

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20221310

IMERG 降水卫星在贵州省三岔河流域 降水预报误差评估中的应用

曾莉萍¹, 梁振清², 陈 生^{3a,3b}, 李 峙^{4a,4b}, 朱慧琴^{4a,4b}

(1. 贵州省气象服务中心, 贵州 贵阳 550001; 2. 广西壮族自治区气象技术装备中心, 广西 南宁 530022; 3. 中国科学院西北生态环境资源研究院黑河遥感站; b. 西北生态环境资源研究院甘肃省遥感重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 4. 南宁师范大学 a. 地理科学与规划学院; b. 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西 南宁 530001)

摘要: 以贵州省三岔河流域为研究区域, 利用 2018 年 1 月 1 日~2020 年 12 月 31 日期间的 76 个气象站观测数据评估全球降水观测计划多卫星降水产品 IMERG(Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM)的雨量站订正产品 IMERG Final Run (IMERG_FR) 和准实时产品 IMERG Early Run (IMERG_ER) 在岩溶地貌的小流域的降水观测准确度, 通过设定不同的降水阈值评估 IMERG 两种降水产品 IMERG_FR 和 IMERG_ER 对不同降水量区间的探测能力, 评估指标包括相关系数 (C_{CC})、相对偏差 (R_{RB})、均方根误差 (R_{RMSE})、探测率 (P_{POD})、临界成功指数 (C_{CSI}) 和误报率 (F_{FAR})。结果表明, 在整体上, IMERG_FR 和 IMERG_ER 在该小型流域有一定降水探测能力, 对降水强度的估算精度还存在提升空间。

关键词: GPM; IMERG; 卫星降水观测; 三岔河流域

中图分类号: TV125; P333

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)01-0010-04

1 概况

三岔河流域属于典型岩溶地貌, 位于贵州省西北部, 其岩溶作用使得该区域形成二元水文结构^[1]。该流域西北山较高, 地形复杂, 高程向东南逐步递减。流域内共有三个水文站, 从上游到下游分别为向阳、阳长、龙场桥水文站, 其中向阳、阳长、龙场桥水文站控制流域面积分别为 850、2 696、4 237 km², 三个流域皆处于亚热带季风性湿润气候区^[2]。我国的降水信息主要来源气象站等地面观测, 在地面观测站点分布稀疏的情况下, 空间连续性表现不好, 难以准确反映该地区的实际降水分布情况。天气雷达的探测结果容易受山体 and 高层建筑物的影响, 而降水遥感卫星则具有时空分辨率高、连续性好、观测覆盖范围广等优点^[3]。研究发现^[4-6], IMERG 在全球范围的不同地区具有不同的表现, 且在水文模拟、极端降水事件建模及气象相关领域运用广泛, 因此验证其准

确性至关重要。为此, 本文基于贵州省三岔河流域 2018 年 1 月 1 日~2020 年 12 月 31 日期间 6 个气象站观测数据对 IMERG 的降水产品进行验证分析, 探究其降水估算在岩溶地貌小流域地区的精度。

2 研究数据及方法指标

2.1 研究数据

采用数据时间段为 2018 年 1 月 1 日~2020 年 12 月 31 日, 包括三岔河流域内及其流域周边 76 个雨量站观测数据及 GPM 的三级降水产品 IMERG V06B 版本的 Final Run(简称 IMERG_FR)和 Early Run(简称 IMERG_ER)中经过校准后的降水资料。选择当日观测到降水雨量站数据进行验证, 雨量站在流域内的分布情况见图 1。

2.2 方法指标

采用地面数据作为验证数据集, 运用反距离权重的插值方法对雨量站进行插值, 形成与 IMERG 空间分辨率相同的栅格数据, 然后对

收稿日期: 2022-06-24, **修回日期:** 2022-08-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(41875182); 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室(南宁师范大学)开发基金(NNNU-KLOP-K2103)

作者简介: 曾莉萍(1984-), 女, 硕士、高级工程师, 研究方向为强对流天气分析及预报研究、数值模式检验、专业气象服务, E-mail: 163.fryh.kl@163.com

