

# 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

李 威<sup>1,3</sup>, 蒋 平<sup>2</sup>, 赵卫权<sup>1</sup>, 兰良鸿<sup>4</sup>

(1. 贵州省山地资源研究所, 贵阳 550004; 2. 贵州省第三测绘院, 贵阳 550004;

3. 重庆师范大学 三峡生态环境遥感研究所, 重庆 400047; 4. 贵州省山地资源研究所有限公司, 贵阳 550004)

**摘 要:**以 1998—2012 年研究区 26 个气象站点实测降水数据和同期 TRMM 3B43 降水数据为数据源,在 GIS 技术的支持下,运用相关系数( $R$ )、相对误差(BIAS)分析和探讨月、季、年尺度和单个站点的 TRMM 3B43 降水数据在研究区的适用性和分布规律。分析表明:(1) TRMM 3B43 降水数据和气象站点观测数据的相关性较好,在年尺度上,TRMM 3B43 降水数据总体精度较高,相关系数  $R$  为 0.75,但也存在个别站点误差较大,最大误差达到 19.13%,总体上 TRMM 3B43 降水数据比站点观测数据稍微偏大;(2) 季节尺度上,TRMM 3B43 降水数据和站点观测数据春季的相关系数  $R$  达到 0.82,要高于秋季和冬季。夏季较差,但相关系数  $R$  也达到 0.79,且均通过置信度 100% 检验;(3) TRMM 3B43 降水数据在月尺度上数据精度最高,相关系数  $R$  达到 0.91;(4) 数据个体精度检验上选取了 19 个气象站点,各个观测站点的拟合优度  $R^2$  均在 0.75 以上,相关系数  $R$  均大于 0.80,结果表明 TRMM 3B43 降水数据在研究区具有较好的适用性。

**关键词:**贵州省; TRMM 3B43; 相关系数; 降水

中图分类号:P333.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)01-0097-06

## Analysis on Applicability of TRMM Precipitation Data in Karst Areas

### —A Case Study in Guizhou Province

LI Wei<sup>1,3</sup>, JIANG Ping<sup>2</sup>, ZHAO Weiquan<sup>1</sup>, LAN Lianghong<sup>4</sup>

(1. *Institute of Mountain Resources of Guizhou Province, Guiyang 550004, China*; 2. *Guizhou Provincial Third Institute of Surveying and Mapping, Guiyang 550004, China*; 3. *Institute of Eco-Environment Remote Sensing in Three Gorges Reservoir, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China*; 4. *Institute of Mountain Resources Company of Guizhou Province, Guiyang 550004, China*)

**Abstract:** Based on the rainfall data from 26 meteorological stations and TRMM 3B43 during the period from 1998 to 2012 in Guizhou Province and the support of the GIS technologies, the correlation coefficient ( $R$ ) and relative error (BIAS) have been utilized to analysis the application and distributional features for rainfall data of TRMM 3B43 in individual sites in the view of scales ranging from month and quarter to year in Guizhou Province. The results indicated that: (1) there was the good agreement between the data from TRMM 3B43 and meteorological stations, at the year scale, the accuracy of the rainfall data from TRMM 3B43 is relatively high and the  $R^2$  can reach up to 0.75. However, existence of great error in certain stations and maximum can reach to 19.13%. In general, the accuracy of rainfall data from TRMM 3B43 is greater than from meteorological stations; (2) in terms of seasons, the linear correlation coefficient ( $R$ ) between the rainfall data from TRMM 3B43 and meteorological stations can up to 0.82 in spring, this value is greater than those in fall and winter. The linear correlation in summer is poor, reaching to 0.79 and through the test under confidence is 100%; (3) the high quality of accuracy for TRMM 3B43 can be obtained on the month scale, and  $R$  is 0.91; (4) rainfall data from 19 meteorological stations have been used to test the individual data accuracy, and the fitting outcome of  $R^2$  and  $R$  with the TRMM 3B43 reaches to 0.75 and 0.80, respectively, indicating that the rainfall data from TRMM 3B43 is applicable in this region.

