

卢新玉, 魏鸣, 王秀琴. TRMM 月降水量产品在新疆地区的订正. 应用气象学报, 2017, 28(3): 379-384.  
DOI: 10.11898/1001-7313.20170311

# TRMM 月降水量产品在新疆地区的订正

卢新玉<sup>1)2)3)\*</sup> 魏 鸣<sup>1)</sup> 王秀琴<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>(中国气象局气溶胶-云-降水重点开放实验室, 南京信息工程大学, 南京 210044)

<sup>2)</sup>(中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002)

<sup>3)</sup>(中亚大气科学研究中心, 乌鲁木齐 830002)

<sup>4)</sup>(新疆气象局, 乌鲁木齐 830002)

## 摘 要

利用 1998—2013 年 TRMM 月降水量产品与新疆同期的 105 个气象站地面观测降水量, 运用逐步回归与 BP 神经网络方法, 选取 1998—2010 年数据建立新疆地区的降水订正模型, 并利用 2011—2013 年月降水量进行检验。结果表明: 加入地形因子对 TRMM 月降水量产品订正效果明显, 整体上两种模型对 TRMM 月降水量产品订正的相关系数从最初的 0.66 分别提高到 0.75 和 0.80, 相对误差由 10.75% 分别降低为 4.88% 和 3.19%; 月尺度上, TRMM 月降水量产品相对误差为 -5.68%~54.44%, 经逐步回归模型订正后为 -4.26%~32.57%, 而 BP 神经网络模型订正后为 -5.33%~24.48%, 表明 BP 神经网络模型订正效果更好; 从综合时间技巧评分  $S_T$  看, 订正后 TRMM 月降水量产品在各月的效果均有不同程度提高, 逐步回归模型订正后提高 0.01~0.49, BP 神经网络模型订正后提高 0.03~0.70。因此, 基于逐步回归模型与 BP 神经网络模型订正的 TRMM 降水量产品均能够准确、定量地再现降水分布, 为 TRMM 降水量产品质量改进提供一种较实用的参考方法。

**关键词:** TRMM; 降水; 新疆; 订正

## 引 言

在水循环过程中降水是一个关键交换过程, 大尺度降水估测在各个领域都有广泛的应用, 如数值天气预报、气候模式、气候诊断研究等<sup>[1-2]</sup>。传统雨量计网络在一定区域提供了一个相对精确的降水量测量, 但受区域限制很多地方无法覆盖, 卫星遥感数据在气象观测数据缺乏的地区显示出较强的优越性, 对全面了解新疆地区降水的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 1 颗搭载测雨雷达的卫星, 此外还携带了微波成像仪、红外扫描

仪、云和地球辐射能量系统等传感器, 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, 进一步结合可见光和红外扫描数据, 极大改善了降水反演精度<sup>[3]</sup>。TRMM 卫星从发射至 2014 年已积累了 17 年的降水数据, 国内外学者对 TRMM 数据进行了大量研究<sup>[4-10]</sup>, 杨艳芬等<sup>[11]</sup>评估了 TRMM 3B42 逐日数据在西北干旱区的效果, 指出 TRMM 降水产品在西北干旱区难以直接应用, 需要进一步订正处理。由于降水的空间分布受地理条件、气象条件等多种因素制约, 卫星遥感在大范围的空间监测具有优势, 而在具体的应用方面则需要进一步的适用性分析以及偏差订正。在降水偏差订正方面已有许多工作<sup>[12-17]</sup>, 本文拟在新疆地区内, 运用逐步回归和 BP 神经网络分析方法, 研究新疆地区降水分

2016-12-07 收到, 2017-02-15 收到再改稿。

资助项目: 江苏省普通高校研究生科研创新计划项目 (KYLX15\_0864), 中国沙漠气象科学研究基金项目 (SQJ2014012), 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室开放课题 (2016LASW-B12), 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201506009), 国家自然科学基金项目 (41565003, 41675029), 地理信息科学教育部重点实验室开放研究基金资助项目 (KLGIS2015A01)

\* email: luxy0322@126.com

布与地形因子的关系,在新疆地区地形降水方面展开研究,同时也为区域降水估算提供参考。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

