

TRMM 卫星降水数据在小尺度流域的评估与应用

周 萌^{1,2}, 江善虎², 任立良^{1,2}

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘 要:选取史灌河流域上游黄泥庄站以上集水区域为研究流域,以地面站点观测为基准数据,评估 TRMM 3B42V7 版本卫星降水数据的精度,并采用上述两种降水数据驱动栅格型新安江模型,模拟黄泥庄站日径流和月径流过程。结果表明:2001~2010 年 TRMM 3B42V7 降水数据与雨量站数据累积量的偏差并不大,仅为 1.71%,但相关系数较低,采用 TRMM 降水数据模拟的日径流能基本再现黄泥庄站的日径流过程,但对洪峰的模拟精度较低;TRMM 月降水数据精度较高,相关系数为 0.96,能够较为精确地模拟黄泥庄站的月径流过程。

关键词:TRMM 3B42V7;评估;径流模拟;新安江模型

中图分类号:TV121.1;TV125

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)01-0022-05

降水是水文模型重要的输入变量,快速获取高时空精度的连续观测降水数据,对于流域水文过程模拟及预报具有重要意义^[1]。目前地面雨量信息的获取主要由雨量站和地基雷达以及卫星测雨技术得到。受地形等因素的影响,雨量站的点雨量信息往往不能代表真实雨量的空间分布,地基雷达也只能对指定区域进行观测,面上覆盖率低。卫星测雨技术能够提供具有较高时空分辨率的降水数据,其覆盖空间范围更广,能在一定程度上弥补其它来源降水数据的缺陷,为降雨径流过程模拟和洪水预报提供有力的数据支持^[2]。1998 年开始实施的热带降水观测计划 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)取得了突破性成功,开创了全球降水监测的新时代。国内外学者针对 TRMM 卫星降水的精度评估、水文应用能力等开展了大量研究。结果表明,TRMM 数据可作为水文预报的基础数据,具有较强的适用性;TRMM 数据的精度可满足水资源评价等相关研究工作的要求^[3-8]。然而上述研究多在中尺度或大尺度流域进行,TRMM 卫星降水数据在小尺度流域水文应用能力仍有待研究。鉴于此,本文选取史灌河流域上游黄泥庄站以上集水区域(小尺度流域)为研究区域,评估最新一代 TRMM 卫星降水产品 3B42V7

的精度,并采用此数据驱动新安江模型进行降雨径流过程的模拟。

1 研究区域、数据和方法

1.1 研究区域概况

本文选择全球能量与水循环(GEWEX)亚洲季风实验(GAME)区淮河流域试验(HUBEX)范围内史灌河流域上游黄泥庄水文站以上的集水面积为研究区域。黄泥庄流域位于东经 115°21'~115°43',北纬 31°06'~31°42',行政区划属安徽省金寨县。黄泥庄水文站控制面积 805 km²,属于湿润地区。流域内分布四个雨量观测站,一个流量观测站。流域内年平均降水量约为 1 077 mm,降水年内时空分布不均匀,50%~80%降水集中在 6~9 月,且多以阵雨形式出现。流域内部地形复杂,高山平原兼有。流域平均高程 479 m,最高处 1 500 m,最低处 130 m。整个流域水系及植被发育良好,受人类活动影响较小。整个流域概况见图 1。

1.2 资料收集

卫星测雨数据采用 TRMM 多卫星降雨分析 TMPA(TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis)产品 3B42V7 版本数据,其空间分辨率为 0.25°×0.25°,时间

收稿日期:2015-01-18

基金项目:科技部科技基础性专项(2011IM011000);高等学校学科创新引智计划(B08048)

作者简介:周萌(1992-),女,陕西西安人,硕士研究生,主要从事水文过程模拟方面的研究。Email:zhoum92@foxmail.com

通讯作者:任立良(1963-),男,江苏扬中人,教授、博导,研究方向为水文学及水资源。Email:RLI@hhu.edu.cn

步长为 3h;雨量站观测数据摘录自水文年鉴刊布的流域内 4 个雨量站的日降水资料。流量和蒸发皿蒸发资料摘录自水文年鉴,包括黄泥庄站日流量及日蒸发数据。降水资料为卫星测雨数据和雨量站观测数据。所用水文气象数据的起止日期均为 2001 年 1 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日。地形 DEM 数据采用美国国家地球物理数据中心发布的全球 90m 基础高程数据 GLOBE (Globe Land One-Kilometer Base Elevation)。

