

TRMM卫星降水数据在川渝地区的适用性分析

——以2017年为例

张乐天

成都信息工程大学, 四川 成都
Email: 530582458@qq.com

收稿日期: 2020年8月25日; 录用日期: 2020年9月9日; 发布日期: 2020年9月16日

摘要

本文利用2017年川渝地区71个地面站点的实测降水数据, 在年、月和日尺度上验证了TRMM 3B42V7降水数据的精度, 分析TRMM卫星降水数据在该地区的适用性。结果表明, 在年、月和日尺度上, TRMM 3B42V7与实测降水数据之间均呈显著线性关系, 但回归方程斜率都较小, 分别为0.249、0.290和0.198, 且降水量相对误差较高, 分别为-68.60%、-65.88%和-65.77%。这说明TRMM 3B42V7降水数据显著低估实际降水量, 但通过线性回归方程可估算出实际降水量。就单个站点而言, 月尺度上绝大部分站点降水实测数据与TRMM 3B42V7的相关系数较高, 平均值高达0.915; 而在日尺度上气象站点的降水实测数据与TRMM 3B42V7降水量之间的相关系数平均值下降为0.622。无论是月尺度还是日尺度上, 峨眉山站的相关系数最小, 分别为0.628和0.191。

关键词

TRMM 3B42V7, 降水, 相关系数, 川渝地区

Applicability Analysis of TRMM Satellite Precipitation Data in Sichuan-Chongqing Region

—A Case in 2017

Letian Zhang

School of Atmospheric Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: 530582458@qq.com

Received: Aug. 25th, 2020; accepted: Sep. 9th, 2020; published: Sep. 16th, 2020

Abstract

Based on the measured precipitation from 71 meteorological stations of Sichuan-Chongqing region in 2017, the accuracy of precipitation data from TRMM 3B42V7 is verified and the applicability analysis of TRMM 3B42V7 satellite precipitation data is conducted on the yearly, monthly and daily scale. The results show that there are significant linear relationships between TRMM 3B42V7 precipitation and measured precipitation on the yearly, monthly and daily scale, while their slope of regression equation is all small, which is 0.249, 0.290 and 0.198, respectively. Moreover, on the yearly, monthly and daily scale, relative errors of precipitation between measured data and TRMM 3B42V7 satellite data are -68.60%, -65.88% and -65.77%, respectively. These indicate that the measured precipitation is significantly underestimated by TRMM 3B42V7 precipitation data, but can be estimated more accurately by linear regression equation. For individual stations, at most stations, the correlation coefficients between TRMM 3B42V7 precipitation and measured precipitation are reasonably high, which of average value is as high as 0.915 on the monthly scale, but the correlation coefficient decreases to 0.622 on the daily scale. Whether on the monthly scale or on the daily scale, the correlation coefficient at Mount Emei Station is comparatively low in 71 meteorological stations, which is 0.628 and 0.191, respectively.

Keywords

TRMM 3B42V7, Precipitation, Correlation Coefficient, Sichuan-Chongqing Region

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

降水是研究区域和全球气候变化的基本要素之一，也是地表与大气间能量与水循环过程的重要组成部分[1]，因此准确掌握降水信息对研究不同时空尺度下的大气循环和水循环过程都起着关键作用[2]，特别是对于区域防灾减灾具有重要指导作用。

目前降水数据的获取方式主要包括地面气象站点观测、地面测雨雷达和卫星遥感。尽管地面气象台站和地面测雨雷达精度都比较高，但均受制于观测点稀少、空间代表性差，且其空间插值精度非常有限，严重限制了其应用范围。相比之下，卫星遥感获取的降水数据具有高时空分辨率、大覆盖范围以及不受地形地貌条件限制的特点，其提供的降水时空分布信息具有明显的优势[3]，其中典型的是由美国和日本联合研制的热带降雨测量卫星计划 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 卫星在日本发射，为全球降水的高时空分辨率探测提供了新的途径和方法[4]，目前已广泛应用于水文过程模拟[5]、降雨分布特征[6]、天气过程分析[7]等研究中。与此同时，TRMM 卫星降水数据的可靠性与精度问题也受到了广泛关注。

