

doi: 10.6046/gtzyyg.2016.03.26

引用格式: 卢新玉, 魏鸣, 王秀琴, 等. TRMM-3 B43 降水产品在新疆地区的适用性研究[J]. 国土资源遥感, 2016, 28(3): 166-173. (Lu X Y, Wei M, Wang X Q, et al. Applicability research on TRMM-3B43 precipitation over Xinjiang [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2016, 28(3): 166-173.)

TRMM-3 B43 降水产品在新疆地区的适用性研究

卢新玉^{1,2}, 魏鸣¹, 王秀琴³, 向芬⁴

(1. 南京信息工程大学大气物理学院, 南京 210044; 2. 新疆气象台, 乌鲁木齐 830002;
3. 昌吉州气象局, 昌吉 831100; 4. 湖北省气象信息与技术保障中心, 武汉 430074)

摘要: 为研究热带降雨测量计划卫星(tropical rainfall measuring mission, TRMM)-3 B43(简称“TRMM”)降水产品在新疆地区的适用性, 利用1998—2013年TRMM月降水量产品与新疆地区105个国家气象站点的降水观测结果, 通过统计分析分别在年、季和月尺度上进行验证。结果表明: TRMM估算的年降水量与新疆地区实测降水具有很高的-一致性(平均偏高5.29%); 与气象站点实测的季尺度降水数据决策系数较高, 相关系数均在0.7以上; 与气象站点实测的月降水数据的相关系数为0.75, 表明两者之间相关性较显著, 数据精度较高。就单个气象站点而言, 大部分TRMM降水数据与气象站点实测降水数据相关系数较高, 误差在30%以内, 整体相关系数达到0.81, 说明TRMM降水数据与气象台站点实测降水数据的一致性较好; 但TRMM降水产品在时间和空间上具有一定的偏差, 使用中需要进一步订正。

关键词: 热带降雨测量计划卫星(TRMM)-3 B43数据; 降水; 适用性; 新疆地区

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2016)03-0166-08

0 引言

在数值天气预报、气候模式及气候诊断等研究中都需要精确估测降水, 而降水的高时空变化是影响降水估测精度的主要原因。遥感数据和地面观测数据具有各自的优势与不足: 遥感数据估测降水的面积大, 但所进行的测量是瞬间测量, 数据的准确性需要验证; 地面站点对降水数据的实测是1个单点的连续测量, 在面积上缺乏代表性; 但从1个长时间序列上分析, 两者应有一致的相关性。传统的雨量计观测网为一定区域提供了相对精确的降水量测量结果, 而卫星遥感数据在地面气象观测数据缺乏的地区有明显优越性。利用雨量计观测数据对遥感数据进行准确性检验, 对全面了解该地区降水时空分布具有重要意义。

热带降雨测量计划卫星(tropical rainfall measuring mission, TRMM)是世界上第一颗搭载测雨雷达的卫星, 除测雨雷达外还携带了微波成像仪、可见

光和红外扫描仪、云和地球辐射能量系统以及闪电成像传感器等探测仪器。其中, 测雨雷达与微波成像仪相结合, 首次提供了三维降水分布信息; 结合可见光和红外扫描数据, 大大提高了降水反演的精度。星载雷达降水反演已成为当前降水反演研究中的重要研究领域^[1]。TRMM-3 B43产品由4类相互独立的降水数据综合而成, 包括微波及近红外等传感器融合估算数据, 美国国家海洋和大气管理局(the national oceanic and atmospheric administration, NOAA)以及全球降水气候中心(global precipitation climatology centre, GPCC)的降水雨量计分析数据等, 是卫星数据结合其他降水数据源联合反演的最佳降水率产品^[2]。本文选用了1998—2013年TRMM-3 B43的月时间尺度 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 空间分辨率的降水产品。2011年6月30日TRMM降水产品的反演算法由V6版本升级为V7版本, 发布的数据产品精度进一步提高^[3]。基于TRMM测雨产品的成功, 2014年2月又发射了全球降水观测(global precipitation measurement, GPM)卫星。这是1个由

收稿日期: 2015-03-23; 修订日期: 2015-09-13

基金项目: 国家重点基础研究发展计划973项目“突发性强对流天气演变机理和监测预报技术研究”(编号: 2013CB430102)、新疆维吾尔自治区科技支疆项目“北疆雪水资源遥感监测分析服务平台建设”(编号: 2013911104)、沙漠气象科学研究基金项目“基于自适应算法的乌鲁木齐雷达定量测量降水研究”(编号: SQJ2014012)、公益性行业(气象)科研专项项目“江淮对流云结构特征及增雨作业指标研究”(编号: GYHY201306040)和中国气象局2014年关键技术项目“强灾害天气的临近预报与潜势预报”(编号: CMAGJ2014M21)共同资助。

