

李晓俞,陈生,梁振清,等.台风“山竹”期间 GPM 卫星降水产品的误差评估[J].气象研究与应用,2020,41(3):08-15.

Li Xiaoyu, Chen Sheng, Liang Zhenqing, et al. Performance assessment of satellite-based quantitative precipitation estimation during Typhoon Mangkhut[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2020, 41(3): 08-15.

台风“山竹”期间 GPM 卫星降水产品的误差评估

李晓俞^{1,2}, 陈生^{*3,4}, 梁振清^{1,2}, 黄朝盈^{3,4}

(1. 南宁师范大学北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 南宁 530001;

2. 南宁师范大学地理科学与规划学院, 南宁 530001; 3. 中山大学大气科学学院, 广东 珠海 519000;

4. 中山大学广东省气候变化与自然灾害研究重点实验室, 广东 珠海 519000)

摘要: 利用 CMORPHG 数据作为基准数据, 采用 7 种统计指数对比分析了 V6B IMERG 多种产品基于台风“山竹”期间在中国大陆、华南和华东雨区的降水情况。结果表明: (1) IMERG 对华南台风强降雨有一定的辨识能力而对华东地区强降雨的估测能力较差; (2) IMERG_FRCaI 在 4 个产品中表现最好且能很好反映台风降雨评估, 在准实时产品中, IMERG_ERUnCaI 的空间降水估测能力较优, 而 IMERG_LRUnCaI 的时序分布特征及估测华东由台风带来的降雨量表现较好; (3) IMERG 降水探测主要集中在降水率小于 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, 而在降水率大于 $30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, 中国大陆和华东雨区中仅有 IMERG_ERUnCaI 和 IMERG_FRCaI 评估能力较强而华南雨区的各 IMERG 产品均表现不足的探测能力。V6B IMERG 在台风期间的降水误差中仍然存在有限的估测能力。

关键词: 降水; IMERG; GPM; 台风“山竹”

中图分类号: P412

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2020.3.02

OSID:



前言

台风“山竹”是 2018 年对亚洲影响最大的台风, 最大风速约为 $270\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, “山竹”直径达 1000km 以上, 在较广区域内产生的风暴潮明显较高, 给受影响的内陆地区带来了较长时间降水^[1-2]。传统的地面气象观测站雨滴谱仪和地基天气雷达很难系统详细地观测到如此强的天气系统。随着遥感技术的发展, 基于卫星的定量降水估算(QPE)产品成为提供大区域或全球尺度降水高分辨率连续观测的重要降水产品。新一代卫星降水产品 IMERG 集合了主流卫星产品 PERSIANN-CSS^[3]、CMOPRH^[4]和 TMPA^[5]的优势, 具有广泛降水空间覆盖率和精确降水时空分辨率^[6]。

国内外研究中, Liu^[7]对全球尺度下 IMERG 进行评估, Chen 等^[8]分析了 IMERG 在中国大陆的评估表现, Tang 等^[9]比较了中国大陆的 IMERG 和 TMPA, 均反映了地区尺度上 IMERG 对降水的刻画能力总体上比其他卫星降水产品强, 这仅说明 IMERG 估测年际降水量能力高。Chen 等^[10]检验了 PERSIANN-CSS 和 CMOPRH 在台风 Morakot 强降水事件的估测能力, Omranian 等^[11]研究了 IMERG 在飓风 Harvey 期间的降雨评估, Huang 等用 IMERG 评估了华南地区在 6 次台风期间的降水表现^[12]。综合以上, 有关 IMERG 对台风降水过程的检验研究极少, 且 2019 年出现的最新全球降水计划 GPM 多卫星融合产品 6.0 版本 IMERG (V6B IMERG) 在台风期间的降水评估暂无相关研究。此外, 尽管在许多现有的验

收稿日期: 2019-12-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(41875182)、广州科技局计划项目(201904010162)、中山大学“百人计划”项目(74110-18841203)、广西自然科学基金项目(2018JJA150110)、南宁师范大学高校高层次人才和教师素质提升(6020303890216)、广西自然科学基金项目(2018GXNSFAA050130)

作者简介: 李晓俞(1996—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 地图学与地理信息系统。E-mail: xiaoyuli610@gmail.com

通讯作者: 陈生(1979—), 男, 广西北流人, 教授, 研究方向: 遥感定量降水产品的不确定分析。E-mail: chensheng@mail.sysu.edu.cn

证研究中,台站观测数据被认为是地面参考,但由于空间覆盖率的限制,台站观测在大区域面积的测量结果存在着不确定性^[13]。

因此,本文利用 CMORPHGC 数据作为基准数据,研究 V6B IMERG 产品基于“山竹”期间(2018 年 9 月 15 日 01 时至 18 日 00 时)的降水评估能力并探讨数据之间的差异,有助于深入客观认识系统性误差特征,为改进卫星降水产品质量及推广应用提供参考依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区

中国大陆经纬跨度为 73°~136°E、3°~55°N,地势西高东低、呈阶梯状(图 1)。受亚热带季风气候和中国复杂地形影响,南方常出现大量降水^[14]。东南和华南地带气候主要受季风影响,季风的季节性传播有助于台风在西太平洋形成^[15]。而热带气旋降水对我国年降水量影响较大,特别华南华东地区受影响较大^[16]。台风不但会造成经济损失,而且会引发强降雨和城市内涝等自然灾害。

