

赣江流域 TRMM 降水数据的误差特征与成因

胡庆芳^{1,2}, 杨大文¹, 王银堂², 杨汉波², 刘 勇²

(1. 清华大学水利水电工程系, 北京 100084;

2. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 阐明 TRMM 3B42V6 (Tropical rainfall measuring mission 3B42 version 6) 的误差特征及成因, 对于合理使用该卫星降水数据, 并完善其降水反演算法具有重要意义。在赣江流域 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 空间尺度上, 对比了 TRMM 3B42V6、TRMM 3B42RTV6 和 CMORPH 的精度特征。结果表明, 3B42V6 的系统偏差远低于 3B42RTV6、CMORPH, 但平均绝对值偏差、效率系数和探测率均明显劣于 CMORPH。TRMM 3B42V6 的系统偏差较低的原因主要在于该数据采用地面月降水量进行了校准, 而其绝对值偏差、效率系数和探测率明显劣于 CMORPH 的主要原因在于所采用的热红外/被动微波降水联合反演算法不及后者有效。今后有必要对 TRMM 3B42 的精度进行全面评估, 并改进该数据的热红外/微波降水反演算法及与地面降水信息的融合算法。

关键词: 卫星降水; 热带测雨探测计划; CMORPH; 误差成因; 赣江流域

中图分类号: P339

文献标志码: A

文章编号: 1001-6791(2013)06-0794-07

利用气象卫星资料获取地表降水空间分布已成为水文气象领域的一个研究热点。目前, 有影响的卫星降水估计方法达 30 余种, 全球性卫星降水数据超过 10 种^[1], 其中代表性的有 TRMM 3B42V6 (Tropical rainfall measuring mission 3B42 version 6, 简称 3B42)、TRMM 3B42RTV6 (TRMM 3B42 real time version 6, 简称 3B42RT)^[2]、CMORPH (Climate prediction center morphing technique)^[3] 等。随着全球降水测量任务 (Global precipitation measurement mission, GPM)^[4] 的实施, 卫星降水数据的实用性将有实质性提高。

3B42 是一种代表性高分辨率卫星遥感降水数据, 且该数据采用 GPCP (Global precipitation climatology project) 或 CAMS (Climate assessment and monitoring system)^[5] 月数据进行了校准。国内外对于 3B42 的精度已有颇多验证, 并与其他卫星降水数据进行了比较。如 Su 等^[6] 指出在南美拉普拉塔河 7 个子流域, 3B42 在日均意义上高估地表降水量的幅度接近 10%。Tian 等^[7] 指出在美国大陆, 3B42 在冬夏两季的偏差值均接近 0。Jiang 等^[8] 指出在老哈河流域, 3B42 的日均误差幅度远低于 CMORPH, 但探测率显著低于后者。Sohn 等^[9] 指出在韩国 3B42V6 的平均误差接近 0, 但均方误差和探测率明显劣于 CMORPH。Kubota 等^[10] 针对日本的研究表明, 在日和 3 h 尺度上, 3B42 的均方误差大于 CMORPH, 且探测率明显低于后者。Hu 等^[11] 在赣江流域详细分析了 3B42 日降水数据精度的时空变化特征。

在众多区域, 3B42 日降水在均值上较 CMORPH 等更接近于地表状况, 但该数据的绝对误差规模较高, 分类估计精度也不及 CMORPH 等。3B42 的这一误差特征已涉及到 TMPA (TRMM multisatellite precipitation analysis)^[2] 中 IR/MW (Infrared/microwave) 联合反演降水量和卫星遥感、地表雨量计信息融合算法等深层次的问题。客观评价和合理解释 3B42V6 的这一误差特征, 对于正确使用该数据, 并进一步完善有关降水反演算法具有重要意义。但目前遥感定量降水估计领域对于 3B42 数据的这一误差特征尚未引起足够重视, 对其成因的分析更是少见。

本文以中国多雨区之一的赣江流域为例, 通过与 3B42RT、CMORPH 的对比性分析, 阐明 3B42 日降水数据上述误差特征, 并从降水算法层面揭示其成因。本文有助于全面理解 3B42 数据的性能, 并为改进和完善 TMPA 算法提供反馈信息, 同时也是开展卫星和雨量计降水信息融合的基础。

收稿日期: 2012-09-27; **网络出版时间:** 2013-09-12

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1309.P.20130912.1140.013.html>

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51109136); 水利部公益性行业科研专项经费资助项目(201001002)

