

# TRMM3B42 降雨数据在渭河流域的应用分析

赵海根<sup>1</sup>, 杨胜天<sup>1</sup>, 周旭<sup>2</sup>, 王志伟<sup>1</sup>, 吴琳娜<sup>1</sup>

(1.北京师范大学地理学与遥感科学学院, 遥感科学国家重点实验室, 环境遥感与数字城市北京市重点实验室, 北京 100875; 2. 西华师范大学国土资源学院, 四川 南充 637009)

**摘要:**运用渭河流域 24 个气象站点日降雨数据对 2001~2012 年热带测雨卫星(TRMM)3B42 数据在不同子流域、不同降雨强度以及不同时间尺度的精度进行了对比验证, 并对比分析了基于 TRMM 和站点数据的渭河流域降雨时空分布特征。结果显示: 在不同子流域的日 TRMM 数据比站点观测数据对低值降雨更为敏感, 而在极大值降雨数据观测上两者差距较大, 月尺度 TRMM 站点观测数据确定性系数在 0.89 到 0.96 之间; 两种数据在流域降雨的时空分布上表现一致性, 在年内 6 月中旬~10 月初为湿润多雨期, 其余月份降雨较少, 空间分布呈东南部大, 西北部小的格局。

**关键词:**渭河流域; TRMM; 降雨; 精度验证; 时空分布

**中图分类号:**TV122; P338; G353.11 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0852(2015)01-0061-07

## 1 引言

降雨是区域水汽循环过程中的重要环节之一<sup>[1]</sup>, 因此, 对区域降雨的准确估计非常重要。但是, 受到地理位置、气象因子和地形等因素的影响, 降雨呈现出明显的时空差异性<sup>[2]</sup>。传统的获得空间降雨数据的途径是对站点观测数据进行空间插值和地理统计<sup>[3]</sup>, 这些方法的准确性很大程度上依赖地面降雨观测站点的数量和分布密度, 但是在偏远或者地形复杂的地区, 降雨站点稀少或者没有站点。

为了解决这个问题, 过去的几年中, 高时空高分辨率的卫星遥感降雨产品不断出现, 这为准确掌握降雨的时空分布提供了新的数据支撑<sup>[4-5]</sup>。TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission)卫星由美国国家宇航局和日本国家空间发展局共同研制, 其目的是通过研究热带地区的降雨量和潜热来进一步了解全球能量和水循环。目前, TRMM 3B42 数据已经在多个地区得到了广泛的验证。国际上, 例如在印度全境, La Plata 流域等地区进行了对 TRMM 3B42 数据的精度评价<sup>[6-7]</sup>, 国内也在如西北地区、淮河流域等多个地区和流域进行了验证分析<sup>[8-15]</sup>。

然而, 目前关于 TRMM 数据研究大都基于大空间

尺度而忽略了中小尺度上的数据差异, 尤其在中纬度的半干旱区、半湿润地区这方面的研究较少。渭河流域位于黄河中游, 地形复杂, 是湿润气候向半干旱气候的过渡区域。降雨主要以夏季暴雨的形式发生, 洪涝灾害频繁, 其作为黄河的第一大支流, 准确把握渭河流域的降雨时空分布对黄河中下游的防洪安全十分重要。一些学者针对渭河流域降雨也做了一些研究<sup>[16-17]</sup>, 但是这些研究都是基于站点观测数据, 缺乏对整个流域的卫星降雨资料的验证和时空分析。

因此, 本文的研究目标是对观测数据和 TRMM 数据在渭河流域各个子流域的面平均值进行精度验证同时对比分析两种降雨数据在渭河流域时空分布上的差异, 从而对 TRMM 数据在渭河流域的适用性做出评价, 同时也为 TRMM 应用于该流域的水文预报、水文过程模拟及水资源评价以及黄河中下游的防洪安全等方面提供可靠的科学依据。

## 2 数据来源与方法

### 2.1 研究区概况

渭河流域位于 104°00'E~110°20'E, 33°50'N~37°18'N 之间, 干流全长 818km。渭河流域(见图 1)总面积 13.5×10<sup>4</sup>km<sup>2</sup>, 流域地形特点为西高东低, 流域北部

