

# 热带测雨卫星数据在黑河流域的精度及应用

赵军<sup>1</sup>, 刘原峰<sup>1</sup>, 朱国锋<sup>1,2</sup>, 师银芳<sup>1</sup>, 李佳芳<sup>1</sup>, 杨玲<sup>1</sup>, 黄永生<sup>1</sup>, 胡鹏飞<sup>1</sup>

(1. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 冰冻圈科学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** [目的] 验证热带测雨卫星数据 TRMM(tropical rainfall measuring mission)3B43 降水产品在黑河流域内的精度及可用性, 了解全流域降水的空间分布, 为西北干旱区流域开展水文和生态研究提供数据支持。[方法] 基于黑河流域 1998—2013 年 TRMM 3B43 V7 数据和 11 个气象站点数据, 使用相关系数、均方根误差、平均误差、平均绝对误差等主要指标评估其在流域内精度, 揭示各指标空间分布特征。[结果] (1) TRMM 数据与实测数据有极强的统计相关性和趋势一致性, 但存在不同程度高估现象, 月平均高估 2.84 mm, 季、年尺度高估值分别达到 8.55 和 34.1 mm; (2) 相关系数、均方根误差, 从上游到下游依次降低, 平均误差在 3 尺度上上游值均远低于中下游, 平均绝对误差在年尺度上游最低, 下游次之, 中游最高, 而在季节尺度上中游相差不大, 下游最小, 月尺度从上游到下游平均绝对误差值逐渐递减。[结论] TRMM 数据显示黑河流域多年平均降雨量呈西南部向中、北部递减的分布格局, 且降水量具有上游>中游>下游的梯度分布, 降水年内分配不均, 主要集中在 5—9 月。

**关键词:** 黑河流域; TRMM3B43; 降水; 精度

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1000-288X(2016)03-0309-07

**中图分类号:** P426.6

**文献参数:** 赵军, 刘原峰, 朱国锋, 等. 热带测雨卫星数据在黑河流域的精度及应用[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 309-315. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.053

## Accuracy and Application of Tropical Rainfall Measuring Mission Data in Heihe River Basin

ZHAO Jun<sup>1</sup>, LIU Yuanfeng<sup>1</sup>, ZHU Guofeng<sup>1,2</sup>, SHI Yinfang<sup>1</sup>,  
LI Jiafang<sup>1</sup>, YANG Ling<sup>1</sup>, HUANG Yongsheng<sup>1</sup>, HU Pengfei<sup>1</sup>

(1. College of Geography and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. State Key Laboratory of Cryosphere Sciences, Cold and Arid Regions

Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

**Abstract:** [Objective] To verify and use TRMM(tropical rainfall measuring mission) 3B43 precipitation product in the Heihe river basin(HRB) in order to understand the spatial distribution of precipitation and provide reliable data for hydrological and ecological studies. [Methods] The TRMM 3B43 V7 precipitation data and 11 meteorological data in HRB was collected from 1998 to 2013. The indices including CC(correlation coefficient), RMSE(root-mean-square error), ME(mean error) and MAE(mean absolute error) were used to assess the accuracy of TRMM data within the basin, and the spatial distribution characteristics of each index was investigated. [Results] It showed that there was an extremely significant correlation between TRMM and the observed data, but the TRMM data might be a little bit overestimated, monthly average rainfall could be overestimated by 2.84 mm, and seasonal and annual value could be overestimated by 34.1 and 8.55 mm, respectively. The value of CC and RMSE decreased from upstream to downstream, the ME value in upstream was far lower than in the middle and lower reaches at all three scales. The value of MAE was the lowest in upstream, but it is highest in the middle reaches at the annual scale, and a similar trend was found

收稿日期: 2015-06-02

修回日期: 2015-07-29

资助项目: 国家自然科学基金项目“中国潜在草原格局演替及其对气候变化响应的 GIS 模拟”(D010702); 中国科学院冰冻圈科学国家重点实验室开放基金(SKLCs-OP-2014-11); 西北师范大学青年教师科研能力提升计划项目(NWNU-LKQN-13-10); 国家重大科学研究计划项目(2013CBA01800); 农业部耕地及粮食安全本底调查重大专项

第一作者: 赵军(1963—), 男(汉族), 山西省河津市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事资源环境遥感与 GIS 应用方面研究。E-mail: zhaojun@nwnu.edu.cn.

通讯作者: 朱国锋(1983—), 男(汉族), 甘肃省平凉市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事寒旱区水文方面研究。E-mail: gzfzhu@lab.ac.cn.

at the seasonal scale. The MAE value decreased from upstream to downstream at the monthly scale. [Conclusion] According to the TRMM data, the distribution of the annual average rainfall decreased from the southwest to north and central part of the basin. The precipitation gradient distributed showed as upstream > midstream > downstream. The annual precipitation distributed unevenly, mainly concentrated in the period from May to September.

