

月尺度 IMERG 降水产品在广西的精度评估

杨绍镔¹, 陈燕丽², 谢国雪¹, 黄启厅^{1*}

(1. 广西壮族自治区农业科学院农业科技信息研究所, 南宁 530007; 2. 广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022)

摘要: 为评估月尺度 IMERG (V06) 降水产品在广西地区的精度, 将广西划为少雨区 (年均降水量 $\leq 1\,300\text{ mm}$, I区)、中雨区 (年均降水量 $1\,300\sim 1\,700\text{ mm}$, II区)、多雨区 (年均降水量 $> 1\,700\text{ mm}$, III区) 3个区域, 以 91个观测站 2001—2020年逐月降水量为参考, 采用相关系数 (correlation coefficient, CC)、均方根误差 (root mean square error, RMSE) 和相对偏差 (relative error, RE) 3个定量指标, 从不同空间尺度、时间尺度、降水量区间等维度分析 Early、Late、Final 系列产品的精度特征。结果发现: 1) Early、Late 产品精度特征相似, 整体上低估降水; 而 Final 产品整体高估降水。2) 降水量增加引起各系列产品 CC 下降、RMSE 上升、RE 下降; Early、Late、Final 产品对月降水量估测的偏差阈值分别为 271、272 和 351 mm, 实测月降水量低于该阈值时被高估, 反之则被低估。3) IMERG 产品在降水量多的区域相关性更强, 离散度更高, 在 I、II 区表现为高估, 在 III 区表现为低估。4) 产品精度在降水较少的旱季和旱年更高; Early、Late 产品在秋季表现相对较好, 但有较明显的低估; Final 产品在冬季表现最佳。5) 年际间, Final 产品精度有下降趋势, Early、Late 产品估测偏差愈发趋向高估。综上所述, 广西地区月尺度 IMERG 产品精度受降水量影响显著, 在不同地区、不同时段存在较大差异, 应用时需针对具体区域、时间评估其精度局限性。

关键词: 降水; 遥感; IMERG; 广西; 精度评估

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202403095

中图分类号: P339

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2024)-20-0129-09

杨绍镔, 陈燕丽, 谢国雪, 等. 月尺度 IMERG 降水产品在广西的精度评估[J]. 农业工程学报, 2024, 40(20): 129-137.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202403095 <http://www.tcsae.org>

YANG Shao'e, CHEN Yanli, XIE Guoxue, et al. Evaluating the precision of monthly IMERG precipitation products in Guangxi of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2024, 40(20): 129-137. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202403095 <http://www.tcsae.org>

0 引言

降水是地球气候系统的重要组成部分^[1], 其时空分布深刻影响农业、水文、气候等多个领域^[2]。传统的地面观测能够准确获取点尺度降水, 但存在站点分布不均、覆盖范围有限等缺陷, 难以捕捉降水时空分布特征^[3-4]。卫星遥感技术以其探测范围广、周期短等优势, 有效弥补了传统观测在时空上的局限, 已成为监测区域降水的重要手段^[5-6]。由美国 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 和日本 JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) 共同研制的全球降水测量计划 (global precipitation measurement, GPM) 于 2014 年开始实施, 在继承热带降雨观测任务 (tropical rainfall measuring mission, TRMM)^[7-8] 探测大中型降水能力的基础上, 加强了固态降水和微量降水 ($< 0.5\text{ mm/h}$) 探测, 并进一步提升了降水产品的覆盖范围和时空分辨率^[2,9]。IMERG (integrated multi-satellite retrievals for GPM)^[10] 作为 GPM 的主流降水产品, 在 V06 版本中提供 Early、

Late 和 Final 三个系列产品, 其中 Early、Late 产品发布最小延迟仅 4 和 14 h, 较好满足了水文气象等研究的时效性要求^[1,11]; Final 产品分布延迟至 3.5 个月^[12], 由于经过了全球降水气候中心 (global precipitation climatology centre, GPCC) 站点资料校正, 其精度优于前二者^[13]。众多研究结果表明, IMERG 产品能较好反映降水分布特征^[14-15], 对小时、日等短历时降水探测具有良好适用性^[15-17], 已在水文、灾害等领域得到广泛应用^[18-19]。但其精度受地形、天气等因素影响, 在不同区域、季节和时间尺度上存在较大差异^[17,20-22], 应用时需进行充分的精度评估。

广西地处东亚季风区域, 受亚热带季风气候和热带季风气候影响, 雨热同期, 降水丰沛但时空分布不均, 季节性干旱频繁^[23]。广西是中国重要的农业大省, 糖料蔗、桑蚕、柑橘等多个产业规模稳居全国第一^[24]。及时准确的降水监测对区域防灾减灾、农业生产管理具有重要意义。此前, 广西卫星降水评估多围绕 TRMM 产品开展^[25-26]。在针对 IMERG 产品的研究中, 精度较高的 Final 产品受到更多关注, 而 Early、Late 产品的分析尚显不足^[21,27], 对农业生产、灾害评估等时效性要求较高的领域应用仍缺乏足够支持。此外, 大量研究结果表明, 降水量对 IMERG 产品精度影响显著^[11,21,28-29], 而广西地区降水量时空差异明显, 为了更精准把握 IMERG 产品在广西特定环境下的表现, 有必要对其进行更细致的精度评估。为此, 本研究面向农业生产、旱灾评估等对累积

收稿日期: 2024-03-14 修订日期: 2024-07-30

基金项目: 广西科技重大专项 (桂科 AA22036002, 桂科 AB20159022); 广西农业科学院科技发展基金项目 (桂农科 2022JM46, 桂农科 2021ZX03)

作者简介: 杨绍镔, 博士, 副研究员, 研究方向为农业与生态遥感应用。

Email: yangshe88@126.com

*通信作者: 黄启厅, 博士, 副研究员, 研究方向为农业遥感应用。

Email: 155287415@qq.com

降水的应用需求^[18,30],以广西 91 个地面观测站 2001—2020 年逐月降水量为基准,采用 3 个定量评价指标,根据降水量特征将广西划分为 3 个雨区,从不同空间尺度、时间尺度、降水量区间等维度,分析 IMERG 3 个系列月尺度降水产品的精度特征,探讨其精度变化规律及原因,以期 IMERG 产品在广西地区的应用提供参考,亦为其他类似复杂降水条件下的地区提供借鉴。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

广西位于中国南部,界于东经 104°26′~112°04′,北纬 20°54′~26°24′之间,地处云贵高原东南边缘,地势西北高、东南低,呈西北向东南倾斜状,中部和南部多丘陵平地,总体是山地丘陵性盆地地貌(图 1)。

