

TRMM 卫星降水产品在尼洋河流域的适用性定量分析

孟庆博^{1,2,3,4}, 刘艳丽^{1,2}, 刘冀⁴, 陈敏⁴, 鞠琴³, 王国庆¹, 金君良^{1,2}, 刘翠善^{1,2}

(1. 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; 2. 水利部应对气候变化研究中心, 江苏 南京 210029; 3. 河海大学 水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 4. 三峡大学 水利与环境学院, 湖北 宜昌 443000)

摘要: 作为地面雨量站资料的重要补充, 卫星降水产品对资料短缺或无资料地区尤为重要。位于我国高寒山区的尼洋河流域属于典型的资料短缺地区, 根据 5 个气象站点 2001 - 2016 年的月降水数据和中国地面降水日值格点数据集 2001 - 2013 年的日降水资料, 利用反距离权重插值法对其进行处理, 在尼洋河流域分别对月、日尺度数据用相关系数 (R) 和相对误差 ($BIAS$) 检验 TRMM 降水数据的精度。结果表明: 在时间尺度上, TRMM 月降水数据与实测数据在流域整体上一致性良好 ($R = 0.90$), 而日降水数据的一致性较差 ($R = 0.29$), 且 $BIAS$ 较大; 在单一站点上, TRMM 月降水数据的精度较高 ($R > 0.9$), 而日尺度 $R < 0.50$, 精度较低。在空间尺度上, 通过克里金插值法得到 TRMM 降水精度的空间分布, 月降水精度由西向东逐渐减小, 而日降水的精度与之相反。整体上, TRMM 月降水数据精度高, 具有较好的适用性, 根据 TRMM 月降水数据分析尼洋河降水时空分布特征。结果显示尼洋河流域降水大都集中在 5 月至 9 月, 而 11 月至次年 2 月, 降水量很少; 年降雨量呈现由西北向东部逐渐递增的趋势, 不同区域降水量差异较大。

关键词: TRMM 降水; 精度评价; 日尺度; 月尺度; 尼洋河流域

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2019)01-0089-08

Quantitative analysis on the applicability of TRMM satellite precipitation products in the Niyang River Basin

MENG Qingbo^{1,2,3,4}, LIU Yanli^{1,2}, LIU Ji⁴, CHEN Min⁴, JU Qin³,
WANG Guoqing¹, JIN Junliang^{1,2}, LIU Cuishan^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Research Center for Climate Change, Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China; 3. College of Hydrology and Water Resource, Hohai University, Nanjing 210098, China; 4. College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443000, China)

Abstract: As an important supplement to the ground observation data, satellite precipitation products are of particularly important for areas lack of data or without data. The Niyang River Basin in the arctic - alpine mountainous region of China is a typical area that of data shortage. Based on the precipitation data of the five meteorological stations from 2001 to 2016 and the China ground precipitation daily grid point dataset from 2001 to 2013, the inverse distance weighted interpolation method was employed to process the precipitation data. The accuracy of TRMM precipitation data was estimated by correlation coefficient (R) and relative error ($BIAS$) at monthly and daily scales in the Niyang River Basin. The results showed that the monthly precipitation data of TRMM and the measured data had good consistency in the whole basin ($R = 0.90$), but the consistency was poor and $BIAS$ was large for the daily precipitation data ($R = 0.29$). For the single station, the accuracy of TRMM monthly precipitation data was high ($R > 0.9$), while the R of the daily scale were less than 0.5 and the precision was low. On the spatial scale, the spatial distribution of the accuracy of TRMM precipitation was obtained by Kriging interpolation

收稿日期: 2018-07-30; 修回日期: 2018-09-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(91747103, 51679145); 国家重点研发计划项目(2016YFA0601602)

作者简介: 孟庆博(1996-), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源的研究。

通讯作者: 刘艳丽(1981-), 女, 河南泌阳人, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事气候变化对水文水资源的影响研究。

method. The accuracy of monthly precipitation decreased from west to east, while the accuracy of daily precipitation illustrated an opposite trend. Based on the high precision of TRMM monthly precipitation data, the temporal and spatial distribution characteristics of precipitation in the Niyang River were analyzed. The results showed that most of the precipitation in the Niyang River basin was concentrated from May to September, and less precipitation happened from November to February. The annual rainfall showed an increasing trend from northwest to east, and the precipitation varied greatly in different regions.