**Keywords:** Heihe river basin; tropical rainfall measuring mission 3b43; precipitation; accuracy

降水是全球水文和水循环过程中最活跃的物理过程之一,同时也是水文过程模拟、水平衡分析和水循环过程模拟中重要的参数指标,其精度决定着模拟结果的可靠性<sup>[1]</sup>。长期以来,地面雨量计、气象观测台站、地基测雨雷达是获取降水数据的主要途径,由于受制于站点空间位置、分布密度的影响,虽对单点降水观测精度较高,但无法获取较大尺度的降水资料,从而不能准确把握降水的空间分布特征和强度变化趋势<sup>[2-3]</sup>。在中国西部山区,站网密度远低于国际气象组织标准<sup>[4]</sup>,不能有力支持水文生态等相关研究<sup>[5]</sup>。近年来,卫星遥感和地理信息技术的发展在降水观测方面提供了新的途径和技术<sup>[6]</sup>。由美国国家航空航天局(NASA)和日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)共同研制开发的热带测雨任务卫星(tropical rainfall measuring mission, TRMM)携带了全球第一个星载测雨雷达(precipitation radar, PR),目前已提供了大量高时空分辨率的降水探测数据,其数据产品已广泛应用于水文模型模拟<sup>[7-8]</sup>,降雨时空分布<sup>[9]</sup>,土壤水分反演<sup>[10]</sup>,极端天气监测<sup>[11-12]</sup>,天气系统分析<sup>[13]</sup>等研究领域。伴随着 TRMM 降雨数据在各研究领域的广泛应用,其精度问题受到各领域的广泛关注,成为遥感反演降水研究的热点。

目前,已有研究在降水空间分布特征分析和精度验证方面做了大量工作。Mantas 等<sup>[14]</sup>在秘鲁安第斯山脉分别将 TRMM 多卫星降水分析产品 3B42V7, 3B42 RT 与气象观测数据对比分析得出两者相关性较高,且由于气候和地形因素的影响,验证结果显示出极强的地域依赖性。Islasm 等<sup>[15]</sup>利用全球降水监测任务卫星(the global precipitation measuring, GPM)验证网中的 22 个路基雷达站点的 22 个瞬时降水观测数据验证了 TRMM version 6 的 2A25 和 2B31 数据,其相关系数  $r$  达到 0.91。在国内,曾红伟等<sup>[16]</sup>在澜沧江流域使用主成分分析法比较了高程和坡度对 TRMM 3B43 的影响程度,发现高程对 TRMM 3B43 数据精度的影响小于坡度,且坡度越大,数据精度越低。朱国锋等<sup>[17]</sup>利用相关系数法和散点斜率法在横断山区对 TRMM 3B43 降水数据精度进行了检验,得出 TRMM 3B43 降水数据与实测数据相关性很强,但存在降水量高估现象。刘

俊峰等<sup>[18]</sup>利用中国 650 个气象台站降水数据,在不同时间尺度上分析了 TRMM 3B42 降水数据在中国大陆 50°N 以南地区的适用性,发现随着时间尺度的增加,TRMM 降水数据的精度逐渐提高。李相虎等<sup>[2]</sup>、齐文文等<sup>[19]</sup>分别利用 TRMM 3B42, 3B43 降水数据得到了鄱阳湖流域和青藏高原的降雨时空分布特征。

为了验证 TRMM 3B43 降水产品在降水量较少的干旱地区可靠性。本研究采用 1998 至 2013 年黑河流域内 11 个气象观测站点逐月降水量数据,采用 ARCGIS 空间分析和地统计学方法对同时期流域内 TRMM 3B43 降水数据进行评价。探讨其在黑河流域内的精度状况及可用性。以期对全流域降水的空间分布有进一步全面的认识,为流域内深入开展水文和生态研究提供数据支持。

## 1 研究区概况

黑河流域位于 37°50'—42°40'N, 98°—101°30'E, 东与石羊河流域相邻,西与疏勒河流域相接,北至内蒙古自治区额济纳旗境内的居延海,与蒙古国接壤,上游流域东西几乎横跨整个河西走廊,流域面积 14.29 km<sup>2</sup>,为中国第 2 大内陆河流域。发源于祁连山北麓,干流全长 821 km,平均海拔高度 3 738 m。流域地势南高北低,地貌类型齐全,下垫面状况复杂多样,按海拔高度和自然地理特点分为上游祁连山地、中游走廊平原和下游阿拉善高原 3 个地貌类型区。黑河流域位于欧亚大陆中部,远离海洋,周围高山环绕,气候主要受中高纬度的西风带环流控制和极地冷气团影响,气候干燥,降水稀少而集中,上游山区是黑河流域的产流区年降水量 200~700 mm,中游平原年降水量 50~200 mm,下游高原和盆地年降水量不足 50 mm。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 研究数据

