

GPM 与 TRMM 卫星降雨数据在福建省的 适用性对比分析

刘益锋, 汪小钦, 吴思颖, 林梦婧

(福州大学 空间数据挖掘和信息共享教育部重点实验室)

卫星空间信息技术综合应用国家地方联合工程研究中心, 福州 350108)

摘 要:降雨是引起土壤侵蚀的外部动力因素, 卫星降雨产品能够有效地克服常规降雨观测数据在空间上的不连续性, 具有明显空间分布优势。为了探究卫星降雨产品在福建地区的适应性, 利用福建省 22 个全国气象站点的观测数据, 分别对全球降雨测量 GPM 和热带降雨测量 TRMM 两种卫星降水数据在日、旬、月、季度几个不同时间尺度上进行了对比分析。结果表明:随着时间尺度增加, GPM 和 TRMM 与地面实测数据的相关性都呈现出依次递增的现象, 日均均方根误差 $RMSE^*$ 逐渐降低, 特别是由日到旬尺度变化时 $RMSE^*$ 出现陡降, 而旬和月的差异不大; 卫星产品与站点实测数据拟合直线的斜率逐渐趋向于 1。在日尺度上, 相关性都小于 0.5, $RMSE^*$ 均大于 13 mm/d; 在旬尺度上, 相关性介于 0.7~0.8, $RMSE^*$ 均小于 5 mm/d; 在月尺度上, 两者与观测数据的相关性都大于 0.9, GPM 数据整体上精度优于 TRMM 数据, 但是在福建东南沿海 TRMM 精度要高于 GPM。在季度尺度上两种卫星产品的精度与季节总降雨量呈负相关, 季节差异较大; 夏季多雨时 r 值和 K 值低而 $RMSE$ 最高, 冬季少雨时与地面实测数据一致性高, r 和 K 值最高而 $RMSE$ 最低, 春秋两季也有较好的精度; 在不同的季节 GPM 各项指标均优于 TRMM。综合不同时间尺度的结果, 总体上, 两种卫星降雨数据都具有较高的精度, 其中 GPM 卫星降水数据在福建省的适用性较高, 数据的空间分辨率更高, 数据精度也略高, 更适合于区域应用。

关键词:福建省; GPM; TRMM; 降水量; 时间尺度

中图分类号: TP753; P412.27

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)06-0311-06

Comparative Analysis of Applicability of GPM and TRMM Satellite Precipitation Data in Fujian Province

LIU Yifeng, WANG Xiaoqin, WU Siying, LIN Mengjing

(National & Local Joint Engineering Research Center of Satellite Geospatial Information Technology, Key Laboratory of Spatial Data Mining and Information Sharing, Ministry of Education, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: Rainfall is the external dynamic factor that causes soil erosion. Satellite rainfall products can effectively overcome the discontinuity of conventional rainfall observation data in space and have obvious spatial distribution advantages. In order to explore the adaptability of satellite rainfall products in Fujian Province, using the observational data of 22 meteorological stations in Fujian Province, a comparative analysis on the global rainfall measurement GPM and tropical rainfall measurement TRMM at different time scales of day, ten days, months and seasons was carried out. The results show that with the increase of time scale, the correlation of GPM and TRMM with the measured data on the ground also increases, and the daily root mean square error ($RMSE^*$) decreases gradually, especially the $RMSE^*$ drops steeply from day to ten-day scale, however, the difference between $RMSE^*$ of ten-day scale and that of the month scale was not obvious; the slope of the fitting line between satellite products and the measured data of the station gradually tends to be 1; the correlation is lower than 0.5, and the correlation of $RMSE^*$ is greater than 13 mm/d at the daily scale, and the correlation is between 0.7~0.8, and $RMSE^*$ is less than 5 mm/d at the ten-day scale; with respect to the monthly scale, the correlation is between data of GPM and TRMM and the observed data is greater than 0.9, the accuracy of GPM data is better than that of TRMM data, but the accuracy of TRMM data is higher than that of GPM data in the southeast coast of Fujian Province; with respect to the quarterly

收稿日期: 2018-11-23

修回日期: 2019-01-19

资助项目: 中央引导地方科技发展专项(2017L3012); 福建省高校产学研重点项目(2017Y4010)

