

文章编号: 2096-1618(2022)04-0478-07

# 基于重庆“6·22”特大暴雨的降水融合产品质量评估

田茂举<sup>1</sup>, 李奇临<sup>2</sup>, 旷兰<sup>1</sup>, 李深智<sup>3</sup>, 赵美艳<sup>2</sup>

(1. 重庆市綦江区气象局, 重庆 綦江 401420; 2. 重庆市气象信息与技术保障中心, 重庆 401147; 3. 重庆市气象服务中心, 重庆 401147)

**摘要:**为对比分析 CMPAS(CMA multi-source merged precipitation analysis system) 中国区域融合降水分析系统的二源和三源降水融合产品对特大暴雨降水过程的监测能力,以2020年6月19–22日重庆特大暴雨过程为例,利用重庆1977个自动气象站逐小时降水数据进行空间对比和统计评估。结果表明:(1)降水等级偏小时,两种降水融合产品数值以偏小为主,随着降水等级增大,估算误差也增大,两种产品数值以偏大为主,出现单站极端降水时,估算误差达到最大,两种产品数值均偏小,但三源产品值更接近站点观测值。(2)对于10 mm/h以下的降水区域,3种降水资料的空间分布结构完全一致;对于10 mm/h以上的降水区域,二源和三源产品的空间分布结构、量级与站点观测值分布基本吻合。出现极端降水的区域,二源和三源产品值较站点观测值偏小,在空间结构和量级的细节处理上,三源降水产品更接近实况。

**关键词:**气象学;数据质量评估;多源融合实况产品;降水融合

**中图分类号:**P456

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2022.04.018

重庆地形极其复杂,多山地,自动气象站空间分布不均,存在明显的时空不连续性,开发高时空分辨率的降水融合分析产品对于灾害性暴雨天气的研究具有重要意义。李超等<sup>[1]</sup>得出降水融合产品对提高强降水区域的降水强度具有明显改善。李显风等<sup>[2]</sup>,张蒙蒙等<sup>[3]</sup>,江志红等<sup>[4]</sup>,许冠宇等<sup>[5]</sup>得出降水融合产品的质量评估效果和区域特征。CMPAS近实时多源融合降水产品<sup>[1-4]</sup>是国家气象信息中心研发的基于概率密度(probability density function, PDF)匹配法,利用经过质量控制后的全国近4万个考核自动气象站降水观测资料<sup>[6]</sup>分别对多卫星集成降水产品CMOPRH<sup>[7]</sup>和国家气象探测中心的雷达估测降水产品进行偏差订正,再利用贝叶斯模式平均法、最优插值法与站点观测值进行融合,进而得到时间分辨率为1 h、3 h、24 h,空间分辨率为5 km×5 km<sup>[8]</sup>的中国区域的融合降水产品。其中二源降水融合产品是基于站点降水观测值与多卫星集成降水产品的融合,三源降水融合产品是基于站点降水观测值与多卫星集成降水产品、雷达估测降水产品的融合。

源降水融合产品,以及2020年6月19–22日重庆地区1977个自动气象站点经过质量控制后的地面逐小时和逐日降水观测资料(图1,表1)。

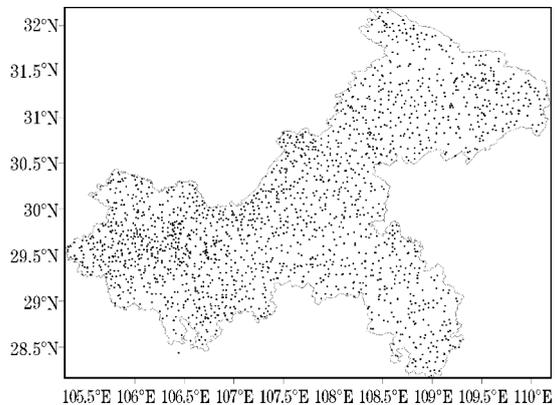


图1 重庆地区1977个自动气象站点空间分布特征

表1 重庆“6·22”各种级别小时降水样本数 单位:个

不分级降水	1级 0.1~1.9 mm	2级 2~4.9 mm	3级 5~9.9 mm	4级 10~19.9 mm	5级 ≥20 mm
188349	38712	8032	4667	1867	406

