

TRMM 卫星降雨数据在湖南省的精度和可靠性评定

杨雨蒙, 杜鹃, 程琳琳

(北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室; 民政部/教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875)

摘要: 卫星降雨数据的高时空分辨率使其在洪涝灾害监测、流域水文模型模拟等方面得以广泛应用,而对卫星降雨数据的精度评定和可靠性分析仍然是当前重要的研究课题。采用中低纬度旱涝灾害频发的湖南省 23 个国家基准气象站的降雨数据作为地面验证数据,对最新一代 TRMM 卫星降雨产品(3B42V7)的精度和误差特征进行了全面评估。从日、月、年和季节的不同时间尺度以及空间分布和高程等不同的空间要素方面对比分析了 1999–2012 年该卫星降雨产品在湖南地区的适应情况。研究表明:TRMM 卫星反演降雨数据在日尺度上与地面气象站数据的匹配情况较差,相关系数仅为 0.31;而在月尺度上有显著提高,相关系数为 0.88。在干旱季节(11、12、1、2 月)的表现要优于湿润季节(5、6、7、8 月)。3B42 卫星反演降雨数据存在比较明显的空间变异性,空间要素如高程、位置分布等对卫星降雨数据可靠性的影响强于降雨量的影响。

关键词: TRMM; 精度评定; 相关系数; 降雨; 日尺度数据; 月尺度数据; 3B42 卫星反演数据

中图分类号: P338.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)01-0026-07

Evaluation of accuracy and reliability of TRMM satellite precipitation data in Hunan Province

YANG Yumeng, DU Juan, CHENG Linlin

(Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster of Ministry of Education; Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs/ Ministry of Education, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The high spatial-temporal resolution of satellite precipitation data can be widely used in flood disaster monitoring and hydrological modeling. The accuracy assessment and reliability analysis of the satellite precipitation data are still the important research issues. The paper overall evaluated the performance of TRMM satellite precipitation product 3B42V7 in Hunan Province by using the gauged precipitation data from 23 meteorological stations as the benchmark data. From the different time scales of daily, monthly, seasonal and annual, and different space elements such as spatial distribution and elevation, the paper compared and analyzed adaptation situation of satellite rainfall products from 1999 to 2012 in Hunan Province. The results show that the performance of satellite precipitation data on daily scale is not satisfactory, the correlation coefficient is only 0.31. But it goes to be much better on monthly scale with the correlation coefficient of 0.88. the annual rainfall from TRMM 3B42 can correlate well with the amount of rainfall on the ground of the region. The performance of satellite precipitation data in arid season (from November to February) is better than that in humid season (from May to August). Besides, the satellite precipitation data of 3B42 exists obvious spatial variability. The spatial factors such as elevation and spatial distribution have greater influence on the accuracy of satellite precipitation data than that of the amount of rainfall.

Key words: TRMM; accuracy evaluation; correlation coefficient; precipitation; data of daily scale; data of monthly scale; satellite precipitation data of 3B42

收稿日期: 2015-09-09; 修回日期: 2015-11-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401097); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2013YB21)

作者简介: 杨雨蒙(1992-), 男, 江苏连云港人, 在读硕士研究生, 主要从事洪水灾害遥感监测方面的研究。

通讯作者: 杜鹃(1983-), 女, 湖北枝江人, 博士, 讲师, 主要从事洪水灾害风险评估方面的研究。

1 研究背景

降雨是最重要同时也是最难于观测的水文气象变量之一,大气中大约 3/4 的热能都来源于降水所释放出来的潜热^[1]。降雨的时空分配对地表径流的形成、土壤水分的变化以及蒸散发等流域水文循环过程有着深刻的影响。降雨数据作为水文模型最基本的输入参数,快速获取高时空分辨率的连续降雨观测数据,对于流域水文过程的模拟及准确的水文预报具有重要意义^[2]。

传统的测雨方法有地面雨量计、地基雷达等,而地面雨量计数据是目前公认的最准确的降雨数据。但是由于地面气象站点的分布密度受地区的经济水平和地理环境的影响,地面观测很难比较全面地把握降雨的空间分布和强度变化。而雷达对降雨事件的预测精度受地面空间结构和雷达回波的不一致性、不稳定性的影响,也极大限制了雷达降雨数据的应用。卫星遥感测雨能够对降雨实现高时空分辨率的观测,微波遥感更能够直接探测云内降雨粒子和云粒子的结构,具有穿透云雾的能力^[3]。随着航空航天以及遥感技术的发展,利用微波和红外观测数据来反演降雨数据的技术和算法得到迅速发展。热带降水观测计划(TRMM)取得了显著成果,开创了全球卫星降雨监测新时代。