本研究采用的1998—2013年TRMM 3B43 V7遥感数据来自于美国NASA网站(<http://stormpps.gsfc.nasa.gov/storm>)公布的月降水量产品,水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ,时间分辨率为1个月,TRMM 3B43为TRMM数据的3级产品,在2级产品的基础上经过空间和时间平均后得到,3B43为月降水量产品,V7为TRMM产品的最新降水反演版本<sup>[18]</sup>;105个气象站的地面观测月降水量由新疆气象局信息中心提供,时间尺度与遥感数据一致,地面观测降水已通过质量控制;DEM数据取自ASTER GDEM(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model,即先进星载热辐射和反射辐射仪全球数字高程模型),水平分辨率为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ ,覆盖范围为 $83^{\circ}\text{S} \sim 83^{\circ}\text{N}$ 的所有陆地区域。

### 1.2 数据处理

TRMM 3B43 V7数据产品存储格式为HDF,运用IDL(Interactive Data Language,交互式数据语言)读取与气象站地理位置相对应的降水率,再分别乘各月的总小时数将其转换为月降水量数据;运用ArcGIS从新疆数字高程模型(DEM)数据中提取经度、纬度、海拔高度等位置变量,以气象站为中心取周围直径25 km范围为缓冲区,匹配到TRMM像素点大小,分别运用ArcGIS的坡度、坡向、块统计等功能得到气象站周围25 km范围内的高程、遮蔽度、坡向等地形变量;考虑到地形变量间会有较强的互相关,运用主成分分析将地形变量组合成较少的特征向量。通过SPSS(Statistical Package for the Social Sciences,统计产品与服务解决方案)进行旋转主成分(rotated principal components, RPC)分析,将原变量重新组合为4个新变量。

### 1.3 模型构建

以TRMM月降水量产品、位置变量、4个主成分为自变量,以气象站地面观测降水量为因变量,运用SPSS软件进行逐步回归分析,建立逐月回归方程,通过回归方程对TRMM降水进行订正。以TRMM月降水量产品、经度、纬度、海拔、主成分变

量为输入节点,以地面观测降水量作为输出值,选择8-20-1的神经网络模型结构,即8个输入层节点,20个隐含层神经元,1个输出变量,建立神经网络训练模型。所用TRMM月降水量产品为1998—2010年。

### 1.4 效果评价

引入相对误差、相关分析、均方根误差等常规统计指标以及综合技巧评分<sup>[19]</sup>(式1)对TRMM月降水量产品(简称O-TRMM)、经逐步回归模型订正的结果(简称S-TRMM)及经BP神经网络模型订正的结果(简称B-TRMM)进行检验。根据对各种统计指标的分析,平均偏差、相对误差、均方根误差等指标主要反映O-TRMM, S-TRMM, B-TRMM与地面观测降水量(简称实况)的总体偏离程度,其值均与降水量本身的大小有关;相关系数用来评估O-TRMM, S-TRMM, B-TRMM与实况的一致性程度,但无法定量地反映实际偏差大小,因此,本文引入具有相对意义的复合统计量 $S_T$ ,使评估更为全面和客观:

$$S_T = R^2 - [R - S_y/S_x]^2 - [(\bar{y} - \bar{x})/S_x]^2. \quad (1)$$

式(1)中, $R$ 为相关系数, $S_x$ 和 $S_y$ 分别为O-TRMM(或S-TRMM, B-TRMM)和实况的标准差, $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 分别为O-TRMM(或S-TRMM, B-TRMM)和实况平均值,详细内容可参阅文献<sup>[19]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 研究区效果评价

将2011—2013年O-TRMM分别使用两个模型进行订正,考察O-TRMM, S-TRMM, B-TRMM在新疆地区的效果,三者与实况的相关系数分别为0.66, 0.75, 0.8,均达到0.01的显著性水平;三者均与实况之间具有显著的线性相关,且S-TRMM, B-TRMM与实况相关性更高;三者整体相对误差分别为10.75%, 4.89%, 3.19%,订正后比订正前质量明显提高。