## 1 数据和方法

### 1.1 数据来源及评估时段

本文主要针对国家级多源降水融合产品进行评估,使用的资料是国家气象信息中心提供的二源和三

### 1.2 数据处理方法

将二源和三源降水融合产品值利用最近距离插值法,分别插值到重庆1977个自动气象站。以经过质量控制的国家级气象观测站和区域自动站实况观测数据作为“真值”,按照国家规定的评估指标比较一段时间内两者之间的误差或相关关系。

收稿日期:2021-06-01

基金项目:重庆市气象部门业务技术攻关基金资助项目(YWJSGG-202110、YWJSGG-202128、YWJSGG-202012)

### 1.3 评估方法

根据中国气象局发布的《中国区域降水网格实况产品全流程评估细则(2020版)》,对重庆“6·22”特大暴雨过程的逐小时多源降水融合产品进行质量评估。评估办法如下:以经过质量控制的站点观测值资料作为“真值”,将降水分析产品按自然相邻插值方法插值到站点,统计比较一段时间内两者的误差和相关关系。针对雨量站小时降水量的大小进行降水分级,逐小时降水量分为0.1~1.9 mm、2~4.9 mm、5~9.9 mm、10~19.9 mm、20 mm及以上5个不同级别分别进行评估。定量降水评估指标主要采用降水产品估算与相应时刻的站点观测值降水量真值进行误差评估<sup>[9-19]</sup>,评估指标包括平均误差、平均绝对误差、均方根误差、相关系数。

## 2 结果与分析

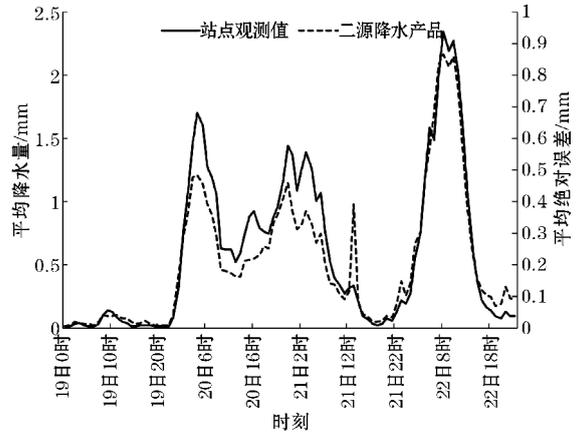
### 2.1 降水融合产品时间序列分析

#### 2.1.1 小时降水

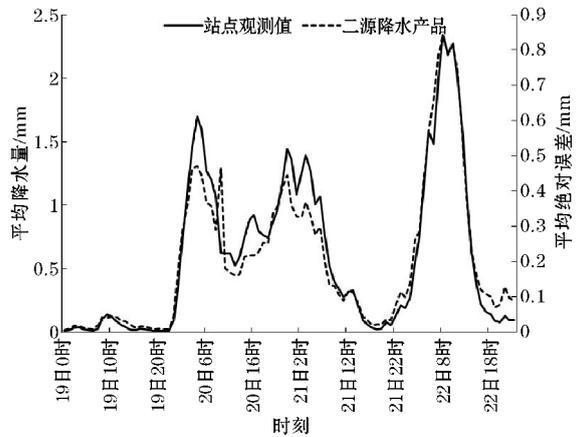
图2对比了重庆“6·22”暴雨天气过程期间,站点观测逐小时降水量与二源、三源降水融合产品的平均绝对误差。结果显示:两者的整体平均绝对误差值均为0.21 mm,且均随着站点观测值增大,二源、三源降水融合产品平均绝对误差相应增大,即站点降水量与降水融合产品的平均绝对误差呈正相关。22日04~10时小时平均降水量较大,其中08时各站点平均小时降水量为最大值,为2.23 mm,平均绝对误差也最大,为0.87 mm。重庆“6·22”暴雨天气过程站点最大小时降水量达到64.2 mm,二源降水融合产品平均值误差为-33.68 mm,三源降水融合产品平均值误差为-27.31 mm。说明在极端降水情况下,降水融合产品数值明显偏小,三源较二源降水融合产品误差有所降低。