Key words: TRMM precipitation; accuracy assessment; daily scale; monthly scale; Niyang River Basin

1 研究背景

降水是水文模拟和水循环的关键过程之一^[1], 在全球能量和水循环中起重要作用^[2]。获取准确降水相关信息对研究不同时间与空间尺度下的水文循环有着至关重要的意义, 且精确掌握降水的时空分布对于水文、气象及生态等领域都具有重要的理论和实际意义。

目前, 我国大部分地区主要利用雨量计、地面雷达等获取降水数据^[3]。尽管降水观测站点提供的降水数据非常精确, 但是无法对区域内降水的实际情况进行全方位描述^[4]。对于缺资料地区的降水资料, 数据往往代表性不足, 无法真实反映降水的时空分布规律, 这对水文预报及水资源开发利用产生极大的影响^[5-6]。近年来, 遥感及卫星技术不断地发展, 卫星遥感降水产品的应用更加广泛, 它具有覆盖范围广、时空连续性高等特点^[7], 可以弥补地面雨量计和地基雷达的不足, 已成为降水观测的重要手段, 是无资料或缺资料地区降水数据的重要补充^[8-9]。

全球主要的降水数据产品有来自 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 的 3B42 和 3B42 RT (TRMM 3B42 Real Time) 产品、Cmorph (Climate Prediction Centre Morphing Technique) 的降水反演产品、PERSIANN (Precipitation Estimation from Remote Sensing Information using Artificial Neural Network) 及 GsMaP MVK + (GsMaP Moving Vector with Kalman Filter plus AMSU - B) 降水产品等^[10-12]。

国内外学者的相关研究表明 TRMM 降水产品与站点观测数据存在很好的一致性, 精度较高。Semire 等^[13]利用 TRMM 3B42 - V6 数据对热带马来西亚降水估值的精度进行评定, 结果显示其与实测降水之间存在良好的一致性 ($R > 0.78$), 表明在热带海岸地区 TRMM 3B42 数据具有较高的精度和适用性。Franchito 等^[14]利用 ANEEL (Agencia Nacio-

nal de Energia Ele'trica) 雨量站 1997 - 2000 年的降水数据对 TRMM 降水雷达 (TRMM PR) 数据的精度进行了验证, 结果表明研究区内大部分地区 TRMM PR 数据虽然具有较高的精度, 但也发现存在系统误差, 且对季节和地形的变化较为敏感。吕洋等^[15]分别在月、日尺度上验证了 TRMM 卫星降水数据在雅鲁藏布江的精度, 发现在月尺度上, TRMM 卫星降水数据与台站数据的一致性较好 ($R \geq 0.90$), 但日尺度数据精度较低 ($R = 0.47$)。

卫星遥感降水是一种使用间接手段测量的降水, 其本身的精度具有不确定性, 因此进行数据的精度评价是该数据能否适用的前提条件, 目前对于卫星遥感降水产品主要的精度检验方法有: (1) 在不同的时间尺度 (月尺度、日尺度、季节等) 下对单一站点的降雨量进行相关系数、相对误差等各种指标的分析研究^[16-17]; (2) 对研究区域不同降水量级 (小雨、中雨、大雨、暴雨等) 的频数进行分析研究^[18]; (3) 在流域尺度上, 将研究区内卫星遥感网格降水与单一站点降雨类似的精度分析并对研究区进行空间精度评定。

位于我国高寒山区的尼洋河流域属于典型的资料短缺地区, 流域内只有 1 个雨量观测站, 流域附近有 4 个雨量观测站点, 站点降水观测资料匮乏, TRMM 降水数据在众多卫星降水产品中具有较高的精度, 研究其在尼洋河流域的适用性具有重要意义。本研究基于 5 个雨量观测站点和中国地面降水日值 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 格点数据集 (V2.0) 的降水数据在月、日尺度上对尼洋河 TRMM 降水数据进行精度评定, 并探讨尼洋河流域降水时空分布特征。

2 研究区概况

尼洋河发源于念青唐古拉山南麓工布江达县西部的错木果拉冰川湖, 位于西藏东南林芝地区雅鲁藏布江中下游左岸, 北纬 $29^\circ 28' \sim 30^\circ 38'$, 东经 $92^\circ 10' \sim 94^\circ 35'$ 之间。东部是色季拉山和南迦巴瓦峰, 西部邻近米拉山, 南部以雅鲁藏布江河谷南侧分水

岭为界限,北部以尼洋河北侧分水岭为边界,流域面积约 17 900 km²,尼洋河流域的位置图如图 1 所示。尼洋河流域的气候较温润,年均气温在 7℃ 左右,年降水量一般在 500 ~ 900 mm。尼洋河流域的主汛期为 6 ~ 9 月,且径流量年内分布不均匀,其汛期径流量可达年径流量的 90% 左右,多年期间的丰水期和枯水期为 3 ~ 5 月。尼洋河流域是一个典型的缺资料地区,流域内的雨量观测站只有一个林芝站,由于站点降水观测资料较为匮乏,对尼洋河流域的气候及水文等研究都产生了极大的影响。