作者简介: 胡庆芳(1981-), 男, 湖南宁乡人, 工程师, 博士, 主要从事水文水资源与遥感技术研究。

E-mail: hqf_work@163.com

1 研究区域与数据

1.1 研究区域

赣江流域位于东经 113°30′~116°40′, 北纬 24°29′~29°11′, 是鄱阳湖水系第一大流域, 集水面积约 83 374 km²。流域内地形复杂, 高程为 12~2 030 m(图 1)。流域四周与主要河流之间多山, 山间与河侧盆地发育, 中部为丘陵与盆地的复合体, 下游以冲积平原为主。赣江流域是中国大陆降水最多的区域之一, 多年平均降水量约 1 581 mm^[12]。4~6 月梅雨季降水最为集中, 常出现历时长, 范围广的锋面雨过程; 7~9 月易产生台风暴雨。

1.2 研究数据

1.2.1 卫星降水数据

收集了 2003—2009 年连续的 3B42、3B42RT 和 CMORPH 降水数据。3 种数据的空间分辨率均为 0.25°×0.25°, 时间分辨率均为 3 h, 将一日内 8 个时次的降水量累加即得到日降水量。3 种数据均融合了热红外和微波降水信息, 采用的卫星遥感源数据基本相同。在 IR/MW 融合算法方面, 3B42、3B42RT 采用 TMPA 算法^[2], 而 CMORPH 采用运动矢量传输算法^[3]。3B42、3B42RT 的区别主要在于后者采用了地面雨量计月降水量的校正^[2]。其中, 2005 年 3 月之前采用空间分辨率 1°×1°的 GPCP 月降水数据校正, 2004 年 4 月起是空间分辨率为 0.5°×0.5°CAMS 月数据。3 类数据基本情况如表 1 所示。

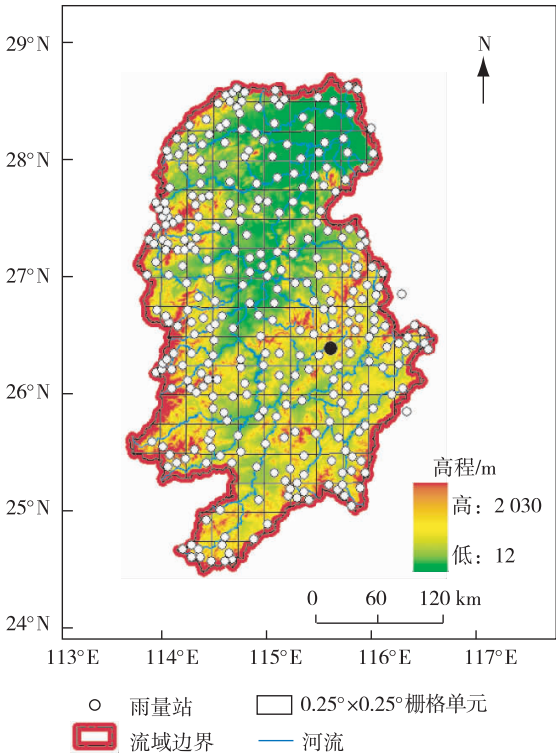


图 1 赣江流域雨量站点及卫星降水数据栅格分布
Fig. 1 Rain gauges and satellite rainfall grids distribution over the Ganjiang River basin

表 1 3 种高分辨率卫星降水数据基本情况

Table 1 Basic information for TRMM 3B42V6, 3B42RTV6 and CMORPH

数据集	卫星遥感源数据	时间滞后	起始年份
TRMM 3B42V6	Geo-IR, TCI, SSM/I, AMSR-E, AMSU-B, GPCC/CAMS	10~46 d	1998
TRMM 3B42RTV6	Geo-IR, TMI, SSM/I, AMSR-E, AMSU-B	3~9 h	2002
CMORPH	Geo-IR, TMI, SSM/I, AMSR-E, AMSU-B	18 h	2003

注: (1) TMI: TRMM Microwave Imager; (2) TCI: TRMM Combined Instrument including TMI and TRMM Precipitation Radar; (3) SSM/I: Special Sensor Microwave/Imager; (4) AMSR-E: Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System; (5) AMSU-B: Advanced Microwave Sounding Unit-B; (6) Geo-IR: Geosynchronous Earth Orbit satellite Infrared dataset; (7) GPCC/CAMS: Global Project of Climate Centre/Climate Assessment and Monitoring System.

