

冯珮,高萌,陈欣昊,等.多源融合实况产品在咸阳短时强降水过程中的检验评估[J].陕西气象,2026(2):37-44.

文章编号:1006-4354(2026)02-0037-08

多源融合实况产品在咸阳短时强降水过程中的检验评估

冯珮^{1,2},高萌^{2,3},陈欣昊^{2,4},杨宇昆⁵,杨彤⁶

(1. 鄠邑区气象局,陕西鄠邑 710300;

2. 中国气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点开放实验室,西安 710016;

3. 咸阳市气象局,陕西咸阳 712000;

4. 西安市气象台,西安 710016;5. 略阳县气象局,陕西略阳 724300;

6. 泾阳县气象局,陕西泾阳 713700)

摘要:利用2018—2022年咸阳地区15次短时强降水天气过程地面小时降水观测数据,采用多种评估指标对国家气象信息中心研发的多种降水实况融合产品进行检验评估。结果表明:(1)稳定性过程宜参考24 h二源产品,对流性过程宜参考24 h三源产品。(2)24 h二源产品、三源产品与1 h二源产品、三源产品均能较好地反映暴雨落区的时空变化趋势。(3)四类实况融合格点分析产品(24 h二源产品、三源产品与1 h二源产品、三源产品)的质量较高,对暴雨有较好的监测能力,其晴雨准确率均在92.0%以上。(4)四类实况融合格点分析产品落区范围、降雨强度与实况较为一致,在咸阳地区强降水过程中的适用性较好。24 h三源产品对大雨及以下量级降水参考性较好,24 h二源产品则对暴雨和大暴雨点有较好地反映,主要是由于三源产品融合的卫星降水数据在强降水区域存在较大反演误差,该误差是在数据融合过程中未能有效抵消造成的。

关键词:降水;天气形势;实况融合产品;检验评估

中图分类号:P426

文献标识码:A

近年来,随着实况网格资料应用需求的日益强烈,中国气象局利用多源数据融合技术,重点发展了中国常规观测资料、天气雷达资料、风云卫星资料的融合应用,并先后建立了中国气象局陆面同化分析系统(CMA land data assimilation system, CLDAS)^[1]和中国气象局多源融合降水分析系统(CMA multi-source merged precipitation analysis system, CMPAS)^[2],实现了亚洲区域时间分辨率为1 h、空间分辨率为 $0.0625^{\circ} \times 0.0625^{\circ}$ 的大气驱动场(2 m气温、小时降水、风速、2 m比湿、地面气压、短波辐射)和陆面要素集合分析(地

表温度、土壤温度、土壤相对湿度和土壤体积含水量)等陆面产品的实时生产和发布^[3]。天气雷达能够扫描一定范围的降水回波,但受地物杂波、波束遮挡、异常回波、波束充塞等影响而导致降水量估测出现较大偏差^[4];卫星反演降水具有覆盖范围广、全天候连续观测的优势,但卫星降水信息易受到传感器性能、云层性质、反演算法等因素的限制,定量误差难以处理,特别是对固态降水的反演能力有限^[5]。因此国家气象信息中心采用概率密度匹配、贝叶斯模型平均法、最优插值方法实现雷达和卫星联合降水数据与站点降水观测数据的融

收稿日期:2025-06-11

作者简介:冯珮(1989—),女,汉族,陕西西安人,硕士,工程师,主要从事气象服务与应用气象研究工作。

通信作者:高萌(1989—),女,汉族,陕西西安人,硕士,高级工程师,主要从事短期天气预报预警研究工作。

基金项目:秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2025G-2;2022Y-19)

合,研制地面—雷达二源融合降水网格实况产品(下简称二源产品)、地面—卫星—雷达三源融合降水网格实况产品(下简称三源产品),时间分辨率为1 h,空间分辨率为5 km(0.05°×0.05°),并下投入业务运行^[6-7]。实况网格数据代表的是某个区域气象要素平均值,而站点观测则是单点观测,两者存在一定的差异性^[8]。随着实况网格产品不断丰富和应用领域的不断扩展,迫切需要对实况网格产品进行全面的本地化客观检验评估,不仅有助于提升对实况网格产品的认知水平和应用能力,而且为多方位评估挖掘提供附加值,为产品的进一步业务应用提供科学依据。