为黄土高原,南部为秦岭山区。渭河两岸支流众多,其中泾河是渭河最大的支流,河长 455.1km,流域面积  $4.54 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占渭河流域面积的 33.7%。北洛河为渭河第二大支流,河长 680km,流域面积  $2.69 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占渭河流域面积的 20%。渭河流域属大陆性季风气候,冬季受蒙古高压控制,气候干燥寒冷,降水稀少;夏季受西太平洋副热带高压影响,夏热多雨。流域多年平均气温  $7.8 \sim 13.5^\circ\text{C}$  之间,多年平均降水量 610.4mm,多年平均蒸发量为  $700 \sim 1200 \text{ mm}$ <sup>[17]</sup>。

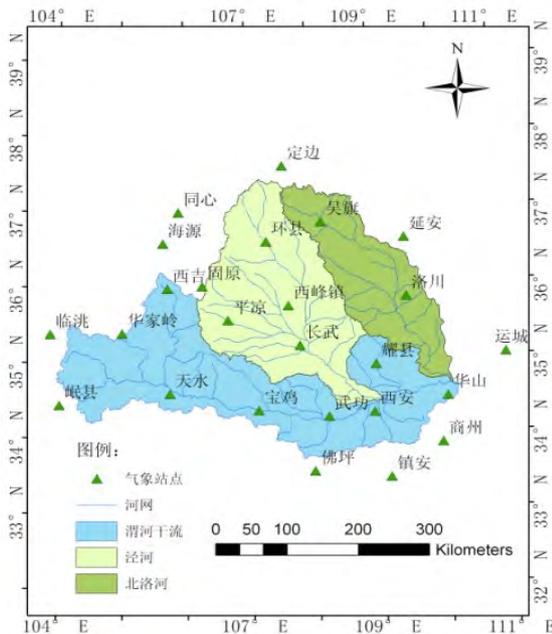


图1 渭河流域地理位置及气象站点分布

Fig.1 Location of Weihe River basin and distribution of meteorological stations

## 2.2 资料与方法

本文采用的 TRMM 降雨数据为 2001~2012 年 3B42 日降雨数据产品,空间分辨率为  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ ,月降雨量由日降雨数据逐日累加计算得到。同时,为检验该数据的精度,选用流域内及附近 24 个气象站(见图 1)同期观测日降雨量数据进行对比分析,各子流域及全流域面平均降雨量通过平均法计算得到,观测降雨量

的空间分布采用反距离权重法插值得到。

## 3 结果分析

### 3.1 渭河流域 TRMM 降雨数据精度验证

表 1 所示为渭河流域各子流域内 TRMM 数据和站点观测数据的降雨统计特征的对比。通过对三个子流域面平均降雨量的统计比较,地面站点观测雨量的统计结果与 TRMM 结果在区域分布上呈一致性,最大值出现在渭河干流流域,最小值出现在泾河流域,各子流域日差值在  $0.08 \sim 0.10 \text{ mm}$  之间,在正常范围之内;TRMM 数据和站点观测最大 1 日雨量在空间区域的分布跟日面平均降雨量不一致,其最大差值出现在泾河流域,为 25.10mm,其次为北洛河流域,为 4.95mm,渭河干流流域最小,为 1.61mm。而对于最大 5 日降雨量的统计,表 1 所示 TRMM 数据与站点观测数据在空间分布趋势与最大 1 日雨量一致,两者差值最大值出现在泾河,为 51.81mm,最小值出现在渭河干流流域,为 5.56mm。从最大 1 日雨量与最大 5 日雨量的统计对比中发现,TRMM 降雨数据与地面站点观测数据在暴雨的监测上存在差异,同时也表明 TRMM 对大强度降雨的探测能力不足。渭河流域各子流域年平均降雨量 TRMM 数据和站点观测数据的分布趋势同日面平均降雨一致,在数值绝对值上都是 TRMM 的数据大,这说明 TRMM 数据对于微小降雨的监测能力比较强。

图 2 为 TRMM 日降雨与站点观测日降雨发生率及雨量贡献率分布对比图,图中柱状图为两种降雨数据不同雨强的发生频率,折线图则表示在不同雨强下降雨量对于总的降雨量的贡献率。由图 2 可以看出,渭河干流上 TRMM 数据的无雨日发生率最小,仅为 3%,北洛河流域的无雨日发生率最大在 24%左右,整个渭河流域的无雨日发生率几乎为 0,而站点雨量统计各子流域无雨日发生率结果趋势同 TRMM 数据一致,但是数值远远大于 TRMM 数据,在 30%~38%左右,全流域统计值最小,比 TRMM 结果高 30%左右;对  $0 \sim 2 \text{ mm}$  小降雨事件的发生率,站点数据平均值比