1.2.2 基准降水数据

收集了 2003—2009 年赣江流域及周边地区 325 个雨量站逐日降水量。雨量站点空间分布如图 1 所示。基于地面雨量计数据, 利用两阶段距离反比平方插值^[13]得到了 2003—2009 年全流域 1 km×1 km 空间分辨率的日降水数据。因 3B42 等 3 种卫星降水数据的空间分辨率均为 0.25°×0.25°, 为保证精度评价时, 基准降水量与卫星降水量空间尺度的一致性, 进一步将 1 km×1 km 分辨率的地面日降水数据, 通过空间聚合转化为 0.25°×0.25°分辨率的栅格数据(与 TRMM 和 CMORPH 数据的网格相对应), 作为评价卫星降水精度的基准数据。

2 研究方法

在 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 栅格单元空间尺度和日时间尺度上, 计算 3B42、3B42RT 和 CMORPH 的有关精度指标, 通过相互比较, 阐明 3B42 的误差特征。因日降水量具有较强的时空不连续性, 故既要评价卫星日降水量是否能够准确反映基准值的大小, 又要验证其是否能够准确估计日降水事件的发生。

采用 3 项定量精度指标反映卫星降水量与基准值在数量上的一致性, 分别为偏差(bias, B)、绝对值偏差(absolute bias, A_B)和 Nash-Sutcliffe 效率系数(efficiency coefficient, C)。 B 反映了卫星降水数据的系统偏差程度; A_B 代表绝对偏差程度; C 反映了卫星降水数据对基准降水量方差的解释能力。 B 、 A_B 、 C 的计算方法如下所示:

$$B = \sum_{i=1}^{i=n} (G_i - S_i) / \sum_{i=1}^{i=n} G_i \quad (1)$$

$$A_B = \sum_{i=1}^{i=n} |G_i - S_i| / \sum_{i=1}^{i=n} G_i \quad (2)$$

$$C = 1 - \sum_{i=1}^{i=n} (S_i - \bar{G})^2 / \sum_{i=1}^{i=n} (G_i - \bar{G})^2 \quad (3)$$

式中 G_i 、 S_i 分别为某 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 栅格单元在第 i 天的基准降水量、卫星降水量; $\bar{G}$ 、 $\bar{S}$ 分别为基准降水量、卫星降水量日均值; n 为 2003—2009 年的总天数, $n=2\,557$ 。

采用 3 项分类指标反映卫星降水对日降水事件是否发生的辨识能力, 分别为探测率(Probability of detection, P_D)、击中率(Frequency of hit, F_H)和 Heidke 技巧评分指数(Heidke's skill score, S_H)^[14]。 P_D 越高, 卫星数据对日降水事件的漏报程度越小; F_H 越高, 空报程度越小; S_H 综合表达了卫星数据对降水事件是否发生的估计能力。三者分别按如下公式计算:

$$P_D = n_{11} / (n_{11} + n_{01}) \quad (4)$$

$$F_H = n_{11} / (n_{11} + n_{10}) \quad (5)$$

$$S_H = \frac{2(n_{11}n_{00} - n_{10}n_{01})}{(n_{11} + n_{01})(n_{01} + n_{00}) + (n_{11} + n_{10})(n_{10} + n_{00})} \quad (6)$$

式中 n_{11} 表示卫星降水数据和基准数据同时有雨的频数; n_{10} 表示卫星降水数据有雨基准数据无雨的频数; n_{01} 表示卫星降水数据无雨基准数据有雨的频数; n_{00} 表示卫星降水数据和基准数据同时无雨的频数。其他变量类似。有雨或无雨根据日降水量大小确定, 若日降水量大于或等于 0.1 mm , 则为有雨, 否则无雨。