本文采用了美国国家航空航天局(NASA)Gorrdard 中心于 2012 年 5 月 22 日最新发布的 1998—2013 年 TRMM 3B43 version 7 逐月数据集(<http://mirador.gsfc.nasa.gov/>);其空间分辨率为 0.25°×0.25°;空间范围为 180°W—180°E, 40°S—40°N;该数据集由

TRMM 3B42 3h 降水产品、NOAA 气候预测中心气候异常监测系统(CAMS)的全球地面格点雨量计测量资料和全球降水气候中心(GPCC)的全球降水资料整合制作而成,数据从 1998 年发布至今<sup>[20]</sup>。研究中季节降水量由月降水强度计算得到,年降水量则由月降水数据累加计算得到。同时,根据实测站点分布均匀性和实际资料完整性考虑,选取黑河流域内额济纳旗、马鬃山、鼎新、金塔、酒泉、高台、托勒、张掖、祁连、野牛沟、山丹这 11 个气象站点逐月降水数据作为充分可信的地面降水“真值”数据与 TRMM 3B43 数据进行对比分析,验证其数据精度和可靠性。其中 11 个气象站点数据来自于自中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)。气象站点空间分布及地理信息见表 1。

表 1 气象台站基本地理信息

编号	台站名称	纬度(N)	经度(E)	海拔/ m	1998—2013 年 均降水量/mm
52267	额济纳旗	41.94	101.09	940.5	31.63
52446	鼎新	40.31	99.51	1 177.4	58.96
52447	金塔	40.00	98.91	1 270.5	68.20
52546	高台	39.36	99.79	1 332.2	115.05
52533	酒泉	39.70	98.50	1 477.2	91.74
52652	张掖	38.91	100.46	1 482.7	133.44
52661	山丹	38.77	101.08	1 764.6	212.63
52323	马鬃山	41.51	97.11	1 770.4	63.56
52657	祁连	38.19	100.24	2 787.4	422.25
52633	托勒	39.03	98.01	3 367	334.09
52645	野牛沟	38.42	99.58	3 376	455.34

## 2.2 研究方法

本研究采用统计学中衡量降雨量差异的常用指标方法,主要有相关系数(CC)、均方根误差(RMSE)、平均误差(ME)、平均绝对误差(MAE)<sup>[21]</sup>。其中 CC 用

来衡量 3B43 估计值与气象站点观测值之间的线性相关程度;

$$CC = \frac{\text{Cov}(R^{\text{TRMM}}, R^{\text{gauge}})}{\sqrt{\text{var}(R^{\text{TRMM}})} \sqrt{\text{var}(R^{\text{gauge}})}} \quad (1)$$

式中:  $R^{\text{TRMM}}$ ——TRMM 3B43 估计降水量;  $R^{\text{gauge}}$ ——气象站点观测降水量(mm); Cov——协方差; var——方差。下同。

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i^{\text{TRMM}} - R_i^{\text{gauge}})^2}{n}} \quad (2)$$

式中: ME——TRMM 与实测值平均误差大小;  $n$ ——数据记录总个数;  $i$ ——全体数据中第  $i$  个数据。下同。

$$\text{ME} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_i^{\text{TRMM}} - R_i^{\text{gauge}}) \quad (3)$$

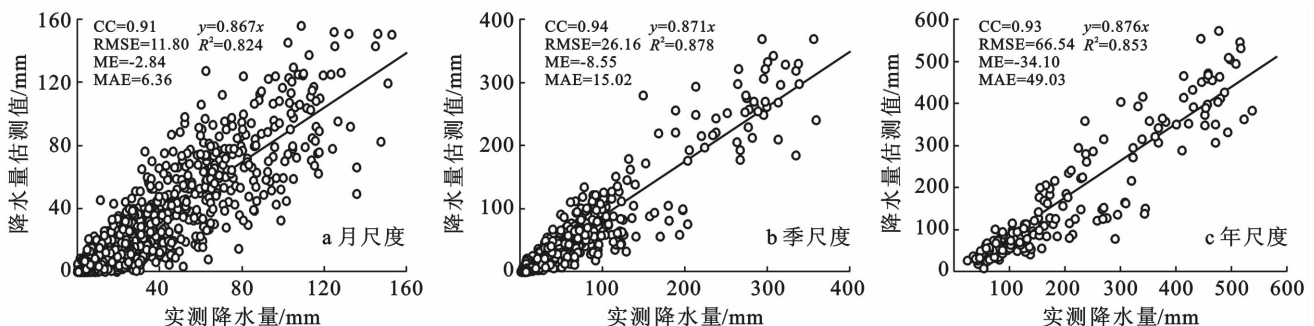
式中: MAE——反映两数据间的绝对误差量<sup>[20]</sup>。

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |R_i^{\text{TRMM}} - R_i^{\text{gauge}}| \quad (4)$$