**Keywords:** Guizhou Province; TRMM 3B43; correlation coefficient; rainfall



$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n y_i \tag{3}$$

式中: $n$ ——降水总记录个数; $x_i$ ——气象站点的实测降水量; $y_i$ ——气象站点对应 TRMM 3B43 网格的降水量; $\bar{x}$ ——代表站点实测降水量的平均值; $\bar{y}$ ——站点对应 TRMM 3B43 网格降水量的平均值, BIAS——TRMM 卫星降水数据与气象站点观测降水量在数值上的偏离程度, BIAS 的取值越接近 0 表示数据精度越高。 $R$ ——相关系数, 表示 TRMM 3B43 卫星降水数据与气象站点观测降水量的相关一致性, 取值范围 0~1, 越接近 1 表示两者之间的相关性越好。

3 结果与分析

3.1 年降水量精度检验

利用研究区 19 个气象站点(由于有 7 个气象站点观测数据是从 2009—2012 年,故表 1 只列出 19 个气象站点误差。)1998—2012 年的统计年降水量为自变量,对应网格 TRMM 3B43 降水数据为因变量,进行线性回归分析,并计算出各个气象站点的多年平均降水量与 TRMM 3B43 降水数据的相对误差(BIAS)(表 1)。综合分析 TRMM 3B43 降水数据在整个区域上的精度,从结果上看,相关系数  $R$  达到 0.75,并且通过  $\alpha=0.01$  置信度检验,表明 TRMM 3B43 降水数据与站点观测数据之间存在很好的一致性,由于研究区整体上都是以山地为主,降水受地形等因素影响强烈,在数值上年均误差较大的站点为研究区西部安顺市境内的盘县和榕江县、分别达到-19.13%和 10.52%,误差较小的为望谟县和云岩区,分别只有-0.19%和-1.01%,而正偏差的总体高于负偏差,说明 TRMM 降水数据高于气象站点的观测值,除盘县和榕江以外,其余站点的 BIAS 误差均在±10%以内,表明大多数站点的 TRMM 降水数据与站点观测数据之间的差异较小。空间分布上,误差较大的地区为黔东南州的东南部,安顺市以及黔南州中部地区。总体而言,TRMM 降水数据能够满足在年尺度上的应用研究需要。

3.2 季降水量精度检验

降水的季节分配也是降水的一个重要特征,将研究区 1998—2012 年的春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12—2 月)四个季节 26 个气象站点观测降水量与 TRMM 3B43 数据进行线性回归分析,如图 2 所示,在季节尺度上,研究区降水主要集中在夏季,其次是春季和秋季,冬季降水最少,四季度的拟合优度  $R^2$  都大于 0.6,各季节均通过  $\alpha=0.01$  置信度检验,其中春季的相关性最好,相关系数  $R$  达到 0.82,其次是秋季和冬季,夏季相对较差,可能的原因是由于地区海拔的影响,夏季降水在地形的作用下可能产生有局部地形雨现象,这给遥感反演降

水量带来困难,从而造成反演误差,但相关系数  $R$  也达到 0.79,从整体上看,TRMM 3B43 降水数据和气象站点观测不同季节降水数据有较好的一致性和分布规律。计算各个站点观测数据与 TRMM 3B43 降水数据误差的标准差,如表 2 所示,季节尺度中,以夏季的标准差最大,其次是春季和秋季,冬季最小,说明夏季 TRMM 降水数据距离站点观测降水数据的波动性较大,冬季最为稳定,秋季和春季次之,主要原因是研究区域内降水主要集中在夏季和春季,冬季最少,且空间分布不均,降水频率变大,导致 TRMM 卫星反演降水难度加大。

表 1 研究区 1998—2012 年站点实测年降水量与 TRMM 3B43 数据相对误差 %

气象站点	BIAS	气象站点	BIAS	气象站点	BIAS
榕江	10.52	独山	-4.40	三穗	9.07
望谟	-0.19	兴仁	-2.60	西秀	-6.49
凯里	-1.34	云岩	-1.01	思南	5.39
黔西	2.96	铜仁	7.72	七星关	7.59
湄潭	-3.66	红花岗	1.19	盘县	-19.13
习水	4.07	桐梓	7.70		
威宁	2.81	罗甸	4.89		