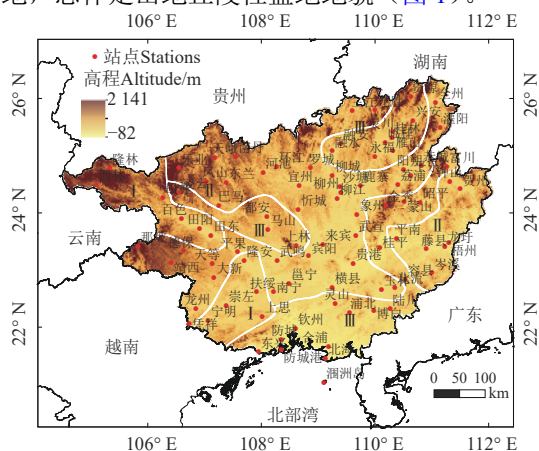


图 1 广西地形及观测站点位置

Fig.1 Guangxi topography and location of observation stations

广西是中国降水最丰富的地区之一,年降水量在 1 070 mm 以上,干湿季分明,雨季为 4—9 月,10 月至次年 3 月为旱季^[31]。降水的地域分布具有东部多西部少、丘陵山区多河谷平原少、夏季迎风坡多背风坡少的特点,多雨区位于玉林南部和沿海地区,大瑶山东侧昭平至金

秀一带,越城岭至元宝山东南侧永福至兴安一带,年降水量超过 1 700 mm;少雨区集中在以百色为中心的右江河谷及其上游的田林、隆林、西林一带,以宁明为中心的明江河谷和左江河谷至邕宁一带,年降水量在 1 300 mm 以下^[32]。

1.2 地面参考数据

本文采用的 2001—2020 年 91 个地面观测站逐月降水量由广西气象局提供,数据样本共计 19 472 个。为分析 IMERG 产品在不同降水背景下的精度特性,根据 2001—2020 年各站点年均降水量,参照广西气象局前期研究结果^[32-33],将广西划分为 3 个研究区:少雨区(I 区,年均降水量 $\leq 1\,300$ mm,站点数 11 个)、中雨区(II 区,年均降水量 $>1\,300\sim 1\,700$ mm,站点数 51 个)、多雨区(III 区,年均降水量 $>1\,700$ mm,站点数 29 个),区域划分及站点年均降水量如图 2 所示。

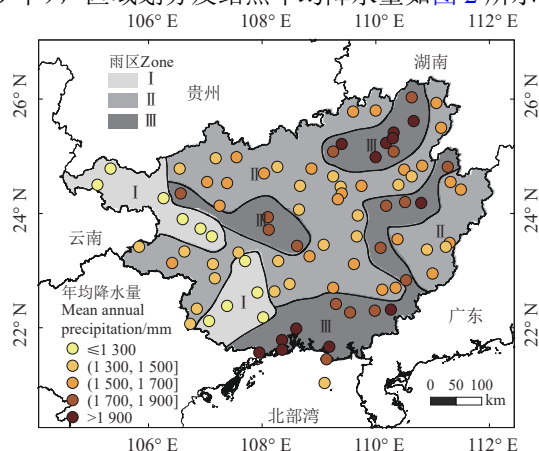


图 2 研究区分布及各站点年均降水量

Fig.2 Distribution of study zone and mean annual precipitation of stations

以 10 mm 为间隔进行降水量区间样本数量统计(图 3a)发现,广西各站点月降水量主要集中在 0~300 mm 区间,样本数量占样本总量的 90%。

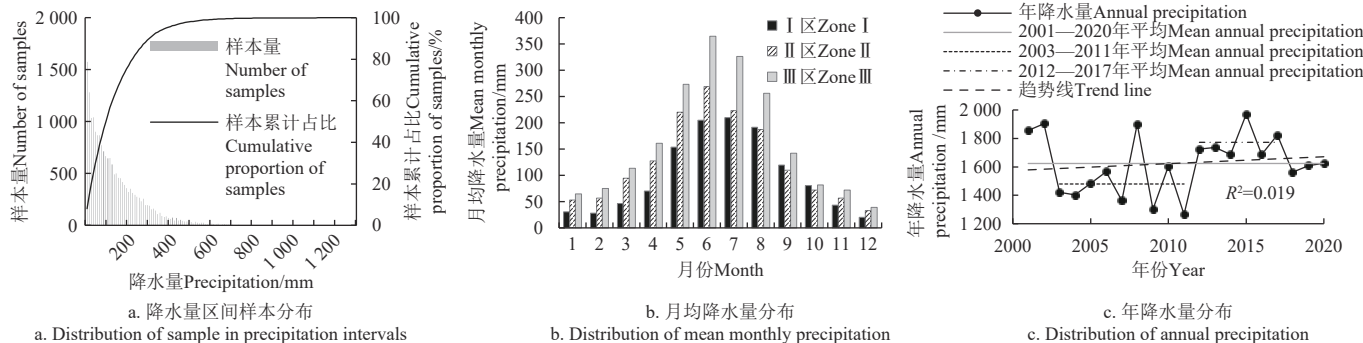


图 3 2001—2020 年逐月观测降水量统计结果

Fig.3 Statistical results of monthly observed precipitation from 2001 to 2020

此外, 0~100 mm 区间样本累计占比 50%, 0~600 mm 区间样本累计占比 99%。分析各月份及年度降水量(图 3b、3c)可知,广西月均降水量在 6 月最大,12 月最小,4—9 月累计降水量占全年的 72.9%。各月的月均降水量普遍在 I 至 III 区依次增加,但在 8—10 月 II 区低于 I 区和 III 区。2001—2020 年均降水量为 1 625 mm,

在 2003—2011 年出现阶段性偏少^[33],2012—2017 年阶段性偏多。年降水量整体呈上升趋势但与时间相关性较弱($R^2=0.019$),上升趋势不明显。

1.3 IMERG 产品

IMERG (V06) Early、Late 和 Final 降水产品从 NASA GPM 数据官网 <https://gpm.nasa.gov> 获取,统一采用

GeoTIFF 文件格式，图像空间分辨率均为 0.1°。根据官网提供的数据转换方法将图像数值换算成真实降水量。其中 Late 和 Final 系列采用官网发布的月累积降水产品。由于 Early 系列不发布月累积产品，本研究采用 Early 逐日产品累加合成 2001—2020 年逐月降水量。

1.4 精度评估指标

采用相关系数（correlation coefficient, CC）、均方根误差（root means square error, RMSE）和相对误差（relative error, RE）3 个定量评价指标^[9,21]分析 IMERG 产品的数据精度。其中 CC 反映 IMERG 降水数据与站点观测数据的线性相关程度；RMSE 量化 IMERG 降水数据与观测数据之间的离散程度，反映 IMERG 产品整体误差水平；RE 衡量 IMERG 降水数据对于观测数据的偏离程度，用于评估 IMERG 产品高估或低估降水的现象。

2 结果与分析

2.1 不同空间尺度精度评估

2.1.1 全区整体评估

表 1 给出了 IMERG 系列产品与全区 91 个地面站观测值进行对比分析的结果。3 个系列产品 CC 均超过 0.82，Final 产品 CC 达到了 0.904，各系列产品与观测数据具有较强的相关性。RMSE 分别为 79.7、78.8 和 57.2 mm，IMERG 产品离散度较高，数据误差存在较大的不确定性。RE 分别为-0.005、-0.009 和 0.069，Early、Late 产品整体偏向于低估降水，Final 产品则高估降水，且估测偏离程度大于 Early、Late 产品。总体上看，Final 产品精度