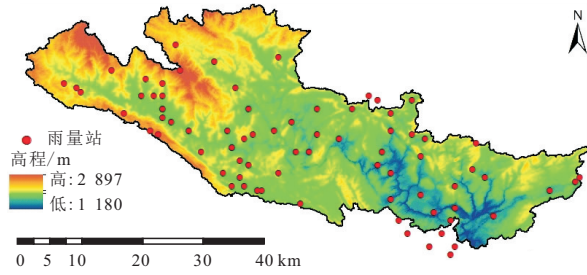


图 1 研究区域
Fig. 1 Study region

IMERG_FR 和 IMERG_ER 进行评估验证,分析不同时空尺度的误差。评估分析主要使用相关系数(C_{CC})、相对偏差(R_{RB})、均方根误差(R_{RMSE})、探测率(P_{POD})、误报率(F_{FAR})及临界成功指数(C_{CSI})。指标的表达式见表 1 (N 为样本数量; S_{at_n} 为 IMERG 产品的降水估算; $\overline{S_{at}}$ 为 IMERG 的平均降水估计; G_{G_n} 为雨量站降水观测值; $\overline{G_G}$ 为雨量站观测的平均降水估算; $S_{D_{Sat}}$ 为 IMERG 降水估计的标准偏差; $S_{D_{GG}}$ 为雨量站降水估计的标准偏差; C_{SG} 为地面雨量站和卫星都观测到降水的事件; C_G 为地面雨量站观测到的降水事件; M_S 为卫星未观测到的降水事件; C_S 为卫星观测到的降水事件; M_G 为雨量站未观测到的降水事件)。

表 1 降水验证指标

Tab. 1 Metrics for assessment

验证指标	表达式	范围	最优值
相关系数(C_{CC})	$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{(S_{at_n} - \overline{S_{at}})(G_{G_n} - \overline{G_G})}{(S_{D_{Sat}})(S_{D_{GG}})}$	$(-1) \sim (+1)$	+1
相对偏差(R_{RB})	$\sum_{n=1}^N (S_{at_n} - G_{G_n}) / \sum_{n=1}^N G_{G_n}$	$-\infty \sim +\infty$	0
均方根误差(R_{RMSE})	$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (S_{at_n} - G_{G_n})^2}$	$0 \sim +\infty$	0
探测率(P_{POD})	$C_{SG} / (C_{SG} + C_G M_S)$	$0 \sim 1$	1
误报率(F_{FAR})	$C_S M_G / (C_{SG} + C_S M_G)$	$0 \sim 1$	0
临界成功指数(C_{CSI})	$C_{SG} / (C_{SG} + C_S M_G + C_G M_S)$	$0 \sim 1$	1

3 结果与分析

3.1 降水空间分布特征

图 2 为雨量站插值和 IMERG 卫星在 2018~2020 年间的累积降水分布图。由图 2 可看出,三者探测到降水量的空间分布变化的总体趋势基本一致,均是从流域的下游东南部最大降水量向西北方向逐渐减少,在流域西北部上游地区的降水值明显最小。在整个流域内,IMERG_FR 的降水分布变化趋势较 IMERG_ER 要好,且 IMERG_FR 比 IMERG_ER 估算的降水强度高一些,但两个卫星产品估算的降水强度均远低于