3.3 月降水量精度检验

由于 TRMM 3B43 降水数据的时间分辨率为 1 个月,而气象站点的观测数据通常都精确到以小时为计数单位,所以有必要用以月尺度为单位统计站点观测数据对 TRMM 3B43 降水数据进行精度验证,以研究区内的 26 个气象观测站 1998—2012 年月观测数据为自变量,其对应的 TRMM 3B43 格网内的降水量为因变量,进行线性回归分析,如图 3 所示,整个研究区 TRMM 3B43 降水数据与气象站点观测数据的线性拟合优度  $R^2$  为 0.82,相关系数  $R$  高达 0.91,通过  $\alpha=0.01$  置信度检验。结果说明 TRMM 3B43 降水数据在研究区与气象站点实测数据之间具有明显的线性相关与一致性,可以作为研究的数据来源。从月尺度站点误差标准差来看(表 3),总体上看研究区所有站点标准差数值在 40 左右,其中威宁、七星关站点的标准差在 30 左右,表明 TRMM 卫星反演降水数据较为稳定,而望谟、习水、盘县等站点标准差均在 40 以上,表明这些站点的降水波动性较大。

3.4 个体降水量精度检验

利用气象站点观测降水数据验证山地区域的 TRMM 3B43 降水数据精度,从结果上看结果较好,数据精度较高,整体上能够反映研究区降水的空间分布特征,但研究区处于云贵高原腹地,由于高海拔,地形特殊等因素,降水的分布还受到大气环流、海陆位置、迎风坡、背风坡等因素影响,仅仅从整体上分析 TRMM 3B43 降水数据的数据精度还存在不足,并不

能反映 TRMM 月降水数据与单个站点实测数据之间的差异性。从研究区中选取 19 个气象站点 1998—2012 年总共 15 a 的统计月降水总量为自变量,以各个观测站点对应 TRMM 3B43 网格降水数据为因变量做一元线性回归分析,得到相应站点观测数据和 TRMM 3B43 降水数据的散点图和相关关系表,如表 4 所示,大多数气象站点观测降水数据与 TRMM 3B43 反演的降

水量之间呈现很好的相关性,各个观测站点的拟合优度  $R^2$  所均在 0.75 以上,相关系数  $R$  均大于 0.80,北部习水县较差,相关系数只有 0.81。明显低于研究区其他站点。除罗甸、三穗、黔西、铜仁、习水和桐梓外的所有气象站点相关系数  $R$  均大于 0.90,其中相关系数最高的站点为兴仁、云岩和盘县,相关系数  $R$  均为 0.94,该结论与数据月降水量的精度检验的结论相一致。

