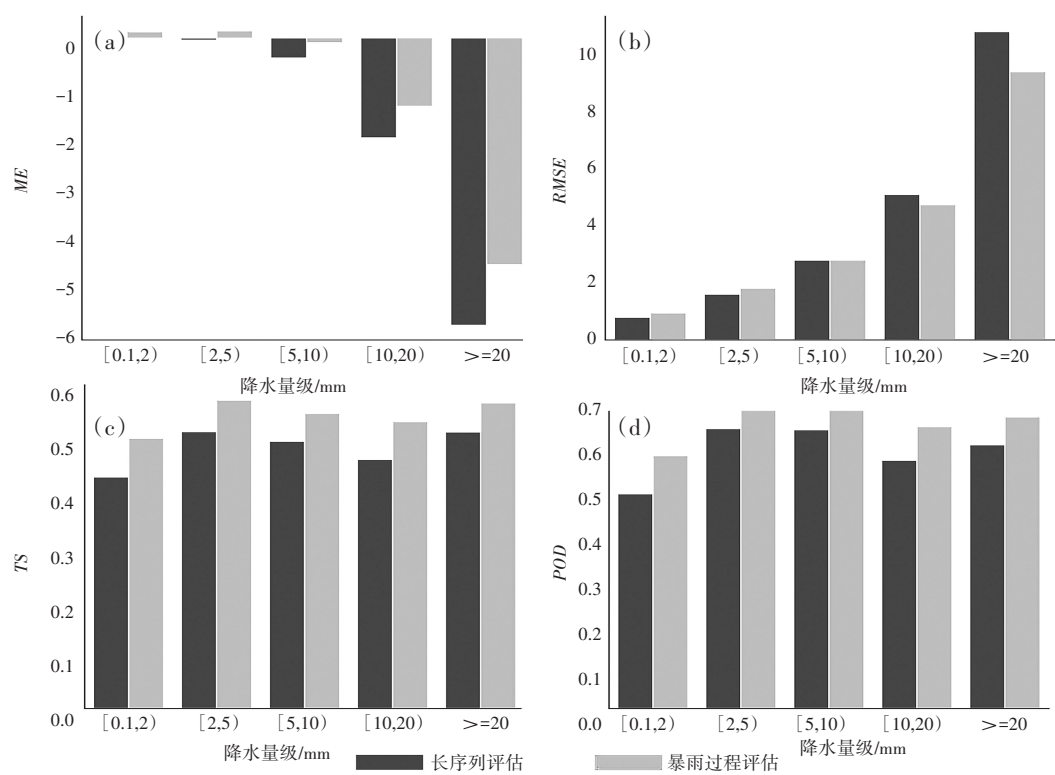


图3 不同量级降水量长序列和暴雨过程独立和非独立评估结果  
(a)平均值误差;(b)均方根误差;(c)TS评分;(d)命中率

2.3 历次暴雨过程和暴雨极值点评估

利用水文观测数据对历次暴雨过程进行独立性检验评估可知(表4),在历次暴雨过程中观测降水和融合降水的相关系数多在0.9以上,两种数据的时间序列一致性较好;平均值误差在±0.1 mm之

间,均方根误差多在1.5~2.5 mm之间,TS评分多位于0.5~0.8之间,命中率多数在0.94以上。分析历次暴雨过程空间分布的相关系数(表略)可知,相关系数多大于0.8,两种数据降水空间分布一致性较好。

表4 2019—2022年日照市历次暴雨过程独立检验结果

暴雨过程	开始日期	结束日期	COR	ME	RMSE	TS	POD
1	2019-06-08	2019-06-09	0.905	0.035	1.919	0.549	0.962
2	2019-07-06	2019-07-08	0.879	-0.082	1.378	0.507	0.986
3	2019-07-24	2019-07-26	0.858	-0.093	2.101	0.450	0.974
4	2019-07-29	2019-07-30	0.898	0.096	1.606	0.399	0.971
5	2019-08-01	2019-08-03	0.908	-0.010	1.665	0.559	0.969
6	2019-08-10	2019-08-12	0.952	-0.214	1.851	0.764	0.998
7	2020-07-11	2020-07-13	0.955	-0.059	0.896	0.767	0.984
8	2020-07-22	2020-07-23	0.942	-0.074	2.702	0.866	0.988
9	2020-07-31	2020-08-02	0.906	-0.104	2.082	0.751	0.956
10	2020-08-03	2020-08-04	0.900	-0.184	1.934	0.680	0.950
11	2020-08-06	2020-08-08	0.913	-0.032	1.730	0.659	0.972
12	2020-08-13	2020-08-15	0.962	-0.029	2.102	0.740	0.983
13	2020-08-25	2020-08-27	0.896	-0.113	1.721	0.649	0.963