进一步对比二源与三源降水融合产品,如图3所示。在此次暴雨过程的6月19日23时以前降水量小的时次中,两种降水融合产品数值相差不大,且平均误差值为负时次较多,即产品数值偏小的时次较多,当降水量偏大时,两种降水融合产品数值平均误差值为正的时次较多,即降水产品数值较站点观测值偏大的时次较多。大多数情况下,三源产品较二源产品平均绝对误差更小,如19日17时站点降水量值较小,平均各站降水量为0.03 mm,二源产品各站均无降水,三源产品各站平均降水量为0.02 mm,三源产品降水数值更接近观测值;21日13时,三源产品的优势也较明显。但也有部分二源产品平均值误差小于三源产品的时次,如20日09时站点降水量值偏大,平均各站降水量为0.63 mm,三源产品平均值误差为-0.07 mm,平均

绝对误差为0.46 mm,较观测值偏小,二源产品平均值误差仅为-0.005 mm,平均绝对误差为0.18 mm。

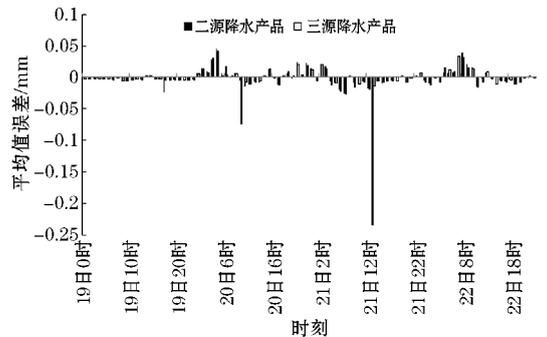


(a) 站点观测值与二源降水产品平均绝对误差对比

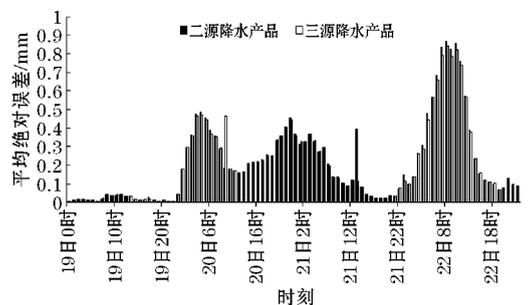


(b) 站点观测值与三源降水产品平均绝对误差对比

图2 小时降水融合产品误差与站点观测小时降水量的对比



(a) 平均值误差



(b) 平均绝对误差

图3 二源与三源小时降水融合产品误差对比

### 2.1.2 日降水

选取二源与三源降水融合产品中的该次天气过程20时日降水产品,将两者分别与站点观测20时日降水量进行误差评估,结果见表2,两种降水融合产品数值相差不大。从相关系数来看,二源与三源降水融合

产品相关系数均达到0.94以上,21日相关系数最高,均为0.96。19日暴雨过程初期,降水量偏少,二源产品相关系数为0.95,说明在降水量较小时,二源产品优于三源产品,随着降水量增大,两者相关系数一致。

表2 二源与三源降水融合产品日降水量相关系数对比

时刻	站点观测日平均降水量/mm	二源降水产品日平均降水量/mm	三源降水产品日平均降水量/mm	二源产品相关系数	三源产品相关系数
19日20时	0.88	0.78	0.80	0.95	0.94
20日20时	19.26	19.23	19.15	0.94	0.94
21日20时	15.44	15.07	15.25	0.96	0.96
22日20时	21.66	21.60	21.58	0.95	0.95

