

范江琳,龙柯吉,曹萍萍,等.多源融合格点降水产品在四川复杂地形区域的检验评估[J].陕西气象,2025(5):23-32.

文章编号:1006-4354(2025)05-0023-10

多源融合格点降水产品 在四川复杂地形区域的检验评估

范江琳^{1,2},龙柯吉^{1,2},曹萍萍^{1,2},彭爽^{1,2},吴薇^{2,3}

(1. 四川省气象台,成都 610072;2. 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室,成都 610072;
3. 四川省气象探测数据中心,成都 610072)

摘要:利用地面观测降水数据,选取2020—2022年9次灾害事件(暴雨、洪涝、山体崩塌、泥石流)降雨过程,在四川复杂地形区域内对多源融合格点降水产品 ART_1KM 展开非独立和独立检验。结果表明:(1)各区域 ART_1KM 产品降水落区与站点实况基本一致。所有量级 24 h 降水 TS 评分均较高,非独立检验高于 93%。偏差在 $-0.1 \sim 0.1$ mm 内的非独立站点大于 90%,偏差绝对值小于 5.0 mm 的独立站点可达 92.3%。(2)1 h 降水与站点实况相关性高于 0.8,非独立检验接近 1,偏差接近 0 mm,最大小时雨强偏差绝对值 5.0 mm 内的独立站点最高为 95.6%,非独立站点为 100%。(3)ART_1KM 产品的降水起止时间、强度、极值大小、峰值雨强及其出现时间与站点实况较一致,独立站点匹配度略差。(4)ART_1KM 产品在非独立站点的数据质量优于独立站点,盆地西部和川西高原略优于攀西地区。

关键词:格点降水产品;独立检验;复杂地形;检验评估

中图分类号:P459

文献标识码:A

随着气象观测体系的不断升级、信息网络技术的快速发展及数值模式数据质量的持续提高,各行业对气象数据产品的质量及精度要求也越来越高。综合卫星、雷达、自动观测站多源资料,利用数据同化、时空匹配、偏差订正等技术获取高质量、高精度、时空连续且易读取的气象融合格点产品是行之有效的手段^[1]。为此,国家气象信息中心在消化吸收国际先进融合技术基础上,自主创新建成了业务化的亚洲区域中国气象局陆面数据同化系统(CMA land data assimilation system, CLDAS)和中国区域融合降水分析系统(CMA multi-source precipitation analysis system, CM-

PAS)等^[2]。在国内外大力发展无缝隙精细化预报的背景下,2017年全国天气预报业务实现了从站点预报向智能网格预报的全面升级,一系列多源数据融合产品(气温、降水、湿度、风、能见度等)已在智能网格预报中实现了业务应用,并在天气、气候,防灾减灾等领域中发挥了重要作用^[3]。

四川位于青藏高原东侧,地形地貌复杂,部分地区观测站点稀疏,资料匮乏,融合格点资料的应用可在一定程度上弥补这一不足^[4]。多源融合格点分析产品常被当作“实况”资料用于数值预报产品检验、网格气象预报等,但融合数据的“真实性”、普适性还需要大量的评估和研究^[5]。目前,

收稿日期:2023-11-27

作者简介:范江琳(1986—),女,汉族,四川广安人,硕士,高级工程师,主要从事精细化天气预报与研究。

通信作者:龙柯吉(1987—),女,汉族,四川眉山人,硕士,正高级工程师,主要从事天气学与数值天气预报研究。

基金项目:高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室科技发展基金(SCQXKJZDGG202401-3;SCQXKJYJXZD202402),国家重点研发计划(2023YFC3007501),四川省科技厅项目(2023NSFSC0244),四川省科技厅中央引导地方(2023ZYD0147)

针对格点降水产品,业务中主要采用 TS 评分、漏报率和准确率等传统检验指标^[6-9]进行产品的质量检验。俞剑蔚等^[10]对国家级格点实况产品在江苏地区的适用性进行了评估,认为格点实况产品对降水分布把握较好,但对大量级降水漏报较多。刘菊菊等^[11]指出融合格点降水产品的误差与海拔高度呈显著正相关,暴雨及对流性大雨的误差较大。吴薇等^[4,12]指出四川地区三源融合降水产品优于二源。龙柯吉等^[13-14]分别对温度和降水融合格点实况产品进行了检验评估,认为温度格点实况数据质量随海拔高度增加而降低,降水格点实况产品极大值偏小,1 km 产品优于 5 km 产品,近实时产品优于实时产品。郭旭等^[15]分析了四种降水融合产品在四川持续性强降水过程的应用,得出 1 km 近实时产品的代表性最优。

以往研究表明中国区域多源融合格点降水产品的时空精度远高于雷达和卫星降水产品^[5,16-18],尤其在观测站网密集的区域,融合格点产品的数据和自动气象站数据高度相关,其主要原因是该产品融合了自动气象站数据。但四川境内海拔差异显著,该产品在复杂地形区域的数据质量如何有待进一步评估,且目前国家气象信息中心下发的 ART_1KM 产品并未融合所有的自动气象站数据,可开展独立和非独立站点的对比检验,客观评价融合降水产品的数据精度。此外,以往研究以单个个例检验居多,针对格点实况产品在四川不同地区的对比评估并不多见。基于此,选取盆地西部、川西高原和攀西地区 3 个地形复杂区域,采用相关系数(R)、均方根误差(E_{RMS})、偏差(B)等检验指标,在空间、时间尺度上对融合降水产品进行定量评估,以期获得不同地形和降水量级下格点降水产品的评估特征,为智能网格预报、融合格点产品的改进和应用推广提供理论依据,发挥其在气象防灾减灾工作中的基础性作用。