川渝地区地貌地形复杂且受多个气候系统的影响，降水空间分布极不均匀，是我国降水局域区域差异最大、变化最复杂的地方之一。有研究表明在年、季和月时间尺度上，TRMM 3B43 降水数据在川渝地区有较高精度，具有良好的适用性[8]。该结论是基于 2000~2011 年川渝地区 72 个气象站点观测数据，对卫星降水数据进行检验得到的，是对多年降水评估得到的平均结果。但是川渝地区年际间、季节内降水差异均较大，TRMM 卫星数据在某一年内精度如何，关于这方面的研究比较少见。本文通过

比较 2017 年 TRMM 卫星数据与实测降水数据,以期进一步评估 TRMM 卫星数据在川渝地区的可靠性与适用性,从而为应用该卫星数据对该区域水文、气象和防洪减灾等模拟及预报工作奠定基础。

2. 资料与方法

本文所用数据包括地面气象站点实测降水数据和 TRMM 3B42V7 数据。实测降水观测数据来自中国气象数据共享服务中心,选取 2017 年川渝地区 71 个气象站点观测数据,川渝地区地势概况以及 71 个气象站点的分布如图 1 所示。对卫星降水数据进行检验。降水数据可以通过气象站观测、卫星遥感、大气模式模拟等获取,但地面气象站点观测的降水数据是最准确的[9],因此在本文中将该实测数据作为“真值”。TRMM 3B42V7 数据从 <http://trmm.gsfc.nasa.gov/> 免费下载,空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,其时间分辨率为 3 h,时间范围为 2017 年 1 月 1 日至 2017 年 12 月 31 日。TRMM 3B42V7 数据为网格数据,站点实测值为单点数据,本文通过最临近插值法得到卫星降水数据在各个地面气象站点的降水估计值,同时将 TRMM 卫星 3 h 时间尺度的降水数据进行累加得到逐日降水数据,进一步与气象站日降水数据进行匹配。在年、月和日尺度上将 TRMM 3B42V7 降水产品与之进行线性回归,利用相关系数和相对误差来检验 TRMM 卫星降水数据的精度,从而明确其在川渝地区的适用性。

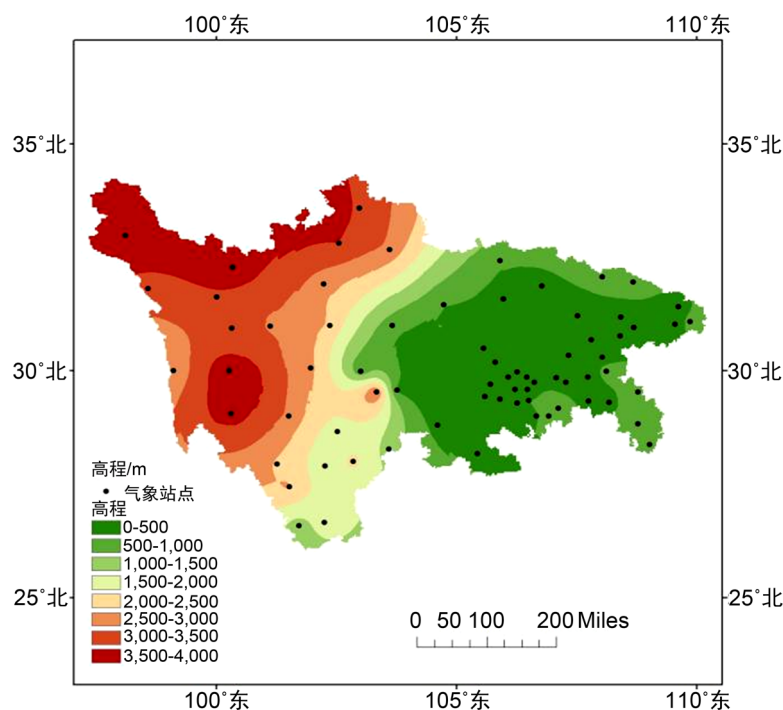


Figure 1. Sichuan-Chongqing region and the distribution of the 71 meteorological stations
图 1. 川渝地区概况以及 71 个气象站点的分布图

3. TRMM 卫星降水量精确检验

3.1. 年降水量精度检验

如图 2 所示,年尺度上 TRMM 3B42V7 降水数据与实测降水数据之间具有很好的相关性,相关系数 R 达到 0.66,但线性回归方程斜率仅为 0.14。研究区 71 个站点实测的年降水量平均值为 $1068.24 (\pm 306.27)$ mm,其对应的 TRMM 3B42V7 降水平均值为 $335.38 (\pm 65.77)$ mm,年降水量相对误差为 -68.60% 。这些

