

TRMM 卫星降水数据在怒江流域的适用性分析

徐东¹, 邹进¹, 陆颖², 潘锋^{1,2}

(1. 昆明理工大学 电力工程学院, 昆明 650500; 2. 云南大学 亚洲国际河流中心, 昆明 650093)

摘要:利用怒江流域12个气象站点1998—2012年的实测降水数据,采用散点斜率法和相关系数法,在不同的时空尺度上分析了TRMM 3B43 V7卫星降水数据在怒江流域的适用性。研究表明:月尺度上,TRMM降水数据与站点实测降水数据的相关系数 R 值为0.81,两者之间相关性显著;季节尺度上,夏季降水的相关性($R=0.74$)高于其余3个季节,冬季降水的相关性最差($R=0.63$);站点尺度上,上游和下游站点的相关系数均大于0.9,相对误差较大的站点主要分布在流域中游。总体上来看,TRMM 3B43 V7月降水数据与怒江流域站点实测数据间的一致性,呈现出上、下游地势相对开阔平坦处相关性较好,而中游地形变化剧烈,坡度较大的峡谷区相关性较差的特点。

关键词:降水; TRMM 3B43 Version7; 适用性分析; 怒江流域

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)01-0240-05

Evaluation on Applicability of TRMM Satellite Precipitation Product in the Nujiang River Basin

XU Dong¹, ZOU Jin¹, LU Ying², PAN Feng^{1,2}

(1. College of Electric Power Engineering, Kunming University of Science and Technology,

Kunming 650500, China; 2. Asian International Rivers Center, Yunnan University, Kunming 650093, China)

Abstract: The applicability of TRMM 3B43 V7 satellite precipitation data in Nujiang River Basin was analyzed by using scatter slope method and correlation coefficient method based on the measured precipitation data from 12 meteorological stations in Nujiang River Basin at different space-time scales. The results showed that the correlation coefficient R value of TRMM precipitation data and site measured precipitation data was 0.81, and the correlations between them were significant; on the seasonal scale, the correlation ($R=0.74$) of summer precipitation was higher than the other 3 seasons, the relativity of winter precipitation was the poorest ($R=0.63$); on the site scale, upstream and downstream sites of the correlation coefficient was greater than 0.9, relatively large sites mainly distributed in the middle of the river basin. On the whole, the consistency between the TRMM 3B43 V7 monthly precipitation data and the measured data of the Nujiang River basin site showed that the correlation between the upper and lower topography was relatively open and flat, while the terrain of the middle reaches was diverse, and the canyon area with greater slope was less relevant.

Keywords: precipitation; TRMM 3B43 Version7; accuracy evaluation; Nujiang River Basin

降水是全球能量和水循环的重要环节,在不同时空尺度的大气、水文循环中扮演着不可或缺的角色^[1-2]。降水数据是气象、水文研究中的基础资料之一,数据的精度直接影响着研究成果的可靠性。我国西南高原山区发育了众多大江大河,自西向东分布有雅鲁藏布江—布拉马普特拉河、独龙江—伊洛瓦底江、怒江—萨尔温江、澜沧江—湄公河等国际河流。区域内复杂多变的地形及西南季风、东南季风的交替作用,使降水表

现出极强的空间异质性;但该地区气象站点分布较为稀疏,实测降水数据的缺失很大程度上限制了区域内气候和水文等方面的相关研究。卫星遥感测雨技术的进步及相关降水产品的陆续发布,为区域降水研究提供了新的技术手段^[3-4]。其中 TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) 降水数据凭借着较高的时空分辨率和适应性等优势,成为被广泛使用的数值产品^[5-6]。其最新的 TRMM Version 7 版本相