1 资料与方法

1.1 资料

选用国家气象信息中心下发的高分辨率三源融合近实时降水产品 ART_1KM(空间分辨率 1 km×1 km)为评估对象,该产品由雷达、卫星和

地面观测三种资料融合。首先采用概率匹配对雷达估测降水产品(中国气象局气象探测中心研制)和卫星反演降水产品(风云卫星和美国气候预测中心研发的实时卫星反演降水系统 CMORPH 的降水产品^[19])进行订正,其次经贝叶斯平均将两者融合形成降水背景场,最后利用最优插值法融入地面观测数据。对比评估的观测资料为四川省 6 051 个国家站及加密自动站资料中降水质控码为 0(正确)的数据^[20]。

文中将站点观测值作为“真值”,采用邻近插值法,将 ART_1KM 产品中最邻近格点的降水值赋给站点,再将其与实况进行评估,当某测站小时降水有缺测时,剔除样本。为了检验 ART_1KM 产品质量,采用了独立和非独立两种检验,其中独立检验站点未融合 ART_1KM 产品中的 475 个地面自动气象站资料。

以四川盆地西部(高原与盆地过渡的区域,A 区)、川西高原(甘孜和阿坝两州,主要为海拔高度 3 000 m 以上的高原,B 区)和攀西地区(以海拔 1 500~3 000 m 的山地为主,C 区)三个复杂地形区域为研究区域,对 2020—2022 年 5—10 月的降水事件进行整体评估,再结合致灾因素及地质灾害类型,选取 9 次灾害事件(暴雨、洪涝、山体崩塌、泥石流)降雨过程展开细致评估,时间段分别为:2020-08-10—11、2020-08-15—16、2022-07-12—13、2022-07-15—16(A 区,4 次);2022-05-26—27、2022-06-29—30(B 区,2 次);2022-07-18—19、2020-09-05—07、2020-09-09—10(C 区,3 次)。研究区域及海拔高度见图 1,文中涉及

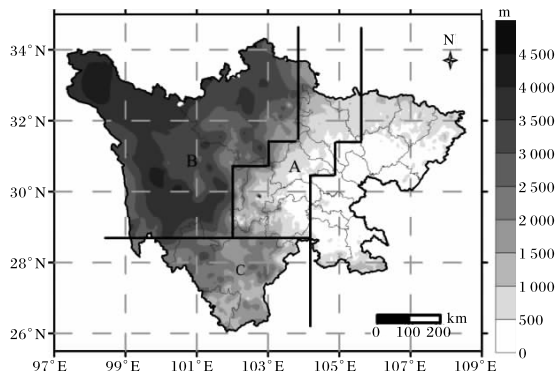


图1 研究区域及海拔高度(A 四川盆地西部;
B 川西高原;C 攀西地区)

的四川省及地市州行政边界均基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2019)1823 的标准地图制作,底图无修改。

1.2 评估方法

根据《中国区域降水网格实况产品全流程检验评估细则(2020 版)》,文中用到的评估指标^[21]包括:相关系数(R)、平均误差(E_M)、平均绝对误差(E_{MA})、均方根误差(E_{RMS})、偏差(B)、晴雨准确率(P_C)、TS 评分(T_S)、空报率(R_{FA})和漏报率(R_{PO})。部分公式如下。

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

$$E_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (G_i - O_i), \quad (2)$$

$$E_{MA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |G_i - O_i|, \quad (3)$$

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (G_i - O_i)^2}, \quad (4)$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{\sum_{i=1}^n O_i}, \quad (5)$$

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

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

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

$$R_{PO} = N_C / (N_A + N_C). \quad (9)$$

其中, G_i 为 ART_1KM 产品插值到观测站点的降水值(mm), O_i 为气象观测值(mm), n 为样本总数(个), i 代表第 i 个样本。 N_A 表示 ART_1KM 产品与实况均发生的站点数(个), N_B 表示 ART_1KM 产品发生而实况不发生的站点数(个), N_C 表示 ART_1KM 产品不发生而实况发生的站点数(个), N_D 表示 ART_1KM 产品和实况均不发生的站点数(个)。

2 降水实况分析

表 1 为 9 次灾害性降水过程信息,盆地西部的 4 次过程均满足四川区域性暴雨指标。50.0 mm 以上站次、过程累计雨量及 1 h 最大降水量都明显高于川西高原和攀西地区。其中“2020-08-11”降水过程中的小时降水最强(156.8 mm/h),“2020-08-16”暴雨站次(1 305 站)最多且 24 h 累计降雨量最大(540.1 mm)。川西高原的 2 次降水过程发生在 2022 年,24 h 累计降水量均小于 50.0 mm,小时最大降水仅 14.5 mm,明显小于另外两个区域。攀西地区的 3 次降水事件中,“2022-07-19”和“2020-09-10”降水分布较相似,中心位于攀西地区南部,“2020-09-06”主要降水落区为凉山州东北部。