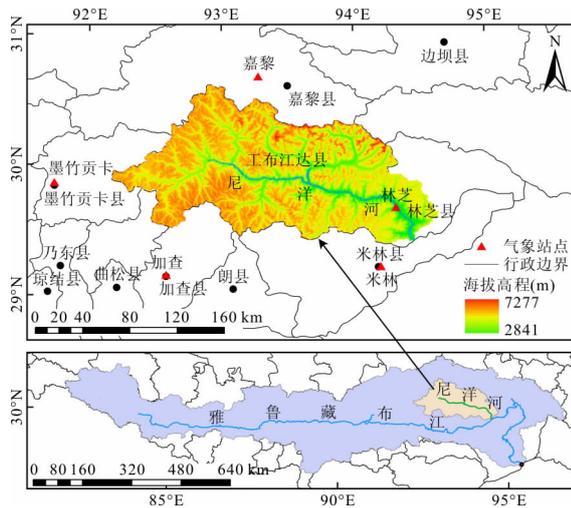


图 1 尼洋河流域位置图

3 数据与精度检验方法

3.1 数据及处理方法

本研究采用来自 NASA 的热带降雨测量计划卫星 (Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM) 的遥感降水数据,包括 TRMM 3B43 的月降水数据和 TRMM 3B42 的日降水数据,空间覆盖范围均为 50°N ~ 50°S、180°W ~ 180°E,空间分辨率均为 0.25° × 0.25°。TRMM 3B42 日数据是根据红外亮温资料采用 3B42 算法,得到的准全球降水量估计数据。TRMM 3B43 降水数据产品是由 TRMM 3B42 降水数据产品与全球降水气候中心 (GPCC) 的全球降水资料等数据来源共同合成的全球网格月降水数据。

采用的基准数据包括 5 个气象站点 (嘉黎站、墨竹贡卡站、林芝站、加查站、米林站) 2001 - 2016 年的月降水数据和来自中国气象数据网的中国地面降水日值 0.5° × 0.5° 格点数据集 (V2.0) 2001 - 2013 年的日降水数据。为了在流域尺度上对 TRMM 降水数据进行精度评定,不仅需要台站降水数据和 TRMM 降水数据的分辨率进行统一,还需

要获取流域的面平均雨量数据。通过反距离权重法将 5 个雨量站的逐月降水资料插值转化为空间分辨率为 0.25° × 0.25° 的网格数据,使台站插值网格与 TRMM 降水网格相对应。同样,利用反距离权重法将空间分辨率为 0.5° × 0.5° 的网格日降水数据插值为与 TRMM 网格单元相对应 (空间分辨率为 0.25° × 0.25°) 的网格日降水数据。反距离权重法插值计算及面平均雨量计算的相关公式如下所示:

$$p_i = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j / d_{ji}^2)}{\sum_{j=1}^m (1 / d_{ji}^2)} \quad (1)$$

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \quad (2)$$

式中: p_i 为待求的第 i 个网格降雨量; p_j 为第 j 个测站或者降水日值数据集第 j 个网格的实测降雨量; d_{ji} 为第 i 个网格中心至第 j 个测站或者降水日值数据集第 j 个网格的距离; m 为测站个数或者降水日值数据集的网格个数; n 为流域内的网格个数。

3.2 精度检验方法

3.2.1 时间尺度 本研究分别在月尺度和日尺度上对尼洋河流域整体和单一站点的降水数据进行精度评价。

在流域整体上,本文从总体数据和流域面平均雨量这两个角度进行精度检验。根据插值得到的 0.25° × 0.25° 网格逐月及逐日降水数据,统计分析月、日尺度 TRMM 降水数据与实测降水量之间的相关系数 R 和相对误差 $BIAS$ 。

在单一站点上,本研究分别在月、日尺度上利用气象观测站点坐标提取对应 TRMM 网格的降水数据,在站点尺度上检验 TRMM 降水数据的精度。相关系数 R 和相对误差 $BIAS$ 这两个精度评价指标的计算公式如下:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - y_i)}{\sum_{i=0}^n y_i} \times 100\% \quad (4)$$

式中: n 为数据的总数量; x_i 为 TRMM 数据的降水量; y_i 为地面气象观测站点的实测降水量。 R 反映 TRMM 降水数据与实测降水数据的相关程度,数值与 1 越接近则说明时序变化的一致性越好。 $BIAS$ 反

映 TRMM 降水数据与实测降水数据的偏离程度, $BIAS$ 愈小, 两者差异愈小, 数据精度愈高。

3.2.2 空间尺度 为了判断 TRMM 降水数据在尼洋河流域中不同区域的适用性, 分析 TRMM 降水数据精度在流域的空间分布至关重要。为了满足空间分析需求, 本研究根据尼洋河流域内 TRMM 数据的网格, 分别在月、日尺度上利用空间插值法将流域内网格的精度评定结果(相关系数 R 、相对误差 $BIAS$) 插值到整个流域面上。本研究基于 Arcgis 软件平台采用克里金(Kriging)空间插值法。

克里金(Kriging)插值方法, 又称空间自协方差最佳插值法, 是一种网格化统计方法。其实质是利用区域内样本数据的特征, 对未知数据点进行无偏、最优估计。计算公式可表示为:

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (5)$$

式中: $Z(s_i)$ 为第 i 个数据点的值; λ_i 为第 i 个数据点的权重; s_0 为所求的数据点; N 为数据总数。

4 结果与讨论

4.1 流域整体精度评定

4.1.1 流域总体数据精度评价 网格实测月降水量和日降水量与 TRMM 网格降水数据的线性回归分析结果如图 2 所示。由图 2 可知, TRMM 卫星月、日尺度的降水数据与网格化实测月、日尺度降水量的 R 分别为 0.903 和 0.293, 线性方程的斜率 K 分别为 1.35 和 0.47, 显示了月尺度的 TRMM 降水数据与站点插值网格降水量在整体上有很好的 consistency, 但在日尺度上 TRMM 降水数据与网格降水量之间一致性较差, 精度较差, 且在月、日尺度上 TRMM 降水数据分别存在偏大和偏小的情况。TRMM 日降水数据精度较差可能与该降水日值数据集本身的精度有关, 还与对数据集进行反距离权重法插值有关, 根据尼洋河流域地理位置的特殊性和地形的复杂性, 地形和气候这两种要素也可能影响到 TRMM 日降水数据的精度。

4.1.2 流域面雨量精度评价 根据网格实测逐月降水量和日尺度网格降水量, 统一按照式(2)计算流域面平均雨量作为基准数据, 同理计算出 TRMM 月、日尺度降水的流域面平均雨量。分别以求出的月、日尺度的面平均雨量为自变量, 对应时间尺度的 TRMM 面平均雨量为因变量做线性回归分析, 分析结果如图 3 所示。由图 3 可知, TRMM 卫星月、日尺度的流域面雨量与统一网格单位求出的月、日尺度

实测流域面雨量的 R 分别为 0.955 和 0.392, 线性方程的斜率 K 分别为 1.366 和 0.499, 表明月尺度的 TRMM 流域面雨量与站点插值计算得到的流域面雨量之间一致性良好, 可以简单认为 TRMM 的月降水数据能够反映尼洋河流域的水资源或者水文特征, 但在日尺度上 TRMM 流域面雨量与降水日值数据集插值计算得到的流域面雨量之间存在较差的一致性, 可认为 TRMM 的日降水数据不太适用于尼洋河流域日及以下时间尺度降雨的水文预报。与总体数据的精度分析结果类似, 月、日尺度的 TRMM 流域面雨量数据分别存在偏大和偏小的情况。日尺度上数据精度相对不高除了与降水日值数据集本身的精度和反距离权重插值的特性有关外, 最重要的是与 TRMM 日降水数据本身的遥感获取方法及校正方式有关。

4.1.3 空间精度评价 基于 Arcgis 软件平台空间分析工具(Spatial Analyst Tools)的 Kriging 功能对流域内 TRMM 网格点的月、日尺度相关系数值和相对误差值进行空间插值, 插值后的结果分别如图 4 和 5 所示。由图 4 和 5 可以看出:(1)在尼洋河流域整体上, 月尺度 TRMM 降水数据与实测降水网格数据的相关系数 $R \geq 0.85$, 西北部和南部的 R 最大, 且由西向东逐渐减小, 表明尼洋河流域西北部和南部的 TRMM 月降水数据与流域月降水数据的一致性最好, 精度最高, 并且由西向东一致性逐渐减小;(2)日尺度 TRMM 降水数据与降水日值数据集的网格数据的相关系数 $R < 0.5$, 东部的相关系数最大, 且由西向东逐渐增大, 表明尼洋河流域东部的 TRMM 日降水数据与流域日降水数据的一致性相对于尼洋河流域其他区域较好, 并且由西向东一致性逐渐缓慢提升。(3)整体来看, TRMM 月降水数据关于站点实测月降水网格数据的 $BIAS$ 较高, 都在 10% 以上, 东南部和中部的 $BIAS$ 最大, 且由西北向东南逐渐增大, 说明 TRMM 月降水数据相对于流域月降水数据存在较大的偏差, 并且数值差异由西北向东南逐渐增大。

4.2 单一站点数据精度评定

尼洋河流域属于气象资料缺失流域, 仅仅对流域内的站点进行精度评定还不能代表整个尼洋河流域的精度检验情况, 因此需额外引入距离尼洋河流域较近且分布相对于流域较均匀的气象站点进行精度检验, 最终本文选取了流域内的林芝站和附近的 4 个气象站点(见图 1)作精度评定。对气象观测站点的实测月降雨数据和降水日值数据集的站点日降