目前,国内许多学者开展了多源融合降水格点实况产品的检验评估,针对降水要素主要采用分降水量级的TS评分、准确率等检验方法^[9-11]。龙柯吉等^[12]分析发现1 h融合产品的降水总和与24 h融合产品降水量一致,10 min和1 h融合产品降水存在不一致的问题,但二者差异不大。周志花等^[13]发现分级均方根误差随着降水量级的增加而增大,说明随着降水量级的增大,误差增大。俞剑蔚等^[14]通过研究发现格点实况数据在江苏地区具有较高的精度,误差也在可接受范围内,基本可以替代自动站观测数据作为预报和模式检验的实况场。吴薇等^[15]对两套融合降水格点产品在四川的适用性进行了检验评估,发现三源融合降水产品质量优于二源。旷兰等^[16]研究发现汛期CMPAS产品在川渝地区的精度明显优于其它产品,可以为地面实测数据缺乏提供有效的降水数据补充。杜冰等^[17]分析结果表明二源产品和三源产品在四川盆地内部性能相近,川西高原和凉山、攀枝花地区三源融合降水实况产品性能较好。

咸阳地区位于黄土高原东部,地势北高南低,地形复杂,夏季暴雨频发,且降水年内分布极不平衡,降水时段比较集中,夏季降水量占全年总降水总量的三分之一以上。因此,评估和研究多源融合实况产品在该区域暴雨过程中的适用性、产品一致性,对预报员全面掌握降水过程、提供决策服务具有重要意义。

1 资料和方法

1.1 资料

降水融合格点实况产品数据资料包括:2018—2022年5 km、24 h/1 h地面—雷达二源融合快速产品(下简称为24 h/1 h二源产品),5 km、24 h/1 h地面—卫星—雷达三源融合快速产品(下简称为24 h/1 h三源产品)。站点实况资料为通过全国综合气象信息共享平台(China Integrated Meteorological Information Service System, CIMISS)接口获取的咸阳地区168个自动站(包括12个国家气象站和经过质量控制并剔除缺测站后的156个区域自动站)地面小时、日降水站点资料。

1.2 方法

将咸阳地区地面自动站的小时降水量、日降水量资料作为评估“真值”,检验评估降水融合格点实况产品的表现。首先采用自然邻近插值方法将降水融合格点实况产品数据插值到咸阳地区168个地面自动站站点上;然后将质控后的咸阳地面自动站站点降水数据作为参考值,与插值后的降水融合格点实况产品值进行评价指标计算。最后利用多种统计指标按时间、空间进行检验评估。

检验评估指标包括平均值误差(E_M)、平均绝对误差(E_{MA})、均方根误差(E_{RMS})、偏差(B_{IAS})、相关系数(R)、晴雨准确率(P_C)、TS评分(T_S)、空报率(R_{FA})和漏报率(P_O)。

$$E_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i - O_i), \quad (1)$$

$$E_{MA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |C_i - O_i|, \quad (2)$$

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i - O_i)^2}, \quad (3)$$

$$B_{IAS} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n O_i}, \quad (4)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})(O_i - \bar{O})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}}, \quad (5)$$

$$P_C = (N_A + N_D) / (N_A + N_B + N_C + N_D), \quad (6)$$

$$T_S = N_A / (N_A + N_B + N_C), \quad (7)$$

$$R_{FA} = N_B / (N_A + N_B), \quad (8)$$

$$P_O = N_C / (N_A + N_C). \quad (9)$$

其中, C_i 表示融合合格点降水实况产品插值到站点的数值, O_i 表示站点值, N_A 表示融合合格点与站点均发生降水的站点个数; N_B 表示融合合格点发生降水, 站点不发生的站点个数; N_C 表示融合合格点不发生降水, 站点发生的站点个数; N_D 表示融合合格点与站点均不发生降水的站点个数。

