

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.

CMORPH 和 TRMM 3B42 降水估计 产品的评估检验^{*}

成 璐¹ 沈润平¹ 师春香² 白 翎¹ 杨袁慧¹

1 南京信息工程大学遥感学院, 南京 210044

2 国家气象信息中心, 北京 100081

提 要: 文章利用 2007—2010 年中国 2447 个站点的逐小时降水观测数据对同期 CMORPH 和 TRMM 3B42 卫星降水估计产品进行了检验和评估。经过对比分析得出:CMORPH 和 TRMM 3B42 卫星降水资料与地面台站资料的日平均降水量空间分布具有较好的相似性,3 h 降水量的相关系数在大部分地区分别在 0.5 和 0.4 以上;偏差均在 ± 0.25 mm 之间,但 CMORPH 存在显著的南北差异;平均绝对误差、相对误差和均方根误差均存在明显的季节周期性变化;两种卫星资料能够较好反映我国大部分区域夏季降水日变化特征,但在部分地区存在大的偏差;CMORPH 和 TRMM 3B42 总空演率分别为 7.23% 和 2.63%,总漏演率分别为 3.25% 和 5.50%。

关键词: CMORPH, TRMM 3B42, 检验评估

中图分类号: P405

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.11.010

Evaluation and Verification of CMORPH and TRMM 3B42 Precipitation Estimation Products

CHENG Lu¹ SHEN Runping¹ SHI Chunxiang² BAI Ling¹ YANG Yuanhui¹

1 School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 National Meteorological Information Centre, Beijing 100081

Abstract: The hourly precipitation observation data from 2447 rain gauge records are used to verify and evaluate the satellite precipitation estimation products of Climate Prediction Center Morphing Technique (CMORPH) and Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 3B42 during 2007—2010 in China. The results show that the two satellite precipitation data are similar to ground gain gauge data in revealing the spatial patterns of daily mean precipitation amount. The pattern correlation coefficients of 3 h rainfall amount are over 0.5 and 0.4 in most areas, respectively. Bias of two satellite precipitation products are both between the positive and negative 0.25 mm, but there are significant difference between the north and the south. And the mean absolute error, relative error and root-mean-square error all have a significant seasonal periodic variations. The two satellite precipitation products can reflect the summer rainfall diurnal variation well in most parts of China, but there are also clear distinctions in some areas. The overall vacancy retrieval rate of CMORPH and TRMM 3B42 products are 7.23% and 2.63%, overall missing retrieval rate are 3.25% and 5.5%, respectively.

Key words: CMORPH, TRMM 3B42, evaluation and verification

* 公益类行业(气象)科研专项(GYHY201206008 和 GYHY201306085)及国际科技合作与交流专项(2011DFG23150)共同资助

2013 年 5 月 10 日收稿; 2014 年 5 月 20 日收修定稿

第一作者:成璐,主要从事卫星降水估计产品检验评估方面的研究. Email:chenglu_0904@163.com

通信作者:沈润平,主要从事遥感建模与分析研究. Email:rpshe@nuist.edu.cn

引 言

降水作为重要的气象要素,它的时空分布和变化对水文循环,地-气交互和水资源利用等方面有着重要的意义,因此获得区域或者全球范围内的精确降水资料成为关键的一项任务。近几十年来,随着气象卫星技术的发展,利用卫星红外、被动微波和可见光等信息可以对降水进行监测、反演和融合。目前已发展出了很多高时空分辨率卫星降水估计产品,并在气候监测分析、数值天气预报和水文研究等领域得到了广泛的应用,此外利用卫星测雨产品还开展了许多其他科学研究,如农业和水电站的水资源管理、干旱缓解、洪水控制和洪水预测等(骆三等, 2011)。卫星降水产品的出现,可以弥补台站稀疏和无雷达覆盖地区降水资料的不足,更好地帮助我们了解降水的空间和时间上的分布特征,对于天气形势分析也具有十分重要的意义。由于各种卫星降水估计产品所采用的卫星资料和反演算法不尽相同,它们的精度也有一定的差别,近年来国内外对不同的卫星降水产品开展了一些检验和评估研究。骆三等(2011)利用中国 673 个气象站逐 6 h 降水资料检验了同期热带降水测量计划(Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM)测雨产品 3B42 的精度。分别对 CMORPH 和 TRMM 3B42 卫星降水资料相对于地面观测降水资料的相关系数、绝对误差等误差进行了对比检验,同时对降水日变化、以及漏演率和空演率等指标也进行了分析对比。Zhou 等(2008)利用 2000—2004 年 6—8 月逐小时台站资料对 TRMM 测雨产品 3B42 和人工神经网络降水产品进行了检验,结果表明两种卫星降水估计产品空间分布,降水总量、频率和强度方面和站点数据的相关性较高,相比与 PERSIANN、TRMM 产品与站点数据的空间相关和均方根误差更好,卫星产品对降水频率有一定的高估但是对降水强度有一定的低估。Dai 等(2007)利用地面气象观测数据对 PERSIANN、美国气候预测降水中心融合技术降水产品(Climature Prediction Center Morphing Technique, CMORPH)、TRMM 3B42 和 MI 四种不同的卫星降水估计数据集进行了评估,分别对全球范围内降水频率、强度和日变化周期等进行了分析评估。Jiang 等(2010)利用中国北方老哈河流域的 2003—2008 年地面雨量计观测资料对 TRMM 3B42V6 和