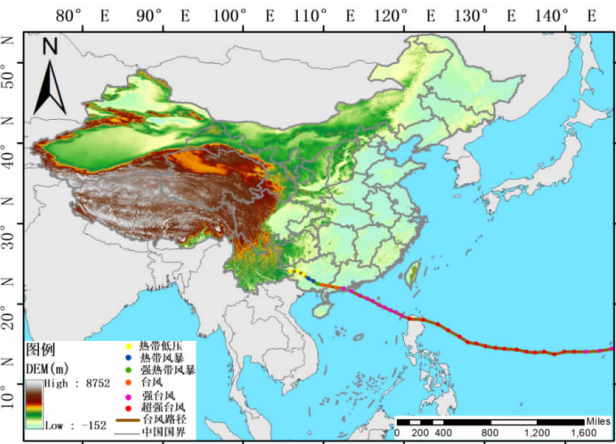


图 1 中国大陆地形及台风“山竹”路径

1.2 数据来源

本文选自 CMORPHGC 作为参考基准,该产品为中国气象局信息中心开发,采用改进的概率分布图(PDF)匹配的方法基于全国大约 30000 个自动雨量站的观测进行误差订正。交叉验证表明,该产品的均方根误差(Root-Mean-Squared Error, RMSE)只有 0.594mm·h⁻¹,和雨量站观测的相关系数(Correlation Coefficient, CC)高达 0.8,是我国目前时空分辨率和精度最高且最可靠的降水产品^[17]。

IMERG 包括 Early Run(ER)、Late Run(LR) 和

Final Run(FR),空间分辨率为 0.1°×0.1°,覆盖全球南北纬(90°N~90°S)。ER 和 LR 为准实时标定降水估测产品且没有经过雨量站校准,分别约延时 4h 和 14h 发布。其中 ER 仅采用前向推演技术,主要用于灾害分析和其他临近预报业务应用。增加了后向推演的 LR 和 FR,数据更丰富,应用于逐日或更长时间分析,例如应用于作物预测。FR 约延时 3.5 个月发布,其中 FRCal 利用逐月的地面观测站降水分析加以校正,提供更准确的结果,主要应用于科学研究^[18]。

1.3 研究方法

在定量评估卫星降水产品精度的过程中,使用相对偏差(Relative Bias, RB)评价 IMERG 与 CMORPHGC 总体偏差趋向、相关系数(CC)衡量 IMERG 与 CMORPHGC 观测的一致性、RMSE 定量反映偏差的总体水平^[19]和分数标准差(Fractional Standard Error, FSE)。此外,用探测率(Probability of Detection, POD)、误报率(False Alarm Ratio, FAR)和临界成功指数(Critical Success Index, CSI)进一步量化 IMERG 性能。POD、FAR 和 CSI 分别指降水产品正确估测降水事件的概率、被错误估测的概率和准确估测的技巧评分。表 1 列出了计算这些指标的公式。表 2 给出了 IMERG 和 CMORPHGC 的列联表,其中 A 是卫星产品准确估测的降水事件数, B 是错误估计的降水事件数, C 指漏估的降水事件数, D 指准确估测零降水事件^[20]。

表 1 定量统计指标

指标	公式	最佳值
相对偏差 (%)	$RB = \frac{\sum (IMERG - CMORPHGC)}{\sum CMORPHGC} \times 100\%$	0
相关系数	$CC = \frac{Cov(IMERG, CMORPHGC)}{\sigma_{IMERG} \sigma_{CMORPHGC}}$	1
均方根误差	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (IMERG - CMORPHGC)^2}{N}}$	0
分数标准差	$FSE = \sqrt{\frac{\frac{1}{2} \sum (IMERG - CMORPHGC)^2}{\frac{1}{N} \sum CMORPHGC}}$	0
探测率	$POD = \frac{A}{A + C}$	1
误报率	$FAR = \frac{B}{A + B}$	0
临界成功指数	$CSI = \frac{A}{A + B + C}$	1

表 2 IMERG 和 CMORPHGC 的列联表

	CMORPHGC \geq 阈值	CMORPHGC $<$ 阈值
Satellite \geq 阈值	A	B
Satellite $<$ 阈值	C	D

2 结果与分析

2.1 空间分布特征

CMORPHGC 和 IMERG 均在华南华东地区出现了强降雨区(图 2)。台风“山竹”在广东登陆后,给华南地区带来了强降雨,受台风倒槽影响,“山竹”

庞大环流带来的暖湿空气向北输送到华东的江浙沪皖,在华东汇集以及在北方冷空气南下的共同作用下也造成了华东地区的强降雨^[21]。并且最新的 V6B IMERG 尤其是融合数据更丰富和延时更长的 IMERG_FR,能很好地捕获降雨分布状况。其中,IMERG_FR 在广东和浙江地区均反映了相对具体的强降水空间分布水量。而准实时 IMERG_ERUnCal 和 IMERG_LRUUnCal 峰值与 CMORPHGC 存在一定偏差,强降水特征不显著,这反映了不同的 IMERG 产品在降水空间分布的捕捉能力存在较大差异。

