

杨文月, 马金辉, 杨文凯. 基于 TRMM 卫星的近 10 a 甘肃临夏降水变化特征[J]. 干旱气象, 2014, 32(6): 934-939, [YANG Wenyue, MA Jinhui, YANG Wenkai. Variation Characteristics of Precipitation Based on TRMM Data During 2001-2010 in Linxia of Gansu Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(6): 934-939], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-06-0934

基于 TRMM 卫星的近 10 a 甘肃临夏降水变化特征

杨文月¹, 马金辉², 杨文凯²

(1. 甘肃省临夏州气象局, 甘肃 临夏 731100; 2. 兰州大学资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 基于 2001~2010 年 TRMM 3B43 降水资料和数字高程模型 (DEM) 数据, 采用回归模型 + 残差的方法, 对甘肃临夏回族自治区近 10 a 的 TRMM 3B43 降水数据进行降尺度运算, 并结合研究区 6 个雨量站的观测值, 对 TRMM 3B43 降尺度结果进行精度检验, 在此基础上定量研究了临夏回族自治区近 10 a 的降水量时空变化特征。结果表明: TRMM 3B43 降尺度降水量数据整体上具有一定的可信度, 但比地面台站的观测值偏小; 甘肃临夏州年降水量呈现出由西南向东北递减的趋势, 且降水量随着海拔高度的升高而逐渐增加, 两者相关系数为 0.82; 年内降水主要集中在 5~9 月, 基本占全年降水量的 70% 以上, 其中 6 月降水量最大, 12 月降水量最小。

关键词: 降水特征; TRMM 3B43; 降尺度; 临夏

文章编号: 1006-7639(2014)-06-0934-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-06-0934

中图分类号: P426.61⁺4

文献标识码: A

引言

降水具有很大的空间和时间变化, 是较难测量的大气参数之一, 在水文预报中也是制约预报精度的主要因素。传统的水文预报模型主要依赖雨量站实测降水和水文站实测流量, 而获取精确的降雨空间分布特征的传统方法是建立高密度的雨量站网。尽管我国已建立了相当多的遥测雨量站和气象站, 但数量仍十分有限, 其密度远不能满足地形复杂地区水文模型的需求^[1]。地处甘肃省干旱半干旱地区的临夏回族自治区, 观测站点比较稀少, 降水受地理位置和地形因素的影响较大, 由此得到的区域降水较难反映整个临夏州降水的真实情况, 因此有必要借助其它方法来获取分布式的降水数据。卫星遥感可以快速、大面积、多时相地获取相应信息, 为降水研究提供了一种新的手段和更为稳定的平台。其中 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 是美国 NASA (National Aeronautics and Space Administration) 和日本 NASDA (National Space and Development Agency) 合作设计的卫星, 1997 年发射于日本。该卫星是第一颗星载测雨卫星, 承担覆盖热带雨林和

海洋特定的全球降水任务^[2-3], 其目的是改进全球环境变迁模式的降雨物理机制, 以及研究热带降雨系统动力与热力变化的过程。卫星轨道面倾角 35°, 其运行周期为 91.3 min, 通过同一地点的不同时间观测来研究 50°N~50°S 间的日降雨情况, 其降水数据产品已被广泛应用于全球, 空间分辨率达 0.25°×0.25°, 自发射以来, 已向陆地发回了多种高时间和空间分辨率的探测数据, 为有关水文方面的研究提供了很多新的支撑。

国内外已有很多学者利用 TRMM 数据进行区域降水的研究^[3-12]。如 Huffman 等^[3] 利用澳大利亚的 TRMM 3B42RT 数据在日尺度与月尺度上与气象观测数据、雷达观测数据进行了一致性检测, 结果表明 TRMM 数据与观测数据之间有较高的线性相关性; Scott Curtis 等^[4] 在流域尺度上使用 TRMM 数据与地基雷达对 Floyd 飓风产生的降水量进行了比较, TRMM 数据亦显示出相当的精度; 马金辉等^[5] 基于石羊河流域 2001~2010 年 TRMM 3B43 数据, 采用统计降尺度的方法对石羊河流域多年平均降水量进行了降尺度操作, 结果表明该方法不仅提高了

收稿日期: 2014-01-24; 改回日期: 2014-07-14

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2011BAK12B06)、国家国际科技合作专项 (2013DFE23030) 共同资助