水网格数据与站点所在 TRMM 网格的月、日降雨数据进行线性回归分析及误差分析,得到尼洋河流域

TRMM 降水数据与各个站点网格降水数据的散点图、相关系数及相对误差统计表(见表 1~2)。

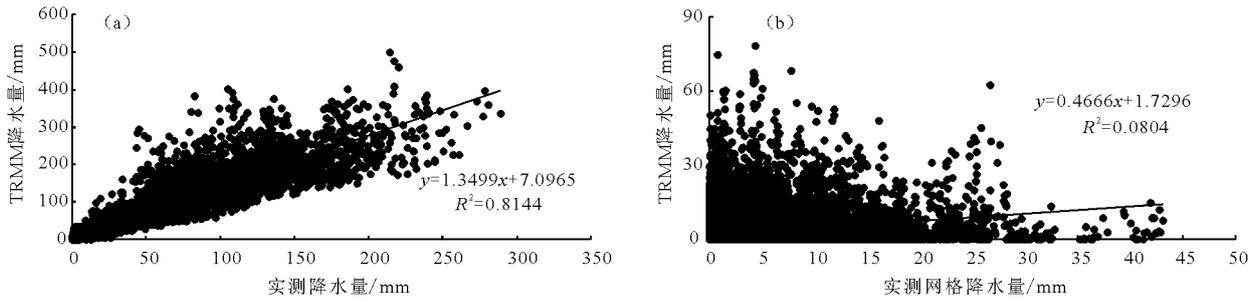


图 2 尼洋河多年月、日尺度 TRMM 降水量与网格插值降水量散点图

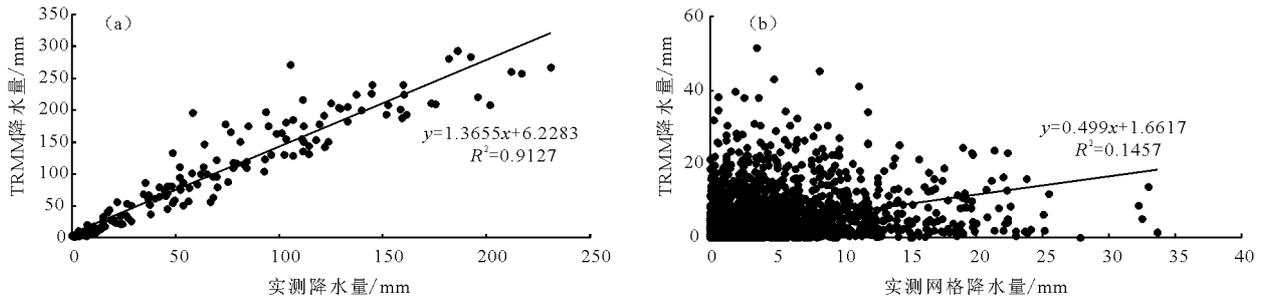


图 3 尼洋河多年月、日尺度 TRMM 面平均雨量与网格插值面平均雨量散点图

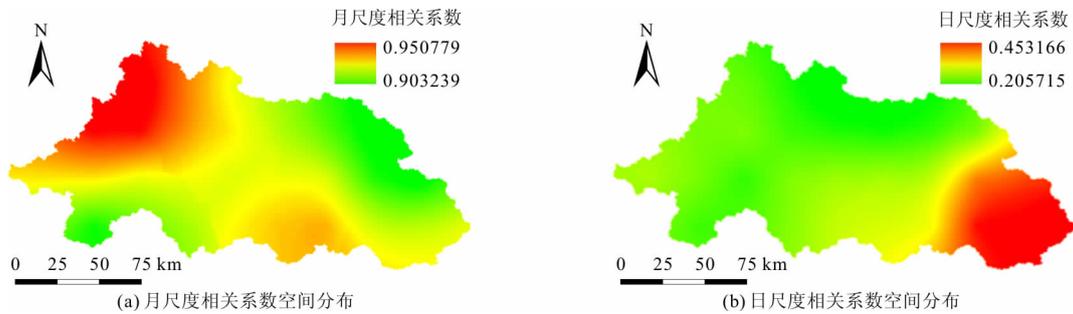


图 4 尼洋河流域 Kriging 空间插值月、日尺度相关系数空间分布图

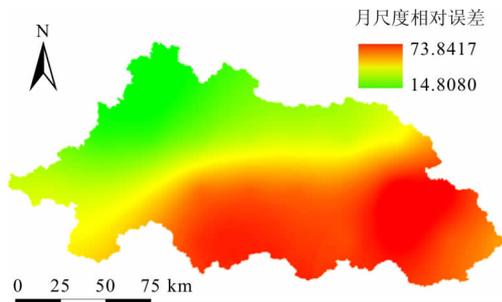


图 5 尼洋河流域 Kriging 空间插值月相对误差空间分布图

表 1 2001-2016 年月尺度 TRMM 降水量相关系数及相对误差统计表

站点	嘉黎	墨竹贡卡	林芝	加查	米林
R	0.93	0.95	0.92	0.91	0.93
$BIAS/\%$	17.89	20.01	54.91	43.55	56.00

表 2 2001-2013 年日尺度 TRMM 降水量相关系数统计表

站点	嘉黎	墨竹贡卡	林芝	加查	米林
R	0.27	0.34	0.42	0.26	0.45

由表 1 可知,5 个台站的实测月降水数据与 TRMM 月降水数据的相关系数 $R > 0.9$,说明两者具有很好的一致性,TRMM 月降水数据与各个站点实测的月降水数据之间具有比较显著的线性关系(见图 6);由表 2 可知,日尺度降水网格数据与 TRMM 降水网格数据之间的相关系数 $R < 0.5$,表明 TRMM 日降水数据与日降水网格数据之间一致性较差,且 TRMM 日降水网格数据与各个实测站点的日降水网格数据之间的线性关系不显著(见图 7);日尺度的线性方程斜率 K 大部分小于 1,只有米林站的散点图趋势线的斜率在 1 以上,说明在数值上 TRMM 日

降水数据在单一站点水平上较实测站点日降水网格数据偏小,表明 TRMM 的日降水数据存在低估的情况,而 TRMM 的月降水数据存在高估的情况,两种尺度的 TRMM 降水数据的检验结果正好相反。