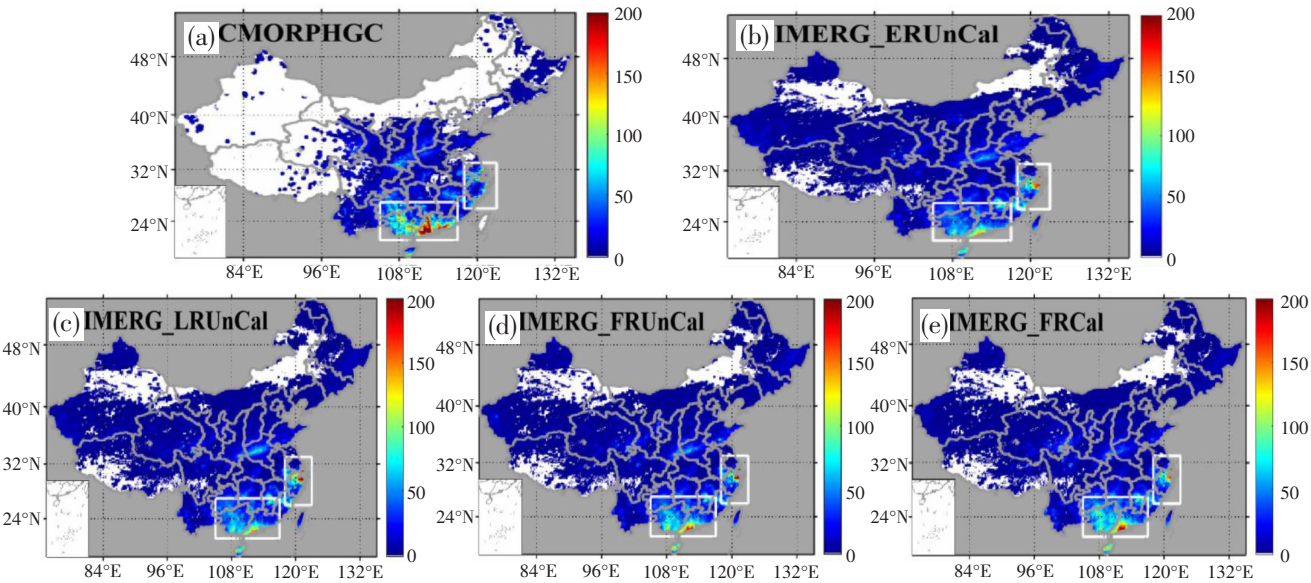


图 2 降水总量分布(单位:mm,白色框区域为雨区)

图 3 显示了“山竹”期间 CMORPHGC 与 V6B IMERG 之间关于累积降水量的对比散点图。中国大陆和华南雨区的 CC 分别达到 0.64~0.74 和 0.54~0.64,而华东雨区 CC 下降至 0.28~0.34。中国大陆和华南雨区的 IMERG_FR 均体现了较高 CC,而 IMERG_ERUnCal 在准实时产品中表现较好;华东雨区的 IMERG_LRUUnCal 和 IMERG_FRCaI 则显示相对较高的 CC。中国大陆的 RB 最小(−3.08%~2.51%),华南华东雨区的 RB 较大(分别为−30.58%~−9.74%、6.23%~45.45%),可见 IMERG 均低估(高估)了华南(华东)降水强度。同时,中国大陆中 IMERG_ERUnCal 表现出最小的 RB (−1.10%)、华南华东雨区均在 IMERG_FRCaI 时最小,RB 分别为−9.74%和 6.23%。除 IMERG_FR,IMERG_ERUnCal 在中国大陆和华东雨区的 RB 均低于 IMERG_LRUUnCal。在 FSE 上,中国大陆和华南雨区的 FSE 均在 28~40 之间,而华

东雨区 FSE 介于 51.03~90.07 之间,IMERG_FRCaI 在这三者均表现出最低的 FSE,而在准实时产品中,IMERG_ERUnCal 在中国大陆和华东雨区的 FSE 较小而在华南雨区较大。在 RMSE 中,各 IMERG 在中国大陆的 RMSE 均低于华南华东雨区,三者的 RMSE 范围分别为 15.52~18.04mm、40.76~47.97mm 和 43.54~57.84mm,且均在 IMERG_FRCaI 体现最小的 RMSE。

总之,IMERG 对中国大陆的降水评估表现最好,华南雨区次之而华东雨区最差,说明 IMERG 对中国大陆的降水评估主要来源于华南雨区,对华南台风强降雨的辨识能力强于华东非台风强降雨。其中 IMERG_FRCaI 表现最好,而在准实时产品中,IMERG_ERUnCal 的总体降水评估能力优于 IMERG_LRUUnCal,说明延时较短的 IMERG_ERUnCal 和经过校正的 IMERG_FRCaI 均有利于降水评估。