3B42RT、CMORPH 三种高分辨率卫星降水产品从日尺度,月尺度到年尺度分别进行了分析。结果表明 3B42V6 产品与研究区域内地面观测资料的一致性最好,CMORPH 次之,3B42RT 最差。白爱娟等(2008)利用中国 643 个气象站观测降水量对 TRMM 多卫星降水分析 TMPA 资料在青藏高原地区的降水时空分布进行了初步检验,并在此基础上研究了青藏高原及其周边地区夏季降水量和降水频率的日变化特征,结果表明,TMPA 资料能够大致表现包括青藏高原在内的中低纬度降水量变化特征。

本文利用 2007—2010 年中国区域内 2447 个地面台站的降水资料对 CMORPH 和 TRMM 3B42 两种卫星降水产品进行检验评估,在一定程度上了解两种产品对我国范围内降水反演的准确性。检验评估这些卫星降水产品在我国区域内的精度可以为产品的开发者提供依据,以帮助找到误差产生的原因,进而提高卫星降水产品的精度,同时为产品的使用者提供借鉴,从而更好地应用和研究。

1 资料与分析方法

1.1 台站资料介绍

本文研究所使用的地面台站降水资料包括 2007—2010 年我国范围内 2447 个地面自动站逐小时雨量计数据。大部分站点分布在我国东南部地区,在西北部地区分布相对稀疏(图 1),且在我国西北部地区的许多站点在寒冷季节缺测。该数据经过了包括台站参数检查、气候学界限值与要素允许值范围检查、气候极值检查、内部一致性检查、时间一致性检查、空间一致性检查和质控综合判断在内的严格的质量控制(王新华等,2006;任芝花等,2010;2007)。

1.2 卫星降水产品

CMORPH 全称是 CPC MORPHing technique,由美国 NOAA 气候预测中心(CPC)创立和发展,是一种利用时间空间联合内插整合多平台卫星观测,制作全球高时空分辨率降水产品的技术(臧海佳等,2011)。基本原理是从地球静止卫星观测的高分辨率红外亮温资料计算降水云系统的移动矢量,然后把基于低轨卫星被动微波反演的瞬时降水分布沿着该移动矢量外推至目标分析时间以做成空

间连续的降水分布,其目标空间覆盖为全球南北纬 60°范围内,本文使用的 CMORPH 降水产品数据空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$,时间分辨率为 3 h。

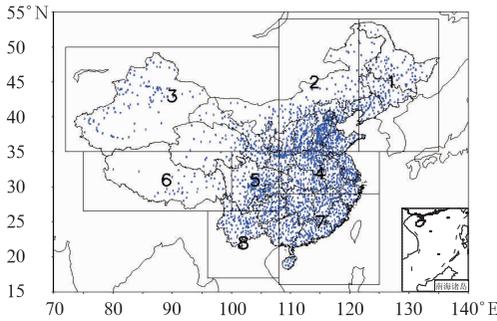


图 1 2007—2010 年地面自动观测站点分布以及 8 个分区

Fig. 1 Distribution of ground automatic observation stations in 2007—2010 and 8 subregions

由美国国家宇航局(NASA)和日本国家空间发展局(National Space Development Agency)联合研制了第一颗专门应用于定量测量热带、亚热带降水的气象卫星——热带降水测量计划(Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM)卫星(臧海佳等, 2011)。TRMM 测雨产品 3B42 是 TRMM 卫星与其他卫星联合反演的降水产品,提供全球格点降水资料。该产品首先订正热带测雨卫星(TRMM)微波成像仪(TMI)资料,并联合 SSM/I、AMS-R-E 和 AMSU-B 资料估值降水,其次利用全球降水气候计划(GPCP)的红外降水估值订正微波降水,再进行微波和红外资料联合估值,最后再与逐月的雨量计观测资料匹配(骆三等, 2011)。它的空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$,时间分辨率为 3 h,覆盖全球南北纬 50°范围内。

本文将两种卫星格点资料插值为与站点相同经纬度位置上的资料并将地面自动站逐小时降水处理为与两种卫星资料相对应时间分辨率的降水。将地面站点资料作为真值来评估检验卫星降水估计产品,为了排除缺测站点对评估结果的影响,只将有观测数值的站点(或时刻)与卫星资料进行对比检验。