然而,由于受到地形、高程、纬度、反演算法、数据来源等因子的影响,现行的 TRMM 卫星反演降雨数据的精度仍存在一定的系统偏差^[4],数据精度存在明显的空间变异特性。对 TRMM 卫星降雨的评估精度以及 TRMM 卫星降雨误差特征的识别,仍是当前比较重要的研究课题。从 1997 年 TRMM 热带降雨卫星发射以来,各种卫星产品陆续发布,对不同版本数据的精度和其在各种不同应用中的可利用程度的评定工作陆续展开:Huffman 等^[5]在澳大利亚将 TRMM 3B42 RT 数据在日尺度与月尺度上与气象观测数据、雷达观测数据进行精度评定,结果显示 TRMM 数据与观测数据之间具有较高的线性相关特征。IPWG (International Precipitation Working Group)通过 PEHRPP(Program to Evaluate High Resolution Precipitation Products)系统地推动了美国、澳大利亚和日本等地卫星反演降雨数据的精度评定工作^[6]。国内学者从地面空间尺度、覆盖类型、旱涝事件的评估以及流域水文模型模拟等方面展开对 TRMM 卫星降雨数据的精度评定工作^[7-10]。李剑锋等^[11]采用 TRMM 3B42V7 对高纬度半干旱的老

哈河流域进行了精度评定,结果显示,TRMM 3B42 卫星降雨产品能较好反映老哈河流域的日降雨事件以及降雨的空间分布特征。杨云川等^[12]以长江上游金沙江流域典型高山峡谷地区为研究对象,评估 TRMM 3B42V6 卫星降雨数据的精度与误差特征,结果显示高海拔、大坡度区域对降雨的预报探测精度影响显著。史婷婷等^[13]通过 TRMM 卫星降雨数据与地面气象站数据进行融合,提出了一种 TRMM 卫星降雨数据应用的新思路。上述研究大多是利用地面雨量计的点数据,由点插值到面域,通过插值的面域数据与卫星的区域栅格数据进行对比分析,在不同的时间和空间尺度上,对 TRMM 卫星反演数据的精度进行评定。基于上述研究基础,本文通过站点的经纬度信息,内插出卫星在站点的降雨数据,通过卫星反演降雨数据在地面气象台站点的表现来进行评定,避免了地面气象台站降雨数据插值所带来的误差。

本文以中低纬度旱涝灾害多发的湖南省作为研究区域,基于地面 23 个雨量站点观测数据,对最新一代 TRMM 卫星降水产品 3B42V7 进行精度评定与可靠性分析。在空间上从站点分布以及高程,时间尺度上从日,月,年,以及不同季节,对比分析 TRMM 3B42 遥感降雨产品在不同空间尺度和时间尺度上的精度和误差特征,从而探讨 TRMM 卫星降雨资料在湖南省降水分析预测中的适用性。

2 研究区域与数据来源

2.1 研究区域

湖南省位于中国南部,长江中游地区。全省东、西、南三面环山,并且逐渐向中部和东北部倾斜,形成一个朝北开口的马蹄形盆地。湖南省河网密布,主要为湘、资、沅、澧四大河流及其分支,由于地势东、南、西三面高,北面低,水流沿山谷汇入四水注入洞庭湖进入长江,形成一个比较完整的洞庭湖水系,其中湘江是长江的 7 大支流之一是湖南省内最大的河流。湖南为大陆性亚热带季风湿润气候,气候温和,雨量充沛,夏季易发生洪涝灾害。图 1 展示了湖南省大概的地形、水系分布以及地面降雨测站的空间分布情况。

2.2 研究数据

研究所采用的卫星降雨产品 TRMM 3B42 空间覆盖范围为全球南北纬 50°,数据空间分辨率为 0.25°,时间步长为 3h。本文收集了 1999 - 2012 年的 TRMM 3B42 卫星反演降雨产品,通过双线性内