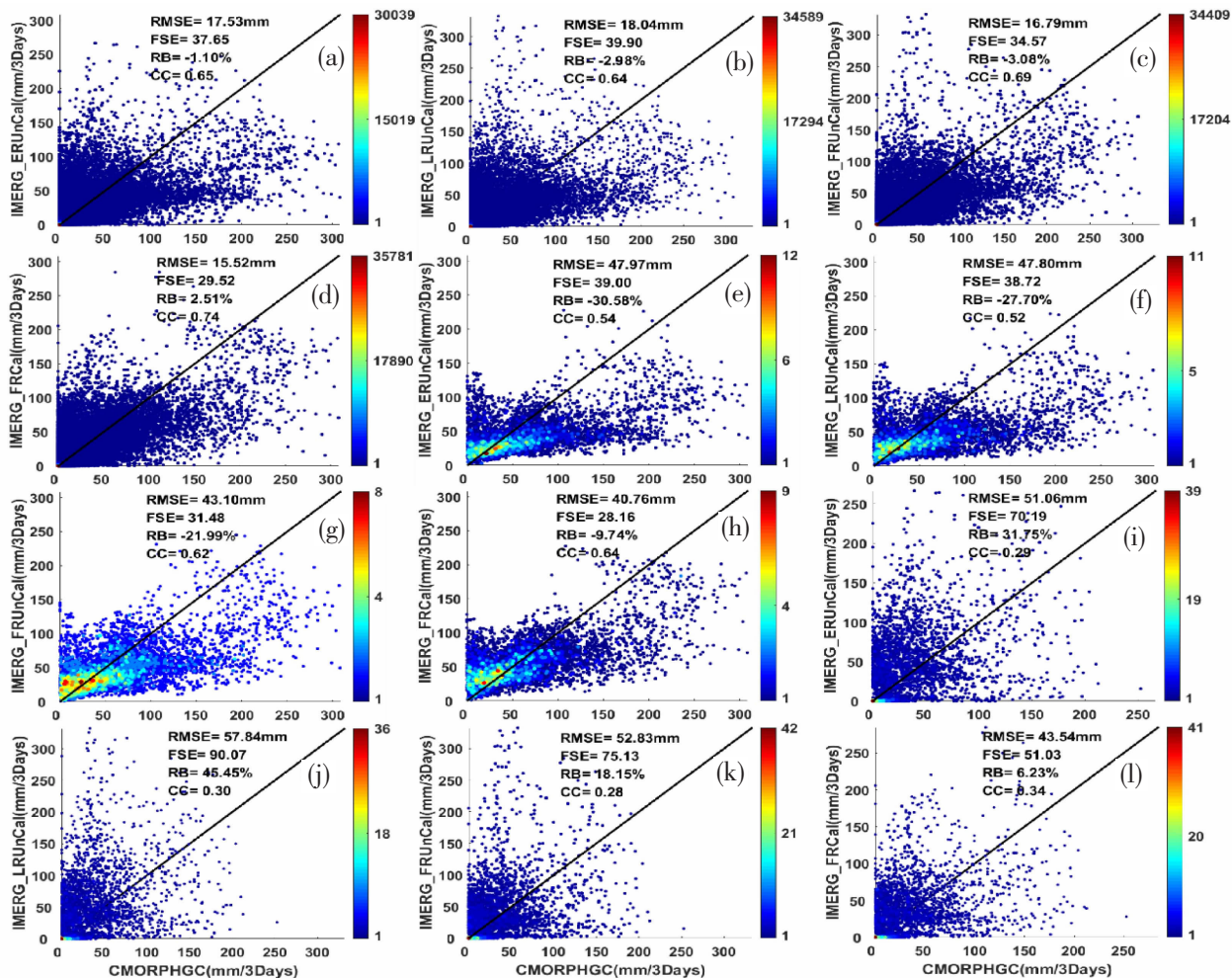


图3 台风“山竹”过程中中国大陆(a-d)、华南雨区(e-h)和华东雨区(i-l)的降水量散点分布图

2.2 时序分布特征

降水短时变化对水文循环至关重要^[22]。图4显示了IMERG在“山竹”影响期间三个区域的每小时平均降水趋势与CMORPHGC比较,均具有很高的CC,达到0.9以上。在中国大陆区域(图4a)中,IMERG峰值位置与变化趋势同CMORPHGC基本保持一致,均在36时附近达到峰值,但雨量在18时以后逐渐小于CMORPHGC,所有IMERG变化趋势很相似,但IMERG_FRCal变化较稳定且更接近于

CMORPHGC,而在准实时产品中,IMERG_LRUncal的表现优于IMERG_ERUnCal。华南雨区中(图4b),CMORPHGC和IMERG估测雨量从18时开始,IMERG的第一高峰滞后于CMORPHGC并在中后期稍保持一致,但降雨量仍小于CMORPHGC,其中IMERG_FRCal在所有IMERG中表现最佳而IMERG_LRUncal在准实时产品中较可靠。在华东雨区(图4c)中,IMERG峰值和雨量大小变化与CMORPHGC具有较高的吻合度,并可捕获到两个降