1.3 统计方法

参照(师春香等, 2011)制定的中华人民共和国气象行业标准中的气象卫星定量产品质量评价指标内容,本文使用了以下统计量来对两种卫星降水估

计产品进行评估:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})(G_i - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})^2 \sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |S_i - G_i| \quad (2)$$

$$MRE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{S_i - G_i}{G_i} \right| \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - G_i)^2}{N}} \quad (4)$$

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - G_i) \quad (5)$$

式中, c 为相关系数, MAE 为平均绝对误差, MRE 为平均相对误差, $RMSE$ 为均方根误差, ME 为偏差,其中 N 为样本总数, S_i 为卫星降水估计值, G_i 为台站降水值, \bar{S} 和 \bar{G} 分别为卫星和台站降水值平均值。

2 日平均降水量和误差空间分布

2.1 日平均降水量空间分布

将地面自动站和卫星降水资料累加为日降水,并在研究时段内作平均,得到 2007—2010 年地面台站资料和 CMORPH、TRMM 3B42 卫星降水估计资料日平均降水量的空间分布(如图 2)。从地面台站资料多年日平均降水量空间分布(图 2a)中可以看出,我国降水具有东南部雨量多于西北的特征,广东、海南、浙江和江西等东南和南部地区是主要的降水中心,这些地区受台风和梅雨等影响较多,而在西北的干旱和半干旱地区的降水量则相对较少。虽然两种卫星降水估计产品都能够表现出这种从东南到西北减少的整体趋势,但是 TRMM 3B42(图 2c)与地面台站资料更接近,尤其是在江西、安徽、浙江、福建和广东、广西一带,而 CMORPH(图 2b)的降水估计量在这些地区明显偏小,降水最大值相对于站点小 $1 \sim 2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。同时在地面台站资料中可以看到,我国的内蒙古东北部、吉林东南部、辽宁东部以及黑龙江部分地区存在量级为 $3 \sim 4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 以上的降水区域,但是在这两种卫星降水估计资料中未能反映出来。崔绚等(2009)和曾红伟等(2011)研

究表明在雨量计分布稀疏地区,卫星降水资料与地面台站观测资料降雨量都非常小,但也存在量级上的

区别,它们之间存在的差异可能来自两方面:一方面是雨量计分布的疏密程度,另一方面是季节性差异。

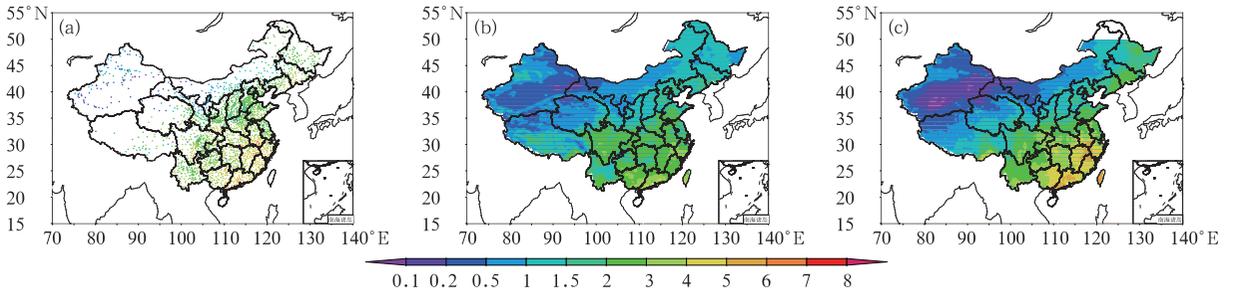


图 2 (a)地面台站观测日平均降水量空间分布,(b)CMORPH 降水资料日平均降水量空间分布,(c)TRMM 3B42 降水资料日平均降水量空间分布(单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)

Fig. 2 (a) Spatial distribution of daily mean precipitation amount by station gauge observation,

(b) spatial distribution of daily mean precipitation amount by CMORPH product,

(c) spatial distribution of daily mean precipitation amount by TRMM 3B42 product (unit: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)

2.2 3 h 降水量相关和偏差空间分布

将站点观测的 1 h 降水处理为与 CMORPH 和 TRMM 3B42 相对应的 3 h 降水,逐站点进行计算得到相关系数和偏差空间分布。从卫星降水资料与地面台站资料的相关系数空间分布(图 3)看,在我国西北地区的相关系数较低,中部和东南部地区的相关系数相对较高,CMORPH 产品在中部和南部地区相关性能够达到 0.5 以上,少数地区能够达到 0.6 及以上,TRMM 3B42 降水资料相关性比 CMORPH 的低,大部分在 0.4~0.5 分布,仅在四川东部和安徽部分地区能够达到 0.5 以上。在上述结果分析中发现,CMORPH 和 TRMM 3B42 卫星

