

黄勇,陈生,冯妍,等. 2015. 中国大陆 TMPA 降水产品气候态的评估. 气象, 41(3):353-363.

# 中国大陆 TMPA 降水产品气候态的评估<sup>\*</sup>

黄 勇<sup>1,2</sup> 陈 生<sup>3</sup> 冯 妍<sup>1,2</sup> 翟 菁<sup>1,2</sup>

1 安徽省气象科学研究所, 合肥 230031  
2 安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室, 合肥 230031  
3 美国俄克拉荷马大学, 俄克拉荷马 73072

**提 要:** 利用逐日全国降水分析产品,对 2012 年 12 月下旬发布的最新版本的 TRMM 等多源卫星降水估算产品(TMPA)进行评估,评估时间从 2008 年 9 月到 2012 年 8 月。从评估结果来看,研究产品 3B42V7 产品与 CPAP 产品具有高的相关性,两者的相关系数达到了 0.94,相对误差在-0.11%左右,标准偏差约为 0.53 mm·d<sup>-1</sup>。实时产品 3B42RT 产品与 CPAP 产品的相关性相对较差,相关系数为 0.75,相对误差也上升到了 39.3%,标准偏差为 1.25 mm·d<sup>-1</sup>。3B42RT 产品在我国西部高估了降水,全年的相对误差为 116.60%(春夏秋冬四季分别为 104.52%、105.73%、117.64%和 326.60%);3B42V7 产品的相对误差仅为 0.82%(春夏秋冬四季分别为 2.25%、1.24%、-5.27%和-24.64%)。

**关键词:** TRMM 等多源卫星降水估算产品,全国日降水分析产品,评估

**中图分类号:** P46      **文献标志码:** A      **doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2015.03.011

## Evaluation of TMPA Precipitation Estimates from 2008 to 2012 over China

HUANG Yong<sup>1,2</sup> CHEN Sheng<sup>3</sup> FENG Yan<sup>1,2</sup> ZHAI Jing<sup>1,2</sup>

1 Anhui Meteorological Institute, Hefei 230031  
2 Anhui Key Laboratory of Atmospheric Science and Satellite Remote Sensing, Hefei 230031  
3 School of Civil Engineering and Environmental Science, University of Oklahoma, USA. Oklahoma 73072

**Abstract:** The spatial error structure of surface precipitation derived from the latest version-7 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) algorithms are systematically studied by comparing with the daily China precipitation analysis product (CPAP) from September 2008 to August 2012. The TMPA products include the real-time product 3B42RT, the research product 3B42 (3B42V7). In terms of four-year mean daily precipitation the 3B42V7 products are highly correlated with CPAP with correlation coefficient (CC) being about 0.94, relative bias (RB) about -0.11% and the root mean square error (RMSE) about 0.53 mm·d<sup>-1</sup>. The 3B42RT product has lower CC about 0.75 and higher relative bias (RB) about 39.30% and RMSE about 1.25 mm·d<sup>-1</sup>. The 3B42RT product overestimated the rainfall in the west of China with RB about 116.60% for the whole year (104.52%、105.73%、117.64% and 326.60% respectively for spring, summer, autumn and winter). The relative error of 3B42V7 product is only 0.82% (2.25%, 1.24%, -5.27%, -24.64% for spring, summer, autumn and winter, respectively).

**Key words:** TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA), China daily precipitation analysis product, evaluation

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(41275030 和 41105098),公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306040)共同资助  
2013 年 11 月 28 日收稿; 2014 年 10 月 3 日收修定稿  
第一作者:黄勇,主要从事大气遥感的研究. Email: hy121\_2000@126.com

## 引言

基于气象卫星的定量降水估测产品在水文模型和山洪、泥石流等地质灾害监测中具有重要的应用价值,尤其是在缺少地面自动观测与天气雷达观测的我国西部以及海面上,其重要性尤为突出。高时空分辨率的卫星定量降水估算产品能够提高对地球水循环和能量循环的认识,并有助于提高山洪、泥石流等灾害的预报能力(Fu et al, 2006; Tian et al, 2007; Huffman et al, 2011; Tapiador et al, 2012; Kidd et al, 2011)。

TRMM 卫星(Tropical Rainfall Measuring Mission satellite)于 1997 年发射升空,以监测降水为首要任务,卫星上搭载的首颗星载降水测量雷达(Precipitation Radar, PR)为分析降水的时空变化和三维结构提供了更新的观测结果(Fu et al, 2003; 郑媛媛等, 2004; Li et al, 2005; 傅云飞等, 2008; 卢山等, 2008; 刘鹏等, 2010; 覃丹宇等, 2014)。基于 TRMM 卫星资料 Huffman 等(2011)开发的多卫星降水分析产品(TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis, TMPA),采用一个基于定标的排序方案,将多传感器数据以及地面雨量计测量数据结合起来,获得空间和时间分辨率分别为  $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$  和 3 h 的数据产品。目前 TMPA 产品已经发展了第 7 版,产品包括实时产品(3B42RT)和研究产品(3B42V7)。该版本的产品充分利用了各种被动微波遥感探测的结果,主要包括 TRMM 微波成像仪(TRMM Microwave Imager, TMI),专用传感器微波成像仪(Special Sensor Microwave Imager, SSMI),专用传感器微波成像仪/探测仪(Special Sensor Microwave Imager/Sounder, SSMIS, 只有 3B42V7 利用该资料),先进的微波辐射计(Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS, AMSR-E),先进的微波探测单元(Advanced Microwave Sounding Unit-B, AMSU-B)以及微波水分探测器(Microwave Humidity Sounder, MHS)。此外,3B42V7 还融合了全球降水气候中心(Global Precipitation Climatology Centre, GPCC)的地面雨量计分析数据(Zi et al, 2006; Huffman et al, 2011)。

3B42RT 利用 TRMM 星载测雨雷达(PR)和 TRMM 星载成像仪(TMI)提取的降水量对从低轨道的微波观测提取的降水量进行校准。校准后的降

水量对用于填补微波数据缺失的地方的红外降水产品进行校准。这样校准后的微波降水和红外降水组成 3 h 分辨率的实时产品 3B42RT。研究产品 3B42V7 对 3 h 分辨率的 3B42RT 的月累计降雨量进行分析,并且用雨量站月格点分析产品 CAMS 和 CPCC 进行订正。订正时,先计算基于卫星的分析产品与雨量站月格点分析产品的比值,然后用这个比值对 3 h 的 3B42RT 进行订正。

与之前的 V6 版本比较,在算法上,V7 版本没有大的改动,其中的差异主要在以下三个方面:(1)作为输入源的二级产品 2A25 采用了新的信号衰减纠正算法;(2)地面雨量站产品 GPCC 改进了气候分析和异常分析;(3)加入了更多的卫星观测数据,如专用传感器微波成像仪/探测仪(Special Sensor Microwave Imager/Sounder, SSMIS)。Kirstetter 等(2013)的研究表明,TMPA 的二级产品 2A25 的 V7 版本比 V6 版本有所改进,相对偏差(RB)从  $-22.09\%$  降到  $18.38\%$ ,均方根误差(RMSE)从 7.47 mm 降到 7.18 mm。V7 版本产品自 2012 年 5 月起发布,最新版本于 2012 年 12 月下旬发布。陈生等(2013)利用该版的降水产品在美国大陆地区进行了对比评估。