对于 V6 版本,在卫星遥感数据源、地面雨量校正、红外数据校正及各类微波数据处理等方面做了重大的改进,数据精度得到进一步提升^[7]。

近年来,我国学者在不同地区开展了 TRMM 3B43 月降水数据的适用性评价研究工作。主要包括:蔡晓慧等^[8]研究了 TRMM 数据在西北内陆河流域的适用性,认为 TRMM 数据与实测数据间具有极高的一致性,但 TRMM 数据数值上比实测数据偏大;穆振侠等^[9]对 TRMM 数据在天山西部山区哈什河流域的精度进行了检验,结果表明 TRMM 数据比实测数据略微偏小,可以反映出区域内降雨的基本特征和空间分布趋势;白爱娟等^[10]在青藏高原及周边地区,将 TRMM 数据与实测数据进行对比后发现,TRMM 数据大体上可以反映区域内降水的基本特征;李相虎等^[11]在鄱阳湖流域对 TRMM 数据进行了检验,发现 TRMM 数据与站点数据间具有极强的相关性。由于受到山体高程和坡度的影响,TRMM 数据存在一定偏差;曾红伟等^[12]在澜沧江及周边流域分析了 TRMM 数据的精度,发现高程对 TRMM 数据的影响小于坡度,随坡度的增大,精度逐渐降低。以上研究成果多是基于 V6 版本开展,基于 V7 数据开展的相关分析较少。最近,张月圆等^[13]在不同的时空尺度上,分析了精度更高的 TRMM 3B43 V7 版本数据在红河流域的适用性,结果表明 TRMM 数据在红河流域具有较好的适用性。

怒江发源于青藏高原的唐古拉山南麓的吉热拍格,是我国西南重要的一条国际河流(图 1);它横跨 9 个经度、纵贯 10 个纬度,呈南北狭长形,流域的平均宽度仅 70 余 km,流域面积约 13.6 万 km²,干流河段全长 2 013 km^[14-15]。怒江流域地形起伏巨大,纵贯多个气候带;流域气候及地形地貌较红河流域更为复杂多变,TRMM 数据在流域内的适用性尤未可知。

本文基于怒江流域内 12 个气象站点 1998—2012 年的实测降水数据,从不同的时空尺度对 TRMM 3B43 V7 降水数据进行适用性评价。怒江流域的地理位置及气象站点分布,见图 1。

1 数据资料

1.1 TRMM 3B43 Version7 数据

TRMM 3B43 为月降水数据,空间分辨率为 0.25°×0.25°,存储格式为 HDF 格式,数据记录的是每月的平均每小时降水量(mm/h),最新版本 Version 7 于 2012 年 5 月 22 日发布,数据下载自 <http://pps.gsfc.nasa.gov/tmpa/>。

使用怒江流域矢量边界数据,对 1998—2012 年

共 180 幅的 TRMM 3B43 Version7 的月降水数据进行批量裁剪工作,流域范围内共有 212 个 0.25°×0.25°的降水栅格数据。而后使用 IDL 编程读取并处理 TRMM 3B43 Version7 数据,将月平均每小时降水量(mm/h)转换成月降水量(mm),统计流域多年平均 1—12 月的逐月降水数据。