关于 TRMM 日尺度与月尺度的降水数据精度检验结果相差大的原因可能为:(1)降水实测数据并不是来自于实测站点的观测数据,而是通过对多个气象观测站的降水数据进行空间插值得到的格点数据,其数据本身精度的不确定性与所使用的插值方法都会对精度产生影响。(2)TRMM 降水网格单元的水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$,该降水日值数据集的水平分辨率本身就较 TRMM 网格单元的分辨率低,对两种不同分辨率的降水数据同时进行评价分析的时候会产生误差。(3)TRMM 3B43 的月尺度降水数据是通过 TRMM 3B42 日尺度降水数据、NOAA 气候预测中心气候异常监测系统(CAMS)的

全球格点雨量测量器资料和全球降水气候中心(GPCP)的全球降水资料合成得到的,是间接对日尺度降水数据进行校正的降水数据,因此其数据精度比日尺度的 TRMM 数据精度要高。

5 个台站的 TRMM 月降水数据关于站点实测月降水数据的 BIAS 均为正值,说明在这 5 个气象站点上,TRMM 月降水数据对于实测站点月降水数据具有一定程度的高估;降水数据的 BIAS 均在 15% 以上,表明 TRMM 月降水数据跟站点实测降水量在数值上差异较大;在这 5 个气象站点中,林芝、加查、米林这 3 个实测站点整体的 BIAS 分别为 54.91%、43.55% 和 56.00%,说明这 3 个台站的 TRMM 月降水数据有较明显的偏差。但是嘉黎站和墨竹贡卡站整体的 BIAS 仅有 17.89% 和 20.01%,说明这两个台站的 TRMM 月降水数据精度较好,同时也说明各个台站整体月降水数据的 BIAS 的差异较为明显。