在我国 TMPA 产品已经得到了广泛的应用。其中,不仅有利用实测降水对 TMPA 产品进行的评估,而且还利用该产品对降水进行了研究(傅云飞等, 2003; 李锐等, 2005; 白爱娟等, 2008a; 2008b; 2011; 刘俊峰等, 2010; 骆三等, 2011; 成璐等, 2014; 周胜男等, 2015)。此外,该降水产品也已经在我国水文中得到了广泛的应用(毛红梅, 2008)。但是,这些评估和应用研究都是基于第 6 版本的 TMPA 产品。对于 2012 年 12 月发布的最新版本(V7)的 TMPA 产品,在我国尚缺少评估分析结果。为此,本文利用 2008 年 9 月至 2012 年 8 月最新的 TMPA 产品,对该版本 TMPA 产品进行系统的评估,以了解这一产品在我国的适用性,为该产品在我国的应用提供参考,特别是水文和气候研究领域的应用提供参考。

## 1 数据与方法

研究区域为中国大陆,区域内的地形如图 1 所示。区域内的地势总体上呈现出西高东低的分布规律,海拔高度高于 500 m 的山区占到了总面积的

72.46%。根据多年平均降水量的大小和海拔高度,将研究区域划分为东西两部分,分界线如图 1 中黑色粗黑线所示。其中,东部受季风的影响明显,季风将大量的水汽从印度洋和太平洋输送到东部地区,并产生了大量的降水;而西部大部分不受季风影响,降水量相对较少。

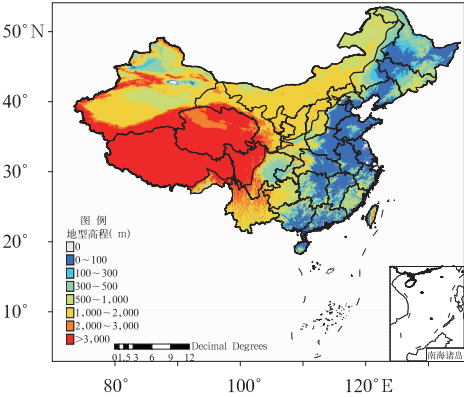


图 1 研究区域的地形分布图

(图中的实线为中国东西部分界线)

Fig. 1 Topographic distribution of study area

(Solid black line indicates the dividing line  
of the west and east of China)

所用资料主要包括全国日降水分析产品(China daily Precipitation Analysis Product, CPAP, 来源于中国气象科学数据共享服务网)和 TMPA 的研究产品(3B42V7)和实时产品(3B42RT)。其中,全国

日降水分析产品,是利用“基于气候背景场”的最优插值方法(Daly et al, 1994;Chen et al, 2008),将地面日降水资料的格点化而形成的,其空间分辨率为 $0.25^{\circ}\times 0.25^{\circ}$ 。Chen 等(2008)研究表明,与其他方法相比最优插值方法所计算出来的结果与实际观测值之间的相关程度更高。另外,由于 CPAP 产品和 TMPA 产品中相重合的雨量站数量较少,至多占 CPAP 产品所用雨量站的 20%左右(CPAP 产品中使用了 2419 个雨量站观测数据,TMPA 产品中仅用到了中国区域内约 500 个的雨量站的观测数据),并且无法获知 TMPA 产品中具体用到了哪些雨量站的观测资料。因此,CPAP 中所用的大部分雨量站与 TMPA 产品是相互独立的,且无法从 CPAP 产品中剔除约 20%的重合雨量站。另外,由于选做参考的地面雨量资料为逐日的 CPAP 产品,因此为与 CPAP 产品在时间上相匹配,需要将 3 h 间隔的 TMPA 产品累积成逐日的降水量估算数据。

在对降水估算产品进行评估的过程中,主要用到绝对偏差(以下简称 *Bias*)、相对偏差(以下简称 *RB*)、均方根误差(以下简称 *RMSE*)相关系数(以下简称 *CC*)等统计量,以及探测概率(以下简称 *POD*),临界成功指数(以下简称 *CSI*)和虚假报警率(以下简称 *FAR*)等评价参数。具体计算方法如下:

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (R_{TMPA_i} - R_{CPAP_i}) \tag{1}$$

$$RB = \frac{\sum_{i=1}^N (R_{TMPA_i} - R_{CPAP_i})}{\sum_{i=1}^N R_{CPAP_i}} \times 100 \tag{2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_{TMPA_i} - R_{CPAP_i})^2}{N}} \tag{3}$$

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (R_{TMPA_i} - \bar{R}_{TMPA}) \times (R_{CPAP_i} - \bar{R}_{CPAP})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{TMPA_i} - \bar{R}_{TMPA})^2 \times \sum_{i=1}^N (R_{CPAP_i} - \bar{R}_{CPAP})^2}} \tag{4}$$

其中,

$$\bar{R}_{TMPA} = \frac{\sum_{i=1}^N R_{TMPA_i}}{N}, \bar{R}_{CPAP} = \frac{\sum_{i=1}^N R_{CPAP_i}}{N} \tag{5}$$

式(1)中, $R_{TMPA}$ 和 $R_{CPAP}$ 分别表示 TMPA 和 CPAP 产品的降水量。

$$POD = \frac{A}{A + C}, CSI = \frac{A}{A + B + C}, FAR = \frac{B}{A + B}$$

式中,  $A$  表示估算正确的数量,  $B$  表示误报的数量,  $C$  表示漏报的数量。

2 结果和讨论

2.1 全年统计结果

图 2a~2c 是对 2008 年 9 月至 2012 年 8 月平均日降水量的统计分析结果。3B42RT 和 3B42V7 两种产品均能够较好地反映出全国降水的空间分布规律,但是两者之间还存在着显著的差异。在降水强度和空间分布规律上,3B42V7 产品更加接近 CPAP 产品。相对而言,3B42RT 产品在青藏高原、新疆东南部以及天山山脉西侧等西部地区数值明显偏高,高估了降水。总的来说,3B42V7 产品比

3B42RT 产品更加准确些。

图 2d~2i 分别是全国(d,g)、我国西部(e,h)和我国东部(f,i),TMPA 产品与 CPAP 产品对比分析的彩色密度散点图。从散点图来看,3B42V7 产品的精度较高,主要表现为  $CC$  较高(全国以及西部和东部分别为 0.94、0.85 和 0.91)、 $RB$  较小(全国以及西部和东部分别为  $-0.11\%$ 、 $-0.82\%$  和  $-0.18\%$ )以及  $RMSE$  较小(全国以及西部和东部分别为 0.53、0.36 和 0.67 mm)。相对而言,3B42RT 产品与 CPAP 产品的相关性较差,全国以及西部和东部的  $CC$  分别为 0.75、0.69 和 0.83。统计结果表明,3B42RT 产品的相对偏差全国为 39.30%,而在我国西部,相对偏差却高达 116.60%。这也说明,3B42RT 产品在我国西部的适用性较差;在缺少地面自动观测与天气雷达观测的西北地区可