第一作者: 刘益锋(1995—), 男, 福建莆田人, 硕士研究生, 研究方向为遥感信息处理与应用。E-mail: 1060633711@qq.com

通信作者: 汪小钦(1972—), 女, 福建古田人, 博士, 研究员, 主要从事环境与自然资源遥感研究。E-mail: wangxq@fzu.edu.cn

scale, the accuracy of the two satellite products is negatively correlated with the total seasonal rainfall, and there is a great seasonal difference; When a lot of rain occurs in summer, the r and K values are low and RMSE is the highest; when little rain occurs in winter, it is more consistent with the measured data on the ground, r and K values are the highest and RMSE is the lowest, precision is also high in spring and autumn; the precision of GPM is better than that of TRMM in different seasons. According to the results of different time scales, the two kinds of satellite rainfall data both have high accuracy, while the GPM satellite precipitation data has higher spatial resolution and higher data precision in Fujian Province and more suitability for regional applications.

Keywords: Fujian Province; GPM; TRMM; precipitation; time scale

降水作为水循环的重要输入,同时也是导致水土流失的直接动力之一,在各种空间和时间尺度上获取精确的降水数据对研究水土保持等生态工作起到关键作用^[1-2]。长期以来,水土保持工作中对降雨数据的获取基本依赖于传统的气象站点,而气象站点观测数据的获取不容易,且国家气象局提供的全国气象站点数量少,如福建境内的全国气象站点仅有 22 个,站点密度低,空间位置分布不均匀等导致最后处理的降雨数据精度较差,难以满足实际应用的需求。

近十几年来,随着空间技术与遥感反演理论的发展,推动了卫星在降雨观测方面的应用,出现了许多高时空分辨率的遥感反演卫星降水数据,能够适用于实际的全球及区域研究^[3]。其中应用最多的是来自美国 NASA 和日本 JAXA 于 1997 年共同研发的 TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)卫星,20 年来已经积累了海量的高时空分辨率降水数据,广泛应用于各种有关降水的研究中^[4]。如 Robbins^[5]使用 TRMM 卫星降水数据研究巴布亚新几内亚降雨与触发山体滑坡事件之间的关系;李德俊等^[6]利用 TRMM 数据对川南特大暴雨进行诊断;Castro 等^[7]对 TRMM 降水数据在亚马逊雨林等地的研究发现,TRMM 数据在降水的季节性上有很好的表现。

作为 TRMM 的继任者,美国 NASA 和日本 JAXA 于 2014 年 2 月 28 日发射全球降水测量(Global Precipitation Measurement;GPM)任务,旨在为星载定量降水估计建立新的标准,并提供下一代降水产品。其载有第一架星载双频降水雷达(DPR)和圆锥扫描多通道微波成像仪,与 TRMM 相比具有更宽的测量范围,而且提高了对弱降水(<0.5 mm/h)和固态降水的探测能力^[8]。在从 TRMM 时代向 GPM 时代过渡的过程中,国内外不少学者对 GPM 产品进行评估。如 Mou 等^[9]基于 GPM 和 TRMM 对新加坡降雨进行评估时,发现 GPM 在对空间降水变异性 and 降水探测能力上的表征要优于 TRMM;金晓龙等^[10]对 GPM 卫星降水数据在天山山区的适用性分析中发现,GPM 能够以较准确的精度和较低的误差估测降水。但是由于 GPM 发射的时间较晚,其产品 in 时间序列上有所欠缺,因此在一些区域的适用性更是得不到有效的验证。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

福建省地处中国东南沿海,介于北纬 $23^{\circ}33'$ — $28^{\circ}20'$,东经 $115^{\circ}50'$ — $120^{\circ}40'$,东与中国台湾省隔海相望,东北与浙江毗邻,西北横贯武夷山脉与江西相交,西南与广东相连。总体地势西北高东南低,境内峰岭耸峙,丘陵连绵,河谷、盆地穿插其间,山地、丘陵占全省总面积的 80% 以上(图 1)。陆地海岸线长达 3 752 km,港湾众多,岛屿星罗棋布。平均海拔 1 000 m 左右,位于亚热带地区,属典型的亚热带季风气候,夏季高温多雨,冬季温和少雨,平均气温 $15.3\sim21.9^{\circ}\text{C}$,平均雨量 $930\sim1\,843$ mm^[11-12]。