3 结果分析与讨论

3.1 3B42 的误差特征分析

图 2 给出了赣江流域 142 个栅格单元上卫星逐日降水量与基准值散点图。日时间尺度上 3 种卫星降水数据与基准值的基本变化趋势一致, 但均存在明显误差。

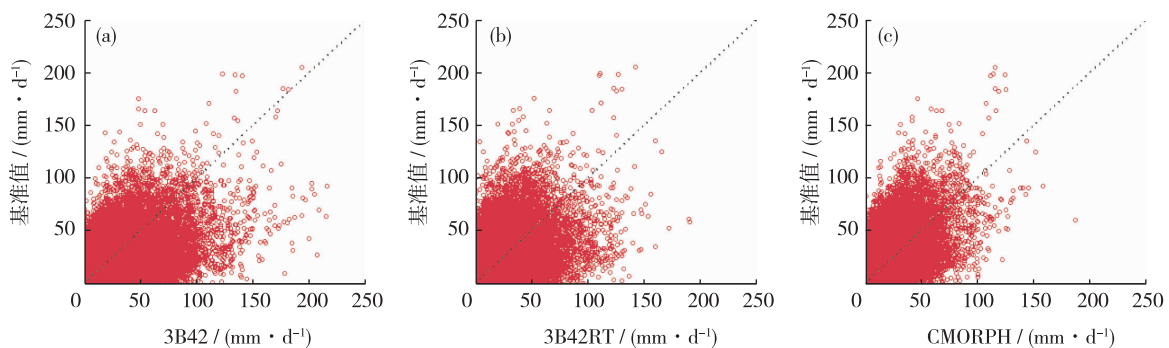


图 2 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 栅格尺度上卫星逐日降水量与基准值散点

Fig. 2 Scatter maps of daily satellite rainfall versus gauge benchmark at the scale of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ grid

图 3 给出了 3 种卫星降水数据精度指标的箱线图, 表 2 列出了各精度指标的均值和极值。在 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 栅格空间尺度上, 3B42 的 B 值为 $-23.4\% \sim 10.4\%$, 均值为 -7.8% 。这说明在日均意义上 3B42 与基准降水量比较接近。而对于 3B42RT 和 CMORPH, B 的均值分别为 26.3% 和 30.4% 。可见, 两者在日均意义低估基准降水量的程度较大, 其系统误差程度均显著高于 3B42。

由图 3(b)可知, 3B42 的 A_B 高于另外两种数据, 特别是明显高于 CMORPH。据表 2, 3B42 的 A_B 为 $73.8\% \sim 95.0\%$, 均值为 83.2% ; 3B42RT 的 A_B 为 $72.2\% \sim 87.3\%$, 均值为 78.8% ; 而 CMORPH 的 A_B 均值、极值均明显低于前两者, 其中均值为 67.8% 。同时, 在 C 方面, 3B42 不仅显著低于 CMORPH, 也明显低于 3B42RT。3B42RT 对应的 C 均值仅 0.26 , 而 3B42RT 为 0.35 , CMORPH 为 0.52 。因此, 3B42 对基准降水量的方差解释能力较弱。

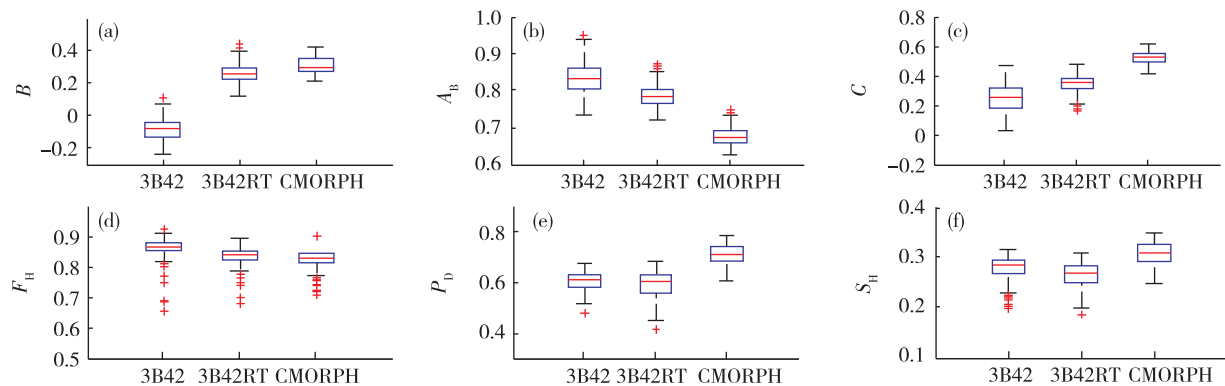


图 3 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 栅格尺度上 3 种卫星降水量精度指标箱线

Fig. 3 Box plots of daily satellite rainfall accuracy indices at the scale of $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ grid

表 2 各类卫星降水数据精度指标均值与极值

Table 2 Mean, maximum and minimum values of accuracy indices for TRMM 3B42V6, 3B42RTV6 and CMORPH

精度指标	$B/\%$			$A_B/\%$			C		
	均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值
3B42	-7.8	10.4	-23.4	83.2	95.0	73.8	0.26	0.47	0.03
3B42RT	26.2	43.7	12.1	78.8	87.3	72.2	0.35	0.48	0.17
CMORPH	30.4	41.9	21.0	67.8	75.0	62.7	0.52	0.62	0.42

