

# 贵州高原地带 TRMM 3B42 卫星降水数据的精度评价

吴建峰<sup>1,2</sup>, 林淑贞<sup>1</sup>, 李威<sup>3</sup>, 张凤太<sup>1,2</sup>

(1.贵州师范学院地理与旅游学院, 贵州 贵阳 550018; 2.贵州省地理国情监测重点实验室, 贵州 贵阳 550018;  
3.贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:**在下垫面相对复杂,位于高原地带的贵州,利用 19 个气象站点实测数据分别从年、季度、月和天时间尺度对 TRMM 3B42 卫星降水数据进行精度检验,并讨论 TRMM 3B42 卫星对不同降水强度的探测能力,以此来分析其在贵州的适用性。结果表明,TRMM 3B42 降水数据在年尺度上拟合优度较好( $R=0.82$ )。研究区内 19 个站点年均相对误差为 $-2.39\%$ ,其中将近 70%的站点数据表现 TRMM 3B42 降水量低于地面气象站点。月尺度上整体相关系数很好, $R$  达到 0.89。但是 TRMM 3B42 卫星数据对不同季节的探测能力存在差异,其中,冬季相关系数最低。在日尺度上 TRMM 3B42 降水数据与实际降水偏差大,对降水强度过大或过小的降水情况均不能准确地探测。对于单个站点而言,海拔较低的站点 TRMM 卫星探测出的降水与实测降水偏差小。

**关键词:**TRMM 3B42; 贵州高原地带; 精度评价

中图分类号:P412.27

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2018)04-0087-05

准确可靠地估计和测量区域降水和气象情况,对于水文研究和水资源管理应用至关重要<sup>[1]</sup>。

目前,获取降水观测信息的方式主要有地面气象监测站点、雷达观测、遥感卫星监测<sup>[2]</sup>。其中遥感卫星不仅时空分辨率高、覆盖面积广,而且还有获取信息周期短、速度快、能够动态地反映降水的变化、受自然条件的约束小等优势,具有较广的应用前景。

TRMM 卫星自成功发射以来,它为气象工作者提供了大量热带海洋降水、云中液态水的含量、潜热释放等气象数据<sup>[3-5]</sup>。国内外学者对 TRMM 卫星降水数据的精确度检验做了大量的研究:TRMM 卫星降水数据在不同地区不同下垫面的表现不一样<sup>[6-8]</sup>,以及在不同降水强度下的探测能力也不一致<sup>[9-11]</sup>。高洁通过建立回归模型,研究表明卫星数据与实测降水量高度线性相关<sup>[12]</sup>;嵇涛等用 72 个气象站点的实测降水数据对 TRMM 卫星降水数据的精度分别在年、季和月尺度上进行验证,并进一步分析了高程和坡度对月尺度验证结果的影响,同时借助主成分分析法,对比了高程与坡度对

TRMM 3B43 降水数据的影响程度。结果表明:TRMM 3B43 估算的年降水量在川渝地区平均偏高 5.38%,其中西部高原区估算结果比中东部地区相对精确<sup>[2]</sup>。胡庆芳等综合评价了 TRMM 3B42,TRMM 3B42RT,CMORPH,PERSIANN,GSMaP MWR+和 GSMaP MVK+共 6 种高分辨率卫星降水数据的精度,揭示了精度指标的时空变化规律。结果表明经地面雨量计校正的 3B42 综合精度最高,在日均意义上略为高估了基准降水量,其他未经校正的 5 种数据均有较大程度低估<sup>[13]</sup>。

目前 TRMM 研究区空间尺度较大或多为地势平坦的区域,对于高原地带,山区面积大,喀斯特地貌遍布,地表崎岖破碎的区域,TRMM 降水数据的精确度评估还不足。基于此,本文选择地形地势复杂高原地带的贵州省作为研究区,对 TRMM 3B42 日降水数据及其累加得到的月、季、年的数据进行分析,并探讨在不同降水强度下的精度状况,以此研究 TRMM 3B42 在贵州省降水的适用性,为 TRMM 降水数据在地势起伏大、气候较为复杂的地区对其精确度和可靠性提供

