

三峡库区(重庆段)TRMM降水实用性分析及时空特征*

吴建峰^{1,2}, 陈阿林^{1,2}, 嵇涛^{1,2}, 朱翠霞^{1,2}, 鲁小平³

(1. 重庆师范大学地理与旅游学院; 2. GIS应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 400047; 3. 重庆市气象局, 重庆 401147)

摘要:以三峡库区(重庆段)为研究区,利用17个气象站点的实测降水量分别在年、季、月尺度上验证TRMM(Tropical rainfall measurement mission)卫星降水数据的精度,并基于TRMM降水数据分析了研究区的降水时空分布特征。结果表明:①TRMM降水与站点实测数据存在显著的线性相关性,数据在该研究区具有较好的实用性。年尺度上,拟合优度 $R^2=0.79$,通过 $\alpha=0.01$ 置信度检验,相关系数 $R=0.89$;季尺度上,各季节都通过 $\alpha=0.01$ 置信度检验,春季拟合优度相对较低($R^2=0.62$);月尺度上,拟合优度 $R^2=0.71$,通过 $\alpha=0.01$ 置信度检验,相关系数为0.84。②降水空间分布整体上呈由西南向东北逐渐递增的趋势,高值区分布在东北部区域,低值区分布在西南部区域,中值区分布在中部、南部以及西部的山脊边缘区域。③降水差异显著,夏季最多,冬季最少;大部分降水集中在5~8月,占全年降水的60%左右,12月到第二年2月降水仅占全年的5%左右。

关键词:TRMM降水;精度验证;时空分布;三峡库区(重庆段)

中图分类号:P467

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2014)-0070-08

降水对农业生产、水资源利用、生态系统管理等有非常重要影响^[1];同时,降水对表征水循环也起着非常重要的作用,因此进行降水量的时空分布、变化规律等研究,对于分析水循环以及气候预测等具有重要意义^[2]。目前,研究降水空间分布主要是利用气象站点实测数据通过插值得到,但由于受地形、经济等条件限制,导致气象站点分布不均匀以及在山区分布稀疏等特点。因此仅通过站点数据插值得到的降水空间分布,很难达到研究区域降水空间变化的要求。相比之下,遥感数据具有较高的时空分辨率、不受地形条件限制、覆盖范围广等优势,遥感数据反演降水已成为相关领域的研究热点^[3]。热带测雨卫星TRMM从1997年发射至今,已获得多种高时空分辨率数据,为开展与降水有关的研究提供了新的数据来源^[4]。TRMM降水数据应用范围日趋多元化,包括水文过程模拟^[5-8]、降水空间分布和季节变化特征^[9-11]、天气过程分析^[12-13]、潜热分析^[14]、流域旱涝分析^[15-16]以及侵蚀力计算^[17]等。

目前,国内外学者在TRMM降水分析和验证方面做了大量的研究。Koo等^[18]使用TRMM(3B42)3h降雨数据对韩国6~8月降雨量、降雨频率等特性进行分析,得出在日时间尺度上,TRMM降雨分布与地面观测数据具有很好的一致性。Chiu等^[19]利用美国新墨西哥州站点数据与TRMM数据进行对比分析,发现TRMM 3B43数据具有较高的精度。Almazroui^[20]基于TRMM数据对1998—2009年沙特阿拉伯降水时空分布特征进行分析,发现在湿季存在一定的低估作用,在月时间尺度上两者相关系数达到0.9。在国内,潘敖大等^[21]基于1961—2006年长江三角洲地区84个气象站数据对长江三角洲气温和降水的时空特征进行了分析。丁永健等^[22]利用研究区53个测站的降水资料在纬向、经向和高度三维空间上进行了交叉分析,阐明了流域降水在空间上的分布规律。吴雪娇等^[23]、王超等^[24]在黑河流域分别研究了TRMM降水的时空特征及精度验证。

综上所述:虽然目前与TRMM有关的降雨数据精度分析较多,但这些研究大多是基于较大空间尺度上的,导致可能会掩盖中小尺度上的数据存在差异性^[25];研究多分布于地势较平坦、地形较简单的区域,三峡库区(重庆段)处于长江流域上游,地形复杂、地势垂直变化显著,对于该研究区下垫面较复杂区域的验证和时空分布研究还不足。因此亟需在该流域开展类似研究,给出TRMM降水的时空分布特征及精度状况,为TRMM降水数据广泛应用于该流域的水文预报、水文过程模拟、水资源评价等方面提供科学依据。

* 收稿日期:2013-11-03 修回日期:2014-01-15 网络出版时间:2014-7-3 23:03

资助项目:重庆市气象局开放式研究基金项目(No. Kfj-201303);重庆市教育委员会科技项目(No. KJ100624)

作者简介:吴建峰,男,研究方向为资源环境遥感与GIS,E-mail:wujianfeng74623@sina.com;通讯作者:陈阿林,E-mail:cal@cqnu.edu.cn