## 3 结果与分析

### 3.1 流域整体精度评估

通过整合研究区 11 个气象观测站点 1998—2013 年月季年观测降水量为自变量,其对应的所在 TMPA 格网内降水量为因变量做一元线性回归分析,综合分析 3B43 在整个区域的精度(图 1)。结果表明,3B43 的月季年尺度降水估测值与实测值均呈显著相关关系,相关系数分别达到 0.91(月尺度),0.94(季尺度),0.93(年尺度),决定系数  $R^2 = 0.824$ ,说明 TRMM 3B43 数据与站点观测值之间具有明显的线性相关特征和相互一致性。且总体而言,对于各个站点实测值,TRMM 3B43 降水估计值存在不同程度的偏高。



注:CC 表示相关系数;RMSE 表示均方根误差;ME 表示平均误差;MAE 表示平均绝对误差。下同。

图 1 多时间尺度下黑河流域气象站点 1998—2013 年 TRMM 3B43 与地面观测站降水量

### 3.2 流域内个体精度评估

在月尺度上,分别以各个气象站 1998—2013 年月观测降水量为自变量,以其所在 TRMM 3B43 格网

降水估计值为因变量,做一元线性回归分析得到气象站点降水数据与对应 TRMM 3B43 降水数据之间的趋势,比较其相关系数  $R$  值(图 2)。由图 2 可以看

出,大部分气象观测站的观测数据与 TRMM 3B43 估测降水值之间呈现出较高的相关性,这进一步验证了流域内,气象观测值与 TRMM 3B43 数据之间明显的线性关系,其中野牛沟台站最高,达到 0.947。而金塔的相关系数最低( $R=0.698$ ),说明金塔台站观测降水值与 TRMM 3B43 数据之间的线性关系较弱。

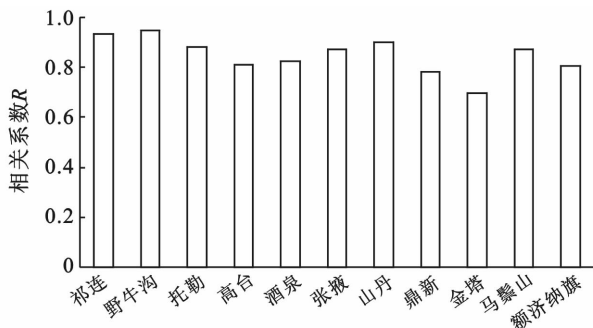


图 2 黑河流域内各站点 1998—2013 年 TRMM 3B43 与观测降水量散点趋势的相关系数比较

### 3.3 降雨量精度评价指标空间分布

3B43 估测降水量精度的评价指标呈现出一定的空间分布格局。由图 3 可以看出,黑河流域的 CC 值普遍较高,呈现中高度相关性,而东部及南部的上游站点 CC 值高于西部和北部,其中,位于上游的野牛沟气象站的 CC 值最高,达到 0.947,西部和北部 CC 值有所降低,其中金塔的 CC 值最低,为 0.698。从整个流域空间分布分析,CC 值呈现从东南向西北减小的趋势,在中下游干旱少雨区域,3B43 估测值与站点观

测值的相关性有所降低。但总体上,研究区的相关性相近甚至高于中高纬度地区的研究结果<sup>[22]</sup>,内蒙古自治区( $37^{\circ}\sim 53^{\circ}$ )所得到的 CC 值为 0.46~0.69。

RMSE 空间分布特征则较显著,上游至下游依次递减,上中游约占流域 64% 的站点 RMSE 值在 8~18.8 mm。上游和中游地区部分站点由于年降水量和降水频率均较高,易造成 3B43 降水估测值产生较大误差,从而导致此区域内站点 RMSE 值偏大;ME 值在黑河流域内除山丹站 $<0$ 外,其他站点均 $>0$ ,这说明 TRMM 3B43 降水量除在山丹外大部分站点都高于站点观测值,导致 TRMM 3B43 月降水量普遍偏高 0.04~11.73 mm/m,其中偏差最大的是金塔、酒泉和张掖站点,分别偏高 4.04,5.02,11.73 mm/m,且站点平均高估 2.84 mm/m;MAE 空间分布与 RMSE 相似,这是由于两者皆为反映误差量的指标。1998—2013 年黑河流域月降水量 MAE 值在 2.15~12.02 mm 范围之间,约 73% 的站点 MAE 值 $>5$  mm。

### 3.4 年季月尺度降雨过程的比较

为了直观呈现出研究区不同特征区域降水误差随时间变化的特征,在流域内上、中、下游分别选取 1 个网格(各网格内仅包含一个站点)来代表不同区域 3B43 降水量和实测值的时间变化,对比分析年季月尺度 2 者间的降水过程(图 4)。从 3 个网格的 4 个评价指标来看,3B43 能较好的描述研究区上、中、下游年季月尺度的降水特征,其变化趋势与站点实测结果基本吻合。