根据二源与三源降水融合产品日降水量误差指标对比结果(图4),6月19日和6月21日,降水量相对偏小时,两种降水产品平均误差值均为负,说明19日、21日降水融合产品数值较站点观测值偏小,尤其是21日二源产品平均值误差达到 $-0.28$  mm,22日为重庆“6·22”过程期间降水量较大日,两种降水产品平均误差值均为正,即该日降水融合产品数值较站点观测值偏大。20日二源降水融合产品数值偏大,三源降水融合产品数值偏小。19日降水融合产品误差最小,二源和三源降水融合产品平均绝对误差分别为 $0.29$  mm和 $0.30$  mm,19日、20日三源降水产品平均绝对误差大于二源降水产品,21日、22日二源降水产品平均绝对误差大于三源降水产品,其中22日两种产品绝对误差达到最大,分别为 $4.5$  mm、 $4.4$  mm。

从重庆“6·22”过程时间序列总体来看,小时降水方面:二源和三源小时降水融合产品数值随着站点观测值增大,两种产品的平均绝对误差亦会增大;当降水量偏小时,两种降水融合产品数值相差不大,且以产品数值偏小为主,当降水量级逐渐增大时,以两种降水产品数值较站点观测值偏大为主。大多数情况下,三源产品较二源产品平均绝对误差更小,三源降水融合产品数值更接近于站点观测值。日降水产品数值时间序列方面:站点观测值偏小时,两种降水产品数值均偏小,与小时降水产品数值一致,不过平均绝对误差也较小,站点观测值增大时,两种降水产品平均绝对误差随之增大,两种降水产品数值以偏大为主。

### 2.2 降水融合产品分级评估

以重庆1977个自动气象站逐小时降水量为标准,根据4个评估指标,结合1h降水等级评估标准,计算出此次“6·22”过程不同等级降水的评估结果,结果见表3~6。发现无论是二源还是三源降水融合产品,1级降水等级的平均误差均小于0,表明降水融合产品数值比站点观测值偏小,二源和三源降水融合产品平均误差均为 $-0.08$  mm,平均绝对误差均为 $0.3$  mm;2~5级降水等级的平均误差均大于0,表明降水融合产品数值比站点观测值偏大。从降水分级评估结果发现:随着降水等级级别增大,平均误差、平均绝对误差、均方根误差也逐渐增大;其中5级降水等级的平均误差、平均绝对误差、均方根误差达到最大,二源产品的平均误差估算值较实况偏大 $6.33$  mm,三源产品偏大 $5.65$  mm;相比二源降水融合产品,三源降水融合产品的三种误差指标略微偏小,均在 $0.8$  mm以内;1级和5级两种产品的相关性较其他等级表现更优,2级和4级次之;对于3~5级降水等级,相比二源产品而言,三源产品的相关性表现更优。