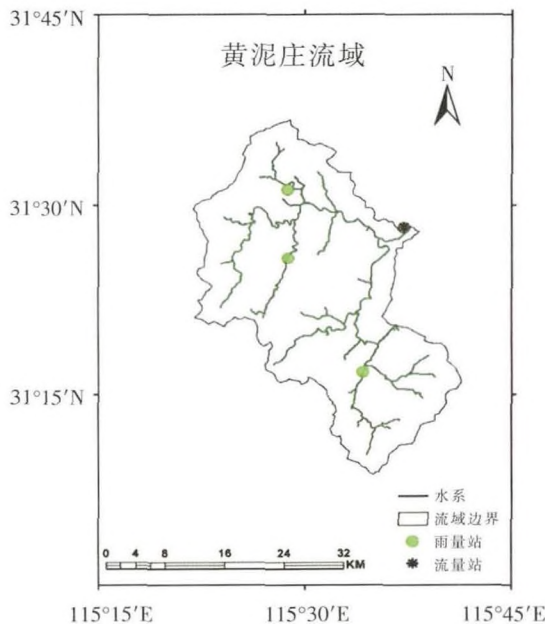


图 1 研究区流域概况
Fig.1 Location of the study area

1.3 研究方法

以雨量站观测数据作为基准数据评估 TRMM 数据的精度。评估指标有:降水总量相对误差 $BIAS$ 、平均偏差 ME 、绝对误差的平均值 MAE 、相关系数 CC 。

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - G_i)}{\sum_{i=1}^n G_i} \times 100\% \tag{1}$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - G_i) \tag{2}$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T_i - G_i| \tag{3}$$

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(T_i - \bar{T})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}} \tag{4}$$

式中: n 为系列长度; T_i 为 TRMM 数据计算得到的面平均雨量; $\bar{T}$ 为 TRMM 数据计算得到的面平均雨量的均值; G_i 为雨量站测雨资料得到的面平均雨量; $\bar{G}$ 为雨量站测雨资料得到的面平均雨量的均值。

采用栅格新安江模型进行径流模拟。基于栅格型数字高程数据,利用数字高程流域水系模型,生成栅格水流流向,构建数字流域水系及空间拓扑关系;然后将插值处理后的栅格型降水数据作为研究区内每一栅格单元上的雨量输入,并在各栅格上应用新安江降雨径流模型进行产流计算^[9]。采用线性水库法进行各种径流成分的坡地汇流演算;采用马斯京根分段连续演算法进行河道汇流演算。采用 Nash-Sutcliffe 效率系数 ($NSCE$)、 $BIAS$ 和 CC 来评估模型模拟径流的精度。

$$NSCE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim}(i) - Q_{obs}(i))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs}(i) - \bar{Q}_{obs})^2} \tag{5}$$

式中: Q_{sim} 为模型模拟径流量; Q_{obs} 为实测径流量; $\bar{Q}_{obs}$ 为平均实测径流量。

2 TRMM 降水数据精度评估

由表 1,TRMM 日降水数据与站点数据存在较小的偏差,整体偏大,二者存在一定的线性相关性,但相关程度偏低,见图 2(a)。而月降水的相关系数达到 0.96,TRMM 月降水数据与雨量站月降水数据呈现较高的线性相关性,见图 2(b)。TRMM 数据在降雨的发生频率上与雨量站数据较为一致(图 3)。中雨(10~30mm)的观测结果较雨量站数据大,而大雨(>30mm)的观测结果较雨量站数据小。总体上,TRMM 日降水数据较雨量站数据存在一定的偏差,但二者仍具有一定的线性相关性,可将 TRMM 日降水数据作为降雨径流模型的输入,进行径流过程模拟;TRMM 月降水数据与雨量站数据偏差较日降水情形显著降低,且线性相关性较好,在降水资料短缺的区域,可考虑用 TRMM 月降水数据来表征该区域月降水时空变化情况。

表1 雨量站降水数据与TRMM数据精度分析
Table 1 Comparison between the rain-gauged precipitation data and TRMM precipitation data

年份	日降水精度分析				月降水精度分析			
	$BIAS/\%$	ME/mm	MAE/mm	CC	$BIAS/\%$	ME/mm	MAE/mm	CC
2001~2010	1.71	0.06	2.7	0.77	1.71	2.02	19.02	0.96