作者简介: 杨文月 (1968-), 女, 甘肃陇西人, 工程师, 主要从事中短期天气预报服务。E-mail: ywy0930@foxmail.com

通讯作者: 马金辉 (1964-), 男, 甘肃天水人, 副教授, 博士, 主要从事环境建模方面的研究。E-mail: majh@lzu.edu.cn

降水空间分布的分辨率,而且提高了地面降水模拟的准确性;曾红伟等^[6]对 1998~2009 年澜沧江及周边的 TRMM 3B43 数据,从流域尺度、站点尺度、月尺度进行了精度检验,结果表明 TRMM 数据的精度跟地形因素有一定的关系,且在月尺度上具有较高的精度,数据值总体上偏低,但能够较好地反映区域的降水特征。以上研究大多是基于较大空间尺度的区域,同时侧重于验证 TRMM 数据的整体精度,在某种程度上掩盖了中小尺度上的数据差异。

本文在以上研究的基础上,综合考虑临夏回族自治区的地形特点,利用统计降尺度方法^[13-15]对 TRMM 数据进行精度校正,结合研究区的 6 个雨量站观测数据对 TRMM 3B43 降尺度结果进行有效性检验,并以此来对临夏回族自治区近 10 a 来的降水时空分布特征进行分析。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

临夏回族自治区位于黄河上游,甘肃省中部西南面,东临洮河与定西市相望,西倚积石山与青海省相毗邻,南靠太子山与甘南藏族自治州搭界,北濒湟水与甘肃省会兰州接壤,地处青藏高原与黄土高原的过渡地带。现辖临夏市和临夏、康乐、永靖、广河、和政、东乡、积石山 7 个县。面积 8 169 km²,人口 207 万。州内山谷多、平地少,地势西南高、东北低,由西南向东北递降,呈倾斜盆地状态,平均海拔 2 000 m(图 1)。临夏大部分地区属温带半干旱气候,西南部山区高寒阴湿,东北部干旱,河谷平川温和;冬无严寒,夏无酷暑,四季分明,气候适宜;年平均气温 6.3 ℃,最高气温 32.5 ℃,最低气温 -27.8 ℃,

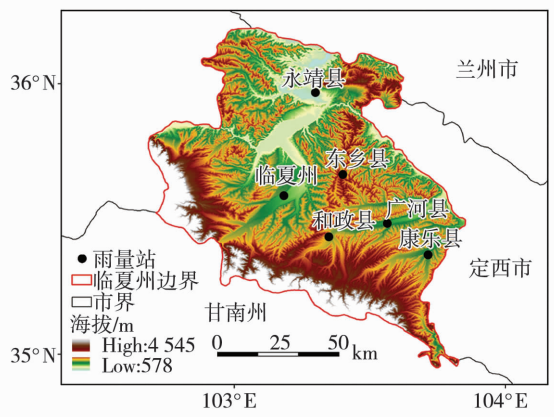


图 1 研究区地形高程和雨量站分布

Fig. 1 The topography elevation and location of 6 rain gauge stations in Linxia of Gansu Province

蒸发量 1 198~1 745 mm,日照时数 2 572.3 h,无霜期 137 d。

1.2 数据源

采用了临夏回族自治区 2001~2010 年 TRMM 3B43 和雨量站的月降水量数据以及数字高程模型 (DEM) 数据。其中 TRMM 3B43 来自美国 NASA Goddard 数据分发中心 DAAC (Distributed Active Archive Center),通过 NASA 网站 (<http://trmm.gsfc.nasa.gov/>) 免费获得(资料等级: Level3; 版本号: Version6; 分辨率 0.25°); DEM 数据为 GTOPO30,空间分辨率为 30 弧度秒(相当于 1 km),通过美国地质调查局 (USGS) 网站 (http://eros.usgs.gov/#Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30_info) 免费获得;雨量站观测数据来自中国气象局。