精度指标	$P_D/\%$			$F_H/\%$			S_H		
	均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值	均值	最大值	最小值
3B42	60.4	67.6	48.2	86.2	92.3	65.8	0.28	0.32	0.20
3B42RT	59.3	68.0	41.6	83.6	89.3	68.2	0.27	0.31	0.19
CMORPH	71.1	78.4	60.8	82.6	90.3	71.1	0.31	0.35	0.25

在分类估计精度方面, 3B42 等 3 种卫星降水数据对日降水事件均存在一定程度的空报和漏报。3B42 的 F_H 均值约 85.0% , 与另外两种数据接近。但 P_D 方面, 3B42 明显低于 CMORPH。3B42 的 P_D 均值为 60.4% , 而 CMORPH 达 71.1% 。可见, 3B42 对日降水事件的漏报程度明显高于 CMORPH, 因而导致 3B42 的综合分类估计精度明显低于 CMORPH。根据表 2, 3B42 对应的 S_H 无论是均值, 还是最小值、最大值均低于 CMORPH。

综合分析, 对于赣江流域, 在 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 栅格单元尺度上, 3B42 日降水量具有如下误差特征:

(1) 系统偏差较小, 但绝对值误差较大。3B42 的 B 值幅度远低于 CMORPH、3B42RT, 但 A_B 显著高于 CMORPH, 较 3B42RT 也有所增加。

(2) 对基准数据的方差解释能力较弱。3B42 的 C 值明显低于 CMORPH、3B42RT。

(3) 分类估计精度不高, 对降水事件有较大幅度的漏报。3B42 的 P_D 明显低于 CMORPH。

3.2 3B42 的误差特征成因

进一步通过对 3B42 与 3B42RT、CMORPH 的对比分析, 阐述 3B42 日降水量误差特征的成因。重点分析两个方面: ① 3B42 的系统偏差较小的原因; ② 3B42 的绝对误差较大以及对日降水事件的分类估计精度、方差解释能力不高的主要原因。

根据表 2, 3B42 的 B 值与 3B42RT、CMORPH 相差较大, 而 3B42RT、CMORPH 比较接近。由于 3B42、3B42RT 采用的卫星遥感源数据和 IR/MW 融合算法均基本相同, 两者的主要区别在于前者采用了 GPCP/CAMS 月降水总量进行了校准。因此, 可以推断 3B42 日降水量的 B 值幅度之所以远低于 3B42RT、CMORPH, 是由于 GPCP/CAMS 月降水量校准的结果。这种校准保证了 3B42 降水量与地面降水量具有相近的日均值, 从而大幅度地削减了系统偏差。

采用 GPCP/CAMS 月降水量校准的实质是改变了日尺度上误差的时间变化特征, 使得误差的正负交替比较均衡。以赣江流域内某 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 栅格单元(其位置在图 1 中用黑色实心圆标记)所在的 3B42、3B42RT 逐日误差(以 E 表示)过程线为例, 相对于 3B42RT、3B42 逐日误差过程的最大区别是 E 的符号规律发生了较大变化。对于 3B42RT, 绝对值较大的 E 值大多位于 x 轴上方, 在 x 轴下方的较少(图 4(a)); 相比之下, 3B42 绝对值较大的 E 值更多分布于 y 轴下方, 在 y 轴上方的较少(图 4(b))。