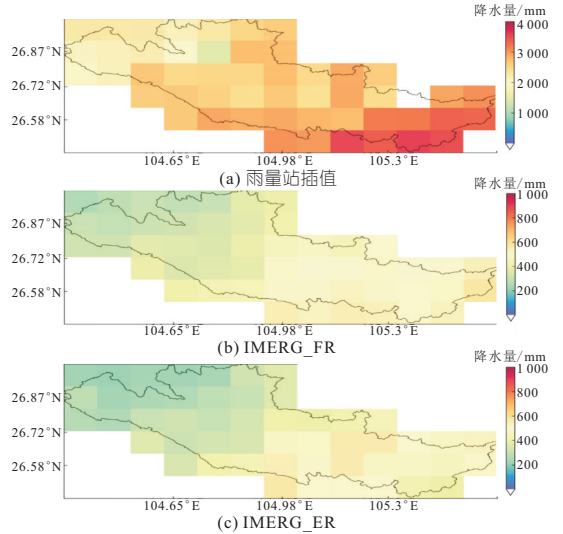


图 2 2018~2020 累积降水分布

Fig. 2 Cumulative precipitation distribution from 2018 to 2020 雨量站探测的降水。

图 3 为由观测到降水的雨量站所在的栅格与 IMERG 降水产品与之对应的栅格进行计算得到。通过高斯核密度函数计算点密度并用颜色标出,点密度较高的地方主要集中在降雨量在 40 mm 以下的横坐标轴和 10 mm 以下的纵坐标所框定的范围内,越是偏向雨量站观测所在的横轴,点的密度越高,说明 IMERG 的两种产品在降水强度上低估雨量站观测的栅格数量较多。在定量分析指标上,IMERG_FR 的相关系数达到了 0.49,比 IMERG_ER 的 0.44 高,IMERG_FR 相对偏差为 -84.21%,比 IMERG_ER 的 -85.4% 小,但彼此之间均相差不大,均远低估了雨量站观测的降水,这与图 2 展示的累积降水强度的分布中,IMERG 远低估雨量站降水强度的情况基本一致。总的来说,IMERG_FR 的表现比 IMERG_ER 略好,但各指标之间数值相差不大。IMERG_FR 的表现略好可能是因为使用了雨量站进行校正的原因。

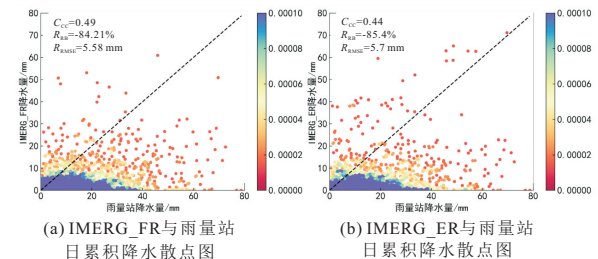


图 3 IMERG 累积降水量与雨量站日累积降水量散点图
Fig. 3 Scatter distribution of daily IMERG cumulative precipitation and daily cumulative precipitation of rainfall gauge observations

图 4 为使用反距离权重插值将雨量站插值形成与 IMERG 产品相同的分辨率大小的网格数据后进行定量分析的结果。由图 4 可看出,除了散

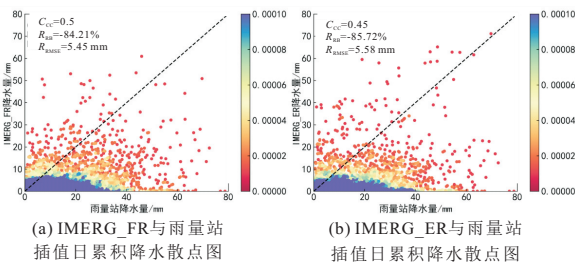


图4 IMERG 日累积降水量与雨量站插值的日累积降水量的散点图

Fig. 4 Scatter distribution of daily IMERG cumulative precipitation and daily cumulative precipitation of inverse distance weight interpolation of rainfall gauge observations

点变多之后,点密度的分布基本跟插值前的雨量站的点密度分布相同,点密度较高的点均处于坐标集合为 $\{x, y \mid x \in [0, 40], y \in [0, 10]\}$ 中。IMERG_FR 和 IMERG_ER 的相关性系数均有微小提升,前者从 0.49 变为 0.50,后者从 0.44 变为 0.45,这在一定程度上说明雨量站插值的效果较好。在降水强度方面,IMERG_FR 的相对偏差基本不变,而 IMERG_ER 相对偏差微小增大,低估了降水强度。这与图 2、3 所展示的降水情况相似。上述结果可能是因为 IMERG_FR 经过了雨量站校正,而校正后的数据更能反映实际降水的分布情况。因此在相关性上比未校正的 IMERG_ER 有所提升。

图 5 为 IMERG 月累积降水量与雨量站插值的月累积降水量的散点图,该图揭示了月尺度的 IMERG 累积降水与雨量站插值之间的差异性与相似性。在以月为尺度的降水观测上,IMERG 的两种产品与雨量站插值的联系所表现出的性能均有所提升,IMERG_FR 与雨量站插值相关性较高为 0.77。IMERG_ER 的相关性相对较低为 0.64。可能的原因是:①由于每日降水量经过累加过后,IMERG 产品中个别相差较大的栅格跟雨量站插值之间的差异没原来的显著,导致流域内 IMERG 的每个栅格与雨量站插值之间的相关性增加;② IMERG_FR 是用全球降水气候中心

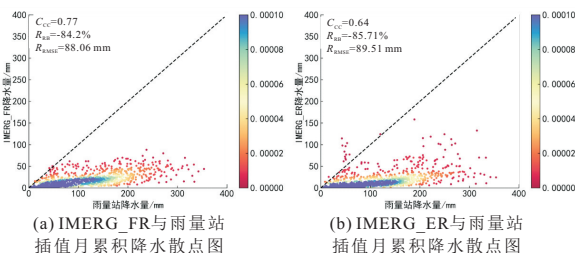


图5 IMERG 月累积降水量与雨量站插值的月累积降水量的散点图

Fig. 5 Scatter distribution of monthly IMERG cumulative precipitation and monthly cumulative precipitation of inverse distance weight interpolation of rainfall gauge