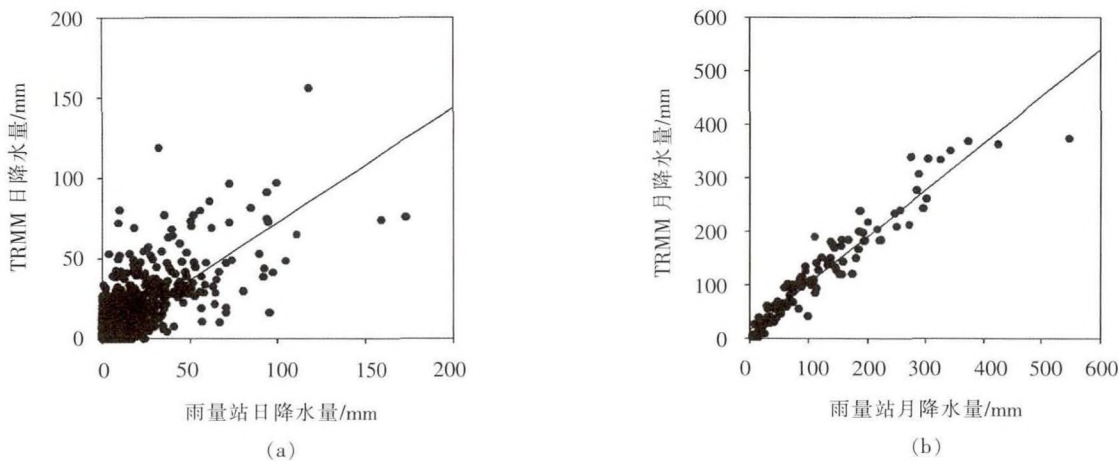


图2 TRMM与雨量站数据日降水(a)和月降水(b)数据对比的散点图
Fig.2 Comparison between TRMM daily and monthly precipitation products and rain-gauged precipitation

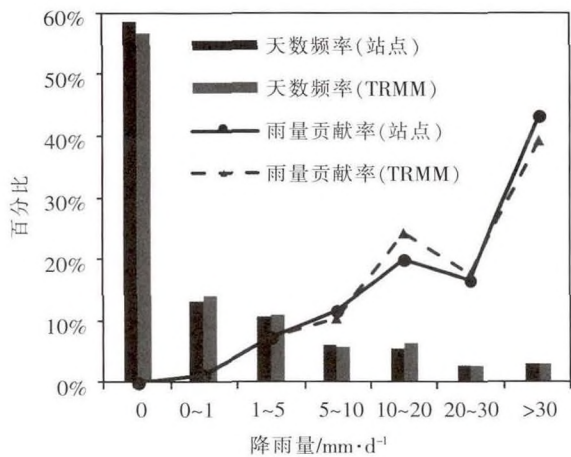


图3 雨量站数据和TRMM数据的降水发生频率和贡献率
Fig.3 Distribution of the daily intensity in different intensity ranges and their contributions to the total rainfall based on TRMM and rain gauges data

3 降雨径流模拟

径流模拟选择2001~2010年资料进行模拟,其中,2001年为模型预热期,不参与指标的统计评估。率定期为2002年~2006年,验证期为2007年~2010年。将雨量站数据以及TRMM数据分别作为新安江模型的输入,模拟率定期和验证期的径流,并且对结果进行评估。

3.1 日径流模拟

如表2所示,分别以两种降水数据驱动新安江模型,率定期和验证期总径流相对误差均在±5%以内,表明两种输入数据对径流总量的估计均较准确。采用TRMM日降水数据作为新安江模型输入可基本再现黄泥庄站的日径流过程(见图4),但精度仍较采用雨量站数据情形低。

表2 日径流、月径流模拟结果
Table2 Error statistics of the daily and monthly streamflow simulation

年份	日径流模拟						月径流模拟					
	雨量站			TRMM			雨量站			TRMM		
	NSCE	BIAS/%	CC	NSCE	BIAS/%	CC	NSCE	BIAS/%	CC	NSCE	BIAS/%	CC
率定期												
2002	0.89	4.39	0.92	0.68	7.5	0.78	0.95	4.39	0.97	0.83	7.5	0.92
2003	0.84	8.26	0.94	0.46	0.35	0.68	0.9	8.26	0.98	0.89	0.35	0.96
2004	0.89	-2.88	0.94	0.57	-3.11	0.67	0.93	-2.88	0.97	0.88	-3.11	0.96
2005	0.87	-1.61	0.97	0.42	1.15	0.85	0.95	-1.61	0.98	0.93	1.15	0.97
2006	0.94	-3.86	0.73	0.75	-4.22	0.63	0.7	-3.86	0.87	0.61	-4.22	0.79
2002~2006	0.88	2.33	0.94	0.53	-3.43	0.73	0.92	2.33	0.97	0.89	-3.43	0.94
验证期												
2007	0.84	2.86	0.94	0.6	1.85	0.79	0.95	2.86	0.98	0.89	1.85	0.96
2008	0.85	-3.12	0.93	0.65	-1.75	0.83	0.95	-3.12	0.98	0.84	-1.75	0.94
2009	0.84	-5.6	0.96	0.66	-13.44	0.67	0.86	-5.6	0.94	0.68	-13.44	0.92
2010	0.92	6.5	0.95	0.41	1.39	0.59	0.97	6.5	0.99	0.91	1.39	0.98
2007~2010	0.87	2.25	0.94	0.49	-5.31	0.7	0.95	2.25	0.98	0.87	-5.31	0.94