表1 TRMM降雨与站点观测降雨量统计对比

Table1 Statistical comparison between TRMM rainfall and observation rainfall

子流域	日面平均降雨量 / mm		最大 1 日面雨量 / mm		最大 5 日面雨量 / mm		年面平均降雨量 / mm	
	TRMM	站点	TRMM	站点	TRMM	站点	TRMM	站点
渭河干流	1.54	1.44	42.68	44.29	181.13	186.69	561.35	527.26
泾河	1.41	1.33	36.80	61.90	167.94	219.75	513.19	487.42
北洛河	1.52	1.43	43.69	48.64	189.00	219.00	554.31	521.50

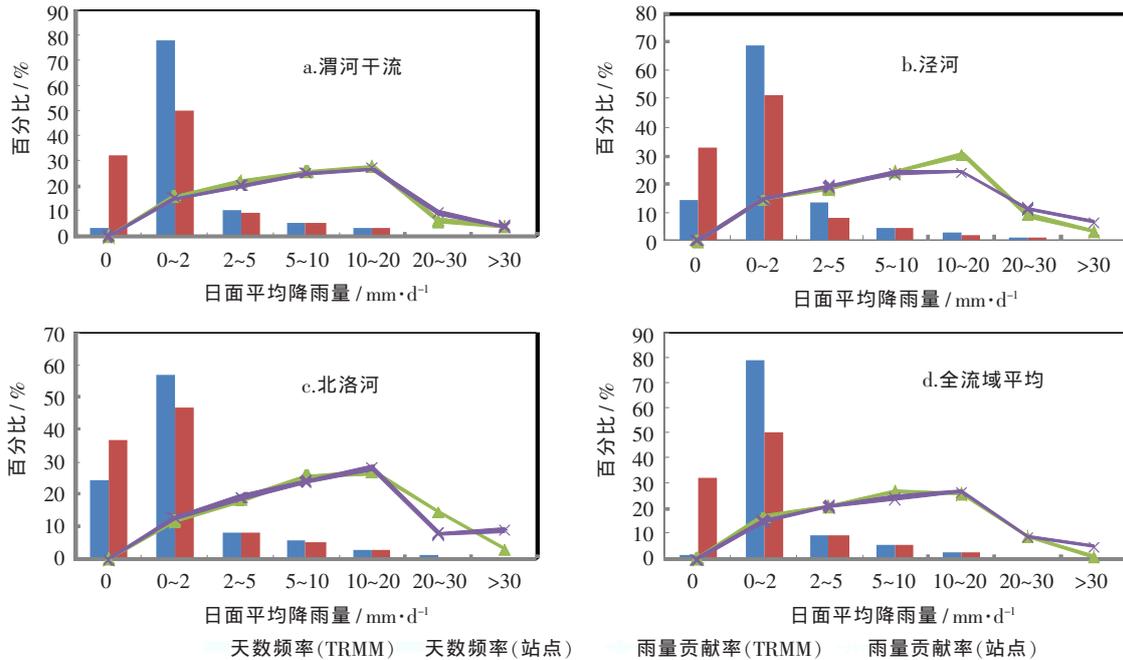


图2 TRMM 日降雨与站点观测日降雨发生率及雨量贡献率分布对比

Fig.2 Comparison of incidence and distribution of rainfall contribution rate between daily TRMM rainfall and daily observation rainfall

TRMM 数据统计结果偏小 19%左右,这主要是由于 TRMM 卫星探测日降雨小于 1mm 的微小降雨事件能力较强,而站点数据由于观测精度等限制,将微小降雨都归为无降雨所致,这也跟表 1 的统计结果一致。同时发现,对于无雨日和 0~2mm 降雨的总发生率,TRMM 数据与站点数据具有较高的一致性。对各子流域大于 2mm 以上降雨的发生率,TRMM 数据与站点数据统计结果趋势基本一致:以 2~5mm 和 5~10mm 的降雨占主体,大于 30mm 的降雨发生率在各子流域都很低。图 2 中所示,TRMM 与站点两种降雨数据不同雨强的降雨对总降雨量的贡献率基本相似,0~2mm 降雨虽然发生频率很高,但由于每次雨量较小,因此对总降雨量贡献也较小;相比之下 5~10mm 以及 10~20mm 的降雨日发生率不如 0~2mm 的降雨大但是其降雨量贡献率最大,两者总和占总降雨量的 50%左右,而大于 30mm 的降雨虽每次雨量较大,但发生频率很低,因此雨量贡献率也不高。