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20140703.2303.014.html>

1 研究区概况

三峡库区(重庆段)位于三峡库区的西段,长江上游末端,主要包括重庆市的巫山、巫溪、江津等22个区、县,面积约为46 158 km²,占三峡库区总面积的85%左右,地理范围介于105°49′~110°12′E、28°31′~31°44′N之间。研究区属于亚热带季风性湿润气候,雨量充沛但时空分布不均匀,平均降雨量为1 150.2 mm左右。平均气温在15~18℃之间,具有冬暖春早、夏热秋迟的特点。三峡库区(重庆段)地跨大巴山断褶带、川东褶皱带和川鄂湘黔隆起褶皱带三大构造单元,地形复杂、地势垂直变化显著,地貌主要以山地、丘陵为主^[26]。研究区内含17个国家基准和基本站观测站点,研究区概况如封二彩图1。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

研究所用的数据包括DEM数据、TRMM 3B43(文中后面简称TRMM)降水数据和气象站点实测降水数据。①DEM数据为ASTER GDEM,其空间分辨率约为30 m,该DEM数据是由美国航空局与日本国际经贸商业部共同合作开发完成。数据覆盖范围为83°N~83°S之间的所有陆地区域,数据具有较高的精度和可靠性^[27]。②TRMM数据从网站<http://trmm.gsfc.nasa.gov>免费下载,空间分辨率为0.25°×0.25°(约为25 km),时间分辨率为1个月。本文研究选取的时段为2000—2011年。③站点降水实测数据来自中国气象数据共享服务中心,选取2000—2011年三峡库区(重庆段)17个国家基准和基本站观测数据,用于对TRMM卫星降水数据进行验证。

2.2 研究方法

1)线性回归分析,用于拟合TRMM数据与气象站点数据,分析两者之间的相关性。

以气象站点数据为自变量,以对应同期气象站点所在位置TRMM格点数据为因变量,进行线性回归分析。

$$y = ax + b \quad (1)$$

式中: y 表示TRMM数据, x 为站点实测数据, a 、 b 为回归系数。

2)相对偏差,用于评价TRMM降水数据的精度,采用方法如下:

$$Bias = \frac{\sum_{i=0}^n (x_i - y_i)}{\sum_{i=0}^n y_i} \times 100\% \quad (2)$$

式中: x_i 、 y_i 分别为气象站点实测数据和TRMM降水数据。 $Bias$ 反映了TRMM降水数据与站点实测降水值在数值上的偏离程度, $Bias$ 越接近0,则说明数据偏差越小,数据越精确。

3)通过平均法计算2000—2011年间TRMM降水年、季(春、夏、秋、冬)、月的平均值,分析研究区降水的时空分布特征。

3 结果分析

3.1 TRMM数据与站点降水量对比

3.1.1 年降水量对比 利用TRMM降水数据对研究区所有站点的年平均降水量进行拟合(图略),并计算17站点的相对偏差(表1)。分析结果得到,拟合优度 $R^2 = 0.79$,通过 $\alpha = 0.01$ 下的置信度检验,相关系数 $R = 0.89$,说明TRMM降水与站点实测数据存在显著线性相关性;从表1得到,研究区内17个站点平均的年降水量相对偏差为10.4%,大多数站点TRMM年降水量大于站点实测降水,只有北碚、渝北和沙坪坝3个站点TRMM降水小于实测数据,其中相对偏差最大在石柱站($Bias = 26.8\%$),最小偏差出现在沙坪坝站($|Bias| = 2.45\%$)。整体上来看,TRMM卫星估算的年降水数据精度较高。

3.1.2 季降水量对比 三峡库区处于中亚热带湿润季风气候区,降水充沛但季节分配不均,夏季降水多于冬季。将季节按照春季(3~5月)、夏季(6~8月)、秋季(9~11月)、冬季(12~翌年2月)进行划分,计算研究区17个气象站点2000—2011年的降水。采用与年降水量相同的方法进行分析,结果(如图2)得到,各季节都通过 $\alpha = 0.01$ 置信度检验,其中夏季和秋季拟合优度最高($R^2 = 0.87$),春季拟合度相对较低($R^2 = 0.62$),冬季拟合优度 $R^2 = 0.74$ 。

通过图2得到,与1:1对角线对比,夏季和秋季的降水大部分位于对角线上半区,TRMM估算的降水高于气象站点的降水,即高估;冬季的降水多半位于下半区,即低估;春季降水基本均匀分布于1:1对角线两侧,说明TRMM估算的降水与气象站点的降水相当。

表 1 气象站点与 TRMM 降水对应像元年平均降水量对比

Tab. 1 Annual TRMM precipitation and observed precipitation for 17 stations(2000—2011)

气象站	站点年降水量/mm	TRMM 年降水量/mm	Bias/%	气象站	站点年降水量/mm	TRMM 年降水量/mm	Bias/%
开县	1 255.3	1 339.4	6.87	渝北	1 099.4	1 045.5	-4.86
云阳	1 151.3	1 302.1	13.24	沙坪坝	1 072.5	1 045.5	-2.45
巫溪	1 112.7	1 276.8	14.77	江津	946.9	1 029.3	8.80
奉节	1 062.7	1 288.3	21.39	巴南	1 013.3	1 045.8	3.36
巫山	1 009.1	1 242.4	23.33	长寿	1 060.2	1 094.2	3.32
万州	1 125.4	1 309.9	16.62	涪陵	1 046.8	1 090.3	4.22
忠县	1 119.5	1 217.4	8.84	丰都	964.5	1 148.4	19.13
石柱	1 012.8	1 275.2	26.80	武隆	994.5	1 185.3	19.39
北碚	1 105.8	1 042.2	-5.67				