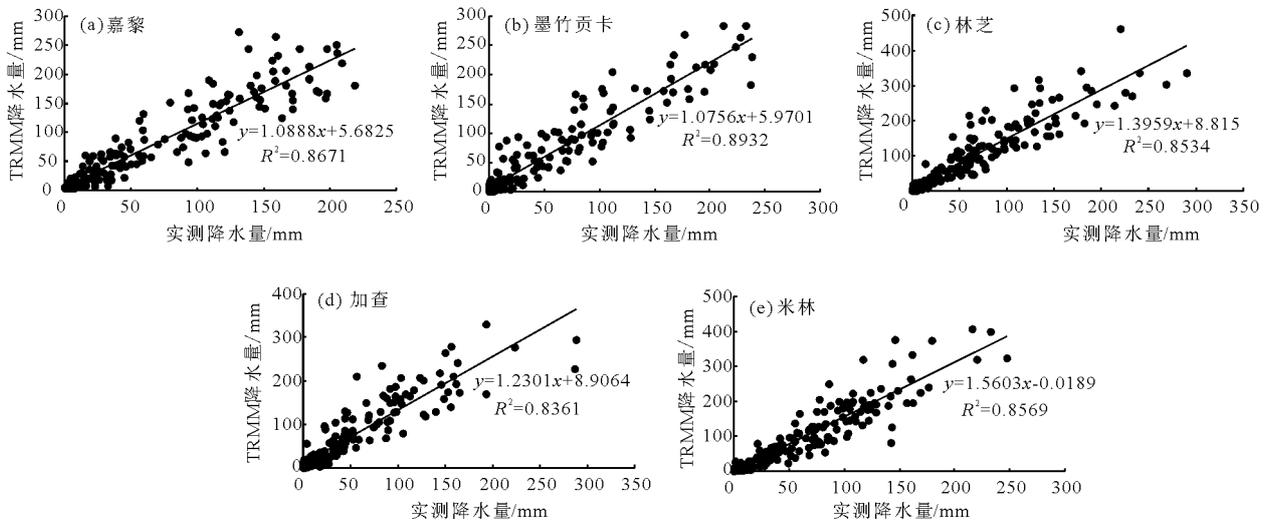


图6 2001-2016年 TRMM 月降水与气象站点月降水量散点图

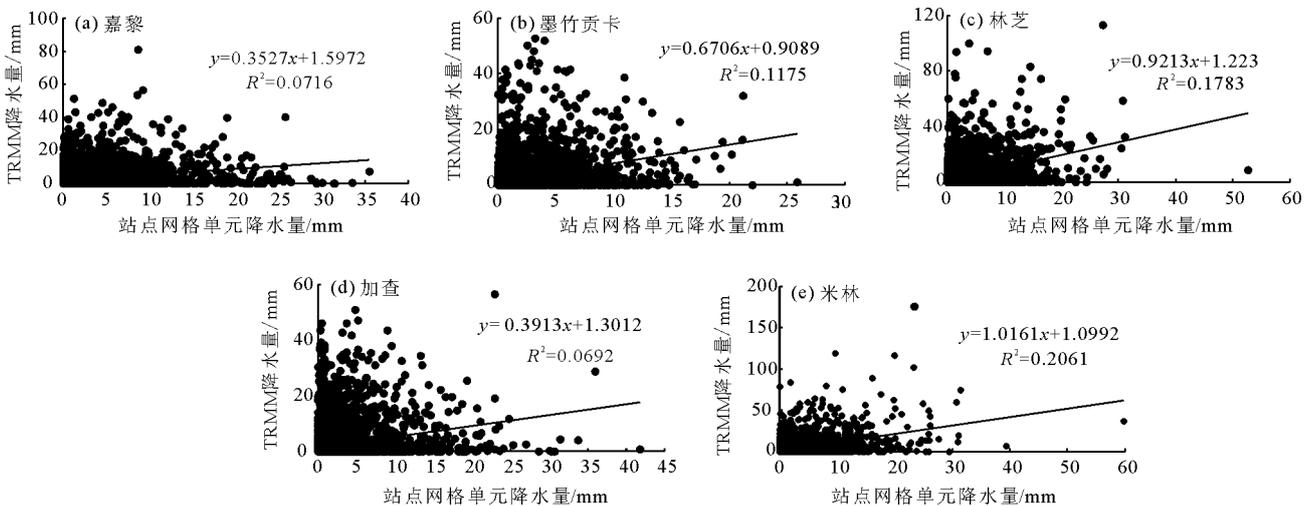


图7 2001-2013年 TRMM 日降水与气象站点日降水量散点图

4.3 基于 TRMM 数据的尼洋河降水时空分布特征分析

由于现有测站不足以分析尼洋河流域的时空分布,考虑到月尺度 TRMM 网格降水数据精度相对高,因而应用 TRMM 网格月降水数据分析尼洋河降水的时空分布特征,但是得出的结论并不是绝对的,只是基于 TRMM 卫星降水数据得到的相对结论。

4.3.1 尼洋河流域降水的空间分布特性 对 2001 - 2016 年尼洋河流域 TRMM 网格月降水数据进行处理得到尼洋河流域网格化多年平均降水量,采取克里金(Kriging)空间插值方法,将网格降雨插值到整个尼洋河流域面上,并生成对应多年平均降水量的等值线图,多年平均的相对降水量及雨量等值线如图 8 所示。由图 8 可知,年降水量整体呈现由西北向东部逐渐递增的趋势,不同区域降水量差异较大。流域内年均降水量最高的位于东部,雨量高达 1 300 mm,而流域内年均降水量最低的位于西北部边界,雨量值约 740 mm。流域内降雨量最大的区域位于尼洋河流域东部的干流出口附近,由于该区域位于印度洋暖湿气流上升的入口位置,受地形抬升的影响,该区域附近计算得到的相对年均降水量较高。

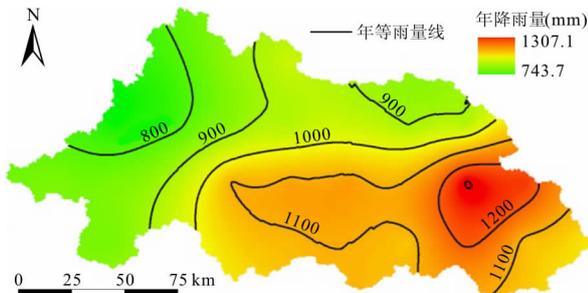


图 8 基于 TRMM 月尺度数据的尼洋河流域的年均降水量分布图

4.3.2 尼洋河流域降水的时间分布特性 为了直观地反映降水的时间分布特征,本文根据月尺度 TRMM 降水数据得到的 2001 - 2016 年的年降雨量变化过程图与多年平均月降雨量年内分布图如图 9 和图 10 所示。

由图 9 可知,年降雨量存在逐年减少的趋势,但趋势并不明显,年降雨量大致处在 800 ~ 1 200 mm 之间,且只有 2003、2004 和 2008 年 3 年的年降雨量值达到了 1 100 mm。在降雨量的年内分配上(见图 10),12 月份的降水最少,6、7 月份的降水量最大,可达 200 mm。降水在各月的分布不均匀,大部分降水集中在每年 5 - 9 月,而 11 - 次年 2 月,尼洋河流域的降水很少。