2001~2012 年渭河流域内各个子流域 TRMM 与站点月尺度降雨量散点图如图 3 所示。由图可以看出,在渭河流域各个子流域及其整个渭河流域 TRMM 和站点月降雨数据相关性比较好,确定性系数  $R^2$  都在 0.89 以上。其中在北洛河流域确定性系数最高,其值为 0.96,渭河干流流域的确定性系数最小为 0.89,全流域平均确定性系数  $R^2$  为 0.96。

### 3.2 渭河流域降雨时空分布特征

图 4 和图 5 为多年日面平均 TRMM 降雨和站点插值面平均降雨数据 7 日滑动平均对比以及平均日雨量差积曲线图。由图 4 可看出,TRMM 数据在年内变化差异较大,1~4 月份降雨量从 0.05 mm/d 逐渐增大,其中 5~6 月增幅较明显,至 7 月中旬最大达到 4.14mm/d 左右,之后两个月降雨量出现降低,9 月下旬降雨量降到 2.38 mm/d,从 10 月份开始直至 12 月份末降雨量迅速下降到 0.12 mm/d; 站点雨量数据在年内的变化也是比较大,其趋势跟 TRMM 降雨数据 7 日滑动平均雨量变化过程基本一致,但是跟 TRMM 数据相比,站点数据在 1~3 月份略大于 TRMM 7 日滑动平均值,在 4~7 月份明显小于 TRMM 数据,其最大值出现在 8 月份为 4.21mm/d,10 月份后跟站点数据偏差不太明显。图 5 中,TRMM 降雨差积曲线反映了渭河流域 12 年平均年内干旱与湿润期的变化,站点观测雨量的差积曲线与 TRMM 数据结果相似,两者揭示的渭河流域降雨年内变化特征是一致的,1~4 月为干旱少雨期,6 月中旬~10 月初为湿润多雨期,5 月上旬~6 月中旬可视为干旱向湿润的转折期,之后 10~12 月再次进入干旱少雨期。

基于 TRMM 和站点观测数据的渭河流域 2001~2012 年平均年降雨量空间分布如图 6 所示,两种数据的空间分布趋势相一致。整个渭河流域年降雨量分布

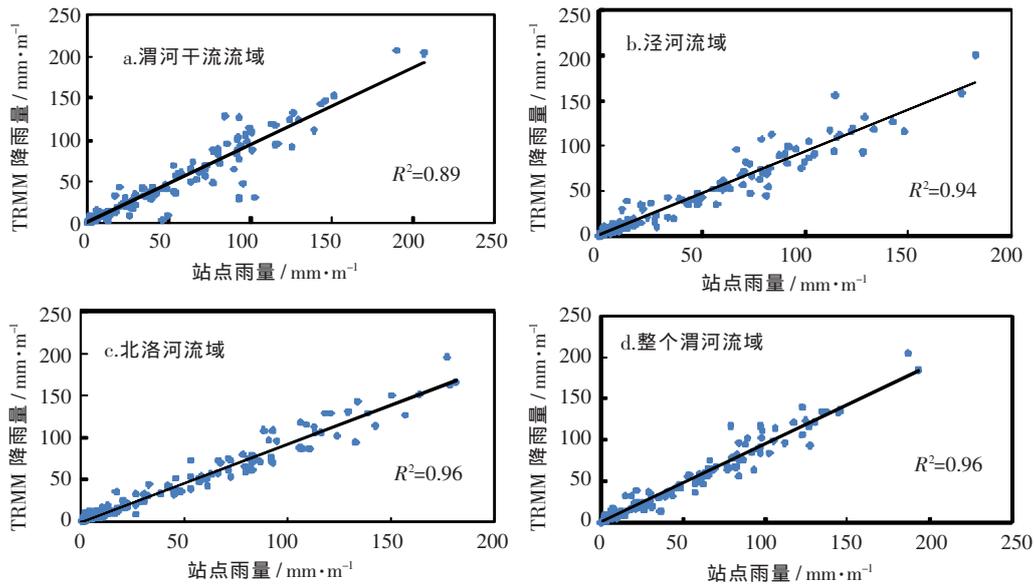


图3 各子流域 TRMM 与站点月降雨量散点图

Fig.3 The scatter plot between monthly TRMM and site rainfall in each sub-basin

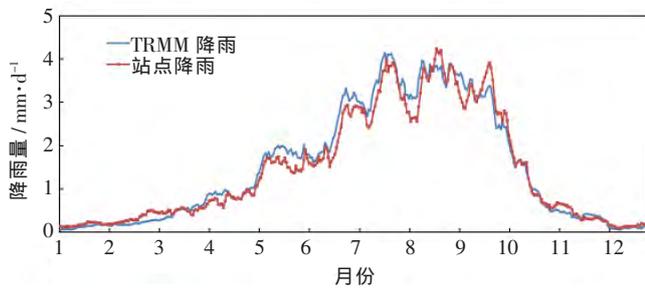


图4 TRMM 降雨数据和站点降雨数据逐月 7 日滑动平均对比图

Fig.4 The 7-day moving average comparison between monthly TRMM rainfall data and rainfall data