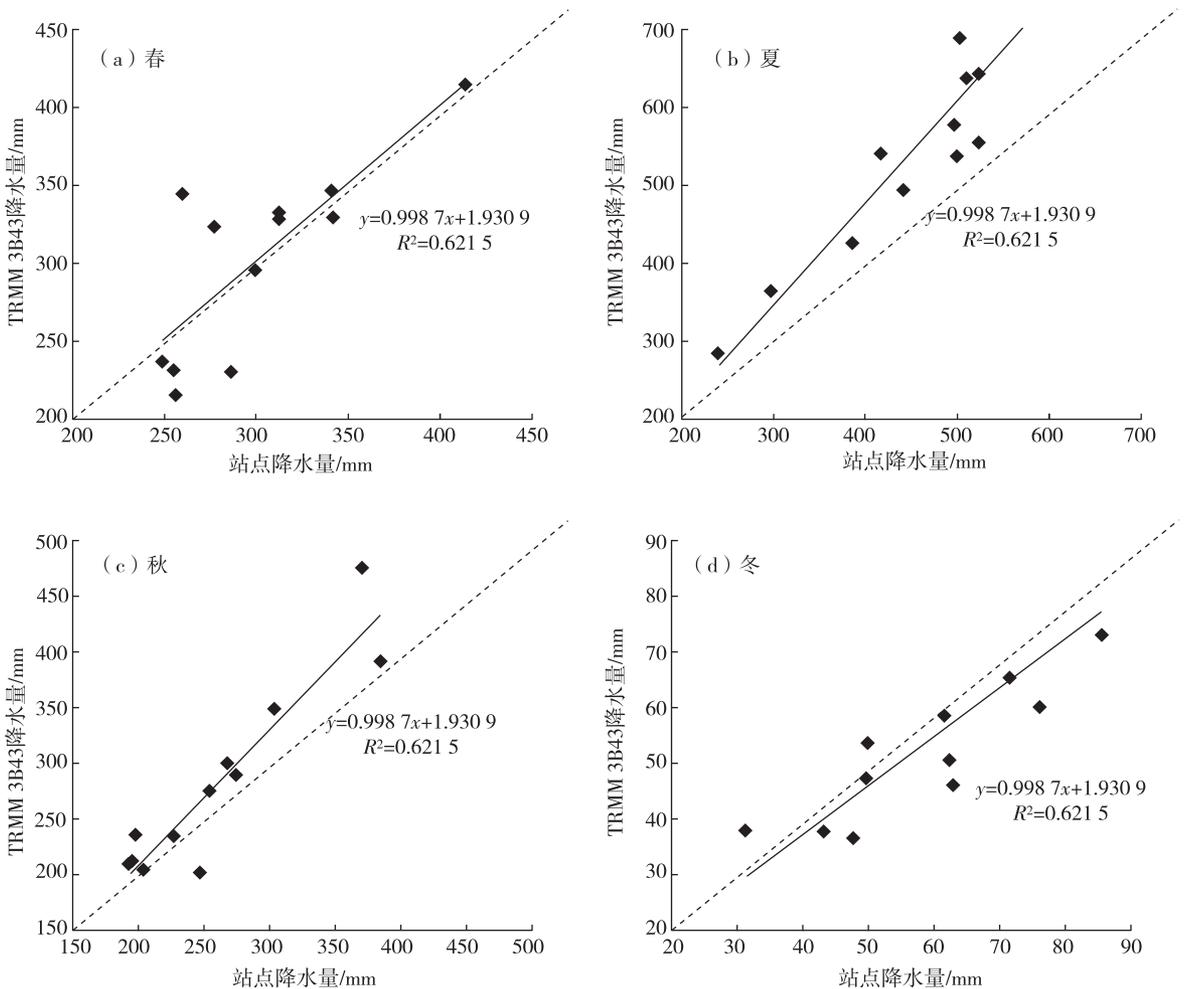


图 2 2000—2011 年 TRMM 降水与地面观测站各季降水量散点图

Fig. 2 Precipitation scatter diagram between TRMM and rain gauges for the four seasons during 2000—2011

春季拟合优度相对较低,分析其可能原因:①据重庆地区昼夜雨量统计资料得到,在 4 个季节中,春季夜雨最多,夜雨量占春季总降水量的 70%~80%,其他 3 个季节夜雨量明显低于春季^[28]。由于 TRMM 卫星接收数据在白天和夜晚存在差异性,往往白天效果优于夜晚,而加上春季降水主要集中在夜晚,这是导致春季拟合优度较低的一个重要原因。②本文针对春季 17 站点分别进行拟合,从拟合结果得到:万州、开县、忠县、石柱、武隆、长寿、涪陵站点的 $R^2 < 0.50$ (其中万州、忠县、石柱 $R^2 < 0.30$),其他站点 $R^2 > 0.50$,最高站点 R^2 达到 0.83。从站点角度分析,与站点的局部位置和该区域地形有密切的关系,万州、忠县、石柱海拔范围分别为 106~1 762 m、117~1 680 m、119~1 934 m,气象站点的高程分别为 257.0 m、325.6 m、632.2 m,该区域海拔相对高差很大,地