### 2.2 月降水量检验

将2011—2013年O-TRMM, S-TRMM, B-TRMM进行月尺度上的各项评估对比,结果如表1、表2所示。由表1相关系数可以看出,逐步回归模型订正后的月降水量在各月比订正前均有所提高,平均提高7%,而BP神经网络模型订正的提高更为显著,平均提高16%;从各月订正效果看,暖季(5—9月)

订正效果最好,而冷季(10 月—次年 4 月)较差,由于冷季降水主要由气旋系统的锋面活动造成,这些系统的尺度通常为数百上千公里,所以地形影响并不明显,而暖季多为对流性降水,空间尺度小,对地形因素较为敏感,因而订正效果更好一些。由表 1 平均值看,O-TRMM 降水数据有 9 个月大于实况(1—3 月,6—9 月,11—12 月),其他 3 个月小于实测(4—5 月,10 月),而 S-TRMM,B-TRMM 更接近于实况平均。均方根误差用来衡量与实况之间的偏差,由表 2 可以看出,逐步回归模型订正后的月降水量产品比订正前有一定程度的改善,而神经网络模型订正效果更明显;一般来说,相对误差更能反映测量的可信程度,O-TRMM 相对误差为  $-5.68\% \sim$

$54.44\%$ ,S-TRMM 相对误差为  $-4.26\% \sim 32.57\%$ ,B-TRMM 相对误差为  $-5.33\% \sim 24.48\%$ ,订正后误差范围均有显著减小。为避免由单一统计指标进行质量评估所带来的偏差,本文引入复合统计量  $S_T$ ,其为由相关系数、标准差及平均值构成的时间综合技巧评分,理想值为 1,数值越接近于 1 则表示 O-TRMM,S-TRMM,B-TRMM 与实况偏差越小。由表 2 综合评分可以看出,订正后的降水数据  $S_T$  在 1—12 月均有不同程度的提高,其中 1 月和 7 月改进效果最为显著。图 1 给出了 1—12 月 O-TRMM,S-TRMM,B-TRMM 与实况散点分布拟合结果。图 1 显示,B-TRMM 最接近 1:1 线,其次为 S-TRMM,O-TRMM 分布最分散,体现出订正后质

表 1 O-TRMM,S-TRMM,B-TRMM 相关系数及平均值统计

Table 1 The correlation coefficient and the mean of O-TRMM,S-TRMM,B-TRMM rain gauge monthly rainfall in different months

月份	与实况相关系数			平均值/mm			
	O-TRMM	S-TRMM	B-TRMM	实况	O-TRMM	S-TRMM	B-TRMM
1	0.68	0.74	0.86	4.13	6.39	4.57	4.69
2	0.73	0.73	0.79	7.11	9.01	6.80	6.73
3	0.65	0.64	0.70	6.68	7.70	7.53	7.44
4	0.69	0.74	0.84	12.65	11.93	14.11	13.84
5	0.63	0.71	0.80	21.46	21.2	22.54	22.23
6	0.49	0.66	0.76	27.06	27.88	26.09	26.06
7	0.45	0.63	0.73	26.36	29.59	27.27	26.35
8	0.56	0.70	0.83	22.86	25.11	23.12	22.64
9	0.59	0.68	0.76	9.40	11.28	12.46	11.70
10	0.65	0.71	0.82	10.18	9.79	10.68	10.40
11	0.77	0.80	0.85	9.46	12.67	10.40	10.22
12	0.77	0.80	0.88	8.23	10.61	7.92	7.84

注:相关系数均达到 0.01 的显著性水平。

表 2 O-TRMM,S-TRMM,B-TRMM 与实况的误差及综合评分统计

Table 2 The error and the overall score of O-TRMM,S-TRMM,B-TRMM to rain gauge monthly rainfall in different months