2 短时强降水过程概述

通常把日降水量 ≥ 50.0 mm 的降水事件称为暴雨, 把小时降水量 ≥ 20.0 mm 的降水事件定义为短时强降水^[18]。

2018—2022 年咸阳地区共出现 15 次大范围短时强降水过程(2 站及以上出现短时强降水), 其中稳定性降水 7 次(2018 年 6 月 25 日、2018 年 8 月 16 日、2018 年 8 月 21 日、2020 年 7 月 10 日、2021 年 7 月 2 日、2021 年 8 月 21 日、2022 年 7 月 11—12 日)。对流性降水 8 次(2018 年 8 月 7 日、2019 年 7 月 28 日、2020 年 6 月 25 日、2020 年 8 月 7 日、2021 年 6 月 15 日、2021 年 10 月 2—3 日、2022 年 7 月 15 日、2022 年 7 月 26 日)。短时强降水主要出现在咸阳地区北部和西部, 其次是中部, 东部最少。最大小时雨强在 33.6 ~ 58.6 mm/h(表 1)。

表 1 2018—2022 年咸阳市短时强降水(小时降水量 ≥ 20.0 mm)情况

过程	具体时间	出现站数	最大小时雨强/(mm/h)	主要短时强降水落区	降水类型
1	2018-06-25T09—21	16	33.6	北部	稳定性降水
2	2018-08-07T16—18	21	52.8	中部	对流性降水
3	2018-08-16T07—15	16	31.6	中部	稳定性降水
4	2018-08-21T01—16	52	56.1	西部	稳定性降水
5	2019-07-28T16—21	17	46.1	西部	对流性降水
6	2020-06-25T14—16	13	37.1	北部	对流性降水
7	2020-07-10T02—10	22	58.6	西部	稳定性降水
8	2020-08-07T00—09	45	52.5	全市	对流性降水
9	2021-06-15T12—15	21	38.6	中南部	对流性降水
10	2021-07-02T02—05	18	39.9	西部	稳定性降水
11	2021-08-21T11—19	48	57.7	全市	稳定性降水
12	2021-10-02T20—03T02	33	35.8	全市	对流性降水
13	2022-07-11T23—12T14	37	49.8	中北部	稳定性降水
14	2022-07-15T10—15	54	57.0	全市	对流性降水
15	2022-07-26T17—19	17	56.4	中东部	对流性降水

3 短时强降水检验分析

分析 15 次短时强降水过程检验评估指标(表 2、图 1)发现, 24 h 三源产品的综合性能显著优于二源产品。在相关性方面, 三源产品的平均相关系数为 0.92, 高于二源产品的 0.89; 其平均值误差、平均绝对误差、均方根误差及偏差均低于二源产品, 且各类误差指标仅为二源产品的 40.0%~

60.0%。从检验评估指标来看, 两类产品的平均相关系数、晴雨准确率及 TS 评分均处于 0.85~0.98 之间, 其中三源产品的晴雨准确率(0.95)和 TS 评分(0.93)均高于二源产品, 空报率与漏报率则略低于二源产品。综合上述指标差异得出, 在 15 次短时强降水过程的监测评估中, 24 h 三源产品的综合性能明显优于二源产品。

表2 24 h二源/三源产品在2018—2022年咸阳市
15次短时强降水过程中的检验指标

检验指标	24 h二源产品	24 h三源产品
相关系数(R)	0.89	0.92
平均值误差(E_M)	1.96	0.93
平均绝对误差(E_{MA})	0.55	0.32
均方根误差(E_{RMS})	1.03	0.67
偏差(B_{IAS})	0.76	0.41
晴雨准确率(P_C)	0.93	0.95
TS评分(T_S)	0.90	0.93
空报率(R_{FA})	0.32	0.20
漏报率(P_O)	0.25	0.15

分析2018—2022年咸阳地区出现的15次大范围短时强降水过程(图2)发现,对流性短时强

降水过程24 h三源产品的TS评分高于24 h二源产品的TS评分,稳定性降水中的短时强降水则是24 h二源产品优于24 h三源产品,在实际应用中,对流性过程宜参考24 h三源产品,稳定性过程宜参考24 h二源产品。

通过对比15次短时强降水过程中的1 h二源产品、1 h三源产品和站点实况的小时雨强差值(图3)发现,多数情况下站点实况小时降水量大于1 h二源产品和三源产品,表明两类融合产品对短时强降水量级普遍存在低估现象。进一步分析差值变化规律可知,随着小时雨强量级的增大,站点实况与两类融合产品的小时雨强差值呈增大趋势,且差值的中位数也随降水量级升高而同步增大。从适用性角度来看,当小时雨强 <40.0 mm/h时,站点实况与两类融合产品的差值