形起伏明显,这造成了站点实测的降水数据不能全面代表站点周围区域的降水状况,从而成为站点实测的降水与 TRMM 降水线性相关较低的另一重要原因。

3.1.3 月降水量对比 对月降水量进行回归拟合,结果(如图 3)得到:拟合优度 $R^2=0.71$,相关系数为 $R=0.84$,并且通过置信度 100% 检验,说明 TRMM 与站点观测数据之间具有显著的线性相关性。

通过以上不同尺度下的验证可得,TRMM 降水与地面站点观测的年、季、月降水量之间存在一定的偏差,但总体上两者间存在明显的线性相关性。这说明 TRMM 局地降水观测整体上具有较好的可信度,可以用来对研究区域近 10 年来的降水时空变化特征进行分析。

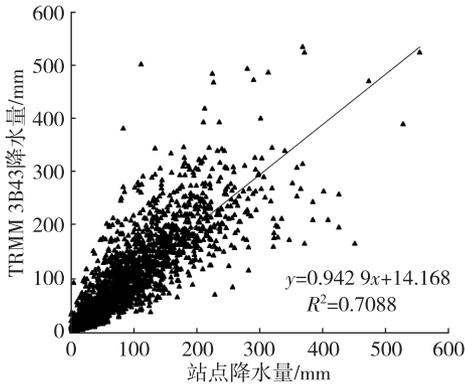


图 3 2000—2011 年 TRMM 3B43 降水与地面观测月降水量散点图

Fig. 3 Precipitation scatter diagram between TRMM 3B43 and rain gauges for months during 2000—2011

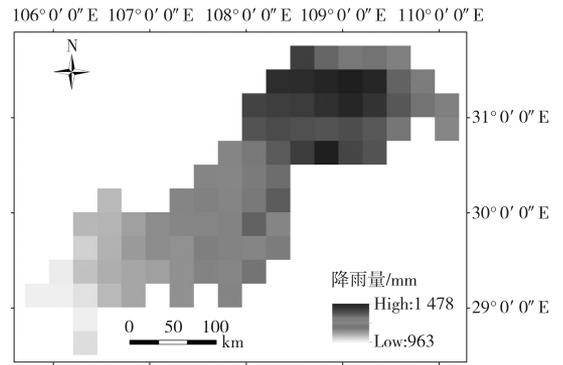


图 4 基于 TRMM 数据三峡库区重庆段 2000—2011 年年均降水分布

Fig. 4 Distribution of average annual precipitation TRMM data during 2000—2011

3.2 降水空间分布特征

尽管 TRMM 降水数据与站点实测降水量之间在数值上存在一定的差异,但整体上二者具有较好的一致性,且通过精度验证。因此 TRMM 降水数据可以定性地反映研究区降水的时空分布特征。

3.2.1 2000—2011 年年降水量空间分布 利用 2000—2011 年 TRMM 降水数据计算得出年平均降水分布(图 4)。

不同区域降水量存在差异,降水量整体上呈现由西南向东北逐渐递增的趋势。研究区的年平均降水量为 1 175 mm 左右,降水高值区主要分布在研究区东北部(开县、云阳、奉节、万州区域),最高值达 1 479 mm 左右;降水低值区主要分布在西南部(江津、主城区、涪陵、长寿区域),最低值为 964 mm 左右;降水中值区分布在中部、南部以及西部的山脊边缘区域,年降水量在 1 100~1 250 mm 范围波动。由于三峡库区(重庆段)处于亚热带季风性湿润气候区,地形复杂,导致年降水量的空间分布不均匀。东北部年降水量出现高值区,这主要是由于位于大巴山中低山区,地形对降水的作用尤为明显,且夏季山地的南坡与北坡、山顶与山谷受到不均匀加热的影响,从而产生局地热力对流,形成对流雨;开县、万州一带虽海拔高度不高,但位于观面山、明月山的迎风坡麓,从而成为多雨区。

3.2.2 季降水量空间分布 季节分配是降水的一个重要特征,利用 2000—2011 年 TRMM 降水数据得出研究区各季节平均降水分布(图 5)。

从图 5 得到各季节降水存在如下特征,春季降水整体上呈现出由西南向东北逐渐递增的趋势,降水范围在 210~397 mm 之间;夏季是降水最多的季节,降水介于 486~646 mm 之间,占全年降水量的 41.4%~55.0%,其中,东北部区域降水量最高,最低出现在中部区域,为 486 mm 左右;秋季降水分布与春季相似,降水量略小于春季,为 180~360 mm 左右;冬季是全年降水最少的季节,整体上东部沿线一带高于其他区域,降水在 42~135 mm 范围,仅占年降水量的 3.6%~11.5%。