表 1 2020—2022 年 9 次灾害性事件降水过程情况

发生时间	≥50.0 mm 站数/个	24 h 最大降水量/mm	小时最大降水量/mm	暴雨落区
2020-08-11	710	430.2	156.8	盆地西部(A 区)
2020-08-16	1 305	540.1	118.4	盆地西部(A 区)
2022-07-13	445	367.7	100.2	盆地西部(A 区)
2022-07-16	303	190.5	77.0	盆地西部(A 区)
2022-05-27	0	29.6	14.5	川西高原(B 区)
2022-06-30	0	32.4	7.5	川西高原(B 区)
2022-07-19	80	121.2	36.6	攀西地区(C 区)
2020-09-06	60	173.6	54.3	攀西地区(C 区)
2020-09-10	29	92.5	35.8	攀西地区(C 区)

3 检验评估

表 2 为 2020—2022 年 ART_1KM 产品的小时

降水在各区域的整体评估情况。非独立检验结果显示,各项指标在盆地西部、川西高原以及攀西地区均

较好,相关系数(R)都大于 0.99,平均绝对误差(E_{MA})和平均值误差(E_M)分别为 0.002、0.001 mm/h,均方根误差(E_{RMS})基本在 0.1 mm/h 以下。

独立站点的检验评分较非独立站点略差,但整体来看,与站点实况的相关性仍较高,其中盆地西部的相关系数(R)最大(0.863);平均绝对误差

(E_{MA})和平均值误差(E_M)略有增加,且平均值误差(E_M)在不同区域均为负值,表明 ART_1KM 产品易出现低估;均方根误差(E_{RMS})较非独立检验的误差有所增加,最大为 0.750 mm/h,表明在独立检验中,ART_1KM 产品与观测值相比较容易出现较大误差。

表 2 2020—2022 年 ART_1KM 产品四川检验

区域	非独立检验					独立检验				
	B	R	E_{MA} /(mm/h)	E_M /(mm/h)	E_{RMS} /(mm/h)	B	R	E_{MA} /(mm/h)	E_M /(mm/h)	E_{RMS} /(mm/h)
盆地西部	0.997	0.998	0.002	0.001	0.106	1.030	0.863	0.082	−0.004	0.721
川西高原	0.994	0.996	0.002	0.001	0.067	1.042	0.750	0.084	−0.002	0.750
攀西地区	0.990	0.997	0.002	0.001	0.089	1.032	0.749	0.151	−0.006	0.749

9 次灾害性降水过程的检验结果表明,ART_1KM 产品的非独立站点均能很好表征实况,其中盆地西部的偏差最小,川西高原次之。独立检验样本显示,ART_1KM 产品的偏差略有增大,但偏差绝对值小于 5.0 mm 的站点数仍可达 90% 以上,表明独立站点产品亦可较好地代表实况,同时,在地形相似的地区,ART_1KM 产品的偏差特性较相似。本文在各区域分别选取了一次具有代表性的个例进行详细分析,探讨在不同地形分布下 ART_1KM 产品数据质量的可靠性。

3 次降水过程均发生在 2022 年,分别为“2022-07-13”(盆地西部)、“2022-06-30”(川西高原)和“2022-07-19”(攀西地区),过程的实况分布见图 2。2022 年 7 月 12 日 20 时—13 日 20

时(图 2a),降水集中在川西高原东部和盆地西部相接的地形过渡带,累计降雨量大,强度强,最大累计降雨量为 367.7 mm,1 小时最大降雨量高达 100.2 mm。2022 年 6 月 29 日 20 时—30 日 20 时(图 2b),降水中心位于甘孜州南部,累计降雨量 25.0~49.9 mm 有 35 站,最大累计降水出现在甘孜州理塘中木拉乡卡下村站(32.4 mm),最大小时降雨量为 7.5 mm(甘孜州稻城傍河乡仲堆村)。2022 年 7 月 18 日 20 时—19 日 20 时(图 2c),主要降水区域位于攀西地区南部,累计雨量 50.0~99.9 mm 有 78 站,100.0 mm 以上的有 2 站,最大累计降水量出现在凉山州昭觉玛增依乌乡(121.2 mm),最大小时降雨量也出现在该测站,为 36.6 mm。

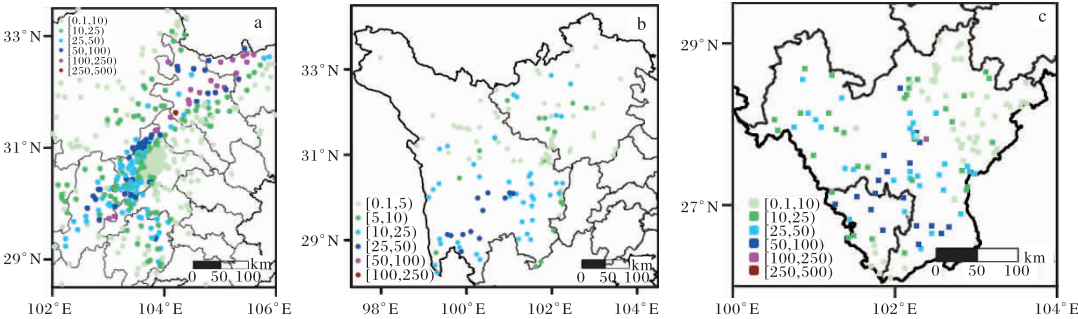


图 2 3 次降水过程的 24 h 累计降雨分布(a 2022-07-13,b 2022-06-30,c 2022-07-19;单位为 mm)