收稿日期:2017-09-14

基金项目:贵州省教育厅青年科技人才成长项目(黔教合 KY 字[2017]206);贵州省科学技术基金项目(黔科合 J 字[2015]2121;黔科合[2018]072 号);贵州省社会攻关计划项目(黔科合[2016]支撑 2845);国家自然科学基金项目(41461041)

作者简介:吴建峰(1985-),男,重庆垫江人,讲师,硕士,主要从事资源环境遥感与 GIS 研究。E-mail:wujianfeng@gznc.edu.cn

通讯作者:张凤太(1979-),男,山东临沂人,教授,博士,主要从事水文水资源与灾害防治。E-mail:zhfthero@126.com

科学依据。

## 1 研究区概况

贵州省地处我国西南腹地,位于 $24^{\circ}37'N\sim 29^{\circ}13'N$ , $103^{\circ}36'E\sim 109^{\circ}35'E$ 之间,全省面积约为 $17.62\times 10^4\text{km}^2$ 。区域境内地形复杂,地势西高东低,由中部向北、东、南三面倾斜,平均海拔约为1100m,全省地貌可分为高原、山地、丘陵和盆地四种基本类型,高原山地居多,90%的面积为山地丘陵,有“八山一水一分田”的俗称,是我国唯一一个没有平原支撑的省份<sup>[17]</sup>。贵州气候多属于亚热带湿润季风气候,降水季节变化大,降水量较丰富,多年平均降水量大于1000mm,年均温大致在 $15\sim 18^{\circ}\text{C}$ 左右。

## 2 研究数据及方法

### 2.1 研究数据

本文研究数据包括:(1)研究区内19个国家基本和基准气象站降水的观测数据,来源于中国气象数据共享中心,选用数据的时间跨度为1998~2015年。用地面气象站点的实测数据作为“真值”来检验TRMM卫星降水数据<sup>[15-17]</sup>。(2)TRMM 3B42降水数据从美国国家航空航天局的官方网站下载得到,其空间分辨率为 $0.25\times 0.25$ ,时间分辨率为1d,选取的时间段与实测降水数据相同(注:后期由于该官网数据保护等相关政策,故2014~2015只有部分天的数据)。月、季、年降水数据是由日降水量按不同时间尺度逐日累加而得到。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 相关系数及相对误差检验

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (2)$$

式中: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ,  $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ ;  $n$  为数据记录的总个数; $x_i$  为地面气象站点的实测数据; $y_i$  为TRMM 3B42降水数据。

相关系数 $R$ 的取值范围为 $[0, 1]$ , $R$ 越接近1表示两者之间的相关性越好;相对误差 $Bias$ 反映了两者在

数值上的偏离程度, $Bias$ 绝对数值越接近0,说明数据的精确度越高。 $Bias$ 为负数时表示TRMM 3B42降水数值低于实测降水值;反之,则TRMM 3B42降水数值高于实测降水值。

#### 2.2.2 ArcGIS 空间分析

利用ArcGIS软件(主要是ArcMap)空间分析工具中的点提取方法,批量提取出对应气象站点的TRMM栅格数据值,即相应站点的TRMM 3B42降水数据。

## 3 数据精确度检验

### 3.1 年降水检验

以研究区内19个气象站点1998~2013年的年均降水量作为自变量,TRMM 3B42年均降水量作为因变量进行线性拟合。经检验,TRMM降水数据与实测降水数据的相关系数 $R=0.82$ ,并通过了置信度为99%的显著性检验。在19个站点中,湄潭、铜仁、黔西、贵阳、望谟5个站点的相关系数 $R$ 均低于0.4,说明这5个站点的TRMM 3B42降水数据与地面气象站点实测降水量之间的线性关系弱。