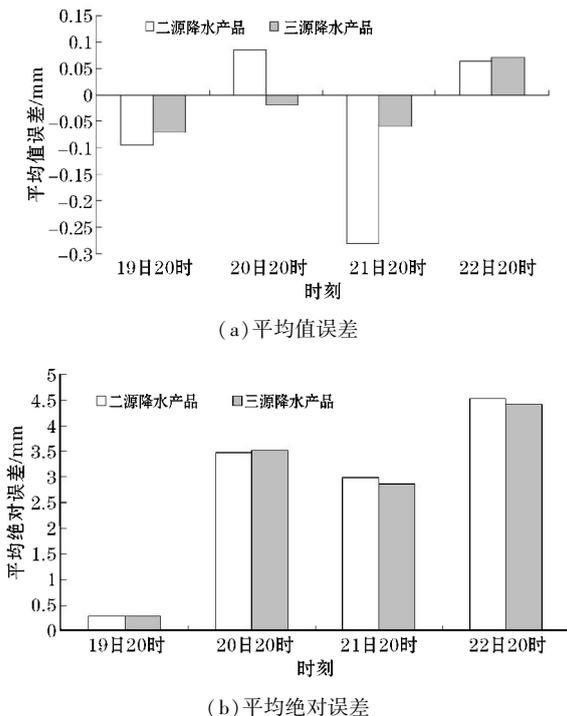


图4 二源与三源降水融合产品日降水量误差指标对比

表 3 降水融合产品平均误差评估结果

单位:mm

类别	不分级降水	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
		0.1 ~ 1.9	2 ~ 4.9	5 ~ 9.9	10 ~ 19.9	≥20
二源	0.01	-0.08	0.01	0.42	1.88	6.33
三源	0.0011	-0.08	0.04	0.43	1.74	5.65

表 4 降水融合产品平均绝对误差率评估结果

单位:mm

类别	不分级降水	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
		0.1 ~ 1.9	2 ~ 4.9	5 ~ 9.9	10 ~ 19.9	≥20
二源	0.21	0.3	0.98	1.58	3.08	6.84
三源	0.21	0.3	0.97	1.56	2.97	6.23

表 5 降水融合产品均方根误差评估结果

单位:mm

类别	不分级降水	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
		0.1 ~ 1.9	2 ~ 4.9	5 ~ 9.9	10 ~ 19.9	≥20
二源	0.83	0.68	1.45	2.15	4.07	8.66
三源	0.80	0	1.41	2.14	3.88	7.86

表 6 降水融合产品相关系数评估结果

单位:mm

类别	不分级降水	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
		0.1 ~ 1.9	2 ~ 4.9	5 ~ 9.9	10 ~ 19.9	≥20
二源	0.93	0.58	0.48	0.49	0.47	0.56
三源	0.93	0.58	0.48	0.5	0.51	0.6

重庆 2020 年 6 月 22 日 04-07 时逐小时二源和三源产品的平均绝对误差空间分布特征如图 5 所示,两种降水融合产品平均绝对误差值的空间分布结构、量级及极值位置分布基本一致。其中,04 时平均绝对误差极端最大均为 21 mm;05 时极端最大平均绝对误差二源产品为 21 mm,三源产品为 20 mm;06 时极端最大

平均绝对误差二源产品为 16 mm,三源产品为 13.5 mm;07 时极端最大平均绝对误差二源产品为 19 mm,三源产品为 18 mm。由此可见,对于平均绝对误差的空间分布,二源降水产品与三源产品比较接近,极端情况下一般相差 2.5 mm 以内,但三源产品的误差值比二源更小,即三源降水产品与实况降水更接近。