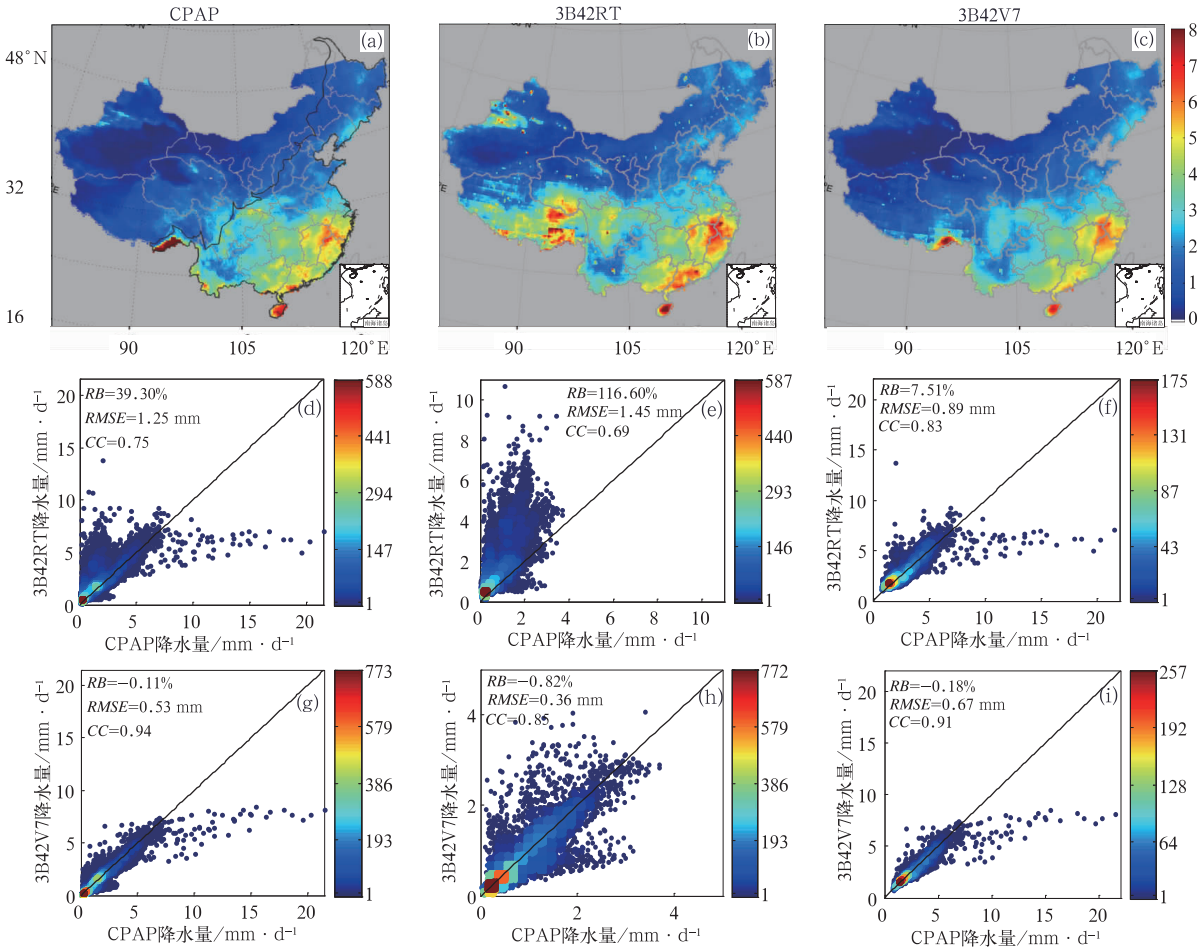


图 2 日降水量平均值的空间分布(a~c,单位:mm)以及全国(d,g)、我国西部(e,h)和我国东部(f,i)TMPA 与 CPAP 降水量散点图

Fig. 2 Spatial distribution of daily mean precipitation (a—c, unit: mm) and scatter plots of TMPA products vs. CPAP over China (d, g), West (e, h) and East (f, i)