通过计算两者之间的相对误差 $Bias$ 加以检验,研究区内19个站点平均年降水量相对误差仅为-2.39%,其中将近70%的站点数据表现TRMM降水量低于地面气象降水量,这说明TRMM 3B42在本研究区内的降水多存在低估,造成这一现象的主要原因是TRMM卫星对不同纬度、不同海拔、地形及降水强度等的探测能力不同,对于像本研究区这样地形较复杂,地势较高的区域多对降水存在低估现象。总体而言,TRMM 3B42年降水量与地面气象站点具有较好的相关性,且偏离率低,对年降水估测精度较高。

### 3.2 季度降水检验

贵州属于中亚热带湿润季风气候,降水的季节变率较大,因而需要对TRMM 3B42降水数据进行季尺度的降水精确度评估。季度降水量散点图见图1。

结果表明,TRMM数据在春、夏、秋三季拟合优度较好,而冬季拟合优度差,很大原因是TRMM卫星由于自身特点,不能准确地估计降水强度小、历时短的降水过程,而贵州冬季多连绵的阴雨,增加TRMM卫星降水反演的难度,故造成冬季降水低估。这与相关系数的结论是相吻合的。四个季节TRMM 3B42降水量与实测站点降水量的相关系数均大于0.5,春夏秋三季更是高于0.7,说明TRMM 3B42降水数据对于季尺度(主要是冬季)的降水探测存在一定偏差,但还是