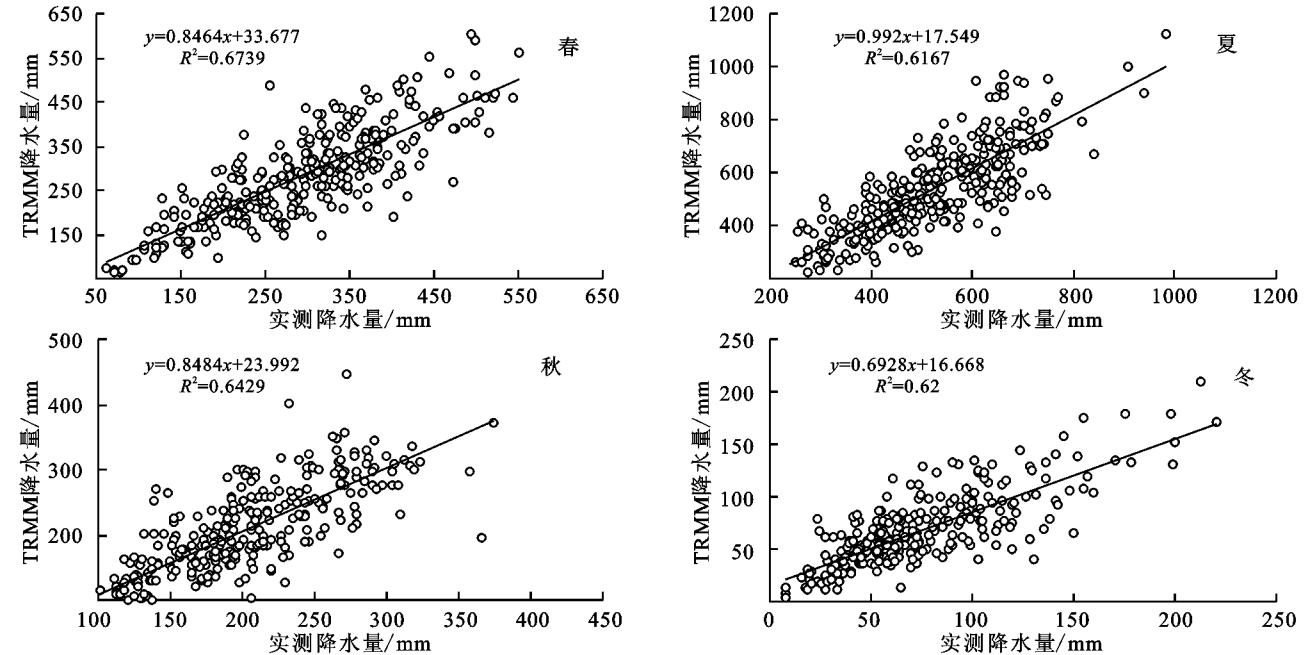


图 2 研究区 1998—2012 年季节尺度 TRMM 降水数据与站点观测数据散点图

表 2 研究区 1998—2012 年季节尺度 TRMM 降水数据与站点观测数据标准差

气象站点	标准差				气象站点	标准差			
	春	夏	秋	冬		春	夏	秋	冬
榕江	55.51	90.70	38.35	25.54	独山	63.27	105.41	36.93	23.61
望谟	74.97	119.14	57.80	14.38	兴仁	48.98	103.34	40.60	32.70
凯里	63.56	96.33	36.82	20.93	云岩	50.21	85.38	31.17	30.64
黔西	56.27	100.37	42.96	17.57	铜仁	76.37	122.17	34.86	26.91
湄潭	39.25	84.47	55.08	17.82	红花岗	53.04	66.62	36.65	20.24
习水	80.83	91.41	58.78	22.82	桐梓	69.35	97.87	46.98	16.60
威宁	36.63	80.02	41.75	7.54	罗甸	43.25	114.37	35.32	34.29
三穗	55.96	96.01	31.70	22.93	西秀	84.45	103.67	45.01	28.98
思南	52.44	114.10	35.15	24.00	七星关	41.75	65.58	39.76	7.67
盘县	40.38	94.95	55.63	23.91					

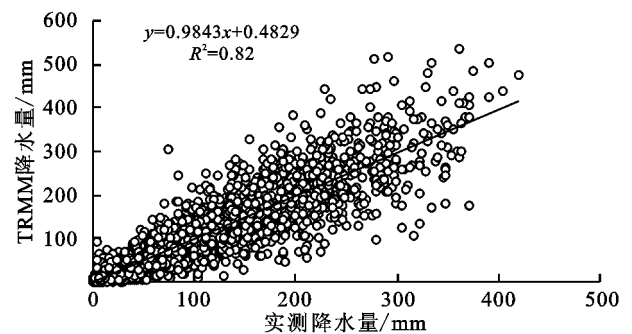


图 3 研究区 1998—2012 年月尺度 TRMM 降水数据与站点观测数据散点图

表 3 研究区 1998—2012 年月尺度 TRMM 降水数据与站点观测数据标准差

气象站点	标准差	气象站点	标准差	气象站点	标准差
榕江	36.06	独山	33.61	三穗	32.07
望谟	47.05	兴仁	35.91	西秀	39.65
凯里	37.17	云岩	28.61	思南	34.33
黔西	35.05	铜仁	39.40	七星关	26.70
湄潭	32.95	红花岗	28.98	盘县	40.46
习水	46.70	桐梓	36.28		
威宁	28.48	罗甸	35.78		