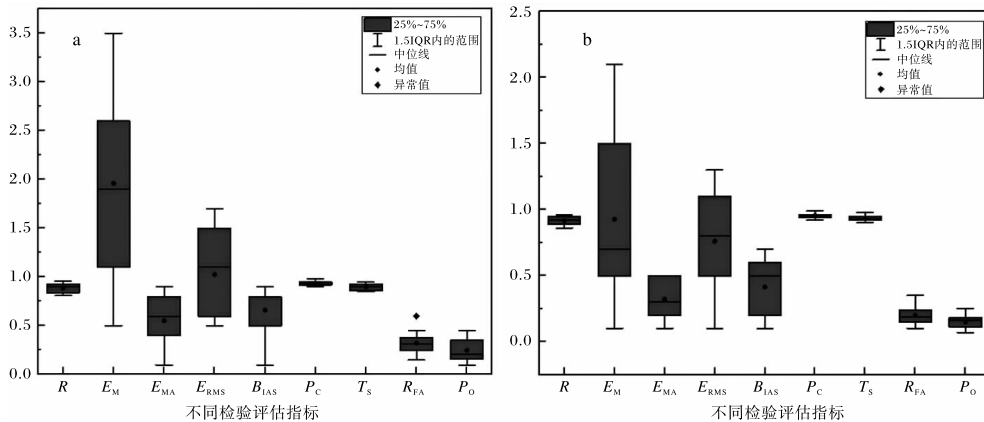


图1 2018—2022年咸阳市15次短时强降水检验评估(a 24 h二源产品,b 24 h三源产品; R 为相关系数、 E_M 为平均值误差、 E_{MA} 为平均绝对误差、 E_{RMS} 为均方根误差、 B_{IAS} 为偏差、 P_C 为晴雨准确率、 T_S 为TS评分、 R_{FA} 为空报率、 P_O 为漏报率)

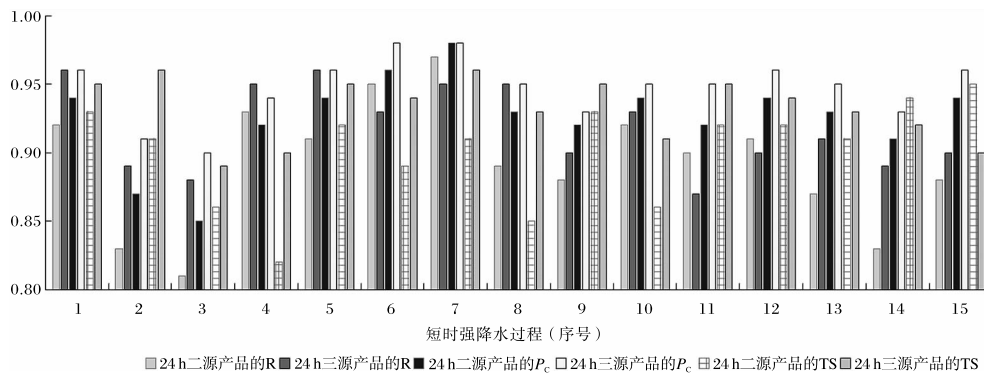


图2 2018—2022年咸阳市15次短时强降水过程独立检验结果(图中横坐标暴雨程序号的1、3、4、7、10、11、13为稳定性降水,2、5、6、8、9、12、14、15为对流性降水)