1.3 统计降尺度方法

考虑到临夏自治州复杂的地形效应,降尺度过程采用了回归方程+残差法的混合插值方法。通过建立降水量与地形因子之间的多元线性回归方程,推算整个区域降水空间分布数据,然后加上回归预测的残差插值数据,得到修正后的降水量空间分布数据。主要步骤如下:(1)将研究区的 DEM 数据和 TRMM 3B43 数据进行坐标投影转换(统一为 Kravosky_1940 - Transverse_Mercator);(2)提取 TRMM 3B43 像元中心位置的降水量 P ,以及对对应位置的经纬度、高程、坡度、坡向信息 (X, Y, H, S, A);(3)对 TRMM 3B43 和经度、纬度、高程、坡度和坡向建立多元线性回归模型;(4)用回归预测结果加上回归残差结果计算得到 1 km 的最终降尺度降水量。降尺度模型如下:

$$P = F(X, Y, H, S, A) + \varepsilon \quad (1)$$

其中, P 为降尺度后的降水量, X 为经度, Y 为纬度, H 为海拔高度, S 为坡度, A 为坡向, $F(X, Y, H, S, A)$ 表示由地形因子线性回归得到的降水预测值, ε 为由地形因子引起的降水分布偏差。将公式(1)展开的一次多项式如下:

$$P = aX + bY + cH + dS + eA + B \quad (2)$$

2 结果与分析

2.1 TRMM 数据降尺度过程与精度检验

利用 2001~2010 年的 TRMM 3B43 数据计算逐年降水量和多年平均降水量(图 2);然后以临夏州边界向外 25 km 做缓冲区(增加 1 个 TRMM 像元),并以缓冲区边界对 TRMM 3B43 降水资料进行裁剪;在此基础上分别提取多年平均 TRMM 3B43、地形因子(经度、纬度、高度、坡度、坡向)数据。

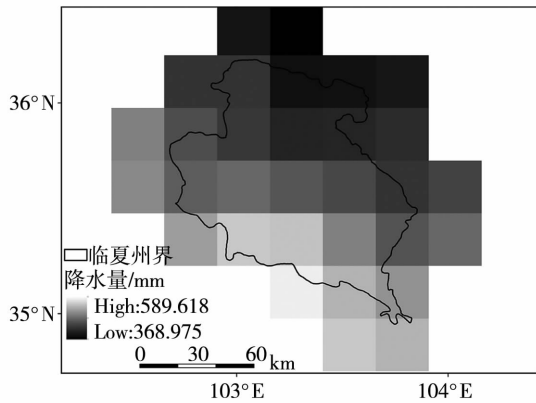


图2 2001~2010年甘肃临夏州
TRMM 3B43 平均年降水量分布

Fig. 2 Accumulated annual precipitation of TRMM 3B43 during 2001 - 2010 in Linxia of Gansu Province

陈贺等^[16]在石羊河流域上游地形因素对降水分布的影响研究中,采用了坡度的正切值和坡向的余弦值计算降水量,并建立了降水与地形因子之间的回归方程,取得了理想的结果。因此,本文在对降水量回归预测中也采用坡度的正切值和坡向的余弦值来建立方程。利用 SPSS19 软件进行多元线性回归分析,获得降水量的预测值以及与原 TRMM 3B43 之间的残差。回归方程如下:

$$P = -12.464X - 87.515Y + 0.032H + 18.917S + 0.102A + 4782.916 \quad (3)$$

通过对该方程进行显著性检验,发现 $R^2 = 0.894$ ($p < 0.05$),由此说明该模型能够很好地反映临夏州降水情况。

采用样条函数插值方法对线性回归获得的残差进行空间插值,得到回归残差的空间分布。然后将回归预测结果和残差结果相加,得到临夏州多年平均降水量的空间分布数据,其空间分辨率为 1 km (图3)。可以看出,TRMM 3B43 多年平均降水量的降尺度结果在空间分辨率上有了很大的提高,但数据的准确性还需进一步的验证。

基于同样的方法,对临夏州 2001~2010 年 TRMM 3B43 逐年降水数据做相同的降尺度操作,得到 1 km 分辨率的年降水分布时间序列数据。然后,结合研究区内的 6 个雨量站的年降水量观测数据进行验证,其中以各雨量站每年降水量为自变量,以其对应的 TRMM 3B43 降尺度降水量为因变量,做一元线性回归分析,其整体回归精度如图 4。

由图 4 可知,TRMM 3B43 降尺度降水量与实测降水量存在显著的线性正相关, R^2 为 0.6316 (通过了 95% 的显著性检验),降尺度后的 TRMM 3B43

整体上具有较好的精度,但降水量值要比地面观测的偏小。主要是因为 TRMM 3B43 是 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 范围内的平均值,一定程度上削弱了部分地区的降水极值,导致回归分析预测的降水量在一定程度上存在误差。但总体来讲,该方法对 TRMM 3B43 进行的降尺度操作结果能够真实地反映该区域降水的特征,可以用来做进一步的分析。