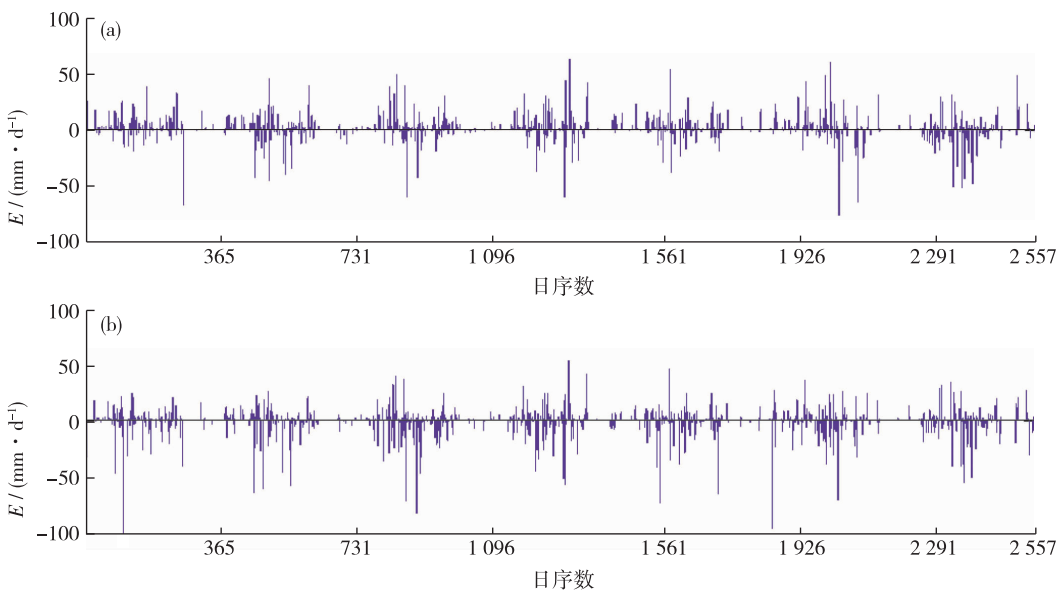


图 4 某 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 栅格尺度卫星降水数据误差过程线

Fig. 4 Daily rainfall error process in a $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ grid during 2003—2009

为进一步说明上述问题, 统计了赣江流域 142 个 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 栅格单元 3B42、3B42RT 日降水量绝对值误差(以 A_E 表示)超过某一阈值(以 W 表示)的天数占 2003—2009 年总天数的比例。该比例的栅格平均值如表 3 所示。其中, r_+ 、 r_- 分别表示在栅格平均意义上 $A_E > W$ 且 $E > 0$ 、 $A_E > W$ 且 $E < 0$ 的天数占总天数比例, 相应的栅格平均意义上的正、负累积误差分别用 S_{E+} 与 S_{E-} 表示。根据表 3, 对于各级 W 而言, 3B42 对应的 r_+ 、 r_- 均比较接近, 这说明该数据逐日误差具有比较均衡的正负交替特征。以 $W = 2.0 \text{ mm/d}$ 的情况为例, 对于 3B42, r_+ 、 r_- 分别为 15.3%、13.3%。因此, 3B42 在不同日期的 E 产生显著的正负抵消现象(即 S_{E+} 与 S_{E-} 之和接近 0), 故其 B 接近于 0。而对于 3B42RT, 各级 W 对应的 r_+ 大大超过 r_- , 相应 S_{E+} 与 S_{E-} 之和明显大于 0, 故 B 显著大于 0。

表 3 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 栅格单元 3B42、3B42RT 日降水量误差统计结果

Table 3 Daily error statistics for TRMM 3B42V6 and 3B42RTV6 at the spatial scale of $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ grid

项目	$W > 1 \text{ mm/d}$		$W > 2 \text{ mm/d}$		$W > 5 \text{ mm/d}$	
	3B42	3B42RT	3B42	3B42RT	3B42	3B42RT
$r_+ / \%$	19.3	23.2	15.3	19.0	9.1	12.1
$r_- / \%$	15.5	10.9	13.3	8.8	9.3	5.6
$(r_+ + r_-) / \%$	34.8	34.1	28.7	27.8	18.4	17.7
S_{E+} / mm	3 672.7	5 137.7	3 523.8	4 980.2	2 995.0	4 396.8
S_{E-} / mm	-4 489.1	-2 574.4	-4 408.7	-2 497.4	-4 066.6	-2 228.4
$(S_{E+} + S_{E-}) / \text{mm}$	-816.3	2 563.4	-884.9	2 482.8	-1 071.6	2 168.4
$(S_{E+} - S_{E-}) / \text{mm}$	8 161.8	7 712.1	7 932.5	7 477.5	7 061.6	6 625.2

但 TMPA 中采用 GPCP/CAMS 月降水量校准 3B42RT 的方式具有很强的局限性。一方面, 3B42 的绝对误差规模较 3B42RT 不仅未削减, 还有所增加。根据表 3, 3B42RT、3B42 各级 W 对应的 $(r_+ + r_-)$ 比较接近。这说明 2003—2009 年两者 A_E 较大的总频次基本相当; 同时, 3B42 与 3B42RT 相比, S_{E+} 与 S_{E-} 之差不减反增。因此, 3B42 的 A_B 高于 3B42RT。另一方面, 相对 3B42RT、3B42 的分类估计精度也没有明显提高。3B42RT 的 S_H 较低的主要原因是其 P_D 较低, 具体表现是其日降水量为 0 的天数显著超过基准降水量对应的天数。经统计, 2003—2009 年, 在 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 栅格平均意义上, 3B42、3B42RT 和 CMORPH 三者对应的降水量为 0 的天数分别为 256.5 d/a、256.6 d/a 和 217.9 d/a, 而基准降水量为 187.8 d/a。显然 TMPA 算法采用比较简单的乘数校正方法^[2], 不会减少 3B42RT 日降水序列中的零值, 所以也不会使 3B42 的 P_D 、 S_H 有明显提高。