月份	相对误差/%			均方根误差/mm			$S_T$		
	O-TRMM	S-TRMM	B-TRMM	O-TRMM	S-TRMM	B-TRMM	O-TRMM	S-TRMM	B-TRMM
1	54.44	10.41	13.37	2.63	1.90	1.50	-0.03	0.46	0.67
2	26.72	-4.26	-5.33	2.54	2.33	2.13	0.44	0.53	0.61
3	15.40	12.75	11.39	2.89	2.87	2.83	0.36	0.37	0.39
4	-5.68	11.51	9.41	5.41	5.00	4.07	0.47	0.55	0.70
5	-1.23	5.06	3.57	7.21	6.44	5.46	0.35	0.48	0.62
6	3.05	-3.57	-3.69	10.06	8.30	7.12	0.14	0.41	0.57
7	12.24	3.43	-0.05	11.03	8.98	7.88	-0.02	0.32	0.48
8	9.85	1.11	-0.98	9.86	7.96	6.03	0.18	0.46	0.70
9	19.98	32.57	24.48	4.60	4.20	3.63	0.23	0.36	0.52
10	-3.84	4.92	2.11	4.43	4.04	3.25	0.39	0.50	0.67
11	34.00	9.98	8.10	4.41	3.44	3.12	0.33	0.59	0.66
12	28.93	-3.81	-4.69	3.33	2.91	2.33	0.52	0.64	0.77