插法,得到卫星降雨产品在各个站点的降雨值,并将 3h 的 3B42 数据累加为日降雨数据匹配气象站的日尺度数据。TRMM 每天有 8 个文件,分别记录于 0:00、3:00、6:00、9:00、12:00、15:00、18:00、21:00,每个时刻数据文件是该时刻前后 1.5 h 时段内的平均降雨量。该数据统一以国际标准时(0 时区)记录,与本研究区域存在 8h 时差,地面气象站数据记录时段为前一天 20:00 - 当天 20:00,对应的卫星降雨时段为前一天 12:00 - 当天 12:00,卫星降雨产品来源于 NASA 官网提供的镜像网站(ftp://disc2.nascom.nasa.gov/ftp/data/s4pa/TRMM_L3/TRMM_3B42)。

为校验 TRMM 3B42 卫星降雨数据精度,本文收集了湖南省 23 个国家基准气象站点的降雨数据作为地面验证数据。数据长度为 1999 年 1 月 1 日到 2012 年 12 月 31 日的日尺度数据,数据精度为 0.1 mm,所用资料经过了严格的质量控制,且所选序列无缺测。所选取的气象站点数据,在整个研究区域上分布较为均匀,资料比较完整。地面观测数据可以通过中国气象科学数据共享服务网下载(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)。

3 评价方法

对卫星降雨与地面气象站降雨数据在数量上的一致性和相关性的评定中本文采用了偏差(Bias, B)和相关系数(Correlation Coefficient, C)这两种定量指标来评价。其中 B 反映了卫星降雨数据相对于地面雨量计数据的偏差程度; C 表示卫星降雨数据同地面气象站降雨数据的线性相关程度。卫星降雨数据对日降雨事件的探测能力则通过探测率(Probability of Detection, POD)、空报率(False Alarm Ratio, FAR)以及 Heidke 技巧评分指数(Heidke's Skill Score, HSS)等 3 项分类评价指标来综合评定。其中 POD 越高,表明卫星降雨对日降雨事件的漏报程度越小;FAR 越小,空报程度越小;HSS 综合反映卫星降雨对降雨事件是否发生的估计能力^[14]。

$$B = \frac{\sum S_i - G_i}{\sum G_i} \quad (1)$$

$$C = \frac{\sum ((G_i - \bar{G})(S_i - \bar{S}))}{\sqrt{\sum (G_i - \bar{G})^2} \cdot \sqrt{\sum (S_i - \bar{S})^2}} \quad (2)$$

$$POD = n_{11} / (n_{11} + n_{01}) \quad (3)$$

$$FAR = n_{10} / (n_{11} + n_{10}) \quad (4)$$

$$HSS =$$

$$\frac{2(n_{11} \cdot n_{00} + n_{10} \cdot n_{01})}{(n_{11} + n_{01})(n_{01} + n_{00}) + (n_{11} + n_{10})(n_{10} + n_{00})} \quad (5)$$

式中: G 代表地面气象台站数据; S 代表卫星数据; n_{11} 表示气象站和卫星探测到有雨; n_{10} 表示卫星显示有雨而气象站显示无雨,以此类推 n_{00} 表示气象站和卫星都显示无雨。

4 TRMM 卫星反演降雨数据精度评定结果

4.1 日尺度数据的比较

本文在对整个研究区 23 个地面气象站点的日尺度降雨数据与其对应格网的 3B42 卫星反演降雨估计值进行整合统计之后,分析了日尺度下 3B42 卫星降雨数据与气象台站数据的相关性。图 2 给出了日尺度下卫星与地面气象站降雨数据资料散点图,并计算了各评价指标的数值。结果显示,1999 - 2012 年 TRMM 卫星与气象站降雨数据在日尺度上相关性较低。所有站点的平均相关系数仅为 0.31,其中双峰站在日尺度上的相关系数最高,达到 0.58,而通道站在日尺度上的相关性最低,相关系数仅为 0.09。卫星降雨数据在站点平均误报有降雨事件的天数占总实测无雨天数的 38.8%,而各站探测率 POD 平均值为 0.59,最大值为 0.71,最小值为 0.51。各站技巧评分指数 HSS 均值为 54.3%,HSS 的最大值为 58.8%,最小值为 49.9%。总体上,整个研究区域 TRMM 3B42V7 降雨产品在日尺度上对降雨事件的探测能力不是很强,并且各站存在较大的空间变异性。这也验证了蔡研聪等^[15]在中高纬度地区 TRMM 卫星降雨数据的精度评价研究中得出的结论:3B42 在湿润多雨区域更容易带来观测误差。