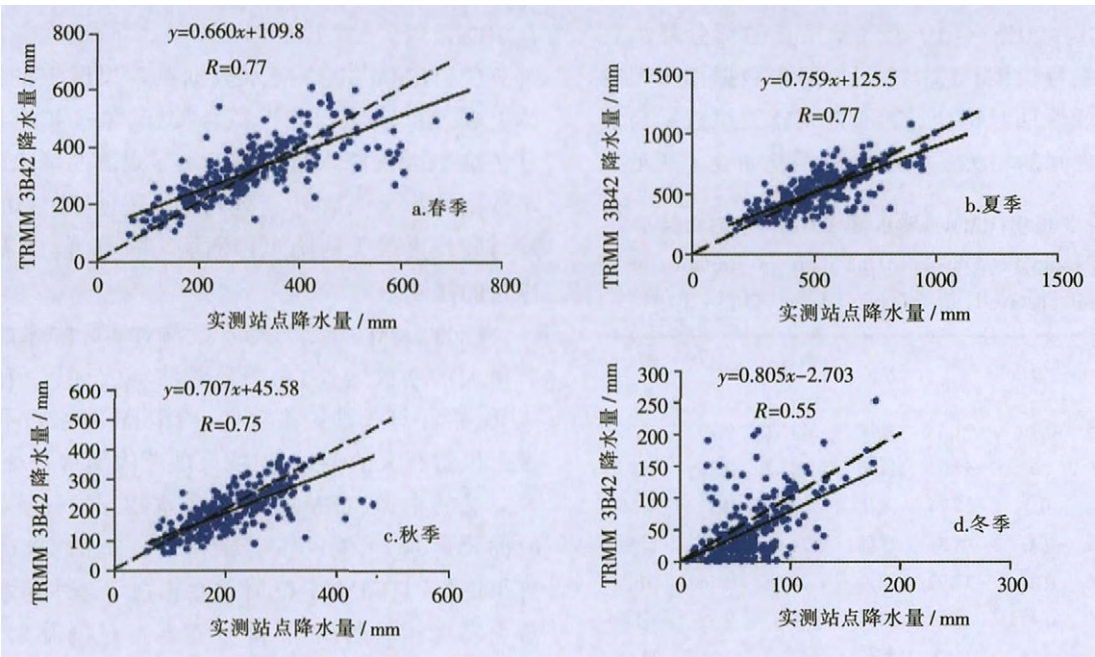


图1 TRMM 3B42 与实测季度降水散点图

Fig.1 The scatter plots of the quarterly average precipitation

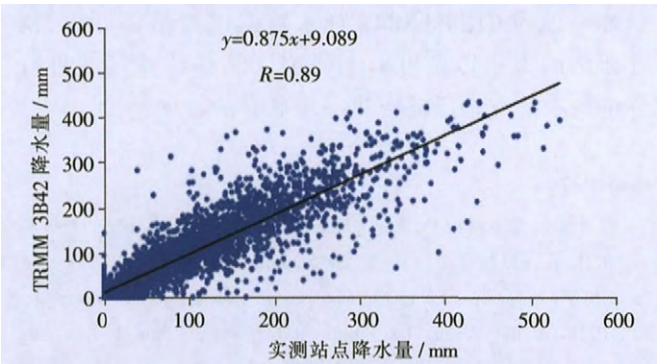


图2 TRMM 3B42 与实测月降水量散点图

Fig.2 The scatter plots of the monthly precipitation

能够反映季节降水的特征。

3.3 月数据检验

TRMM 3B42 月降水数据对应同期的地面气象站点降水数据进行一元线性回归拟合(如图 2 所示),拟合优度  $R^2$  为 0.80,相关系数  $R$  达到 0.89,并通过了  $\alpha=0.01$  置信度检验,说明 TRMM 3B42 降水数据与地面实测降水数据在月的时间尺度上有较显著的相关性,对于贵州降水有较好的适用性。

3.4 日降水检验

本文还对 TRMM 3B42 日时间尺度降水数据进行精度检验。选用部分 2014~2015 的日数据进行验证(见图 3), $R=0.47$ ,两者之间线性相关较低。

进一步对日数据进行分析得到 TRMM 卫星对日降水量的探测能力存在很大的不确定性,有些天两者

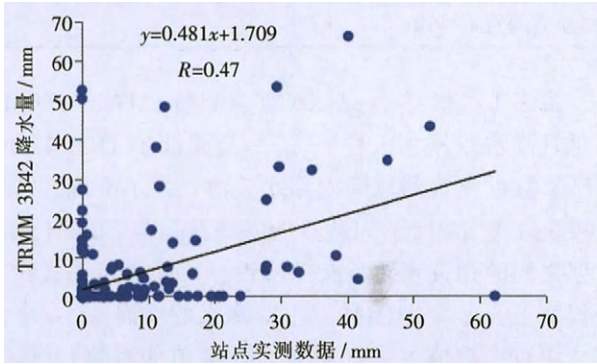


图3 2014~2015 年 TRMM 3B42 与实测日降水量散点图

Fig.3 The scatter plots of the daily precipitation during 2014-2015

之间的降水量差别不大,相关系数大于 0.9 甚至于 1,呈极显著相关,而有些天降水量偏离程度较大,相关系数小于 0.3,基本上不呈线性相关。因此,TRMM 3B42 降水数据在时间尺度以天为单位上与气象站点降水数据具有很大的不确定性,需要经过校正才能使用。

3.5 个体精度检验

以上均是从整体上分不同时间尺度对研究区 TRMM 3B42 降水数据进行精度检验,但是总体的检验会掩盖个别站点降水数据与 TRMM 3B42 降水数据之间的差异,尤其是像降水这样有多而复杂的影响因子(如地形地势、坡度、大气环流、海陆位置、经纬度等),并且在时间、空间上呈不连续性以及高度上的非线性等特征。因此,单靠整体准确度检验还不全面,还要对单个站点的降水数据进行精度评估。



选取 2014~2015 年 19 个气象站点的部分降水日数据作为自变量,TRMM 3B42 卫星降水数据作为因变量进行一元线性回归拟合,得到 TRMM 卫星数据与实测数据两者之间的相关系数和相对误差如表 1 所示。