1 颗主卫星和 8 颗小卫星组成的卫星群,可实现 3 h 覆盖全球的观测,其南、北纬 65° 的覆盖范围使新疆地区成为重要的研究区域。深入分析 TRMM 及 GPM 测雨产品在新疆地区的适用性,对评估新疆地区水资源分布具有重要意义。

TRMM 卫星从 1997 年 11 月发射至今已积累了 17 a 的降水数据,国内外学者在 TRMM 数据的精度验证方面做了大量研究^[4-12],但对新疆地区降水数据的研究还较少。杨艳芬等^[13]等利用 TRMM-3 B42 日数据对西北干旱区进行了精度验证,指出 TRMM 遥感降水数据在西北干旱区难以直接应用,需要做进一步纠正处理;季璇等^[14]利用 TRMM-3 B42 日降水产品对新疆中天山地区进行了精度验证,指出该数据对日降水事件的估计准确率较低,该降水产品的质量不高;王晓杰等^[15]利用 TRMM-3 B43 产品对天山及其周边地区进行了适用性研究,认为 TRMM-3 B43 月降水产品在天山山区有很好的适用性。但上述研究多是运用 TRMM-3 B42 日降水数据;对月尺度降水产品只在天山及其周边地区进行了研究,得出的结论也不尽相同;而利用 TRMM-3 B43 V7 月降水产品对新疆其他地区以及整个新疆地区的研究还鲜有报道。因此,本文针对新疆全区在气象台站降水观测的基础上,对比分析 1998—2013 年 TRMM-3 B43 数据在时间和空间上的精度;并以该数据为基础,全面分析新疆地区降水的空间格局和季节分布特征,为新疆地区降水研究提供信息。

1 研究区概况

以新疆维吾尔自治区为研究区,其处于典型的温带大陆性干旱气候带,年均降水量 155 mm。区内山脉融雪形成众多河流,绿洲分布于盆地边缘和河流流域,总面积约占全区面积的 5%,具有典型的绿洲生态特点。新疆降水存在比较明显的时空分布不均匀性——山区降水多于平原与盆地,北疆降水多于

南疆,且降水量从西北向东南部渐减;在时间分布上,降水主要集中在夏季,夏季降水量占全年降水量的 60% 以上^[16]。研究区 105 个气象站点与高程分布如图 1 所示。

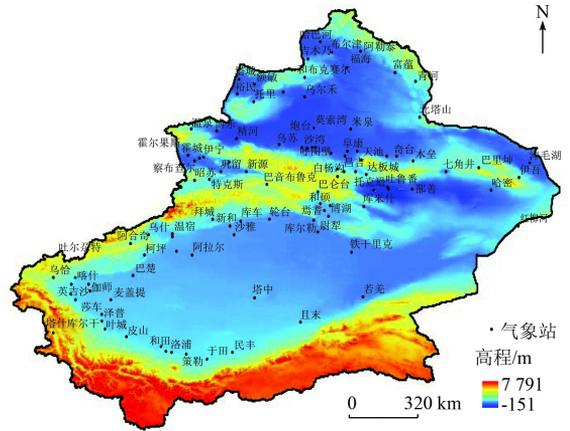


图 1 研究区高程及气象站点分布
Fig. 1 Distribution of elevation and meteorological stations in study area

2 数据与方法

2.1 数据来源

本文使用的 TRMM-3 B43 V7 (以下简称“TRMM”)遥感数据来自于美国 NASA 网站(<http://storm-pps.gsfc.nasa.gov/storm>) 2012 年 5 月公布的 1998—2013 年月降水产品,空间分辨率为 0.25° × 0.25° (大约 25 km),覆盖范围在 W180° ~ E180°, N50° ~ S50° 之间,时间分辨率为 1 个月。TRMM-3B 43 为 TRMM 数据的 3 级产品,是在其 2 级产品的基础上经过空间和时间平均后得到的, V7 为 TRMM 产品的最新降水反演版本^[17]。

气象台站的实测月降水资料由新疆气象局信息中心提供,其时间尺度与遥感数据一致。本文选用月降水资料的获取时间为 2 月和 7 月,分别代表新疆地区降水少和降水多的 2 个月份。图 2 示出 1998—2013 年气象台站的年均降水量及 2 月和 7 月的月降水量。