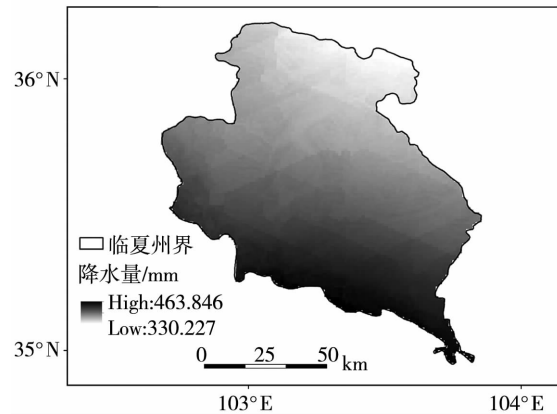


图3 1 km 分辨率的多年平均
TRMM 3B43 降尺度降水量

Fig. 3 Downscaling annual precipitation of TRMM 3B43 with 1 km spatial resolution in Linxia of Gansu Province

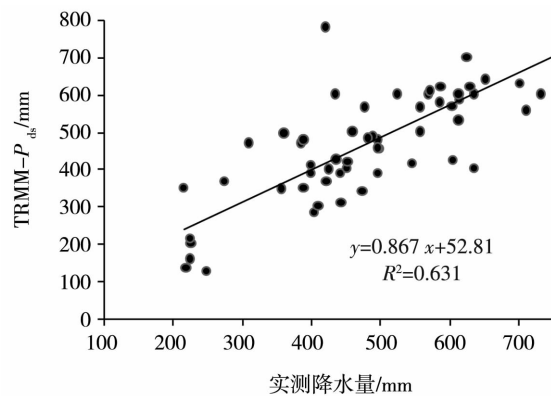


图4 实测降水量和 TRMM 3B43
降尺度降水量的散点图

Fig. 4 Scatter diagram of observed precipitation and downscaling precipitation of TRMM 3B43

2.2 临夏州降水时空分布特征

2.2.1 降水空间分布特征

从临夏州多年平均降水量的空间分布(图3)来看,平均年降水量介于 330.227~463.846 mm 之间,总体上表现为由西南向东北递减的趋势,降水高值主要分布在临夏州的西南部。通过对临夏州各县降水量的分区统计(表1),可知临夏州近 10 a 平均降水量为 400.69 mm,最小值为 330.23 mm,最大值

为 463.85 mm;从西南到东北,和政县、康乐县、临夏县、广河县、积石山自治县、东乡族自治县、永靖县的降水量依次降低。通过分析发现,降水量的空间分布特征主要是由临夏州的地形条件和气候共同决定的:整个临夏州属温带半干旱气候,海拔高度由西南部向东北部递降,呈倾斜盆地状态;州内西南部靠近青藏高原,高寒阴湿,汇集天然降水、涵养水源,东北部干旱,河谷平川温和。利用原始 TRMM 数据每个栅格的降水量及所在位置的海拔高度做相关分析(图 5),发现降水量与海拔高度之间呈显著的正相关,相关系数高达 0.82。可见,海拔高度对降水有很大的影响,降水量随着海拔高度的升高而增加。

表 1 甘肃临夏州 2001 ~ 2010 年
平均降水量统计(单位:mm)

Tab.1 Statistics of the average annual precipitation from 2001 to 2010 in Linxia of Gansu Province (Unit:mm)

区域	最小值	最大值	平均值
临夏州	330.23	463.85	400.69
东乡族自治县	351.19	407.44	378.79
积石山自治县	375.92	419.93	394.44
临夏县	373.46	454.84	413.11
广河县	376.17	429.43	399.97
和政县	399.27	463.85	431.70
康乐县	398.92	456.28	430.94
永靖县	330.23	380.06	355.86

