

刘洁, 黄本胜, 陈晓宏, 等. GPM 遥感降水产品在广东省的极端降水事件适用性分析[J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2023, 21(1): 87-94. LIU J, HUANG B S, CHEN X H, et al. Applicability analysis of GPM remote sensing precipitation products in extreme precipitation events in Guangdong Province[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2023, 21(1): 87-94. (in Chinese)

# GPM 遥感降水产品在广东省的极端降水事件适用性分析

刘洁<sup>1,2,3</sup>, 黄本胜<sup>1</sup>, 陈晓宏<sup>2</sup>, 陈亮雄<sup>1</sup>, 杨静学<sup>1</sup>, 夏军<sup>3</sup>

(1. 广东省水利水电科学研究院, 广州 510635; 2. 中山大学水资源与环境研究中心, 广州 510275;  
3. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 武汉 430072)

**摘要:** 在广东省研究新一代 GPM(Global Precipitation Measurement) 产品的精度及其探测极端降水事件的能力, 探讨其对地面站点观测数据的可替代性, 可为 GPM 产品在中国南方湿润区的应用提供参考依据。以广东省的珠江流域、韩江及粤东诸河流域、粤西沿海诸河流域为研究区, 采用国家基准气象站观测的降水量为基准数据, 使用相关系数  $R$ 、平均绝对误差  $E_{MA}$ 、均方根误差  $E_{RMS}$ 、相对偏差  $B_{IAS}$ 、探测率  $P_{OD}$ 、空报率  $F_{AR}$  和成功系数  $C_{SI}$  共 7 个指标验证 GPM 遥感降水产品与 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission) 产品的精度; 对 GPM 产品与 TRMM 产品在广东省的各个子流域的精度进行对比分析; 使用 9 种广泛应用的极端降水指数来描述研究区域的极端降水特征, 对比分析 TRMM 产品与 GPM 产品探测极端降水事件的能力。研究结果表明: 以地面实测降水为基准, GPM 与 TRMM 产品在广东省的平均  $R$  值分别为 0.57 与 0.49,  $B_{IAS}$  值分别为 7.93% 与 9.13%,  $C_{SI}$  值分别为 0.51 与 0.44, 表明两种遥感降水产品均有一定的偏差; 从整体上来看, 相较 TRMM 而言, GPM 的精度更高; 对比广东省的不同子流域, GPM 产品与 TRMM 产品在珠江三角洲的  $B_{IAS}$  值分别仅为 2.28% 与 8.72%, 表明两种遥感降水产品在珠江三角洲流域的精度最高。在探测极端降水方面, GPM 产品对中雨、大雨和连续无雨日数都有更为准确的监测。综合来看, GPM 新一代遥感降水产品精度较高、对极端降水探测能力强, 更适用于广东省的洪水、旱情监测, 在广东省特别是珠江三角洲具有巨大的应用潜力。

**关键词:** 遥感降水产品; GPM; 广东省; 极端降水

中图分类号: TV11 文献标志码: A DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdqk.2023.0010

降水是水循环过程的基本环节, 降水在时空分布上的不均匀、不稳定是引起洪涝、旱灾的直接原因。准确观测降水对于干旱预警、洪水预报、内涝预报及水资源管理等有重要意义<sup>[1]</sup>。目前, 通过地面气象站或雨量站进行观测是获取降水信息最直接的方式, 但地面站点分布不均匀, 往往不能较好地反映降水的空间分布<sup>[2]</sup>。为弥补地面观测的不足, 各国相继开发了多种空间范围覆盖广、时间连续的遥感降水产品, 其中较有代表性的产品有: Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)<sup>[3]</sup>、the Climate Prediction Center MORPHing Technique (CMORPH)<sup>[4]</sup>、

Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS)<sup>[5]</sup>、Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN)<sup>[6]</sup> 和 Global Precipitation Measurement (GPM)<sup>[7]</sup> 等。遥感降水产品在各类水文研究中被广泛应用, 成为地面实测数据的有益补充与替代。然而, 因数据源、反演算法和校正算法等因素的不同, 不同遥感降水产品的精度有所差异; 受地形、气候和校正信息等因素的影响, 同一遥感降水产品在不同区域的精度也存在差异。因此, 全面认识与比较遥感降水产品的精度特

收稿日期: 2022-09-23 修回日期: 2022-12-21 网络出版时间: 2023-02-03

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.TV.20230203.0912.001.html>

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2020B0101130018); 广东省水利科技创新项目(2020-06)

作者简介: 刘洁(1993—), 女, 山西太原人, 博士, 主要从事智慧水利研究。E-mail: liujie16@whu.edu.cn

通信作者: 夏军(1954—), 男, 湖北孝感人, 中国科学院院士, 博士生导师, 主要从事水文学及水资源研究。E-mail: xiaj@igsrr.ac.cn