3.2.3 月降水空间分布 利用 2000—2011 年 TRMM 降水数据计算得出月平均降水空间分布(图 6)。

从图 6 得到如下特征,流域内 1~12 月的月平均降水分布规律与年均降水分布规律相似,整体上呈现出由西南向东北逐渐递增的趋势;11 月至次年的 3 月,降水量都在 100 mm 以内(都小于 80 mm);4~5 月份开始增加,东北部增加比西南部明显,东北部达到 204 mm;6 月份呈现继续增加趋势,西南部比东北部显著,西南部增加到 245 mm,东北部略有增加;7 月份东北部呈现增加趋势,最高达 280 mm,西南部略有减少趋势;8~10 月整个研究区降水开始呈现减少趋势。

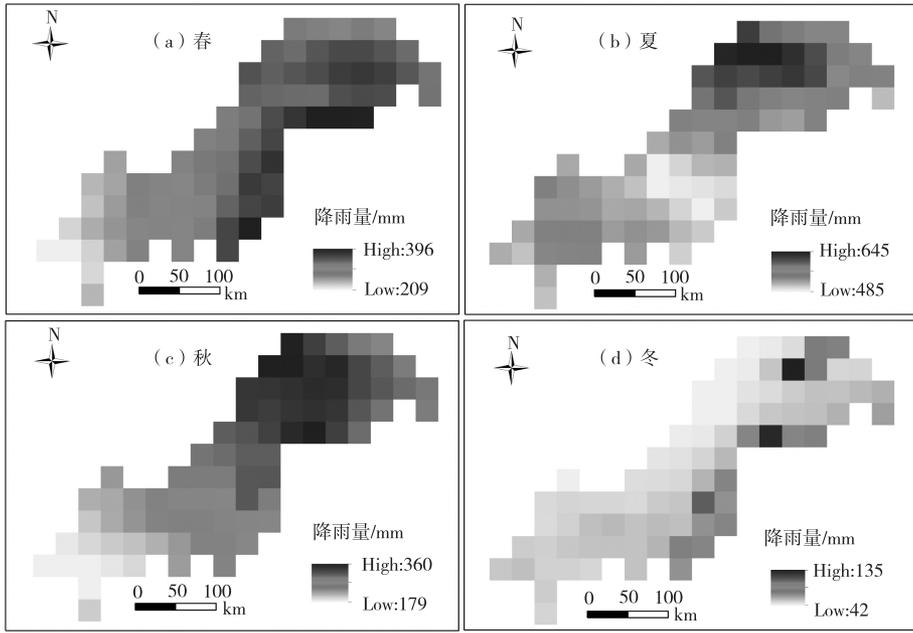


图 5 基于 TRMM 数据三峡库区(重庆段)2000—2011 年季平均降水分布

Fig. 5 Distribution of average seasonal precipitation TRMM data during 2000—2011

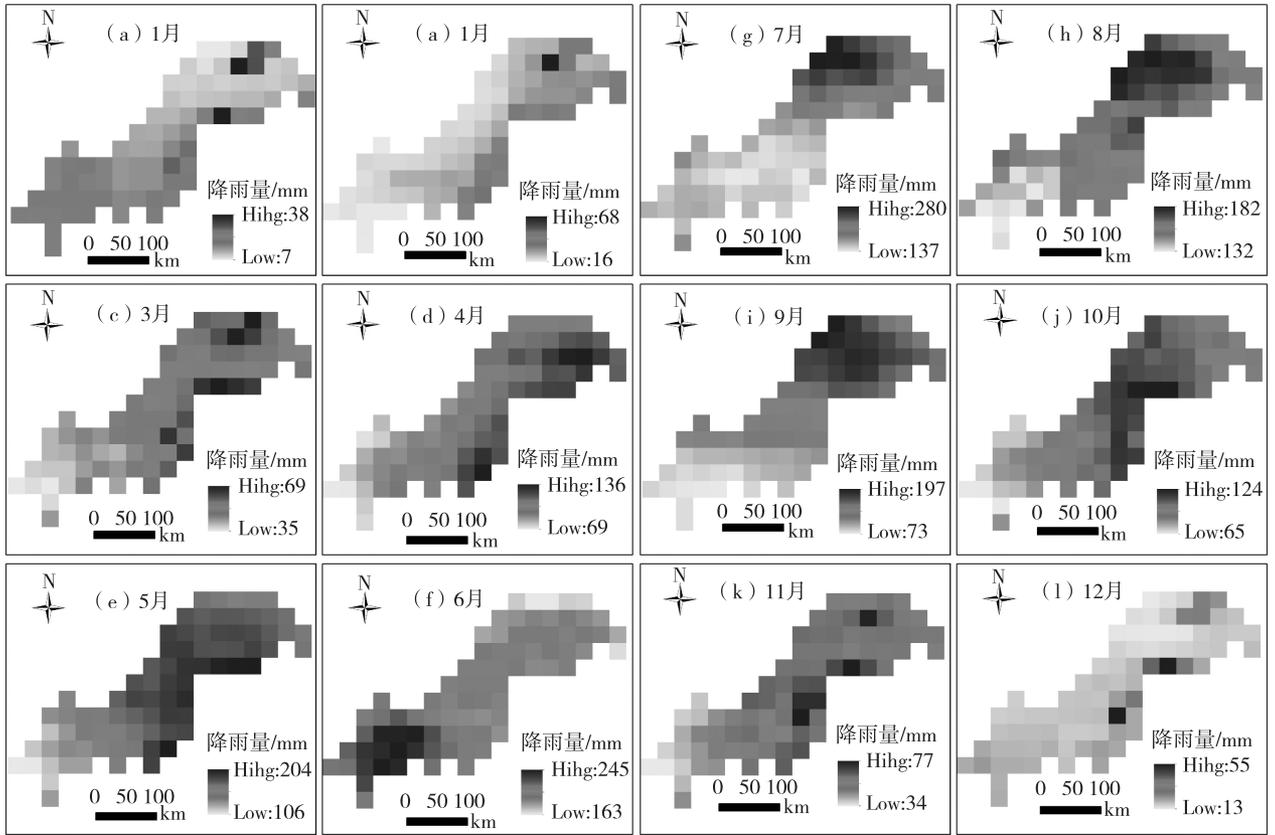


图 6 基于 TRMM 数据三峡库区(重庆段)2000—2011 年月平均降水分布

Fig. 6 Distribution of average monthly precipitation TRMM data during 2000—2011

3. 3 降水时间分布特征

研究区属亚热带季风性湿润气候,降水时空分配不均。季节上,冬季降水日数少,降水强度小,是全年降水最少季节;到春季,研究区降水逐渐开始增多,降水较冬季多;夏季降水强度大,为全年降水最多的季节;秋季降水与春季相当。月份上,降水在各月分布不均匀(图 7),全年最低降水出现在 1 月,仅有 14 mm 左右,6 月降水量最大,平均可达 195 mm,全年降水主要集中在 5~9 月份,各月降水都在 150 mm 以上,占全年降水的 60%左右,12

月到第二年2月,降水很少,仅占全年的5%左右。