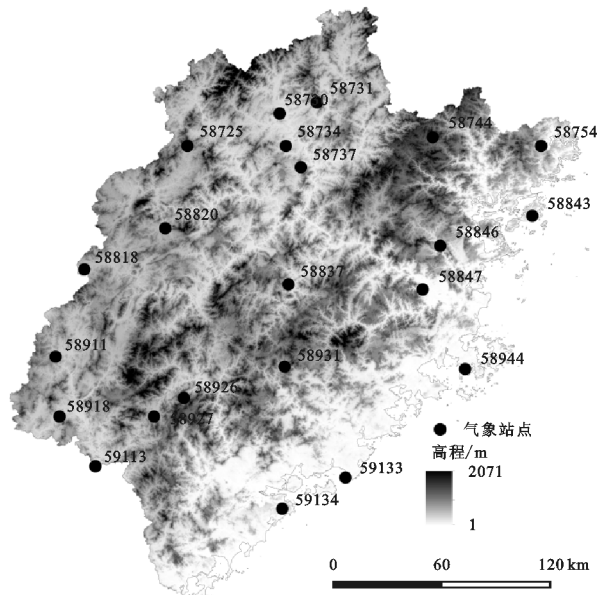


图 1 福建省地形及气象站点分布

1.2 研究数据

本文使用的地面实测降水数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)的福建省 22 个气象站点逐日的实测降雨数据,根据 GPM 和 TRMM 降雨产品共同的覆盖时间,选择时间跨度从 2015—2017 年,并处理成逐旬、逐月、逐季的数据。GPM 和 TRMM 卫星降水数据均来自 NASA(<https://pmm.nasa.gov/>),具体的产品见表 1。

表 1 GPM 与 TRMM 卫星降水产品参数

名称	版本	覆盖范围	时间范围 (年-月-日)	空间分辨率	时间分辨率
TRMM_3B42_Daily	7	-180.0,-50.0	2015-01-01	0.25°×0.25°	1 d
		180.0,50.0	2017-12-31		
GPM_3 IMERGDF	5	-180.0,-60.0	2015-01-01	0.1°×0.1°	1 d
		180.0,60.0	2017-12-31		

为了对 GPM 和 TRMM 能够在多时间尺度上进行精确的对比分析,需要对数据进行预处理。在时间尺度上分别对两种数据进行累计,处理成逐旬、逐月的卫星降水数据;季节上根据福建区域的季节特性,取 3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、12—翌 2 月为冬季,处理成逐季数据。

本文基于站点尺度对 GPM 和 TRMM 进行分析。GPM 和 TRMM 的试验数据是根据气象站点的坐标值所对应的并预处理好的不同时间尺度的栅格格点数据。

为了对两种卫星在福建省的适用性进行定量的评价,采取相关系数(r)、散点斜率(K)、均方根误差(RMSE)对卫星降雨产品数据进行评价。为了使不同时间尺度的 RMSE 具有可比性,统一计算为日均方根误差(RMSE^{*})。 r 表示卫星降水数据和地面实测降水数据的线性相关性; K 值越趋近 1 表示测试数据越接近真实值^[13];RMSE 可以很好地评价卫星降水数据的精度^[14],而 RMSE^{*} 可以使不同时间尺度的误差具有可比性。

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \overline{P})(S_i - \overline{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - \overline{P})^2 \sum_{i=1}^N (S_i - \overline{S})^2}} \quad (1)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - S_i)^2}{N}} \quad (2)$$

$$\text{RMSE}^* = \frac{\text{RMSE}}{N^*} \quad (3)$$

式中: N 为参与统计的序列总数; N^* 为对应时间序列的天数(旬尺度取 10 d,月尺度取 30 d); P_i, S_i 是第 i 时间刻度时对应的卫星反演降雨值和地面实测降雨值; $\overline{P}, \overline{S}$ 是 P_i 和 S_i 所对应时间序列的均值。

2 结果与分析

2.1 日、旬和月尺度下 GPM 和 TRMM 降雨产品的精度对比

图 2 显示了站点尺度上 GPM 和 TRMM 的日、旬、月降雨值与相应时间站点观测数据的散点及线性拟合情况,图 3 是两种卫星产品的精度指标在时间尺度上的变化趋势。从图 2 可以看出,随着时间尺度的增加,GPM 和 TRMM 在相关性和拟合程度上不断提高,数据的离散程度越来越小,拟合直线的斜率越趋向于 1,RMSE^{*} 逐渐变小。从日尺度到旬尺度有