续表

暴雨过程	开始日期	结束日期	<i>COR</i>	<i>ME</i>	<i>RMSE</i>	<i>TS</i>	<i>POD</i>
14	2021-06-14	2021-06-15	0.937	0.052	2.438	0.691	0.981
15	2021-07-02	2021-07-03	0.937	0.041	1.043	0.856	0.985
16	2021-07-14	2021-07-15	0.840	0.147	2.709	0.584	0.948
17	2021-07-26	2021-07-27	0.940	-0.030	1.181	0.630	0.970
18	2021-07-28	2021-07-29	0.909	-0.114	1.862	0.856	0.988
19	2021-08-23	2021-08-24	0.962	0.012	1.551	0.733	0.983
20	2021-08-31	2021-09-01	0.864	-0.051	1.766	0.495	0.873
21	2021-09-04	2021-09-05	0.949	-0.099	1.053	0.795	0.990
22	2021-09-19	2021-09-20	0.880	0.001	2.578	0.722	0.979
23	2022-06-26	2022-06-28	0.945	-0.016	2.994	0.779	0.985
24	2022-07-01	2022-07-02	0.783	0.026	2.449	0.398	0.927
25	2022-07-26	2022-07-27	0.945	0.127	3.029	0.697	0.979

分析 2019—2022 年日照市历次暴雨过程达到暴雨标准的各水利站点的观测降水和融合降水散点图(图 4a)和差值箱线(图 4b)可知,观测降水和融合降水的一致性较好,相关系数为 0.939,线性趋势线的 *k* 值为 0.936。分析历次暴雨过程观测降水和

融合降水的差值可知,大多数站点暴雨过程两种数据差值在-5~15 mm 之间,多数情况下存在融合降水对暴雨过程降水量的低估,历次暴雨过程两种数据的差值中位数在 0 mm 附近。

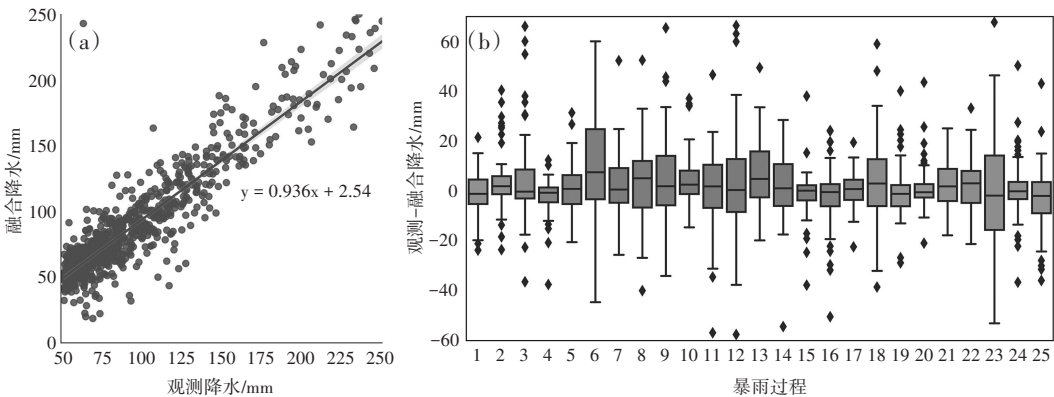


图4 日照市暴雨过程融合降水与观测降水散点分布与差值箱线图  
(a)观测和融合降水散点图;(b)历次暴雨过程观测-融合降水箱线图

分析不同程度小时雨强观测降水与融合降水差值可知(图 5),随着小时雨强的增大,观测降水与融合降水的差值增大,分析两者差值箱线图可知,多数情况下(>75%),发生短时强降水时的观测降水>融合降水,表明融合降水存在对短时强降水的低估,两者差值的中位数也随着降水量级的增大而增大。小时雨强<40 mm 时,两者差值多在 10 mm 以下,小时雨强≥40mm 时,两者差值多在 15 mm 以下,表明融合降水在短时强降水上有较好的适用性。

对日照市 2019—2022 年历次暴雨过程取过程降水量排名前十的站点进行暴雨极值点分析,分析观测降水和观测降水-融合降水散点图(图 6)分布可知,暴雨过程极值点降水量多分布在 150 mm 以下,观测降水与融合降水的差值多分布在-20~40 mm 之间,在多数情况下融合降水较观测降水偏小,观测降水与融合降水分布一致性较好,极值差异多分布在±20 mm 之间,随着观测降水量的增大,观测降水与融合降水的差值逐渐增大。