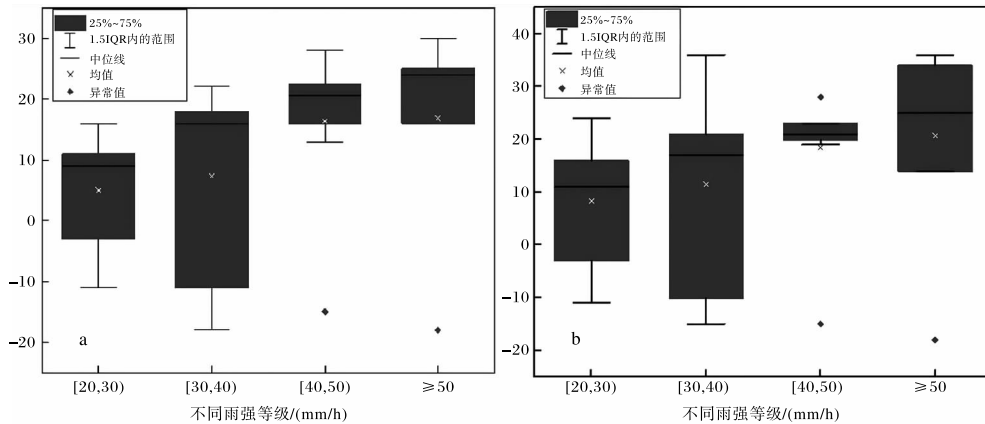


图3 2018—2022年咸阳市15次短时强降水过程两类降水融合产品和站点实况的小时雨强差值
(a 24 h 二源产品, b 24 h 三源产品)

多在 18.0 mm/h 以下;当小时雨强 ≥ 40.0 mm/h 时,差值多在 25.0 mm/h 以下,整体误差处于可控范围,表明两类融合产品在短时强降水监测中具备较好的适用性。

4 两种融合产品累计降水量检验

2020年8月6日20时至7日20时咸阳地区出现一次大暴雨天气过程,全市34个监测站降水量超过50.0 mm,2站降水量超过100.0 mm,分别为兴平南市站(139.4 mm)和咸阳渭城站(104.9 mm)。此次大暴雨为混合性降水(稳定性和对流性),降水主要分为两个时段,咸阳北部对流性强降水出现在6日22时至7日07时,南部对流性强降水主要出现在7日09—12时,最大小时雨强为58.0 mm/h(兴平南市站),出现在7日10—11时。此次大暴雨过程降水时段集中、小时

雨强大、暴雨落区分散,造成了咸阳城区部分商铺倒塌,多地发生洪涝灾害,因此选取本次大暴雨过程作为个案,进行对比分析检验。

4.1 空间对比

图4为2020年8月6日24 h二源产品(图4a)和24 h三源产品(图4b)的累计降水量,与实况(图4c)对比发现,两类降水融合产品的分级降水落区和空间形态均与实况较为一致,可以较好地反映此次咸阳地区大暴雨过程的空间分布特征。相较而言,两种产品主要差别在于咸阳地区西南部的暴雨落区和南部的大暴雨点,24 h二源产品较24 h三源产品来说暴雨区范围更大、出现了一个大暴雨点,更接近于实况。此外两种产品一致性较高,对咸阳地区的小雨、中雨和大雨量级的落区与强度均有较好反映。

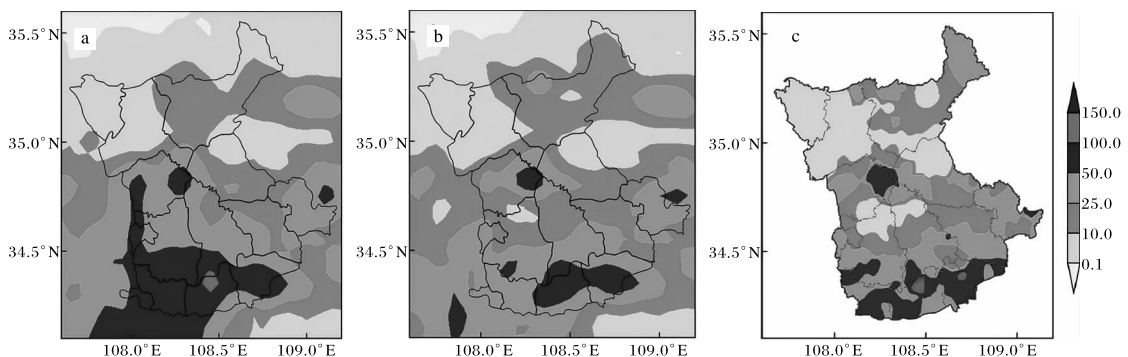


图4 2020-08-06T20—07T20 两类降水融合产品累计降水量(审图号:GS(2019)1822号)
(单位:mm;a 24 h 二源产品, b 24 h 三源产品, c 实况)

选取本次强降水过程中的兴平南市和咸阳渭城气象站两个大暴雨站点进行分析,结果表明兴

平南市(24 h 降水量为 140.8 mm),24 h 二源产品和三源产品对应的值分别为 112.7、90.3 mm;