降水产品的相关系数均不是很高,通过调研以往相关文献发现,目前卫星降水产品的相关性的确处在这个水平,同时(Shen et al,2010;Yu et al,2007)在以往的研究中也发现卫星降水产品与地面台站资料相关性的不稳定性与所采用资料的时间尺度有关,且随着时间尺度的增加,卫星降水数据的精度会提高。

图 4 显示的是 CMORPH 和 TRMM 3B42 降水资料与地面台站资料的 3 h 降水量偏差空间分布,从图中可以看出,两种卫星降水估计资料与地面观测资料之间的偏差在 $\pm 0.25 \text{ mm}$ 之间,其中 CMORPH 降水估计产品的偏差(图 4a)表现出了明显的南北差异,在我国南方湿润多雨的地区低估了

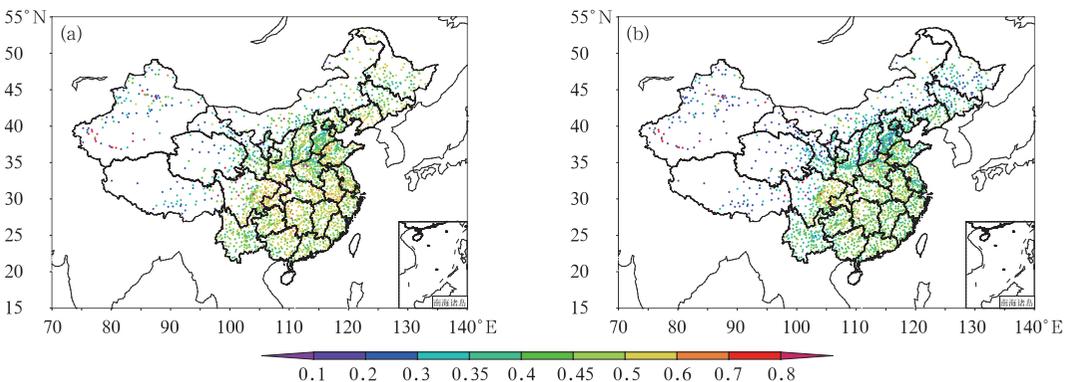


图 3 2007—2010 年 CMORPH(a)和 TRMM 3B42(b)降水资料与台站雨量计资料 3 h 降水相关系数空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of correlation coefficients of 3 h precipitation amount during 2007—2010 compared to station rain gauges data from CMORPH (a), and TRMM 3B42 (b) products

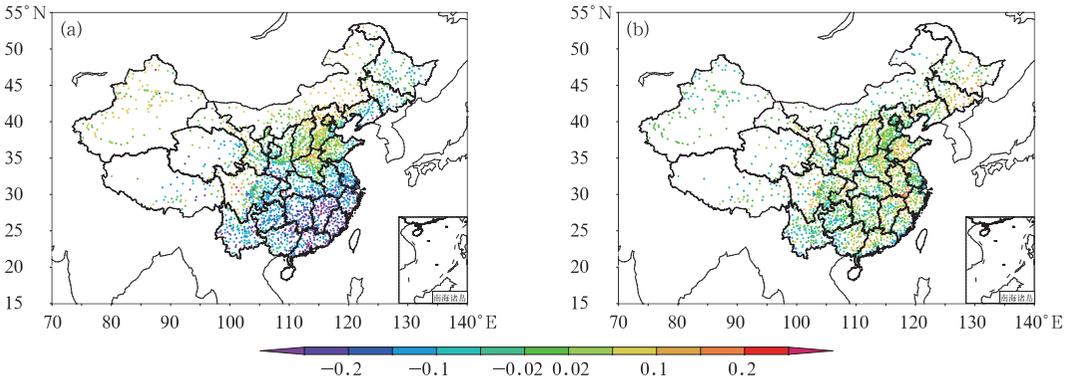


图4 2007—2010年CMORPH(a)和TRMM 3B42(b)降水资料与台站资料3 h降水偏差空间分布
Fig. 4 Spatial distributions of bias of 3 h precipitation amount during 2007—2010 compared to rain gauges data from CMORPH (a), and TRMM 3B42 (b) products

降水,尤其是在 30°N 以南的大部分地区的站点,偏差能够达到 -0.2 mm 以下。在我国的西北、华北部分地区以及青藏高原东部和四川西部等干旱和半干旱地区对降水有一定的高估,最高能够达到 $0.1\sim 0.15\text{ mm}$;而TRMM 3B42降水产品在全国大部分地区的偏差均比较小,且没有明显的南北差异,仅在局部地区存在偏差在 0.15 mm 以下高估降水的现象和在沿海的一些台站有明显的低估现象,这说明地面雨量计降水资料对TRMM 3B42产品的订正明显改进了其效果,使得偏差降低。