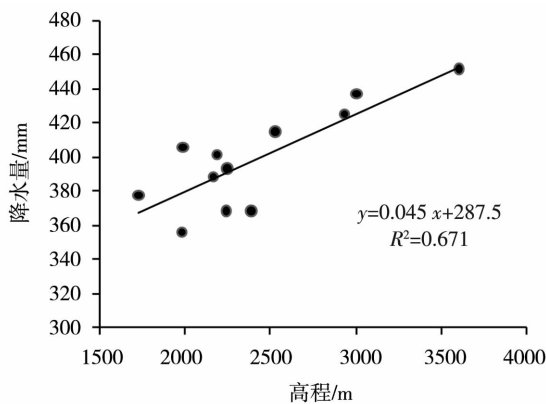


图 5 降水量与海拔高度的关系

Fig.5 The relation between precipitation and altitude

2.2.2 降水年际变化特征

图 6 为临夏州各县 2001 ~ 2010 年 TRMM 降水量的变化。可以看出,近 10 a 间,临夏州各县的年降水量整体上无明显变化趋势,但不同县区降水量的年变化特征略有不同。就整个临夏州来说,2001

~2003 年期间降水量逐渐上升,2004 年降水量出现回落,随后的 2005 年降水量再次回升,并达到峰值,此后降水量波动下降,至 2009 年降为最低值。永靖、广河、积石山、东乡 4 县,2008 年以前,年降水量波动上升,随后波动下降;而其它 3 县降水量的年变化特征与整个临夏州大致相同。

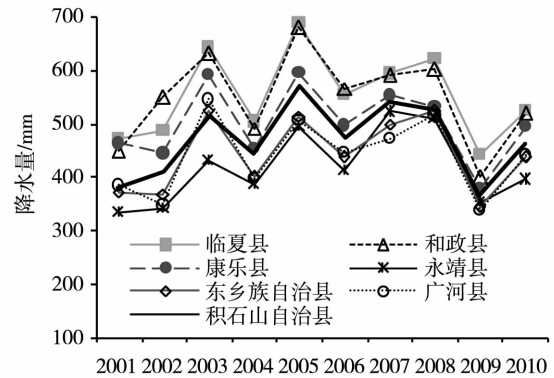


图 6 临夏州近 10 a 来年降水量的变化趋势

Fig.6 The changes of annual precipitation during 2001 - 2010 in Linxia of Gansu Province

2.2.3 降水年内变化特征

临夏州位于甘肃省中部西南面,地处青藏高原与黄土高原的过渡地带,州内大部分地区属温带半干旱气候,四季分明,降水具有很强的季节性。利用降尺度方法,计算了临夏州近 10 a 的月平均降水量,见表 2。可以看出,临夏州降水主要集中在 5 ~ 9 月,降水量均在 100 mm 以上,降水比重均超过了全年降水量 10%,其中 7 月份的降水量最大,12 月的降水量最小,5 ~ 9 月降水量总和约占全年降水量的 70% 左右。

2.2.4 降水季节变化特征

为进一步弄清临夏州降水的时间变化规律,对 TRMM 降尺度降水量进行了季节统计(图 7)。可以看出,近 10 a 间临夏州的降水表现出很强的季节特征,各年夏季降水均明显大于秋季和春季,冬季降水最少,秋季和春季降水不同年份高低顺序不同,秋季降水高于春季降水的年份较多。另外,从年际变化上看,四季降水均无明显的年变化趋势,降水的年际波动夏季最大、冬季最小。其中,秋季降水,2007 年以前,降水量整体呈现波动上升趋势,随后降水量持续下降,峰值出现在 2007 年,为 196.14 mm;夏季降水年变化表现出明显的“双峰型”特征,峰值在 2007 年,降水量为 314.39 mm,次峰值在 2003 年,值为 308.16 mm;春季和冬季降水,近 10 a 内变化相对稳定,春季降水,2002 年最大,为 171.80 mm,2006 年最小,为 76.06 mm,而冬季降水,2008 年最大,为 20.56 mm。

表 2 临夏州各月平均降水量统计(单位:mm)

Tab. 2 Average monthly precipitation in Linxia of Gansu Province (Unit:mm)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
东乡族自治县	2.36	17.89	9.58	50.87	125.36	50.12	78.56	89.61	92.12	30.25	6.54	5.69
临夏县	10.40	23.10	19.45	50.47	60.01	74.12	78.51	130.25	60.09	34.51	4.47	3.20
和政县	10.23	8.56	23.65	65.89	150.23	50.45	87.63	98.56	123.56	40.12	2.03	10.25
康乐县	9.19	19.47	22.32	50.51	60.13	80.17	89.21	130.14	50.20	32.10	2.10	5.20
永靖县	9.45	6.57	19.52	20.45	89.56	60.24	56.32	87.56	77.98	54.63	10.19	5.12
广河县	5.63	7.56	10.25	18.56	35.69	50.24	40.56	43.89	65.24	30.01	4.36	8.69
积石山自治县	6.45	4.48	13.25	29.56	79.98	150.26	78.19	50.14	79.82	60.23	5.41	8.91
临夏州	7.67	12.52	16.86	40.9	85.85	73.66	72.71	90.02	78.43	40.26	3.01	6.72