表1 2014~2015年TRMM日降水量与实测降水对比情况  
Table1 The comparison between the daily precipitation of TRMM and observed precipitation during 2014–2015

站点	海拔 /m	<i>R</i>	<i>Bias</i> /%	站点	海拔 /m	<i>R</i>	<i>Bias</i> /%
威宁	2 237.5	0.19	9.03	安顺	1 431.1	0.19	-1.12
盘县	1 800	0.34	-47.03	贵阳	1 223.8	0.24	-14.9
桐梓	972	0.3	-25.74	凯里	720.3	0.31	8.26
习水	1 180.2	0.41	-15.54	三穗	626.9	0.38	6.39
毕节	1 510.6	0.21	-37.92	望谟	1 378.5	0.26	-48.46
遵义	843.9	0.44	8.3	兴义	566.8	0.55	-44.49
湄潭	792.2	0.36	35.52	罗甸	440.3	0.21	24.17
思南	416.3	0.32	46.15	独山	1 013.3	0.14	-7.12
铜仁	279.7	0.41	35.25	榕江	285.7	0.66	4.2
黔西	1 231.4	0.41	-22.64				

由表 1 可得:气象站点的实测日降水数据与TRMM 卫星日降水数据相关性差,进一步验证了 TRMM 3B42 日降水数据在贵州范围内降水反演效果不准确,需进行校正才能使用。不同站点的实测数据与 TRMM 3B42 数据之间的相关系数具有差异性,可能表示海拔在一定程度上会影响 TRMM 卫星对降水的反演。

相对误差值可表征两者之间数值的偏离程度:在 19 个站点中有盘县、桐梓、习水等 10 个站点的 *bias* 值为负数,说明这些站点的 TRMM 日降水数据多低估实际降水,这与上文年精度检验的结果大体一致。各站点之间的相对误差差异明显,但总体而言,有将近 63%的站点相对误差大于 10%,也从侧面反映了 TRMM 3B42 数据对日降水探测的不准确性。

4 结论

通过对贵州地区 19 个地面气象站点的实测降水数据对 TRMM 3B42 降水数据分别在年、季、月、日时间尺度上进行精度检验及具体量上反演状况,得到以下结论:

(1) TRMM 3B42 降水数据与 19 个气象站点在年尺度上相关系数 *R*=0.82,平均年降水量相对误差仅为-2%,说明 TRMM 3B42 在本区内对降水多存在低估,除部分站点外,其余站点的相对误差的绝对值的均

在 10%以内。

(2)TRMM 3B42 降水数据在季尺度上的精度,总体上春、夏、秋三季线性拟合较好,冬季拟合优度差,且冬季 TRMM 降水量多小于实际观测的降水量。月降水数据的相关系数 *R* 达到 0.89,说明 TRMM 3B42 对月时间尺度较大的降水探测能力较好,能够满足相关应用的需要。

(3)TRMM 3B42 日降水数据对实际降水的反演具有很大的不确定性,相关系数波动大,其中有部分如兴义、榕江等线性关系较好。TRMM 降水数据在日尺度上虽然有大的偏差,但能反映总体降水特征。

总的来说,TRMM 3B42 降水数据对于贵州而言,时间尺度越大,有一部分误差会被抵消,故而精度表现得更好。TRMM 3B42 降水数据在年降水量和月降水量上精度相对较高,日降水数据相对偏差大,对降水强度过大或过小均不能精确地反演。故 TRMM 3B42 降水数据在贵州的适用性还存在一定的缺陷,如何科学准确地对 TRMM 3B42 降水数据进行精度订正、精度评估的方法以及针对本研究区某些特殊区域进行分析是本研究今后需要进一步研究的方向。

参考文献:

[1] 费明哲,张增信,原立峰,等. TRMM 降水产品在鄱阳湖流域的精度评价[J]. 长江流域资源与环境, 2015,24(8):1322–1330. (FEI Mingzhe, ZHANG Zengxin, YUAN Lifeng, et al. Accuracy assessment for TRMM in the Poyang lake basin [J]. Resources and Environment of the Yangtze River Basin, 2015,24(8):1322–1330. (in Chinese))

[2] 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. (JI Tao, YANG Hua, LIU Rui, et al. Applicability analysis of the TRMM precipitation data in the Sichuan–Chongqing region [J]. Progress in Geographical Science, 2014,33(10):1375–1386. (in Chinese))

[3] 何会中,崔哲虎,程明虎,等. TRMM 卫星及其数据产品应用[J]. 气象科技, 2004,32(1):13–18. (HE Huizhong, CUI Zhehu, CHENG Minghu, et al. TRMM satellite and application of its products [J]. Meteorological Science and Technology, 2004,32(1):13–18. (in Chinese))

[4] Olson W S, Bauer P, Kummerow C D, et al. A melting-layer model for passive/active microwave remote sensing applications. Part II: simulation of TRMM observations [J]. Journal of Applied Meteorology, 2001,40(7):1164–1179.

[5] Tao W K, Lang S, Simpson J, et al. Retrieval algorithms for estimating the vertical profiles of latent heat release: their applications for TRMM [J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 1993,71:685–700.

[6] 杨艳芬, 罗毅. 中国西北干旱区 TRMM 遥感降水探测能力初步评价[J]. 干旱区地理, 2013,36(3):371–382. (YANG Yanfen, LUO Yi. E-

- valuation on detective ability of TRMM remote sensing precipitation in arid region of northwest China [J]. *Geography of Arid Areas*, 2013,36(3):371–382. (in Chinese))
- [7] 罗布坚参, 翟盘茂, 假拉, 等. 西藏高原测站降水与 TRMM 估测降水一致性评估[J]. *气象*, 2015,41(9):1119–1125. (LUO Bujiancan, ZHAI Panmao, JIA La, et al. Consistency evaluation for observation and TRMM precipitation estimation in Tibetan plateau [J]. *Meteorology*, 2015,41(9):1119–1125. (in Chinese))
- [8] 马金辉, 屈创, 张海筱, 等. 2001–2010 年石羊河流域上游 TRMM 降水资料的降尺度研究[J]. *地理科学进展*, 2013,32(9):1423–1432. (MA Jinhui, QU Chuang, ZHANG Haixiao, et al. Spatial downscaling of TRMM precipitation data based on DEM in the upstream of Shiyang River basin during 2001–2010 [J]. *Progress in Geographical Science*, 2013,32(9):1423–1432. (in Chinese))
- [9] 白爱娟, 方建刚, 张科翔. TRMM 卫星资料对陕西及周边地区夏季降水的探测[J]. *灾害学*, 2008,23(2):41–45. (BAI Aijuan, FANG Jiangang, ZHANG Kexiang. Summer rainfall in Shaanxi and its neighborhood regions observed by TRMM satellite [J]. *Disaster Science*, 2008,23(2):41–45. (in Chinese))
- [10] 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. (LI Xianghu, ZHANG Qi, SHAO Min. Spatio-temporal distribution of precipitation in Poyang lake basin based on TRMM data and precision evaluation [J]. *Progress in Geographical Science*, 2012,31(9):1164–1170. (in Chinese))
- [11] 季璇, 罗毅. TRMM 降水数据在中天山区域的精度评估分析[J]. *干旱区地理*, 2013,36(2):253–262. (JI Xuan, LUO Yi. Quality assessment of the TRMM precipitation data in mid Tianshan mountains [J]. *Geography of Arid Areas*, 2013,36(2):253–262. (in Chinese))
- [12] 高洁. 基于 TRMM 卫星数据的降雨测量精度评价 [J]. *水力发电*, 2016(6):28–31. (GAO Jie. Accuracy assessment of rainfall measurement based on TRMM products [J]. *Hydropower Generation*, 2016(6):28–31. (in Chinese))
- [13] 胡庆芳, 杨大文, 王银堂. 赣江流域高分辨率卫星降水数据的精度特征与时空变化规律[J]. *中国科学:技术科学*, 2013(4):447–459. (HU Qingfang, YANG Dawen, WANG Yintang, et al. Accuracy and spatio-temporal variation of high resolution satellite rainfall estimate over the Ganjiang River basin [J]. *Sci China Tech Sci*, 2013,56:853–865. (in Chinese))
- [14] 李威, 蒋平, 赵卫权, 等. TRMM 卫星降水数据在喀斯特山区的适用性分析——以贵州省为例[J]. *水土保持研究*, 2016,23(1):97–102. (LI Wei, JIANG Ping, ZHAO Wei-quan, et al. Analysis on applicability of TRMM precipitation data in karst areas: a case study in Guizhou province [J]. *Soil and Water Conservation Research*, 2016,23(1):97–102. (in Chinese))
- [15] 沈彬, 李新功. 塔里木河流域 TRMM 降水数据精度评估[J]. *干旱区地理*, 2015,38(4):703–712. (SHEN Bin, LI Xingong. Accuracy assessment of TRMM 3B43 data in Tarim River basin [J]. *Geography of Arid Areas*, 2015,38(4):703–712. (in Chinese))
- [16] 李景刚, 阮宏勋, 李纪人, 等. TRMM 降水数据在气象干旱监测中的应用研究[J]. *水文*, 2010,30(4):43–46. (LI Jinggang, RUAN Hongxun, LI Jiren, et al. Application of TRMM precipitation data in meteorological drought monitoring [J]. *Journal of China Hydrology*, 2010,30(4):43–46. (in Chinese))
- [17] 吴建峰, 陈阿林, 嵇涛, 等. TRMM 降水数据在复杂山地的精度评估——以重庆市为例[J]. *水土保持通报*, 2014,34(4):201–207. (WU Jianfeng, CHEN Alin, JI Tao, et al. Accuracy evaluation of tropical rainfall measuring mission precipitation data in complex mountainous areas—taking Chongqing city as an example [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2014,34(4):201–207. (in Chinese))