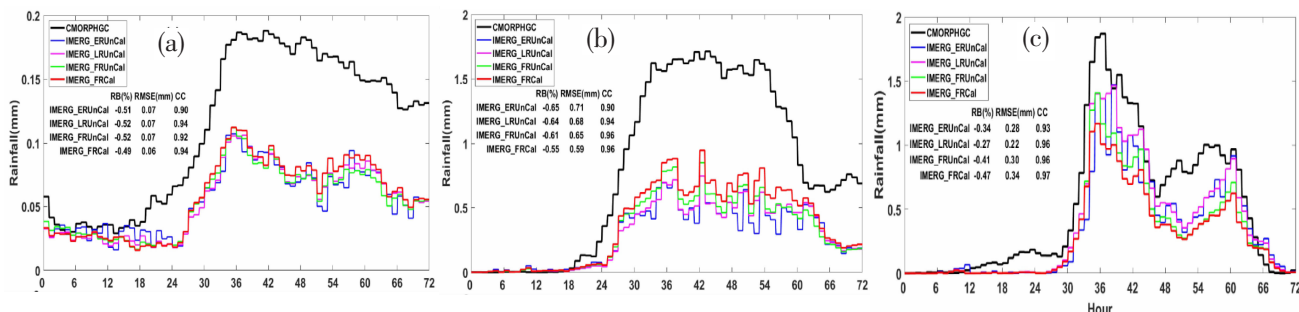


图4 在台风“山竹”影响期间中国大陆(a)、华南雨区(b)和华东雨区(c)的逐时雨量变化

雨峰值,而IMERG_FRCal严重低估了区域平均降水(雨量与CMORPHGC相差最大,RB和RMSE也均最大),IMERG_LRUnCal则表现最佳,与CMORPHGC的变化趋势最接近。可看出,IMERG在华南雨区的时序分布特征对中国大陆提供了很大贡献,在华东雨区能很好捕获降水的时序分布特征。同时,IMERG产品中,中国大陆和华南雨区的IMERG_FRCal表现最佳,而淮实时产品中,IMERG_LRUnCal在三者表现最可信,说明增加后向推演的IMERG_LRUnCal和校正后的IMERG_FRCal能较好体现降水时序分布特征。

2.3 分级检验特征

分级降水检验通常用POD、FAR和CSI来量化QPE产品评估分析^[12]。图5给出了中国大陆、华南华东雨区的分级检验特征。

结果表明,三个区域的POD及CSI随着雨量增加而下降,而FAR随着量级增加而增加。当降雨量小于 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,三者POD数值分别为20%~50%、

30%~70%和15%~35%,CSI分别为5%~20%、5%~35%和5%~20%,FAR分别为70%~90%、60%~90%和70%~90%。当降雨量大于 $10\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时,三者CSI均趋近于0且FAR均趋近于1。其中,中国大陆和华东雨区的POD在大于 $30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时趋近于0,而华南雨区的POD在大于 $20\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时趋近于0。可见,IMERG在三者的降雨量小于 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时表现较佳的降雨评估能力,且在华南台风降雨区的POD和CSI都偏高而在华东雨区的POD和CSI都显著偏低,说明IMERG对华南台风降雨区的估测能力优于华东非台风降雨区,同时可知IMERG对中国大陆降雨的估测误差主要来源于华东降水区的偏低估测。中国大陆和华南雨区中,IMERG_FRCal拥有较高POD和CSI以及最小的FAR,而华东雨区中,IMERG_LRUnCal的POD和CSI均较高且FAR最低,说明了IMERG_FRCal对台风降雨有较好的捕捉能力,而IMERG_LRUnCal可较好估测华东地区降雨。