优于 Early 和 Late 产品，经过地面观测数据校准的 Final 产品提升了与实际降水的相关性，降低了估测离散度，但估测偏离程度增加。此外，表中可见 Early 和 Late 产品的各精度指标均较接近。进一步分析发现，Early 与 Late 产品之间的 CC 高达 0.986，RMSE 为 23.2 mm，RE 为-0.004，说明二者具有相似的整体精度特征。

表 1 IMERG 产品整体精度评价

Table 1 Precision evaluation of IMERG products in Guangxi			
产品 Products	相关系数 Correlation coefficient (CC)	均方根误差 Root mean square error (RMSE)/mm	相对误差 Relative error(RE)
Early	0.825	79.7	-0.005
Late	0.828	78.8	-0.009
Final	0.904	57.2	0.069

2.1.2 分区评估

分别统计了 IMERG 系列产品在各雨区的总体精度评价指标（表 2），并按站点进行了分别统计，制作评价指标的空间分布图（图 4）。

表 2 IMERG 产品在各雨区的精度评价

Table 2 Precision evaluation of IMERG products in precipitation zones				
区域 Zone	产品 Products	CC	RMSE/mm	RE
I 区 Zone I	Early	0.820	65.8	0.093
	Late	0.823	64.2	0.075
	Final	0.885	55.9	0.234
II 区 Zone II	Early	0.820	74.9	0.045
	Late	0.820	73.8	0.034
	Final	0.905	52.3	0.116
III 区 Zone III	Early	0.844	92.2	-0.090
	Late	0.847	91.7	-0.084
	Final	0.926	65.1	-0.045

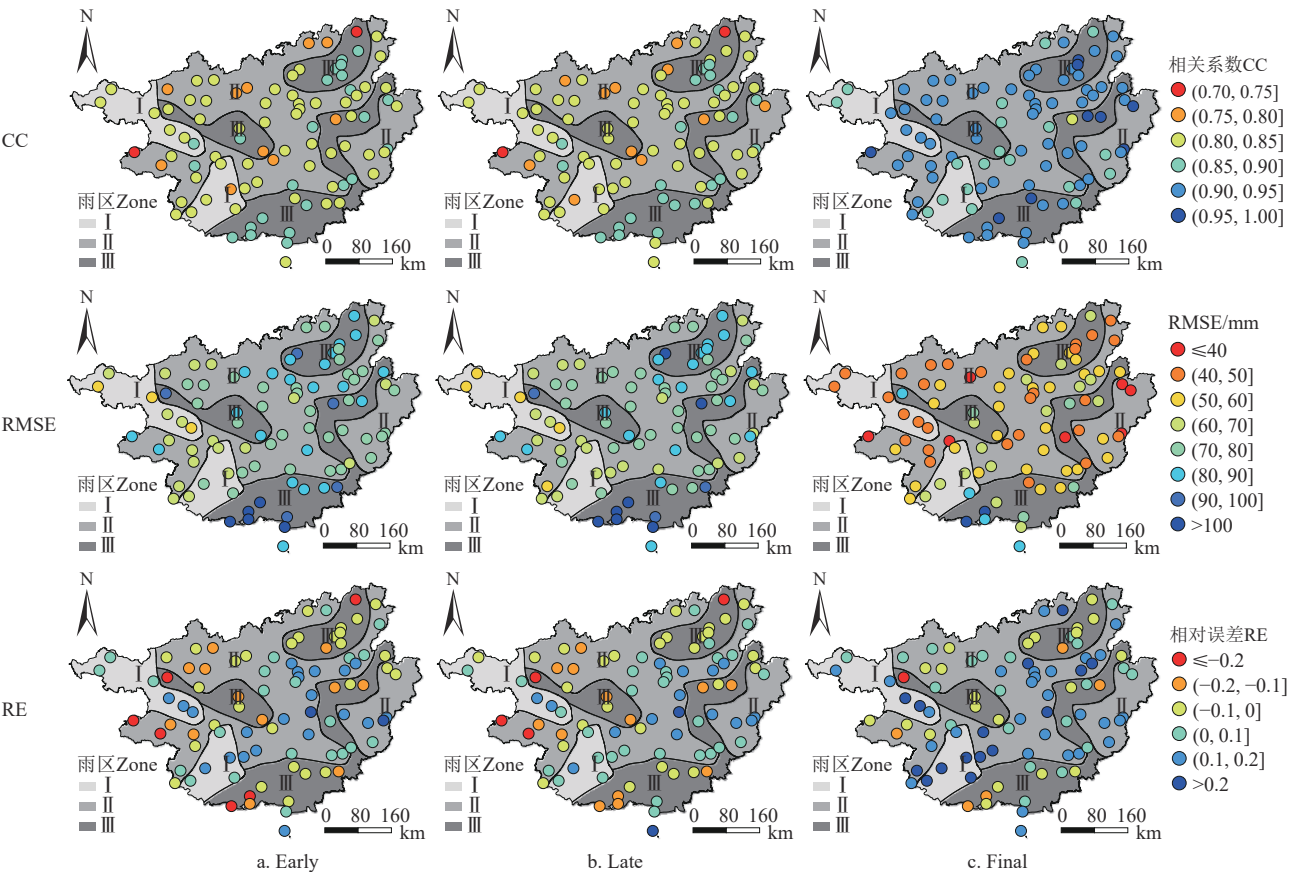


图 4 IMERG 产品精度评价指标空间分布
Fig.4 Spatial distribution of precision evaluation metrics of IMERG products

综合表 2 和图 4 分析发现, Early、Late 产品在各雨区的总体 CC 都在 0.82 以上, I 区和 II 区差异不大, III 区更高, 尤其在 III 区的永福至兴安一带和沿海地区, CC 较其他区域明显偏高。由图 4 可见, Early、Late 产品的 RMSE 在 I 区主要处于 50~70 mm 区间, 在 II 区增至 60~80 mm, 在 III 区则增加到 80 mm 以上, 各雨区间存在明显差异。Final 产品 CC 在各雨区均超过 0.88, 由 I 区至 III 区依次升高; RMSE 在 I 区和 II 区差异较小, 在 III 区有所增加, 增加的区域主要集中在东兴、防城港等沿海地区。IMERG 系列产品在 I 区和 II 区都表现为高估降水, 且 I 区的高估程度相比 II 区更高, 其中 Final 产品高估现象尤为明显, RE 在 I 区高达 0.234。各系列产品在 III 区均表现为低估, Final 产品相比 Early、Late 产品低估程度更低。值得注意的是, 3 个系列产品的 RE 在 II 区内的那坡、靖西、德保、天等一带及凤山、东兰、南丹等桂西北山区均为负值, 表现出区域性的低估降水现象。