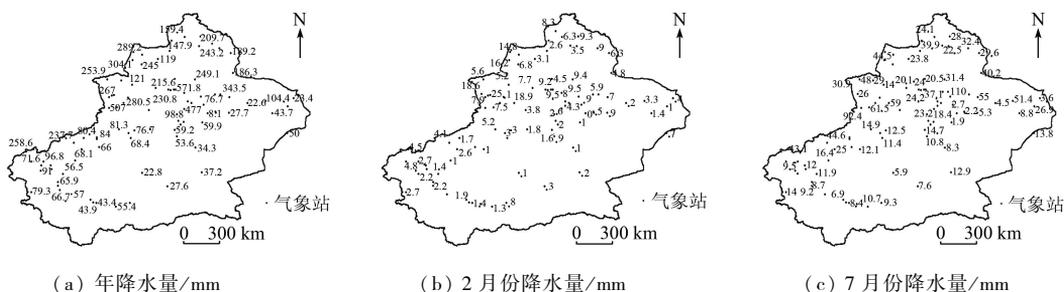


图 2 新疆地区气象站点年降水量、2 月和 7 月降水量

Fig. 2 Average annual rainfall as well as February and July average monthly rainfall for meteorological stations in Xinjiang

2.2 数据处理及精度评价

每个 TRMM 数据产品均有降水率和相对误差 2 个数据集,存储格式为 HDF。使用 IDL 语言读取与气象站地理位置相对应的 TRMM 降水率,再分别乘以各月的总小时数将其转换为月降水量数据,进而得到季降水量和年降水量数据;然后采用相对误差 δ 、相关系数 R 及均方根误差 $RMSE$ 等统计参数对观测值与 TRMM 数据进行分析,其计算公式分别为

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)}{\sum_{i=1}^n y_i} \times 100\% \quad (1)$$

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

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

式中: x_i 和 y_i 分别为 TRMM 降水数据和气象站观测数据; \bar{x} 和 \bar{y} 分别为 x_i 和 y_i 的均值; n 为样本容量。

3 结果与分析

3.1 总体精度评价

对 TRMM 数据在整个新疆地区的精度进行综合分析。将新疆地区 105 个国家气象站点实测的 1998—2013 年各年的月数据同与其对应地理位置的 TRMM 降水数据进行对比,其散点趋势见图 3。

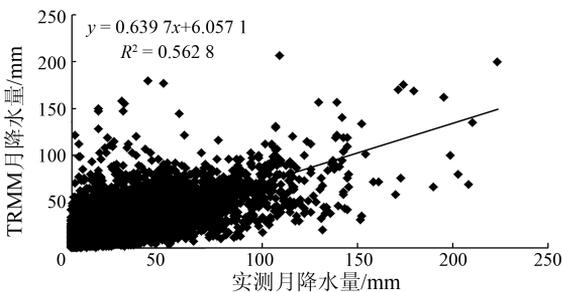


图 3 1998—2013 年 TRMM 与实测月降水量散点趋势
Fig. 3 Scatter diagram of monthly precipitation between TRMM and rain gauges from 1998 to 2013

由图 3 可以看出,TRMM 月降水量与气象站观测的月降水量的决策系数 $R^2 = 0.5628$,相关系数 $R = 0.75$,并通过了置信度 0.01 的检验,说明 TRMM 与站点观测数据之间具有显著的线性相关关系。从检验结果可知,TRMM 数据在整体上具有较好的精度。

3.2 年降水量检验

将 TRMM 月降水数据与新疆地区所有站点实测的月降水数据统计为年降水数据,并做出时间序列图,在“年”时间尺度上对 TRMM 降水的精度进行对比(图 4)。

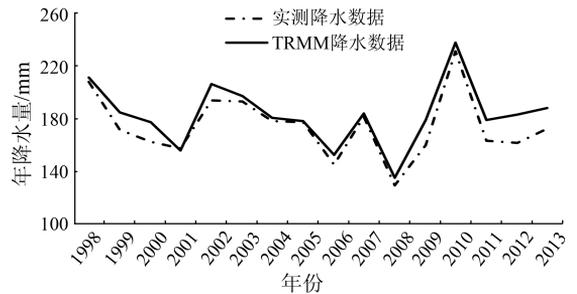


图 4 TRMM 与站点观测 1998—2013 年降水量对比
Fig. 4 Comparison of annual precipitation between TRMM and rain gauges observed from 1998 to 2013

由图 4 看出,新疆地区 1998—2013 年,除 2001 年 TRMM 年降水比站点的实测降水略偏低外,其余年份均高于实测降水(平均偏高 9 mm);但 TRMM 降水与站点实测降水的总体变化趋势一致。

3.3 季降水量检验

新疆地区为温带大陆性干旱气候,降水稀少,季节分配不均,夏季降水多于冬季。为进一步分析季节的不同是否会给 TRMM 降水产品的反演带来差异,对 TRMM 降水数据进行了“季”时间尺度上的精度验证。对整个研究区 105 个地面气象站点 16 年的降水数据分别按春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12—翌年 2 月)进行统计,并与同期的气象站点实测降水数据进行线性拟合,结果如图 5 所示。可以看出,春、秋、冬季的拟合度相当,夏季的决策系数最低($R^2 = 0.49$),但总体来看 4 个季节的拟合度相差不大。