征有重要意义。

广东省降水时空分布不均、年际变幅大,加之人口众多,土地不断开发利用,水旱灾害频发,研究遥感降水产品在广东省的适用性对防洪抗旱减灾有重要意义。遥感降水产品在广东省的适用性研究主要集中于评估 TRMM 产品的精度,如:王兆礼等<sup>[8]</sup>、孟瑾等<sup>[9]</sup>、黄国如等<sup>[10]</sup>分别研究了 TRMM 产品在珠江流域、东江流域、北江飞来峡流域的适用性;舒鹏等<sup>[11]</sup>在西江流域使用 TRMM 与 CMORPH 驱动 3 种水文模型得到径流序列集合,并对各集合方案的模拟精度和不确定性进行了分析;章跃芬<sup>[12]</sup>研究了 CHIRPS、TRMM 与 PERSIANN-CDR 在北江的精度与对极端降水事件的探测能力;张华岩<sup>[13]</sup>在北江流域评估了 TRMM 产品的精度,并开展了卫星遥感降水与地面站点观测降水数据的融合校正研究。到目前为止,国内学者已在不同时空尺度对 TRMM 遥感降水产品开展了充分的评估和应用研究。GPM 作为新一代全球卫星降水产品,在各个领域已经有了一定的应用,但广东省针对 GPM 产品的研究相对较少。张华龙等<sup>[14]</sup>基于 GPM 卫星产品研究了广东汛期降水日变化特征;陈晓宏等<sup>[15]</sup>在北江流域评估了 GPM 系列产品的精度,并结合 Variable Infiltration Capacity Macroscale Hydrologic Model(VIC 模型)评估了该系列产品的水文适用性;Wang 等<sup>[16]</sup>评估了 3 种卫星降雨产品(TRMM、IMERG 和中国区域小时降水量融合产品)在广东省的精度。

广东省地域辽阔,空间变异性大,但已有研究尚未考虑不同流域分区的遥感降水产品的精度特征。另外,随着遥感降水产品时空分辨率和时效性的进一步提高,经过改进的新一代 GPM 产品或将在探测极端降水事件时拥有更大的应用潜力。因此,以广东省为研究区,以国家基准气象站实测的降水数据为基准数据,以上一代 TRMM 非实时卫星降水产品(TRMM 3B42V7)作为对照,在不同的流域分区上评估新一代 GPM IMERG 产品的精度,并评估其探测极端降水事件的能力,探讨其对地面站点观测数据的可替代性,从而为 GPM 产品在中国南方湿润区的应用提供参考依据。

## 1 研究区概况

广东省位于中国大陆南端,为典型的亚热带季风气候。全省面积为 17.97 万 km<sup>2</sup>,省内主要分为珠江流域(东江、西江、北江和珠江三角洲)、韩江及粤东诸河流域、粤西沿海诸河流域。广东省降水

丰沛,全省多年平均降水量为 1 697 mm,但具有时空分布不均匀的特点:从时间上看,降水主要集中在 4—9 月,汛期降水量可占全年降水量的 50%~80%,且短历时的暴雨较多;从空间上看,省内降水差异较大,降水主要集中在中部与中部偏西沿海一带,西部与东部相对偏低<sup>[17]</sup>。

## 2 资料与方法

### 2.1 降水数据

使用 2014—2020 年国家基准气象站的地面观测逐日降水数据(国家气象信息中心,中国地面气候资料日值数据集(V3.0))作为基准数据,用于评价遥感降水产品的精度。GPM 是由美国国家宇航局开发的,建立在 TRMM 基础上的卫星遥感降水测量计划,其目的是提供精度和分辨率更高的新一代准全球卫星遥感数据产品。GPM 首次采用双频雷达观测系统,并结合主动雷达观测技术,从不同的角度提供云层降水粒子的物理信息,以提高对轻量级降水及降雪的捕捉能力<sup>[18]</sup>。GPM 产品根据其数据反演算法分为 4 级,Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG) 产品是 GPM 的 3 级产品,时间分辨率为逐半小时,空间分辨率为 0.1°×0.1°。根据校准精度的不同,IMERG 产品又分为“early-run”、“late-run”与“final-run”3 个产品(文中用 IMERG-E、IMERG-L 与 IMERG-F 表示)。其中,IMERG-E 和 IMERG-L 产品为准实时产品,分别于观测后 4 h 和 12 h 后发布,而 IMERG-F 为非实时后处理产品,其经过地面雨量站点的逐月观测数据的偏差校准,通常于观测 2 个月 after 发布<sup>[15]</sup>。选择 IMERG-F V6 产品进行研究。