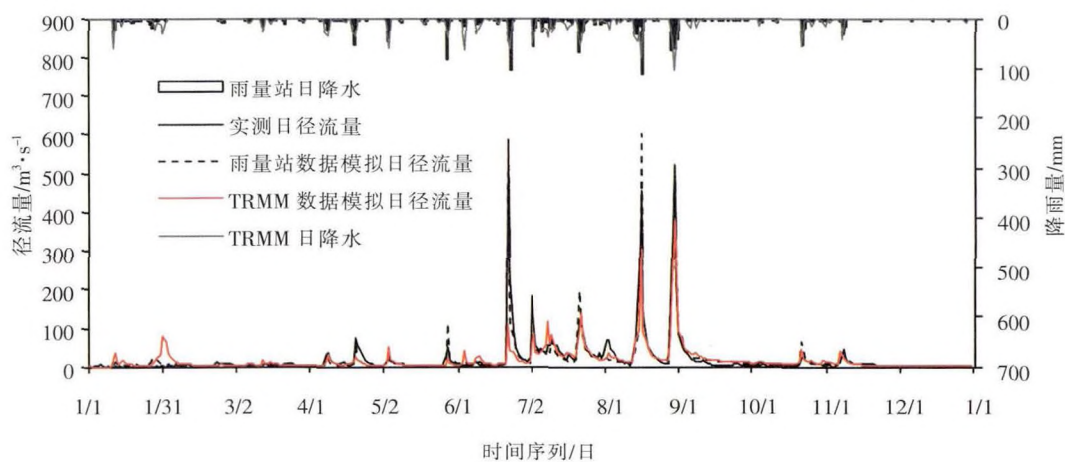


图4 采用雨量站数据和 TRMM 降水数据模拟日径流过程(2008 年)
Fig.4 The simulated daily streamflow hydrograph in 2008 using the rain-gauged and TRMM precipitation data sets

3.2 月径流模拟

采用 TRMM 数据模拟的月径流过程与实测流量过程拟合精度较高,模拟结果与采用雨量站数据的模

拟结果精度相当见表 2、图 5。因此采用 TRMM 3B42V7 降水数据驱动新安江模型,能较为精确地再现黄泥庄站月流量过程。

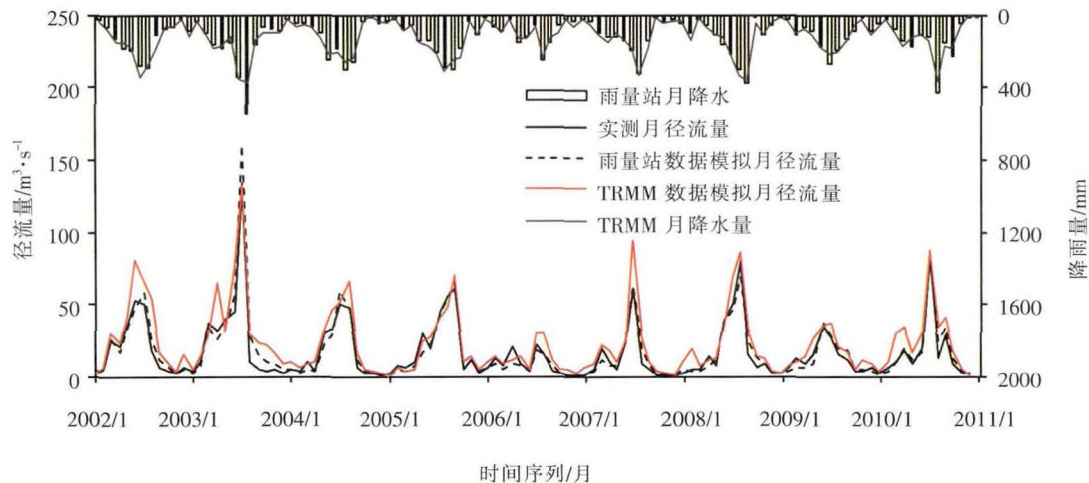


图5 采用雨量站数据和 TRMM 数据模拟黄泥庄站 2002~2010 月径流过程
Fig.5 The simulated monthly streamflow hydrograph during 2002~2010 using the rain-gauged and TRMM precipitation data sets