4.2 月尺度数据的比较

本文分析了月尺度下 3B42 卫星降雨数据与气象台站数据的相关性,图 3 给出了月尺度下卫星与地面气象站的降雨数据资料散点图,从图中可以看出 TRMM 卫星降雨数据与台站数据之间表现为强相关,其相关系数达到 0.88。相比于日尺度,相关系数有显著的提高,这表明在大时间尺度下,TRMM 卫星降雨数据能较准确地反映地面降雨情况。图 4 展示了 1999 - 2012 年 TRMM 卫星降雨数据与气象站数据在各站的月平均降雨量,并通过表 1 统计了月尺度下典型气象站点与 TRMM 卫星降雨数据的统计特征值,从表 1 可以看出,卫星降雨数据与气象站降雨数据的月平均降雨量在各站匹配情况不尽相

同,存在较大的空间变异性,尤其是南岳站出现比较严重的低估。图 5 进一步给出了 1999 - 2012 年 TRMM 卫星降雨数据与地面气象站数据所有站点的月平均降雨量,结果表明卫星数据对于反映一年中的 12 个月的降雨分布情况与地面气象台站数据非常吻合,可以很好地反映各个月份的降雨情况。

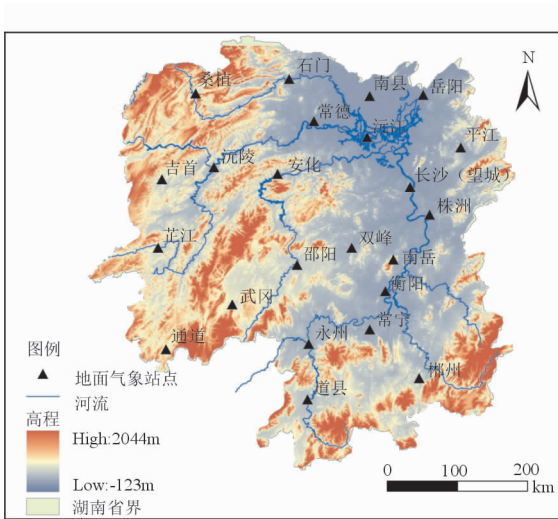


图 1 湖南省及地面降雨测站分布图

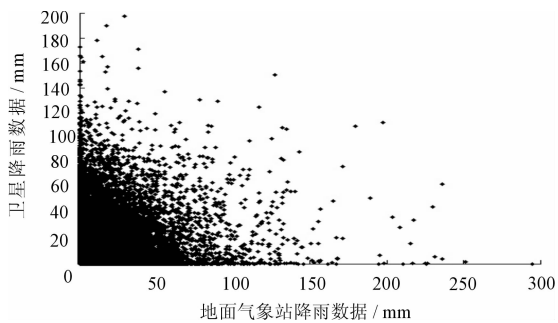


图 2 日尺度卫星与地面气象站降雨数据散点图

表 1 尺度下典型气象站点与 TRMM 卫星降雨数据的统计特征值

站名	地面气象站 月平均降雨量/mm	卫星月平均 降雨量/mm	相对 偏差	相关 系数
芷江	101.72	117.79	0.16	0.69
邵阳	104.39	125.74	0.20	0.85
常宁	115.02	117.44	0.02	0.76
双峰	113.49	108.58	-0.04	0.87
南岳	168.97	110.34	-0.35	0.80
安化	140.31	121.64	-0.13	0.84

另外在纵向的比较中,月尺度数据站点的卫星数据与台站数据之间在不同年份的相关系数没有太大的变化,而在横向不同的台站点之间,卫星数据与

台站数据的相关性会有比较大的差异,相关系数为 0.5 ~ 0.9。虽然根据历年的总降雨量的统计结果,在本文研究的时间序列中出现过几年“旱年”和“涝年”,但这没有对月尺度下的卫星数据与地面台站数据相关性产生太大的影响,即在月尺度上空间要素对于卫星数据与台站数据相关性的影响较大,而降雨量对其影响较小。