选取常用的 TRMM 3B42V7 进行对比评价研究。TRMM 是由美国国家航空航天局与日本宇宙航空研究开发机构联合开发的用于气象与气候降水研究的卫星。TRMM 3B42 产品由 TRMM Multi satellite precipitation analysis (TPMA) 算法反演得到,TRMM 3B42V7 是经 GPCC 月降水数据校正的产品<sup>[3]</sup>。本文在研究中使用已逐日合成的遥感降水产品,提取出与气象站点位置对应的栅格降水量,与实测降水量进行比较分析。

### 2.2 精度评估方法

使用相关系数  $R$ 、平均绝对误差  $E_{MA}$ 、均方根误差  $E_{RMS}$ 、相对偏差  $B_{IAS}$ 、探测率  $P_{OD}$ 、空报率  $F_{AR}$  和成功系数  $C_{SI}$  共 7 个指标评价遥感降水产品的精度。 $R$  反映遥感降水与地面观测降水的线性相关程度;

$E_{MA}$  和  $E_{RMS}$  反映遥感降水与地面观测降水平均误差的大小;  $B_{IAS}$  反映遥感降水产品的系统偏差程度;  $P_{OD}$  反映遥感降水产品对降水事件的漏报程度;  $F_{AR}$  反映遥感降水产品对降水事件的错报程度;  $C_{SI}$  反映遥感降水产品成功观测到降水事件的比例<sup>[19]</sup>。各指标的具体公式及最优值见表 1。

表 1 遥感降水产品评估的统计指标

Tab. 1 The statistical index of remote sensing precipitation product evaluation

指标	公式	最优值	取值区间
相关系数( $R$ )	$R = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}$	1	[-1, 1]
相对偏差( $B_{IAS}$ )	$B_{IAS} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n G_i} - 1$	0	$(-\infty, +\infty)$
平均绝对误差( $E_{MA}$ )	$E_{MA} = \frac{\sum_{i=1}^n  P_i - G_i }{n}$	0	[0, $+\infty$ )
E均方根误差( $E_{RMS}$ )	$E_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - G_i)^2}{n}}$	0	[0, $+\infty$ )
探测率( $P_{OD}$ )	$P_{OD} = \frac{H}{H + M}$	1	[0, 1]
空报率( $F_{AR}$ )	$F_{AR} = \frac{F}{H + F}$	0	[0, 1]
成功系数( $C_{SI}$ )	$C_{SI} = \frac{H}{H + M + F}$	1	[0, 1]

表 1 中:  $G_i$ 和 $P_i$ 分别表示第*i*天的地面观测降水量与遥感产品降水量, mm;  $H$ 为遥感降水产品与地面观测降水同时有雨的频数;  $M$ 是遥感降水产品无雨而地面观测有雨的频数;  $F$ 为遥感降水产品有雨而地面观测无雨的频数。本文判断是否有雨的阈值是 0.1 mm<sup>[20]</sup>。

### 2.3 极端降水评估方法

极端降水事件指的是很少发生但影响严重的降水事件, 气候变化检测、监测和指数专家小组(ETCCDI)推荐了 11 种极端降水指数, 用于描述研究区域的极端降水的强度、频率、持续时间等特征。本文从中选择了 9 种在研究中广泛应用的<sup>[21-24]</sup>、适用于广东省的极端降水指数, 指标的详细定义见表 2。

## 3 结果分析

### 3.1 遥感降水产品精度验证

表 3 给出了以地面实测降雨数据为基准, GPM 产品和 TRMM 产品的精度验证结果。GPM 产品在广东省的平均  $R$  值达到 0.57, 表明在日尺度上, GPM 产品与地面观测降水的线性相关程度较高;  $B_{IAS}$  值为 7.93%, 表明 GPM 产品与地面观测降水有

一定的系统误差; GPM 产品成功观测到降水事件的比例为 0.51( $C_{SI}$  值)。TRMM 产品在广东省的  $R$  值为 0.49, 表明在日尺度上, TRMM 产品与地面观测降水也有一定的线性相关性;  $E_{MA}$  值为 5.56 mm/d,  $E_{RMS}$  值为 14.83 mm/d, 表明 TRMM 产品相较地面观测降水而言, 有一定的平均误差; TRMM 产品成功观测到降水事件的比例为 0.44( $C_{SI}$  值)。

表 2 极端降水指数的详细信息  
Tab. 2 Details of extreme precipitation indices

指标	名称	定义
$R_{10\text{mm}}$	中雨日数/d	日降水量 $\geq 10$ mm
$R_{25\text{mm}}$	大雨日数/d	日降水量 $\geq 25$ mm
$S_{DI}$	降水强度/(mm·d <sup>-1</sup> )	年降水量/ $\geq 1$ mm日数
$R_{X1\text{day}}$	日最大降水量/mm	日最大降水量
$R_{X5\text{day}}$	5日最大降水量/mm	连续5日最大降水量
$C_{WD}$	连续有雨日数/d	最长连续降水日数
$C_{DD}$	连续无雨日数/d	最长连续无降水日数
$R_{95p}$	强降雨量/mm	日降水量 $> 95\%$ 分位值的总降水量
$R_{99p}$	极强降雨量/mm	日降水量 $> 99\%$ 分位值的总降水量