以考虑用 3B42V7 来代替。

2.2 分季节统计结果

图 3 是不同季节 CPAP 产品和 TMPA 产品的空间分布。从图中可以看出,我国降水主要发生在春季和夏季。不论是何季节,3B42V7 产品的空间

分布都表现出了与 CPAP 产品高度相似的特征。与 CPAP 产品相比,3B42RT 产品的降水量在青藏高原和我国东南部夏、秋、冬 3 个季节均有所偏高。

对于青藏高原而言,由于海拔较高,常年存在的冰、雪会加大地表微波散射,从而加大了微波探测的难度。因此,存在冰、雪引起的散射亮带,就限制了

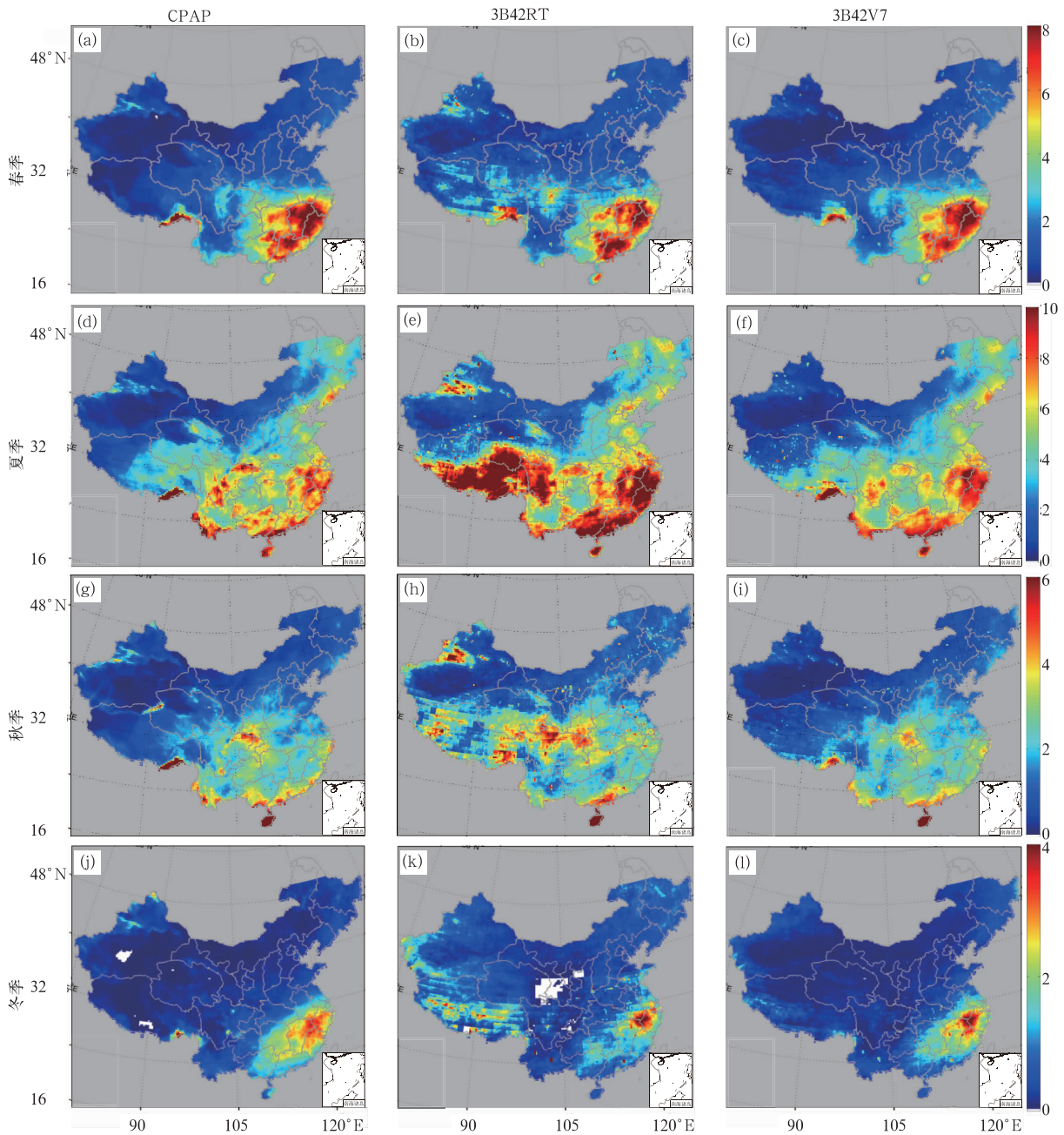


图 3 不同季节 CPAP (a, d, g, i)、3B42RT (b, e, h, k) 和 3B42V7 (c, f, i, l) 日降水量平均值的空间分布(单位:mm)

(a, b, c) 春季, (d, e, f) 夏季, (g, h, i) 秋季, (j, k, l) 冬季

Fig. 3 Spatial distribution of daily mean precipitation CPAP (a, d, g, i), 3B42RT (b, e, h, k) and 3B42V7 (c, f, i, l) products in different seasons over China (unit: mm)

(a, b, c) spring, (d, e, f) summer, (g, h, i) autumn, (j, k, l) winter

TRMM 卫星探测在青藏高原地区的降水探测能力 (Fu et al, 2007)。另外, Huffman 等 (2011) 在 TMPA 的技术文档中指出 TMPA 的微波高质量产品 (HQ) 在地面冰冻的地区存在一定的局限性。在

TMPA 算法中, 当微波降水产品缺失时, 则采用其他的基于红外的降水监测产品用来进行填补, 这也使得 TMPA 在青藏高原地区的降水估算能力有局限性 (Negri et al, 1993; Hirpa et al, 2010; Tuttle

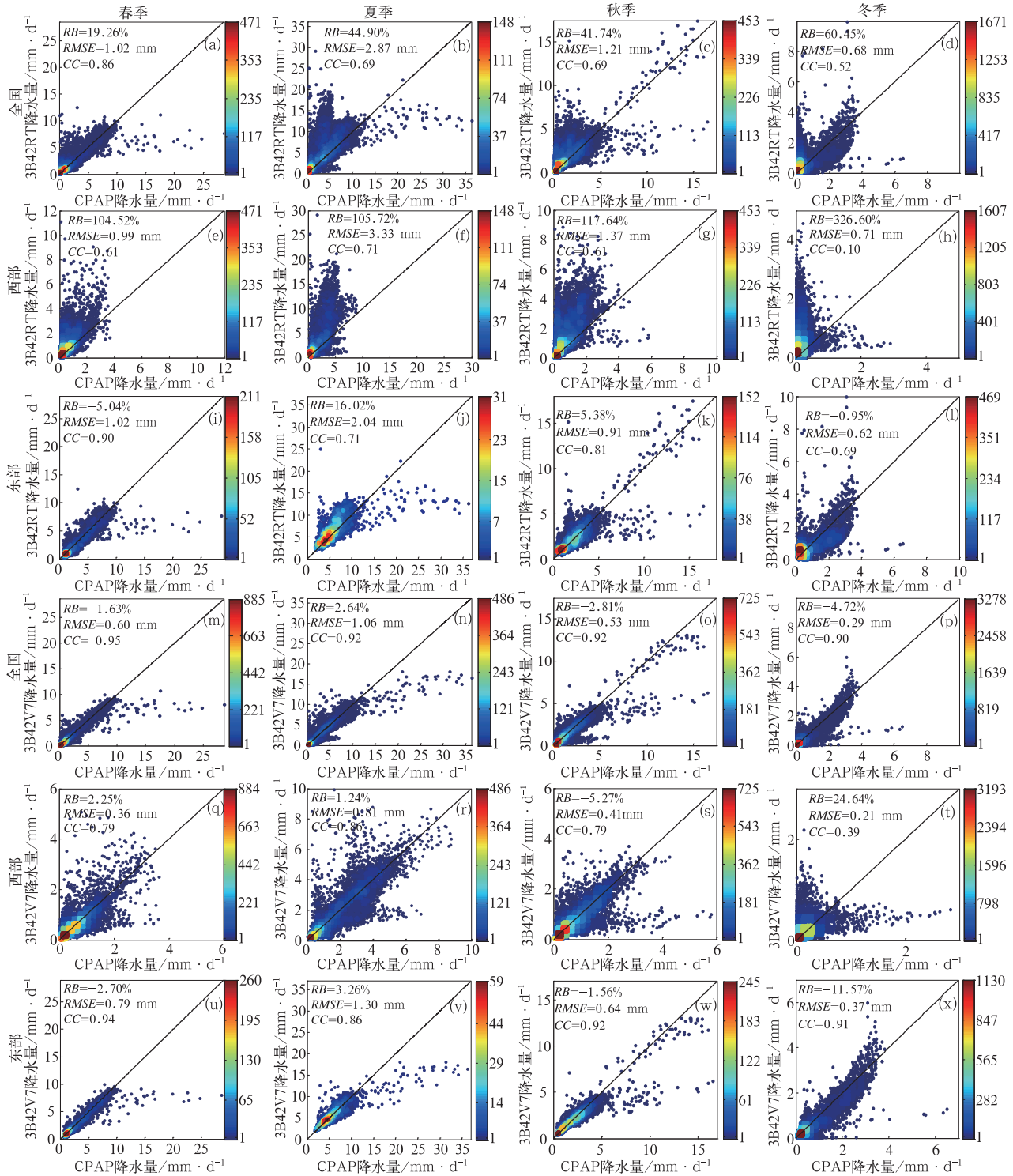


图 4 TMPA 产品和 CPAP 产品不同季节的散点密度图

Fig. 4 Colored density scatter plots of TMPA vs. CPAP for daily mean precipitation in different seasons over China, West and East