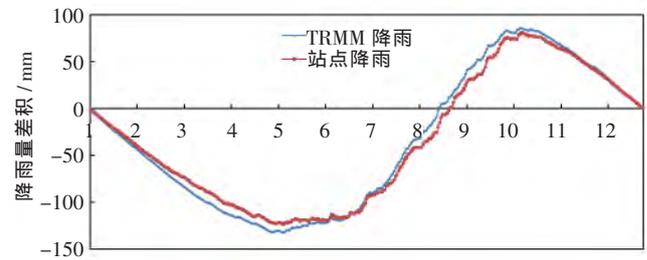


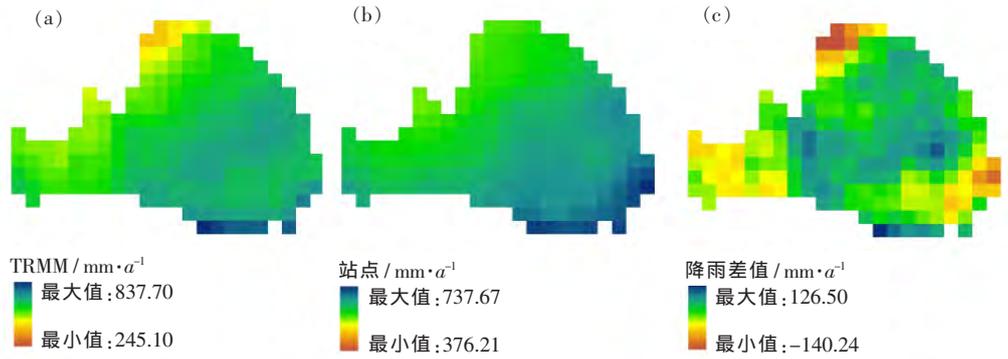
图5 TRMM 降雨数据和站点降雨数据平均日雨量差积曲线图

Fig.5 The graph of minus accumulation between average daily TRMM and site rainfall

大体上呈东南部大,西北部小,从西北向东南逐渐增加的格局。但是,两种数据又有各自的空间分布特点,TRMM 降雨在渭河主干道流域的中游和下游,泾河和北洛河的中游地区年降雨量比较大,超过了 640mm,特别是渭河流域的东南部年降雨量最大,超过 830mm。而在渭河流域主干道的上游,年降雨量较低,在 360~560mm 之间,年降雨量最小的区域出现在北洛河的上游(黄土高原部分),年降雨量在 250~500mm 之间。而通过站点观测值反距离插值得到的年平均降雨量空间分布与 TRMM 降雨结果相比,流域西部的渭河主干道上游地区和北洛河流域的上游地区低强度降雨区和流域东部高强度降雨区范围有所增加。同时,图 6(c)显示 TRMM 数据和站点插值数据的差值的极大值和极小值分别出现在渭河下游的南岸山区秦岭北麓和北洛河上游的黄土高原地区。在北洛河上游,TRMM

降雨绝对值较观测值差值的极值为-140mm,这是因为北洛河上游的纬度大于 37°,已经超出了 TRMM 数据的最佳观测纬度范围(-36°~36°),卫星传感器对降雨的测量出现了较大的偏差导致 TRMM 降雨值偏小;而在降雨量较大的渭河下游南岸山区 TRMM 数据较站点观测数据的差值的极值为 120mm 以上,这由于从东南吹来的太平洋暖湿气流,在爬越秦岭的同时给北坡也带来了降水。除了极值区域外,图 6(c)显示流域其他地区 TRMM 降雨和站点插值降雨数据也存在区别,这可能是雨量站点数量、分布及空间插值方法产生的不确定性和地形对 TRMM 数据精度的影响[18]两方面原因共同造成。