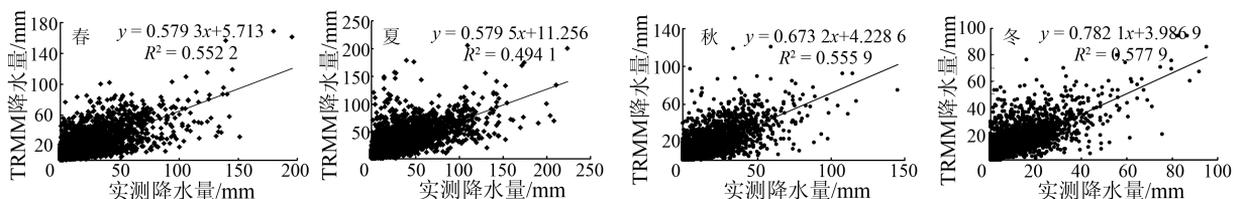


图 5 不同季节 TRMM 与实测季降水量散点图

Fig. 5 Scatter plots of seasonal rainfall with squared correlation coefficient using TRMM and rain gauge for different seasons

表 1 为不同季节 TRMM 数据与实测季降水误差统计。可以明显看出,大降水量主要发生在夏季,

而夏季也产生最大的均方根误差(57.39 mm),降水最少的冬季则产生最大的偏差(7.35 mm)。

表1 不同季节 TRMM 与实测季降水误差统计

Tab.1 Error statistics between TRMM and rain gauge seasonal rainfalls for different seasons

季节	相关系数	观测均值/mm	TRMM 均值/mm	偏差/mm	观测标准差/mm	TRMM 标准差/mm	均方根误差/mm
春	0.74	45.97	43.77	-2.20	60.59	47.23	40.66
夏	0.70	70.72	74.75	4.03	79.35	65.41	57.39
秋	0.75	34.30	35.78	1.48	44.04	39.77	30.19
冬	0.76	21.14	28.49	7.35	29.60	30.45	22.07

3.4 月降水量检验

将1998—2013年TRMM逐年逐月降水数据与对应站点实测的月降水数据制作成降水时序图。图6为每年1月份的降水时序图。限于篇幅,其他月份降水时序图没有列出。

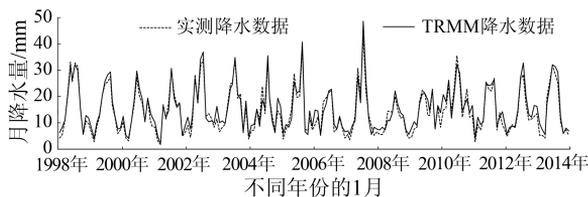


图6 TRMM 与站点观测1月份降水量时序图

Fig.6 Time series plots of January rainfall observed by using TRMM and rain gauges

由图6可以看出,TRMM 每年1月降水数据与对应站点实测每年1月降水数据的总体变化趋势是一致的。而从图7可以明显地看出,除春季和9—10月TRMM降水数据小于实测降水外,其余月份TRMM降水数据均大于实测降水,呈现出在春、秋季易出现雨、雪转换频繁的情况下,TRMM降水数据会产生低估现象;而在夏、冬季降水相对稳定的时期,TRMM降水数据又会出现高估现象。这有待进一步分析其产生的原因,从而提高TRMM降水产品的反演精度。在降水量较少的1—2月和11—12月TRMM降水数据普遍大于站点实测降水量,其中1月和12月多年平均差值近3mm。

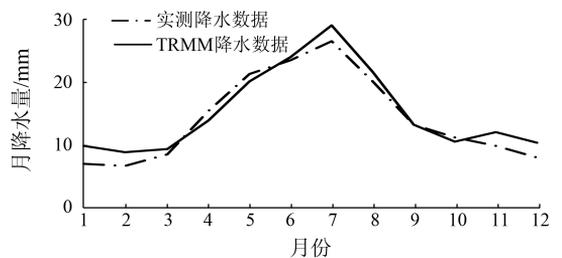


图7 1998—2013年TRMM与实测月均降水量对比

Fig.7 Comparison between average monthly precipitation of TRMM and observed data during 1998 to 2013