一个陡然变化趋势,从旬尺度到月尺度的变化相对较为缓慢。与地面站点观测数据相比,卫星产品数据偏小,同时 GPM 的总体精度优于 TRMM。

在日尺度上,TRMM 与 GPM 的拟合程度都不高,与 $y=x$ 线存在较大的偏差, K 值在 0.5 左右;相应的 TRMM 的相关系数 $r=0.43$,而 GPM 虽然高于 TRMM,但 r 值也仅为 0.51;RMSE^{*} 都大于 13 mm/d。一方面是因为卫星产品的日观测数据是以世界时(UTC)为准,而地面观测站点的数据是在北京时的基础上进行统计的,两者相差 8 h^[15];另一方面我们所获取的卫星数据都是地面点坐标对应的卫星格网数据,每个栅格覆盖的范围较大,其对应的数据也是该范围内的一个均值,导致一定程度上卫星数据在站点尺度上小于实测降水量,同时解释了后面大部分散点图的趋势线斜率 $K<1$ ^[16]。

由日尺度增加到旬尺度,不管是拟合程度还是相关系数上都有很大的改善, r 和 K 值也增长到 0.7~0.8,散点呈现出一定的集中分布,RMSE^{*} 值由 14 mm/d 左右骤降到 4 mm/d 附近,同时也证明了时间尺度对数据评估精度的影响。

在月尺度上,由于基本上排除了时空差异的影响,两种卫星数据的散点图呈现集中分布于趋势线上,GPM 和 TRMM 的 K 值都在 0.8 以上,与 $y=x$ 相当接近,相应的两者相关性也高达 0.92,0.9,表现为高度相关。虽然从旬到月的时间跨度是之前的两倍,但是在精度提高上却远不如从日到旬,特别是在 RMSE^{*} 指标上精度仅从 4 mm/d 提高到 3 mm/d 左右。

在月尺度上,逐个站点对比地面观测数据与卫星数据(表 2),相关系数 r 和 RMSE 的指标中 GPM 整体上要优于 TRMM,但是均值对比上两者间的差距却不是很明显, r 和 RMSE 的差值分别仅为 0.01,5.21 mm,而散点的线性拟合斜率 K 值,TRMM 的均值优于 GPM。进一步对比发现站点号为 58944,59133,59134 的 3 个站点上,GPM 的观测精度要明显低于 TRMM 的精度。观察后发现 3 个异常点均位于福建东南沿海地区(图 1);从表 2 中可以看出,在这些异常点上不管相关系数 R 还是 RMSE,GPM 相对于 TRMM 具有较大的误差。因此,虽然 GPM 在福建的整体精度较高,但是在东南沿海区域的精度不如 TRMM,如果仅针对该地区的降水应用,可以优先考虑采用 TRMM 数据。

2.2 季节尺度对比分析

福建省位于亚热带季风气候盛行区域,年均降雨量丰富,但是在季节上分配不均,呈现出夏季多雨,冬季少雨的常态^[17-18],所以在季节尺度上开展卫星降雨数据的精度评估是其在福建省适用性的一个重要方面。