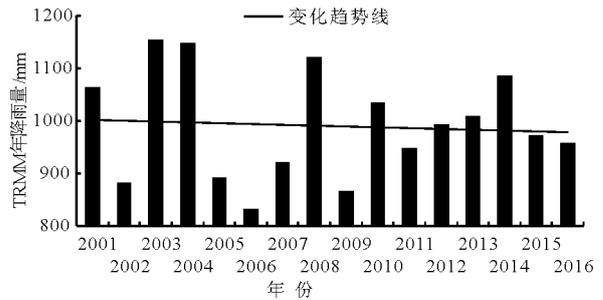


图 9 尼洋河流域年降雨量变化过程图

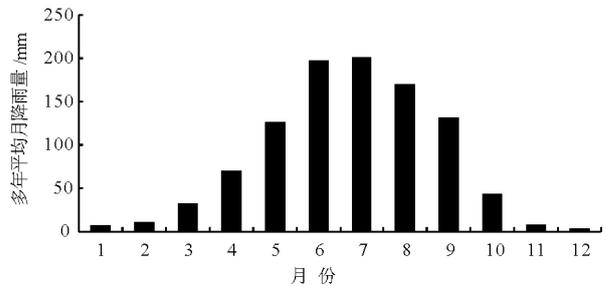


图 10 尼洋河流域多年平均月降雨量年内分布图

5 结 论

基于尼洋河流域内及流域外共五个气象观测站点 2001 - 2016 年的实测月降水数据和中国地面降水日值格点数据集 2001 - 2013 年的日降水数据,分别在月尺度和日尺度上对 TRMM 网格降水数据进行精度评价,并利用 TRMM 月降水数据对尼洋河降水的时空分布特征进行了统计分析,得出以下主要结论:

(1)整体来看,尼洋河流域 TRMM 月尺度降水数据与通过站点插值的网格月降水数据拥有良好的一致性,TRMM 降水量在数据整体上比站点实测降水量略微偏大。空间上,相关系数的空间分布反映出,尼洋河流域西北部和南部的 TRMM 月尺度降水数据的一致性最好,精度最高,并且由西向东逐渐减小;但是 TRMM 的降水数据相对于流域降水数据存在较大的偏差,并且数值差异由西北向东南逐渐增大;在日尺度上,TRMM 的降水数据与网格化实测降水数据之间的精度较差,且 TRMM 日尺度降水数据在总体上较网格化实测降水数据大幅偏小。在空间上,尼洋河东部的 TRMM 日降水数据与流域日降水数据的相关性和一致性相对于流域其他区域较好,并且由西向东精度逐渐缓慢提升。

(2)在单一站点上,月尺度 TRMM 降水数据与实测降水数据之间具有很好的一致性,但在日尺度上 TRMM 降水数据与日降水网格数据之间一致性

较差,精度较差。且 TRMM 日降水数据在单一站点水平上较实测站点数据偏小,这与 TRMM 月降水数据的检验结果相反。

(5)在尼洋河流域降水时空分布特征的相对结论上,流域内年降雨量整体呈现由西北向东部逐渐递增的趋势,且不同区域降水量差异较大。从流域降水的年内分配上看,12月的降水量最少,6、7月的降水量最多。降水在各月的分布不均匀,大部分降水集中在每年5月至9月,而11月至次年2月的降水很少,可以忽略不计。

参考文献:

- [1] 周秋文,李芳. TRMM 降雨数据在喀斯特地区的适用性分析——以贵州省为例[J]. 水资源与水工程学报, 2018,29(2):76-83.
- [2] WANDERS N, PAN M, WOOD E F. Correction of real-time satellite precipitation with multi-sensor satellite observations of land surface variables[J]. Remote Sensing of Environment, 2015,160:206-221.
- [3] 张月圆,李运刚,季漩,等. 红河流域 TRMM 卫星降水数据精度评价[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(2):1-8.
- [4] NEW M, TODD M, HULME M, et al. Precipitation measurements and trends in the twentieth century[J]. International Journal of Climatology,2001,21(15):1889-1922.
- [5] 毛冬艳. 用 TRMM 资料对中国暴雨个例的分析和降水反演[D]. 北京:中国气象科学研究院,2001.
- [6] 程开宇,张磊磊,康颖,等. 多源卫星降水数据在瓯江流域的适用性分析[J]. 水电能源科学,2016,34(12):15-19.
- [7] 郝振纯,童凯,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):18-23.
- [8] 胡庆芳. 基于多源信息的降水空间估计及其水文应用研究[D]. 北京:清华大学,2013.
- [9] 郭妍. 陕西省 TRMM 降水数据反演精度的时空分布特征研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2017.
- [10] 李琼,杨梅学,万国宁,等. TRMM 3B43 降水数据在黄河源区的适用性评价[J]. 冰川冻土,2016,38(3):620-633.
- [11] 韦芬芬,汤剑平. 高分辨率降水资料在东亚地区的对比[C]//气象综合探测技术研讨会,2011.
- [12] 徐淑琴,丁星臣,王斌,等. 遥感降水量产品寒区精度评估与径流模拟适用性研究[J]. 农业机械学报,2017,48(11):289-299.
- [13] SEMIRE F A, MOHDMOKHTAR R, ISMAIL W, et al. Ground validation of space-borne satellite rainfall products in Malaysia[J]. Advances in Space Research, 2012,50(9):1241-1249.
- [14] FRANCHITO S H, RAO V B, VASQUES A C, et al. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2009,114(D2).
- [15] 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):1414-1425.
- [16] 成璐,沈润平,师春香,等. CMORPH 和 TRMM 3B42 降水估计产品的评估检验[J]. 气象,2014,40(11):1372-1379.
- [17] 景淑娟. 不同卫星遥感降水数据在辽宁东部区域的适用性和精度对比分析[J]. 吉林水利,2017(4):32-35+43.
- [18] 张蒙,黄安宁,计晓龙,等. 卫星反演降水资料在青藏高原地区的适用性分析[J]. 高原气象,2016,35(1):34-42.