从研究区的季风气候区、大气环流、海陆位置、地形等因素综合分析来看:①冬季受到西伯利亚高压前缘偏北气流影响,形成该季节降水强度小,降水日数少,成为全年降水最少的季节;春季受暖湿的东南季风影响,降水量较冬季开始增多;夏季盛行变性的热带海洋气团,且受到偏南季风的影响,形成了雨热同季的季风气候,成为全年降水最多的季节;秋季是夏季环流向冬季环流的转换过渡时期,干燥的偏北季风开始入侵,偏南风逐渐撤出,降水跟夏季相比开始逐渐减少,与春季降水相当。②1~2月份降水强度很小,主要受到西伯利亚高压气流影响;受春季暖湿的东南季风逐渐影响,3月降水量开始增加,平均降雨量为46 mm左右,而4月份降水量是3月份的一倍左右;5~6月降水强度增大,究其主要原因是受到偏南季风及热带海洋气团的影响,其中6月是全年降水最多的月份,平均降雨量可达195 mm;7~8月受副热带高压下沉气流的影响,降水量开始减少;从9月开始,受干燥的偏北季风影响,整个流域降水量呈现逐渐减少趋势^[28]。

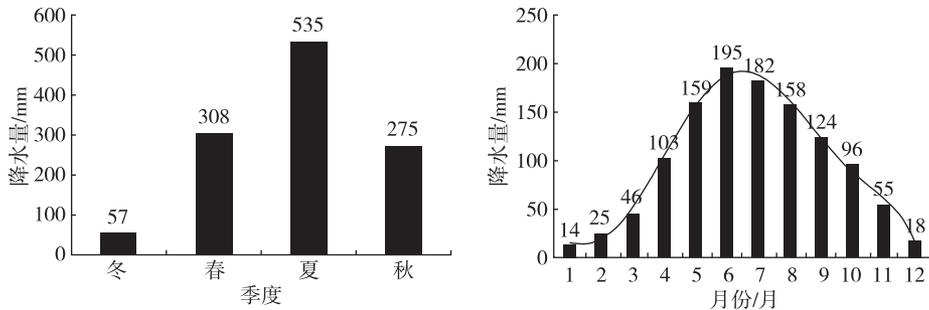


图7 研究区2000—2011年各季和月平均降水量

Fig. 7 Average season and monthly precipitation of the study area in 2000—2011

4 结论与讨论

利用三峡库区(重庆段)内的17个气象站点实测降水量对TRMM降水数据在年、季、月3个尺度上进行精度检验,并对2000—2011年的TRMM年均降水量、各季节平均降雨量和各月平均降水量时空特征进行分析,得到以下结论:

1)整体上,TRMM降水数据与站点实测数据存在显著线性相关性,TRMM卫星数据在该研究区具有较好的实用性。①年降水量对比,拟合优度 $R^2=0.79$,通过 $a=0.01$ 置信度检验,17站点年平均降水量相对偏差为10.4%。②季降水量对比,各季节拟合结果都通过 $a=0.01$ 置信度检验,秋季和夏季拟合优度最高 $R^2=0.87$,春季拟合优度相对较低 $R^2=0.62$ 。③月降水量对比,相关系数为 $R=0.84$,通过置信度100%检验。

2)降水空间分布:①年降水空间分布,整体上研究区内年降水量呈现由西南向东北逐渐递增的趋势,不同区域年降水量存在一定的差异,其中,降水高值区主要分布东北部区域,中值区分布在中部、南部以及西部的山脊边缘区域,低值区主要分布西南部区域。②季降水分布,整体上季节降水分布与年降水相似,但各季节分布也存在一些差异,夏季降水最低出现在中部区域,冬季整体上东部沿线一带高于其他区域。③月降水分布,流域内1~12月的月平均降水分布规律与年均降水分布规律相似。