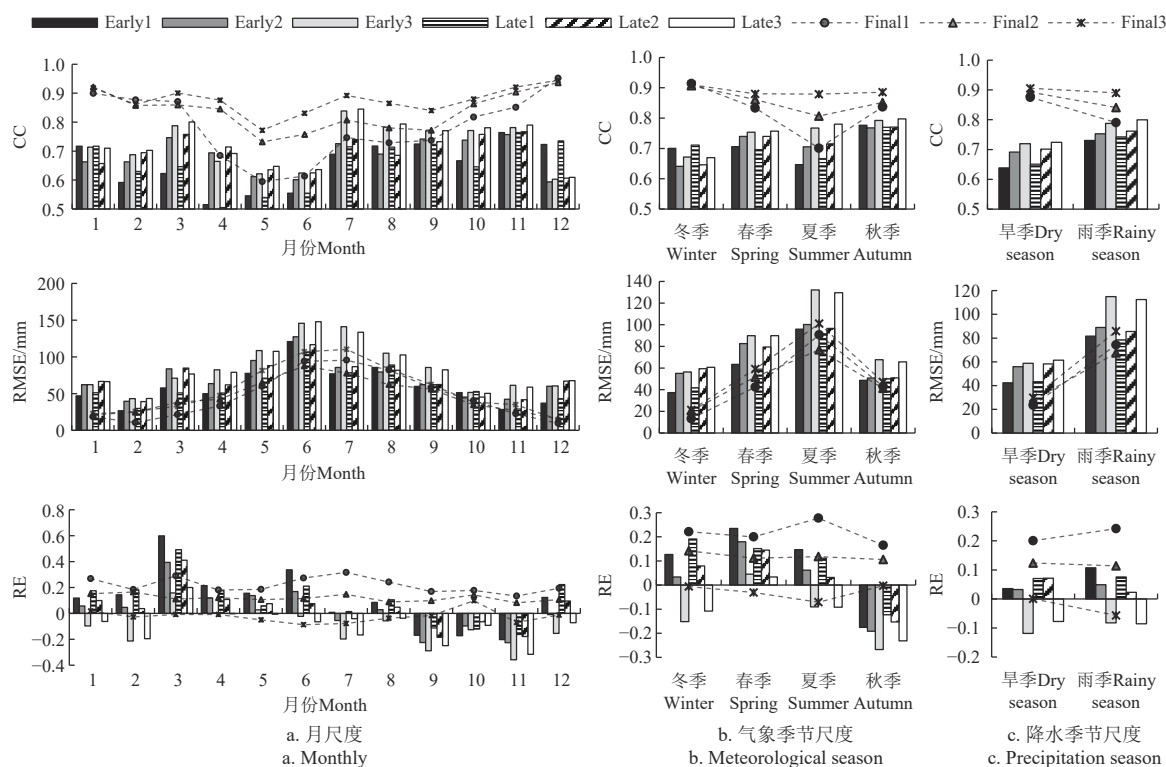
总的来看, IMERG 系列产品在降水较多的地区表现出更高的 CC, 与观测数据相关性更强, 但同时 RMSE 增加, 数据离散度加大。估测偏差在不同雨区有较大差异, 降水较多的区域偏向于低估, 降水较少的区域偏向

于高估。

2.2 不同时间尺度精度评估

2.2.1 季节尺度评估

按气象季节分为春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)和冬季(12—次年2月), 根据降水季节性特点分为雨季(4—9月)、旱季(10—次年3月)分别进行分析。图 5 展示了 IMERG 系列产品在各月份和不同季节的精度评价指标。由图可知, Early、Late 产品 CC 在 3 月、7—11 月整体较高, 5—6 月整体较低, 秋季最高, 冬季较低, 雨季大于旱季。RMSE 峰值出现在 6 月, 分布特征与月均降水量(图 3b)相似, 在降水较多的时段表现出较高的数据离散度, 夏季最高, 秋冬季较低, 雨季明显大于旱季。估测偏差在 3 月、9 月和 11 月相对较大, 其中 3 月的 RE 在 I、II 区达到了 0.4 以上。整体上秋季估测偏差最大, 且表现为低估; 春季的估测偏差也较大, 但表现为高估。在雨旱季层面上, Early 产品在雨季 I、II 区的高估程度增加, III 区的低估程度降低; 而 Late 产品在雨季 II 区的高估程度下降, 但 I 区的高估程度和 III 区的低估程度升高。



注: Early、Late、Final 后缀数字 1、2、3 分别代表 I、II、III 区。下同。

Note: The suffixes numbers 1, 2, 3 after the Early, Late, and Final respectively represent Zone I, Zone II, and Zone III. Same below.

图 5 IMERG 产品各月及季节尺度精度评价指标

Fig.5 Monthly and seasonal precision evaluation metrics of IMERG products

Final 产品在降水较少的时段表现出较强的相关性, 各雨区 CC 在 1—3 月和 10—12 月均在 0.8 以上, 在 1 月和 12 月甚至超过了 0.9, 冬季表现最佳, 旱季优于雨季。RMSE 同样呈现出与月均降水量相似分布特征, 夏季最高, 冬季最低, 雨季大于旱季。估测偏差在 6—8 月较大; 对应季节尺度上, 夏季较大, 秋季最小, 雨季整体

大于旱季。

综合来看, IMERG 系列产品的性能受季节变化影响显著, 尤其在降水较多的雨季和夏季, 估测精度面临更大挑战。Early、Late 产品在秋季表现相对较好, 具有较强的相关性和较小的离散度, 但伴随着明显的低估; 在旱季相关性更弱, 但离散度更小, 估测偏差整体更低,

精度略优于雨季。Final 产品的估测性能相对稳定, 在降水较少的时期表现较优, 在旱季尤其是冬季的估测精度较高。

2.2.2 年尺度评估

分年度统计各雨区的精度评价指标, 并以 2001—2020 年均降水量为界, 划分旱年 (年降水量小于年均降水量) 和丰年 (年降水量大于年均降水量) 进行分析, 其中 2003—2007、2009—2011 和 2018—2019 为旱年 (图 3c), 其余为丰年, 结果如图 6 所示。由图可知, Early、Late 产品 CC 主要介于 0.7~0.9 区间, RMSE 主要介于 40~120 mm 区间, 年度间波动较大。在 2001、2013、2015 和 2020 年表现出相对较小的 CC, 同时具有较高的

RMSE。在 2009、2019 和 2020 年估测偏差相对较大。2013 年之前主要表现为低估, 往后则主要偏向于高估。Final 产品 CC 整体在 0.8 以上, 年际间波动相对较小, 但呈现出一定的下降趋势。RMSE 基本保持在 40~80 mm 区间, 2020 年相对较高, 在 II 区和 III 区均达到了 90 mm。RE 同样在 2020 年出现明显变化, I、II 区分别高达 0.615 和 0.478, 在 III 区则由常年的低估转变为高估。从丰旱年层面看, 各系列产品在旱年的 CC 更高, 同时 RMSE 更低, 数据相关性和离散度相比丰年更优。在旱年, 各雨区 RE 数值均小于丰年; 具体表现而言, I、II 区的高估程度相比丰年降低, 而 III 区的低估程度相比丰年加重。整体上看, IMERG 系列产品在旱年的估测精度更高。