咸阳渭城气象站(24 h 降水量为 105.5 mm)24 h 二源产品和三源产品对应的值分别为 79.1、80.5 mm。由此可见 24 h 二源产品在两个大暴雨站点结果更接近实况降水量,但存在一定偏差,较实况相比仍偏小 30.0 mm 左右;三源产品在大暴雨极值中心点的降水量误差明显大于二源产品。分析主要原因是三源产品比二源产品多融合了卫星遥感降水数据,而卫星遥感数据在强降水区域的反演精度有限,导致其与地面观测数据融合后反而增大了误差,尤其在大暴雨极值中心区域表现更为明显。

通过对比实况与降水融合产品可以发现,24 h 二源产品、三源产品均能较好反映咸阳地区强降水过程的落区变化与强度特征,其中二源产品在暴雨落区范围、大暴雨中心极值点方面精度更优,更适用于此次强降水过程的分析与应用。

为进一步评估两类降水融合产品在小时降水中的表现能力,对强降水时段中的小时降水进行对比。发现在强降水起始阶段,二源产品和三源产品均能准确反映出强降水发生时段,且其变化趋势与实况基本一致。当咸阳北部和西部开始出现强降水后,雨带逐步呈现自北向南、自西向

东的移动特征,并在咸阳南部最终形成东西向线状降水分布,两类融合产品均能清晰还原雨带移动过程与空间形态演变,与实况的空间吻合度较高。

从整体站点统计来看,两类融合产品的小时降水量普遍略高于实况,表现为偏强特征,且呈现偏强的站点数量多于偏弱站点。但在强降水核心区域内,两类产品对站点小时降水量的估算结果则以偏弱为主,部分站点的最大偏弱幅度超过 20.0 mm,反映出产品在强降水极值方面仍存在局限性。

从兴平南市和咸阳渭城气象站两个大暴雨点的 1 h 二源产品和三源产品逐小时降水量变化(图 5)可以看出,兴平南市强降水主要集中在 7 日 09—13 时,其中 10、11 时小时降水量分别为 47.8、58.0 mm,为降水峰值时段;咸阳渭城气象站的强降水同样集中在该时段,10、11 时小时降水量分别为 49.9、30.2 mm。1 h 二源产品和三源产品均能反映出强降水时段,且逐小时降水量的变化趋势也与实况一致,而两类融合产品的不足在于小时降水量明显低于实况,尤其在 10、11 时两个强降水峰值时段,偏差达到 20.0 mm。

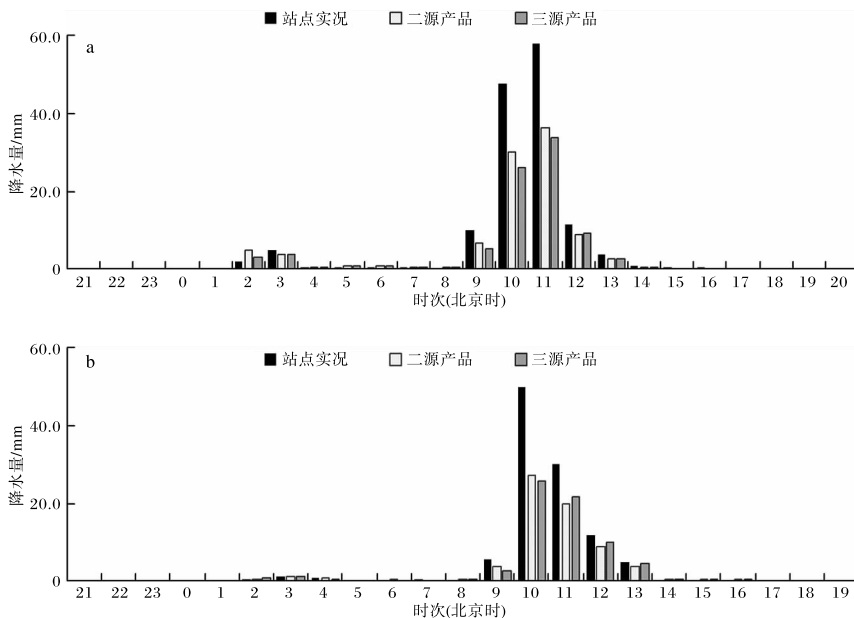


图 5 2020-08-06T20—07T20 大暴雨站点逐小时降水量
(a 兴平南市气象站, b 咸阳渭城气象站; 单位: mm)