et al, 2008)。另外,由于亮带和地面杂波的影响,TRMM 上搭载的 PR 对高海拔地区降雨的精确估计仍然存在困难(Fu et al, 2007)。

在我国东南丘陵地区,西太平洋暖湿气流与西北冷空气的相互作用,使得春季和夏季存在大量的降水。此时,虽然不存在冰、雪对微波探测的影响,但是也存在微波探测信息缺失的现象。而当在微波降水产品缺失的情况下,也采用其他基于红外的降水监测产品用来进行填补。因此,这一区域内 TMPA 产品的降水量数值偏高的现象,也主要源于基于红外通道信息降水估算方法的局限性(Negri et al, 1993; Hirpa et al, 2010; Tuttle et al, 2008)。

图 4 给出了 4 个季节 TMPA 产品和 CPAP 产品日降水数据的散点密度图。与 B42RT 产品相比,3B42V7 产品与 CPAP 产品的相关系数较高,相对偏差和均方根误差也有不同程度的减小。从图 4 中还可以发现,B42RT 产品中西部降水量偏高的现象,在 3B42V7 产品中已经得到了一定程度的改进。

4 个季度的相对偏差也分别由 104.52%、105.72%、117.64% 和 326.60% 缩小为 2.26%、1.24%、-5.27% 和 24.64%。

2.3 时间序列统计

图 5 是 2008 年 9 月至 2012 年 8 月,3 个范围(全国、我国西部和我国东部)内两种 TMPA 产品和 CPAP 产品的逐日降水平均值,以及两种 TMPA 产品与 CPAP 产品数值相比较的 RMSE 和 CC 的时序变化图。

从全国的统计结果来看,不论哪个季节 3B42RT 产品的数值均高于 CPAP 产品。在我国西部,9 月至次年 4 月 3B42RT 的平均误差  $>1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ,而在 5—8 月平均误差则  $>2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。相较而言,3B42V7 产品的降水量数值更接近 CPAP 产品,两者之间的 CC 在全国以及东部和西部分别为 0.94、0.93 和 0.88。对于 RMSE 来说,在 10 月至次年 5 月,3B42V7 产品与 3B42RT 产品在数值上比

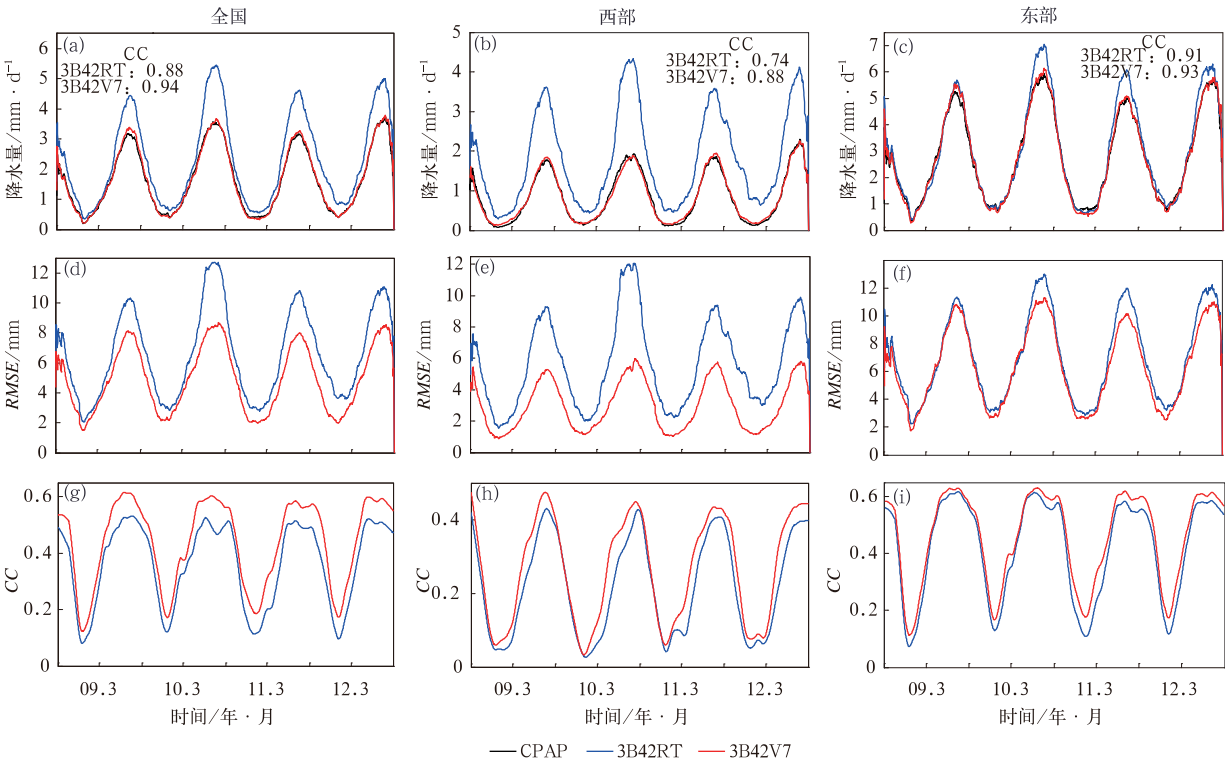


图 5 全国(a, d, g)、西部(b, e, h)和东部(c, f, i)2008 年 9 月至 2012 年 8 月逐日降水量(a, b, c)、均方根误差(d, e, f)和 相关系数(g, h, i)的时序变化

Fig. 5 Daily series precipitation of TMPA and CPAP (a, b, c), daily series RMSE (d, e, f) and daily series correlation coefficients (g, h, i) over China (a, d, g), West (b, e, h) and East (c, f, i) of China

较接近,而在其他月 3B42V7 产品的数值较低。 $CC$  的数值,在暖季(5—10 月)适中,介于 0.5~0.6,但是在其他季节, $CC$  的数值低于 0.5。

另外,从地域上来看,3B42V7 产品对于我国西部降水量的估计能力比 3B42RT 产品有所提高,主要表现为数值上与 CPAP 产品更为接近,且  $RMSE$  数值较低,而  $CC$  较高。而在我国东部,3B42V7 产品虽然也有所改进,但是效果不如西部显著,主要也表现为降水量数值上 CPAP 产品更为接近,且  $RMSE$  数值较低, $CC$  数值较高。

总的来说,不论是全国范围内的统计,还是针对我国西部或东部的分析结果都表明:3B42V7 产品都要好于 3B42RT 产品。这说明用 GPCC 分析产品来校准 3B42RT 产品能够提高 TMPA 的降水估算能力。

