

李叶晴,任晓炜,邓悦. 台风“三巴”期间多种降水融合实况产品适用性评估[J]. 气象研究与应用,2023,44(4):23-28.

LI Yeqing,REN Xiaowei,DENG Yue. Evaluation of the applicability of various Merged Precipitation Product during Typhoon "Sanba" [J]. Journal of Meteorological Research and Application,2023,44(4):23-28.

台风“三巴”期间多种降水融合实况产品适用性评估

李叶晴,任晓炜*,邓悦

(广西壮族自治区气象信息中心,南宁 530022)

摘要: 基于质量控制后的降水观测数据,利用多种指标对中国气象局多源降水融合分析系统的降水实时和近实时产品(CMPAS_RT、CMPAS_NRT)以及广西壮族自治区气象信息中心的降水实况产品(GXPAS)在台风“三巴”于广西过境期间极端暴雨过程进行评估,从时间、空间和降雨强度分析产品在极端天气下的适用性。结果表明:(1)三种实况产品与观测的一致性高,相关系数均超过0.98,平均误差的绝对值均低于0.2 mm,GXPAS在整体评估指标中表现最优。(2)时空分布上,三种实况产品均能较好地反映强降水落区和趋势分布,CMPAS在局地分布上比GXPAS更加精准。(3)0~40 mm区间的降水,三种产品的TS评分均高于0.9,降水频次分布与观测吻合度高;40~80 mm区间,CMPAS整体优于GXPAS;大于80 mm的降水,三者低估现象明显。总体而言,在此次过程中CMPAS对于强降水在大量级降水和细节刻画上比GXPAS更有优势。

关键词: 降水实况产品;台风“三巴”;评估检验

中图分类号: P426.616

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2023.4.04

近年来我国气象观测建设飞速发展,站网密度大幅提升,现有的观测资料已能提供多种类、多尺度、高精度信息^[1-2]。综合利用多源的观测信息,将其通过数据同化与数据融合的方法,得到精准且时空分布连续的多源数据融合气象网格产品是实况业务的发展趋势^[3]。我国在多源融合降水实况分析产品的研制上取得了一定进展^[1,3-7]。从起步的“卫星-地面”二源降水产品发展到“卫星-雷达-地面”三源融合降水产品,在不牺牲准确率的前提下,提升了产品的分辨率,并拥有空间分布的细节^[1]。

中国降水多源融合实况分析1 km分辨率产品于2021年投入业务应用,已有诸多省份展开相关的评估工作。龙柯吉等^[8]分别对不同时空分辨率的降水融合产品进行评估,结果表明1 km/1 h的产品对强降水的监测能力最佳。邓悦等^[9]利用铁路雨量站对广西区域降水实况产品进行独立检验,结果表明实况产品与观测的空间一致性高,晴雨正确率均超过85%。贺音、张茜茹等^[10-11]分别对1 km和5 km的

产品在陕西和山东地区进行适应性检验,结果显示1 km分辨率的实况产品优于5 km分辨率,实况产品略有高估低值的现象。前人对于实况产品的评估检验大体可以分为两类:一类是在年或者季节尺度上进行较长时间的评估,其二是对重大天气过程进行较短时间的个例评估。无论从何种角度切入,实况产品都已展现出其突出优势。而产品在大量级降雨中的表现如何,是否存在提升空间,值得进一步探究。

暴雨是广西地区频发且影响范围广的气象灾害之一。每年汛期和台风过境期间,广西均会受到暴雨不同程度的影响,尤其是极端降水引发的灾害,对人民的生命财产安全造成严重威胁。精细的降水融合实况产品能为后续预报预测和防灾减灾工作提供重要的数据支撑,因此检验实况数据在极端灾害天气中的准确性具有十分重要的意义。

本文基于质控后的降水观测数据分别从空间、时间和降水强度对实况产品进行检验,更侧重从细致局部的角度多方面去检验2023年台风“三巴”过

收稿日期:2023-11-25

基金项目:中国气象局创新发展专项子项目(CXFZ2021Z007)