至于 3B42 对应的 A_B 、 C 和 P_D 明显劣于 CMORPH 的原因, 既有 IR/MW 融合算法的不同, 也有是否采用了 GPCP/CAMS 雨量校正的不同。但注意到 3B42 和 3B42RT 的 A_B 、 C 、 P_D 相差较小, 故 3B42 的 C 、 A_B 、 P_D 劣于 CMORPH 的主要原因在于两者所采用的 IR/MW 降水反演算法不同。以 A_B 为例, CMORPH、3B42RT 和 3B42 对应的均值依次增加。但根据表 2, 3B42 对应的 A_B 均值较 3B42RT 仅增加 4.4%, 而较 CMORPH 增加了 15.4%。因此, 3B42 数据绝对误差较大, 最主要还是 IR/PMW 降水反演算法的原因。类似地, 3B42 的 C 、 P_D 和 S_H 指标劣于 CMORPH, 也主要归因于其采用的 IR/MW 反演算法不及 CMORPH 有效。

根据文献[2], 3B42 和 3B42RT 所采用的 TMPA 算法, 在具有高质量微波降水数据 (high quality microwave data, HQ-MW) 的时次和区域, 由 HQ-MW 生成降水量, 但在缺乏 HQ-MW 的情况下, 采用校准过的 Geo-IR 数据生成降水量。而 CMORPH 采用的运动矢量传输算法^[3]中, Geo-IR 数据主要是用来推导云系统运动矢量, 以实现 HQ-MW 数据的时段加权插值, 最终得到时空连续的降水量。因此 CMORPH 的 IR/MW 降水反演算法较 TMPA 有明显改进, 对 Geo-IR 降水信息的利用方式更复杂和间接, 而 TMPA 对 Geo-IR 信息的利用方式很直接。众所周知, 与 MW 相比, IR 信息对真实降水的反映能力有较大不足, 这可能是导致赣江流域及其他一些地区 3B42、3B42RT 在 A_B 、 C 和 P_D 方面劣于 CMORPH 的主要原因。

4 结 论

TRMM 3B42V6 在 TRMM 3B42RTV6 数据的基础上经过了 GPCP/CAMS 地面月降水数据的校准, 因此一般认为该数据具有较高精度。然而本文在赣江流域 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 空间尺度上, 针对 TRMM 3B42V6、TRMM 3B42RTV6 和 CMORPH 的精度进行对比分析后发现: 采用 GPCC/CAMS 月降水量进行校准, 虽使 3B42 日降水数据的系统偏差接近 0, 但对于改善 A_B 、 C 和 P_D 等精度指标的效果甚小。同时, 由于 3B42 在 IR/MW 算法方面的不足, 故相对 CMORPH, 该数据对基准降水量的绝对值误差程度较高, 方差解释能力及分类估计精度相对较低。

今后应当采用有效的措施提高 TRMM 3B42 日数据的精度和性能, 使该数据不仅在平均意义上与地面降水量比较接近, 而且应当具有较小的误差方差和较高的分类估计精度。笔者认为可从两方面着手: ① 完善其 IR/MW 联合反演降水算法, 如吸取 CMORPH 等数据算法的优点, 改进热红外和微波遥感降水信息的联合利用方式; ② 进一步完善卫星遥感降水信息与地面降水信息的融合算法, 如进行日时间尺度上的校准。不仅进行降水均值校准, 而且进行方差、降水概率等特征参数的校准。

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[J]. 地球科学进展, 2011, 26(11): 1162-1172. (LIU Yuanbo, FU Qiaoni, SONG Ping, et al. Satellite retrieval of precipitation: An overview [J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(11): 1161-1172. (in Chinese))
- [2] HUFFMAN G J, BOLVIN D T, NELKIN E J, et al. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scales [J]. Journal of Hydrometeorology, 2007, 8(1): 38-55.
- [3] JOYCE R J, JANOWIAK J E, ARKIN P A, et al. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution [J]. Journal of Hydrometeorology, 2004, 5(3): 487-503.
- [4] SMITH E A, ASRAR G, FURUHAMA Y, et al. International global precipitation measurement (GPM) program and mission: An