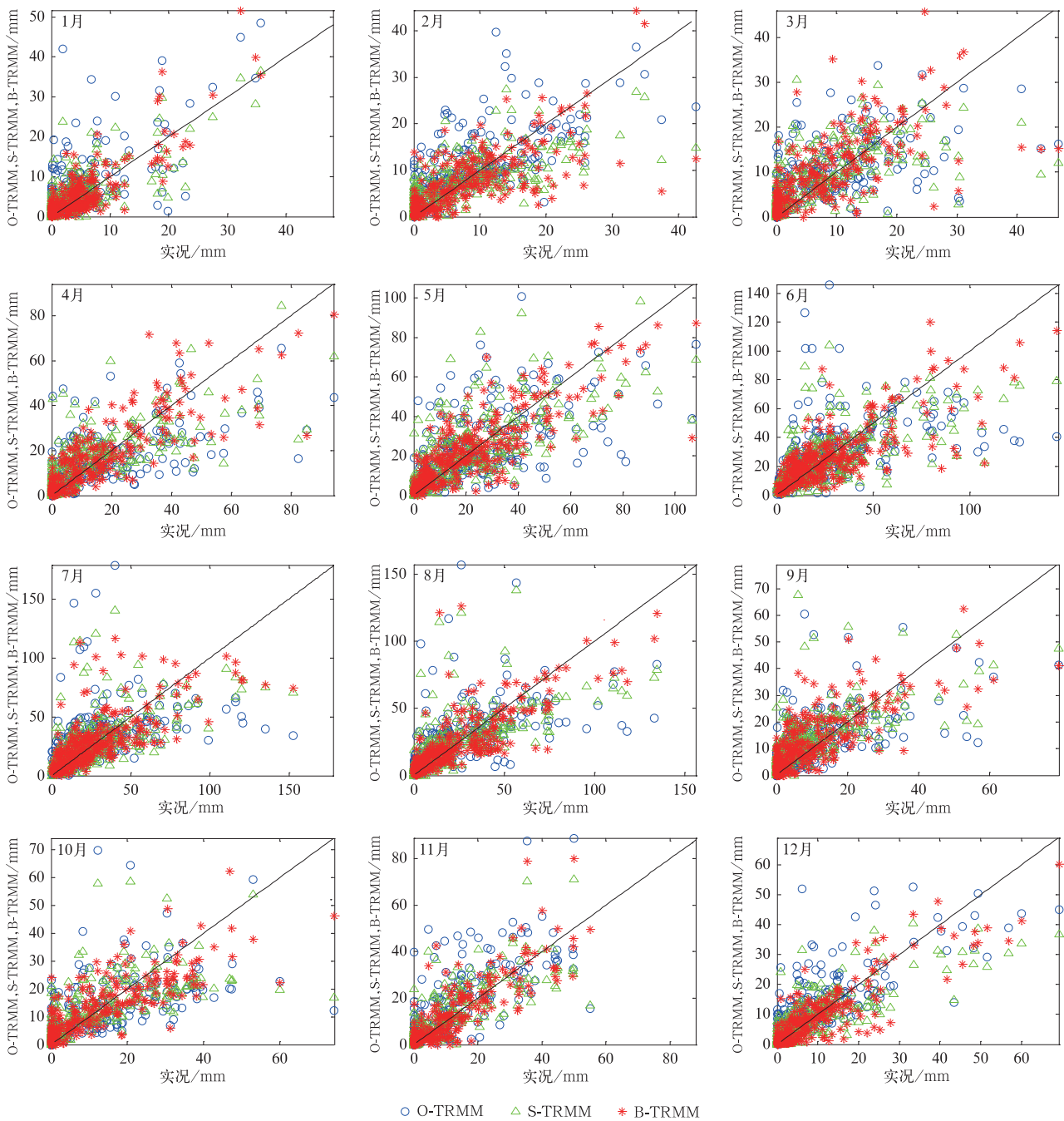


图1 O-TRMM,S-TRMM,B-TRMM 与实况月降水量散点分布

Fig. 1 Scatterplot of O-TRMM,S-TRMM,B-TRMM to rain gauge monthly precipitation

量有了明显的提高,而神经网络模型订正效果比逐步回归模型更好。

### 3 结论与讨论

利用 1998—2013 年 TRMM 3B43 月降水量产品与新疆地区同期 105 个气象站地面观测降水量,

选取其中 1998—2010 年数据进行逐步回归建模和神经网络训练,将建立的逐步回归模型和 BP 神经网络 BP 模型对 2011—2013 年 TRMM 月降水量产品进行订正,最后对订正结果分别在总体、月尺度上进行统计。得到以下结论:

1) 整体上,逐步回归模型与 BP 神经网络模型对 TRMM 月降水量产品都有很好的订正效果。订

正后的相关系数从最初的 0.66 分别提高到 0.75 和 0.80, 相对误差由 10.75% 分别降低为 4.88% 和 3.19%, 反映出地形因子对降水有明显的影 响作用。

2) 逐步回归模型与 BP 神经网络模型订正均使 TRMM 月降水量产品质量得到提高, 逐步回归模型订正后的月降水量相关系数在各月比订正前均有所提高, 平均提高 7%, 而 BP 神经网络模型订正效果更为显著, 平均提高 16%; TRMM 月降水量产品各月相对误差范围为 -5.68%~54.44%, 逐步回归模型订正后为 -4.26%~32.57%, BP 神经网络模型订正后相对误差为 -5.33%~24.48%。BP 神经网络模型是一个非线性模型, 比传统的线性回归方法表现出更好的订正结果。

3) 通过引入复合统计量  $S_T$ , 结果显示: 通过逐步回归模型与 BP 神经网络模型订正后, TRMM 降水量产品在各月的质量均有不同程度的提高, 其中 1 月和 7 月改进效果最为显著, 同时也表明凭借单一的统计指标进行质量评估存在一定偏差。

经过以上两种模型的订正, 可以看出通过引入地形因子可使 TRMM 月降水量产品质量有较显著地提高, 但从表 1 也可看出部分月份(4, 5, 9 月)订正之后相对误差有所增大, 而从 1—12 月平均看, 相对误差由订正前的 16.15% 分别减小为 6.67% 和 4.81%, 同时这 3 个月的相关系数比订正前有显著提高, 均方根误差也比订正前明显减小。针对相对误差增大的原因有待进一步研究, 但整体上订正模型对卫星产品质量表现出较好的改进效果。由于山区站受地形影响最为显著, 而新疆地区面积广阔且地形复杂, 本文只是对新疆整个区域上的初步研究, 而整体建模并不适合于每个区域, 下一步工作将从更细的区域划分提高模型的解释能力, 并结合数量众多的区域站实况资料进一步开展对卫星降水产品进行订正技术研究。

