

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2025.20242061

GPM IMERG 卫星降水产品在江苏省的适用性评价

丁彦文, 胡宜娜, 李婧, 沈永捷, 王培, 朱月

(江苏省水文水资源勘测局, 江苏南京 210000)

摘要: 为评估最新一代 GPM IMERG 卫星降水产品在江苏省的适用性, 选用 73 个地面站点实测降水数据为参考, 利用统计学指标及极端降水指数, 从日、月、季节等角度, 对 GPM IMERG 降水产品整体及分区域进行精度评价, 并评估其极端降水监测能力。结果表明, GPM 卫星降水产品在江苏地区有较好的观测效果, 在日、月尺度下, 其整体及分区域与地面站点实测数据均具有较高的相关性 ($C_{CC} \geq 0.77$), 且随着时间尺度的增加, 相关性更为显著, 同时 GPM 卫星对实测降水量存在高估现象, 月尺度下的 R_{RMSE} 相对更高。不同季节下 GPM 卫星观测精度存在一定差异, 冬季观测效果最佳, 具有高度相关性和最低的观测误差 ($C_{CC} = 0.92$, $R_{RMSE} = 26.37$ mm, $R_{RB} = 23.4\%$)。GPM 卫星具有较好的极端降水监测能力, 能够观测和描述江苏地区极端降水的发生及降水强度, 特别是在苏南地区有更好的观测效果。

关键词: GPM; IMERG; 降水强度; 极端降水; 江苏

中图分类号: TV125

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2025)09-0011-04

1 概况

江苏省地势平坦, 河湖众多, 地貌以平原、水域、低山丘陵为主。江苏省属于东亚季风气候区, 处于亚热带与暖温带气候过渡地带, 气候温和, 四季分明, 全年降水量季节变化特征显著, 夏季降水量集中, 约占全年降水量的一半, 冬季降水量最少, 约占全年降水量的 1/10。目前关于江苏最新一代 GPM IMERG 降水数据集的精度评价研究比较缺乏, 已有研究多为 GPM 卫星空间降尺度^[1]及卫星反演算法适用性评价^[2], 且少有细分区域对 GPM 卫星进行适用性研究, 具有很大的探索空间。鉴于此, 本文以江苏省为研究区, 基于地面雨量站实测数据, 从不同角度对 IMERG 降水数据产品进行整体及分区域的精度评价, 研究可为旱涝灾害防御、水资源优化配置等提供借鉴。

2 数据与方法

2.1 研究数据

使用江苏省 73 个地面雨量站点 2020 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日的实测日降水量数据 (图 1), 对 GPM 卫星降水数据进行评价。

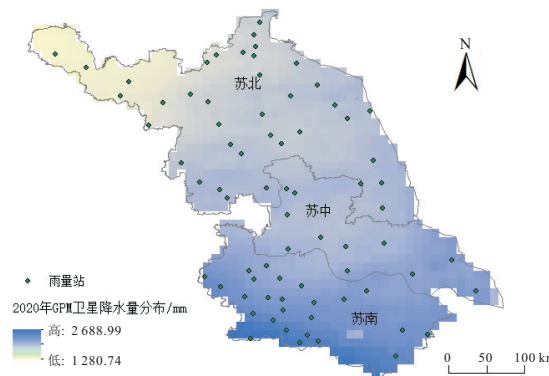


图 1 研究区域雨量站点及 2020 年 GPM 卫星降水量分布图

Fig. 1 The distribution of rainfall stations in the research area and GPM satellite precipitation in 2020

在 GPM 计划中, IMERG 是其中新一代集合多卫星的反演降水产品, 其融合了多种微波、红外和雷达数据, 充分发挥了多源传感器的优势互补。选用 2020 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日的日尺度 IMERG Final Run 最新 V07B 版本产品 (下载地址: <https://disc.gsfc.nasa.gov>), 空间分辨率为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, 该产品经过全球降水气候中心的月均站点进行了误差校正, 有较高的数据精度。由于地面站点数据与 GPM 卫星降水数据存在空间差异, 因此利用 ArcGIS 中 Extract Multi Values to Points 工具, 以地面雨量站位置为基

收稿日期: 2024-11-03, 修回日期: 2024-12-18

作者简介: 丁彦文(1995-), 女, 硕士, 研究方向为水文信息化, E-mail: dingyanwen2620@163.com

准,选用双线性插值法对 GPM 栅格数据进行插值,获得 73 个站点对应的 GPM 日降水数据,并在时间尺度上进行累加,获得逐日、逐月、逐季的地面站点及对应的 GPM 卫星降水数据^[3]。