图8为1998—2013年TRMM与实测降水的1—12月份月平均降水量的拟合结果。

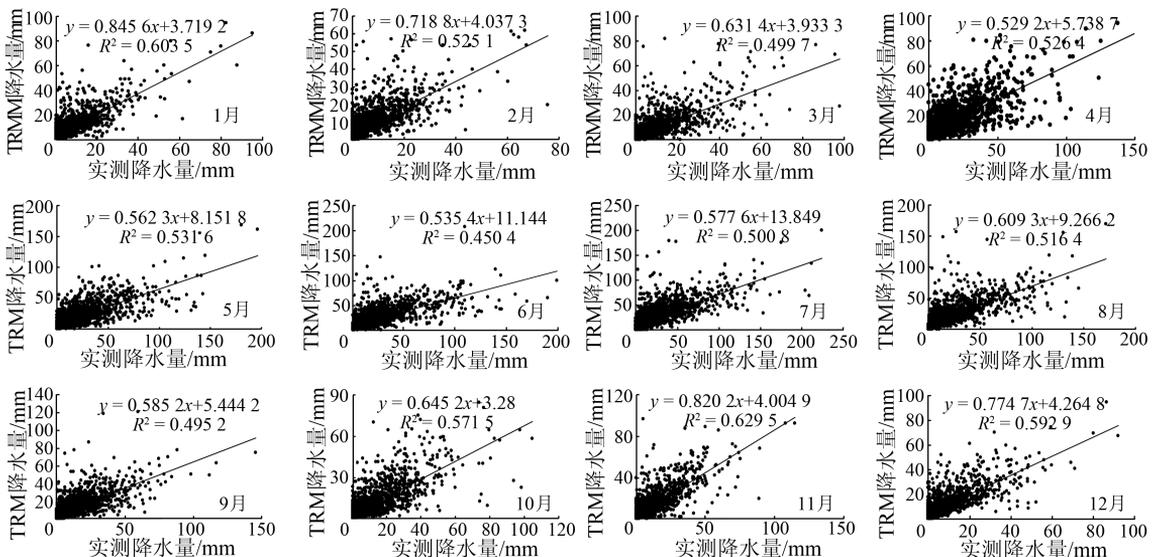


图8 1998—2013年TRMM降水与地面观测站各月平均降水量散点图

Fig.8 Scatter diagrams between average monthly precipitation observed by TRMM and rain gauges from 1998 to 2013

从图8可知,拟合效果较好的为1,10,11和12月份的TRMM降水与地面观测站降水量,决策系数分别为0.6035,0.5715,0.6295和0.5929,相应的相关系数均在0.75以上,表现出较好的一致性。其他月份的决策系数都在0.5左右;决策系数最差的为6月份(0.4504),相关系数为0.67。

3.5 数据个体精度检验

从月、季、年3个尺度降水的检验结果可以看出,TRMM降水数据在整体上精度较高,但整体检验只能说明总的趋势一致,掩盖了少数站点数据与对应TRMM降水数据之间的差异;尤其是降水作为离散的气象要素,其本身会受到很多因素(如地形、经

纬度、海拔、坡度、坡向、大气环流及海陆位置等)的影响。因此,仅仅对 TRMM 降水数据进行总体精度评估是不够的,还需对其个体数据进行各个站点的验证。将 105 个气象站点 1998—2013 年实测月降水数据分别与其对应的 TRMM 降水数据作相关分析,得到 TRMM 数据与气象站点实测数据之间的相关系数分布图(图 9)。红色数字为相关系数小于 0.5 的站点相关系数。

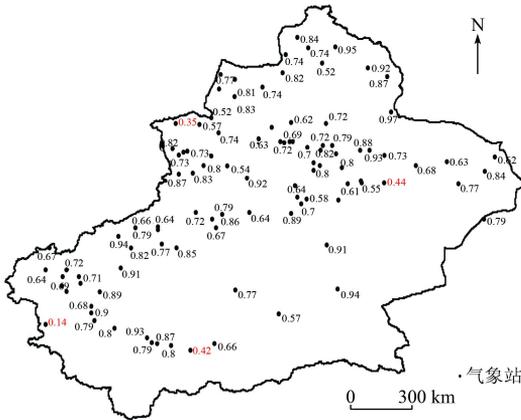


图 9 台站观测月降水与对应 TRMM 降水数据相关系数分布

Fig. 9 Distribution of correlation coefficient between monthly precipitation data observed by each rain gauge station and TRMM

由图 9 可以看出:大部分气象站点的月降水实测数据与 TRMM 的月降水数据之间的相关性较好(相关系数为 0.6~0.9),进一步证明了 TRMM 月

降水数据在整个新疆地区具有普遍的适用性。气象站点实测数据与 TRMM 月降水数据之间的相关系数表现出均匀性,有 4 个站点的相关系数在 0.5 以下,分别是塔什库尔干(0.14)、于田(0.42)、温泉(0.35)和鄯善(0.44),说明这 4 个站点实测的降水数据与 TRMM 月降水数据之间的相关性较差。其中塔什库尔干站点的相关系数最小,这可能与该站点所处的局部地势、地貌有关。该站点处于高海拔地区(3 014~5 456 m),地形起伏明显,高程为 3 093.7 m。从高程图(图 1)中可以看出,在以该站点为中心的 625 km² 内,站点正处于相对较低的位置,而站点的西南与东北地区海拔均在 4 000 m 以上,地势高度在整体上呈“S”型。由于 TRMM 卫星主要针对热带低纬度地区进行观测,因此在中、高纬度,联合其他探测仪器进行的降水反演会表现出不确定性^[12]。由于 TRMM 数据的 1 个像元代表 625 km² 面积上的降水总体信息,而气象站点实测降水数据不能全面代表站点周围 625 km² 范围内的降水状况,地势越复杂则代表性越差。