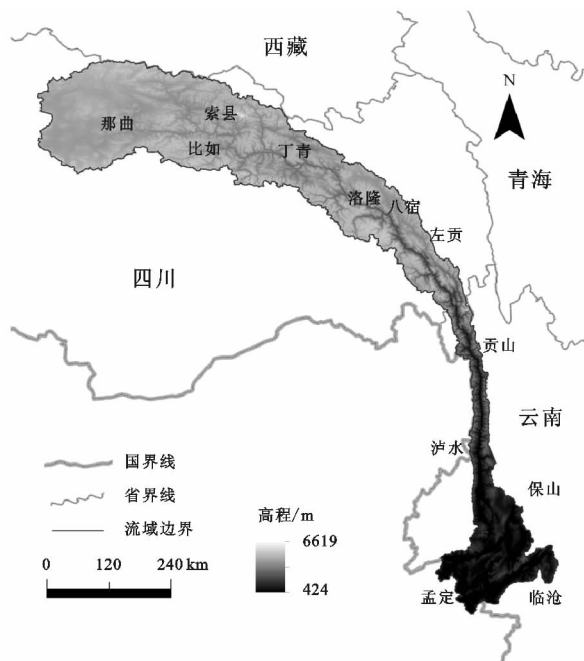


图 1 怒江流域高程及气象站点分布

1.2 站点实测降水数据

收集怒江流域内 12 个气象站 1998—2012 年逐日的实测降水数据。由于孟定气象站的降水观测仅测至 1990 年,本文中以孟定县境内的清水塘雨量站 1998—2012 年的资料代替之。站点基本情况见表 1。

2 研究方法

2.1 适用性评价指标选取

本文选取相关系数(R)和相对误差(BIAS)两个指标对 TRMM 3B43 V7 的月降水数据在怒江流域的适用性进行评价。

2.2 适用性评价方法

2.2.1 相关系数 相关系数(R)用来评价 TRMM 降水数据与站点实测数据之间的一致性。其中, R 取值范围为 $[0,1]$, R 值越接近 1,数据一致性越好^[16-17]。

其计算公式为:

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

式中: x_i 为 TRMM 降水数据提供的降水量(mm); y_i 为对应时间内地面气象站点的观测降水量(mm); n 为数据记录的总个数。

表 1 怒江流域气象站点基本情况

气象站	纬度 N/(°)	经度 E/(°)	高程/m	年降水量/mm	气象站	纬度 N/(°)	经度 E/(°)	高程/m	年降水量/mm
那曲	31.48	92.07	4507	477	左贡	29.67	97.83	3780	491
比如	31.48	93.78	3940	629	贡山	27.75	98.67	1583	1660
索县	31.88	93.78	4022	626	泸水	25.98	98.82	1805	1146
丁青	31.42	95.60	3873	671	保山	25.12	99.18	1652	1059
洛隆	30.75	95.83	3640	432	临沧	23.88	100.08	1502	1186
八宿	30.05	96.92	3260	269	孟定	23.57	99.08	511	1557

2.2.2 相对误差 相对误差(BIAS)是指 TRMM 降水数据与站点实测数据之间的误差,用来评价 TRMM 降水数据与站点实测数据在数值上的偏离程度。其中,BIAS 越接近于 0,两种数据的偏差越小,数值越准确。BIAS 大于 0,说明 TRMM 数据大于实测数据,表现为 TRMM 卫星高估了降水,反之则低估了降水。

其计算公式为:

$$BIAS=\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^n y_i}-1$$

(2)

3 结果与分析

3.1 数据整体精度检验

根据气象站点的经纬度确定站点对应空间位置的 TRMM 数据网格,通过 IDL 语言编程输出气象站点所在的 0.25×0.25 TRMM 网格数据 1998—2012 年的逐月降水数据。绘制流域内 12 个气象站点 1998—2012 年 TRMM 数据和实测数据的散点图并进行相关分析,结果如图 2 所示。

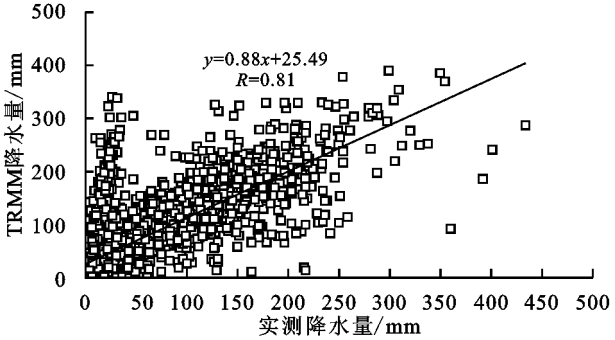


图 2 1998—2012 年 TRMM 3B43 与站点月降水数据散点图
分析图 2 可知:流域内所有气象站点实测数据与 TRMM 数据间的相关系数 $R=0.81$,斜率 $K=0.88$,说明 TRMM 数据与站点数据间具有显著的线性相关关系。