按照福建地区的气候将每年的 3—5 月归为春季、6—8 月归为夏季、9—11 月归为秋季、12—翌年 2 月归为冬季,对 4 个季节内 22 个地面实测站点的降

水数据与 GPM 和 TRMM 两种卫星的降水数据进行

对比分析(图 4)。

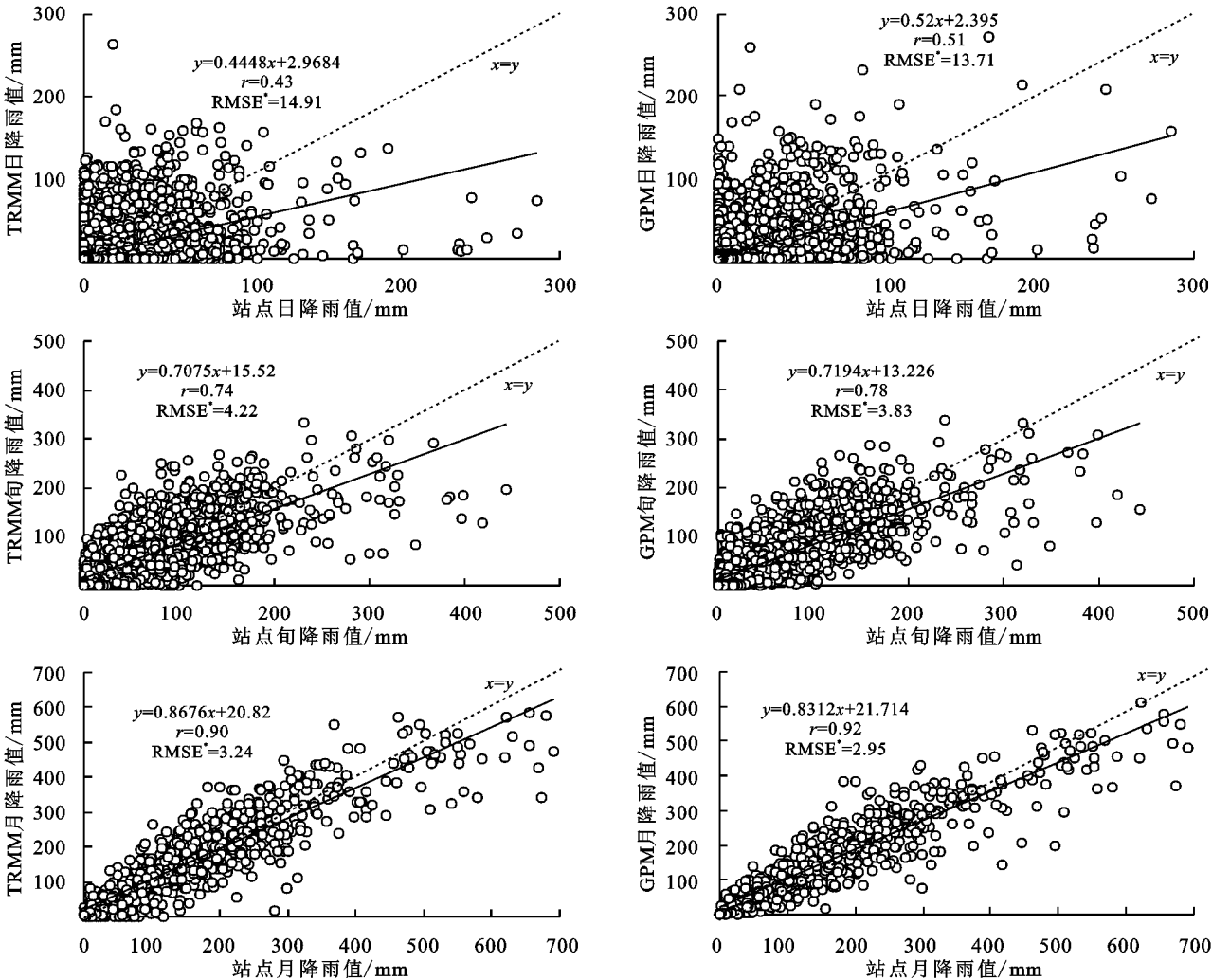


图 2 不同时间尺度下 GPM 和 TRMM 与站点观测数据的散点图

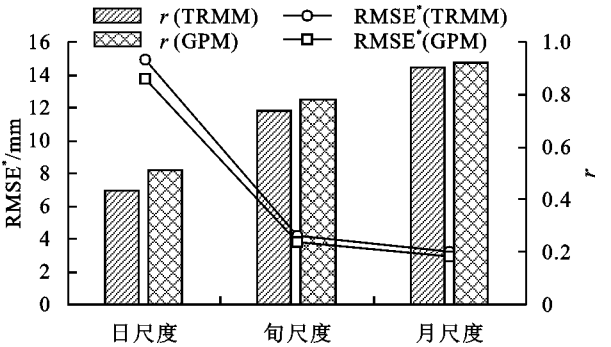


图 3 日、旬、月尺度下 GPM 和 TRMM 指标变化趋势

可见,卫星降雨产品在不同季节的精度差异较大,GPM 和 TRMM 数据在春、秋、冬 3 季的精度较高,尤其是冬季,而夏季两者的精度最低。从图 4 的散点图对比可以看出,夏季两种卫星的降水数据都表现出与地面实测数据的较低拟合度和相关性,GPM 和 TRMM 的散点线性拟斜率 K 和相关系数 r 均小于 0.7,散点分布较为零散, RMSE 大于 130 mm/季。其主要的原因可能是福建夏季是台风季,常伴有强降雨,在观测精度上存在较大偏差。