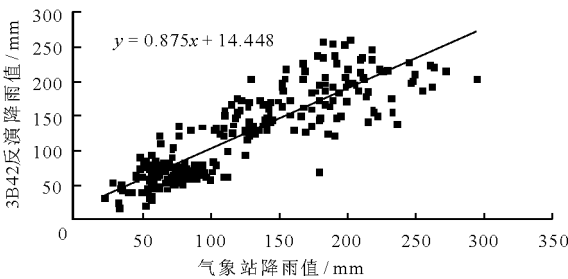


图 3 月尺度卫星降雨数据与地面气象站数据散点图

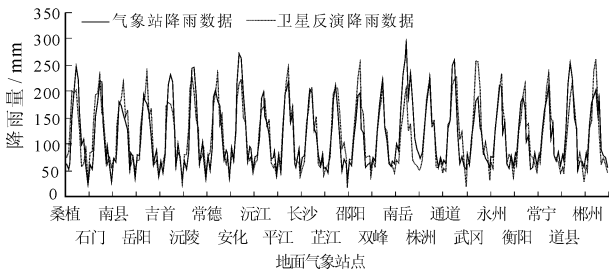


图 4 1999 - 2012 年 TRMM 卫星降雨数据与气象站数据在各站的月平均降雨量

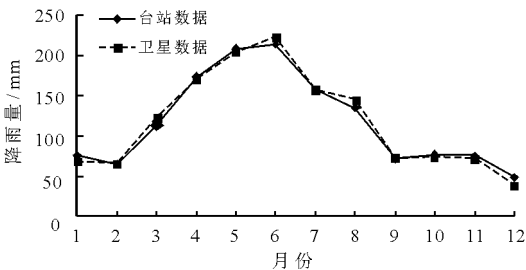


图 5 1999 - 2012 年 TRMM 卫星降雨数据与地面气象站数据所有站点的月平均降雨量

4.3 年降雨量数据对比

研究区各站年平均降雨量在 1 400 mm 左右,降水丰沛,并且卫星数据显示的年降雨量与台站的年降雨量基本吻合,将 23 个站点的年平均降雨数据累加之后发现,台站数据的累加值为 31 695.96 mm, TRMM 卫星反演降雨数据的累加值为 31 158.67 mm,相对偏差仅为 - 1.70%,图 6 给出了卫星与气象站年平均降雨量之间的年变化对比情况,从图 6 可以看出 TRMM 卫星年平均降雨数据可以很好地表示降雨量的年变化。这说明在降雨量的反演预测

方面,TRMM 卫星降雨数据可以很好地将区域的降雨量反演出来;然而由于地理位置,高程海拔等空间因素在各个站点之间的差异,卫星降雨数据在各个台站的表现不一。

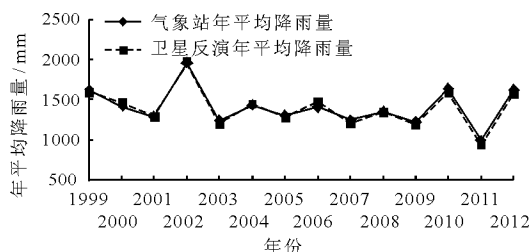


图6 TRMM 卫星反演年平均降雨量与地面气象站年平均降雨量的对比

4.4 海拔对于卫星降雨数据的精度影响

海拔是影响降雨重要的空间要素之一,能直接改变降雨的空间分布特征,尤其在夏季,由于地形的作用局部地区会产生地形雨^[15],而在地形起伏地区卫星降雨观测易于产生较大误差,从而造成观测精度降低。微波和红外遥感数据在反演降雨过程中,云与地表间距对精确反演降雨量有重要影响,而该距离与海拔直接相关,因此海拔的差异会影响最终反演降雨数据的精度。分析海拔与精度指标的关系,有助于完善反演算法的不足,改善数据质量^[15]。

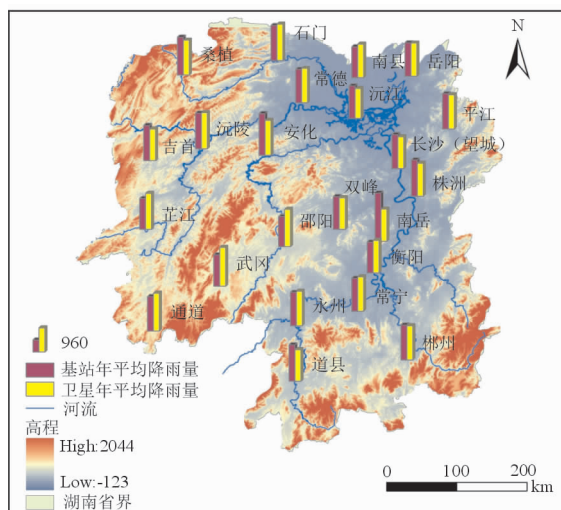


图7 3B42 卫星降雨数据与地面气象台站降雨数据年平均降雨量的空间分布

图7绘制了3B42 卫星降雨数据与地面气象台站降雨数据之间的年平均降雨量空间分布,可以发现23个台站中,唯一的海拔超过1 000 m的台站南岳站的卫星降雨数据存在严重的低估,相对偏差达到了33.84%,安化站和道县站卫星降雨数据也存