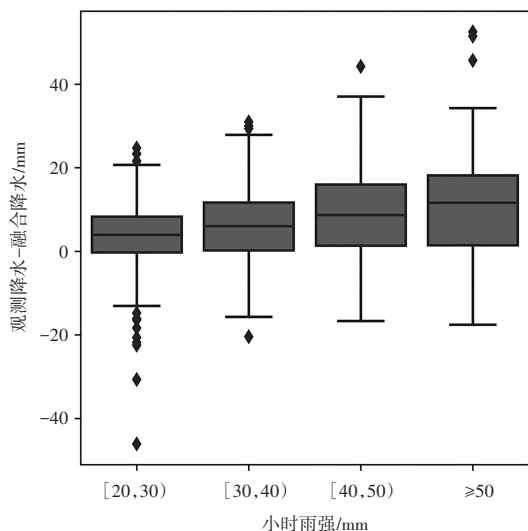


图5 短时强降水融合实况和观测实况差值

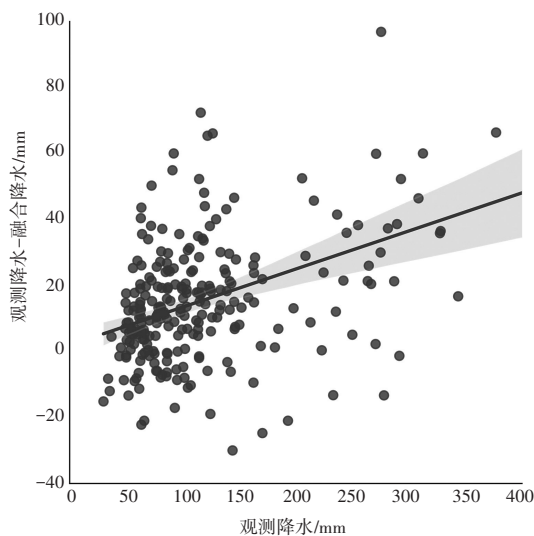


图6 暴雨极值点观测降水与降水差值散点图

### 3 结论

(1)2019—2022年日照市融合降水和观测降水空间分布一致性较好,融合降水在空间分布上体现不均匀的降水特征,大部分地区融合降水较实况观测降水偏少,空间分布上莒县和岚山区多为偏少,五莲县和东港区北部偏多;融合和观测降水的差值部分地区存在观测降水大/小值区融合降水产品偏小/大。

(2)融合降水和观测降水时间序列一致性较好,相关系数在0.9以上,长序列评估的均方根误差各月均在1mm以内。平均值误差和均方根误差的评估结果均随着小时雨强的增大而增大;各降水量

级暴雨过程的TS评分和降水命中率均优于长序列;命中率均在0.5以上,其中小时降水在2~10mm之间的命中率最高。

(3)各站暴雨过程总量观测降水和融合降水的一致性相对较好,多数情况融合降水存在对短时强降水和极端短时强降水的低估,观测降水与融合降水的差值多在 $\pm 10$  mm以内,差值随着小时雨强的增大而增大,当融合降水大于观测降水时,两者差值较小,而当融合降水小于观测降水时,两者差值较大。在暴雨极值点中,极值差异多在 $\pm 20$  mm以内,随着观测降水量的增大,观测降水与融合降水产品的差值逐渐增大。

#### 参考文献:

- [1] JACOBS C M J, MOORS E J, TERMAAT H W, et al. Evaluation of European land data assimilation system (ELDAS) products using in situ observations [J]. Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography, 2008, 60(5): 1023-1037.
- [2] 张璐, 潘旻, 谷军霞, 等. 国际主流多源融合降水实况产品的研究进展与展望[J]. 气象科技进展, 2022, 12(6): 16-27.
- [3] 师春香, 潘旻, 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.
- [4] 潘旻, 谷军霞, 宇婧婧, 等. 中国区域高分辨率多源降水观测产品的融合方法试验[J]. 气象学报, 2018, 76(5): 755-766.
- [5] 潘旻, 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.
- [6] 宇婧婧, 沈艳, 潘旻, 等. 概率密度匹配法对中国区域卫星降水资料的改进[J]. 应用气象学报, 2013, 24(5): 544-553.
- [7] 潘旻, 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.
- [8] 孙帅, 师春香, 潘旻, 等. 中国区域三源融合降水产品的改进效果评估[J]. 水文, 2020, 40(6): 10-15, 23.
- [9] 赵悬涛, 刘昌军, 文磊, 等. 国产多源降水融合及其在小流域暴雨山洪预报中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2020(10): 54-59, 65.
- [10] 张婷, 李怡, 李建柱, 等. 多源降雨数据融合及其水文应用研究进展[J]. 自然灾害学报, 2022, 31(1): 15-28.
- [11] 宇婧婧, 沈艳, 潘旻, 等. 中国区域逐日融合降水数据集与国际降水产品的对比评估[J]. 气象学报, 2015, 73(2): 394-410.