表 4 研究区部分站点月尺度 TRMM 降水数据与  
站点观测数据相关系数

气象站点	R	气象站点	R	气象站点	R
榕江	0.91	独山	0.94	三穗	0.89
望谟	0.90	兴仁	0.94	西秀	0.92
凯里	0.90	云岩	0.94	思南	0.90
黔西	0.88	铜仁	0.88	七星关	0.93
湄潭	0.91	红花岗	0.91	盘县	0.94
习水	0.81	桐梓	0.88		
威宁	0.92	罗甸	0.84		

3.5 TRMM 降水数据在研究区的空间分布特征

上述内容探讨了 TRMM 3B43 降水数据在研究区的精度检验,经过验证分析,从结果上看虽然 TRMM 3B43 降水数据在数值上存在一定的误差,但除了极少数站点误差稍微偏大外,大多数站点观测数据与 TRMM 3B43 降水数据之间的误差较小,且整体上具有较高的相关一致性,说明在数据缺乏的山地区域可应用于科学研究。

(1) 空间分布上,研究区 TRMM 3B43 降水数据多年平均降雨量以及差值空间分布如图 4 所示,从空间分布上看,研究区降水量从西北部向南部、东部和东南部呈现扇形状逐级增加的趋势,与研究区地势自西北部向北、东、南 3 面倾斜相呼应,西北部处于内陆区域,地势较高,平均海拔均在 1 500 m 以上,随着海

拔的升高,降水量逐渐减少。研究区东南部多数地区海拔在 1 000 m 以下,且靠近中国南海海域,已经处于热带季风气候地区边缘,降水明显高于西北部。在降水数值上,研究区年平均降雨量为 754~1 390 mm,降水量最低区域位于毕节市西北部,只有 754 mm,最高的区域为铜仁市东部,达到 1 389 mm,铜仁市东部、黔东南州大部、黔南州和黔西南州南部等区域年降水量都达到 1 000 mm 以上。而在差值分布上,从研究区北部到东部再到南部主要体现为站点实测降水量高于 TRMM 3B43 降水量,而六盘水市、安顺市大部、毕节市南部、黔东南州西北部、贵阳市南部以及黔南州北部等地区站点实测降水量要低于 TRMM 3B43 降水量。

(2) 季节尺度上,研究区 TRMM 3B43 降水数据多年季平均降水量空间分布如图 5 所示,降水的季节分配也是一个重要的特征,研究区降水主要集中在春季和夏季,春季和冬季降水在空间上的分布趋势相对较一致,由西北向东南逐渐增加,主要集中在研究区东部以及东南部地区,其中冬季降水最少,最低点在西北部毕节市境内,只有 26 mm,该地区海拔均在 1 500 m 以上。降水量会随着海拔的上升而减少。夏季和秋季降水空间差异较大,夏季降水最高出现在西南部黔西南州,达到 703.20 mm,均高于其他 3 季同区域,而秋季最高降水在研究区西北铜仁市,最高降水量有 271.57 mm。