注: 干燥(或潮湿)日的定义为每日降水量低于(或不少于)1 mm/d。

表 3 2 种降水产品逐日精度评估结果  
Tab. 3 Daily accuracy evaluation results of two precipitation products

流域	产品	$R$	$E_{MA}(mm \cdot d^{-1})$	$E_{RMS}(mm \cdot d^{-1})$	$B_{IAS}/\%$	$P_{OD}$	$F_{AR}$	$C_{SI}$
广东省	GPM	0.57*	5.07*	13.46*	7.93*	0.84*	0.44	0.51*
	TRMM	0.49	5.56	14.83	9.13	0.53	0.27*	0.44
北江	GPM	0.51*	5.45*	13.66*	5.28*	0.83*	0.38	0.55*
	TRMM	0.46	6.03	14.96	5.50	0.53	0.22*	0.46
东江	GPM	0.61*	4.84*	12.20*	3.38*	0.85*	0.40	0.54*
	TRMM	0.50	5.68	14.21	8.29	0.56	0.29*	0.45
韩江及粤东诸河	GPM	0.59*	4.62*	12.53*	9.11*	0.83*	0.48	0.47*
	TRMM	0.50	5.00	13.92	9.58	0.57	0.30*	0.45
西江	GPM	0.57*	4.73*	11.95*	18.65	0.88*	0.46	0.50*
	TRMM	0.52	5.14	12.84	16.84*	0.55	0.25*	0.47
珠江三角洲	GPM	0.59*	5.59*	14.58*	2.28*	0.88*	0.46	0.50*
	TRMM	0.51	6.07	16.13	8.72	0.52	0.22*	0.45
粤西桂南沿海诸河	GPM	0.55*	5.07*	14.84*	12.10	0.82*	0.45	0.49*
	TRMM	0.48	5.46	15.92	9.95*	0.49	0.30*	0.41

注:最优值用\*表示。

在 Wang 等<sup>[16]</sup>的研究中,广东省 IMERG V5 逐日产品与实测数据的相关系数为 0.51,相对偏差为 9.31%,精度略低于本文的计算结果,这可能是因为本文使用的是 IMERG V6,相较上一版本而言,新版本为减少误差改进了数据源<sup>[25]</sup>; TRMM V7 产品的与实测数据的相关系数为 0.48,相对偏差为 9.71%,与本文的计算结果较为接近。

### 3.2 2 种遥感降水产品精度对比

表 3 给出了 2 种遥感降水产品在广东省及各个子流域的逐日精度评估的对比分析结果。从表 3 可以看出,以广东全省为研究区,针对大多数指标来说,GPM 产品优于 TRMM 产品。需要注意的是,TRMM 产品在广东省的  $F_{AR}$  值(0.27)比 GPM 产品的  $F_{AR}$  值(0.44)低,表明 TRMM 产品对降水事件的错报程度比较低,但同时 TRMM 产品对降水事件的探测率也比较低。

对比不同子流域(表 3、图 1),GPM 产品在各个子流域均有更高的  $R$  值、 $P_{OD}$  值、 $C_{SI}$  值与更低的  $E_{MA}$  值与  $E_{RMS}$  值,表明在整体上 GPM 产品具有更高的精度。具体到  $B_{IAS}$  指标,2 种产品在西江流域与粤西桂南沿海诸河流域的  $B_{IAS}$  值都较高,表明遥感降水产品在西江流域与粤西桂南沿海诸河流域有较大的系统偏差;而在珠江三角洲流域的  $B_{IAS}$  值较低,

其中 GPM 产品在增城站、广州站、台山站的  $B_{IAS}$  值分别仅为 0.7%、-1.3%、4.0%,表明遥感降水产品在珠江三角洲流域的系统偏差较小。珠江三角洲是典型的平原区域,总的来看,两种遥感降水产品都是在平原地区的精度更高,这与一些研究<sup>[20]</sup>的结论是一致的:主要原因可能是山区降水多为地形雨,对流系统复杂,增加了遥感降水产品的检测难度;同时,平原地区的观测站通常较多,用于校准实时遥感降水产品的实测数据也会比较多。