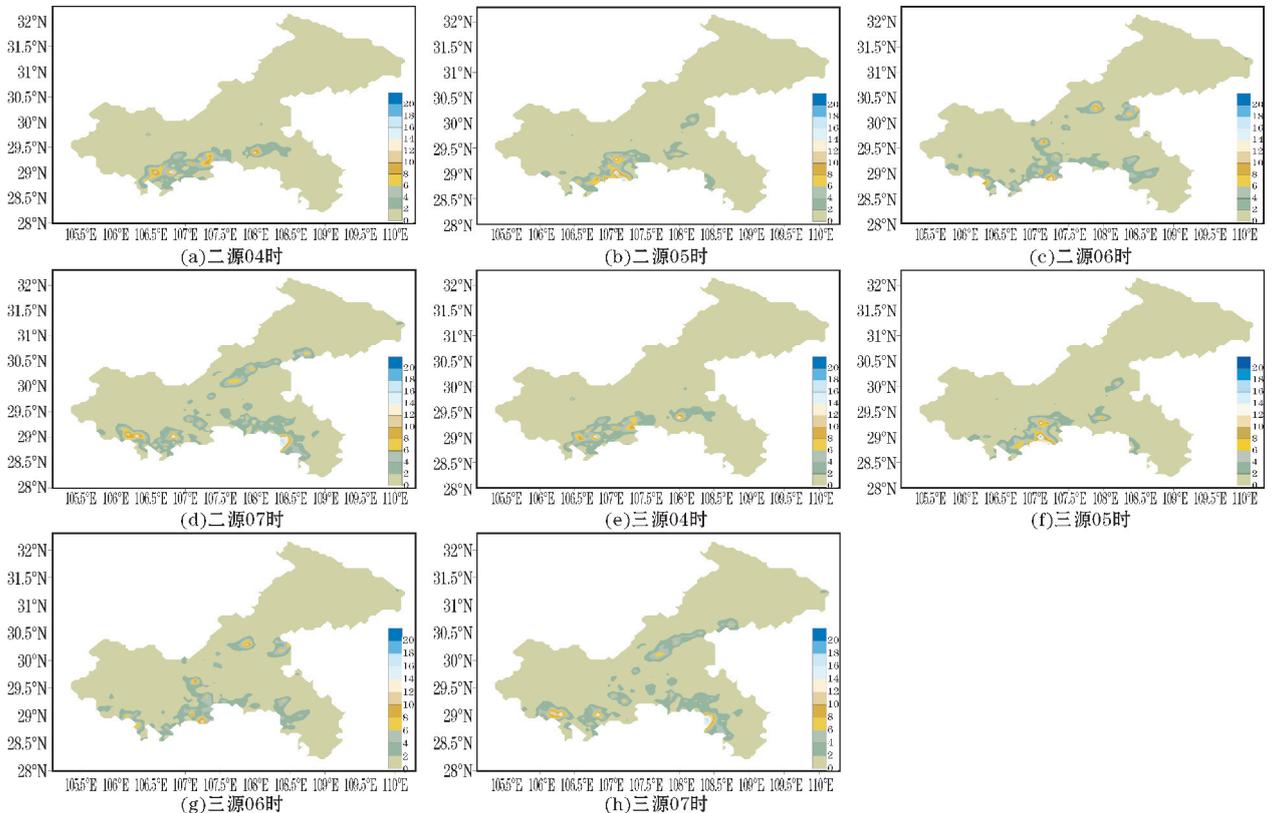


图 5 6 月 22 日 04-07 时逐小时二源和三源产品的平均绝对误差空间分布

### 2.3 降水融合产品与站点实况降水空间对比分析

2020年6月22日04–07时降水量达到4级及以上等级的站点较多,其中05时南川区草坝村站达到最大64.2 mm。重庆2020年6月22日04–07时逐小时降水量空间分布特征如图6所示。由图6知:对于10 mm以下量级降水,站点观测值、二源产品及三源产品的降水量、空间结构完全一致;对于重庆西南部及中部地区分别出现的10 mm以上降水,二源和三源降水融合产品的空间分布结构、量级与站点观测值分布基本吻合,但在极端降水情况下,二源和三源降水产品较

实况降水偏小;在空间结构和量级的细节处理上,三源降水产品更接近实况。其中,04时极端实况降水达到40 mm,而三源产品值为29 mm,二源产品值为27 mm;05时极端实况降水达到46 mm,而三源产品值为38 mm,二源产品值为36 mm;06时极端实况降水达到了38 mm,而三源产品值为32 mm,二源产品值为32 mm;07时极端实况降水达到了48 mm,而三源产品值为34 mm,二源产品值为34 mm。由此可见二源降水产品值与三源产品值比较贴近,极端情况下一般相差2 mm,但三源降水产品值与实况降水更接近。