对此次大暴雨过程的检验评估结果如图 6, 1 h 二源产品和三源产品的降水量均略小于实况降水量, 两类融合产品与实况数据的相关性均表现良好, 相关系数均达到 0.87 以上。进一步对比 1 h 二源产品和三源产品发现, 1 h 三源产品效果更优, 相关系数达到 0.93, 偏差为 0.90, 平均值误差、平均绝对误差及均方根误差较 1 h 二源产品均减小约 50.0%。综合表明, 1 h 三源产品在此次大暴雨过程的小时降水估算中性能更优。

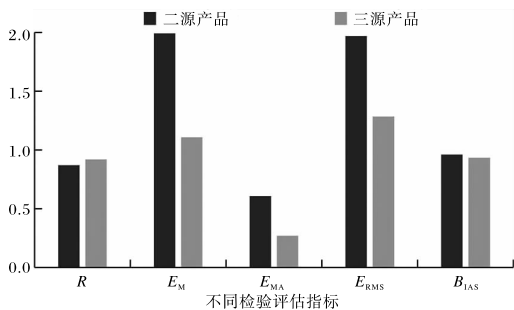


图 6 2020-08-06T20—07T20 累计降水量不同检验评估指标

4.2 24 h 分级降水检验

根据《降水量等级》(GB/T 28592-2012) 国

家标准, 降雨分为微量降雨(<0.1 mm)、小雨(0.1~9.9 mm)、中雨(10.0~24.9 mm)、大雨(25.0~49.9 mm)、暴雨(50.0~99.9 mm)、大暴雨(100.0~24.9 mm)、特大暴雨(≥ 250.0 mm)共 7 个等级。

对 2020 年 8 月 6 日 20 时至 7 日 20 时大暴雨两个例进行分级检验表明, 从 TS 评分来看, 大雨及以下量级降水中, 24 h 三源产品 TS 评分明显高于 24 h 二源产品; 随着降水量级升高, 24 h 二源产品 TS 评分逐渐超越 24 h 三源产品, 且量级越大, TS 评分越优。而从空报率和漏报率来看, 两类融合产品呈现一致的变化规律: 随降水量级增加, 空报率与漏报率整体呈单峰分布, 在大雨量级达到峰值; 其中, 大雨及以下量级降水中, 24 h 三源产品的空报率、漏报率均低于 24 h 二源产品, 而到大暴雨量级时, 24 h 二源产品空报率、漏报率分别为 0.15、0.20, 24 h 三源产品则出现空报率为 0, 但漏报率达 1 的极端情况, 表明 24 h 二源产品对本次大暴雨过程的反映更好。在晴雨准确率方面, 24 h 二源产品与 24 h 三源产品表现相当, 准确率均超过 92.0%, 综合说明两类融合产品对晴雨的把握均较好。

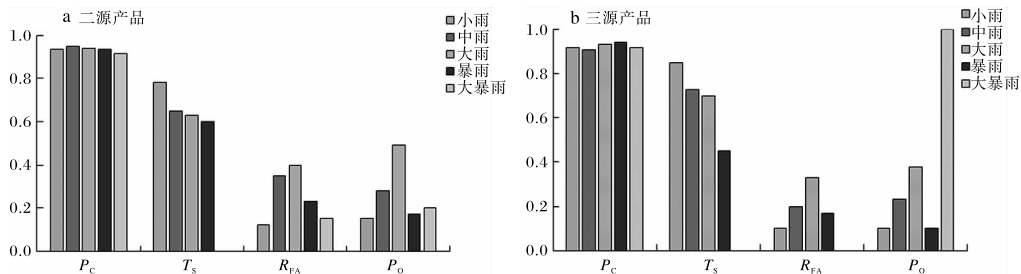


图 7 2020-08-06T20—07T20 不同等级降水量检验评估

5 结论

(1) 2018—2022 年咸阳地区共发生 15 次短时强降水天气过程, 其空间分布呈现明显的区域差异。短时强降水主要集中在咸阳地区的北部和西部, 其次是中部, 东部最少。针对两类短时强降水(对流性、稳定性)的分析表明, 在对流性短时强降水过程中, 24 h 三源产品 TS 评分高于 24 h 二源产品, 而稳定性降水中的短时强降水则是 24 h 二源产品优于 24 h 三源产品。基于上述结果, 针对对流性短时强降水过程, 优先参考 24 h 三源产