3 误差时间序列变化

将地面站点1 h降水数据和卫星3 h降水估计产品数据累加为24 h降水,分别计算CMORPH和TRMM 3B42与地面站点数据日降水量之间的误差并逐月平均,分析平均绝对误差(MAE)、平均相对误差(MRE)和均方根误差(RMSE)随时间的变化特征(图5a~5c)。从图5中可以看出3B42产品的误差总体上比CMORPH的稍大,但是两种卫星降水产品的平均绝对误差、相对误差和均方根误差都存在明显的季节周期性变化,表现为在12月到1月误差最小,从4月开始误差逐渐增大,到7月时到达最大值,随后误差随时间逐渐减小。这种误差周期性的变化与我国的降水季节性有关,从每年的4—5月开始,我国的降水开始逐渐增加,尤其是在我国的东南部和江淮流域地区,在6、7月会出现“梅雨”现象,成为一年当中降水强度和降水量最大的时期,随着进入秋季和冬季,降水逐渐减少,在冬季达到最低。

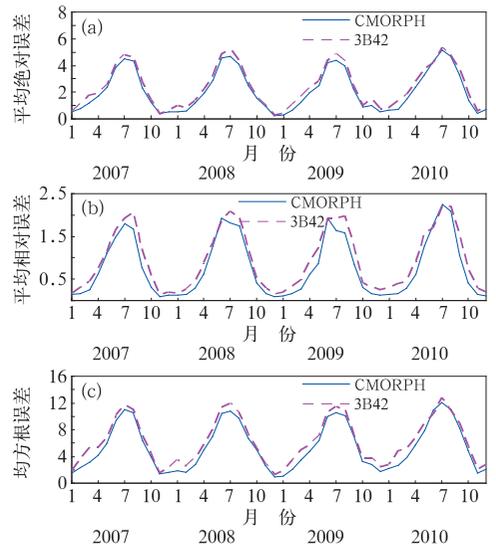


图5 2007—2010年卫星降水资料与站点资料日降水量平均绝对误差(a)、平均相对误差(b)和均方根误差(c)时间序列
Fig. 5 Time series of MAE (a), MRE (b) and RMSE (c) of daily rainfall during 2007—2010 between rain gauges data and satellite precipitation products

4 夏季降水日变化特征检验

研究表明我国的夏季降水在不同的区域有很强的日循环特征,中国大陆地区的降水大多发生在6—8月,且夏季的日循环最强烈(Yu et al, 2007; 戴泽军等, 2011; 李建等, 2010; 于文勇等, 2012)。因此本文选取2007—2010年6—8月降水资料,参照文献并根据地形和气候等特征将我国划分为8个区域

(图 1),这 8 个区域的经纬度范围分别是:区域 1 (35°~54°N,121.5°~135°E)、区域 2 (35°~54°N、108°~121.5°E)、区域 3 (35°~50°N、72°~108°E)、区域 4 (29°~35°N、108°~125°E)、区域 5 (27°~35°N、100°~108°E)、区域 6 (27°~35°N、75°~100°E)、区域 7 (16°~29°N、108°~125°E)、区域 8 (17°~27°N、96°~108°E),分别分析 8 个区域内卫星和地面台站观测夏季降水的日变化特征。从图 6 地面台站降水资料的日变化曲线中看到,在第一、二、三、四、七区域内的地面台站观测到的降水都表现出相似的日变化特征:在午后到傍晚期间会出现一个主要的降水峰值,且在凌晨也有一个较弱的降水峰值。TRMM 3B42 资料在上述区域内对两次峰值都有相对较好的表现,但是没有准确抓到峰值出现的时间,均存在一定程度的延后,CMORPH 资料对于降水日变化中午后的峰值出现时间把握的相对

较好,但是在大部分区域内不能体现出凌晨时段弱的降水峰值。第八区域的地面台站资料表现出的降水峰值也有两个,但最大的峰值出现在午夜到凌晨,次峰值出现在午后,CMORPH 反映出了这种变化特征,但低估了降水的量,TRMM 3B42 降水产品对于午后的次降水峰值出现的时刻有明显的延迟。在第五和第六区域中降水的日变化特征与其他区域不同,其中第五区域位于四川盆地,地面台站资料降水的峰值出现在午夜到凌晨时分,降水的最少时刻出现在 14 时左右,两种卫星资料对于该区域的降水日变化趋势反映都比较准确;而对于位于青藏高原地区的第六区域,地面台站资料中降水峰值出现在午夜时分,在 11 时左右达到最低值,两种卫星资料可能受复杂地形的影响,都不能很好地表现出这一地区降水日变化特征。