表 2 月尺度下各站点的精度统计

序号	站点号	GPM			TRMM		
		r	RMSE/mm	K	r	RMSE/mm	K
1	58725	0.96	42.38	0.90	0.95	48.02	0.91
2	58730	0.94	58.77	0.77	0.92	62.82	0.84
3	58731	0.96	42.62	0.88	0.95	48.54	0.95
4	58734	0.88	65.78	0.88	0.87	76.74	0.95
5	58737	0.93	53.65	0.86	0.92	61.21	0.94
6	58744	0.93	58.08	0.83	0.94	51.82	0.91
7	58754	0.97	48.63	0.77	0.97	50.66	0.76
8	58818	0.94	46.49	0.82	0.87	62.75	0.81
9	58820	0.91	58.30	0.78	0.86	71.97	0.77
10	58837	0.93	44.20	0.97	0.90	50.33	0.95
11	58843	0.87	58.85	0.78	0.85	84.14	0.99
12	58846	0.89	69.96	0.81	0.87	86.25	0.75
13	58847	0.97	38.63	0.87	0.95	52.06	0.76
14	58911	0.95	34.07	0.93	0.93	47.31	1.07
15	58918	0.94	45.11	0.84	0.93	48.36	0.97
16	58926	0.95	35.81	0.93	0.94	42.47	1.00
17	58927	0.95	61.77	0.72	0.92	65.21	0.76
18	58931	0.95	39.29	0.97	0.92	54.43	0.94
19	58944	0.78	71.43	0.66	0.92	43.94	0.94
20	59113	0.94	53.58	0.79	0.90	65.88	0.78
21	59133	0.81	59.64	0.67	0.87	49.72	0.89
22	59134	0.83	67.94	0.66	0.92	45.00	0.88
均值		0.92	52.50	0.82	0.91	57.71	0.89