2.4 降水概率和总量分布

概率分布函数(probability distribution function,PDF)是一种用来描述变量的分布规律的函数,PDF 的评估能够了解到降水率的估算误差以及误差对水文模拟的潜在影响(Tian et al, 2010)。图 6 是 B42RT、3B42V7 和 CPAP 三种产品的降水发

生概率(不同强度降水发生的概率,PDF<sub>c</sub>)和降水总量(不同强度降水的总降水量,PDF<sub>v</sub>)分布函数。在统计过程中,三种产品日降水量都大于 0 的像素参与计算。通过 PDF<sub>c</sub> 和 PDF<sub>v</sub> 概率分布函数的分析来揭示 TMPA 产品的降水估算能力。

从图 6 中可以看出,对全国而言,当日降水量<8 mm 或>16 mm 时,3B42V7 产品的降水发生概率和降水总量均更加接近 CPAP 产品。主要表现为:日降水量<8 mm 时,3B42V7 产品的 PDF<sub>c</sub> 和 PDF<sub>v</sub> 要大于 3B42RT 产品;而当日降水量>16 mm 时,3B42V7 产品的 PDF<sub>c</sub> 和 PDF<sub>v</sub> 要小于 3B42RT 产品。也就是说,3B42V7 产品并未提高中等降水(日降水量介于 8~16 mm)的估算能力。分区域来看,在中等降水时 3B42V7 产品并无改进的特性在我国西部较为明显。

2.5 准确性统计

图 7 是两种不同产品在各区域内准确性( $POD$ 、 $CSI$  和  $FAR$ )的统计结果。对于  $POD$  来说,不论是全国,还是我国的东部或西部,3B42V7 的  $POD$  数值都要大于 3B42RT。3B42V7 的  $FAR$  数值也普遍大于 3B42RT,只有在我国东部当降水

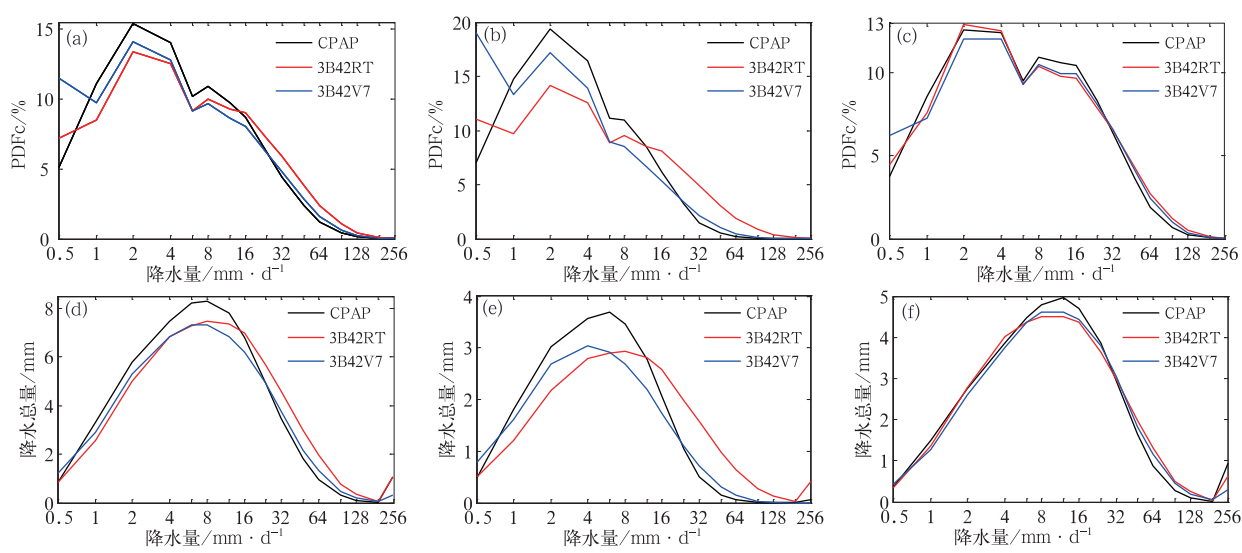


图 6 降水发生概率(a, b, c)和降水总量(d, e, f)的分布  
(a, d) 全国, (b, e) 西部, (c, f) 东部  
(只有 TMPA 和 CPAP 降雨量>0 的格点参与计算)

Fig. 6 Probability distribution functions (PDF<sub>c</sub>, a, b, c) and PDF<sub>v</sub> (d, e, f) over China (a, d), West (b, e) and East (c, f) of China  
(Only pairs of simultaneously positive TMPA and reference rainfall values are used)