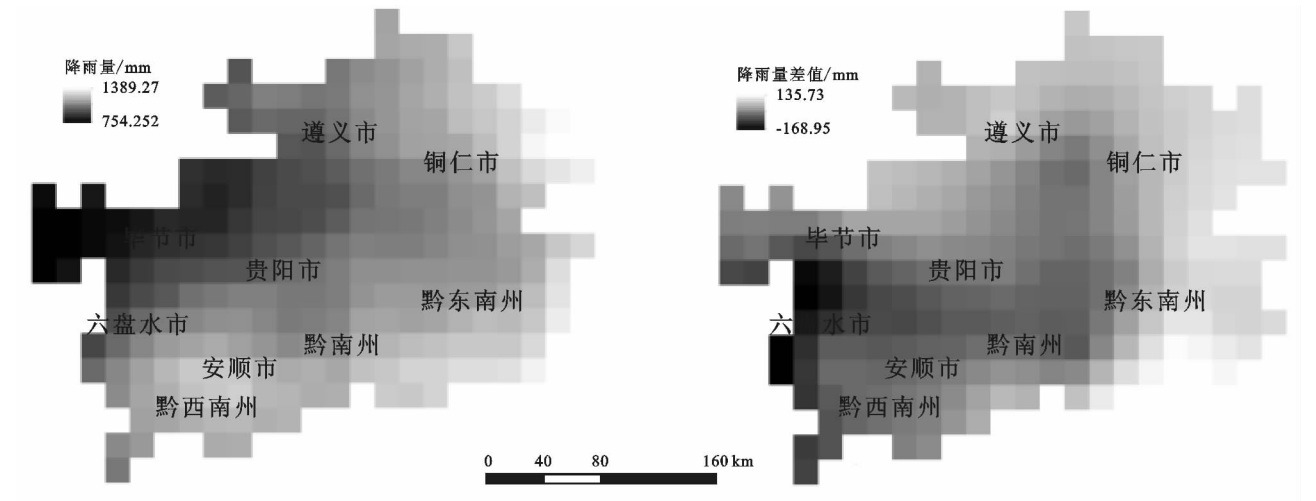


图 4 研究区 1998—2012 年 TRMM 3B43 降水数据年均降水量空间分布以及差值分布

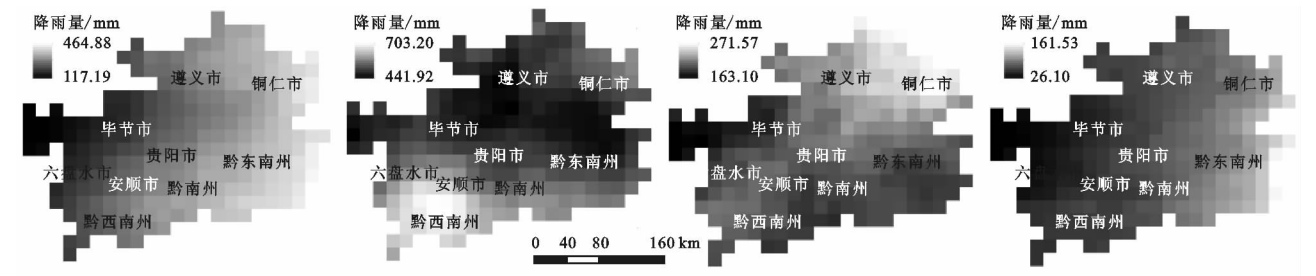


图 5 研究区 1998—2012 年 TRMM 3B43 降水数据季平均降水量空间分布

## 4 结论与讨论

(1) TRMM 3B43 降水数据在研究区内具有良好的实用性,月尺度数据与站点观测降水量相关系数为 0.91,季节尺度上春季的数据精度高于秋、冬和夏季。四季相关系数均大于 0.78,在年尺度上少数站点的误差(BIAS)相对较大,其余误差均在 $\pm 10\%$ 以内,整体上看相比季尺度和年尺度的数据精度,月尺度降水数据精度最高,TRMM 3B43 降水数据比站点观测值稍稍偏大,但空间分布与变化趋势大体上相一致,由西北部向东南部呈现逐渐增加的趋势,能够满足应用研究需要。

(2) 选取研究区 19 个气象站点进行单个站点的 TRMM 3B43 降水数据个体精度检验,单个站点实测降水数据与 TRMM 3B43 降水数据的相关系数均大于 0.80,除少数几个站点外相关系数均大于 0.90。且均通过置信度 100% 检验。表明 TRMM 3B43 降水数据无论是在数据整体上还是个体上都具有较高的精度。

(3) 总体上看,相比其他学者在不同区域得出的研究结论,研究区 TRMM 3B43 降水数据比站点观测值稍稍偏大。TRMM 3B43 降水数据在数据精度方面要明显高于其他地区,主要原因是研究区地处云贵高原腹地,海拔较高,实测站点位置普遍较高,而降水在形成过程中随着海拔的降低损失在加大,从而造成在其他区域降水观测值与 TRMM 卫星降水数据偏差较大。

本研究利用的 TRMM 3B43 降水数据空间分辨率为  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ,数据本身的空间分辨率较低,而气象观测站点较少,虽不能代表整个研究区内降水实际情况,但也从一定程度上反映了 TRMM 3B43 降水数据在山地高海拔区域具有较好的适用性,由于降水受海拔、地形和经纬度等因素的影响,在局部地区还是存在较大差异,如何在现有数据资料的基础上利用相关模型对 TRMM 3B43 降水数据进行空间降尺度和精度订正,使之与研究区实际情况接近,是下一步研究的主要内容。