第一作者简介:李叶晴(1998—),女,硕士,助理工程师,主要从事气象数据分析工作。E-mail:yeqingli2022@163.com

* 通讯作者:任晓炜(1965—),女,正高级工程师,主要从事多源融合气象实况技术业务。E-mail:renxw2010@qq.com

境期间融合分析实况产品对大暴雨的刻画能力,为后续产品改造升级提供科学的参考。

1 资料与方法

1.1 实况产品

本研究使用到的实况数据有国家气象信息中心基于中国气象局多源降水融合分析业务化系统(CMA Multi-source Merge Precipitation Analysis System, CMPAS)研制的降水实时和近实时产品(后文简称 CMPAS_RT 和 CMPAS_NRT),广西壮族自治区气象信息中心研制的 GXPAS^[2](Guangxi Precipitation Analysis System, GXPAS)降水实况产品(后文简称 GXPAS)。前者基于“PDF(概率密度函数)+BMA(贝叶斯模式平均)+OI(最优插值)”和降尺度技术研制的高分辨率的三源(地面-雷达-卫星)降水^[12],后者则基于多层感知器(MLP)为框架,使用计算效率较高的快速动态分级法(Fast Dynamic Categorical method, FDC)融合地面和雷达降水数据^[6]。二者的时空分辨率为 0.01°·h⁻¹

选取质控码为 0、3、4(“数据正确”、“数据为订正值”、“数据为修改值”)的国家站和区域自动站作为检验的“真值”,将实况产品利用邻近像元插值法插值到站点上。评估降水实况产品的指标和计算方法参照中国气象局发布的《中国区域降水网格实况产品全流程检验评估细则(2020 版)》

1.2 评估指标

评估所用到的指标有:相关系数 COR、平均误差 ME、平均绝对误差 MAE、均方根误差 RMSE、TS 评分。

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

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |G_i - O_i| \tag{2}$$

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

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

$$TS = \frac{NA}{NA + NB + NC} \tag{5}$$

式中, O_i 为站点的小时观测数据, G_i 是实况产品插值到站点上的格点数值。TS 评分中, NA 为格点与观测均出现降水的站点数; NB 为实况发生而观测

不发生的站点数; NC 表示站点发生而实况不发生的站点数; ND 表示两者都不发生的站点数。

降水量级的分类如表 1 所示, 针对此次台风过境的强降水过程, 逐小时降水量分级参考广西壮族自治区气象台在特大暴雨中的分级。

表 1 逐小时降雨量分类表

逐小时降雨量 分类	分级统计	按阈值统计
	1 h 降水量/mm	1 h 降水阈值/mm
1 级	[0.1~1.6)	0.1
2 级	[1.6~7)	1.6
3 级	[7~15)	7
4 级	[15~40)	15
5 级	[40~50)	40
6 级	[50~80)	50
7 级	≥80	80

2 结果与分析

2.1 降雨概况

受台风“三巴”影响, 2023 年 10 月 18 日 20 时至 2023 年 10 月 21 日 10 时, 广西东南地区出现强降水, 北海、玉林等地出现局地特大暴雨, 累计降水量超过 600 mm 的站有北海市银海区侨港镇(829 mm)、北海市海城区驿马镇(604.7 mm), 400~600 mm 有北海、玉林、钦州的 7 个县(市、区)共 33 个乡镇。此次过程降水中心在北海银海侨港镇亚平气象观测站, 该站 24 h 雨量超过广西有观测记录以来的日降水记录, 高达 780.3 mm。玉林博白东平气象观测站 522.1 mm, 破博白县日降水量历史纪录。此次台风具有“路径复杂, 雨量大, 极端性强”的特点。

2.2 评估指标

此次强降水过程整体评估指标结果如表 2。结果显示, 实况产品与观测都有较高的一致性, 相关系数都高于 0.98, 平均偏差绝对值都在 0.02 mm 以内, 均方根误差在 0.7 mm 以内。GXPAS 在整体的相关