2.2 研究方法

选用当前卫星降水研究领域常用的统计学指标和极端降水指标对 GPM 卫星降水产品进行适用性评价。选用相关系数 C_{CC} 评价地面站点降水数据与 GPM 卫星降水数据之间的相关性;选用均方根误差 R_{RMSE} 来衡量地面站点降水数据与 GPM 降水数据之间的离散程度,可以反映卫星降水产品整体误差和精度;选用相对偏差 R_{RB} 来揭示地面站点降水数据与 GPM 降水数据间误差的变化趋势,量化卫星降水产品高低估现象。

在全球变暖趋势下,极端天气愈加频发,成为全球共同应对的难题,我国大部分地区极端降水事件也呈显著增加趋势。因此探究 GPM 卫星对极端降水的监测能力是评价其在研究区内适用性的重要方面。根据研究区降水特征,选用 6 个极端降水指数来评价 GPM 降水卫星对江苏省极端降水情况的监测能力,各指标见表 1。

表 1 极端降水指数

Tab. 1 Extreme precipitation index

指数	定义	单位
RR99P	一年内日降水量序列的 99%分位数	mm
RR95P	一年内日降水量序列的 95%分位数	mm
RX5day	一年内最大连续 5 日降水量	mm
R10	一年内日降水量 ≥ 10 mm 的天数	d
R20	一年内日降水量 ≥ 20 mm 的天数	d
R20TOT	一年内日降水量 ≥ 20 mm 的累计降水量	mm

3 结果与分析

3.1 日、月尺度下 GPM 卫星降水产品精度评价

为评估 GPM 卫星降水产品在江苏省的精度,将 73 个地面雨量站点实测数据与卫星降水数据在日、月尺度上进行对比分析,结果见图 2。可以看出,由日尺度到月尺度,GPM 降水数据对实

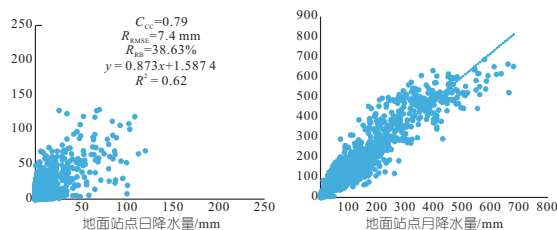


图 2 日尺度、月尺度下 GPM 降水数据与地面站点数据精度分析

Fig. 2 Accuracy analysis of GPM precipitation data and ground station data at daily and monthly scales

测降水数据的拟合度明显改善,数据离散程度减小。相关性方面,日尺度下 C_{CC} 为 0.79,月尺度 C_{CC} 为 0.94,表明无论在日尺度还是月尺度下,GPM 卫星降水数据与地面站点实测数据均具有相关性,且随着时间尺度的增加,相关性更为显著,在月尺度下两者呈高度相关。进一步分析 GPM 降水数据与地面实测数据的差异,对比均方根误差,日尺度下 R_{RMSE} 较小,为 7.4 mm,月尺度下 $R_{RMSE} = 59.28$ mm,相对较大;从相对偏差角度来看,GPM 降水产品对地面实测降水量存在高估现象,在日、月尺度下 R_{RB} 均为 38.63%。分析误差存在的原因,可能是由于地面站点实测降水数据与 GPM 栅格网降水数据间存在时空差异,且目前 GPM 产品校正算法是基于月尺度站点数据校正的结果。

3.2 不同季节 GPM 卫星降水产品精度对比

江苏省年降水量充沛,且降水季节分布特征明显,降水多集中分布在 5~10 月,11 月至次年 4 月降水较少。因此,分析不同季节 GPM 卫星降水产品的精度是判断其在江苏地区适用性的重要方面。

根据地区气候特征将 3~5 月划分为春季,6~8 月划分为夏季,9~11 月划分为秋季,12 月至次年 2 月划分为冬季,并对不同季节下地面站点降水数据与 GPM 降水数据进行线性回归分析,结果见图 3。可以看出,GPM 卫星降水产品在不同季节的观测精度存在一定差异,其中冬季拟合度最佳,相关性最高, C_{CC} 高达 0.92, R_{RMSE} 、 R_{RB} 均为四个季节中最低,分别为 26.37 mm、23.4%。由于江苏省全年降水量在冬季最低,而 GPM 卫星搭载双频降水测量雷达,采用高敏感度模式交错采样,有效提高了对弱降水和固态降水