在较大的低估,相对偏差分别为16.23%和15.60%,它们的高程分别为128和192 m。高估严重的台站有芷江站、邵阳站和武冈站,相对偏差分别为16.94%、23.22%和23.25%,这3个站的高程分别为272、248和341 m。

这说明,在高海拔地区以及地形起伏比较大的地区,TRMM 卫星降雨数据对于地面的实际降雨情况很难有一个比较好的把握。原因一方面是因为本文选用的双线性内插法对于粗差点(比如南岳站点)并不能很好地求解,由于高海拔点或者周围地形起伏比较大的点相当于是粗差点,通过对其周围的4个点的双线性内插得出来的结果并不能很好地代表这样一个“粗差点”的真实值;另一方面这也说明在地形复杂的地区 TRMM 卫星降雨数据仍然不能很好地反映这样区域的降雨情况,空间精度还是较低。对此嵇涛等^[16]在多源遥感数据的降水空间降尺度研究一文中也提到:在区域尺度与流域尺度等中小尺度的应用中,0.25°空间分辨率的 TRMM 数据产品仍然较难把握这一尺度下降雨的时空分布情况。因此进一步的研究工作可以致力于 TRMM 卫星降雨数据的降尺度研究。

从上述的研究可以发现,当区域海拔在100~250 m时,卫星降雨数据在反映这个地区的降雨情况时,对地面的降雨容易产生比较严重的低估,这可能是由于水汽在这一海拔高度冷暖气流比较容易形成降水,而当海拔在250~400 m时,水汽在这一海拔高度冷暖气流不容易形成降水,因此对地面的降雨产生比较严重高估。而在更多的平原低海拔地区,TRMM 卫星降雨数据虽然也存在低估和高估现象,但是普遍都比较小。

4.5 季节之间的比较

陆地上不同季节降雨量有很大差异,一般夏季降雨量高于冬季,降雨量的大小也有可能对卫星数据与台站数据之间的相关性产生影响。那么 TRMM 卫星降雨数据的季节降雨量估测精度也有待验证。本文将整个研究区域1999~2012年23个地面气象站点的降雨数据按照湿润季(5、6、7和8月)和干旱季(1、2、11和12月)划分,并且分别计算湿润季节与干旱季节降雨量,并与 TRMM 卫星降雨数据在这23个台站点的湿润与干旱降雨数据进行对比。图8给出了日尺度下干旱季、湿润季以及整个时间序列下的相关系数对比,结果显示卫星降雨数据在干旱季节的表现优于湿润季节的表现,日尺度数据下干旱季节各站相关系数平均值为0.38,而湿润季节仅

为 0.29。

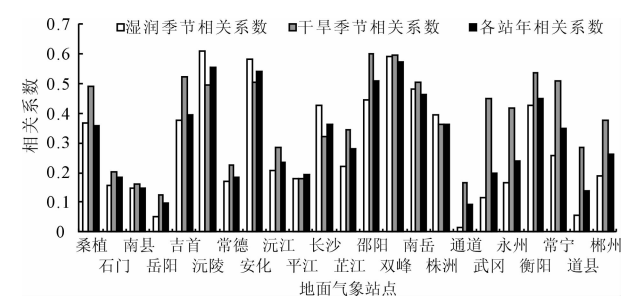


图 8 日尺度下干旱季、湿润季以及整个时间序列下的相关系数对比

同时研究发现月尺度下湿润季节(相关系数为 0.46)卫星降雨数据与台站降雨数据的相关性比较差,在干旱季节 TRMM 卫星降雨数据(相关系数为 0.64)表现比较好。图 9 给出了月尺度数据下各站干旱季节、湿润季节以及整个时间序列的相关系数对比,可以发现各个台站在湿润季节的卫星反演数据和地面观测数据差异明显,湖南省西南山区的一些测站比如沅陵站、吉首站、安化站等相关系数在 0.6 以上,而位于东北部平原地区的石门、南县、常德等站相关系数较低,只有 0.2 左右。在干旱季节,台站降雨数据的月平均降雨量为 66.28 mm,卫星降雨数据的月平均降雨量为 61.25 mm,存在比较普遍的低估;在湿润季节台站降雨数据的月平均降雨量是 178.42 mm,卫星降雨数据的月平均降雨量是 181.95 mm,则表现出比较普遍的高估现象。不论是通过日尺度数据还是月尺度数据都可以得出,在本文的研究区域,TRMM 卫星降雨数据在干旱季节的表现要优于湿润季节的表现。