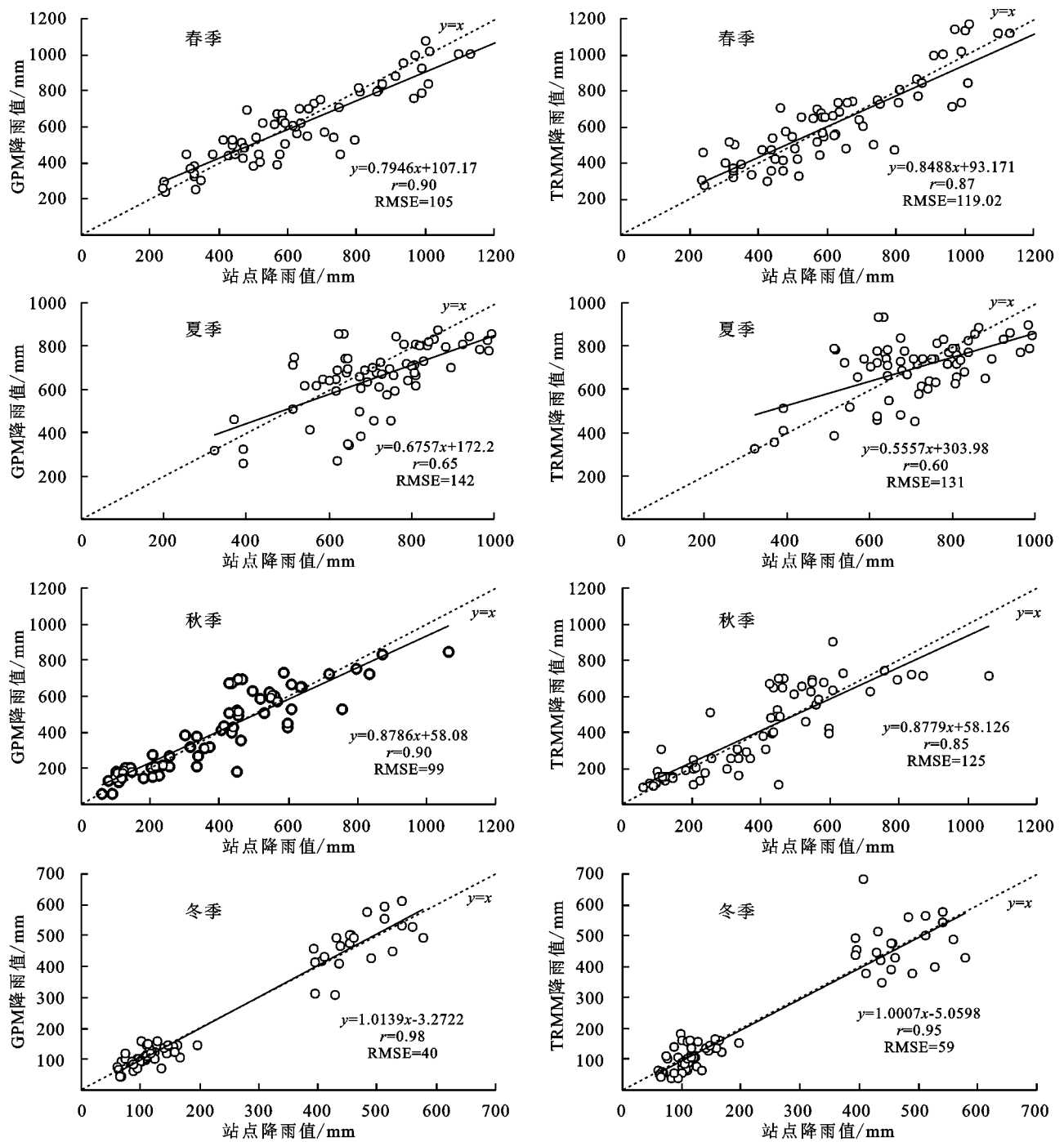


图 4 不同季节的卫星降水数据与地面实测降水数据的散点对比

而在冬季,两者卫星在拟合程度上都与实测值高度一致,散点图的拟合直线基本上与 $y=x$ 重合, K 值均接近于 1;RMSE 小于 60 mm/季; r 均大于 0.95,GPM 的 r 高达 0.98。这是由于福建省在冬季的降雨量是全年四季中最低的,而 GPM 卫星是以双频降水测量雷达为主载荷,其在轨道倾角及仪器通道方面的优势,大大提高了对弱降水和固态降水的探测能力^[19-20],因此在冬季少雨的情况具有较高的精度,这与金晓龙等^[10]对 GPM 产品在天山山区的适用性研究结果一致。春季和秋季也具有较为满意的结果,GPM

的 r 均达到 0.9,TRMM 的 r 也大于 0.85; K 基本上大于 0.8;GPM 的 RMSE 约 100 mm/季,TRMM 的 RMSE 约 120 mm/季。从相对降雨误差而言,春夏由于降雨总量较大,相对误差反而小,约 25%;而秋冬季节由于降雨量少,相对误差约是 1/3。

站点的季节降雨值与 GPM 和 TRMM 的相关系数 r 随季节的变化见图 5,发现总体上随降雨量增加 r 降低,表现为一定的负相关。在夏季多雨季节,两者卫星的相关系数仅为 0.6 左右,而随着降雨量的减少,在秋冬两季上相关性不断增加,特别是在冬季 r

趋于 1, 在春季则表现的较为稳定。在两种卫星相关系数的变化线上, GPM 的 r 值均要大于 TRMM, 所以在季度上 GPM 的卫星降水数据在福建省具有更高的可靠性。

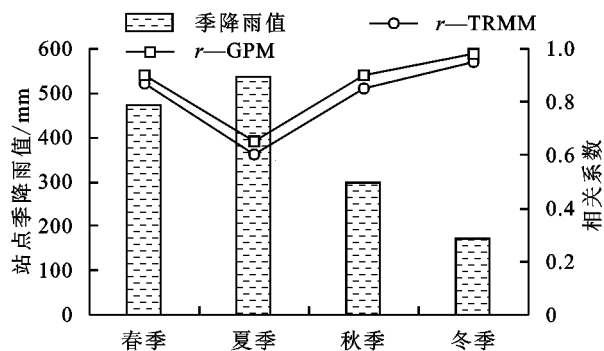


图 5 福建省降雨量及相关系数的季节变化

3 结论

(1) 福建省 GPM 和 TRMM 降水数据与地面实测数据的精度在日、旬、月时间尺度上, 由于时间差异的不断减少, 两者精度不断改善, 特别是从日尺度到旬尺度增长加速度最快, 各指标得到极大的改善, 而从旬到月尺度的精度改善非常有限。在各站点的月尺度上, 虽然总体 GPM 精度高于 TRMM, 但是在福建东南沿海 TRMM 要远优于 GPM。