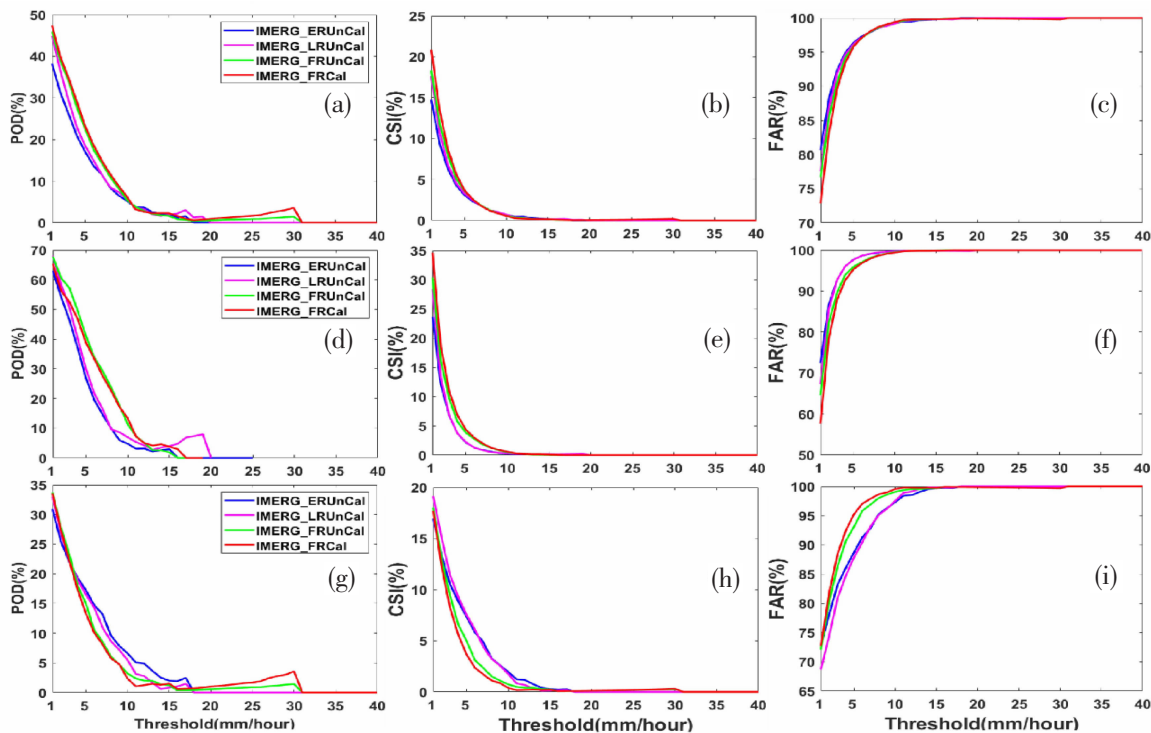


图5 台风“山竹”过程中中国大陆(a-c)、华南雨区(d-f)和华东雨区(g-i)分级降水检验图

2.4 概率分布特征

总降水量取决于降水过程的持续时间也取决于降水率^[23]。本研究中降水率是“山竹”降水过程的逐小时雨量累加。降水率的概率分布函数(Probability

Distribution Function, PDF) 提供了降水产品错误分布的重要信息。图6显示了中国大陆、华南华东雨区的降水发生率PDFc、累积降雨量PDFv和每小时降雨量PDFv_mean的概率分布情况。当降水率小于

1mm·h⁻¹ 时, 三者 IMERG 均显著高估 PDFc 并轻微高估 PDFv, 其中中国大陆和华南雨区的 IMERG_LRUnCal 和 IMERG_FRUnCal 的 PDFc 较接近于 CMORPHGC, 而华东雨区的各 IMERG 表现均相当, 且三者 PDFv_mean 均趋于 0。当降水率大于 1mm·h⁻¹ 时, 三者 IMERG 均低估 PDFc 和 PDFv, 而 PDFv_mean 与 CMORPHGC 基本保持同步调变化。具体来说, 降水率大于 5mm·h⁻¹ 时, IMERG 对降雨评估能力明显降低, PDFc 和 PDFv 随降水率增加而降至为 0, 但 PDFv_mean 随降水率增加而渐增, 其中中国大陆和华东雨区的 IMERG_ERUnCal、IMERG_FRCaI 表现较好并在降水率大于 30mm·h⁻¹

时依然能反映 PDFv_mean 概率分布, 而华南雨区的降水率在 20~30mm·h⁻¹ 时, 仅 IMERG_ERUnCal 和 IMERG_FRUnCal 能反映 PDFv_mean 并在降水率大于 30mm·h⁻¹ 时, IMERG 产品估测失效。此时, 华东雨区在降水率大于 25mm·h⁻¹ 时, 仅 IMERG_ERUnCal 和 IMERG_FRCaI 可观测 PDFv_mean 降水。由此得, IMERG 对 PDFc 和 PDFv 的探测主要集中在降水率小于 5mm·h⁻¹ 时, 且较好体现了 PDFv_mean 的概率分布, 但在降水率大于 30mm·h⁻¹ 时, 华东雨区的 IMERG_ERUnCal 和 IMERG_FRCaI 评估能力较强而中国大陆和华南雨区的 IMERG 探测能力不足。