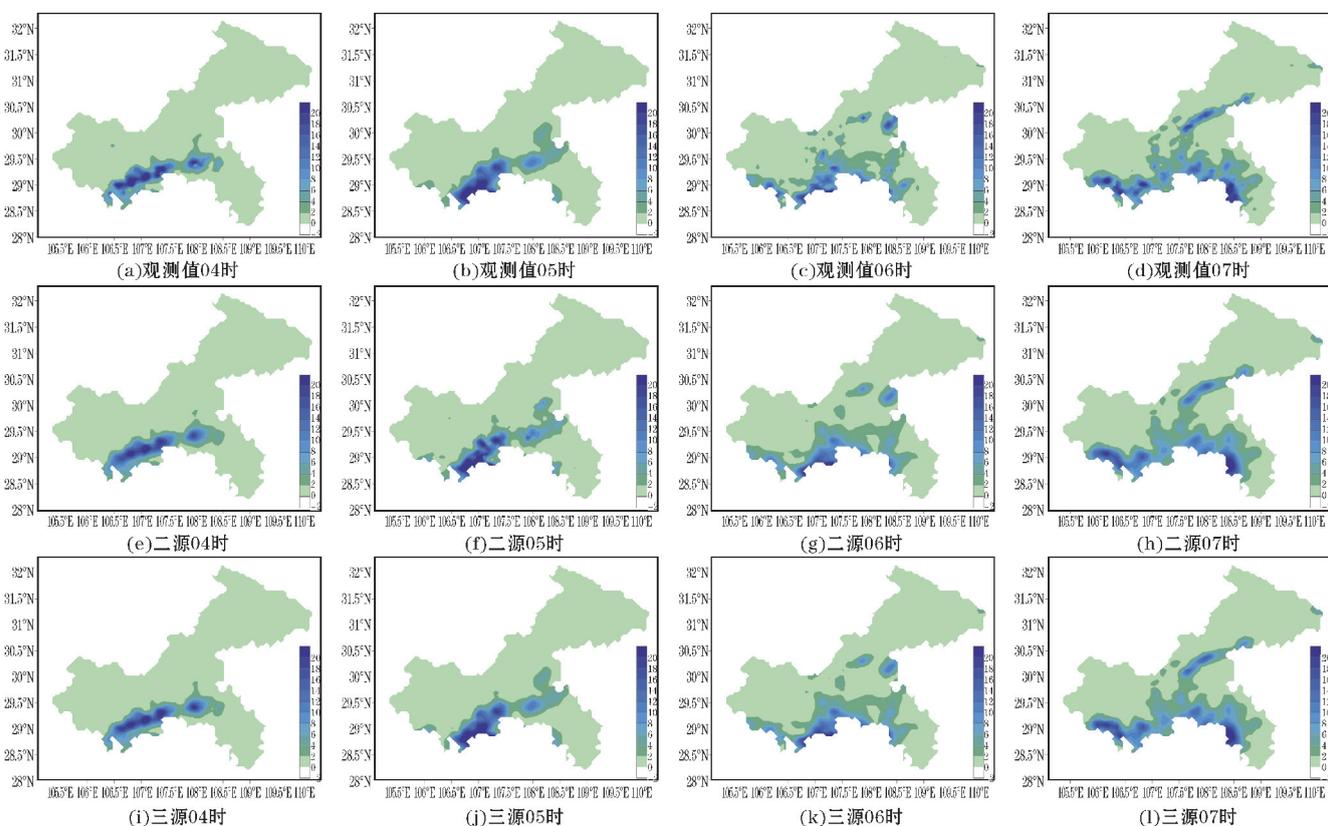


图6 6月22日04–07时逐小时降水量观测值、二源产品值、三源产品值的空间分布

## 3 结论与讨论

通过利用基于CMPAS的国家级二源、三源降水融合产品2020年06月19–22日逐小时资料和经过质量控制后的重庆1977个自动气象站逐小时降水量资料进行质量评估分析,得出以下结论:

(1)小时降水产品值时间序列方面,二源和三源小时降水融合产品值随着站点观测值增大,两种产品的平均绝对误差也增大;当降水量偏小时,两种降水融

合产品数值相差不大,且以产品数值偏小为主,当降水量级逐渐增大时,以两种降水产品数值较站点观测值偏大为主。多数情况下,三源产品较二源产品平均绝对误差更小,三源降水融合产品值更接近站点观测值。