图 7(a)和(b)分别表示渭河流域的高程和坡度空间分布图,对比图 6 和图 7 可以看出,相对于坡度空间分布而言,TRMM 降雨空间分布受高程空间分布影

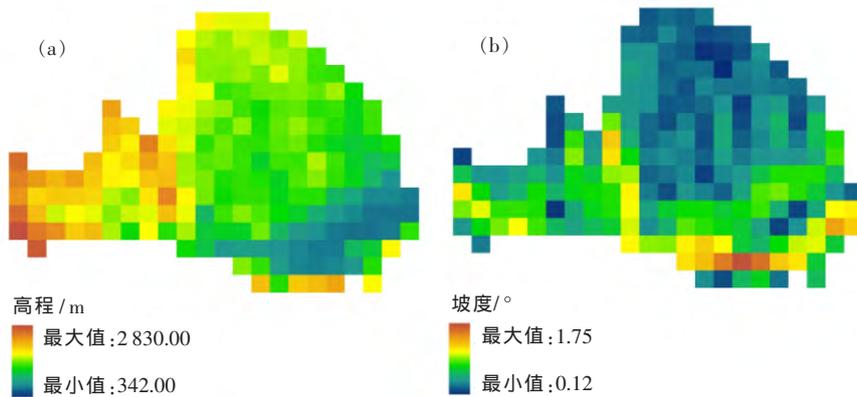


(a)TRMM 年平均降雨空间分布图;(b)站点插值年平均降雨空间分布图;(c)TRMM 和站点降雨差值空间分布图

图6 TRMM 降水与站点观测降水在 2001~2012年间年平均雨量空间分布对比图

(a) Spatial distribution of average annual TRMM rainfall; (b) Spatial distribution of average annual observed rainfall; (c) Spatial difference of TRMM and observed rainfall

Fig.6 The spatial distribution comparison between the average annual TRMM and observation rainfall during 2001~2012



(a)研究区高程空间分布图;(b)研究区坡度空间分布图

图7 渭河流域高程和坡度空间分布图

(a) Spatial distribution of elevation; (b) Spatial distribution of slope

Fig.7 The spatial distribution of elevation and slope in the Weihe river basin

响较大,除了研究区南部和北部少数地区外,流域基本上海拔越高降雨量越小,在相似海拔下坡度越大 TRMM 数据的降雨量越小,以上结果跟在其他流域的验证结果相似<sup>[19]</sup>。

图 8 表示的是 TRMM 数据除了在渭河流域南北极值区域外,网格尺度上的降雨数据与高程数据的相关性统计图。可以看出,TRMM 降雨数据随着海拔的升高而逐渐减小,TRMM 降雨数据在渭河流域与高程的相关性较好,为 0.62,这同时也说明了渭河流域高程对 TRMM 数据的影响不容忽视。

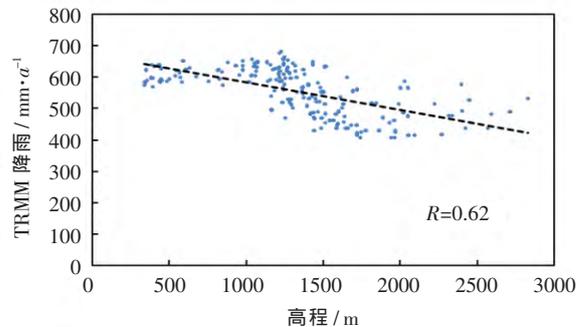


图8 渭河流域 TRMM 多年平均降雨与高程的相关统计图

Fig.8 The relative statistics of TRMM rainfall and elevation in the Weihe river basin

#### 4 结论

利用站点观测数据对 TRMM 数据在渭河流域不同子流域的精度进行了对比验证,并对比分析了两种

降雨数据在该流域的时空分布特征差异,弥补了以往只评价整体精度的不足。

对于渭河三个子流域,月尺度的 TRMM 降雨数据

与站点观测数据的相关性较高,并且 TRMM 对微小强度的降雨的感应能力比较强,对大的强降雨的探测能力不足。

对于渭河的三个子流域,TRMM 和站点数据的日面平均降雨量和年面平均降雨量空间分布趋势一致,都是渭河干流流域最大,泾河流域最小,但是降雨量绝对值都是 TRMM 数据大于站点插值数据;而两种降雨对于极值(最大 1 日雨量和最大 5 日雨量)的统计都显示出渭河干流流域的差异最小,泾河流域的差异最大。

两种降雨在渭河流域降雨的时间分布较为相似,1~4 月为干旱少雨期,6 月中旬~10 月初为湿润多雨期,5 月上旬~6 月中旬可视为干旱向湿润的转折期,之后 10~12 月再次进入干旱少雨期。