尽管相关系数能够反映站点实测降水数据与 TRMM 月降水数据之间相关性的程度,但也容易掩盖 2 种降水数据之间实际的误差程度,这正好说明了研究相对误差的重要意义^[16]。基于此,利用式(3)计算了各站点实测降水数据与 TRMM 年降水数据之间的相对误差(图 10)。因图面限制,只表示出 105 个站点中的 35 个站点。

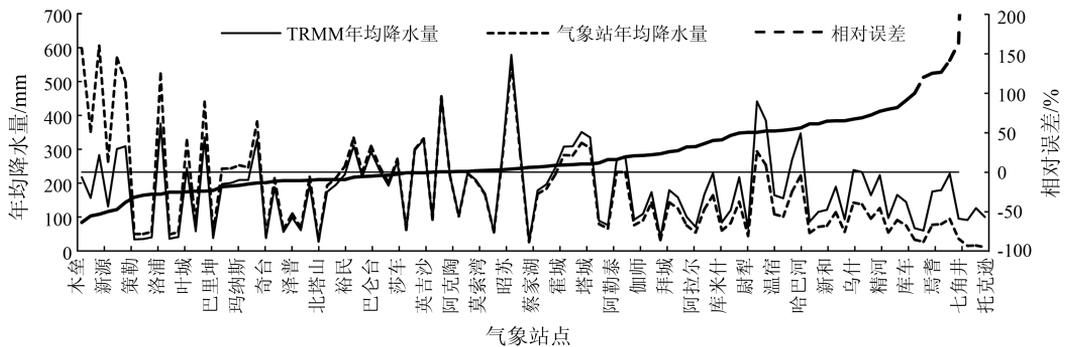


图 10 35 个气象站点与 TRMM 数据对应像元 1998—2013 年均降水量对比

Fig. 10 Comparison between average annual precipitation of corresponding pixels observed by TRMM and 35 meteorological stations from 1998 to 2013

由图 10 可以看出:①在 105 个实测气象站点中,木垒和新源等 41 个站点的相对误差小于 0,说明这些站点的 TRMM 月降水数据小于实测站点月降水数据,卫星降水数据存在一定的低估;②托克逊和七角井等 64 个气象站点的相对误差大于 0,表示这些站点的 TRMM 月降水数据大于实测站点月降水数据,卫星降水数据存在一定程度上的高估。各气象站点的误差统计情况如表 2 所示。

表 2 TRMM 与台站实测年降水量误差统计
Tab. 2 Statistics of error between annual precipitation observed by TRMM and meteorological stations

误差/%	气象站点数/个
< 10	31
[10, 20)	17
[20, 30)	15
[30, 40)	6
[40, 50)	6
≥ 50	30

从表2可以看出,在105个实测气象站点中,有48个气象站点的误差在20%以内,说明这些气象站点的TRMM月降水数据与实测站点降水数据的差异较小,在一定程度上能够反映出TRMM降水数据的准确性。

各实测气象站点之间的相对误差具有不均匀性,差异明显。其中莎车、额敏、伊宁、英吉沙、特克斯、富蕴、阿克陶及沙湾8个气象站点的相对误差在 $\pm 1\%$ 以内,说明TRMM月降水数据和这些气象站点实测降水之间有非常好的一致性;而超过 $\pm 50\%$ 误差的站点达到了30个,尤其是鄯善、焉耆、和静、塔什库尔干、七角井、吐鲁番及托克逊7个站点的误差超过了100%,说明在这些站点TRMM降水数据的高估超过了1倍,通过计算该7个站的年平均降水量只有45 mm;误差在 -40% 以上的天池、木垒、小渠子、米泉、新源、白杨沟6个站点的年平均降水量则达482 mm,均位于新疆降水比较充沛的地区。以上情况证明了TRMM降水数据在降水较少的区域容易高估降水、而在降水量较多的区域容易低估降水的现象,这与吴雪娇等^[18]的研究结果是一致的。