怒江流域降水受西南季风影响,具有明显的干湿季特征,因此有必要对 TRMM 数据进行季节尺度上的适用性分析。多年平均季节降水数据按春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)、冬季(12—翌年 2 月)进行统计计算,并与同期 TRMM 降水数据进行线性拟合,结果如图 3 所示。不同季节 TRMM 数据与实测数据的误差统计结果详见表 2。

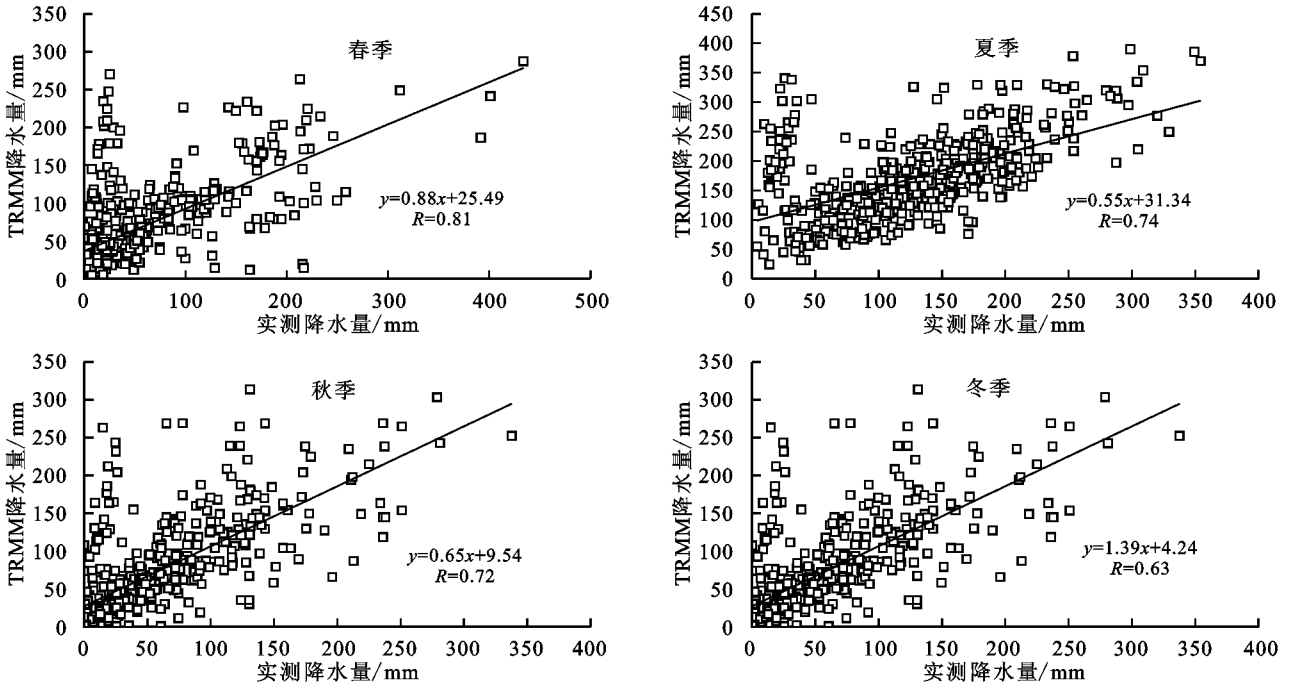


图 3 1998—2012 年 TRMM 3B43 与站点季降水量散点图

表 2 不同季节 TRMM 3B43 与实测降水误差统计结果					
季节	R	BIAS	季节	R	BIAS
春季	0.65	0.24	夏季	0.74	0.36
秋季	0.72	0.15	冬季	0.63	0.14