品; 针对稳定性降水中的短时强降水过程宜参考 24 h 二源产品。

(2) 四类实况融合格点分析产品(24 h 二源产品、24 h 三源产品与 1 h 二源产品、1 h 三源产品)在分级降雨的落区、空间形态及时空演变趋势方面, 均与实况降水较为一致, 能够较好地还原降水过程的整体特征。但四类产品的降水量极大值普遍小于实况, 尤其是大暴雨点 24 h 降水量和 1 h 降水量相差 20.0 mm 以上。

(3) 整个过程中 24 h 二源产品、24 h 三源产

品、1 h 二源产品、1 h 三源产品均与实况有较好的一致性,二者之间相关系数均达到 0.87 以上,晴雨准确率在 92.0% 以上,分级 TS 评分随着降水量级的增大而降低;降水的空报率和漏报率随降水量级的变化呈单峰形分布,在大雨量级达到峰值。

(4) 四类实况融合格点分析产品(24 h 二源产品、24 h 三源产品与 1 h 二源产品、1 h 三源产品)在咸阳地区强降水过程中的适用性较好。对于大雨及以下量级的降水,融合了地面、雷达、卫星的 24 h 三源产品把握较好。但对于暴雨和大暴雨则是 24 h 二源产品反映更好。主要是由于三源产品融合的卫星降水数据在强降水区域存在较大反演误差,该误差在数据融合过程中未能有效抵消。

综上所述,结合咸阳地区短时强降水过程的产品评估结果,发现对于对流性过程宜参考 24 h 三源产品;稳定性过程宜参考 24 h 二源产品。同时,24 h 二源产品、24 h 三源产品与 1 h 二源产品、1 h 三源产品四类实况融合格点分析产品均与实况具有较好的一致性,在咸阳地区具有较高的准确性,能有效反映该区域分级降水的落区范围及时空变化趋势,且整体误差处于可接受区间。基于此,四类产品基本可替代自动站观测降水资料,作为咸阳地区降水过程监测、分析及决策服务业务中的实况参考场,为本地气象服务提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 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[J]. 气象科技,2018,8(1):102-108.
- [2] 潘畅,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] 师春香,潘晰,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] 庄薇,刘黎平,王改利,等. 青藏高原复杂地形区雷达估测降水方法研究[J]. 高原气象,2013,32(5):1224-1235.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 旷兰,田茂举,李强,等. 多源降水融合分析产品在重庆复杂地形下的精度评价[J]. 中国农业气象,2023,44(1):71-81.
- [8] 张玮,李显凤,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[J]. 江西师范大学学报(自然科学版),2020,44(4):403-410.
- [9] 符娇兰,宗志平,代刊,等. 一种定量降水预报误差检验技术及其应用[J]. 气象,2014,40(7):796-805.
- [10] 唐文苑,周庆亮,刘鑫华,等. 国家级强对流天气分类预报检验分析[J]. 气象,2017,43(1):67-76.
- [11] 官宇,代刊,徐瑁,等. GRAPES-GFS 模式暴雨预报天气学检验特征[J]. 气象,2018,44(9):1148-1159.
- [12] 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.
- [13] 周志花,张璐,邹逸航,等. 二元融合降水格点实况数据检验分析[J]. 内蒙古科技与经济,2021(3):65-68.
- [14] 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[J]. 气象,2019,45(9):1288-1298.
- [15] 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.
- [16] 旷兰,田茂举,李强,等. 川渝地区汛期逐小时降水融合产品误差分析[J]. 中国农业气象,2023,44(10):953-963.
- [17] 杜冰,吴薇,黄晓龙,等. 基于多源降水融合试验的四川省降水实况分析产品优化[J]. 气象与环境学报,2023,39(4):155-161.
- [18] 李浙华,肖安,涂满红,等. 1979—2019 年 4—9 月江西省短时强降水变化趋势及成因分析[J]. 干旱气象,2025,43(4):595-606.