### 参考文献:

- [1] 穆振侠,姜卉芳. 基于 TRMM/TMI 的天山西部山区降水研究[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(7):115-119.
- [2] 朱会义,贾绍凤. 降水信息空间插值的不确定性分析[J]. 地理科学进展,2004,23(2):34-42.
- [3] 胡庆芳,杨大文,王银堂,等. 赣江流域 TRMM 降水数据的误差特征与成因[J]. 水科学进展,2013,24(6):794-800.
- [4] Kummerow C. The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package[J]. Journal of Atmospheric & Oceanic Technology,1998,15(3):809-817.
- [5] 刘俊峰,陈仁升,韩春坛,等. 多卫星遥感降水数据精度评价[J]. 水科学进展,2010,21(3):343-348.
- [6] 朱强,陈秀万,樊启祥,等. 基于 TRMM 的降水侵蚀力计算方法[J]. 中国科学:技术科学,2011,41(11):1483-1492.
- [7] 王晓云,史明昌,胡影,等. TRMM 数据应用于降水量和降水侵蚀力估算的适宜性研究[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(1):129-133.
- [8] 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.
- [9] 潘虹,邱新法,高婷,等. 基于 TRMM 和 NCEP-FNL 数据的降水估算研究[J]. 水土保持研究,2014,21(2):116-122.
- [10] 齐文文,张百平,庞宇,等. 基于 TRMM 数据的青藏高原降水的空间和季节分布特征[J]. 地理科学,2013,33(8):999-1005.
- [11] 蒋璐君,李国平,王兴涛. 基于 TRMM 资料的高原涡与西南涡引发强降水的对比研究[J]. 大气科学,2015,39(2):249-259.
- [12] 王超,赵传燕. TRMM 多卫星资料在黑河上游降水时空特征研究中的应用[J]. 自然资源学报,2013,28(5):862-872.
- [13] 曾红伟,李丽娟. 澜沧江及周边流域 TRMM 3B43 数据精度检验[J]. 地理学报,2011,66(7):994-1004.
- [14] 吴建峰,陈阿林,嵇涛,等. 三峡库区(重庆段)TRMM 降水实用性分析及时空特征[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2014,31(4):70-77.
- [15] 朱国锋,蒲焘,张涛,等. TRMM 降水数据在横断山区的精度[J]. 地理科学,2013,33(9):1125-1131.
- [16] 吕洋,杨胜天,蔡明勇,等. TRMM 卫星降水数据在雅鲁藏布江流域的适用性分析[J]. 自然资源学报,2013,28(8):1414-1425.
- [17] 李相虎,张奇,邵敏. 基于 TRMM 数据的鄱阳湖流域降水时空分布特征及其精度评价[J]. 地理科学进展,2012,31(9):1164-1170.
- [18] 蔡研聪,金昌杰,王安志,等. 中高纬度地区 TRMM 卫星降水数据的精度评价[J]. 应用生态学报,2014,25(11):3296-3306.
- [19] 王晓杰. 基于 TRMM 的天山山区降水降尺度方法及其空间变异特征研究[D]. 新疆石河子:石河子大学,2013.
- [20] 嵇涛,刘睿,杨华,等. 多源遥感数据的降水空间降尺度研究:以川渝地区为例[J]. 地球信息科学学报,2015,17(1):108-117.
- [21] 熊康宁,黎平,周忠发,等. 喀斯特石漠化的遥感:GIS 典型研究[M]. 北京:地质出版社,2002.
- [22] 张志才,陈喜,王文,等. 贵州降水变化趋势与极值特征分析[J]. 地球与环境,2008,35(4):351-356.
- [23] 李瑞,李勇,刘云芳. 贵州喀斯特地区降雨与坡面土壤侵蚀关系研究[J]. 水土保持研究,2012,19(3):7-11.
- [24] New M, Todd M, Hulme M, et al. Precipitation measurements and trends in the twentieth century[J]. International Journal of Climatology, 2001, 21(15):1889-1992.