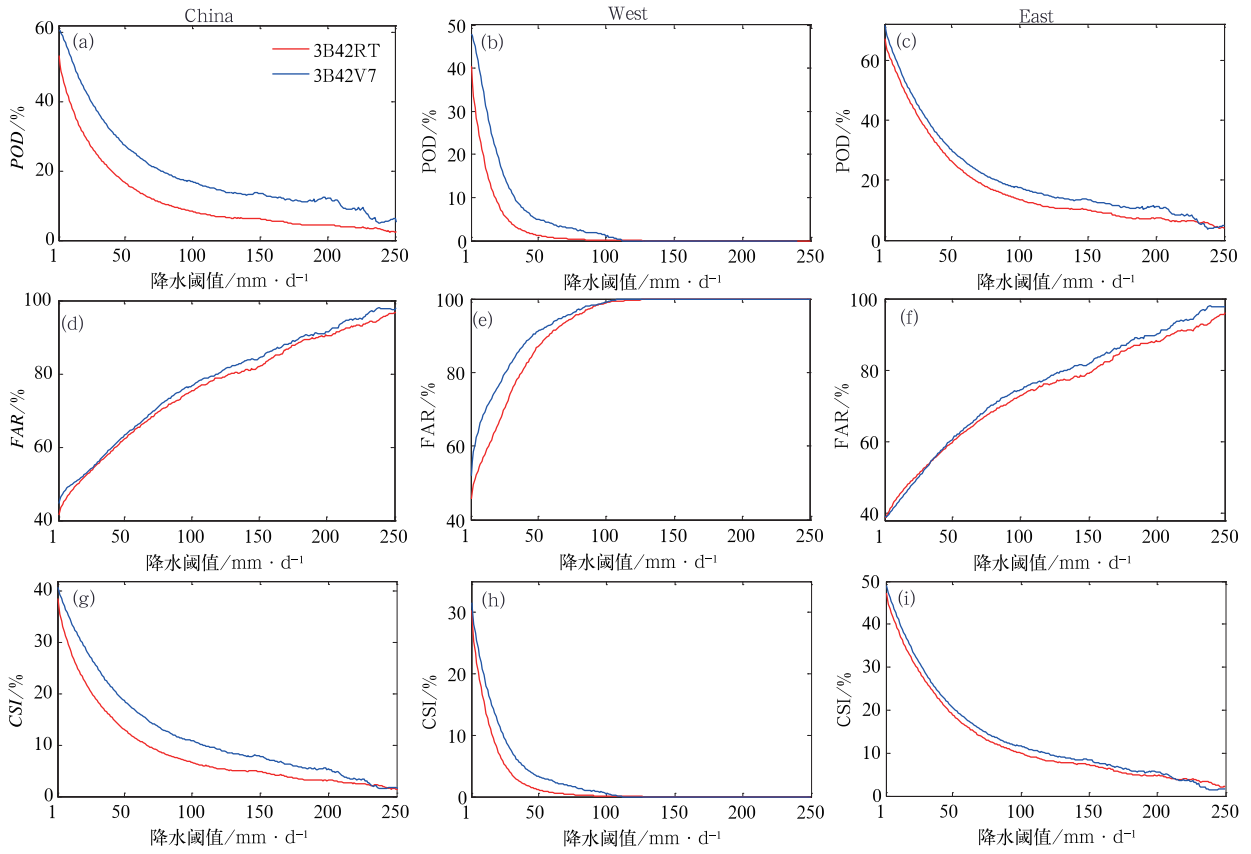


图 7 全国(a, d, g)、西部(b, e, h)和东部(c, f, i)两种 TMPA 产品的  $POD$ (a, b, c)、 $CSI$ (d, e, f)和  $FAR$ (g, h, i)统计结果

Fig. 7 Contingency metrics of  $POD$ ,  $CSI$  and  $FAR$  over China (a, d, g), West (b, e, h) and East (c, f, i) of  $POD$  (a, b, c),  $CSI$  (d, e, f) and  $FAR$  (g, h, i) of China

日降水量 $\leq 50\text{ mm}$ 时,3B42V7的 $FAR$ 数值略小于3B42RT。在大多数情况下3B42RT的 $CSI$ 数值要小于3B42V7,只有在日降水量超过 $200\text{ mm}$ 以后,才可能出现3B42RT的 $CSI$ 数值大于3B42V7。

2.6 空间分析

偏差( $Bias$ )、相对偏差( $RB$ )、均方根误差( $RMSE$ )和相关系数( $CC$ )的空间分布对于误差在水文模拟中的传递过程分析具有重要的意义。为此,以CPAP产品为参考,对3B42RT和3B42V7产品偏差的空间分布和概率分布(PDFc和CDFc)情况进行了统计,结果如图8所示。统计结果揭示了TMPA数据在中国的误差空间分布。对于3B42RT来说,在我国西部,尤其是在青藏高原、新疆和内蒙古等地区降水估算偏高 $90\%$ 。青藏高原和我国东南地区,具有很高的 $RMSE$ ( $> 10\text{ mm}$ )。对于 $CC$ 来说,基本上维持着西低东高的空

间分布,东部的 $CC$ 基本上维持在 $0.5$ 以上,而西部的 $CC$ 基本上都在 $0.5$ 以下。

3 结 论

利用CPAP提供的2008年9月至2012年8月全国降水资料,对TMPA的研究产品(3B42V7)和实时产品(3B42RT)进行了评估。从结果来看,总体上3B42V7与CPAP之间具有较高的 $CC$ 、较低的 $RB$ 和 $RMSE$ 。具体来说有以下结论:

- (1)3B42RT和3B42V7两种产品均反映出全国降水的空间分布规律,其中3B42V7产品更加接近CPAP产品,两者之间的相关系数较大、相对偏差和均方根误差较小,即3B42V7产品比3B42RT产品更加准确些。
- (2)从分区域的结果来看,3B42RT和3B42V7产品在我国西部的适用性较差。从分季节的统计结

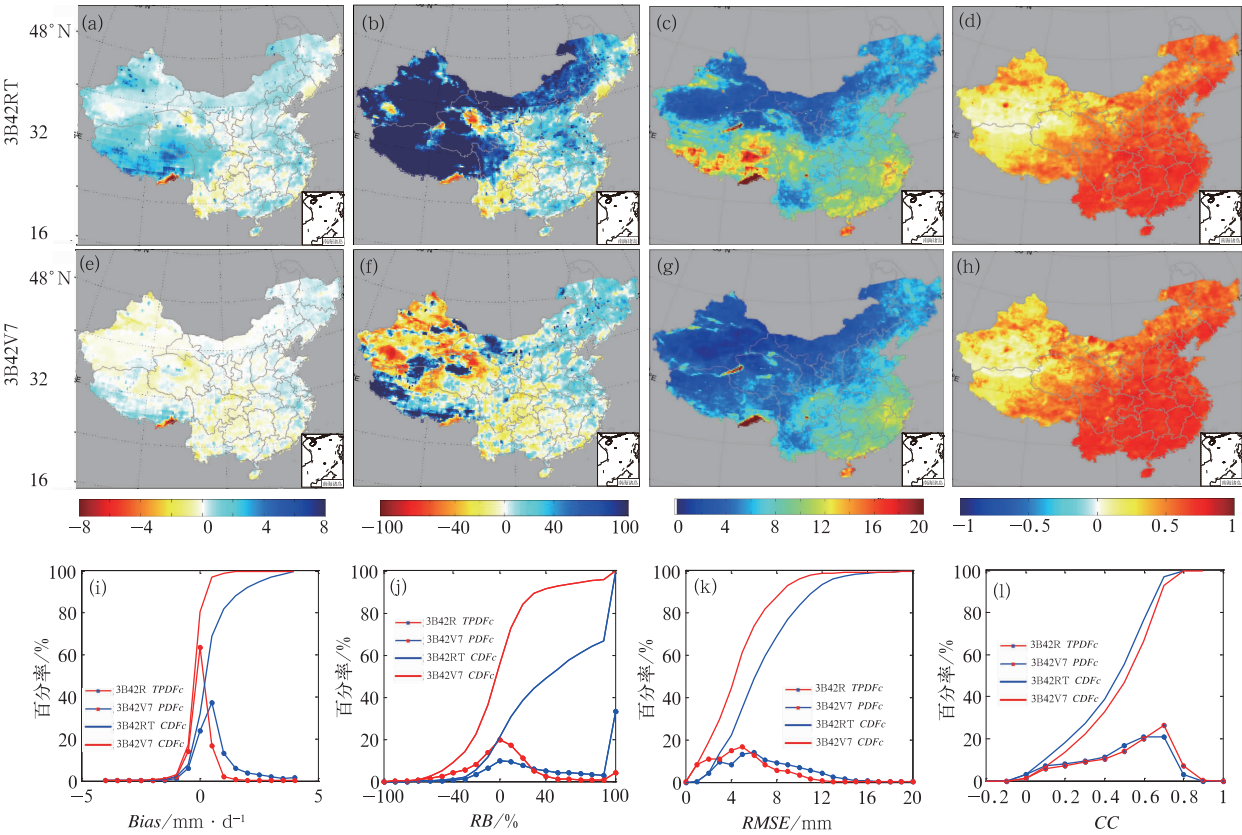


图 8 Bias (a, e)、RB (b, f)、RMSE(c, g)和 CC (d, h)的空间分布以及概率和累积概率分布

Fig. 8 Spatial distribution of Bias (a, e), RB (b, f), RMSE (c, g) and CC (d, h); probability (cumulative) distribution functions of Bias (i), RB (j), RMSE (k) and CC (i) by occurrence PDFc (CDFc)