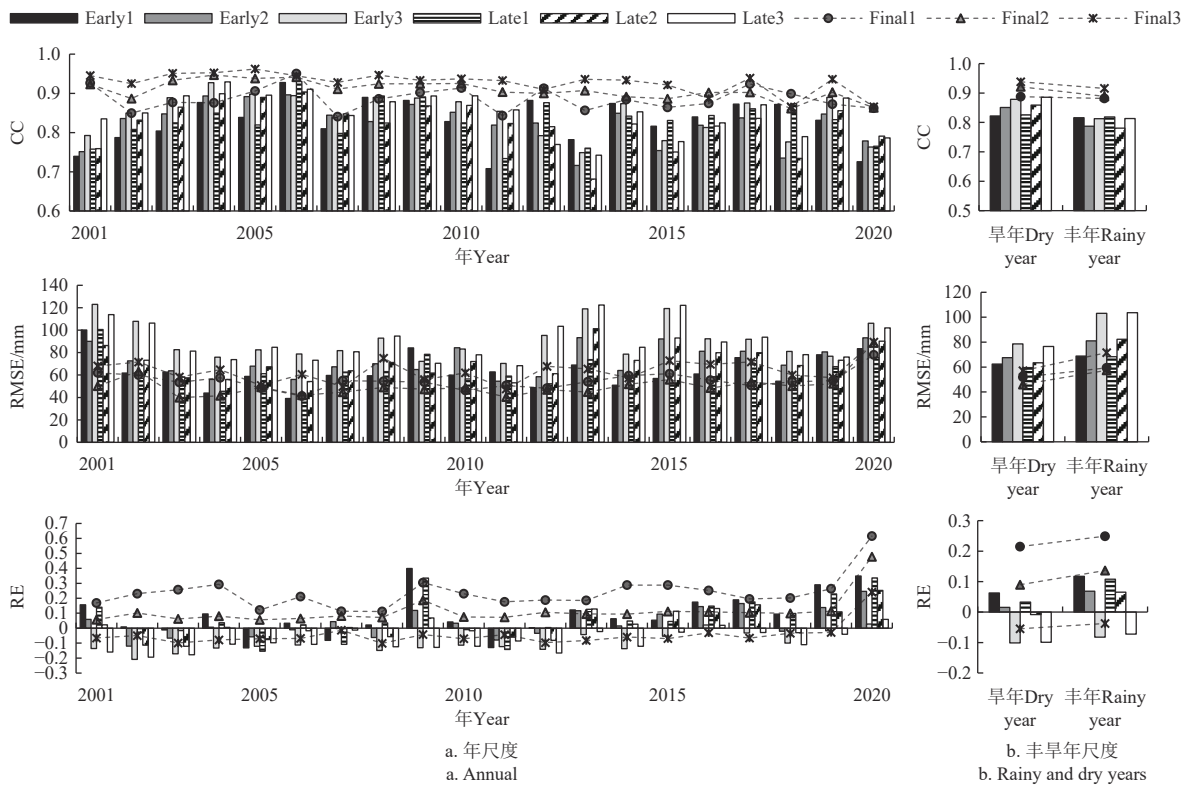


图 6 IMERG 产品年尺度精度评价指标

Fig.6 Annual precision evaluation metrics of IMERG products

为进一步分析 IMERG 产品精度的整体变化趋势, 对全区 91 个站点进行分年度统计, 结果如图 7 所示。IMERG 产品 CC 随年份增长有下降趋势, 其中 Final 产品 CC 与年份的决定系数 R^2 为 0.508, 显示出较为稳定的下降轨迹。RMSE 则呈上升趋势, 其中 Early、Late 产品的 R^2 较低, 上升趋势微弱; Final 产品的 R^2 为 0.148, 上升趋势相对稳定。RE 同样出现上升趋势, Early、Late 产品的 R^2 分别为 0.472、0.516, 上升趋势比较清晰; Final 产品的 R^2 为 0.238, 上升趋势也较明显。综合各评价指标来看, Final 产品的 CC、RMSE、RE 都表现出精度下降的趋势, 其中 CC 的下降趋势最突出。Early、Late 产品也出现一定的精度变化趋势, 但 CC 和 RMSE 的变化趋势较弱, 主要体现在 RE 明显上升, 估测偏离愈发趋向高估。

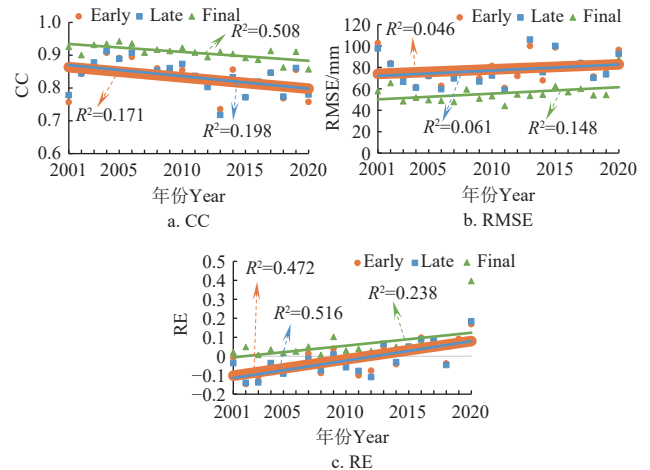


图 7 IMERG 产品 2001—2020 年度精度评价指标

Fig.7 Annual precision evaluation metrics of IMERG products from 2001 to 2020

根据前述分析及前人研究结果^[11,21]可知,IMERG 产品精度受降水量影响。为评估年降水量背景值对产品精度变化的作用,统计 2001—2020 年降水量与年度精度评价指标间的决定系数 R^2 ,通过拟合度反映二者间的关系,结果见表 3。各精度指标中, RMSE 与年降水量的决定系数 R^2 相对较大,说明二者拟合度较高, RMSE 的变化趋势受年降水量影响较大。RE 的 R^2 较小,拟合度较低,年降水量对其上升趋势影响有限。Early、Late 产品 CC 与年降水量的决定系数 R^2 分别为 0.155 和 0.198,反映出 CC 的变化趋势与年降水量存在一定关联; Final 产品 CC 的 R^2 仅为 0.049,年降水量对其变化趋势影响较弱。总的来看,年降水量变化是导致 IMERG 系列产品 RMSE 上升的重要因素,也一定程度上导致了 Early、Late 产品 CC 下降;但并非造成 Final 产品 CC 下降和各系列产品 RE 升高的关键原因。

表 3 2001—2020 年降水量与年度精度评价指标间的决定系数 (R^2)

Table 3 Determination coefficient (R^2) between annual precipitation and precision evaluation metrics from 2001 to 2020			
产品 Products	CC	RMSE	RE
Early	0.155	0.473	0.009
Late	0.198	0.563	0.022
Final	0.049	0.272	0.003

2.3 不同降水量区间精度分析

为进一步揭示降水量如何影响 IMERG 产品精度,以 10 mm 为间隔进行月降水量区间划分,分别统计各区间精度评价指标。由于 600 mm 以上区间样本较少,部分区间精度评价指标无法统计,因此重点针对 0~600 mm 区间(样本占比 99%)进行分析,结果如图 8 所示。