- overview [M]//LEVIZZANI V, BAUER P, TURK F J. Measuring Precipitation from Space. Netherlands: Springer, 2007: 611-653.
- [5] XIE P, ARKIN P A. Gauge-based monthly analysis of global land precipitation from 1971 to 1994 [J]. Journal of Geophysics Research, 1996, 101:19023-19034.
- [6] SU F, HONG Y, LETTENMAIER D P. Evaluation of TRMM multisatellite precipitation analysis and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin [J]. Journal of Hydrometeorology, 2008, 9(4): 622-640.
- [7] TIAN Y, LIDARD-PETERS C D, CHOUDHURY B J, et al. Evaluation of GSMap precipitation estimates over the contiguous United States [J]. Journal of Hydrometeorology, 2010, 11(2): 566-574.
- [8] JIANG S, REN L, YONG B, et al. Evaluation of high-resolution satellite precipitation products with surface rain gauge observations from Laohahe Basin in northern China [J]. Water Science and Engineering, 2010, 3(4): 405-417.
- [9] SOHN B, HAN H J, SEO E K. Validation of satellite-based high-resolution rainfall products over the Korean peninsula using data from a dense rain gauge network [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2010, 49(4): 701-714.
- [10] KUBOTA T, USHIO T, SHIGE S, et al. Verification of high-resolution satellite-based rainfall estimates around Japan using a gauge-calibrated ground-radar dataset [J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2009, 87: 203-222.
- [11] HU Q F, YANG Dawen, WANG Yintang, et al. Accuracy and spatio-temporal variation of high resolution satellite rainfall estimate over the Ganjiang River basin [J]. Science China Technological Sciences, 2013, 56(4): 853-865.
- [12] 江西省水文局. 江西水系 [M]. 武汉:长江出版社, 2010: 1-3. (Hydrology Bureau of Jiangxi province. River system in Jiangxi province [M]. Wuhan: Changjiang Press, 2010:1-3. (in Chinese))
- [13] THORNTON P E, RUNNING S W, WHITE M A. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain [J]. Journal of Hydrology, 1997, 190(3): 214-251.
- [14] 罗阳, 赵伟, 翟景秋. 两类天气预报评分问题研究及一种新评分方法 [J]. 应用气象学报, 2009, 20(2): 129-136. (LUO Yang, ZHAO Wei, ZHAI Jingqiu. Dichotomous weather forecasts score research and a new measure of score [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20(2): 129-136. (in Chinese))

Characteristics and sources of errors in daily TRMM precipitation product over Ganjiang River basin in China *

HU Qingfang^{1,2}, YANG Dawen¹, WANG Yintang², YANG Hanbo¹, LIU Yong²

(1. Department of Hydraulic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering Science, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: In order to ensure rational utilization and to improve rainfall retrieval algorithms, it is of great significance to illustrate the characteristics and the sources of errors in the daily Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 3B42V6 precipitation product. In this study, we analyze the accuracy of three high resolution precipitation datasets at a spatial resolution of $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ degrees using daily rain gauge data observed over the Ganjiang River basin. The three datasets are daily TRMM and other satellites precipitation product (3B42V6 derived), TRMM (3B42RTV6), and NOAA Climate Prediction Center Morphing Technique (CMORPH). Results show that the bias (B) of 3B42V6 is substantially less than that of 3B42RTV6 and CMORPH. However, CMORPH is more accurate than 3B42V6 as measured by other accuracy indices including the absolute bias (A_B), the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (C) and the probability of detection (P_D). The lower B values obtained from the TRMM 3B42V6 precipitation product are due to the fact that the rainfall monthly ground station data are used to correct the original TRMM data. However, the scheme for merging microwave and infrared (IR) precipitation information in TRMM 3B42V6 may not be as effective as the ones in 3B42RTV6 and CMORPH. As a result, the TRMM 3B42V6 precipitation product has higher A_B but lower C and P_D values compared to CMORPH. A further comprehensive assessment on the quality of daily TRMM 3B42V6 precipitation product is thus warranted to improve the performance of the scheme for merging microwave and IR precipitation information as well as the method of merging the satellite-gauge data.

Key words: Satellite rainfall; TRMM; CMORPH; error interpretation; Ganjiang River basin

* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 51109136) and the National Non-Profit Research Program of China (No. 201001002).