从图 3 和表 2 可以看出:4 个季节的相关系数 R 均大于 0.6,说明 TRMM 数据能够很好的反映季节降水的特点。其中,夏季的相关性最强($R=0.74$),其次为秋季($R=0.72$)和春季($R=0.65$),冬季的相关性最弱($R=0.63$);此外,从相对误差来看,夏季的相对误差最大,冬季的相对误差最小。

3.2 单个站点 TRMM 降水数据精度检验

降水作为所有气象要素中最活跃的变量,受到很多气象和地理要素的影响,具有时空上的不联系性和高度非线性特征^[18]。由于整体上的精度检验会掩盖单个气象站点降水数据与对应网格点的 TRMM 降水数据间的差异,因此仅对 TRMM 降水数据进行总体精度检验是不够的,还需要对单个站点的 TRMM 降水数据精度进行分析。

将流域内 12 个气象站点 1998—2012 年的实测数据与 TRMM 3B43 V7 的月降水数据绘制散点图并进行相关分析,结果如图 4 所示。

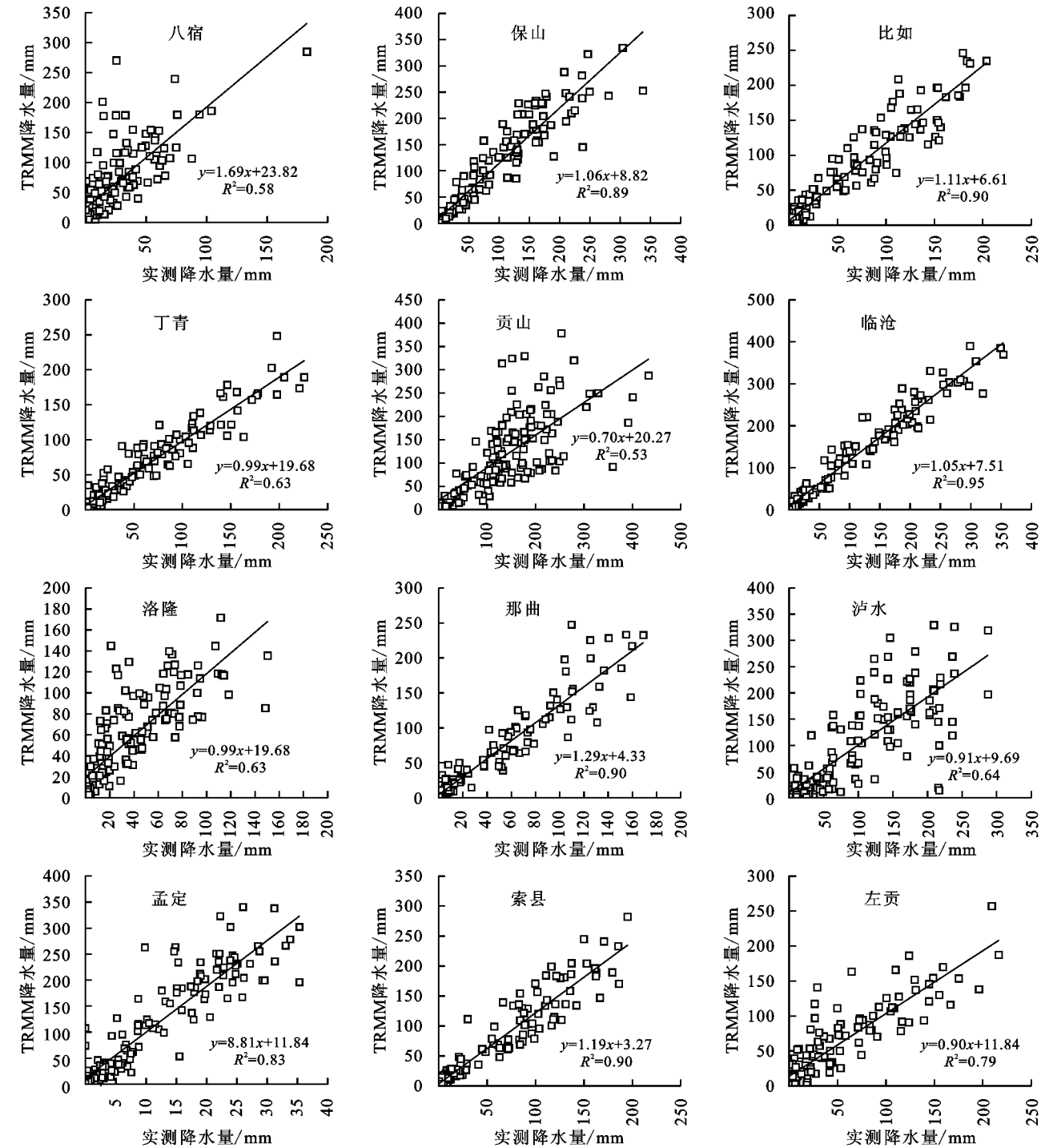


图 4 怒江流域站点实测与 TRMM 月降水数据散点拟合图

分析图 4 可知:TRMM 3B43 V7 的月降水数据与站点实测月数据间具有较好的一致性。其中上游的那曲、丁青、比如和索县,下游的临沧、保山及孟定站相关系数(R)均达到了 0.90 以上,其中临沧站更是高达 0.98。TRMM 3B43 V7 的月降水数据与中游地形变化剧烈地区站点的相关性较差,与八宿站实测数据的相关系数为 0.76,洛隆站为 0.79,左贡站为 0.89;其中与贡山站的相关系数最小,只有 0.73。TRMM 3B43 V7 的月降水数据与怒江流域站点实测数据间的一致性,呈现出上、下游地势相对开阔平坦处相关性较好,而中游地形变化剧烈,坡度较大的峡谷区相关性较差的特点。