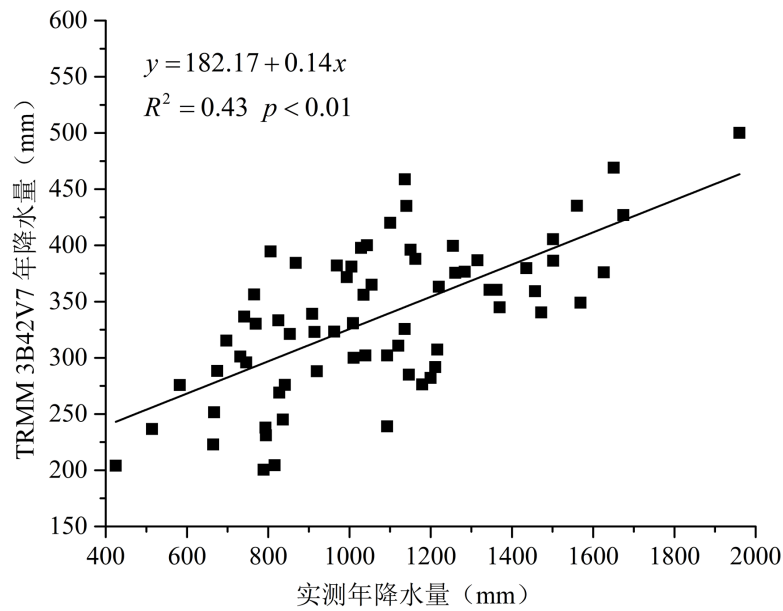


Figure 2. Scatter diagram of annual precipitation between TRMM 3B42V7 and corresponding meteorological stations data in 2017

图 2. 2017 年 TRMM 3B42V7 与地面观测站年降水量散点图

都表明 TRMM 3B42V7 降水数据明显小于实测降水数据，这可能与川渝地区地形复杂、气候系统多样有关。TRMM 卫星数据不能够直接替代实际降水数据，但是二者之间的线性回归方程通过了 0.01 的显著性水平检验，说明通过回归方程可以估算出可信度比较高、与实际降水量接近的降水数据。

为进一步分析 TRMM 3B42V7 降水空间分布特征，利用克里金插值法将站点降水数据进行空间插值，分别绘制基于 TRMM 3B42V7 和实测降水数据的降水空间分布图。如图 3 所示，实测和 TRMM 卫星来源的降水量在空间分布上尽管数量大小存在一定差异，但其空间分布特征基本相同，从西部高原区向东部盆地区均呈现为增加趋势，且中部地区的四川盆地降水量明显大于四周山地降水量。