图11给出了新疆105个气象站点实测的1998—2013年的年均降水量与对应的TRMM年均降水数据的散点图。

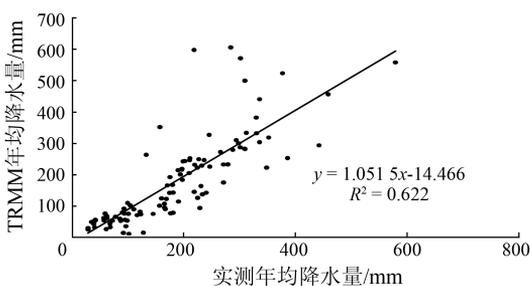


图11 1998—2013年新疆地区105个观测站实测与TRMM年均降水量散点图

Fig. 11 Scatter diagram between average annual precipitation observed by 105 stations and TRMMs in Xinjiang from 1998 to 2013

从图11可以看出,虽然通过上述分析相对误差在 $\pm 30\%$ 以上的站点占到新疆全区国家站点的40%,但其相关系数却达到了0.81,而且无论从整体精度评价,还是年降水量、季降水量、月降水量检验来看,都说明TRMM降水数据与台站实测降水具有很好的一致性;同时也说明TRMM降水产品的偏差在时间和空间上具有一定的规律性,在具体使用中需要进一步订正处理^[11,15]。

4 结论与建议

4.1 结论

利用1998—2013年TRMM月降水量产品与新疆区域所有105个国家气象站的降水观测结果,通过统计分析,分别在年、季和月尺度上进行了验证,得到以下结论:

1) TRMM估算的年降水量在新疆地区与实测降水具有较高的一致性,平均偏高5.29%。

2) TRMM与气象站点的季尺度降水数据决策系数较高,各季决策系数差别不大,相关系数均在0.7以上;并呈现春、秋季节降水低估,夏、冬季节降水高估现象。

3) TRMM的月数据与站点实测降水数据决策系数 $R^2 = 0.5628$,相关系数 $R = 0.75$,表明二者之间相关性显著,数据精度较高,其中拟合效果最好的是11月($R^2 = 0.6295$),最差的是6月($R^2 = 0.4504$);

4) 对105个气象台数据准确性逐个进行分析,发现大部分站点的相关系数较高,误差较小,但塔什库尔干、米泉、阿克达拉、阿拉山口、鄯善、温泉、于田等站点的相关系数较低,误差相对较大;从各站点的相对误差分析得到,大部分站点(60%)相对误差在 $\pm 30\%$ 以内,整体相关系数达到了0.81。

4.2 建议

1) 本文将全疆105个国家气象站作为检验站点,由于每个站点的海拔、下垫面类型和地理环境等各不相同,它们对TRMM产品反演结果准确性的影响也会不同。TRMM-3 B43 V7产品是TRMM卫星与其他卫星联合反演的降水产品,包括SSM/I、AMSU-B微波降水以及全球降水气候计划(GPCP)的红外降水估值,而微波遥感更易受不同地表类型的影响,且TRMM-3 B43月降水产品的1个格点就代表了625 km²面积上的平均降水量。因此,地面站点数据是否能够代表该网格降水量的真值,还需要根据不同站点的海拔和下垫面类型进行深入分析,这也是下一步需要深入研究的问题。

2) 遥感测量和地面站点测量各有其优缺点。遥感数据虽然测量的面积大,但所进行的测量是瞬间测量;地面站点测量数据虽然在时间上是连续测量,但在面上缺乏代表性。地面站的点测量和遥感的面测量之间有个尺度问题,如何解决地面站点测量的代表性,也是需要深入研究的问题。

参考文献(References):

- [1] 刘元波,傅巧妮,宋平,等. 卫星遥感反演降水研究综述[J].