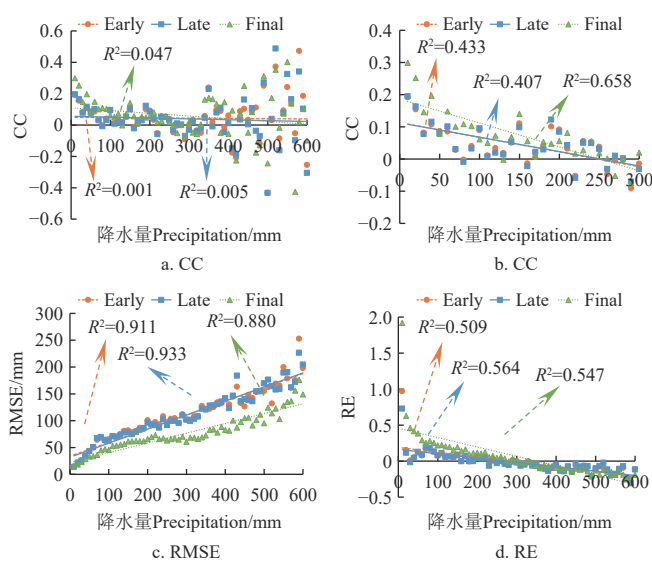


图 8 IMERG 产品各降水量区间精度评价指标

Fig.8 Precision evaluation metrics of IMERG products in precipitation intervals

各系列产品 RMSE 随月降水量增加呈现显著的上升趋势(图 8c), RE 则有较明显的下降趋势(图 8d)。

根据 RE 与降水量的拟合公式计算, Early、Late、Final 产品划分高估或低估的月降水量阈值分别为 271、272 和 351 mm,实测月降水量低于该阈值时被高估,反之则被低估。CC 在 0~600 mm 区间随月降水量增加有下降趋势,但下降趋势不明显(图 8a)。主要原因是 300 mm 以上区间样本数量较少,部分区间出现过拟合,导致 CC 在 300 mm 以上区间波动较大。在样本集中的 0~300 mm 区间(占比 90%), CC 下降趋势相对突出(图 8b)。

降水量与各精度指标的拟合度较高,表明降水量对产品精度影响较大。随降水量增加呈现 CC 下降、RMSE 上升、RE 下降的总体趋势,由此可以理解为何降水较少的旱季和早年精度相对较高,降水量少的区域数据离散度小且估测偏差倾向高估。然而,从空间分布上看,降水量少的雨区 CC 更小,反映出区域内地形、降水类型、降水强度等其他因素对产品相关性也有较大影响。

3 讨论

Late 产品相比 Early 产品增加了更多的数据源,更严格的质量控制,并采用后向推演技术以提升降水估测精度^[10]。然而,本研究发现二者在空间、时间、降水量区间都表现出相似的精度特征,前人研究亦有类似结论^[11,21]。可见其精度提升作用有限,且增加运算时间导致产品发布时间延后。Final 产品融合了所有可用的地面观测数据和卫星观测数据,进行了全面的校准和质量控制,数据精度和稳定性整体得到提升,但其估测偏差更倾向于高估。可能是由于地面校准整体抬升了 Final 产品降水量,此现象也出现在四川、汉江流域等地^[16,34]。在估测偏差方面,各系列产品还展现出区域特异性,在降水充沛的地区倾向于低估,而降水较少的地区倾向于高估。反映出 IMERG 产品存在着系统性偏差,其根源在于产品对极端降水(过强或过弱)的检测能力不足^[17,21]。对不同降水量区间分析也发现, RE 在 0~10 mm 降水量区间明显偏大(图 8d),表明对小雨、微量降水存在明显高估,此结果与段震等^[11]在大汶河流域的分析结果相符。

针对精度评价指标空间分布分析时发现,环北部湾沿海的东兴、防城港、钦州、北海、合浦、涠洲岛等站点,IMERG 系列产品都表现出相比内陆站点更高的 RMSE(图 4)。进一步分析发现,东兴和防城港的各系列产品 RMSE 在全部站点的箱形图分析中被判定为异常值,与其余站点存在较大差距。这一结果是否预示着 IMERG 产品在沿海或洋面的误差相对内陆更大,有待更充分的数据验证。在那坡、凤山等桂西北山区出现的区域低估现象(图 4),反映出复杂地形对产品性能有较大影响^[16]。区域、地形因素在应用中需充分考虑。

前人针对广西地区的研究中,颜景顺等^[27]采用 2001—2017 年数据对 Final 产品进行了评估,与本研究对全区的整体分析结果吻合。其文中展示了各年度的精度评价指标分布图,但并未进行变化趋势分析;由文中插图可知,各指标变化趋势与本文一致。孙桂凯等^[21]采用 2014—2019 年数据对 IMERG 各系列产品开展分析,发

现月尺度上各系列产品均表现为高估。此结论与本研究 Early、Late 产品整体低估, Final 产品整体高估的分析结果存在差异。由图 6 可知, Early、Late 产品在 2013 年后主要偏向于高估, 因此这两个结论并不冲突, 原因在于研究时段不同。本研究覆盖时间更长, 参考站点更多, 为 IMERG 产品精度评估进行了更全面的补充。

此前对 IMERG 产品精度在年际间的变化关注较少, 在广西出现的 RE 上升以及 Final 产品精度下降的趋势是否普遍存在, 需要拓展研究区域进一步核实。在排除降水量影响的前提下, 探测仪器老化、卫星参数变化可能是造成产品精度下降的原因之一。IMERG 算法应用于两个不同时代的卫星观测数据 (TRMM, 2014 年前; GPM, 2015 年后), 不同数据源对产品精度的影响值得深究。最新的 IMERG V07 版本算法能否改善产品精度亦有待观察。

4 结 论

本研究针对广西降水充沛但时空分布不均的特点, 将广西划分为 3 个雨区, 采用 91 个观测站 2001—2020 年逐月降水量为参考, 从不同空间尺度、时间尺度、降水量区间等维度, 分析了月尺度 IMERG 降水产品在广西地区的精度特征, 主要结论如下:

1) IMERG 产品与观测值具有较强的相关性, 但同时具有较高的离散度, Early、Late 产品精度特征相似, 整体上低估降水; Final 产品整体高估降水。

2) 降水量是影响 IMERG 产品精度的重要因素, 降水量增加引起相关系数下降、均方根误差上升、相对误差下降; 当观测月降水量分别小于 271、272 和 351 mm 时, 会导致 Early、Late、Final 产品的估测值偏高, 反之则偏低。表现在空间上, 降水少的区域离散度更小且更倾向高估; 时间上, 产品精度在降水较少的旱季、早年更优, 其中 Early、Late 产品在秋季表现较好, Final 产品在冬季精度最佳。