### 3.3 两种遥感降水产品在极端降水事件中的适用性

图 2 与图 3 给出了两种遥感降水产品探测极端降水事件能力指标偏差的箱线图,其中,图 2 给出的是 3 个绝对阈值指标,图 3 给出的是 4 个最大值指标和 2 个百分比指标。在箱线图中,框的上下边缘表示的是上下四分位数(分别为 75% 和 25%),框中的实线表示的是中位数,最上面和最下面的水平线表示的是离群值,点表示的是平均值。从图 2 可以看出,对于中雨( $R_{10}$ )和大雨( $R_{25}$ )来说,GPM 描述的情况更接近于实测降水产品的程度,表明 GPM 产品更适用于洪水监测。在降水强度( $S_{DI}$ )方面,GPM 低估了降水强度,而 TRMM 高估了降水强度。

从图 3 可以看出:对日最大降水量( $R_{X1day}$ )而言,

GPM 对日最大降水的估计较好, 而 TRMM 产品对日最大降水有一定程度的高估; 对 5 日最大降水量 ( $R_{X5day}$ ) 而言, 两种产品均高估了 5 日最大降水量; 对强降水量 ( $R_{95p}$ ) 和极强降水量 ( $R_{99p}$ ) 而言, 结论也

是相似的。此外, TRMM 产品对连续有雨日数 ( $C_{WD}$ ) 的把握更好一些, 而 GPM 产品对连续无雨日数 ( $C_{DD}$ ) 的把握更好, 因此, GPM 产品更适用于干旱监测。

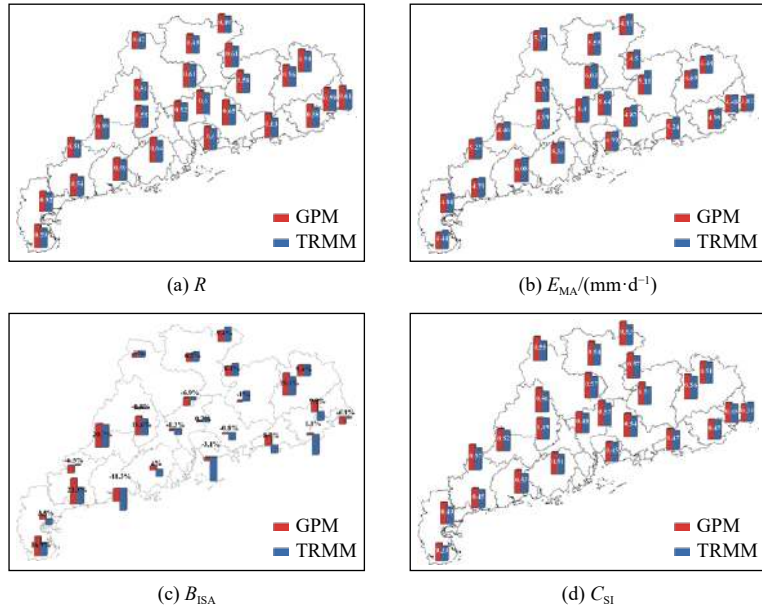


图 1 不同遥感降水产品日尺度指标分布

Fig. 1 Distribution of daily scale indicators of different remote sensing precipitation products