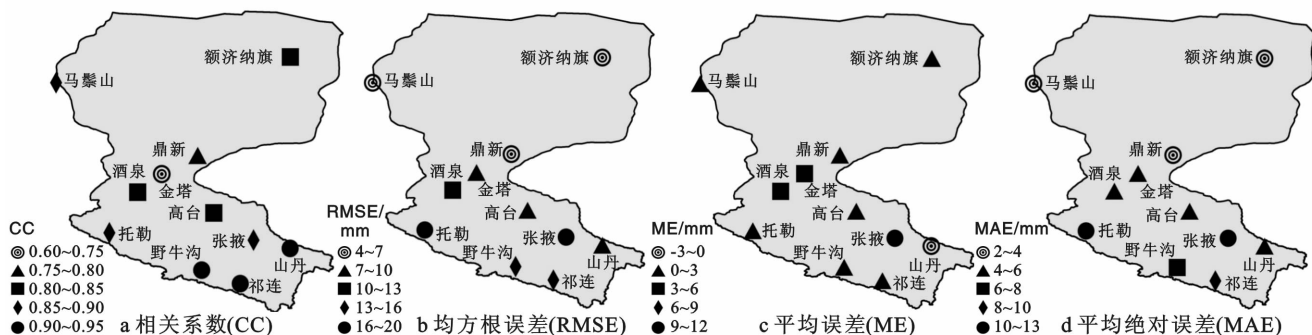
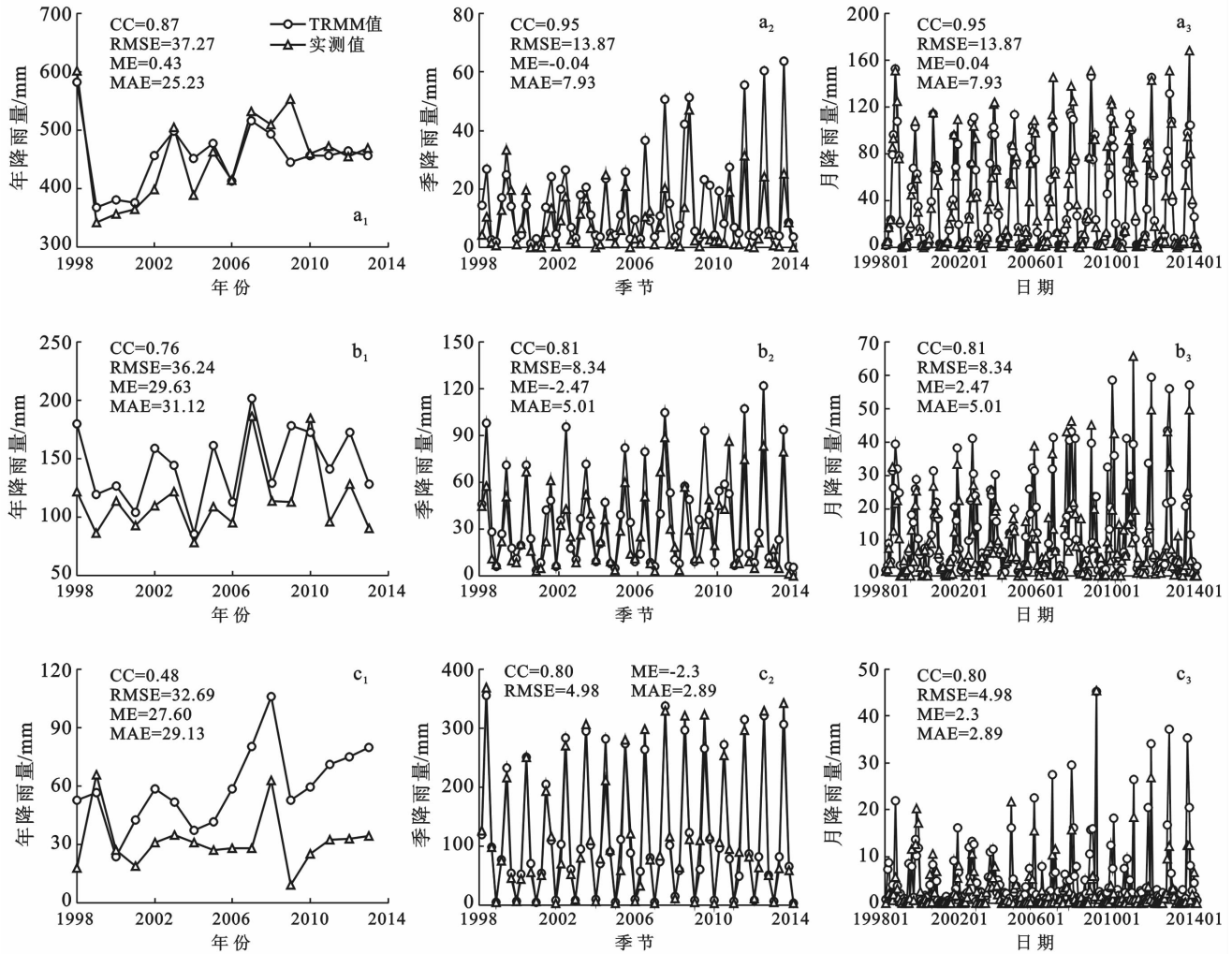