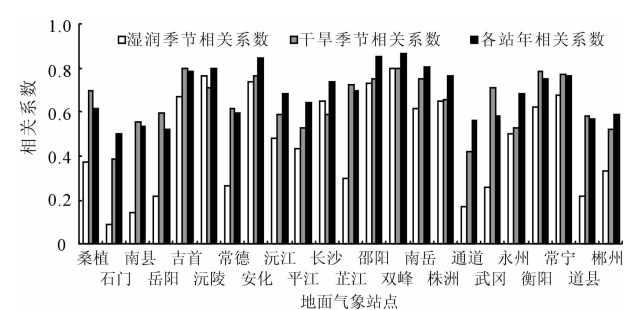


图 9 月尺度数据下各站干旱季节、湿润季节以及整个时间序列的相关系数对比

另外,本文对月尺度数据除了在纵向进行时间的比较之外,还对数据进行了横向比较。即在同一个时间尺度下,将 23 个站点对应的卫星数据和台站数据进行比较。在横向的比较中可以发现,与湿润季节(相关系数为 0.57)相比,干旱季节的卫星降雨

数据与台站之间的相关系数(0.47)反而表现比较差,这与上述结论相违背,由此也更加印证之前得出的结论,空间要素对于卫星降雨数据的影响要比降雨量的影响大得多。刘俊峰等^[3]在多卫星遥感降水数据精度评价的研究中利用全国 650 个站点对 TRMM 卫星降雨数据进行评定之后将全国不同地区 TRMM 卫星降雨数据的适应情况进行了统计和说明,结果显示,TRMM 卫星降雨数据在我国的适应情况普遍是西北低,东南高,而在东北部地区以及中南部地区则适应情况比较复杂,这也说明了 TRMM 卫星降雨数据的空间变异性。本文的研究区域恰好在中南区域,通过本文小空间尺度的评定工作,可以发现 TRMM 卫星降雨数据在小空间尺度下,在不同地区的适应情况比较复杂,因此单纯的只考虑空间要素中的位置要素(经纬度)还是不能很好地去对一个小尺度下区域卫星降雨的适应情况与可靠性进行比较准确的把握,需要考虑更多的空间要素如高程、坡度等。

5 结论与讨论

本文通过对 TRMM3B42 V7 卫星降雨产品与湖南省 23 个地面国家基准气象站点的降雨数据进行对比分析,分析了 3B42 卫星数据在湖南省的可靠性以及适应情况,得到以下结论:

- (1) 在日尺度上各站在整个时间序列下卫星数据与台站数据的相关系数的平均值仅为 0.31,而在月尺度上则有显著的提高,达到了 0.88;TRMM 卫星降雨数据可以很好地反映研究区域的年降雨量变化情况和一年中 12 个月之间的降雨量变化情况。在 23 个站点的年平均降雨总量上,卫星数据与台站数据的相对偏差仅为 -1.7%,可以较好地反映地面的降雨量情况;
- (2) 在地形起伏较大的地区,3B42 卫星反演降雨数据的空间分辨率还是很难对地面的降雨情况有一个比较好的把握,容易产生比较严重的高估和低估情况。在本文的研究区域,海拔 100 ~ 250 m 之间卫星降雨数据对地面气象站点降雨数据容易产生低估,而在 250 ~ 400 m 之间容易产生高估;
- (3) 针对本文的研究区域,总的来看卫星数据在干旱季节(11、12、1、2 月)的表现要优于湿润季节(5、6、7、8 月)。在干旱季节卫星降雨数据存在比较普遍的低估,在湿润季节则存在比较普遍的高估;
- (4) 空间要素对卫星降雨数据的影响要远高于降雨量的影响,各站的月尺度下卫星降雨数据与台