(GPCC)的月尺度的雨量站分析产品进行订正,这就导致在月尺度的相关性要比日尺度上的相关系数要高。图 5 中点的密度分布也能说明 IMERG 的两个产品与雨量站之间的相关性增加。但图 5 中密度高的点大多均集中分布在 1 : 1 对角线以下,这说明 IMERG 的两种产品对降水强度存在不小的低估。月尺度的 IMERG 所反映出来的降水情况会比日尺度更加符合实际。可看出与图 3、4 所反映的降水情况相似。

3.2 降水等级分类比较

图 6 为 IMERG 与雨量站插值在不同降水区间内的降水发生率和累积的降水量。由图 6(a) 可看出,IMERG_FR、IMERG_ER 降水产品和雨量站插值的降水数据在该流域内观测到的降水事件的降水量大于 0 mm,小于 1 mm 的较多,在此降水区间捕捉到的降水事件较雨量站偏多,在所有降水区间的占比超过 80%,雨量站的占比仅有 60%,IMERG_ER 最多。IMERG_FR 几乎全部低估了降水量大于 30 mm 以上的降水事件。但通过图 6(a)所反映的数据可看出,IMERG_FR 对降水量大于 30 mm 以上的降水事件虽少,但其在此区间探测到的降水事件的累加降水量有 2 000 mm 左右,比 IMERG_ER 偏小。而在此区间前的每个区间,IMERG_FR 探测到的降水事件的累加降水量皆略大于 IMERG_ER。这可能是由于 IMERG_FR 用来做校准的雨量站所探测的降水强度较小所致。雨量站插值在所有降水区间的累加降水量均远大于 IMERG 两种产品。结合图 2~5,不难分析出这导致图 2 中 3 年的累加降水量中,雨量站的降水强度均远大于 IMERG_FR 和 IMERG_ER,而在定量分析中,IMERG_FR 的相对偏差略小于 IMERG_ER。

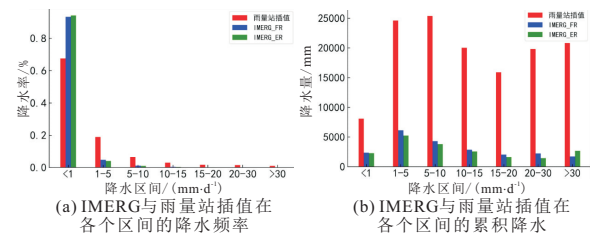


图6 IMERG 与雨量站插值的降水频率与各个区间的累积降水

Fig. 6 Precipitation frequency between IMERG and interpolated by rainfall gauge and their cumulative precipitation in range less than 1 mm/d, 1-5 mm/d, 5-10 mm/d, 10-15 mm/d, 15-20 mm/d, 20-30 mm/d and greater than 30 mm/d

图 7 为 IMERG 两种降水产品在不同降水阈值上的探测率、临界成功指数、误报率之间的变化关系。由图 7 可看出,IMERG 的探测率在降水量低于 1 mm 维持最高水平,之后开始逐渐下降。

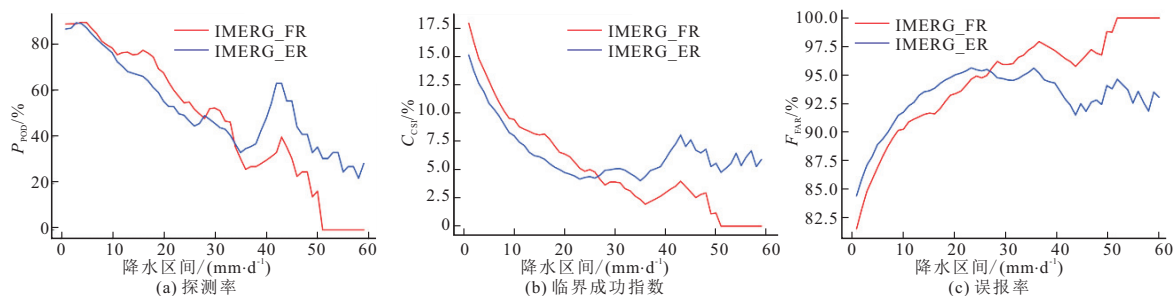


图 7 IMERG 和雨量站插值在不同降水阈值的探测率、临界成功指数以及误报率
Fig. 7 Curve of P_{POD} , C_{CSI} and F_{FAR} between IMERG and interpolated by rainfall gauge at precipitation thresholds at range 0 mm/d to 60 mm/d