- 地球科学进展,2011,26(11):1162-1172.
- Liu Y B, Fu Q N, Song P, et al. Satellite retrieval of precipitation: An overview[J]. *Advances in Earth Science*, 2011, 26(11): 1162-1172.
- [2] Huffman G J, Bolvin D T, Nelkin E J, et al. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales[J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2007, 8(1): 38-55.
- [3] Huffman G J, Bolvin D T. TRMM and other data precipitation data set documentation[EB/OL]. (2013-01-30). ftp://precip.gsfc.nasa.gov/pub/trmmdocs/3B42_3B43_doc.pdf.
- [4] Moazami S, Golian S, Kavianpour M R, et al. Comparison of PERSIANN and V7 TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) products with rain gauge data over Iran[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, 34(22): 8156-8171.
- [5] 骆三, 苗峻峰, 牛涛, 等. TRMM 测雨产品 3B42 与台站资料在中国区域的对比分析[J]. *气象*, 2011, 37(9): 1081-1090.
- Luo S, Miao J F, Niu T, et al. A comparison of TRMM 3B42 products with rain gauge observations in China[J]. *Meteorological Monthly*, 2011, 37(9): 1081-1090.
- [6] 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.
- Qi W W, Zhang B P, Pang Y, et al. TRMM-data-based spatial and seasonal patterns of precipitation in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(8): 999-1005.
- [7] 朱国锋, 蒲焱, 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.
- Zhu G F, Pu T, Zhang T, et al. The accuracy of TRMM precipitation data in Hengduan Mountainous Region, China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(9): 1125-1131.
- [8] 杨立娟, 武胜利, 张钟军. 利用主被动微波遥感结合反演土壤水分的理论模型分析[J]. *国土资源遥感*, 2011, 23(2): 53-58. doi:10.6046/gtzyyg.2011.02.10.
- Yang L J, Wu S L, Zhang Z J. A model analysis using a combined active/passive microwave remote sensing approach for soil moisture retrieval[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2011, 23(2): 53-58. doi:10.6046/gtzyyg.2011.02.10.
- [9] 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.
- Lv Y, Yang S T, Cai M Y, et al. The applicability analysis of TRMM precipitation data in the Yarlung Zangbo River Basin[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(8): 1414-1425.
- [10] 曾红伟, 李丽娟. 澜沧江及周边流域 TRMM3B43 数据精度检验[J]. *地理学报*, 2011, 66(7): 994-1004.
- Zeng H W, Li L J. Accuracy validation of TRMM 3B43 data in Lancang River Basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(7): 994-1004.
- [11] 刘三超, 柳钦火, 高懋芳. 地基多波段遥感大气可降水量研究[J]. *国土资源遥感*, 2006, 18(4): 6-9. doi:10.6046/gtzyyg.2006.04.02.
- Liu S C, Liu Q H, Gao M F. Multi-spectral optical remote sensing of precipitable water[J]. *Remote Sensing for Land and Resources*, 2006, 18(4): 6-9. doi:10.6046/gtzyyg.2006.04.02.
- [12] Karaseva M O, Prakash S, Gairola R M. Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2012, 108(1-2): 147-157.
- [13] 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 Y F, Luo Y. Evaluation on detective ability of TRMM remote sensing precipitation in arid region of northwest China[J]. *Arid Land Geography*, 2013, 36(3): 371-382.
- [14] 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 X, Luo Y. Quality assessment of the TRMM precipitation data in mid Tianshan Mountains[J]. *Arid Land Geography*, 2013, 36(2): 253-262.
- [15] 王晓杰, 刘海隆, 包安明. TRMM 降水产品在天山及周边地区的适用性研究[J]. *水文*, 2014, 34(1): 58-64.
- Wang X J, Liu H L, Bao A M. Applicability research on TRMM precipitation data in Tianshan Mountains[J]. *Journal of China Hydrology*, 2014, 34(1): 58-64.
- [16] 苏宏超, 沈水平, 韩萍, 等. 新疆降水特征及其对水资源和生态环境的影响[J]. *冰川冻土*, 2007, 29(3): 343-350.
- Su H C, Shen Y P, Han P, et al. Precipitation and its impact on water resources and ecological environment in Xinjiang Region[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2007, 29(3): 343-350.
- [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.
- Wu X J, Yang M X, Wu H B, et al. Verifying and applying the TRMM TMPA in Heihe River Basin[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(2): 310-319.

Applicability research on TRMM-3B43 precipitation over Xinjiang

LU Xinyu^{1,2}, WEI Ming¹, WANG Xiuqin³, XIANG Fen⁴

(1. Institute of Atmospheric Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China; 3. Changji Meteorological Bureau, Changji 831100, China; 4. Hubei Meteorological Information and Technology Support Center, Wuhan 430074, China)

Abstract: In this paper, an attempt has been made to estimate rainfall over the Xinjiang region by using the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) - 3 B43 product for the period of 2003-2008 and rain gauge data

from 105 weather stations at different time intervals. The results show that the TRMM rainfall product is generally consistent with the measured one on the yearly - scale; Goodness of fit of seasonal precipitation between TRMM estimates and observed data is high, with the goodness of fit being insignificantly different between the seasons and the correlation coefficients being above 0.7; For the month scale, TRMM product has statistically significant correlation ($r=0.75$) with rain gauge data; For individual stations, at most stations the correlation coefficients are reasonably high and the estimation biases are small. An analysis of the error obtained from each site showed that most of them (60%) are within 30%, while the overall fitting correlation coefficient reached 0.81, suggesting that there is good consistency between TRMM precipitation data and observed precipitation. Overall, TRMM precipitation products have certain deviation in time and space, but the deviations have certain regularity. Calibration is indispensable processing in application.

Keywords: tropical rainfall measuring mission (TRMM) -3 B43 data; precipitation; applicability; Xinjiang region

第一作者简介: 卢新玉(1979-),男,博士研究生,主要研究方向为主被动微波遥感反演降水。Email: 31810964@qq.com。

通信作者: 魏鸣(1957-),教授,主要从事大气遥感等方面的研究。Email: mingwei@nuist.edu.cn。

(责任编辑:邢宇)