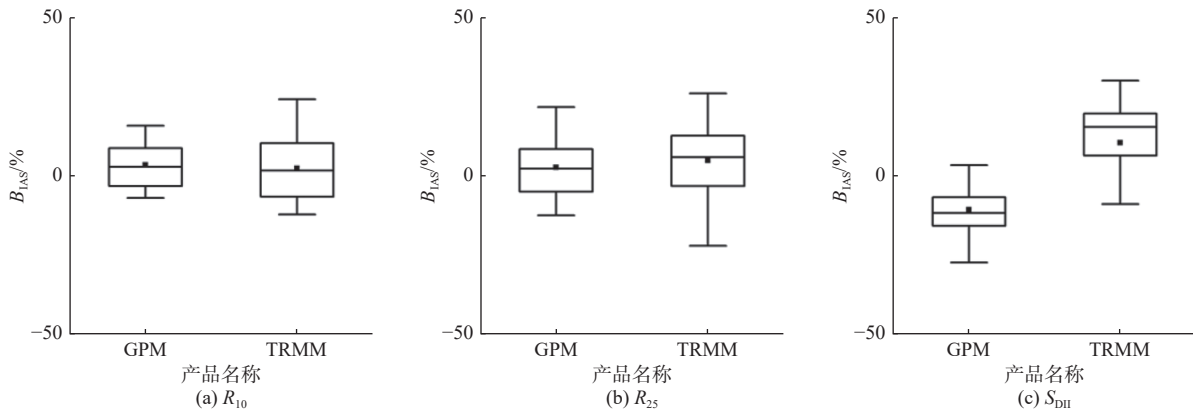
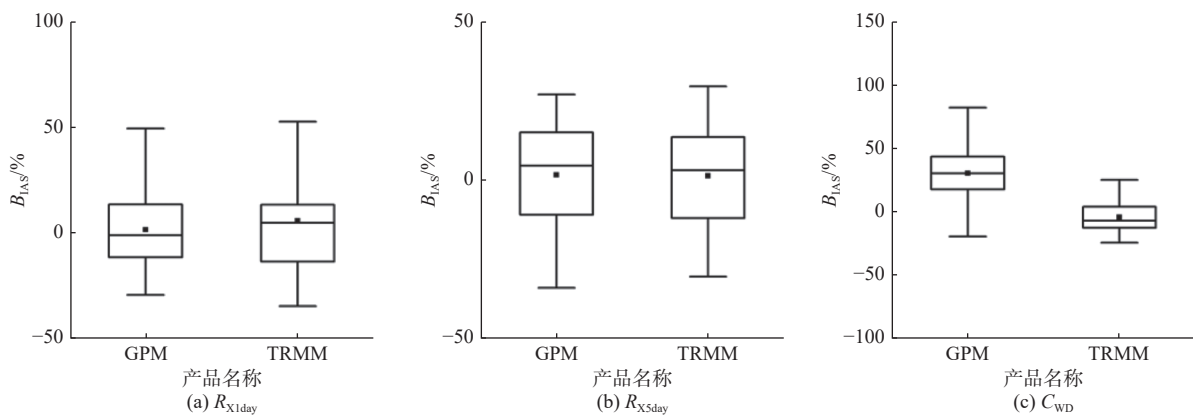
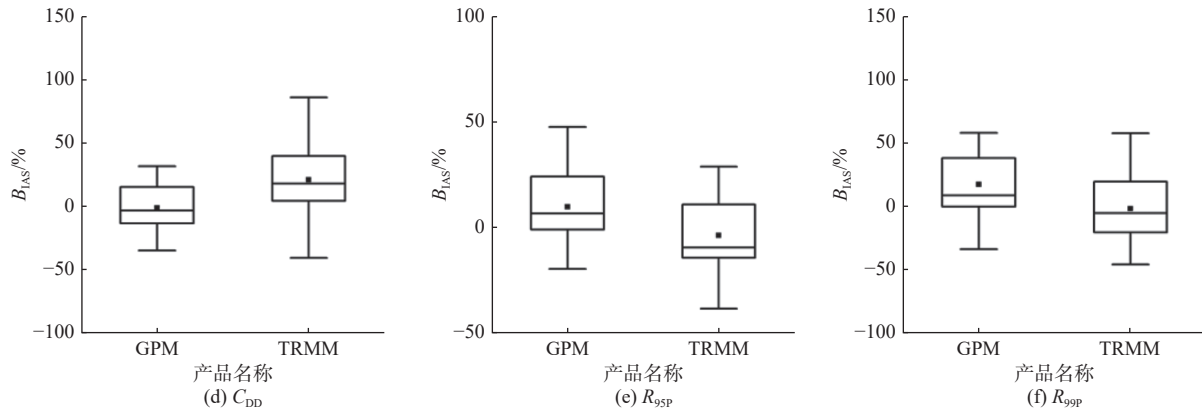


图 2 极端降水指标 ( $R_{10}$ 、 $R_{25}$ 、 $S_{DII}$ ) 箱线图

Fig. 2 Boxplots of extreme precipitation index ( $R_{10}$ 、 $R_{25}$ 、 $S_{DII}$ )



图 3 极端降水指标( $R_{X1day}$ 、 $R_{X5day}$ 、 $C_{WD}$ 、 $C_{DD}$ 、 $R_{95P}$ 、 $R_{99P}$ )箱线图Fig. 3 Boxplots of extreme precipitation index ( $R_{X1day}$ 、 $R_{X5day}$ 、 $C_{WD}$ 、 $C_{DD}$ 、 $R_{95P}$ 、 $R_{99P}$ )

#### 4 结论与展望

以广东省为研究区,在 6 个子流域尺度,以地面实测降水数据为基准,验证了 GPM 产品与 TRMM 产品的精度,同时对比分析了两种遥感降水产品的精度及其分析极端降水事件的能力,主要得到以下结论:

以地面实测降水为基准,两种遥感降水产品在广东省均有一定的偏差。对比两种遥感降水产品,相较 TRMM 而言,GPM 的精度更高;对比广东省的不同子流域,两种遥感降水产品在珠江三角洲流域的精度最高;表明遥感降水产品在平原地区的精度更高,新一代 GPM 产品在广东省特别是珠江三角洲具有巨大的应用潜力。