图 3 降水量精度评价指标空间分布

年尺度上,TRMM 降水数据在上游和中游站点所在网格值对应站点值的一致性显著高于下游,且从上游到下游依次降低。由图 4 可以看出,1998—2013 年,上游野牛沟站约有 44% 的年份 TRMM 值大于实测值,而中、下游高台站和额济纳旗站则分别有约 94% 及 88% 的年份 TRMM 降水量不同程度地高于站点实测值。且中下游站点 TRMM 数据误差明显高于上游站点,其中上游 ME 仅为 0.43 mm,中下游

则分别达到 29.63 和 27.60 mm。季节尺度,上游网格 TRMM 高估的季节占了 56%,低于中下游的 70% 和 89%。ME 在月尺度上,3 个网格 TRMM 数据高估的累积月份所占比例从上游到中下游逐渐升高,为 57%,64% 和 84%,说明在 TRMM 3B43 月降水量高估频率存在从上游到下游递增的趋势,并且 ME 在上中下游网格为 0.04,2.47,2.3 mm,表明在数量上同频率一样有着递增的分布特征。



注:  $a_1, a_2, a_3$  为野牛沟站年、季、月尺度降水量变化对比;  $b_1, b_2, b_3$  为高台站年、季、月尺度降水量变化对比;  $c_1, c_2, c_3$  为额济纳旗站年、季、月尺度降水量变化

图 4 3 个不同格网内气象站点不同尺度降水量变化对比

综上所述,在黑河流域,对于 TRMM 3B43 月降水数据而言,在年季月尺度上,CC, RMSE, ME 以及 MAE 评价指标在研究区内均呈现出由上游经中游至下游的地带性差异。其中各尺度 CC, RMSE, 从上游到下游依次降低; ME 值在三尺度上上游值均远低于中下游; MAE 在年尺度上游最低,下游次之,中游最高,而在季节尺度上中游相差不大,下游最小,月尺度从上中下游 MAE 值逐渐递减。

### 3.5 黑河流域 TRMM 降水量时空分布特征

根据图 5 可知,黑河流域 1998—2013 年上中下游逐年降水量具有上游>中游>下游的梯度分布,并分别呈上升趋势,其中上游年降水量处于 279.95~463.78 mm, 2007 年达到峰值,相应的中下游也在 2007 年位于 16 a 来年降水量最高值,分别达到 209.05 和 93 mm。上中下游年降水量最小值出现在 1999, 2004, 2000 年,相应降水量为 279.95, 116.52 和 38.40 mm。

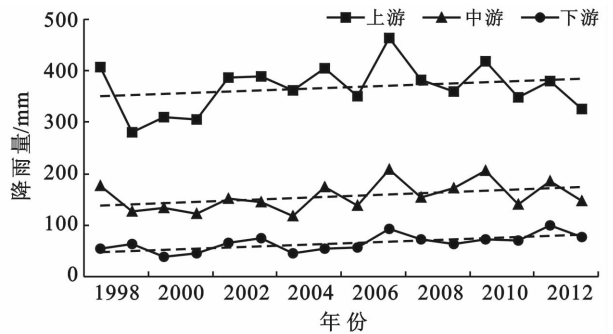


图 5 黑河上中下游 1998—2013 年 TRMM 逐年降水过程对比

基于 TRMM 黑河流域 1998—2013 年逐月降水量空间分布如图 6 所示。1, 2 月平均降水量均低于 5 mm; 3 月降水量开始出现降水梯度, 降水量由西南向东北递减, 仍然  $< 10$  mm; 4 月, 上游东南部出现全流域降水高值区, 降水量最高可达 23 mm; 5—9 月, 降水梯度层次分明, 且月均降水量最高值出现在 6