3)降水时间分布,降水在各季节分配不均,夏季降水最多,冬季最少,春季和秋季相当。降水在各月分配不均匀,全年最低降水出现在1月,仅有14 mm左右;6月降水量达到最大,平均为195 mm;全年降水主要集中在5~9月,各月降水平均都在150 mm以上,占全年降水的60%左右;12月到第二年2月,降水很少,仅占全年的5%左右。

TRMM卫星降水的空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (约为25 km),空间分辨率略显粗糙,实现降水数据产品高精度重建,提高空间分辨率是本文下一步研究的方向;将TRMM降水与站点数据相结合,相互补充,为相关研究提供更高的精度。

参考文献:

- [1] Ashiq M W, Akhtar M, Zhao C, et al. GIS-based high-resolution spatial interpolation of precipitation in mountain-plain areas of Upper Pakistan for regional climate change impact studies[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2010, 99(3/4): 239-253.
- [2] 王晓霞,徐宗学,阮本清.天津市降水量变化趋势的时空分布特征[J].干旱区资源与环境,2008,22(9):92-96.
Wang X X, Xu Z X, Ruan B Q. Spatiotemporal trend of precipitation in Tianjin city[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(9): 92-96.

- [3] 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.
Hao Z C, Tong K, Zhang L L, et al. Applicability analysis of TRMM precipitation estimates in Tibetan Plateau[J]. Journal of China Hydrology, 2011, 31(5): 18-23.
- [4] 刘俊峰,陈仁升,韩春坛,等. 多卫星遥感降水数据精度评价[J]. 水科学进展,2010,21(3):343-348.
Liu J F, Chen R S, Han C T, et al. Evaluating TRMM multi-satellite precipitation analysis using gauge precipitation and MODIS snow-cover products[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(3): 343-348.
- [5] Collischonn B, Coll I W, Tucci C. Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates [J]. Journal of Hydrology, 2008, 360(1-4): 207-217.
- [6] 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 C G, Yu Z B, Lin C H, et al. TRMM satellite-based radar rainfall watershed land surface hydrological processes [J]. Advances in Water Science, 2009, 20(4): 461-466.
- [7] 赵志轩,严登华,王浩,等. 基于 WEP 模型和 TRMM_PR 的唐家山堰塞湖入湖径流预报[J]. 水利学报,2011,42(7): 848-856.
Zhao Z X, Yan D H, Wang H, et al. Based on WEP model and TRMM_PR of runoff into the lake the lake forecast [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42(7): 848-856.
- [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] Fu Y F, Liu G S. Precipitation characteristics in mid-latitude East Asia as observed by TRMM PR and TMI[J]. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2003, 81(6): 1353-1369.
- [10] 赵宗慈, Ruby L, 钱云. 近年中国夏季降水变化特征分析[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 29-31.
Zhao Z C, Ruby L, Qian Y. Characteristics of summer rainfall in China for the recent years[J]. Advance in Climate Change Research, 2005, 1(1): 29-31.
- [11] 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): 29-35.
Chen J, Shi P, Wang D X, et al. Spatial distribution and seasonal variability of the rainfall observed from TRMM Precipitation Radar(PR) in the South China Sea Area(SC-SA)[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(1): 29-35.
- [12] 胡亮,李耀东,杨松,等. 东亚热带与副热带季风区对流降雨和层云降雨季节变化特征对比分析研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(8): 1182-1191.
Hu L, Li Y D, Yang S, et al. East subtropical sub-tropical monsoon zone with convective and stratiform rainfall comparative analysis of seasonal variation [J]. Chinese Science: Earth Sciences, 2011, 41(8): 1182-1191.
- [13] 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 J Y, Wu G X. Based on TRMM satellite data reveal Asian monsoon region in summer rainfall diurnal variation [J]. Chinese Science: Earth Sciences, 2012, 42(4): 564-576.
- [14] 傅云飞, 刘奇, 自勇, 等. 基于 TRMM 卫星探测的夏季青藏高原降雨和潜热分析[J]. 高原山地气象研究, 2008, 28(1): 8-18.
Fu Y F, Liu Q, Zi Y, et al. Based on TRMM satellite detection the Tibetan Plateau in summer rainfall and latent thermal analysis [J]. Plateau Mountain Meteorology Research, 2008, 28(1): 8-18.
- [15] 李景刚, 李纪人, 黄诗峰, 等. 基于 TRMM 数据和区域综合 Z 指数的洞庭湖流域近 10 年旱涝特征分析[J]. 资源科学, 2010, 32(6): 1103-1110.
Li J G, Li J R, Huang S F, et al. Based on TRMM data and regional integrated Z Index Dongting Lake watershed characteristics of drought nearly 10 years [J]. Resource Sciences, 2010, 32(6): 1103-1110.
- [16] 杜灵通, 田庆久, 黄彦, 等. 基于 TRMM 数据的山东省干旱监测及其可靠性检验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 121-126.
Du L T, Tian Q J, Huang Y, et al. Based on TRMM data Shandong province drought monitoring and reliability test [J]. Agricultural Engineering, 2012, 28(2): 121-126.
- [17] 朱强, 陈秀万, 樊启祥, 等. 基于 TRMM 的降侵蚀力计算方法[J]. 中国科学: 技术科学, 2011, 41(11): 1483-1492.
Zhu Q, Chen X W, Pan Q X, et al. Based on TRMM calculation method to lower erosion [J]. Chinese Science: Technical Sciences, 2011, 41(11): 1483-1492.
- [18] Koo M S, Hong S Y, Kim J. An evaluation of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) multi-satellite precipitation analysis (TMPA) data over South Korea [J]. Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 2009, 45(3): 265-282.
- [19] Chiu L S, Liu Z, Vongsaard J, et al. Comparison of TRMM and water district rain rates over New Mexico [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2006, 23(1): 1-13.
- [20] Almazroui M. Calibration of TRMM rainfall climatology over Saudi Arabia during 1998 - 2009 [J]. Atmospheric Research, 2011, 99(3/4): 400-414.
- [21] 潘敖大, 王珂清, 曾燕, 等. 长江三角洲近 46a 气温和降水的变化趋势[J]. 大气科学学报, 2011, 34(2): 180-188.
Pan A D, Wang K Q, Zeng Y, et al. Trends of temperature and precipitation variation in the Yangtze River Delta from 1961 to 2006 [J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2011, 34(2): 180-188.
- [22] 丁永健, 叶佰生, 周文娟. 黑河流域过去 40a 来降水时空分布特征[J]. 冰川冻土, 1999, 21(1): 42-48.
Ding Y J, Ye B S, Zhou W J. Temporal and spatial precipi-