果来看,冬季的精度最低。此外,不论哪个季节,3B42V7 产品的相对误差均要小于 3B42RT 产品。

(3)不论是全国范围内的统计,还是针对我国的西部或东部的分析结果都表明:3B42V7 产品都要好于 3B42RT 产品。这说明用 GPCC 分析产品来校准 3B42RT 产品能够提高 TMPA 的降水估算能力。

(4)3B42V7 产品并未提高中等降水(日降水量介于 8~16 mm)的估算能力。分区域来看,在中等降水时 3B42V7 产品并无改进的特征在我国西部较为明显。

参考文献

白爱娟,方建刚,张科翔. 2008a. TRMM 卫星资料对陕西周边地区夏季降水的探测. 灾害学,23(2):41-45.  
白爱娟,刘长海,刘晓东. 2008b. TRMM 多卫星降水分析资料揭示的青藏高原及其周边地区夏季降水日变化. 地球物理学报,51(3):703-714.  
白爱娟,刘晓东,刘长海. 2011. 青藏高原与四川盆地夏季降水日变化

的对比分析. 高原气象,30(4):852-859.  
成璐,沈润平,师春香,等. 2014. CMORPH 和 TRMM 3B42 降水估计产品的评估检验. 气象,40(11):1372-1379.  
傅云飞,宇如聪,徐幼平,等. 2003. TRMM 测雨雷达和微波成像仪对两个中尺度特大暴雨降水结构的观测分析研究. 气象学报,61(4):421-431.  
傅云飞,张爱民,刘勇,等. 2008. 基于星载测雨雷达探测的亚洲对流和层云降水季尺度特征分析. 气象学报,66(5):730-746.  
李锐,傅云飞. 2005. GPCP 和 TRMM PR 热带月平均降水的差异分析. 气象学报,63(2):146-160.  
刘鹏,傅云飞,冯沙,等. 2010. 中国南方地基雨量计观测与星载测雨雷达探测降水的比较分析. 气象学报,68(6):822-835.  
刘俊峰,陈仁升,韩春坛,等. 2010. 多卫星遥感降水数据精度评价. 水科学进展,21(3):343-348.  
卢山,吴乃庚,薛登智. 2008. 南海季风槽影响下热带气旋暴雨增幅的研究. 气象,34(6):53-59.  
路三,苗峻峰,牛涛,等. 2011. TRMM 测雨产品 3B42 与台站资料在中国区域的对比分析. 气象,37(9):1081-1090.  
毛红梅. 2008. TRMM 雨量在汉江上游大尺度水文模型中的应用. 水利水电快报,29(8):22-26.  
覃丹宇,方宗义. 2014. 利用静止气象卫星监测初生对流的研究进展. 气象,40(1):7-17.

- 沈艳,冯明农,张洪政,等. 2010. 我国逐日降水量格点化方法. 应用气象学报,21(3):279-286.
- 郑媛媛,傅云飞,刘勇,等. 2004. 热带测雨卫星对淮河一次暴雨降水结构与闪电活动的研究. 气象学报,62(6):790-802.
- 周胜男,罗亚丽,汪会. 2015. 青藏高原、中国东部及北美副热带地区夏季降水系统发生频次的 TRMM 资料分析. 气象,41(1):1-16.
- Chen M, Shi W, Xie P, et al. 2008. Assessing objective techniques for gauge-based analyses of global daily precipitation. J Geophys Res, 113, D04110, doi:10.1029/2007JD009132.
- Chen S, Coauthors. Evaluation of the latest TMPA precipitation estimates (Successive 3B42 V6 and V7) over Continental United States. Water Resour Res (in press)
- Daly C, Neilson R P, Phillips D L. 1994. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. J Appl Meteor, 33(2):140-158.
- Fu Y, Liu G. 2003. Precipitation characteristics in mid-latitude East Asia as observed by TRMM PR and TMI. J Meteor Soc Japan, 81(6):1353-1369.
- Fu Y, Liu G. 2007. Possible misidentification of rain type by TRMM PR over Tibetan Plateau. J Appl Meteor Climatol, 46(5):667-672.
- Fu Yunfei, Liu Guosheng, Wu Guoxiong, et al. 2006. Tower mast of precipitation over the central Tibetan Plateau summer. Geophys Res Lett, 33, L05802, doi:10.1029/2005GL024713.
- Hirpa F A, Gebremichael M, Hopson T. 2010. Evaluation of high-resolution satellite precipitation products over very complex terrain in Ethiopia. J Appl Meteor Climatol, 49(5):1044-1051.
- Huffman G J, Bolvin D T, Nelkin E J, et al. 2011. Highlights of version 7 TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA). 5th Internat Precip Working Group Workshop, Workshop Program and Proceedings, 11-15 October 2010, Hamburg. Klepp C Huffman G Eds. Reports on Earth Sys Sci, 100/2011, Max-Planck-Institut für Meteorologie. ISSN 1614-1199, 109-110.
- Kidd C, Huffman G. 2011. Global precipitation measurement. Meteor Appl, 2011, 18(3):334-353.
- Kirstetter P E, Hong Y, Gourley J J, et al. 2013. Comparison of TRMM 2A25 products version 6 and version 7 with NOAA/NSSL ground radar-based National Mosaic QPE. J Hydrometeorol, 14(2):661-669.
- Li Rui, Fu Yunfei. 2005. Tropical precipitation estimated by GPCP and TRMM PR observations. Adv Atmos Sci, 22(6):852-864.
- Negri A J, Adler R F. 1993. An intercomparison of three satellite infrared rainfall techniques over Japan and surrounding waters. J Appl Meteor, 32(2):357-373.
- Tapiador F J, Turk F J, Petersen W, et al. 2012. Global precipitation measurement: Methods, datasets and applications. Atmos Res, 104:70-79.
- Tian Y, Peters-Lidard C D, Adler R F, et al. 2010. Evaluation of GS-MaP precipitation estimates over the contiguous United States. J Hydrometeorol, 11(4):566-574.
- Tian Y, Peters-Lidard C D, Choudhury B J, et al. 2007. Multitemporal analysis of TRMM-based satellite precipitation products for land data assimilation applications. J Hydrometeorol, 8(6):1165-1183.
- Tuttle J D, Carbone R E, Arkin P A. 2008. Comparison of ground-based radar and geosynchronous satellite climatologies of warm-season precipitation over the United States. J Appl Meteor Climatol, 47(12):3264-3270.
- Zi Yong, Xu Yinlong, Fu Yunfei. 2006. Climatology comparison studies of precipitations between GPCP and rain gauges in China. Acta Meteor Sin, 20(3):322-333.