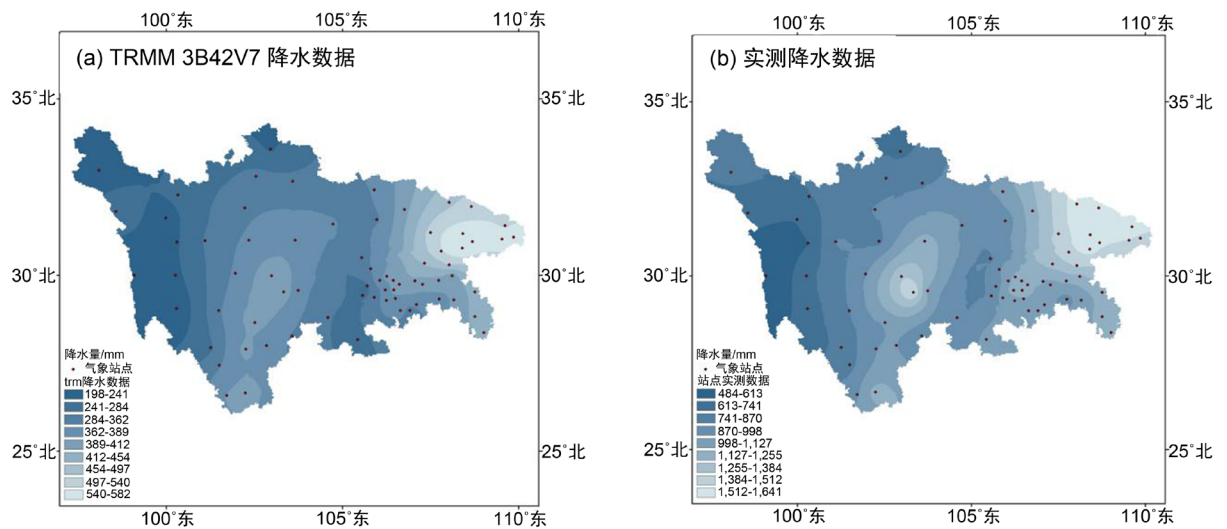


Figure 3. Spatial distribution of annual precipitation from different precipitation data sources in Sichuan-Chongqing region in 2017: (a) TRMM 3B42V7 data and (b) Measured precipitation

图 3. 2017 年川渝地区不同降水数据来源的年降水量空间分布图：(a) TRMM 3B42V7 和(b) 实测降水量

3.2. 月降水量精度检验

如图 4 所示,月尺度上 TRMM 3B42V7 降水数据与实测降水数据相关性更好,相关系数 R 达到 0.91,线性回归方程斜率增加到了 0.31。研究区 71 个站点实测的月降水量平均值为 $97.88 (\pm 88.23)$ mm,其对应的 TRMM 3B42V7 降水平均值为 $33.40 (\pm 29.83)$ mm,月降水量相对误差仍然达到 -65.88% ,这表明月尺度上 TRMM 卫星估算的降水量同样明显小于实际降水量。因此,月尺度上 TRMM 卫星数据与实际数据相差很大,但由于二者之间的线性回归方程通过了 0.01 的显著性水平检验,且决定系数 R^2 高达 0.83,说明利用该方程根据 TRMM 3B42V7 卫星数据可估算出实际月降水量。

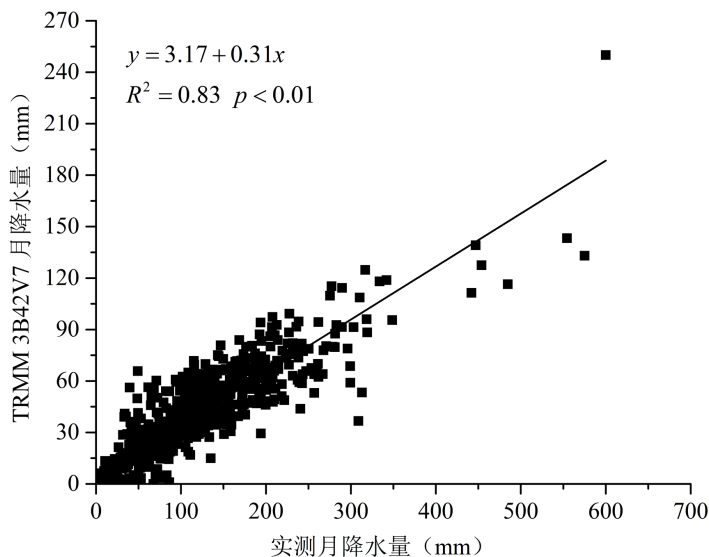


Figure 4. Scatter diagram of monthly precipitation between TRMM 3B42V7 and corresponding meteorological stations data in 2017

图 4. 2017 年 TRMM 3B42V7 与地面观测站月降水量散点图

3.3. 日降水量精度检验

如图 5 所示,日尺度上 TRMM 3B42V7 降水数据与实测降水数据散点分布明显比较分散,二者的相关系数与年尺度上的基本相同,为 0.65。研究区 71 个站点实测的日降水量平均值为 $3.17 (\pm 8.70)$ mm,其对应的 TRMM 3B42V7 降水平均值为 $1.08 (\pm 3.14)$ mm,日降水量相对误差为 -65.77% ,与月降水量相对误差基本相同。说明 TRMM 3B42V7 降水数据在日尺度上同样显著低估了实际降水量。日尺度上 TRMM 卫星数据与实际数据之间的线性回归方程也通过了 0.01 的显著性水平检验,决定系数 R^2 达到了 0.42,利用回归方程也可以根据 TRMM 3B42V7 卫星数据来推算实际日降水量,但是显然估计值整体来看变异系数较大,原因是实测的日降水量和 TRMM 3B42V7 降水量的变异分别达到了 274.4%和 290.7%。