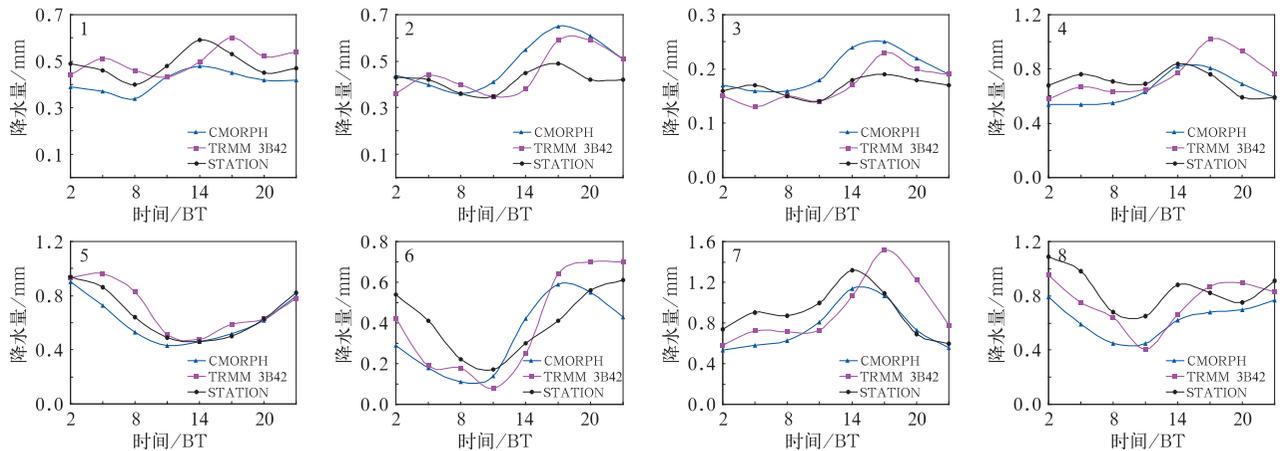


图 6 卫星降水资料和台站数据在中国 8 个区域逐 3 h 降水量(单位: mm)日变化 (8 个区域的位置已在图 1 中用矩形框标出)

Fig. 6 Diurnal variation of 3 h precipitation amount (unit: mm) over the eight selected regions outlined in Fig. 1 from rain gauges data and satellite precipitation products

5 降水空演和漏演检验

本文中卫星反演有降水,台站测量无降水定义为空演,空演次数占总探测次数的百分比称为空演率;而卫星反演无降水,台站测量出现降水定义为漏演,漏演次数占总探测次数的百分比称为漏演率,用该两种指标来讨论两种卫星对于降水事件判断的准确性。从两种卫星降水产品的空演率和漏演率分布图(图 7)来看,TRMM 3B42 的空演率在我国大部分地区最高不超过 7%,而 CMORPH 的空演率

除了华北、东北和西北部分地区外,在其他大部分地区可以达到 7%及以上,其中在青藏高原、四川和云南西部、东南沿海以及新疆西部、甘肃等地的部分站点空演率达到了 10%以上,这说明 CMORPH 的降水反演能力可能受青藏高原和四川盆地等地形影响较大(白爱娟等,2011;Fu et al,2006)。从漏演率分布图中可以明显看出,两种卫星产品在我国南方地区的漏演率比北方地区的高尤其是两者在我国的四川盆地漏演率都相对较高,刘俊峰等(2010)研究表明这种现象的原因可能是由于四川盆地常存在云和大雾天气,高层被大陆性层云所覆盖,因而低层与降