3.1 24 h 降水检验

3.1.1 降雨量累计分布

图 3 给出了 3 次暴雨过程的 ART_1KM 产品 24 h 降水累计偏差分布,偏差为站点实况与 ART_1KM 产品之差,其

中站点实况分布见图 2, ART_1KM 降水分布图略, 图 3a、图 3b、图 3c 代表非独立检验, 图 3d、图 3e、图 3f 为独立检验。非独立检验中, 3 次过程 ART_1KM 产品的降水落区、雨带形态和站点实况基本一致, 且最大 24 h 累计降水量也完全一致(图略)。

“2022-07-13”降水过程(图 3a), 非独立站点的偏差范围在 $-15.6 \sim 4.9$ mm 之间, 以负偏差为主, 即 ART_1KM 降水值高于站点实况值, 其中位于 $-0.1 \sim 0.1$ mm 的测站达 96.5%, 表明融合格点资料与站点实况匹配度高。独立检验显示

ART_1KM 产品与站点实况也有较高的一致性, 但偏差较非独立站点略大些(图 3d), 其中位于 $-0.1 \sim 0.1$ mm 的测站为 40.9%, $-5.0 \sim 5.0$ mm 的测站可达 83.4%。

“2022-06-30”、“2022-07-19”降水过程非独立站点仍以较小的负偏差为主(图 3b、图 3c), 偏差范围 $-0.1 \sim 0.1$ mm 的测站分别为 87.1%、90.2%。独立站点的偏差大于非独立站点(图 3e、图 3f), 其中 $-0.1 \sim 0.1$ mm 的测站分别为 49.4%、3.1%, 但位于 $-5.0 \sim 5.0$ mm 的测站达 92.3%、65.2%。

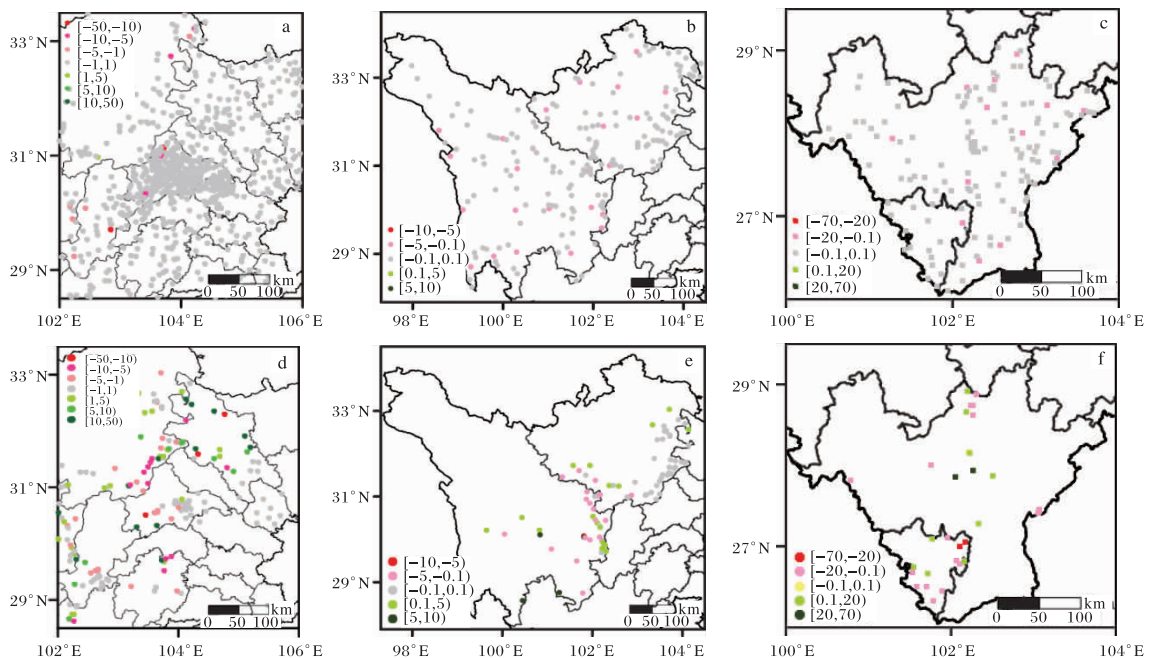


图 3 四川省各区域站点实况与 ART_1KM 产品 24 h 累计降雨偏差分布(a、d 2022-07-13, b、e 2022-06-30, c、f 2022-07-19; a、b、c 为非独立检验; d、e、f 为独立检验)

另外 6 次暴雨过程的检验结论较相似, 即各分区内, ART_1KM 产品的非独立和独立站点均能很好表征站点实况, 其中又以非独立站点的代表性更优; 偏差分布显示盆地西部的偏差最小, 川西高原次之。