TRMM 数据和站点观测插值数据显示渭河流域多年平均降雨量空间分布基本一致,大体上呈东南部大,西北部小,从西北向东南逐渐增加的格局。由于在北洛河上游的纬度大于  $37^\circ$ ,已经超出了 TRMM 数据的最佳观测纬度范围( $-36^\circ \sim 36^\circ$ ),卫星传感器对降雨的测量出现了较大的偏差导致 TRMM 降雨值偏小,TRMM 降雨绝对值较观测值差值的极值为  $-140\text{mm}$ ;而在降雨量较大的渭河下游南岸山区 TRMM 数据较站点观测数据的差值的极值为  $120\text{mm}$  以上,这由于从东南吹来的太平洋暖湿气流在爬越秦岭的同时给北坡也带来了降水。除了极值区域外,渭河流域高程对 TRMM 降雨的影响比较大。

在渭河流域,TRMM 数据虽然基本上反应出了渭河流域多年降雨年内波动性较强、空间分布不均的时空变化特征,但是 TRMM 数据受到强降雨和地形的影响较大,故还需要进一步提高 TRMM 数据的精度,以便满足将来更为精确的应用需要。

#### 参考文献:

- [1] Gourley J J, Vieux B E. A method for identifying sources of model uncertainty in rainfall-runoff simulations [J]. *Journal of Hydrology*, 2006,327(1-2):68-80.
- [2] 余钟波.流域分布式水文学原理及应用[M].北京:科学出版社,2008. (YU Zhongbo. Distributed Watershed Hydrology Principles and Applications [M]. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese))
- [3] Kurtzman D, Navon S, Morin E. Improving interpolation of daily precipitation for hydrologic modelling: spatial patterns of preferred interpolators [J]. *Hydrological Processes*, 2009,23:3281-3291.
- [4] Sorooshian S, Hsu K, Gao X, et al. Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2000,81(9):2035-2046.
- [5] 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.
- [6] Rahman H, Sengupta D. Preliminary comparison of daily rainfall from satellites and indian gauge data [R]. CAOS Technical Report No. 2007AS1, Centre for Atmospheric and Oceanic Sciences, Indian Institute of Science, 2007, Bangalore-12.
- [7] Su F G, Hong Y, Lettenmaier D P. Evaluation of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2008,9(4):622-640.
- [8] Li X H, Zhang Q, Xu C Y. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin [J]. *Journal of Hydrology*, 2012,426-427:28-38.
- [9] LIU Junzhi, ZHU A-Xing, DUAN Zheng. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation product using rain gauge data in Meichuan watershed, Poyang lake basin, China [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2012,4(3):359-366.
- [10] 郝振纯,董凯,张磊磊,等. TRMM 降水资料在青藏高原的适用性分析[J]. *水文*, 2011,31(5):19-23. (HAO Zhenchun, TONG Kai, ZHANG Leilei, et al. Applicability analysis of TRMM precipitation estimates in Tibetan plateau [J]. *Journal of China Hydrology*, 2011,31(5):19-23. (in Chinese))
- [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[J]. *干旱区地理*, 2013,36(3):372-382. (YANG Yanfen, LUO Yi. Evaluation on detective ability of TRMM remote sensing precipitation in a rid region of north west China [J]. *Arid Land Geography*, 2013,36(3):372-382. (in Chinese))
- [12] 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):1415-1425. (LV Yang, YANG Shengtian, CAI Mingyong, et al. The applicability analysis of TRMM precipitation data in the Yarlung Zangbo river basin [J]. *Journal of Natural Resources*, 2013,28(8):1415-1425. (in Chinese))
- [13] 季漩,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 Xuan, LUO Yi. Quality assessment of the TRMM precipitation data in mid Tianshan mountains [J]. *Arid Land Geography*, 2013,36(2):253-262. (in Chinese))
- [14] 杨传国,余钟波,林朝晖,等. 基于 TRMM 卫星雷达降雨的流域陆面水文过程[J]. *水科学进展*, 2009,20(4):461-466. (YANG Chuanguo, YU Zhongbo, LIN Zhaohui, et al. Study on watershed hydrologic processes using TRMM satellite precipitation radar products [J]. *Advances in Water Science*, 2009,20(4):461-466. (in Chinese))
- [15] 刘俊峰,陈仁升,卿文武,等. 基于 TRMM 降水数据的山区降水垂直分布特征[J]. *水科学进展*, 2011,22(4):447-454. (LIU Junfeng, CHEN Rensheng, QIN Wenwu, et al. Study on the vertical distribution of precipitation in mountainous regions using TRMM data [J]. *Advances in Water Science*, 2011,22(4):447-454. (in Chinese))
- [16] 何毅,王飞,穆兴民,等. 渭河流域降水和气温的时空特征分析[J]. *水*