表 2 三种实况产品的统计指标

	R	ME/mm	MAE/mm	RMSE/mm
CMPAS_RT	0.991 0	-0.015 1	0.096 3	0.671 9
CMPAS_NRT	0.993 2	-0.016 0	0.080 3	0.587 6
GXPAS	0.994 5	0.014 1	0.120 1	0.525 6

注: 加粗表示为三者中表现最优的产品

系数、平均偏差和均方根误差表现最优。CMPAS 两种产品平均偏差差异较小,在此次降水过程中表现为低估,GXPAS 则为高估。

图 1 为不同降水强度分级的 TS 评分和平均误差,随着降水量级的增大,实况产品的准确率下降,误差有所增加。三种实况产品在 40 mm 以下的降水表现较好,TS 评分在 0.9 以上,平均偏差在 0.4 mm

以内;大于 40 mm 的降水,TS 大体分布在 0.8 以上。GXPAS 在大于 80 mm 的降水中 TS 评分最低,仅为 0.46,同时平均偏差明显。降雨量越大,样本越少,误差就容易被放大,由此可见,CMPAS 对于大暴雨量级刻画较 GXPAS 较好。(本文也计算了常规降水强度分级的统计指标,三者在不同降水等级的 TS 均超过 0.88,平均误差均在 0.2 mm 以内。)

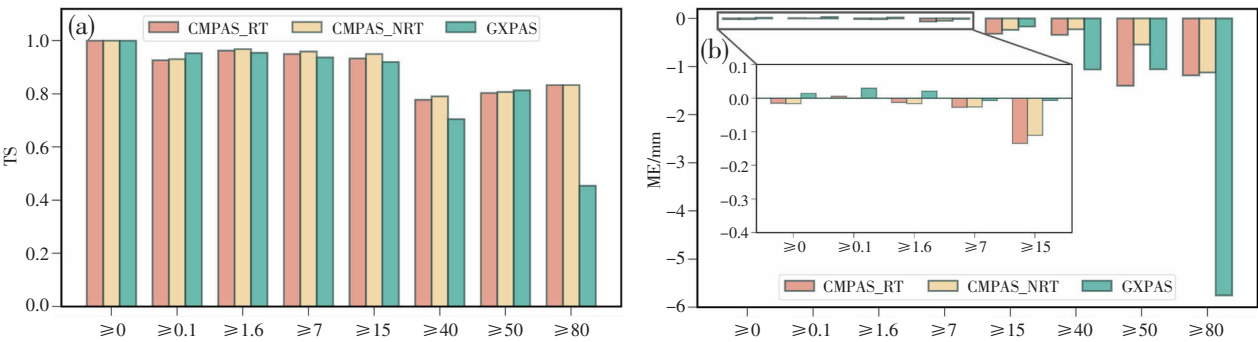


图 1 2023 年 10 月 18 日 20 时—21 日 10 时统计指标
(a)TS 评分;(b)平均误差 ME(单位:mm)

2.3 空间分布

广西东南部地区的局地特大暴雨主要集中在 2023 年 10 月 19 日 06 时—20 日 06 时,观测的 24 h 累计降水降雨量分布如图 2(a)。不同降水强度的站点统计中:50~100 mm 有 220 站,100~150 mm 有 184 站,150~200 mm 有 80 站,超过 200 mm 有 154 站。其中超过 500 mm 的站有 5 个,强降水中心主要

集中在北海和玉林西南部。此次降水具有覆盖范围广、量级大、历时短等特征。

不同实况产品的累积雨量分布均能再现强降水的大值落区,能较好地再现此次过程的局地大暴雨过程,不同等级的雨带分布与观测基本一致,但三种产品均未能再现百色北部和南部的小雨(0.1~10 mm)落区。对于桂北区域大暴雨(50~100 mm)的分布,