3.1.2 降水分级检验 盆地西部和攀西地区降水分级参照国家气象中心编制的《降水量等级》, 24 h 降雨量分别处于 $0.1 \sim 9.9$ mm、 $10.0 \sim 24.9$ mm、 $25.0 \sim 49.9$ mm、 $50.0 \sim 99.9$ mm 和 $100.0 \sim 249.9$ mm, 分别定义为小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨。受地形和海拔高度影响, 川西高原的降

水等级采用《四川气象业务规范》的定义, 小雨: 24 h 降雨量 $0.1 \sim 4.9$ mm; 中雨: $5.0 \sim 9.9$ mm; 大雨: $10.0 \sim 24.9$ mm; 暴雨: $25.0 \sim 49.9$ mm。

图 4 给出了 3 个区域 ART_1KM 产品的降水分级 TS 评分。非独立检验(图 4a)显示, 各区域 ART_1KM 产品所有量级的 TS 评分均较高(大于 93%), 尤以盆地西部和攀西地区评分最优, 高于 99%, 十分接近站点实况。独立检验的 TS 评分较非独立检验略有降低(图 4b), 降水量级越小, TS 评分越高, 暴雨以下量级 TS 评分在 70% 以上, 相对而言, 川西高原的 TS 评分最优。

表 3 显示,3 个区域的非独立站点晴雨准确率均接近 100%,以攀西地区最优,独立站点的晴雨准确率约 90%,以川西高原最优(92.3%)。此外,各区域 ART_1KM 降水产品的非独立和独立检验空报率、漏报率非常低(图略),暴雨以下量级两者基本为 0%,暴雨以上也仅 1%左右。

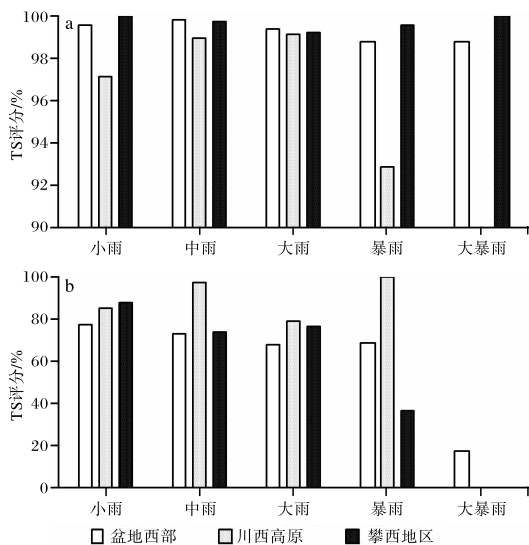


图 4 四川省各区域 ART_1KM 产品不同量级降水 TS 评分(%) (a 非独立检验; b 独立检验)

由上可知,各区域 ART_1KM 的降水分级非独立和独立检验的 TS 评分、晴雨准确率均较高,漏报和空报极低,能很好反映实况降水。其中非独立站点以攀西地区最接近实况,盆地西部次之,独立检验以川西高原最优。

表 3 四川省各区域 ART_1KM 产品晴雨准确率

区域	非独立检验	独立检验
盆地西部	99.74	88.76
攀西地区	100.00	87.50
川西高原	97.79	92.13

3.2 小时降水检验

图 5 为各区域 ART_1KM 产品的小时降水检验评分。由非独立检验(图 5a)可知,ART_1KM 产品的偏差(B)和相关系数(R)都接近 1,平均绝对误差(E_{MA})和平均值误差(E_M)在 0.0 mm/h 值附近,均方根误差(E_{RMS})小于 0.2 mm/h。即各区域非独立站点的 ART_1KM 的 1 h 降水与实况有较高

的匹配度。

独立检验(图 5b)显示,各区域 ART_1KM 产品的偏差(B)也都接近 1,3 个区域相关系数(R)略低于独立检验,但仍可达 0.8 mm/h。攀西地区的平均绝对误差(E_{MA})相对较高(0.8 mm/h),但 E_M 仅 0.08 mm/h,另外 2 个区域的 E_{MA} 和 E_M 都接近 0.0 mm/h。川西高原的均方根误差(E_{RMS})较小(0.28 mm/h),明显低于盆地西部(0.79 mm/h)和攀西地区(1.77 mm/h)。

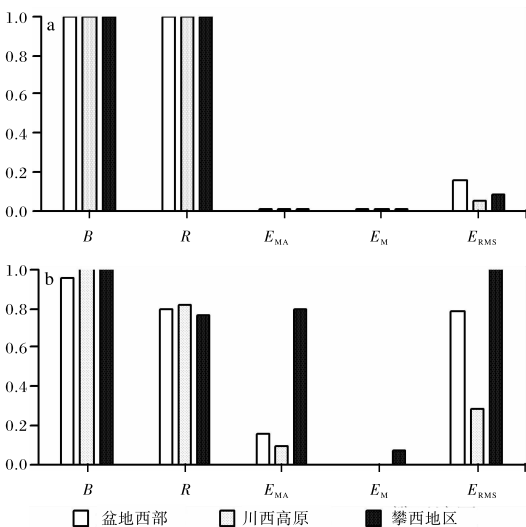


图 5 四川省各区域 ART_1KM 产品小时降水检验 (a 为非独立检验, b 为独立检验; B 为偏差, R 为相关系数, E_{MA} 为平均绝对误差, E_M 为平均值误差, E_{RMS} 为均方根误差; E_{MA} 、 E_M 、 E_{RMS} 单位均为 mm/h)