水有关的层云很难被卫星探测到。此外 TRMM 3B42 在我国长江中下游以南大部分地区漏演率都比 CMORPH 的高,普遍在 8%~11%,最高能够达

到 12% 以上。在华北和东北部分地区,TRMM 3B42 漏演率可以达到 3% 左右,而 CMORPH 在我国北方大部分地区都在 2% 以下。

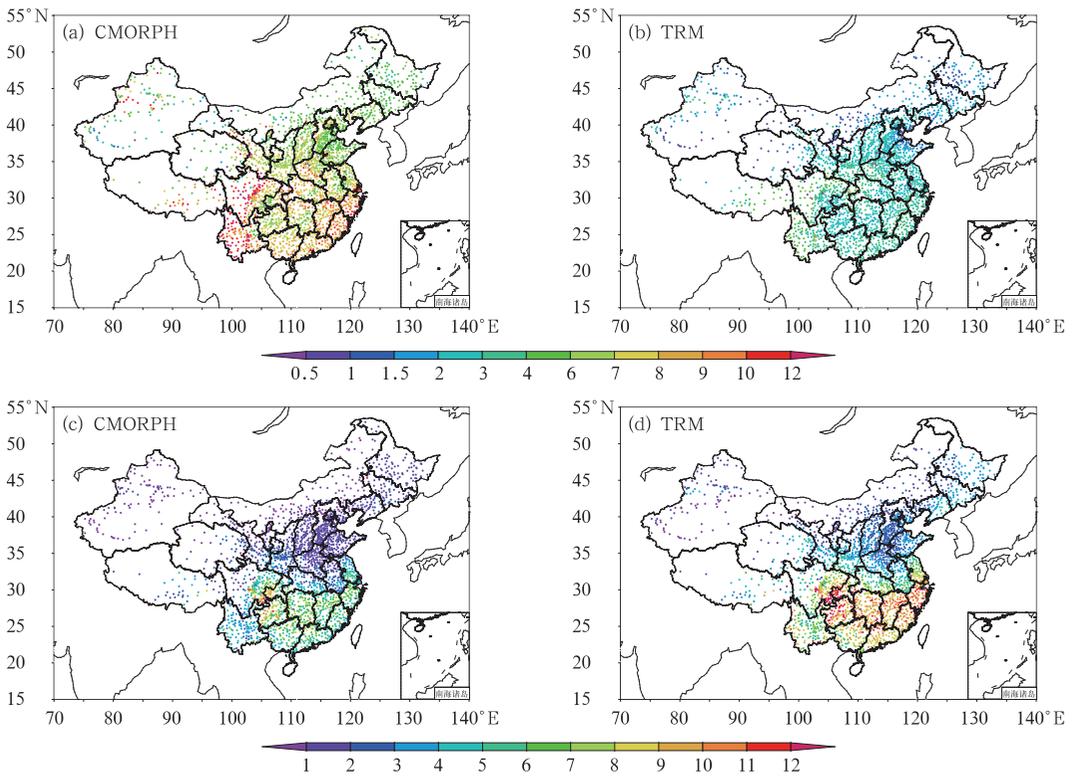


图7 2007—2010年卫星降水产品空演率(a, b)和漏演率(c, d)空间分布(单位:%)

Fig. 7 Spatial distribution of vacancy retrieval rate (a, b) and missing retrieval rate (c, d) of satellite precipitation products (unit: %)

6 结论

通过利用我国地面台站逐小时观测降水资料,采用不同的评估统计指标和方法对比分析了CMORPH和TRMM 3B42卫星降水产品在中国区域内的表现,得到以下结论:

(1) 地面台站观测资料、CMORPH和TRMM 3B42这三种降水资料的多年日平均降水量空间分布形势相似,均存在从东南向西北逐渐减少的趋势,但是CMORPH产品在中国的东南部地区低估了降水,低估值在1~2 mm左右,而TRMM 3B42则与台站资料最为接近。这是因为在TRMM 3B42降水产品的生成中利用地面观测资料进行了订正,从而在一定程度上改进了其质量。

(2) 利用不同的评估统计指标定量地对两种卫星降水产品进行评估检验时,CMORPH和TRMM

3B42与地面台站资料3 h降水量相关系数差异较大,在部分地区CMORPH比TRMM 3B42的时间相关系数更高。在空间分布中可以看到CMORPH和TRMM 3B42卫星降水产品在我国中部和南部地区的相关系数分别能达到0.5和0.4以上。从两者与地面台站观测资料的偏差来看,CMORPH和TRMM 3B42卫星降水产品的偏差均在±0.25 mm范围内,其中CMORPH的偏差存在显著的南北差异;两种产品平均绝对误差、相对误差和均方根误差随着时间的变化具有明显的季节周期性,其中在温暖多雨季节的误差大于寒冷少雨的季节。两种卫星降水产品的相关性和偏差的差异反映出了目前卫星反演降水的能力还存在很多局限性,这一方面是由于卫星红外数据观测到的是云顶的亮温,微波观测的是降水粒子在空中的分布,都不是对地面降水的直接观测,此外由于卫星降水产品的格点降水数据代表着某个区域的平均值,而站点观测是属于单点

观测,两者在空间上存在差异,这也是导致相关性较低的原因之一。TRMM 3B42 的多年平均降水的空间分布比 CMORPH 更接近地面观测,但时间相关系数偏低,其原因可能是由于 CMORPH 利用了红外数据对云移动矢量进行了计算,并将微波反演的瞬时降水分布沿着该移动矢量外推至目标分析时间上,而 TRMM 3B42 降水产品没有这种基于云移动矢量的外推过程;同时,时间相关系数代表的是卫星降水产品对于降水的时间变化的线性相关性,而降水是时间和空间变化很大的气象要素,利用卫星的瞬时观测数据对降水进行反演会使结果存在误差。