3.4. 最大降水量精度检验

由于本文研究是基于一年(2017 年)的降水量数据,所以只对比了各站点月最大和日最大降水量与其相应的 TRMM 卫星降水量,结果如图 6 所示。实测的月和日最大降水量与其对应的 TRMM 3B42V7 卫星数据均具有很好的相关性,但月尺度上其相关系数达到了 0.83,明显高于日尺度上的相关系数 0.45。月和日尺度上的实测最大降水量与其对应的 TRMM 3B42V7 卫星数据的线性回归方程均通过了 0.01 的显

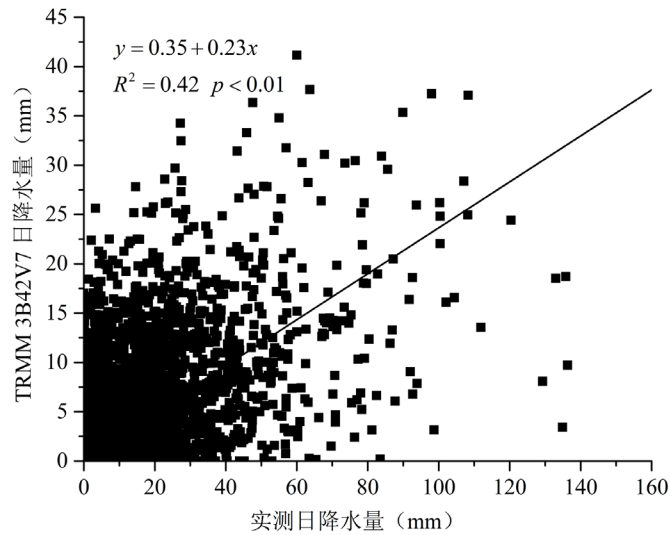


Figure 5. Scatter diagram of daily precipitation between TRMM 3B42V7 and corresponding meteorological stations data in 2017
图 5. 2017 年 TRMM 3B42V7 与地面观测站日降水量散点图

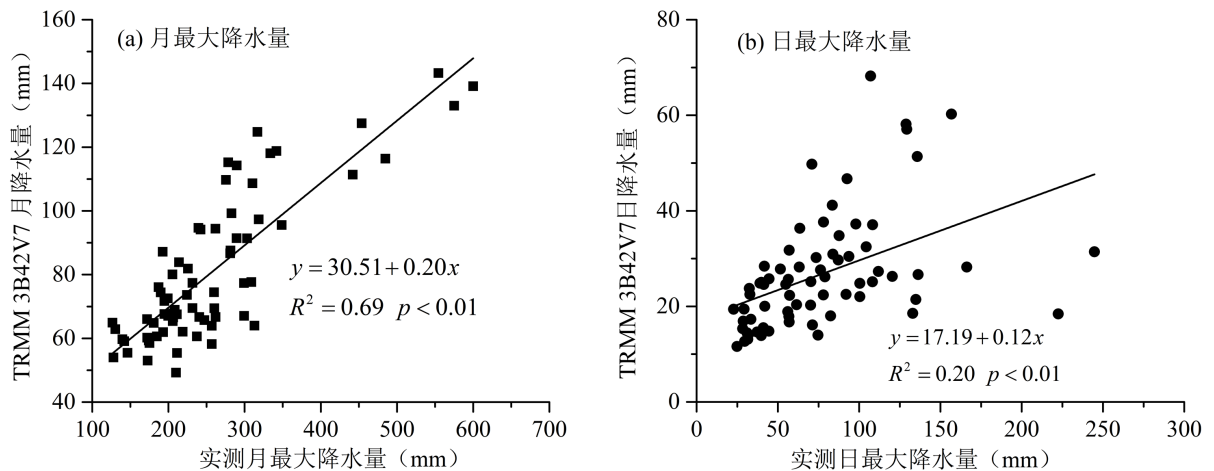


Figure 6. Scatter diagram of precipitation between meteorological stations maximum and corresponding TRMM 3B42V7 in 2017: (a) Monthly maximum precipitation, (b) Daily maximum precipitation