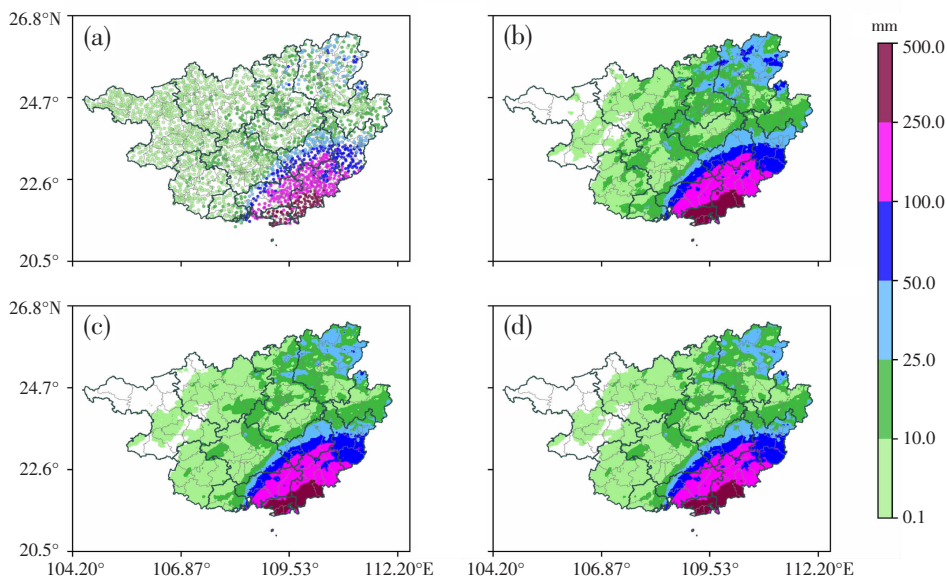


图 2 2023 年 10 月 19 日 06 时—20 日 06 时 24 h 累计降水量
(a)观测值;(b)GXPAS;(c)CMPAS_RT;(d)CMPAS_NRT

CMPAS 的两种实况产品分布与观测更为接近, GXPAS 则在站点周围略有高估, 尤其是在局地小范围的周围 (桂林的灌阳县、全州县、兴安县和龙胜县)。针对 250 mm 以上的强降水, 三者表现相当, 均能反映北海和玉林南部雨带。但在北海合浦县北部的 100 mm 以上的降水, CMPAS 两种实况产品略有高估。CMPAS 两种实况产品差异不明显, 主要是在桂北地区的中雨落区略有范围上的差异。总体而言, 三种实况产品对于强降水过程的累计量复刻能力较好, 降水落区与观测吻合, 精细化程度高, 对小范围降水的捕捉能力较高。

2.4 时序分布

为检验实况产品对暴雨过程的动态刻画, 图 3 为实况产品逐小时平均雨量与观测平均雨量的差值时序图。由图可知, 三种产品偏离观测的程度较小, 尺度均在 0.06 mm 以内, 并随着降水量级增大, 对观测的偏离程度也越大。GXPAS 在 19 日 08 时出现较明显的低估, 主要对宾阳县的降水低估。在强降水时段, GXPAS 整体呈现高估, CMPAS 整体呈现先高估后低估的趋势, 而近实时产品更好的修复了实时产品偏离观测的程度。总体而言, 降水时序分布, CMPAS 近实时产品优于 CMPAS 实时产品优于 GXPAS。

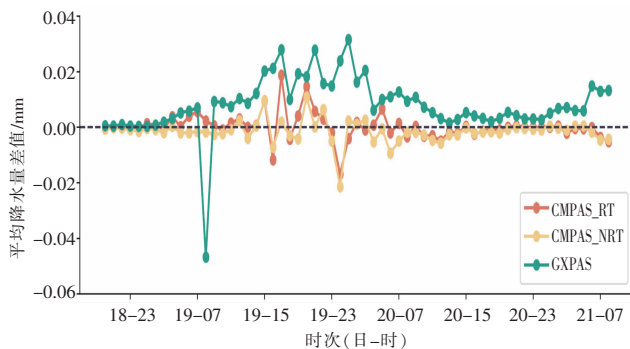


图 3 台风“三巴”过程三种产品与观测站的平均降水量的差值

为进一步检验实况产品在极端暴雨的表现, 图 4 为两个超过历史极值的站点小时降水时序分布: 图 4a 为 N9050 北海银海侨港镇亚平气象观测站, 图 4b 为 N5912 玉林博白东平气象观测站。两者的降水主要集中在 19 日夜间, 亚平站小时最高降水达 102 mm, CMPAS 表现与观测产品很好的一致性, 对于降水的极值和趋势有较好的捕捉能力, GXPAS 则在降水突增的时次表现为低估。东平站降水量级不