总体而言,各区域 ART_1KM 非独立和独立站点 1 h 降水与站点实况相关性高,误差和偏差较小,均能很好反映实况。相比而言,非独立产品更优,盆地西部和川西高原略优于攀西地区。

3.2.1 最大小时雨强分布 由站点实况分布(图略)可知,最大小时雨强落区与 24 h 累计降雨量(图 2)较一致,“2022-07-13”过程 1 h 降水量达 20 mm 以上的区域位于盆地西部和西南部,最大小时雨强出现在绵阳安县高川乡天池村(100.2 mm/h)。“2022-06-30”过程的最大小时雨强在 5.0 mm/h 以上的区域集中在阿坝州,“2022-07-19”最大小时雨强达 20.0 mm/h 以上的区域主要位于攀西地区南部。ART_1KM 产品最大小时雨强中心、降雨强度与站点实况基本一致,各等级小时雨强

落区与站点实况也有较高的相似性(图略)。

3个区域 ART_1KM 产品最大小时雨强以负偏差为主,即 ART_1KM 降水值高于站点实况。其中非独立站点的偏差极小,集中在 $-0.1\sim 0.1$ mm 之间(图 6a、6b、6c),盆地西部 99% 以上,川西高原和攀西地区为 100%。独立站点偏差在 $-0.1\sim 0.1$ mm 的测站比最高为 56.3%(川西高

原),其次是盆地西部(45.2%);偏差在 $-5.0\sim 5.0$ mm 的测站比最高可达 96.5%(川西高原),盆地西部为 89.6%,攀西地区 67.8%。

综上,融合格点资料 ART_1KM 的独立和非独立样本均能较好表征站点实况的最大小时雨强分布,但非独立样本与站点实况更接近,匹配度更高,川西高原和盆地西部优于攀西地区。

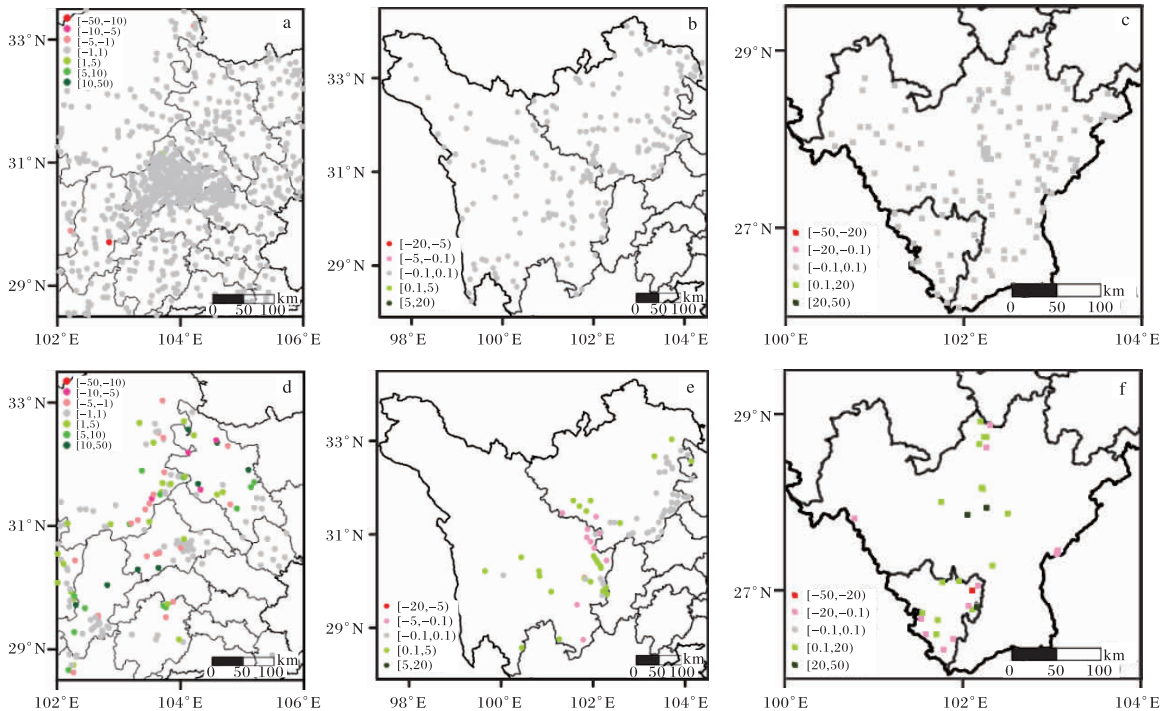


图6 四川省各区域站点实况与 ART_1KM 产品最大小时雨强偏差分布(a、d 2022-07-13, b、e 2022-06-30, c、f 2022-07-19; a、b、c 为非独立检验, d、e、f 为独立检验)

3.2.2 峰值时刻降水分布 为了解格点融合资料产品的小时降水极值的表现情况,对比分析了9次过程的逐小时最大降水量演变。对于非独立检验(图略),9次过程 ART_1KM 的小时降水极值变化趋势、各时刻降雨量值与站点实况完全一致。