3) 随年份增长, Early、Late 产品呈现 RE 上升趋势, 估测偏离愈发趋向高估; Final 产品精度有下降趋势, 各指标中相关系数的下滑趋势尤为突出。年降水量变化并非造成此现象的关键原因。

综上, 月尺度 IMERG 产品精度受降水量影响显著, 在广西不同地区、不同时段存在较大差异, 在实际应用中, 应根据具体需求和场景选择合适的产品, 并针对具体区域、时间评估其精度局限性。鉴于 Early、Late 产品在月尺度上精度特征相似, 建议涉及累积降水的近实时应用中, 优先考虑 Early 产品以提高时效性。

【参 考 文 献】

- [1] 丁明泽, 雍斌, 杨泽康. 全球降水观测计划多卫星联合反演降水产品的极端降水监测潜力研究[J]. 遥感学报, 2022, 26(4): 657-671.
DING Mingze, YONG Bin, YANG Zekang. Extreme precipitation monitoring capability of the multi-satellite jointly
- retrieval precipitation products of Global Precipitation Measurement(GPM) mission[J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2022, 26(4): 657-671. (in Chinese with English abstract)
- [2] ARTHUR Y H, RAMESH K. K, STEVEN N, et al. The global precipitation measurement mission[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2014, 95(5): 701-722.
- [3] GABRIELE V, WITOLD F K. Empirically-based modeling of spatial sampling uncertainties associated with rainfall measurements by rain gauges[J]. *Advances in Water Resources*, 2008, 31: 1015-1023.
- [4] DUAN Z, LIU J Z, TUO Y, et al. Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 573: 1536-1553.
- [5] 郭瑞芳, 刘元波. 多传感器联合反演高分辨率降水方法综述[J]. 地球科学进展, 2015, 30(8): 891-903.
GUO Ruifang, LIU Yuanbo. Multi-satellite retrieval of high resolution precipitation: An overview[J]. *Advances in Earth Science*, 2015, 30(8): 891-903. (in Chinese with English abstract)
- [6] 唐国强, 万玮, 曾子悦, 等. 全球降水测量 (GPM) 计划及其最新进展综述[J]. 遥感技术与应用, 2015, 30(4): 607-615.
TANG Guoqiang, WAN Wei, ZENG Ziyue, et al. An Overview of the global precipitation measurement (GPM) mission and its latest development[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2015, 30(4): 607-615. (in Chinese with English abstract)
- [7] SANDRA P, RODRIGO P O. Evaluation of extreme precipitation estimates from TRMM in Angola[J]. *Journal of Hydrology*, 2015, 523: 663-679.
- [8] 范田亿, 张翔, 黄兵, 等. TRMM 卫星降水产品降尺度及其在湘江流域水文模拟中的应用[J]. 农业工程学报, 2021, 37(15): 179-188.
FAN Tianyi, ZHANG Xiang, HUANG Bing, et al. Downscaling of TRMM satellite precipitation products and its application in hydrological simulation of Xiangjiang river basin[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(15): 179-188. (in Chinese with English abstract)
- [9] 李麒麟, 张万昌, 易路, 等. GPM 与 TRMM 降水数据在中国大陆的精度评估与对比[J]. 水科学进展, 2018, 29(3): 303-313.
LI Qilun, ZHANG Wanchang, YI Lu, et al. Accuracy evaluation and comparison of GPM and TRMM precipitation product over Mainland China[J]. *Advances in Water Science*, 2018, 29(3): 303-313. (in Chinese with English abstract)
- [10] GEORGE J H, DAVID T B, DAN B, et al. NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM(IMERG)[EB/OL]. National Aeronautics and Space Administration, 2020. https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/2020-05/IMERG_ATBD_V06.3.pdf.

- [11] 段震, 王超, 邸燕, 等. IMERG 系列产品在大汶河流域的降水监测能力评价[J]. 人民长江, 2023, 54(7): 89-97.
DUAN Zhen, WANG Chao, DI Yan, et al. Evaluation of precipitation monitoring capability of IMERG series products in Dawen River basin[J]. Yangtze River, 2023, 54(7): 89-97. (in Chinese with English abstract)
- [12] Global precipitation measurement[EB/OL]. [2024-02-23]. <https://gpm.nasa.gov/data/directory>.
- [13] GEORGE J H, DAVID T B, ERIC J N, et al. Integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG) technical documentation[EB/OL]. 2020. [2024-02-23]. https://gpm.nasa.gov/sites/default/files/2020-10/IMERG_doc_201006.pdf.
- [14] ROBERT A, MATHEW S, GEORGE H, et al. NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG)[J]. Atmosphere, 2020, 9: 1-39.
- [15] 张茹, 雍斌, 曾岁康. GPM 卫星降水产品在中国大陆的精度评估[J]. 人民长江, 2021, 52(5): 50-59.
ZHANG Ru, YONG Bin, ZENG Suikang. Evaluation of GPM satellite precipitation products over Mainland China[J]. Yangtze River, 2021, 52(5): 50-59. (in Chinese with English abstract)
- [16] 曾岁康, 雍斌. 全球降水计划 IMERG 和 GSMaP 反演降水在四川地区的精度评估[J]. 地理学报, 2019, 74(7): 1305-1318.
ZENG Suikang, YONG Bin. Evaluation of the GPM-based IMERG and GSMaP precipitation estimates over the Sichuan region[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(7): 1305-1318. (in Chinese with English abstract)
- [17] 施丽娟, 冯婉悦, 雷勇, 等. GPM 日降水产品在中国大陆的准确性评估[J]. 气象, 2022, 48(11): 1428-1438.
SHI Lijuan, FENG Wanyue, LEI Yong, et al. Accuracy evaluation of daily GPM precipitation product over Mainland China[J]. Meteorological Monthly, 2022, 48(11): 1428-1438. (in Chinese with English abstract)
- [18] 卫林勇, 江善虎, 任立良, 等. IMERG 卫星降水产品在中国的干旱监测效用评估[J]. 农业工程学报, 2021, 37(2): 161-169.
WEI Linyong, JIANG Shanhu, REN Liliang, et al. Evaluation of drought monitoring in China using IMERG satellite precipitation products[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(2): 161-169. (in Chinese with English abstract)
- [19] 江源天, 王文婷, 谢云, 等. 基于 IMERG 反演降水数据估算广东省降雨侵蚀力[J]. 农业工程学报, 2023, 39(24): 153-164.
JIANG Yuantian, WANG Wenting, XIE Yun, et al. Estimating rainfall erosivity in Guangdong province using IMERG remote sensing precipitation products[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2023, 39(24): 153-164. (in Chinese with English abstract)
- [20] 任英杰, 雍斌, 鹿德凯, 等. 全球降水计划多卫星降水联合反演 IMERG 卫星降水产品在中国大陆地区的多尺度精度评估[J]. 湖泊科学, 2019, 31(2): 560-572.
REN Yingjie, YONG Bin, LU Dekai, et al. Evaluation of the Integrated Multi-satellite Retrievals (IMERG) for Global Precipitation Measurement (GPM) mission over the mainland China at multiple scales[J]. Journal of Lake Sciences, 2019, 31(2): 560-572. (in Chinese with English abstract)
- [21] 孙桂凯, 魏义熊, 王国帅, 等. GPM IMERG 卫星降水数据在广西地区适用性分析[J]. 人民长江, 2022, 53(7): 98-106.
SUN Guikai, WEI Yixiong, WANG Guoshuai, et al. Application of GPM IMERG satellite precipitation data in Guangxi[J]. Yangtze River, 2022, 53(7): 98-106. (in Chinese with English abstract)
- [22] RAVIDHO R, HELMI Y, MARZUKI M, et al. Evaluation of GPM IMERG performance using gauge data over Indonesian Maritime Continent at different time scales[J]. Remote Sensing, 2022, 14(5): 1-24.
- [23] 陈燕丽, 蒙良莉, 黄肖寒, 等. 基于 SPEI 的广西喀斯特地区 1971-2017 年干旱时空演变[J]. 干旱气象, 2019, 37(3): 353-362.
CHEN Yanli, MENG Liangli, HUANG Xiaohan, et al. Temporal and spatial distributions of drought in Guangxi karst area during 1971-2017 based on standardized precipitation evapotranspiration index[J]. Journal of Arid Meteorology, 2019, 37(3): 353-362. (in Chinese with English abstract)
- [24] 国家统计局. 中国统计年鉴 2023[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2023.
- [25] 杨绍镠, 廖雪萍, 谭裕模. 基于 TRMM 降水产品的近实时旱情监测——以广西为例[J]. 南方农业学报, 2014, 45(1): 143-147.
YANG Shaoe, LIAO Xueping, TAN Yumo. Near real-time drought monitoring based on TRMM precipitation products: A case study of Guangxi[J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45(1): 143-147. (in Chinese with English abstract)
- [26] 杨星星, 杨云川, 邓思敏, 等. 广西 TRMM 降雨产品多时间尺度精度评估[J]. 热带气象学报, 2019, 35(4): 567-576.
YANG Xingxing, YANG Yunchuan, DENG Simin, et al. Accuracy assessment of TRMM rainfall data in Guangxi at multiple time scales[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2019, 35(4): 567-576. (in Chinese with English abstract)
- [27] 颜景顺, 韦海宁, 白昌彬, 等. TRMM 和 GPM 卫星遥感降水产品在广西地区的适用性评价[J]. 水力发电, 2022, 48(8): 24-30.
YAN Jingshun, WEI Haining, BAI Cangbin, et al. Evaluation on the applicability of TRMM and GPM satellite remote sensing precipitation products in Guangxi[J]. Water Power, 2022, 48(8): 24-30. (in Chinese with English abstract)
- [28] LU C X, YE J, FANG Guohua, et al. Assessment of GPM IMERG satellite precipitation estimation under complex climatic and topographic conditions[J]. Atmosphere, 2021, 12(780): 1-27.
- [29] CHEN F R, LI X. Evaluation of IMERG and TRMM 3B43