(2)日降水产品时间序列方面,站点观测值偏小时,两种降水产品数值均偏小,与小时降水产品值一致,不过平均绝对误差也较小;站点观测值增大时,两种降水产品平均绝对误差随之增大,两种降水产品数值以偏大为主;出现极端降水时,两种降水产品平均绝对误差增加到最大,两种降水产品数值以偏小为主,且

偏小程度较大。

(3)两种降水融合产品的平均绝对误差空间分布结构、量级及极值位置分布基本一致,但三源产品的平均绝对误差值比二源更小,三源降水产品与实况降水更接近。

(4)对于10 mm以下的降水区域,站点观测值、二源产品及三源产品的降水量、空间分布结构完全一致;对于10 mm以上的降水区域,二源和三源降水融合产品的空间分布结构、量级与站点观测值分布基本吻合。出现极端降水的地区,二源和三源降水产品较实况降水偏小,在空间结构和量级的细节处理上,三源降水产品更接近实况。

综上所述,基于CMPAS的降水融合产品具有较高的准确性,能较好地反映重庆降水的空间分布结构,但降水融合产品弱化了极端降水的强度。在下一步的工作中将着重结合地形条件,选择最优的降水空间融合方案以提升该产品的精度。

## 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[J].气象科技进展,2017,7(2):32-38.

[2] 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.

[3] 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):46-471.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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, 3:487-503.

- [8] 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):95-106.
- [9] 沈艳,潘旻,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):7-46.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 宇婧婧,沈艳,潘旻,等.基于地面观测降水订正卫星反演降水系统误差(PDF)方法在中国地区的应用[C].2011年中国气象学会气象通信与信息技术委员会暨国家气象中心科技年会论文摘要,2011:461-471.
- [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] 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].气象科技进展,2018(1):102-116.
- [16] 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.
- [17] 陈晔峰,杨明,赵放,等.基于克里金插值的高分辨率降水量融合方法及质量评估[J].科技通报,2019,35(1):49-59.
- [18] 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.
- [19] 赵煜飞,朱江.近50年中国降水格点日值数据集精度及评估[J].高原气象,2015,34(1):50-58.

## Quality Evaluation of Precipitation Fusion Products based on Chongqing “6·22” Torrential Rain

TIAN Maoju<sup>1</sup>, LI Qilin<sup>2</sup>, KUANG Lan<sup>1</sup>, LI Shenzhi<sup>3</sup>, ZHAO Meiyun<sup>2</sup>

(1. Qijiang Meteorological Bureau, Qijiang 401420, China; 2. Chongqing Meteorological Information and Technology Support Center, Chongqing 401147, China; 3. Chongqing Meteorological Service Center, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** In order to compare and analyze the monitoring capability of CMPAS China regional integrated precipitation analysis system's two source and three source precipitation fusion products for the torrential rain process, taking the torrential rain process in Chongqing on June 19–22, 2020 as an example, the hourly precipitation data of 1977 automatic weather stations in Chongqing were used for Spatial Comparison and statistical evaluation. The results show that: (1) when the precipitation level is small, the values of the two precipitation fusion products are mainly small. With the increase of the precipitation level, the estimation error also increases, and the values of the two products are mainly large. When the extreme precipitation occurs at a single station, the estimation error reaches the maximum, and the values of the two products are small, but the three source products are closer to the station observation values. (2) For the precipitation area below 10 mm/h, the spatial distribution structure of the three precipitation data is completely consistent; For the precipitation area above 10 mm/h, the spatial distribution structure and magnitude of the two source and three source products are basically consistent with the distribution of station observations. In the area of extreme precipitation, the two source and three source products are smaller than the observation value of the station, and the three source precipitation products are closer to the actual situation in the details of spatial structure and magnitude.

**Keywords:** meteorology; data quality assessment; multi source fusion live products; precipitation fusion