月,位于上游东南部祁连山区,降水量达到140 mm;10月开始,降水梯度逐渐减缓;11,12月降水量回落到5 mm以下,无降水梯度出现。这主要是由于受中

纬度西风环流及大陆性气候影响,降水年内分配不均衡,降水主要集中在5—9月的雨季,而冬春季则降水稀少。

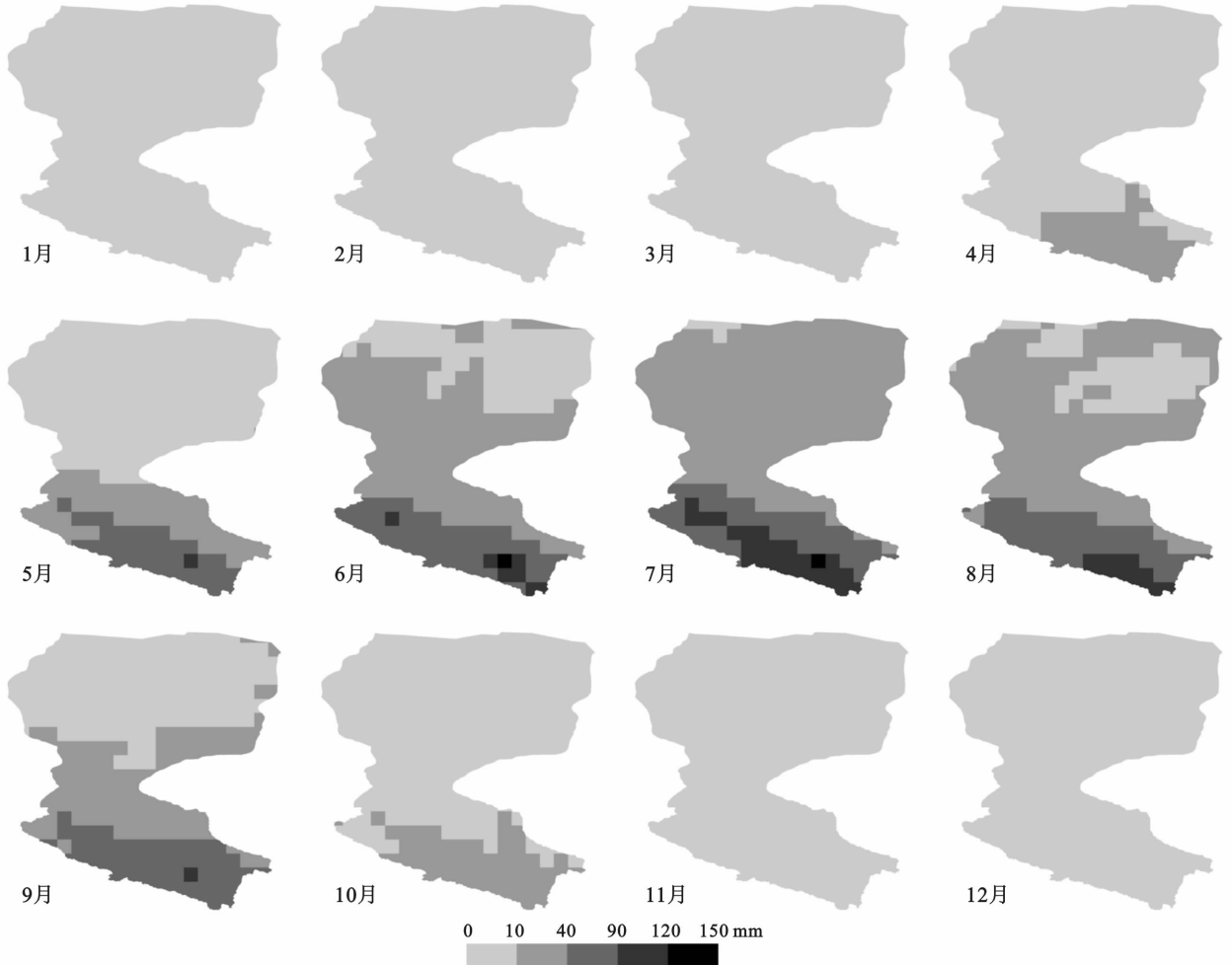


图6 黑河流域1998—2013年逐月降水时空动态分布

## 4 结论

(1) 综合所有站点 TMPA 与气象台站观测降水数据在黑河流域地区年、季、月尺度均呈现出较高的相关性( $CC_{year}=0.93, CC_{season}=0.94, CC_{month}=0.91$ ),与 TRMM 数据决定系数  $R^2=0.824$ ;而 TMPA 数据降水值在月平均高估 2.84 mm,季、年尺度高估则分别达到 8.55 和 34.1 mm,降雨高估值呈随时间尺度提高而增大的趋势。

(2) 3B43 与实测降水量有较好地相关性,CC 值呈现从东南向西北减小的趋势;均方根误差(RMSE)自上游至下游依次递减;ME 值在黑河流域内除山丹站 $<0$ 外,其他站点均 $>0$ ,普遍存在高估现象。绝对误差(MAE)呈南高北低分布。

(3) TRMM 数据显示黑河流域多年平均降雨量呈西南部向中、北部递减的分布格局,且降水量具有

上游 $>$ 中游 $>$ 下游的梯度分布,降水年内分配不均衡,降水主要集中在5—9月的雨季。

**致谢:**感谢中国气象科学数据共享服务网所提供的气象数据;感谢 NASA 的戈达德(Goddard)地球科学数据和信息中心(GES DISC)提供的 TRMM 降水数据。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Su Fengge, Hong Yang, Lettenmaier D P. Evaluation of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in La Plata Basin [J]. Journal of Hydrometeorology, 2008,9(4):622-640.
- [2] 李相虎,张奇,邵敏.基于 TRMM 数据的鄱阳湖流域降雨时空分布特征及其精度评价[J].地理科学进展,2012,31(9):1164-1170.
- [3] 杨云川,程根伟,范继辉,等.卫星降雨数据在高山峡谷地区的代表性与可靠性[J].水资源进展,2013,24(1):