在探测极端降水方面,GPM 产品对中雨、大雨、连续无雨日数都有更为准确的监测,表明 GPM 更适用于广东省的洪水、干旱监测。

GPM 新一代遥感降水产品可成为广东省地面降水实测数据的有益补充与替代,但其在粤北山区的精度仍有待提升,可在使用前进行偏差校正、多源数据融合等研究。

#### 参考文献:

- [1] GHORBANIAN A, MOHAMMADZADEH A, JAMALI S, et al. Performance evaluation of six gridded precipitation products throughout Iran using ground observations over the last two decades (2000 – 2020)[J]. *Remote Sensing*, 2022, 14(15): 3783. DOI: 10.3390/rs14153783.
- [2] YU C, HU D Y, LIU M Q, et al. Spatio-temporal accuracy evaluation of three high-resolution satellite precipitation products in China area[J]. *Atmospheric Research*, 2020, 241: 104952. DOI: 10.1016/j.at-

mosres.2020.104952.

- [3] HUFFMAN G J, BOLVIN D T, NELKIN E J, et al. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales[J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2007, 8(1): 38-55. DOI: 10.1007/978-90-481-2915-7\_1.
- [4] 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. DOI: 10.1175/1525-7541(2004)0052.0.CO;2.
- [5] FUNK C, PETERSON P, LANDSFELD M, et al. The climate hazards infrared precipitation with stations: A new environmental record for monitoring extremes[J]. *Scientific Data*, 2015, 2(1): 1-21. DOI: 10.1038/sdata.2015.66(2015).
- [6] HSU K, GAO X, SOROOSHIAN S, et al. Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1997, 36(9): 1176-1190. DOI: 10.1175/1520-0450(1997)0362.0.CO;2.
- [7] HOU A Y, SKOFRONICK-JACKSON G, KUMMEROW C D, et al. Global precipitation measurement[C]. Springer Berlin Heidelberg: First Global Precipitation Measurement Partners Planning Workshop, 2008.
- [8] 王兆礼, 钟睿达, 赖成光, 等. TRMM 卫星降水反演数据在珠江流域的适用性研究: 以东江和北江为例[J]. *水科学进展*, 2017, 28(2): 174-182. DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2017.02.002.
- [9] 孟瑾, 郝振纯, 李丽, 等. TRMM 卫星测雨数据在我国南方及高寒地区的精度分析[C]// 农业, 生态水安全及寒区水科学: 第八届中国水论坛摘要集. 2010.
- [10] 黄国如, 陈晓丽. 北江飞来峡流域 TRMM 卫星降雨

- 数据适用性研究[J]. *南水北调与水利科技*, 2019, 17(4): 27-36. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdqk.2019.0081](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdqk.2019.0081).
- [11] 舒鹏,熊立华,陈石磊,等.基于多卫星降雨产品和多降雨径流模型的西江流域径流集合模拟[J]. *人民珠江*, 2020, 41(5): 25-32,37. DOI: [10.3969/j.issn.1001-9235.2020.05.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-9235.2020.05.004).
- [12] 章跃芬.多源卫星降水产品的时空精度评估及水文效应研究[D].北京:中国地质大学,2020.
- [13] 张华岩.北江流域TRMM卫星与地面站点降水数据融合及径流模拟应用研究[D].武汉:华中科技大学,2019.
- [14] 张华龙,肖柳斯,陈生,等.基于GPM卫星的广东汛期降水日变化特征与评估[J]. *热带气象学报*, 2020, 36(3): 335-346. DOI: [10.16032/j.issn.1004-4965.2020.032](https://doi.org/10.16032/j.issn.1004-4965.2020.032).
- [15] 陈晓宏,钟睿达,王兆礼,等.新一代GPM IMERG 卫星遥感降水数据在中国南方地区的精度及水文效用评估[J]. *水利学报*, 2017, 48(10): 1147-1156. DOI: [10.13243/j.cnki.slxb.20170202](https://doi.org/10.13243/j.cnki.slxb.20170202).
- [16] WANG D S, WANG X W, LIU L, et al. Evaluation of TMPA 3B42V7, GPM IMERG and CMAP precipitation estimates in Guangdong Province, China[J]. *International Journal of Climatology*, 2019, 39(2): 738-755. DOI: [10.1002/joc.5839](https://doi.org/10.1002/joc.5839).
- [17] 陈心池,顾立忠.基于SPI的旱涝时空演变特征识别及其对大尺度气候因子的响应研究[J]. *广东水利水电*, 2018(11): 52-58,67.
- [18] PRADHAN R K, MARKONIS Y, GODOY M R V, et al. Review of GPM IMERG performance: A global perspective[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2022, 268: 112754. DOI: [10.1016/j.rse.2021.112754](https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112754).
- [19] 刘洁,夏军,邹磊,等.多卫星遥感降水数据在塔里木河流域的适用性分析[J]. *南水北调与水利科技*, 2018, 16(5): 1-8. DOI: [10.13476/j.cnki.nsbdqk.2018.0117](https://doi.org/10.13476/j.cnki.nsbdqk.2018.0117).
- [20] 胡庆芳,杨大文,王银堂,等.赣江流域高分辨率卫星降水数据的精度特征与时空变化规律[J]. *中国科学:技术科学*, 2013, 43(4): 447-459. DOI: [10.1360/ze2013-43-4-447](https://doi.org/10.1360/ze2013-43-4-447).
- [21] LIU J, XIA J, SHE D X, et al. Evaluation of six satellite-based precipitation products and their ability for capturing characteristics of extreme precipitation events over a climate transition area in China[J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(12): 1477. DOI: [10.3390/rs11121477](https://doi.org/10.3390/rs11121477).
- [22] ZHANG Y, XIA J, SHE D X. Spatiotemporal variation and statistical characteristic of extreme precipitation in the middle reaches of the Yellow River basin during 1960-2013[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2019, 135(1-2): 391-408. DOI: [10.1007/s00704-018-2371-2](https://doi.org/10.1007/s00704-018-2371-2).
- [23] YU Y, SCHNEIDER U, SU Y, et al. Evaluating the GPCP Full Data Daily Analysis Version 2018 through ETCCDI indices and comparison with station observations over mainland of China[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2020, 142(3): 835-845. DOI: [10.1007/s00704-020-03352-8](https://doi.org/10.1007/s00704-020-03352-8).
- [24] 尹红,孙颖.基于ETCCDI指数2017年中国极端温度和降水特征分析[J]. *气候变化研究进展*, 2019, 15(4): 11. DOI: [10.12006/j.issn.1673-1719.2018.164](https://doi.org/10.12006/j.issn.1673-1719.2018.164).
- [25] ZHOU C G, GAO W, HU J R, et al. Capability of IMERGV6 early, late, and final precipitation products for monitoring extreme precipitation events[J]. *Remote Sensing*, 2021, 13: 689. DOI: [10.3390/rs13040689](https://doi.org/10.3390/rs13040689).