独立检验中,各区域以上述3次过程为代表。从图7可见,大部分时段格点融合资料 ART_1KM 的小时降水极值变化趋势与站点实况一致,但在峰值降水时段,ART_1KM 与实况差异较大,表现为各区域 ART_1KM 雨量值小于站点实况,其中川西高原差异较小(图 7b),盆地西部和攀西地区差异较大(图 7a、7c)。盆地西部(图 7a)站点实况小时降水极大值在15日22时出现峰值

(67.7 mm),当前时刻 ART_1KM 降水值仅 28.6 mm,偏小约 39.0 mm。攀西地区(图 7c)站点实况小时降水极大值呈双峰特征,降水量分别为 32.4 mm(19日02时)、34.2 mm(19日07时),同样 ART_1KM 的降水量明显小于实况,分别为 15.4 mm、8.1 mm。

由上可得,各区域 ART_1KM 的非独立站点小时雨强极大值与实况匹配度完全一致,可很好表征实况,独立站点的小时降水极值变化趋势与实况也有较高的一致性,但峰值降水量还存在一定差异,总体而言,独立样本也可以较好地反映实况。

3.2.3 降水中心评估 为了解融合格点 ART_1KM 产品对降水中心的代表性,针对每次过程分

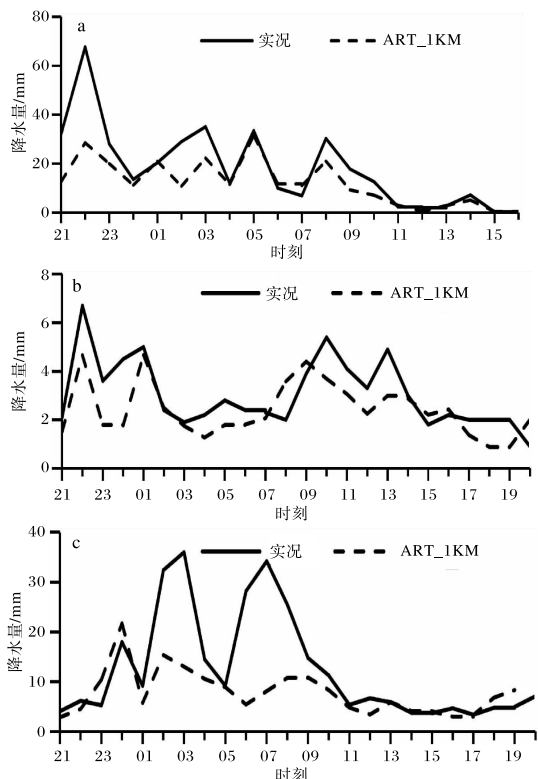


图7 各区域站点实况与 ART_1KM 产品小时降水极大值逐小时变化(a 2022-07-13;b 2022-06-30;c 2022-07-19)

别选取降水中心出现最大小时雨量的测站,对比分析站点实况与 ART_1KM 产品的降水逐小时演变趋势。在非独立检验(图略)中,9次过程降水中心站点的 ART_1KM 降水逐时分布和站点实况完全一致,降水起止时间、降水强度和落区均完全匹配。降水中心之外的其他测站 ART_1KM 降水逐时分布情况也与实况高度一致(图略),差异极小,可以忽略。

独立检验中,降水中心 ART_1KM 产品的逐时演变与站点实况存在一定差异,仍以上述3次过程为例,分别选取 S2444 站(千佛熊猫广场站)(图 8a)、S0980 站(理塘呷洼所底气象观测站)(图 8b)、S8963 站(西昌四合马什洛三组站)(图 8c)为盆地西部、川西高原和攀西地区降水中心的独立检验站点。如图所示,盆地西部 ART_1KM 峰值降水时刻与站点实况一致,降水起止时段大致相同,但各时刻 ART_1KM 降水量值与站点实况存在差异,其中峰值时刻差异最明显,偏低约 10 mm。川西高原 ART_1KM 降水与站点实况峰值时刻

一致,降水大值时段也大致相同,以偏弱为主,30日 06—09 时间段内 ART_1KM 产品比实况大。攀西地区 ART_1KM 降水的开始时间较实况提前 1 h,但结束时间相同,逐小时的降水量值与实况存在差异,以偏小为主,但大部时刻的差异较小(5.0 mm 内),其中 19 日 07 时差异最大,站点实况出现了 1 h 降水峰值(35.0 mm),但 ART_1KM 在该时刻降水仅 10.0 mm,ART_1KM 的峰值降水时刻出现在 19 日 09 时,量级也明显小于实况(15.0 mm)。

由上可知,各区域融合格点资料 ART_1KM 的非独立站点均能很好表征降水中心,独立样本的小时降水峰值时刻、峰值雨强与实况存在差异,但降水的起止时间、逐小时降水强度以及变化趋势与实况差异较小,总体来看,ART_1KM 资料独立样本也能较好的表征实况,其中盆地西部和川西高原的代表性优于攀西地区。