tation distribution in the Heihe Catchment, Northwest China, during the past 40a[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1999, 21(1): 42-48.

[23] 吴雪娇, 杨梅学, 吴洪波, 等. TRMM 多卫星降水数据在黑河流域的验证与应用[J]. *冰川冻土*, 2013, 35(2): 310-319.

Wu X J, Yang M X, Wu H B, et al. TRMM multi-satellite precipitation data validation and application of the Heihe river basin[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(2): 310-319.

[24] 王超, 赵传燕. TRMM 多卫星资料在黑河上游降水时空特征研究中的应用[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(5): 863-872.

Wang C, Zhao C Y. A study of the spatial-temporal distribution of precipitation in upper reaches of Heihe river of China using TRMM data [J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(5): 863-872.

[25] 李月臣, 简太敏, 何志明, 等. 1998—2007 年三峡库区(重庆段) 植被净第一性生产力及其时空特征[J]. *重庆师范*

大学学报: 自然科学版, 2012, 29(3): 61-65.

Li Y C, Jian T M, He Z M, et al. NPP and its spatial and temporal characteristics in the Three Gorges (Chongqing) from 1998 to 2007[J]. *Journal of Chongqing Normal University: Natural Science*, 2012, 29(3): 61-65.

[26] 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.

Zeng H W, Li L J. Lancang River and the surrounding valley TRMM 3B43 data accuracy test[J]. *Journal of Geographical Science*, 2011, 66(7): 994-1004.

[27] 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.

[28] 陈升琪, 蔡书良, 肖挺, 等. *重庆地理*[M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 2003.

Chen S Q, Cai S L, Xiao T, et al. *Chongqing geography* [M]. Chongqing: Southwest Normal University Press, 2003.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

The Applicability Analysis of TRMM Precipitation in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing and Its Spatial-temporal Distribution

WU Jianfeng^{1,2}, CHEN Alin^{1,2}, JI Tao^{1,2}, ZHU Cuixia^{1,2}, LU Xiaoping³

(1. College of Geography & Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 400047;

2. Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Municipal Education Commission

3. Chongqing Meteorological Administration, Chongqing 401147, China)

Abstract: For the study of the three gorges reservoir area of Chongqing, the applicability of TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) 3B43 precipitation data has been verified by the measured data getting from 17 meteorological stations on the year, the season and the month scale. On this basis, this paper analyzes the spatial and temporal distribution of precipitation in the study area based on the TRMM precipitation data. The result showed that: (1) Manipulative direction, there exist obvious linear correlation between TRMM precipitation and site data, so this can prove TRMM precipitation has good practicality. On the year scale, correlation coefficient $R = 0.89$. On the season scale, TRMM precipitation data has through a $= 0.01$ confidence level. The correlation coefficient is relatively low ($R = 0.79$) in the spring. On the month scale, the correlation coefficient is 0.84 . (2) On the spatial distribution of precipitation, the precipitation shows a gradually increasing trend from southwest to northeast on the whole. High values appeared in the northeast region. Low values appeared in the southwest region and the area of median values appeared in the central region, the southern region and the western edges of the ridge area. (3) On the temporal distribution of precipitation, there are significant differences in the seasonal precipitation. The maximum rainfall appeared in summer and the minimum rainfall appeared in winter. The aspect of the month, precipitation mostly concentrated in May—August, accounting for about 60% of annual precipitation. However, the precipitation accounting for about 5% of annual precipitation from the December to the February in the second year.

Key words: TRMM precipitation; applicability analysis; spatial and temporal distribution; Three Gorges Reservoir Area of Chongqing

(责任编辑 陈琴)