- [12] 李显凤, 周自江, 李志鹏, 等. 基于江西省水文资料对中国融合降水产品的质量评估[J]. 气象, 2017, 43(12): 1534–1546.
- [13] 潘畅, 谷军霞, 师春香, 等. 中国北方冬季降水的多源资料产品评估和融合优化[J]. 气象学报, 2022, 80(6): 953–966.
- [14] 许冠宇, 李琳琳, 田刚, 等. 国家级降水融合产品在长江流域的适用性评估[J]. 暴雨灾害, 2020, 39(4): 400–408.
- [15] 陈小婷, 刘瑞芳, 梁绵, 等. 三源融合降水产品在陕西省的适用性评估[J]. 陕西气象, 2023(1): 1–7.
- [16] 李超, 李华宏, 杨素雨, 等. 国家级多源融合降水产品在云南的适用性评估[J]. 高原山地气象研究, 2021, 41(3): 108–114.
- [17] 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.
- [18] 贺音, 张雅斌, 樊丹丹. 两套降水融合实况产品在陕西省的质量检验[J]. 陕西气象, 2023(5): 60–66.
- [19] 张茜茹, 陈益玲, 李长军, 等. 两种融合降水实况分析产品在山东地区的适用性评估[J]. 海洋气象学报, 2023, 43(2): 100–108.
- [20] 杜冰, 吴薇, 黄晓龙, 等. 多种融合降水实况分析产品在雅安宝兴暴雨过程中的适用性评估[J]. 高原山地气象研究, 2023, 43(1): 111–118.
- [21] 刘菊菊, 陈小婷, 肖贻青, 等. 降水融合格点产品在陕西2019年暴雨过程中的检验[J]. 陕西气象, 2022(2): 1–9.
- [22] 邓悦, 李艳萍, 卓健, 等. 2022年桂北“龙舟水”期间融合降水实况产品的真实性检验[J]. 气象研究与应用, 2023, 44(1): 44–50.
- [23] 田茂举, 李奇临, 旷兰, 等. 基于重庆“6·22”特大暴雨的降水融合产品质量评估[J]. 成都信息工程大学学报, 2022, 37(4): 478–484.
- [24] 宋雯雯, 龙柯吉, 黄晓龙, 等. 融合格点降水产品在四川盆地西部一次极端暴雨过程中的评估分析[J]. 中低纬山地气象, 2022, 46(3): 9–15.
- [25] 邓悦, 任晓炜, 丘平珠, 等. 台风“海高斯”(2007)期间多种降水融合实况产品的误差评估[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(3): 62–68.
- [26] 旷兰, 田茂举, 翟丹华, 等. 基于2021年重庆市暴雨监测数据的CMPAS产品精度评估[J]. 水电能源科学, 2022, 40(12): 6–10.

## Applicability of multi-source precipitation merging products during rainstorms in Rizhao

HOU Qi<sup>1,2</sup>, SHI Chunxiang<sup>3</sup>, SHENG Chunyan<sup>1,4</sup>, FENG Yong<sup>1,5</sup>

(1. Key Laboratory for Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Shandong, Jinan 250031, China; 2. Rizhao Meteorological Bureau, Shandong Rizhao 276800, China; 3. National Meteorological Information Center, Beijing 100081, China; 4. Shandong Institute of Meteorological Sciences, Jinan 250031, China; 5. Shandong Meteorological Data Center, Jinan 250031, China)

**Abstract:** In order to evaluate the applicability of the fused precipitation products in Rizhao City, the 25 rainstorm processes occurring from May to October in 2019 to 2021 and from May to July in 2022 were evaluated and tested using the observed precipitation data of hydrological and Meteorological departments in Rizhao City. The results show that: (1) the spatial distribution of fused and observed precipitation is of good consistency, and the integrated precipitation products can provide a reference in areas without precipitation observations. (2) The time series of fused precipitation and observed precipitation have good consistency, with correlation coefficients above 0.9, and the root mean square errors of the long series evaluations are all within 1.0 mm in each month. Both the mean error and the root-mean-square error of the long-series assessment results increase with the increase of hourly rainfall intensity. (3) The fusion precipitation underestimates the precipitation in the rainstorm process and short-term heavy precipitation, and the difference between the two increases with the increase of hourly rainfall intensity. When the fused precipitation is larger/smaller than the observed precipitation, the difference between the two is smaller/larger; in the evaluation of extreme points of rainstorms, the fusion precipitation is smaller than the observed precipitation, and the difference of extreme values is mostly within  $\pm 20$  mm.

**Key words:** precipitation merging products; applicability; independence test; Rizhao City