(3) 对我国范围内 8 个区域的降水日变化特征进行分析,结果表明在我国大部分地区降水的日变化曲线有两个峰值,主要的一个在午后,次峰值则在凌晨,TRMM 3B42 比 CMORPH 能更好地反映这一特征;而在四川盆地和青藏高原只有一个出现在午夜到凌晨时分的峰值,上述两种卫星降水资料对于四川盆地的降水日变化特征反映的准确性高于青藏高原;在云南地区降水日变化曲线也存在两个峰值,但是主要的峰值出现在午夜到凌晨,次峰值出现在午后。两种卫星资料在表现 8 个区域内降水日变化曲线峰值的基础上,均不能准确地反映降水的量级和曲线振幅,且 TRMM 3B42 对于峰值出现的时间并不能很好地抓住,相对于 CMORPH 均有一定程度的延后。

(4) 从 CMORPH 和 TRMM 3B42 两种卫星降水估计产品在中国区域内的空演率和漏演率来看,全国总空演率分别为 7.23% 和 2.63%,漏演率分别为 3.25% 和 5.50%。从空间分布来看,TRMM 3B42 的空演率空间差异性较小,CMORPH 的空间差异性较大,这说明地面降水资料的订正过程对 TRMM 3B42 降水产品质量的改进发挥了一定的作用,CMORPH 空演率的最高值中心在四川西部、云南和新疆西部少数站点,其次为我国东南部地区;两种产品漏演率的空间分布相似,总体上都表现为南方高于北方的特点,其中在四川盆地均存在一个高值区,这是由于在四川盆地特殊的地形特点下容易产生大雾和层状云降水,并且降水易发生在夜间,而卫星红外资料对夜间云顶亮温的观测能力下降,且对能产生降水的云和大雾、层云分辨能力较弱,从而导致对降水有漏演的现象。

参考文献

白爱娟,刘长海,刘晓东. 2008. 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): 704-714.
- 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.
- 崔绚,周波涛,周江兴,等. 2009. TRMM 产品 3B43 的中国区域降水气候特征评估. 第 26 届中国气象学会论文集.
- 戴泽军,宇如聪,李建,等. 2011. 三套再分析资料的中国夏季降水日变化特征. 气象, 37(1): 21-30.
- 李建,宇如聪,陈昊明,等. 2010. 对三套再分析资料中国大陆地区夏季降水量的评估分析. 气象, 36(12): 1-9.
- 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.
- 骆三,苗俊峰,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.
- 任芝花,熊安元. 2007. 地面自动站观测资料三级质量控制业务系统的研制. 气象, 33(1): 19-24.
- 任芝花,赵平,张强,等. 2010. 适用于全国自动站小时降水资料的质量控制方法. 气象, 36(7): 123-132.
- 师春香,刘瑞霞,张艳,等. 2011. 气象卫星定量产品质量评价指标和评估报告要求. 北京: 气象出版社, 2-3.
- 王新华,罗四维,刘小宁,等. 2006. 国家级地面自动站 A 文件质量控制方法及软件开发. 气象, 32(3): 107-112.
- 于文勇,李建,宇如聪. 2012. 中国地区降水持续性的季节变化特征. 气象, 38(4): 392-401.
- 臧海佳,王晏燕,李占清,等. 2011. 美国对地观测系统卫星资料产品及服务. 北京: 气象出版社, 19-199.
- 曾红伟,李丽娟. 2011. 澜沧江及周边流域 TRMM 3B43 数据精度检验. 地理学报, 66(7): 994-1004.
- Dai A, Xin Lin, Hsu Kuo-Lin. 2007. The frequency, intensity, and diurnal cycle of precipitation in surface and satellite observations over low- and mid-latitudes. *Climate Dyn*, 29: 727-744.
- Fu Y, Liu G, Wu G, et al. 2006. Tower mast of precipitation over the central Tibetan Plateau summer. *Geophys Res Lett*, 33, L05802. doi:10.1029/2005GL024713.
- Jiang Shan-hu, Ren Li-liang, Yong Bin, et al. 2010. Evaluation of high-resolution satellite precipitation products with surface rain gauge observations from Laohahe Basin in northern China. *Water Sci Engineering*, 3: 405-417.
- Shen Y, Xiong A, Wang Y, et al. 2010. Performance of high-resolution satellite precipitation products over China. *J Geophys Res*, 115, D02114. doi:10.1029/2009JD012097.
- Yu R, Zhou T, Xiong A, et al. 2007. Diurnal variations of summer precipitation over contiguous China. *Geophys Res Lett*, 34, L01704. doi:10.1029/2006GL028129.
- Zhou T, Yu R, Chen H, et al. 2008. Summer precipitation frequency, intensity, and diurnal cycle over China: A comparison of satellite data with rain gauge observations. *J Climate*, 21: 3997-4010.