(2) 在季节尺度上, 福建的春、秋、冬三季卫星的降水精度远高于夏季, 特别是在冬季, 由于 GPM 提高了对弱降水和固态降水探测能力, 在精度上表现优异; 随着降雨量的增加相关性反而减少, 具体表现为夏季多雨低相关, 冬季少雨高相关, 在整体指标上 GPM 在福建具有较高的可靠性。

GPM 卫星作为新一代的降水观测卫星, 在福建省的观测精度总体要高于 TRMM 卫星, 在对有关降水的研究和应用中有着较好的应用前景。

参考文献:

- [1] Mou T, Ab I, Zheng D, et al. Evaluation of six high-resolution satellite and ground-based precipitation products over Malaysia[J]. Remote Sensing, 2015, 7(2): 1504-1528.
- [2] Panagos P, Ballabio C, Borrelli P, et al. Spatio-temporal analysis of rainfall erosivity and erosivity density in Greece[J]. Catena, 2015, 137: 161-172.
- [3] 蔡研聪, 金昌杰, 王安志, 等. 中高纬度地区 TRMM 卫星降雨数据的精度评价[J]. 应用生态学报, 2014, 25(11): 3296-3306.
- [4] 嵇涛, 杨华, 刘睿, 等. TRMM 卫星降水数据在川渝地区的适用性分析[J]. 地理科学进展, 2014, 33(10): 1375-1386.
- [5] Robbins J C. A probabilistic approach for assessing landslide-triggering event rainfall in Papua New Guinea, using TRMM satellite precipitation estimates[J]. Journal of Hydrology, 2016, 541(Part A): 296-309.
- [6] 李德俊, 李跃清, 柳草, 等. 利用 TRMM 卫星资料对“07.7”川南特大暴雨的诊断研究[J]. 暴雨灾害, 2009, 28(3): 235-240.
- [7] Castro E, Campoazano L. Validation of satellite precipitation (TRMM 3B43) in Ecuadorian, coastal plains, Andean highlands and Amazonian rainforest[J]. Isprs-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2016, DOI: 10.5194/isprsarchives-XLI-B8-305-2016.
- [8] Zhang S, Wang D, Qin Z, et al. Assessment of the GPM and TRMM precipitation products using the rain gauge network over the Tibetan Plateau[J]. Journal of Meteorological Research, 2018, 32(2): 324-336.
- [9] Mou T, Zheng D. Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore[J]. Remote Sensing, 2017, 9(7): 720-736.
- [10] 金晓龙, 邵华, 张弛, 等. GPM 卫星降水数据在天山山区的适用性分析[J]. 自然资源学报, 2016, 31(12): 2074-2085.
- [11] 王振平, 汪小钦, 曾舒娇, 等. 福建省水土流失现状分析[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 169-175.
- [12] 黄婕, 王跃峰, 高路, 等. 1960—2011 年福建省不同等级降水时空变化特征[J]. 中国水土保持科学, 2015, 13(2): 17-23.
- [13] 李蒙, 秦天玲, 刘少华, 等. 怒江上游 TRMM 3B42V7 降水产品资料时空验证及降水特征分析[J]. 高原气象, 2017, 36(4): 950-959.
- [14] 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.
- [15] 张月圆, 李运刚, 季璇, 等. 红河流域 TRMM 卫星降水数据精度评价[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(2): 1-8.
- [16] Tang Guoqiang, Ma Yingzhao, Long Di, et al. Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA Version-7 legacy products over Mainland China at multiple spatio-temporal scales[J]. Journal of Hydrology, 2016, 533: 152-167.
- [17] 余赛英. 福建省降水特性分析[J]. 黑龙江水专学报, 2002, 29(2): 24-26.
- [18] 杨晓梅, 刘李, 史婷婷, 等. 基于 TRMM 数据的福建省降水时空格局 BME 插值分析[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16(3): 470-481.
- [19] 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.
- [20] Tan M L, Santo H. Comparison of GPM IMERG, TMPA3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia[J]. Atmospheric Research, 2018, 202: 63-76.