相关性较差的八宿站、洛隆站、贡山站位于怒江流域中部,此处流域狭窄,地形起伏变化较大,峰高谷深,天气气候垂直分布特征明显,显现出“十里不同天”的特点;降水在这些地区具有更强的空间异质性。目前我国山区的气象站和雨量站多设在河谷低处,在海拔较高的地方雨量测点很少;雨量站的“点数据”更容易出现空间代表性不足的问题。朱国锋^[19]、刘鹏^[20]等人的研究表明,随着 TRMM 降水数据网格内参与分析的地面站点增多,TRMM 降水数据的精度评价结果会得到提升。TRMM 降水数据的空间分辨率为 0.25°(约 25 km),表征的是 25 km×25 km 空间网格上的降水均值,将之与雨量站的“点降水数据”进行比较,空间尺度上的差异必然会带来数据上的差异。可见,作为“真值”的站点数据与 TRMM 降水数据两者空间尺度的不同是造成数据差异的重要原因之一。

表 3 怒江流域站点实测与 TRMM 降水数据对比分析

站点	R	BIAS/%	站点	R	BIAS/%	站点	R	BIAS/%
那曲	0.95	21.27	索县	0.95	19.56	比如	0.96	32.14
丁青	0.95	6.55	洛隆	0.79	74.88	八宿	0.76	127.1
左贡	0.89	69.24	贡山	0.73	-14.8	泸水	0.80	32.39
保山	0.94	14.83	临沧	0.98	10.87	孟定	0.91	-6.71

由表 3 可知:怒江流域 TRMM 3B43 V7 月降水数据与实测数据间的相对误差普遍较大。其中,相对误差在 15%以内的有 5 个站点;相对误差在 30%以内的有 7 个站点,分别占到总站点数的 42%和 58%;相对误差最大的八宿站为 127.1%。

曾红伟^[12]、吕泽^[21]等人的研究表明,TRMM 3B43 V6 月降水数据与雨量站观测“真值”间的相对误差(BIAS)的大小与相关系数(R)的高低没有必然联系,且 TRMM 3B43 月降水数据相对于实测数据的高估、低估没有明显的空间分布规律。比如:澜沧江及周边流域的华坪站($R=0.819$,BIAS=-58.3%)、保山站($R=$