4 结论

本文采用雨量站观测数据作为基准数据,评估 TRMM 卫星测雨数据在小尺度的史灌河上游流域的精度,并分别采用两种降水数据进行日径流过程和月径流过程模拟。结果表明:

TRMM 3B42V7 日降水数据与站点数据偏差较

小,对洪峰的模拟普遍偏小,但对峰现期的模拟结果与实测值吻合较好,基本可以再现黄泥庄站的日径流过程。TRMM 月降水数据精度较高,对月径流的模拟效果较好。对于无/缺资料地区,可以利用 TRMM 卫星测雨产品进行该区域的月径流过程模拟。

TRMM 数据本身具有一定的系统偏差^[10],这些误差可能导致了 TRMM 数据不能精确地反映降水的时

空分布,对水文过程的模拟产生影响。目前正在实施的多卫星全球降雨观测计划 GPM (Global Precipitation Measurement)将提供比 TRMM 更完善、更准确的降雨资料。因此卫星遥感资料在水文领域中的应用将具有更广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 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))
- [2] 袁飞,赵晶晶,任立良,等. TRMM 多卫星测雨数据在赣江上游径流模拟中的应用 [J]. 天津大学学报,2013,(7):611-616. (YUAN Fei, ZHAO Jingjing, REN Liliang, et al. Streamflow simulation in the upper Ganjiang River basin using the TRMM multi-satellite precipitation data [J]. Journal of Tianjin University, 2013,(7):611-616. (in Chinese))
- [3] Bruno Collischonn, Walter Collischonn, Carlos Eduardo Morelli Tucci. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates [J]. Journal of Hydrology, 2008,360:207-216.
- [4] YONG Bin, REN Liliang, HONG Yang, et al. Hydrologic evaluation of multisatellite precipitation analysis standard precipitation products in basins beyond its inclined latitude band: a case study in Laohahe basin, China [J]. Water Resources Research, 2010,46(7).
- [5] Md. Nazrul Islam, Hiroshi Uyeda. Comparison of TRMM 3B42 products with surface rainfall over Bangladesh [J]. Hydrological Sciences Journal, 2005,48(6):4112-4115.
- [6] Artan.G,H. Gadain,J. Smith,et al. Adequacyofsatellite derived rainfall data for streamflow modeling [J]. Hydrological Sciences Journal, 2007,49(2):31-37.
- [7] SU Fengge, HONG Yang, Dennis P. Lettenmaier. Evaluation of TRMM multi-satellite precipitation analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in La Plata basin [J]. Hydrological Sciences Journal, 2007,50(6):411-417.
- [8] 陈举,施平,王东晓,等. TRMM 卫星降雨雷达观测的南海降雨空间结构和季节变化 [J]. 地球科学进展, 2005,20 (1):15-20. (CHEN Ju, SHI Ping, WANG Dongxiao, et al. Spatial distribution and seasonal variability of the rainfall observed from TRMM precipitation radar (PR) in the south China sea area (SCSA) [J]. Advance on Earth Sciences, 2005,20(1):15-20. (in Chinese))
- [9] 袁飞,任立良. 栅格型水文模型及其应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004,32 (5):483-487.(YUAN Fei, REN Liliang. Methodology of grid-based hydrological model and its application [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2004,32(5):483-487. (in Chinese))
- [10] LIU Junzhi, ZHU A-Xing, DUAN Zeng. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation product using rain gauge data in Meichuan watershed, Poyang lake basin, China [J]. Journal of Resources and Ecology, 2012,3(4):359-366.

Application of TRMM Satellite Precipitation Data in Small-scale Watershed

ZHOU Meng^{1,2}, JIANG Shanhu², REN Liliang^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In this study, the area controlled by the Huangnizhuang Station in the upper Shiguanhe River Basin was selected as the study area. TRMM 3B42V7 precipitation data set covering the study area was evaluated via comparison with the rain gauge observations. These two precipitation data sets were then adopted to drive the grid-based Xinanjiang Model to perform streamflow simulation. The results show that the daily streamflow simulation fed with TRMM daily precipitation data could basically represent the daily streamflow processes at the Huangnizhuang Station, though disagreement exists between TRMM daily precipitation and rain gauge precipitation data set. TRMM monthly precipitation was comparatively more accurate, which could be employed to simulate the monthly streamflow simulation at the Huangnizhuang Station.

Key words: TRMM 3B42V7; evaluation; streamflow simulation; Xinanjiang Model