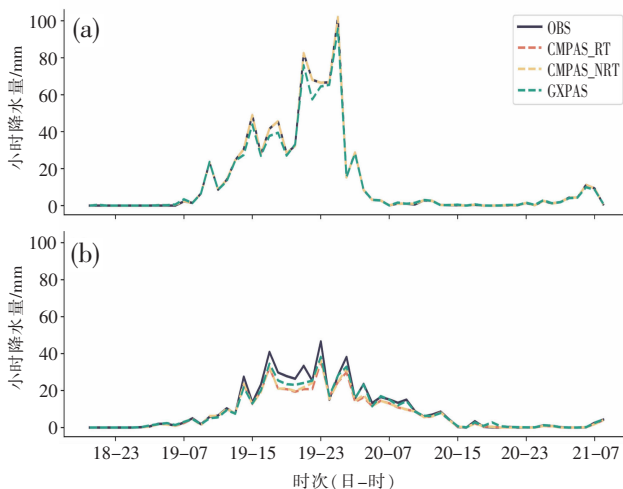


图 4 超过历史记录的逐小时雨量变化图

(a) N9050 北海银海侨港镇亚平气象观测站;

(b) N5912 玉林博白东平气象观测站

如亚平高, 但大雨持续时间较长, 三种实况产品对于东平站降水的波动趋势有较好的复刻, 但在大值时刻都有低估现象 (比如 19 日 18 时和 20 日 00 时), 都没有捕捉到 40 mm 以上的降水。GXPAS 在该站点的大值与观测更为接近。

2.5 降水强度

为进一步探究各实况产品在不同降水量区间的表现, 图 5 为降水频次随强度的变化图。横坐标是 0 至小时最大降水量的区间, 间隔为 1 mm, 纵坐标为降水量出现频次。由图可知, 三者小于 20 mm 的降水频次分布表现与观测差异并不大, 在大于 40 mm 的降水上, 与观测差异较为明显。这与以下“3.2”节中不同降雨等级 TS 评分和平均误差分布一致: 各产品在 40 mm 以下准确率较高, 40 mm 以上误差开始增加。在 40~50 mm 区间内 CMPAS 与观测一致性较好, GXPAS 出现频次略低于观测。本次天气过程中小时雨量观测的最大值为 N5652 博白文地姜充气象观测站, 降雨量为 107.8 mm, 但是三种实况

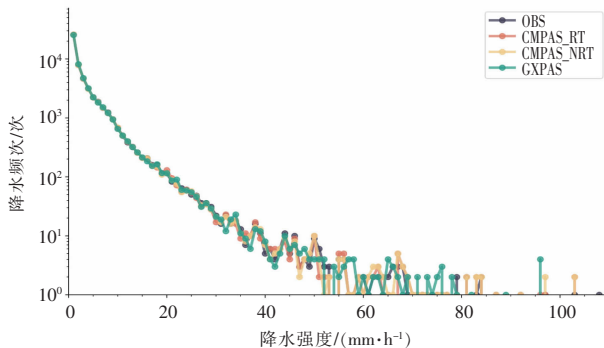


图 5 台风过程中降水频次随强度的变化

产品在该站点的降雨量都落在 95~96 mm 的区间。小时降雨大于 100 mm 站有 2 个,GXPAS 均未捕捉到。可见,GXPAS 在降水的时间变化和强度分布略逊色于 CMPAS 的两种实况产品。