0.918,BIAS=28.3%),雅鲁藏布江流域的波密站($R=0.709$,BIAS=-4.5%)、江孜站($R=0.894$,BIAS=60.5%)、南木林站($R=0.926$,BIAS=-21.2%)。怒江流域的 TRMM 3B43 V7 月降水数据与实测数据间的精度分析表明,V7 数据也有类似的规律,比如站的相关系数高达 0.96,相对误差为 32.14%,孟定站的相关系数为 0.91,相对误差为-6.71%。另外,生产 TRMM 降水数据的反演算法 TMPA 本身就是基于多源遥感数据对区域降水的一种近似估算方法,其算法本身也会引入系统性的误差。

4 结论

(1) TRMM 3B43 V7 降水数据与站点实测降水数据间的相关系数 $R=0.81$,斜率 $K=0.88$ 。除八宿、贡山、洛隆站的实测降水数据与 TRMM 降水数据间的相关性较差外($R<0.8$),其余站点二者间相关系数均大于 0.85。

(2) 季节尺度上,TRMM 降水数据与站点实测数据的相关性较强, R 均大于 0.6,表明 TRMM 数据能较好的反映季节降水的特点,但各季节之间存在差异。其中夏季相关性($R=0.74$)高于其余 3 个季节,冬季相关性最差($R=0.63$)。

(3) TRMM 月降水数据与怒江流域站点实测数据间的一致性,呈现出上、下游地势相对开阔平坦处相关性较好,而中游地形变化剧烈,坡度较大的峡谷区相关性较差的特点。

参考文献:

[1] 季旋,罗毅. TRMM 降水数据在中天山区域的精度评估分析[J]. 干旱区资源与环境,2013,36(2):253-262.

[2] 沈彬,李新功. 塔里木河流域 TRMM 降水数据精度评估[J]. 干旱区资源与环境,2015,38(4):703-710.

[3] 曲伟,路京选,宋文龙,等. TRMM 遥感降水数据在伊洛瓦底江流域的精度检验和校正方法研究[J]. 地球科学进展,2014,29(11):1262-1270.

[4] 张红平,周锁铨. 山地降雨的空间分布特征研究综述[J]. 陕西气象,2004,11(6):27-30.

[5] Su F G, Hong Y, Lettenmaier D P. Evaluation of TRMM multisatellite precipitation(TMPA)and its utility in hydrologic prediction in la plata basin[J]. Journal of Hydrometeorology, 2008,9(4):622-640.

[6] 郝振纯,童凯,张磊,等. TRMM 降水资料在青藏高原的适用性分析[J]. 水文,2011,31(5):18-24.

[7] 胡庆芳,杨大文,王银堂,等. 基于 TRMM/TMI 的天山西部山区降雨研究[J]. 水力发电学报,2014,33(5):6-10.

收入,加强经济建设;积极扶持城市生态农业发展,丰富农产品市场结构;创新技术并开发新能源,推广新能源交通工具;引导理性消费,调整消费结构,提倡低碳生活;控制城市人口规模,防止人口过快增长;重点治理城市污水以及工业废气;加大环保投资比例,提高绿化覆盖比例。基于灰色关联度分析,综合发展度 D 与压力型输出熵、还原型代谢熵相关性更大,而协调发展度 T 则与氧化型代谢熵相关性更大。

(4) 研究结果初步揭示了过去十年(2005—2015)的长江下游五省人居生态系统演化发展趋势,针对人居生态系统发展过程存在的问题提出了优化措施。可以为该地区可持续发展提供一定科学参考。

参考文献:

[1] 石惠春,刘伟,何剑,等.一种城市生态系统现状评价方法及其应用[J].生态学报,2012,32(17):5542-5549.

[2] 杨俊,李争,宋振江,等.长江经济带内陆节点城市生态系统状态评价研究:以长江中游城市带为例[J].人民长江,2016,47(2):11-14.