## Applicability analysis of GPM remote sensing precipitation products in extreme precipitation events in Guangdong Province

LIU Jie<sup>1,2,3</sup>, HUANG Bensheng<sup>1</sup>, CHEN Xiaohong<sup>2</sup>, CHEN Liangxiang<sup>1</sup>, YANG Jingxue<sup>1</sup>, XIA Jun<sup>3</sup>

(1. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510635, China; 2. Research Center of Water Resources and Environment, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; 3. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** The precision of the new generation Global Precipitation Measurement (GPM) product and its ability to detect extreme precipitation events in Guangdong Province was studied, and its substitutability for ground station observation data was discussed, which can provide a reference for the application of GPM products in humid areas in southern China.


The Pearl River basin, Hanjiang River basin, eastern Guangdong river basins, and western Guangdong coastal river basins in Guangdong Province were taken as the study area, and the precipitation observed by the national benchmark meteorological station was used as the benchmark data. The precision of GPM and Tropical Rainfall

Measuring Mission (TRMM) products were verified by seven indicators, including correlation coefficient, average absolute error, root mean square error, relative deviation, detection rate, air reporting rate, and the success coefficient. The precision of GPM and TRMM products in each sub-basin of Guangdong Province was compared and analyzed. Widely used extreme precipitation indexes were used to describe the characteristics of extreme precipitation in the study area, and the ability of GPM and TRMM was analyzed to detect extreme precipitation events.

The results showed that: Taking the measured precipitation on the ground as the reference data, the  $R$  values of GPM and TRMM products in Guangdong Province were 0.57 and 0.49 respectively, the  $B_{IAS}$  values were 7.93% and 9.13% respectively, and the  $C_{SI}$  values were 0.51 and 0.44 respectively, indicating that there was certain deviation between the two remote sensing precipitation products. On the whole, GPM was more accurate than TRMM. Comparing different sub-basins in Guangdong Province, the  $B_{IAS}$  values of GPM products and TRMM products in the Pearl River Delta were only 2.28% and 8.72%, respectively, indicating that the two remote sensing precipitation products had the highest accuracy in the Pearl River Delta basin. In terms of detecting extreme precipitation, GPM products had more accurate monitoring of moderate rain, heavy rain, and consecutive days without rain.

The new generation of remote sensing precipitation products of GPM had high precision and strong detection ability for extreme precipitation, which were more suitable for flood and drought monitoring in Guangdong Province, and had huge application potential in Guangdong Province, especially in the Pearl River Delta.

**Key words:** remote sensing precipitation product; GPM; Guangdong Province; extreme precipitation



## 复苏河湖生态环境 促进人水和谐共生

背景图所有权属《南水北调与水利科技(中英文)》编辑部