### 参 考 文 献

- [1] 刘元波, 傅巧妮, 宋平, 等. 卫星遥感反演降水研究综述. 地球科学进展, 2011, 26(11): 1162-1172.
- [2] 王新, 郭强, 陈怡羽. FY-2E 资料空间响应订正及对强对流监测改进. 应用气象学报, 2016, 27(1): 102-111.
- [3] Huffman G J, Bolvin D T, Nelkin E J, et al. The TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, 2007, 8(1): 38-55.
- [4] 李嘉睿, 卢乃锰, 谷松岩. 青藏高原地区 TRMM PR 地面降雨率的修正. 应用气象学报, 2015, 26(5): 636-640.
- [5] 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. *Int J Remote Sens*, 2013, 34(22): 8156-8171.
- [6] Karaseva M O, Prakash S, Gairola R M. Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan. *Theor Appl Climatol*, 2012, 108: 147-157.
- [7] 陈廷娣, 王连仲, 窦贤康. TRMM 卫星与机载雷达在降雨反演中的数据对比个例研究. 应用气象学报, 2008, 19(4): 454-462.
- [8] 彭亮, 姚展予. 河南省非降水云中液态水的卫星微波反演试验研究. 应用气象学报, 2008, 19(5): 539-546.
- [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. 自然资源学报, 2013, 28(8): 1414-1425.
- [10] 戴建华, 秦虹, 郑杰. 用 TRMM/LIS 资料分析长江三角洲地区的闪电活动. 应用气象学报, 2005, 16(6): 728-736.
- [11] 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. 干旱区地理, 2013, 36(3): 371-382.
- [12] 孙靖, 程光光, 张小玲. 一种改进的数值预报降水偏差订正方法及应用. 应用气象学报, 2015, 26(2): 173-184.
- [13] 梁胜华, 张灵, 千怀遂, 等. 广东省北江流域坡向与海拔对汛期降水量的影响. 应用气象学报, 2015, 26(3): 338-345.
- [14] 傅抱璞. 地形和海拔高度对降水的影响. 地理学报, 1992, 47(4): 302-314.
- [15] 舒守娟, 喻自凤, 王元, 等. 西藏地区复杂地形下的降水空间分布估算模型. 地球物理学报, 2005, 48(3): 535-542.
- [16] 胡邦辉, 刘善亮, 席岩, 等. 一种 Bayes 降水概率预报的最优子集算法. 应用气象学报, 2015, 26(2): 185-192.
- [17] 舒守娟, 王元, 熊安元. 中国区域地理、地形因子对降水分布影响的估算和分析. 地球物理学报, 2007, 50(6): 1703-1712.
- [18] George J H, David T B. TRMM and Other Data Precipitation Data Set Documentation. 2013. [ftp://recip.gsfc.nasa.gov/pub/trmmdocs/3B42\\_3B43\\_doc.pdf](ftp://recip.gsfc.nasa.gov/pub/trmmdocs/3B42_3B43_doc.pdf).
- [19] 江志红, 卢尧, 丁裕国. 基于时空结构指标的中国融合降水资料质量评估. 气象学报, 2013, 71(5): 891-900.

## Correction of TRMM Monthly Precipitation Data from 1998 to 2013 in Xinjiang

Lu Xinyu<sup>1)2)3)</sup> Wei Ming<sup>1)</sup> Wang Xiuqin<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> (Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

<sup>2)</sup> (Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002)

<sup>3)</sup> (Central-Asia Research Center of Atmosphere Science, Urumqi 830002)

<sup>4)</sup> (Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi 830002)

### Abstract

Using monthly TRMM precipitation data and precipitation observations from 105 national basic weather stations in Xinjiang region from 1998 to 2013, a stepwise regression model and a back-propagation (BP) neural network are established to correct TRMM precipitation. Results show that models added with geographical factors can increase the accuracy of TRMM precipitation effectively. Corrected by two models, overall correlation coefficients are 0.75 and 0.80, and relative errors are 4.88% and 3.19%. On the monthly scale, the relative error of TRMM monthly precipitation ranges from -5.68% to 54.44%, from -4.26% to 32.57% after stepwise regression and from 5.33% to 24.48% after neural network, respectively. In addition, results show that qualities of satellite precipitation products are improved in different degrees from  $S_T$ , with 0.01-0.49 for stepwise regression model and 0.03-0.70 for neural network, respectively. Compared with TRMM data before correction, the stepwise regression model and BP neural network model can accurately and quantitatively reproduce the actual distribution of precipitation, and provide a more practical method for the area lack of precipitation data.

**Key words:** TRMM; precipitation; Xinjiang; correction