- monthly precipitation products over mainland China[J]. *Remote Sensing*, 2016, 8(472): 1-18.
- [30] 高超, 陈实, 翟建青, 等. 淮河流域旱涝灾害致灾气候阈值[J]. *水科学进展*, 2014, 25(1): 36-44.
- GAO Chao, CHEN Shi, ZHAI Jianqing, et al. On threshold of drought and flood disasters in Huaihe River basin[J]. *Advances in Water Science*, 2014, 25(1): 36-44. (in Chinese with English abstract)
- [31] 广西壮族自治区气候中心. 广西气候[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 22.
- [32] 覃卫坚, 李栋梁. 广西暴雨气候特征及其异常成因[M]. 北京: 气象出版社, 2017: 12-13.
- [33] 《广西天气预报技术和方法》编写组. 广西天气预报技术和方法[M]. 北京: 气象出版社, 2012: 14-16.
- [34] 刘松岩, 魏玲娜, 董建志, 等. 多源融合降水产品 SUPER 在汉江流域的时空精度评估[J]. *地球信息科学学报*, 2024, 26(5): 1335-1349.
- LIU Songyan, WEI Lingna, DONG Jianzhi, et al. Spatiotemporal accuracy assessment of multi-source fusion precipitation product SUPER in the Hanjiang river basin[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2024, 26(5): 1335-1349. (in Chinese with English abstract)

Evaluating the precision of monthly IMERG precipitation products in Guangxi of China

YANG Shao'e¹, CHEN Yanli², XIE Guoxue¹, HUANG Qiting^{1*}

(1. Institute of Agricultural Science and Technology Information, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China;

2. Guangxi Institute of Meteorological Science, Nanning 530022, China)

Abstract: Accurate monitoring and assessment of precipitation distribution can be vital to effectively manage water resources and disaster preparedness for high productivity in modern agriculture against global climate change. Among them, Guangxi in southern China is in a monsoonal climate. A great challenge remains on the notable temporal and spatial fluctuations in precipitation, particularly for agricultural productivity and ecological integrity. The purpose of this study is to assess the suitability and precision of the monthly IMERG (V06) precipitation dataset in the Guangxi region. A scientific foundation was then established to manage the local water resources and disaster preparedness. The study area was characterized by low rainfall (≤ 1300 mm/a), moderate rainfall (>1300 - 1700 mm/a), and high rainfall (>1700 mm/a). The performance of the IMERG Early, Late, and Final products was also elucidated across the different zones. The baseline data of monthly precipitation was collected from 91 meteorological stations in the period from 2001 to 2020. Three quantitative indexes were employed, including the metrics-correlation coefficient (CC), root mean square error (RMSE), and relative error (RE). A comprehensive analysis was conducted on the precision of IMERG products at the various spatial and temporal scales, as well as precipitation intervals. Results indicate that: 1) Both Early and Late products exhibited similar precision to underestimate the overall precipitation, whereas the Final product tended to overestimate the precipitation. 2) The increase in precipitation caused a decrease in the CC and RE for all products, while an increase in RMSE. The deviation thresholds after monthly precipitation estimation were 271, 272, and 351 mm for the Early, Late, and Final products, respectively. Once the actual monthly precipitation fell below these thresholds, an overestimation occurred and vice versa. 3) Spatially, the IMERG products demonstrated that there was a stronger correlation and greater variability in the areas with the higher precipitation, with the overestimation in the regions under low or moderate rainfall, and the underestimation under high rainfall. 4) Temporally, the precision of products was higher in the dry season during drought years. The Early and Late products performed adequately in autumn, indicating noticeable underestimations. The final product excelled in winter. 5) A decreasing trend was found in the precision of the Final product over the whole years, whereas, an ever-growing overestimation was in the Early and Late products. In conclusion, the precision of the monthly-scale IMERG product was notably influenced by the precipitation, indicating considerable discrepancies in the various regions and temporal scopes. Hence, it is recommended to conduct customized evaluations of product precision for the specific regions and time frames in practical applications. This finding can serve as a significant reference to monitor and manage the water resources for beneficial insights into the climate zones.

Keywords: precipitation; remote sensing; IMERG; Guangxi; precision evaluation