图 6. 2017 年地面观测站实测降水量最大值与相应的 TRMM 3B42V7 卫星数据散点图: (a) 月最大降水量, (b) 日最大降水量

著性水平检验, 但回归方程的斜率均明显小于理想值 1, 分别为 0.20 和 0.12。此外, 各站点实测月降水量最大值的平均值为 255.79 (± 98.33) mm, 其对应的 TRMM 3B42V7 降水量平均值为 80.54 (± 23.12) mm, 月降水量最大值相对误差为 -68.51%; 各站点实测日降水量最大值的平均值为 82.57 (± 63.85) mm, 其对应的 TRMM 3B42V7 降水量平均值为 27.24 (± 12.60) mm, 月降水量最大值相对误差为 -67.02%。这进一步说明 TRMM 3B42V7 降水数据明显小于实测降水数据。

4. 单个站点数据精度检验

对年、月、日尺度降水数据的检验结果可知, TRMM3B42V7 卫星降水数据明显小于站点实测数据, 但是二者间相关性较好, 但整体检验难免会掩盖少数站点数据与对应 TRMM 3B42V7 降水数据之间的差异, 原因在于降水受地形、经纬度、海拔、坡度、坡向、大气环流、海陆位置等要素的综合影响, 空间

分布上具有不连续性和高度非线性特征。因此仅对降水数据进行总体精度评估是不够的，还需要对其各个站点进行验证。

以71个气象站点2017年实测日降水量和由此累计得到月降水量为自变量，以气象站点对应的TRMM 3B42V7卫星降水数据为因变量，作一元线性回归分析，分别得到TRMM3B42V7数据与气象站点之间在月尺度和日尺度上的相关系数 R ，如表1所示。大部分气象站点的月降水实测数据与TRMM 3B42V7的月降水数据之间具有较强的相关性，相关系数平均值高达0.915(标准差0.074)，相关系数 $R > 0.9$ 的台站数占总数的71.8%，相关系数 > 0.8 的台站数占总数的90.1%。气象站点实测数据与TRMM月降水数据之间的相关系数在空间分布上表现出不均匀性(变异系数为8.0%)，其中峨眉山站的相关系数最小(仅为0.628)，这可能与峨眉山站点地形起伏明显、海拔落差大有关。相比之下，日尺度上实测降水量与TRMM 3B42V7降水量之间的相关系数平均值下降为0.622(标准差0.121)，说明二者之间相关性较弱。日尺度上峨眉山站点的实测降水量与TRMM 3B42V7降水量之间的相关系数亦为最小，仅为0.191，说明二者之间没有相关性。日尺度上相关系数的变异系数高达19.4%，说明相关系数空间分布的不均匀性非常显著。

Table 1. Correlation coefficient of average monthly and daily precipitations between TRMM 3B42V7 and corresponding meteorological station data in Sichuan-Chongqing region in 2017

表 1. 2017年川渝地区基于月平均和日平均降水量的TRMM 3B42V7数据与站点实测值的相关系数 R

站点 $R_{月尺度}/R_{日尺度}$	站点 $R_{月尺度}/R_{日尺度}$	站点 $R_{月尺度}/R_{日尺度}$	站点 $R_{月尺度}/R_{日尺度}$	站点 $R_{月尺度}/R_{日尺度}$	站点 $R_{月尺度}/R_{日尺度}$
石渠 0.973/0.660	巴塘 0.922/0.780	雷波 0.964/0.653	开县 0.938/0.674	大足 0.793/0.488	南川 0.876/0.570
若尔盖 0.938/0.672	新龙 0.977/0.561	宜宾 0.943/0.730	云阳 0.935/0.800	荣昌 0.906/0.660	长寿 0.861/0.592
德格 0.900/0.615	理塘 0.985/0.716	盐源 0.940/0.567	巫溪 0.978/0.756	永川 0.940/0.602	涪陵 0.809/0.441
甘孜 0.964/0.532	雅安 0.937/0.520	西昌 0.970/0.632	奉节 0.962/0.771	万盛 0.848/0.621	丰都 0.853/0.518
色达 0.968/0.616	稻城 0.988/0.615	攀枝花 0.909/0.603	巫山 0.975/0.751	铜梁 0.923/0.558	武隆 0.863/0.580
道孚 0.782/0.254	康定 0.953/0.747	会理 0.993/0.788	遂宁 0.919/0.506	北碚 0.928/0.541	黔江 0.978/0.725
马尔康 0.998/0.720	峨眉山 0.628/0.191	广元 0.928/0.603	潼南 0.780/0.633	合川 0.792/0.615	彭水 0.896/0.602
红原 0.961/0.734	乐山 0.967/0.508	万源 0.983/0.743	垫江 0.757/0.661	渝北 0.923/0.438	叙永 0.683/0.508
小金 0.917/0.621	木里 0.891/0.679	阆中 0.860/0.498	梁平 0.976/0.777	璧山 0.886/0.409	綦江 0.930/0.545
松潘 0.993/0.636	九龙 0.975/0.688	巴中 0.929/0.614	万州 0.944/0.829	沙坪坝 0.937/0.485	酉阳 0.955/0.797
都江堰 0.976/0.602	越西 0.947/0.688	达川 0.917/0.516	忠县 0.879/0.715	江津 0.802/0.674	秀山 0.964/0.838
绵阳 0.961/0.527	昭觉 0.957/0.666	城口 0.972/0.727	石柱 0.950/0.610	巴南 0.858/0.621	