站降雨数据之间的相关系数为 0.5 ~ 0.9, 存在比较显著的空间变异性。

同时, 需要指出的是, 本文在季节尺度比较中得出: 3B42 卫星数据在干旱季节的表现要比湿润季节好, 这与其他学者关于 TRMM 多卫星降水数据在季节尺度的精度评定结论刚好相反。通过进一步分析发现本文研究区域各个站点的年平均降雨量在 1 400 mm 左右, 吴雪娇等^[17]在中高纬度的黑河流域的研究, 站点的年平均降雨量只有 200 mm, 蔡研聪等^[15]在中高纬度内蒙古地区的研究, 各个站点的年平均降雨量在 37 ~ 509 mm, 本文研究区干旱季节的降雨要远远高于这些地区湿润季节的降雨, 因此在季节对比分析中, 泛泛地通过湿润季节与干旱季节这样划分, 所得到的结论将不具备普适性, 更科学地应该通过对降雨量的具体数值进行细化来评定降雨量对于卫星降雨数据的影响。由于湖南省受东亚季风活动的影响, 极易出现大范围的洪涝灾害, 因此预报大雨、暴雨, 对于防灾减灾具有重要意义, 因此下一步工作可以采用分类指标 (POD、FAR 和 HSS), 对小雨, 中雨, 大雨, 暴雨等分类进行评定。

在时间尺度对 TRMM 卫星降雨数据的可靠性进行评定的同时, 还应该从横向上进行比较, 空间要素的影响比降雨量的影响要大得多, 在对卫星数据做精度评定的过程中应该避免将这两个要素揉在一起进行评定; 通过对 TRMM 卫星降雨数据的评定工作, 发现通过遥感手段获取降雨信息是一种有效的方法, 然而在评定的过程中还发现现行的卫星降雨数据空间分辨率并不能较好地把握流域尺度等小尺度以及地形复杂地区的降雨分布特征, 而卫星降雨数据的降尺度研究有助于解决这样的问题, 可以作为进一步的研究工作。

参考文献:

- [1] 刘元波, 傅巧妮, 宋平. 卫星遥感反演降水研究综述[J]. 地球科学进展, 2011, 26(11): 1162 - 1172.
- [2] 江善虎, 任立良, 璩 斌, 等. TRMM 卫星降水数据在冰河流域径流模拟中的应用[J]. 水科学进展, 2014, 25(5): 641 - 649.
- [3] 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.
- [4] Jiang Shanhu, Ren Liliang, Hong Yang, et al. Comprehensive evaluation of multi-satellite precipitation products with a dense rain gauge network and optimally merging their simulated hydrological flows using the bayesian model averaging method[J]. Journal of Hydrology, 2012, 452 - 453: 213 - 225.
- [5] Huffman G J, Bolvin D T, Nelkin E J. The TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. [J]. Journal of Hydrometeorology, 2007, 8(1): 38 - 55.
- [6] Sapiano M R P, Arkin P A. An Intercomparison and Validation of High-Resolution Satellite Precipitation Estimates with 3-Hourly Gauge Data[J]. Journal of Hydrometeorology, 2009, 10(1): 149 - 166.
- [7] 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.
- [8] 杨云川, 程根伟, 范继辉, 等. 四川盆地及周边地区 TRMM 3B42 数据精度检验[J]. 气象科学, 2013, 33(5): 526 - 535.
- [9] 姚展予, 李万彪, 高慧琳, 等. 用 TRMM 卫星微波成像仪遥感地面洪涝的研究[J]. 气象学报, 2002, 60(2): 243 - 249.
- [10] 杨传国, 余钟波, 林朝晖, 等. 基于 TRMM 卫星雷达降雨的流域陆面水文过程[J]. 水科学进展, 2009, 20(4): 461 - 466.
- [11] 李剑锋, 余文婧, 江善虎. TRMM 卫星降水数据在老哈河流域的精度评估[J]. 水资源与水工程学报, 2014, 25(5): 89 - 92.
- [12] 杨云川, 程根伟, 范继辉, 等. 卫星降水数据在高山峡谷地区的代表性 with 可靠性[J]. 水科学进展, 2013, 24(1): 24 - 33.
- [13] 史婷婷, 杨晓梅, 张 涛, 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, 2014, 16(3): 470 - 481.
- [14] 胡庆芳, 杨大文, 王银堂, 等. 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, 43(4): 447 - 459.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 吴雪娇, 杨梅学, 吴洪波, 等. TRMM 多卫星降水数据在黑河流域的验证与应用[J]. 冰川冻土, 2013, 35(2): 310 - 319.