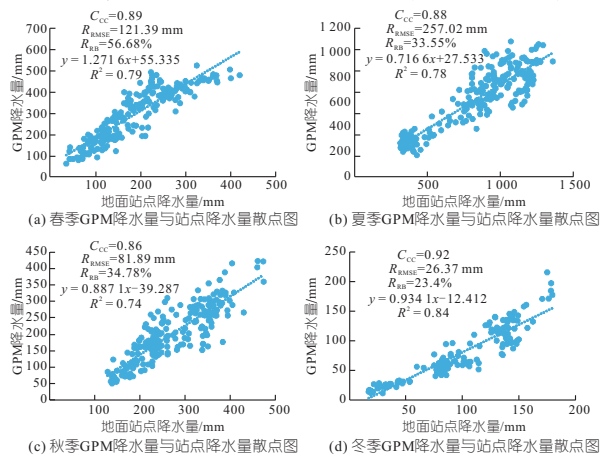


图 3 不同季节 GPM 降水数据与地面站点数据对比分析

Fig. 3 Comparative analysis of GPM precipitation data and ground station data in different seasons

的探测能力,因此在冬季少雨期有较高的测量精度,这与刘益锋等^[4]的研究结果一致。

在春季和夏季,GPM 降水产品与地面实测数据相关性较高, C_{CC} 分别为 0.89、0.88,秋季相关性相对其他季节较低, $C_{CC}=0.86$ 。从误差角度来看,夏季 R_{RMSE} 最高,达到 257.02 mm,而 R_{RB} 相对较低,仅次于冬季, $R_{RB}=33.55\%$,这可能是由于江苏省夏季降水多,暴雨频繁,且常伴随台风,导致卫星在观测精度上存在不同程度的高估和低估现象。春季 GPM 降水数据与地面实测数据虽然有较高的相关性,但高估现象较为严重, $R_{RB}=56.68\%$, $R_{RMSE}=121.39$ mm。秋季误差相对较低, $R_{RMSE}=81.89$ mm, $R_{RB}=34.78\%$ 。

3.3 极端降水监测能力分析评价

GPM 卫星与地面观测站点极端降水指数的散点图见图 4,精度分析评价结果见表 2。可以看出,GPM 卫星降水产品在各极端降水指标下与地面站点间均具有一定的相关性,相关系数 C_{CC} 均超过 0.6,其中 RR95P 相关性最低, $C_{CC}=0.62$,

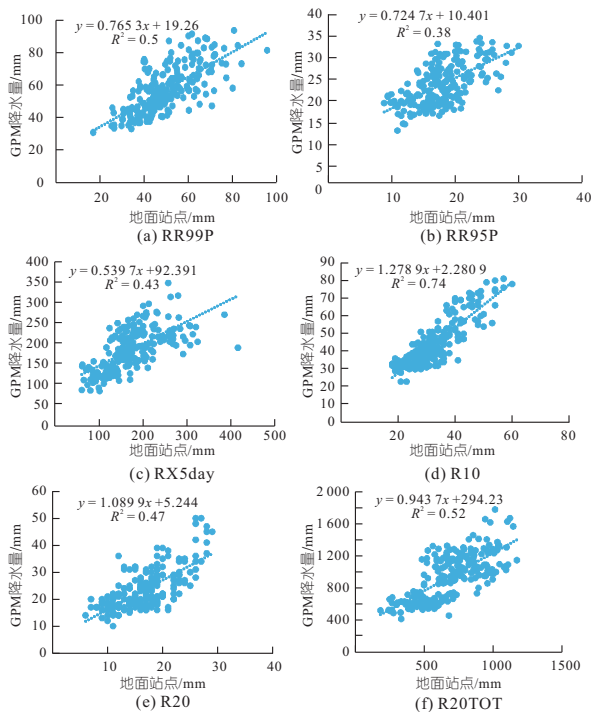


图 4 GPM 卫星与地面站点极端降水指数散点图

Fig. 4 Scatter plot of extreme precipitation index between GPM satellite and ground stations

表 2 GPM 卫星极端降水监测能力精度评价

Tab. 2 Accuracy evaluation of GPM satellite extreme precipitation monitoring capability

指数	C_{CC}	R_{RMSE} /mm	R_{RB} /%	指数	C_{CC}	R_{RMSE} /mm	R_{RB} /%
RR99P	0.71	12.8	14.96	R10	0.86	13.46	34.78
RR95P	0.62	6.78	30.38	R20	0.69	8.67	40.23
RX5day	0.65	49.56	7.26	R20TOT	0.72	322.05	36.49