5. 结论

(1) 年尺度上，TRMM 3B42V7与实测降水数据之间具有很好的线性关系，但回归方程斜率仅为0.14，TRMM 3B42V7卫星数据与实测降水数据相比，年降水量相对误差达到了-68.60%，这表明TRMM 3B42V7数据明显小于实测降水数据。二者的空间分布特征基本相同：西部地区降水偏少，东部地区降水偏多，中部四川盆地降水明显大于四周山地降水。

(2) 月尺度上，TRMM 3B42V7与实测降水数据相关性最高，相关系数达到0.91，回归方程斜率增加到0.31，但月降水量相对误差仍高达-65.88%；日尺度上，TRMM 3B42V7与实测降水数据相关性降低到0.65，而且日降水量相对误差为-65.77%。这表明在月和日尺度上TRMM卫星估算的降水量明显小于实

际降水量, 对月和日实测最大降水量与对应的 TRMM 3B42V7 数据的分析也得到了相同的结论。

(3) 对 71 个气象站点的 3B42V7 降水数据进行逐一精度验证, 发现在月尺度上, 绝大大部分气象站点的降水实测数据与 TRMM 3B42V7 的相关性较好, 相关系数平均值高达 0.915, 变异系数为 8.0%, 相关系数 > 0.8 的台站数占总台站数的 90.1%; 而在日尺度上降水实测数据与 TRMM 3B42V7 降水量之间的相关系数平均值下降为 0.622, 变异系数增大到 19.4%, 说明相关系数空间分布显著不均匀。无论是月尺度还是日尺度上, 峨眉山站的相关系数最小(分别为 0.628 和 0.191), 这可能与峨眉山站点地形地势特征有关。

基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019047, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

参考文献

- [1] 王丹, 王爱慧. 1901~2013 年 GPCP 和 CRU 降水资料在中国大陆的适用性评估[J]. 气候与环境研究, 2017, 22(4): 446-462.
- [2] 刘俊峰, 陈仁升, 卿文武, 等. 基于 TRMM 降水数据的山区降水垂直分布特征[J]. 水科学进展, 2011, 22(4): 447-454.
- [3] Huffman, G.J., Bolvin, D.T., Nelkin, E.J., *et al.* (2007) The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *Journal of Hydrometeorology*, **8**, 38-55. <https://doi.org/10.1175/JHM560.1>
- [4] Kummerow, C. and Barnes, W. (1998) The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **15**, 809-817. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1998\)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1998)015<0809:TTRMMT>2.0.CO;2)
- [5] 赵志轩, 严登华, 王浩, 等. 基于 WEP 模型和 TRMM_PR 的唐家山堰塞湖入湖径流预报[J]. 水利学报, 2011, 42(7): 848-856, 861.
- [6] 李相虎, 张奇, 邵敏. 基于 TRMM 数据的鄱阳湖流域降雨时空分布特征及其精度评价[J]. 地理科学进展, 2012, 31(9): 1164-1170.
- [7] 毛江玉, 吴国雄. 基于 TRMM 卫星资料揭示的亚洲季风区夏季降水日变化[J]. 中国科学: 地球科学, 2012, 42(4): 564-576.
- [8] 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(10): 1375-1386.
- [9] New, M., Todd, M., Hulme, M., *et al.* (2001) Precipitation Measurements and Trends in the Twentieth Century. *International Journal of Climatology*, **21**, 1889-1922. <https://doi.org/10.1002/joc.680>