3 结论与讨论

本文对比了国家气象信息中心降水融合实况产品 CMPAS_RT 和 CMPAS_NRT,以及广西壮族自治区气象信息中心的降水实况融合产品 GXPAS 在 2023 年台风“三巴”期间的适用性,从统计分析、空间分布、时间序列和降水强度不同角度分析了实况产品在极端降水过程的复刻能力,取得如下主要结论:

(1)台风期间的特大暴雨过程中,三种实况产品与观测一致性高,相关系数都高于 0.98,平均偏差都低于 0.2 mm,均方根误差都在 0.7 mm 以内,其中 GXPAS 在整体评估指标中表现最佳。

(2)从空间分布来看,三种实况产品在 24 h 累计雨量的分布上均能较好的反映强降水落区和趋势分布。CMPAS 两种产品在细节上与观测分布一致性更高,对于局地小范围降水的刻画比 GXPAS 更优。

(3)从时间分布来看,三者都能较好地刻画单站的降水变化。针对小时平均雨量时序分布,三种实况产品随着降水量级增大,对观测的偏离程度也越大,偏离程度均在 0.06 mm 以内。夜间强降水过程中 GXPAS 呈现高估,CMPAS 两种产品呈现低估,其中近实时产品对于实时产品的偏差有较好的修复。

(4)从不同等级的降水分布来看,0~40 mm 区间的降水三种实况产品表现相当,TS 评分均高于 0.9,平均偏差均低于 0.4 mm,降水频次分布与观测吻合度高。40~80 mm CMPAS 两种实况产品 TS 评分和平均偏差均优于 GXPAS。对于大于 80 mm 的降水,三者都存在低估明显的现象。

综上所述,三种实况产品在台风过程中的强降水复刻能力较好,GXPAS 在整体平均的评估指标上表现优秀,但 CMPAS 在局地强降水分布和降水变化的捕捉上更有优势。

本文主要是基于地面观测站“点对点”的方式去检验降水融合实况产品,对于降水空间分布的评估难免不够客观,未来可以考虑通过雷达数据的中间产品,从“面”上去检验数据的真实性。再者,未来也可以对不同的天气过程进行分类评估,分析不同天气类型降水实况产品表现的特征。

参考文献:

- [1] 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,2018,8(1):143-152.
- [2] 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.
- [3] 宇婧婧,沈艳,潘旸,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.
- [4] 潘旸,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.
- [5] 潘旸,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] 卓健,陈少斌,周冬静,等.快速动态分级法进行雷达定量估测降水方法研究[J].热带气象学报,2018,34(6):856-864.
- [7] 卓健,廖胜石,陈少斌.一种改进短临降水预报的雷达产品应用方法[J].广东气象,2019,41(3):63-66.
- [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] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.

Evaluation of the applicability of various Merged Precipitation Product during Typhoon "Sanba"

LI Yeqing, REN Xiaowei*, DENG Yue

(Guangxi Meteorological Information Center, Nanning 530022, China)

Abstract: Based on the hourly precipitation observation data after quality control, a variety of assessment indicators were used to evaluate the extreme rainstorm process of merged precipitation products (CMPAS_RT, CMPAS_NRT, GXPAS) during the transit of Typhoon "Sanba" in Guangxi and the applicability of the products in extreme weather was analyzed from the perspective of time, space and rainfall intensity. The results show that (1) the three sets of merged precipitation product have high consistency with the observation, with the correlation coefficients exceeding 0.98 and the absolute values of the average errors below 0.2 mm. GXPAS has the best performance in the overall assessment indicators. (2) In terms of spatiotemporal distribution, all three real products can reflect the rainstorm area and trend distribution of heavy precipitation properly. CMPAS is more accurate in local small distribution than GXPAS. (3) In the precipitation range of 0~40 mm, the TS scores of the three products are all higher than 0.9, and the frequency distribution of precipitation is in good agreement with the observations. In the range of 40~80 mm, CMPAS is generally better than GXPAS. The underestimation of precipitation greater than 80mm is evident. In general, CMPAS has more advantages than GXPAS for heavy precipitation in terms of large precipitation magnitude and detail characterization in this process.

Key words: merge precipitation products; Typhoon "Samba"; quality assessment