- 24-33.
- [4] World Meteorological Organization. International meteorological vocabulary[R]. World meteorological Organization, 1992;182-784.
- [5] Almazroui M. Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998-2009[J]. Atmospheric Research, 2011,99(3/4):400-414.
- [6] Jia Shaofeng, Zhu Wenbin, Lu A F. A statistical spatial downscaling algorithm of TRMM precipitation based on NDVI and DEM in the Qaidam Basin of China. [J]. Remote Sensing of Environment, 2011, 115 (12): 3069-3079.
- [7] Collischonn B, Collischonn W, Tucci C E M. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates[J]. Journal of Hydrology, 2008, 360 (S):207-216.
- [8] Li Xianghu, Zhang Qi, Xu Chongyu. 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):28-38.
- [9] 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.
- [10] Bindlish R, Jackson T J, Wood E, et al. Soil moisture estimates from TRMM Microwave Imager observations over the Southern United States[J]. Remote Sensing of Environment, 2003,85(3):507-515.
- [11] Du Lingtong, Tian Qingjiu, Yu Tao, et al. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data[J]. International Journal of Applied Earth Observation & Geoinformation, 2013, 23 (8): 245-253.
- [12] 常远勇,侯西勇,于良巨,等. 基于 TRMM 3B42 数据的 1998—2010 年中国暴雨时空特征分析[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(3):105-112.
- [13] 吴学珂,郗秀书,袁铁. 亚洲季风区深对流系统的区域分布和日变化特征[J]. 中国科学:地球科学,2013(4):556-569.
- [14] Mantas V M, Liu Z, Caro C, et al. Validation of TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) products in the Peruvian Andes[J]. Atmospheric Research, 2015,163:132-145.
- [15] Islam T, Han D, Ishak A M, et al. Performance evaluation of the TRMM precipitation estimation using ground-based radars from the GPM validation network [J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2012,77(3):194-208.
- [16] 曾红伟,李丽娟. 澜沧江及周边流域 TRMM3B43 数据精度检验[J]. 地理学报,2011,66(7):994-1004.
- [17] 朱国锋,蒲焘,张涛,等. TRMM 降水数据在横断山区的精度[J]. 地理科学,2013,33(9):1125-1131.
- [18] 刘俊峰,陈仁升,韩春坛,等. 多卫星遥感降雨数据精度评价[J]. 水科学进展,2010,21(3):343-348.
- [19] 齐文文,张百平,庞宇,等. 基于 TRMM 数据的青藏高原降水的空间和季节分布特征[J]. 地理科学,2013(8):999-1005.
- [20] Huffman G J, Bolvin D T. TRMM and Other Data Precipitation Data Set Documentation[EB/OL]. (2013-01-28). [2015-06-02]. ftp://meso-a.gsfc.nasa.gov/pub/trmmdocs/3B42\_3B43\_doc.pdf.
- [21] Yashon O O, Titus O, Emmanuel K, et al. Multitemporal comparative analysis of TRMM-3B42 satellite-estimated rainfall with surface gauge data at basin scales: Daily, decadal and monthly evaluations[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012,33(24):7662-7684.
- [22] 蔡研聪,金昌杰,王安志,等. 中高纬度地区 TRMM 卫星降雨数据的精度评价[J]. 应用生态学报,2014,25(11):3296-3306.

(上接第 308 页)

- [7] 孙继伟. 我国商业银行风险评价指标体系研究[D]. 上海:复旦大学,2011.
- [8] 董雪旺,张捷,刘传华,等. 条件价值法中的偏差分析及信度和效度检验:以九寨沟游憩价值评估为例[J]. 地理学报,2011,66(2):267-278.
- [9] 衣博. 历史建筑价值评价中专家调查法的信度效度检验研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2015.
- [10] 王芳. 社区卫生服务绩效评价指标体系研究[D]. 武汉:华中科技大学,2006.
- [11] 高荣,李健,钱爱国. 生产建设项目水土保持设施验收技术评估若干问题的思考[J]. 中国水土保持,2013,38(11):28-30.
- [12] 刘洋. 喀斯特石漠化治理的水土保持效益监测评价研究[D]. 贵州:贵州师范大学,2014.
- [13] 李玥. 中美水土保持法比较研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [14] 刘震. 关于深化水土保持改革的思考[J]. 中国水土保持,2014,39(10):1-4.
- [15] 陈书琴,储昭升. 应用层次聚类分析法确定海菜花氨氮耐受阈值[J]. 环境科学研究,2016,29(4):529-537.
- [16] 罗晓霞,王玉婷,郭岚. 基于组合赋权法的土地资源定级因素因子权值的确定[J]. 西安科技大学学报,2015,35(1):115-119.
- [17] 孙亚林,黄新芳,何燕红,等. 运用层次分析法评价多子芋种质资源[J]. 华中农业大学学报,2015,34(1):16-22.