R10 的 C_{CC} 最高,为 0.86。从误差的角度来看,RR95P 和 R20 的 R_{RMSE} 较低,分别为 6.78、8.67 mm,RR99P 和 R10 指标下 GPM 卫星也表现出较好的监测效果, R_{RMSE} 分别为 12.8、13.46 mm,而 R20TOT 和 RX5day 的 R_{RMSE} 较高,分别为 322.05、49.56 mm,存在较大的误差不确定性,分析原因可能是由于卫星异常的高估与低估会对累计多日的极端降水指标产生较大影响。对比分析 R_{RB} ,GPM 降水卫星在各指标下均存在高估现象,其中高估最严重的指标为 R20, $R_{RB}=40.23\%$,偏差程度最小的指标为 RX5day, $R_{RB}=7.26\%$ 。总体而言,GPM 降水卫星对于江苏地区极端降水具有一定的描述能力,能够较好地监测极端降水的发生及降水强度。

3.4 分区域 GPM 卫星降水产品适用性分析

江苏省地跨北纬 $30^{\circ}45' \sim 35^{\circ}08'$,在地理上跨越南北,这一特殊的地理位置使得其在气候、植被等方面存在较大的南北差异,降水分布存在南多北少的特征。为了研究的准确性,将研究区分为苏北、苏中、苏南三个区域进一步对 GPM 降水产品进行分析。

结果见图 5。在日尺度下,苏中和苏北地区 GPM 降水数据与实测降水数据的相关性更高, C_{CC} 分别为 0.81、0.80,而苏南 C_{CC} 相对较低,为 0.77。误差方面,苏北 R_{RMSE} 相对最高为 7.58

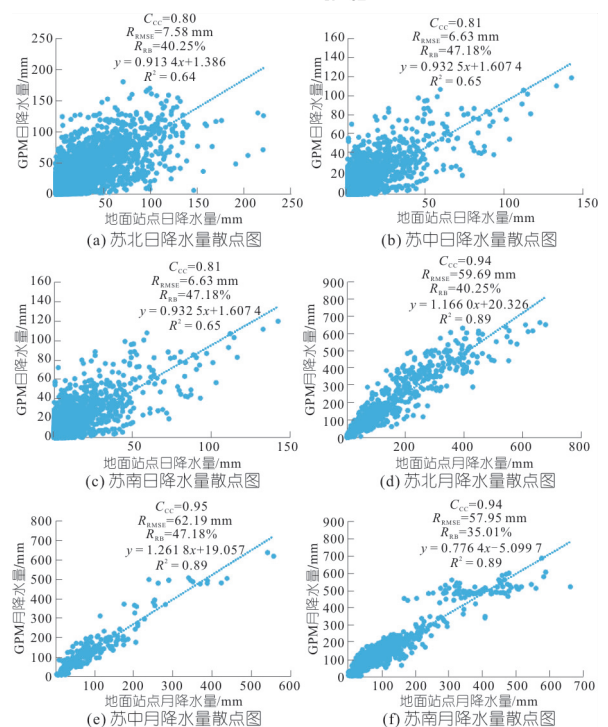


图 5 日、月尺度下 GPM 降水数据与地面站点

数据分区域对比分析

Fig. 5 Regional comparative analysis of GPM precipitation data and ground station data at daily and monthly scales

mm, $R_{RB} = 40.25\%$; 苏中 R_{RMSE} 最低, 为 6.63 mm, 但其 R_{RB} 相对最高, 为 47.18%; 苏南 R_{RB} 最低, 为 35.01%, $R_{RMSE} = 7.34$ mm。在月尺度下, GPM 与实测降水数据在各区域的拟合程度有明显改善, 均具有高度相关性 ($C_{CC} \geq 0.94$), 苏中相关性最高, $C_{CC} = 0.95$ 。误差方面, 苏南误差相对最低, $R_{RMSE} = 57.95$ mm, $R_{RB} = 35.01\%$; 苏中误差最高, $R_{RMSE} = 62.19$ mm, $R_{RB} = 47.18\%$ 。

整体来看, GPM 降水产品在江苏省与分区域中的拟合结果具有相似特征, 随着时间尺度的增加, 数据离散程度均有减小, 相关性明显提高。此外, 在日、月尺度下, 苏中地区相关性均有所提高, 苏南地区误差精度均有所降低。

由于苏南相对苏北、苏中地区极端降水发生的频次和强度更高, 为了进行更准确的评价, 分区域对 GPM 降水产品极端降水监测能力进行探究。根据极端降水指数, 分区域对 GPM 降水数据与地面站点数据进行计算, 并进行线性拟合, 精度评价结果见表 3。可以看出, 在苏南地区 GPM 卫星线性拟合结果精度相对更好, $C_{CC} \geq 0.65$, 在除 RX5day 以外的五个指数下, 相关性均为最高,