- 土保持通报, 2012,32(4):103-105. (HE Yi, WANG Fei, MU Xing-min, et al. The analysis of temporal characteristics of rainfall and temperature in Wei River basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012,32(4):103-105. (in Chinese)).
- [17] 刘燕, 胡安焱. 渭河流域近 50 年降水特征变化及其对水资源的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2006,20(1):85-87. (LIU Yan, HU Anyan. Changes of precipitation characters along Weihe basin in 50 years and its influence on water resources [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006,20(1):85-87. (in Chinese))
- [18] 毛江玉, 吴国雄. 基于 TRMM 卫星资料揭示的亚洲季风区夏季降雨日变化[J]. 中国科学:地球科学, 2012,42(4):564-576. (MAO Jiangyu, WU Guoxiong. Diurnal variations of summer precipitation over the Asian monsoon region as revealed by TRMM satellite data [J]. Sci. China Earth Sci., 2012,55:554-556. (in Chinese))
- [19] Zeng H W, Li L J, Hu J M, et al. Accuracy validation of TRMM multisatellite precipitation analysis daily precipitation products in the Lancang river basin of China [J]. Theor Appl Climatol, 2013,112:359-401.

## Application Analysis of TRMM 3B42 Precipitation Data in Weihe River Basin

ZHAO Haigen<sup>1</sup>, YANG Shengtian<sup>1</sup>, ZHOU Xu<sup>2</sup>, WANG Zhiwei<sup>1</sup>, WU Lingna<sup>1</sup>

(1. School of Geography, State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Key Laboratory of Remote Sensing of Environment and Digital Cities, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. School of Land and Resource, China West Normal University, Nanchong 637009, China)

**Abstract:** The study used the data from 24 rain gauge stations in the Weihe River Basin to validate the accuracy of Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) 3B42 precipitation product data over the period during 2001-2012 at different sub-basins, different rain intensities and different time scales, and analyzed the differences of temporal and spatial distribution characteristics of TRMM and the observed data in the Weihe River Basin. The results show that the daily TRMM data are more sensitive to lower rainfall values than the observed rainfall values and larger differences existing for extreme values in different sub-basins. The determination coefficients are from 0.89 to 0.96 between TRMM data and the observed data at monthly scale. The distributions in year for the two kinds of data are similar in the Weihe River Basin, from July to early October is humid and rainy period and there are less rainfalls in other months; comparing to the northwest in the basin, there is more rainfall in the southeast for the two kinds of data.

**Key words:** Weihe River Basin; TRMM; precipitation; accuracy validation; temporal and spatial distribution.

(上接第 32 页)

## Memory Effects and Post-processing Methods in Hydrogen and Oxygen Isotope Determination

MA Tao<sup>1,2,3</sup>, LIU Jiufu<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Jianyun<sup>1,2,3</sup>, WANG Guoqing<sup>1,2,3</sup>, HE Ruimin<sup>1,2,3</sup>, LIU Hongwei<sup>1,2,3</sup>, LIU Cuishan<sup>1,2,3</sup>  
(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Research Center for Climate Change, MWR, Nanjing 210029, China;  
3. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** There are several experiments for memory effect analysis and post-processing method analysis carried on in this study, using a liquid water isotope analyzer based on the theory of off-axis integrated cavity output spectroscopy (OA-ICOS). The performance characteristics and impacts on the determination results from the analyzer of memory effect were analyzed through these experiments. And the post-processing methods in the hydrogen and oxygen isotope determination were discussed. The results indicate that the memory effect is significant in hydrogen isotope determination. However, the performance of the memory effect is not obvious in oxygen isotope determination using conventional method. Basically, the accuracy of liquid-water isotope analyzer can be ensured in hydrogen and oxygen isotope determination using the conventional methods. It is shown that the accuracy of hydrogen and oxygen isotope analysis can be improved by increasing determination times. It is an effective way to improve the efficiency and accuracy of isotope determination and save the experimental costs by choosing three standard samples which  $\delta$  values are most closely to that of the samples in hydrogen and oxygen isotope determination and post-processing.

**Key words:** isotope; memory effect; spectroscopy; liquid water; LGR