## Evaluation of TRMM 3B42 Satellite Precipitation Data Accuracy of Guizhou Plateau

WU Jianfeng<sup>1,2</sup>, LIN Shuzhen<sup>1</sup>, LI Wei<sup>3</sup>, ZHANG Fengtai<sup>1,2</sup>

(1. School of Geography and Tourism, Guizhou Normal College, Guiyang 550018, China;

2. Key Laboratory of Geographic State Monitoring of Guizhou Province, Guiyang 550018, China;

3. Institute of Mountain Resources, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** In this paper, the accuracy of the TRMM 3B42 satellite precipitation data was tested in the annual, quarterly, monthly and daily time scales using the observed data from the 19 meteorological stations, and the ability of TRMM 3B42 to detect different levels of precipitation was discussed, so as to analyze the applicability of the TRMM data for Guizhou. The results show that TRMM 3B42 precipitation data are better in the annual scale ( $R = 0.82$ ). The average relative error of the 19 stations in the study area is  $-2.39\%$ , of which nearly 70% of the site data show that the TRMM 3B42 precipitation is lower than that from the ground meteorological stations. The overall correlation coefficient is very good in the month scale ( $R = 0.89$ ). However, the TRMM 3B42 satellite data have different detection capabilities for different seasons. Among them, the winter fitting coefficient is the lowest. In the daily scale, the precipitation data of TRMM 3B42 are different from the actual precipitation, and the precipitation intensity is too large or too small to detect accurately. For a single site, the low-altitude site TRMM satellites detect a small deviation from the observed precipitation.

**Key words:** TRMM 3B42; Guizhou Plateau Zone; accuracy assessment