[3] 尹晓波.城市生态系统可持续发展评价研究[J].工业技术经济,2006,25(1):58-60.

[4] Wang P, Deng X Z, Zhou H M, et al. Responses of urban ecosystem health to precipitation extreme: A case study in Beijing and Tianjin[J]. Journal of Cleaner Production, 2018,177:124-133.

[5] 吴宜进,廖乐,袁绪英.基于信息熵的武汉市城市生态系

统演化分析研究[J].长江流域资源与环境,2013,22(1):21-26.

[6] 王龙,徐刚,刘敏.基于信息熵和 GM(1,1)的上海市城市生态系统演化分析与灰色预测[J].环境科学学报,2016,36(6):2262-2271.

[7] 李婧昕,杨立,杨蕾,等.基于熵理论的城市生态系统服务流定量评估:以北京市为例[J].应用生态学报,2018,29(3):987-996.

[8] 李涵,戴文婷.基于耗散结构理论的资源型城市转型发展分析:以徐州市为例[J].中国矿业,2017,26(2):27-32,50.

[9] 王珞珈,董晓峰,刘星光,等.基于信息熵的兰州城市生态系统可持续发展能力演化分析[J].兰州大学学报:自然科学版,2016,52(6):764-770.

[10] Lin Z M, Xia B. Sustainability analysis of the urban ecosystem in Guangzhou City based on information entropy between 2004 and 2010[J]. Journal of Geographical Sciences, 2013,23(3):417-435.

[11] 廖重斌.环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系:以珠江三角洲城市群为例[J].热带地理,1999,19(2):171-177.

[12] 田兵,冉雪琴,薛红,等.贵州 42 种野生牧草营养价值灰色关联度分析[J].草业学报,2014,23(1):92-103.

[13] 陈骥,邹树梁,唐德文,等.基于灰色关联度的集对分析方法在高层建筑火灾危险性评价中的应用[J].中国安全生产科学技术,2015,11(5):136-141.

[14] 国务院.长江三角洲城市群发展规划[Z].国务院常务会议,2016-05-11.

(上接第 244 页)

[8] 蔡晓慧,邹松兵,陈志翔,等. TRMM 降水数据在西北内陆河流域的适应性定量分析[J].兰州大学学报:自然科学版,2013,49(3):291-298.

[9] 穆振侠,姜卉芳.基于 TRMM/TMI 的天山西部山区降水研究[J].干旱区资源与环境,2010,24(7):115-119.

[10] 白爱娟,刘长海,刘晓东. TRMM 多卫星降水分析资料揭示的青藏高原及其周边地区夏季降水日变化[J].地球物理学报,2008,51(3):704-714.

[11] 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.

[12] 曾红伟,李丽娟.澜沧江及周边流域 TRMM 3B43 数据精度检验[J].地理学报,2011,66(7):994-1004.

[13] 张月圆,李运刚,季旋,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.

[14] 郭敬辉.川西滇北地区水文地理[M].北京:科学出版社,1985.

[15] 樊辉,何大明.怒江流域气候特征及其变化趋势[J].地理学报,2012,67(5):621-631.

[16] 刘小婵. TRMM 降雨数据的空间降尺度研究[D].吉林,长春:东北师范大学,2015.

[17] 李燕,周游游,胡宝清,等.基于 TRMM 数据的广西西江流域降雨时空分布特征[J].亚热带资源与环境学报,2017,12(1):75-82.

[18] 程珂,朱桢,李铭. TRMM 3B43 降水产品在西藏地区的精度检验和应用[J].水利水电技术,2014,45(1):44-46.

[19] 朱国锋,蒲焘,张涛. TRMM 降水数据在横断山区的精度[J].亚热带资源与环境学报,2013,33(9):1125-1131.

[20] 刘鹏,傅云飞,冯沙,等.中国南方地基雨量计观测与星载测雨雷达探测降水的比较分析[J].气象学报,2010,68(6):822-835.

[21] 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.