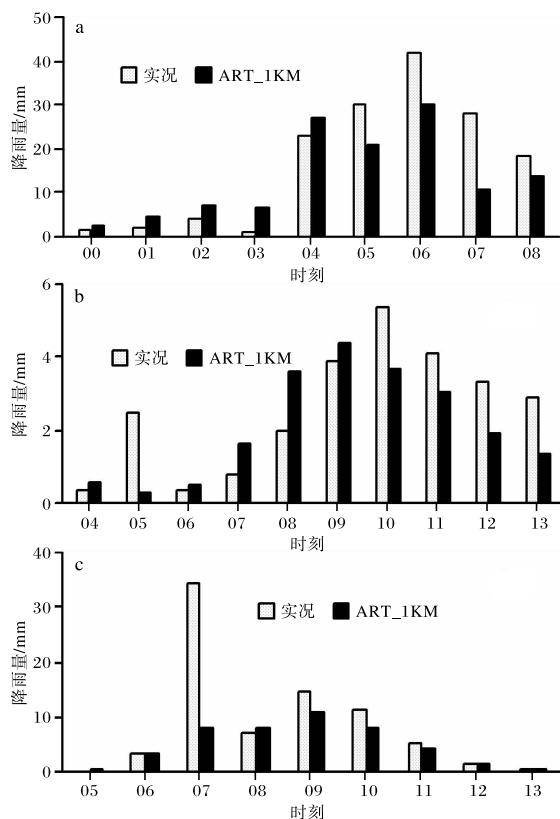


图8 各区域降水中心站点实况与 ART_1KM 产品逐小时演变(a “2022-07-13”降水过程的 S2444 站;b “2022-06-30”降水过程的 S0980 站;c “2022-07-19”降水过程的 S8963 站)

4 结论

本文以气象观测站提供的降水数据作为检验源数据,量化评估了三源融合近实时降水产品 ART_1KM 在四川复杂地形区域中的误差特征、降水监测能力。在 2020—2022 年 5—10 月降水过程整体评估的基础上,针对 9 次灾害性降水事件,将 ART_1KM 与站点实况降水资料进行了独立和非独立检验,主要结论如下。

(1)对于 24 h 累计降水,各区域融合降水资料 ART_1KM 非独立、独立样本的降水落区、走向与站点实况基本一致,不同量级降水的 TS 评分、晴雨准确率均较高,漏报和空报极低。非独立站点降水偏差在 $-0.1 \sim 0.1$ mm 内的测站比达 90% 以上,独立站点的偏差略有增大,但偏差绝对值在 5.0 mm 内的站点数最高可达 92.3%,表明 ART_1KM 产品与站点实况有较高的匹配度,其中盆地西部偏差最小。

(2)ART_1KM 产品 1 h 降水与站点实况相关性在 0.8 以上,非独立检验接近 1,误差和偏差约为 0。非独立站点最大小时雨强偏差绝对值在 0.1 mm 内的测站接近 100%,独立站点偏差绝对值 5.0 mm 内的最高可达 96.5%。相比而言,非独立样本更优,盆地西部和川西高原略优于攀西地区。

(3)ART_1KM 非独立站点极值中心点的降水起止时间、降水强度、极值大小、峰值雨强及其出现时间与站点实况基本一致,独立站点与站点实况匹配度略差,峰值降水量低于站点实况,但也能较好地表征实况,仍以盆地西部和川西高原的代表性更优。

整体结论表明,ART_1KM 产品在四川复杂地形地区有较高的适用性,尤其在观测站点稀疏的地区可解决部分因测站稀疏导致的降水不均性问题。各区域 ART_1KM 产品与站点实况的相关性和一致性均较高,其中盆地西部和川西高原略优于攀西地区,ART_1KM 产品在非独立站点的质量优于独立站点。另外,融入了站点观测资料的格点数据质量更高,ART_1KM 产品可通过融合更多的自动站资料,进一步提升质量。

参考文献:

- [1] 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[J]. 气象学报,2019,77(4):774-783.
- [2] 潘旸,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,2018,81(1):143-152.
- [3] 潘旸,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.
- [4] 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.
- [5] 沈艳,潘旸,宇婧婧,等. 中国区域小时降水量融合产品的质量评估[J]. 大气科学学报,2013,36(1):37-46.
- [6] 符娇兰,宋志平,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.
- [7] 宫宇,代刊,徐珺,等. GRAPES-GFS 模式暴雨预报天气学检验特征[J]. 气象,2018,44(9):34-45.
- [8] 潘留杰,薛春芳,张宏芳,等. 三种高分辨率格点降水预报检验方法的对比[J]. 气候与环境研究,2017,22(1):45-58.
- [9] 李明,高维英,张科翔. 陕西省中尺度模式降水预报效果检验[J]. 陕西气象,2008(4):9-12.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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]. 中地纬山地气象,2022,46(3):9-15.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 郭旭,龙柯吉,范江琳,等. 四种降水融合产品在四川持续性强降水过程中的对比评估[J]. 高原山

- 地气象研究,2021,41(2):42-52.
- [16] 江志红,卢尧,丁裕国. 基于时空结构指标的中国融合降水资料质量评估[J]. 气象学报,2013,71(5):891-900.
- [17] 张蒙蒙,江志红. 我国高分辨率降水融合资料的适用性评估[J]. 气候与环境研究,2013,18(4):461-471.
- [18] 宇婧婧,沈艳,潘畅,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.
- [19] JOYCE R J,JANOWIAK J E,ARKIN P A,et al. CMORPH:a method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution[J]. Journal of Hydrometeorology,2004,5(3):287-296.
- [20] 任芝花,赵平,张强,等. 适用于全国自动站小时降水资料的质量控制方法[J]. 气象,2010,36(7):123-132.
- [21] 李显风,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.