整体上,IMERG_FR 基本低估 50 mm 以上的降水量,而 IMERG_FR 在降水阈值为 27 mm 以下,探测率、临界成功指数、误报率所反映的性能均比 IMERG_ER 要高。从图 7 中可知,降水量在 27 mm 以下的降水事件能被测到。因此,整体上 IMERG_ER 估算的降水比 IMERG_FR 稍差。

4 结论

a. 采用经过全球降水气候学中心(GPCC)的月尺度雨量站降水分析产品校正后的 IMERG_FR 和 IMERG_ER 卫星降水产品与贵州地面雨量站观测进行对比验证。经过校正后的 IMERG 0.5 h 降水产品在此流域的表现较优,且能一定程度上反映地区的降水空间分布情况。在月尺度上,经过雨量站校准后的 IMERG 0.5 h 产品与地面观测有更高的相关性。

b. 由于 IMERG 卫星在降水强度上的估算偏差较大,因此在该流域内对河流进行水文模拟和分析时会引起很大的误差和不确定性。

c. 根据目前已有的相关研究资料可看出,

IMERG 更适用于范围较大的流域使用,而对小流域的降水强度探测能力有限,因此需谨慎使用。随着 IMERG 不断提高探测精度,未来有望在小流域地区提供更加准确的降水资料。

参考文献:

- [1] 高江波,王欢. 基于 GWR 模型的喀斯特地区产流量与土壤侵蚀权衡的时空特征——以贵州省三岔河流域为例[J]. 山地学报, 2019, 37(4): 518-527.
- [2] 焦树林,刘丽,孙婷,等. 三岔河流域水文特征与化学风化碳汇效应[J]. 地理研究, 2013, 32(6): 1025-1032.
- [3] 朱慧琴,陈生,李晓俞,等. GPM 卫星降水产品在“7·21”河南极端暴雨过程中的误差评估[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(1): 1-13.
- [4] 刘若兰,江善虎,任立良,等. 全球降水观测计划 IMERG 降水产品对中国大陆极端降雨监测能力评估[J]. 中国农村水利水电, 2021(4): 57-63.
- [5] 孙桂凯,魏义熊,王亚芳,等. IMERG 卫星降水产品融合校准及其水文效用[J]. 水电能源科学, 2021, 39(11): 23-26.
- [6] 石琳,杨春生,卫林勇,等. IMERG 卫星降水产品实时监测黄河流域干旱效用分析[J]. 水电能源科学, 2021, 39(6): 9-11, 24.

Assessing Accuracy of IMERG in Precipitation Forecast of Sancha River Basin in Guizhou Province

ZENG Li-ping¹, LIANG Zhen-qing², CHEN Sheng^{3a,3b}, LI Zhi^{4a,4b}, ZHU Hui-qin^{4a,4b}

(1. Meteorological Service Center of Guizhou Province, Guiyang 550001, China; 2. Meteorological Technology and Equipment Center of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530022, China; 3a. Heihe Remote Sensing Experimental Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources; 3b. Key Laboratory of Remote Sensing of Gansu Province, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 4a. School of Geographic Science and Planning; 4b. Key Laboratory of Beibu Gulf Environmental Evolution and Resource Utilization, Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning 530001, China)

Abstract: Rainfall observations derived from 76 ground rainfall gauges from January 1, 2018 to December 31, 2020 were used to evaluate the accuracy of IMERG Final Run (IMERG_FR) and IMERG Early Run (IMERG_ER) in IMERG (Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM) products over the small Sancha River basin in Guizhou Province. This study aimed to explore the precipitation detection capacity of IMERG_FR and IMERG_ER on different time scales. Metrics for assessment include correlation coefficient(C_{CC}), relative bias (R_{RB}), root-mean-squared error (R_{RMSE}), probability of detection(P_{POD}), false alarm ratio (F_{FAR}), critical success index(C_{CSI}). The performance of IMERG was assessed at different time scale with different precipitation thresholds. The results show that the IMERG_FR and IMERG_ER have a certain precipitation detection ability in the small basin on the whole, and it still needs to improve the accuracy of IMERG products in estimating precipitation intensity.

Key words: GPM; IMERG; satellite precipitation observation; Sancha river basin in Guizhou