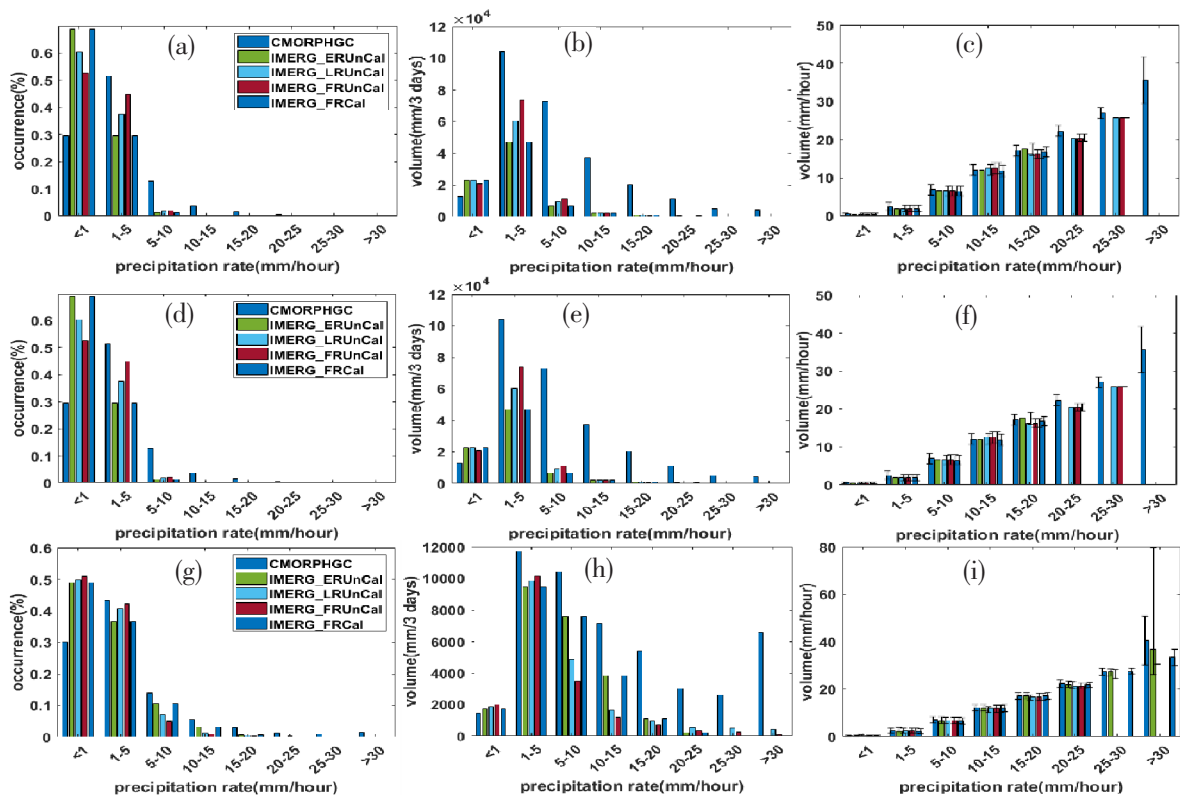


图6 台风“山竹”过程中中国大陆(a-c)、华南雨区(d-f)和华东雨区(g-i)的概率分布特征

3 结论与讨论

使用最新 V6B IMERG 产品对台风“山竹”在中国大陆进行了降水定量评估。分析得到如下结论:

(1)在空间分布特征中,所有 IMERG 产品均能基本反映台风期间降水量的空间分布。IMERG 对中国大陆的降水评估表现最好,对华南台风强降雨的辨识能力比华东地区强降雨较强。其中,IMERG_FRCaI 表现最好。而在准实时产品中,IMERG_ERUnCal 总

体降水估测能力较优,延时较短的 IMERG_ERUnCal 和校正后的 IMERG_FRCaI 有利于降水评估。

(2)在时序分布特征中,所有 IMERG 产品在每小时降水尺度上均具有较高 CC 和较低 RB。中国大陆和华南雨区的 IMERG_FRCaI 表现最佳,而准实时产品中,IMERG_LRUnCal 表现最可信,可见增加后向推演的 IMERG_LRUnCal 和同时校正的 IMERG_FRCaI 能较好体现降水时序分布特征。

(3)在分级检验特征方面,所有 IMERG 都呈现

逐渐下降的 POD 和 CSI 的趋势, FAR 则随着降雨量的增加而渐增。当降雨量小于 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, IMERG 在三个区域均表现了较佳的降雨探测能力, 其中 IMERG 对华南台风降雨区的估测能力优于华东台风降雨区, 且 IMERG_FRCal 能很好反映台风降雨评估, 而 IMERG_LRUncal 可较好估测华东非台风降雨。

(4) 在概率分布特征方面, IMERG 对 PDFc 和 PDFv 的探测主要集中在降水率小于 $5\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, 且较好地体现了 PDFv_mean 的概率分布, 而在降水率大于 $30\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 时, 华东雨区的 IMERG_ERUnCal 和 IMERG_FRCal 评估能力较强, 而中国大陆和华南雨区的 IMERG 探测能力不足。

本研究较为详细地评估了基于台风“山竹”期间多种不同 IMERG 产品在中国大陆、华南雨区和华东雨区的降水情况。然而, 目前的卫星降雨产品在分辨率和精度方面仍有一定的局限性, 特别是对于这么强的台风^[10]。此外, 卫星降水产品具有季节性的特征, 夏秋两季比春冬两季的表现相对较好, 在冬季甚至可能不可靠, 仍需进一步提高 GPM 对微量降水和固态降水及台风降水的探测能力^[24]。面对强台风降水, 基于其他算法得到的卫星降水产品在本研究没有参与, 可在未来研究做进一步分析。

参考文献:

- [1] Yang J, Li L, Zhao K, et al. A Comparative Study of Typhoon Hato (2017) and Typhoon Mangkhut (2018) - Their Impacts on Coastal Inundation in Macau[J]. Journal of Geophysical Research-Oceans, 2019, 124(12): 9590-9619.
- [2] 中国水产频道. “风王”山竹 2018 年以来体积最大的台风! 直径达 1000 公里以上, 可把广东、海南全装进去 [EB/OL]. <http://www.fishfirst.cn/article.php aid=105485>.
- [3] Hong Y, Hsu K-L, Sorooshian S, et al. Precipitation estimation from remotely sensed imagery using an artificial neural network cloud classification system [J]. Journal of Applied Meteorology, 2004, 43(12): 1834-1853.
- [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): 487-503.
- [5] 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.
- [6] Anjum M N, Ding Y, Shangguan D, et al. Performance evaluation of latest integrated multi-satellite retrievals for Global Precipitation Measurement (IMERG) over the northern highlands of Pakistan[J]. Atmospheric Research, 2018, 205: 134-146.
- [7] Liu Z. Comparison of integrated multisatellite retrievals for GPM (IMERG) and TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) monthly precipitation products: initial results [J]. Journal of Hydrometeorology, 2016, 17(3): 777-790.
- [8] Chen F, Li X. Evaluation of IMERG and TRMM 3B43 monthly precipitation products over mainland China [J]. Remote Sensing, 2016, 8(6): 472.
- [9] Tang G, Ma Y, Long D, et al. Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version -7 legacy products over Mainland China at multiple spatiotemporal scales [J]. Journal of hydrology, 2016, 533: 152-167.
- [10] Chen S, Hong Y, Cao Q, et al. Performance evaluation of radar and satellite rainfalls for Typhoon Morakot over Taiwan: Are remote-sensing products ready for gauge denial scenario of extreme events? [J]. Journal of Hydrology, 2013, 506: 4-13.
- [11] Omranian E, Sharif H O, Tavakoly A A. How well can global precipitation measurement (GPM) capture hurricanes? case study: Hurricane Harvey [J]. Remote Sensing, 2018, 10(7): 1150.
- [12] Huang C, Hu J, Chen S, et al. How Well Can IMERG Products Capture Typhoon Extreme Precipitation Events over Southern China? [J]. Remote Sensing, 2019, 11(1): 70.
- [13] Sungmin O, Foelsche U, Kirchengast G, et al. Evaluation of GPM IMERG Early, Late, and Final rainfall estimates using WegenerNet gauge data in southeastern Austria[J]. Hydrology Earth System Sciences, 2017, 21(12).
- [14] Guo H, Chen S, Bao A, et al. Comprehensive Evaluation of High-Resolution Satellite-Based Precipitation Products over China[J]. Atmosphere, 2015, 7(1): 6.
- [15] Chen S, Yang H, Cao Q, et al. Similarity and Difference of the Two Successive V6 and V7 TRMM Multi satellite Precipitation Analysis Performance over China[J]. Journal of Geophysical Research-atmospheres, 2013, 118(23): 13060-13074.
- [16] 巢清尘, 巢纪平. 影响中国及关键经济区热带气旋降水的气候趋势及极端性特征[J]. 大气科学学报, 2014(6): 1029-1040.
- [17] Shen Y, Zhao P, Pan Y, et al. A high spatiotemporal

- gauge-satellite merged precipitation analysis over China [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2014, 119(6): 3063–3075.
- [18] Huffman G J, Bolvin D T, Nelkin E J, et al. Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM (IMERG) Technical Documentation[G]. NASA/GSFC, 2019: 1–55.
- [19] 肖柳斯, 张阿思, 闵超, 等. GPM 卫星降水产品在台风极端降水过程的误差评估 [J]. *高原气象*, 2019, 38(5): 993–1003.
- [20] Zhang A, Xiao L, Min C, et al. Evaluation of latest GPM-Era high-resolution satellite precipitation products during the May 2017 Guangdong extreme rainfall event [J]. *Atmospheric Research*, 2019, 216: 76–85.
- [21] 中国天气网. 专家解读台风山竹并非登陆广东最强台风 [EB/OL]. <http://news.weather.com.cn/2018/09/2937054.shtml>.
- [22] Chen S, Hu J, Zhang A, et al. Performance of near real-time Global Satellite Mapping of Precipitation estimates during heavy precipitation events over northern China [J]. *Theoretical Applied Climatology*, 2018, 135(3–4): 877–891.
- [23] 王佳津, 陈朝平, 龙柯吉, 等. 四川区域暴雨过程中短时强降水时空分布特征 [J]. *高原山地气象研究*, 2015, 35(1): 16–20.
- [24] 陈汉清, 鹿德凯, 周泽慧, 等. GPM 降水产品评估研究综述 [J]. *水资源保护*, 2019, 35(1): 27–34.

Performance assessment of satellite-based quantitative precipitation estimation during Typhoon Mangkhut

Li Xiaoyu^{1,2}, Chen Sheng^{3,4}, Liang Zhenqing^{1,2}, Huang Chaoying^{3,4}

(1. Ministry of Education on Environmental Evolution and Resource Utilization in Beibu Gulf, Nanning Normal University, Nanning Guangxi 530001; 2. Nanning Normal University, Ministry of Education, Nanning Guangxi 530001; 3. School of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Zhuhai Guangdong 519000; 4. Key Laboratory of Climate Change and Natural Disasters in Guangdong Province, Sun Yat-sen University, Zhuhai Guangdong 519000)

Abstract: Using the CMORPHGC data as the benchmark data, seven statistical indexes were used to compare and analyze the precipitation of V6B IMERG products in mainland China, South China and East China during Typhoon Mangkhut. The results show that (1) IMERG has better performance for typhoon heavy rainfall in southern China but shows a worse ability in estimating non-typhoon heavy rainfall in eastern China. (2) IMERG_FRCal outperforms other IMERG products in reflecting typhoon rainfall assessment. Among quasi-real-time products, the spatial precipitation assessment ability of IMERG_ERUnCal is better, while the temporal distribution characteristics of IMERG_LRUnCal and its estimation of rainfall caused by typhoon in East China are better. (3) IMERG mainly grasps precipitation detection when the rainfall rate is less than 5mm/h, but IMERG_ERUnCal and IMERG_FRCal show a strong evaluation capability when the rainfall rate is more than 30mm/h in mainland China and eastern China, while the IMERG products show an insufficient detection capability in the southern China. The latest version 6.0 IMERG products still have limitations in estimating precipitation errors during typhoon.

Key words: rainfall; IMERG; GPM; Typhoon Mangkhut