表 3 GPM 卫星极端降水监测能力分区域精度评价表
Tab. 3 Regional accuracy evaluation of GPM satellite extreme precipitation monitoring capability

极端降水指数	分区	C_{CC}	R_{RMSE}	R_{RB}	极端降水指数	分区	C_{CC}	R_{RMSE}	R_{RB}
			/mm	%				/mm	%
RR99P	苏北	0.71	15.42	19.04	R10	苏北	0.66	10.96	34.98
	苏中	0.59	13.22	20.78		苏中	0.80	14.22	36.48
	苏南	0.72	6.98	5.81		苏南	0.85	16.05	33.45
RR95P	苏北	0.50	7.15	36.58	R20	苏北	0.41	7.57	39.58
	苏中	0.51	7.60	35.29		苏中	0.62	10.42	54.95
	苏南	0.69	5.71	21.06		苏南	0.81	9.47	36.13
RX5day	苏北	0.70	48.33	12.23	R20TOT	苏北	0.68	324.49	38.39
	苏中	0.75	50.06	18.62		苏中	0.70	362.74	51.02
	苏南	0.65	50.66	-2.96		苏南	0.82	296.43	28.48

在 RR99P、RR95P、R20TOT 指数下均具有最低的 R_{RMSE} 、 R_{RB} 。说明 GPM 降水产品在江苏省极端降水更多的地区有更好的观测效果, 具有较好的极端降水监测能力。

4 结论

a. 在对江苏整体及分区域的研究中, GPM 降水数据与地面站点实测数据均具有较高的相关性, 且随着时间尺度的增加, 相关性更为显著。

b. 不同季节下 GPM 卫星观测精度存在一定差异, 其中冬季观测效果最佳。

c. GPM 卫星能够较好地观测和描述江苏地区极端降水的发生及降水的强度, 且在苏南地区有更高的观测精度。

d. 整体而言, GPM IMERG 卫星降水产品在江苏省具有较好的观测效果, 能够为该地区降水监测、降水过程再现等工作提供数据支持, 具有一定的应用潜力。

参考文献:

[1] 徐秀丽, 张艺铭, 张俊瑞, 等. 基于星地多源数据与 GA-DNN 模型的江苏省 GPM 产品降尺度研究[J]. 水电能源科学, 2021, 39(10): 18-21, 62.

[2] 陈茜, 官莉. GPM 卫星反演降水产品在江苏地区的适用性[J]. 气象科技, 2018, 46(6): 1103-1110, 1123.

[3] 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.

[4] 刘益锋, 汪小钦, 吴思颖, 等. GPM 与 TRMM 卫星降雨数据在福建省的适用性对比分析[J]. 水土保持研究, 2019, 26(6): 311-316.

Applicability Evaluation of GPM IMERG Satellite Precipitation Products in Jiangsu Province

DING Yan-wen, HU Yi-na, LI Jing, SHEN Yong-jie, WANG Pei, ZHU Yue

(Jiangsu Province Hydrology and Water Resources Investigation Bureau, Nanjing 210000, China)

Abstract: In order to evaluate the applicability of the latest generation GPM IMERG satellite precipitation products in Jiangsu Province, the measured precipitation data of 73 ground stations were selected as references. Using statistical indicators and extreme precipitation index, the accuracy evaluation of GPM IMERG precipitation products were conducted from the perspectives of day, month, season, and their extreme precipitation monitoring capabilities were evaluated. The results show that the GPM satellite precipitation products have good observation effects in Jiangsu region. At the daily and monthly scales, their overall and regional data have a high correlation with ground station measured data ($C_{CC} \geq 0.77$), and the correlation becomes more significant with the increase of time scale. At the same time, the GPM satellites overestimate the measured precipitation, and the R_{RMSE} at the monthly scale is relatively higher. There are certain differences in the observation accuracy of GPM satellites in different seasons, and the winter observation effect is the best, with high correlation and the lowest observation error ($C_{CC} = 0.92$, $R_{RMSE} = 26.37$ mm, $R_{RB} = 23.4\%$). The GPM satellite has good ability to monitor extreme precipitation and can observe and describe the occurrence and intensity of extreme precipitation in Jiangsu region, especially in the southern Jiangsu region, with better observation effect.

Key words: GPM; IMERG; precipitation intensity; extreme precipitation; Jiangsu