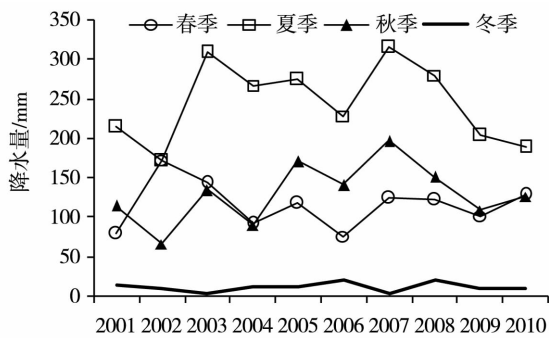


图 7 临夏州近 10 a 来四季降水量的变化

Fig. 7 The annual changes of seasonal precipitation during 2001 - 2010 in Linxia of Gansu Province

3 结 论

(1) TRMM 3B43 的降尺度结果与雨量站的观测值之间存在显著线性正相关,在区域尺度上具有一定的可信度,但整体上 TRMM 3B43 降尺度降水量比地面观测值偏小。

(2) 临夏州的年降水量介于 330.227 ~ 463.846 mm 之间,受地理位置、地形和气候因素的影响,总体表现为由西南向东北依次递减的趋势,即随着海拔高度的降低,降水量逐渐减少,降水量和海拔高度呈明显的正相关,相关系数达 0.82。

(3) 临夏州年内降水表现出很强的季节性,降水主要集中在每年的 5 ~ 9 月,约占全年降水量的 70%,其中降水量 7 月最大,12 月最小。

总之,利用连续空间分布的 TRMM 降水数据来分析临夏州降水的时空变化特征,有效地克服了传统观测中气象站点数量不足、插值方法不准确等诸多不足,在宏观尺度上使得分析结果更加准确,在今后的研究中,可考虑利用 TRMM 数据进行大范围、

长尺度的气候模拟预报。

参考文献:

- [1] Smith M B, Koren V I, Zhang Z, et al. Runoff response to spatial variability in precipitation: an analysis of observed data[J]. Journal of Hydrology, 2004, 298(1-4): 267-286.
- [2] Kummerow C D, Barnes W, Kozu T, et al. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package[J]. Journal Atmospheric Ocean Technology, 1998, 15(3): 809-817.
- [3] Huffman G J, Adler R F, Bolvin D T, et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scale[J]. Journal of Hydrometeorology, 2007, 8(1): 38-55.
- [4] Scott C, Thomas W C, Scott A L. A comparison of TRMM to other basin-scale estimates of rainfall during the 1999 Hurricane Floyd flood[J]. Natural Hazards, 2007, 43(2): 187-198.
- [5] 马金辉, 屈创, 张海筱, 等. 2001-2010 年石羊河流域上游 TRMM 降水资料的降尺度研究[J]. 地理科学进展, 2013, 32(9): 1423-1432.
- [6] 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.
- [7] 朱燕玲, 邱新法. TRMM 卫星月降水量产品的可用性研究[J]. 水科学进展, 2011, 39(22): 13614-13616.
- [8] Immerzeel W W, Rutten M M, Droogers P, et al. Spatial downscaling of TRMM precipitation using vegetation response on the Iberian Peninsula[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(2): 432-430.
- [9] 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.
- [10] 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): 433-438.
- [11] 李相虎, 张奇, 邵敏. 基于 TRMM 数据的鄱阳湖流域降水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] 陈举, 施平, 王东晓, 等. TRMM 卫星降水雷达观测的南海降水空间结构和季节变化[J]. 地球科学进展, 2005, 20(1): 29-43.

- [13] 聂建亮, 武建军, 杨曦, 等. 基于地表温度 - 植被指数关系的地表温度降尺度方法研究[J]. 生态学报, 2011, 31(17): 4961 - 4969.
- [14] Zhan W F, Chen Y H, Wang J F, et al. Downscaling land surface temperatures with multi - spectral and multi - resolution images [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012, 18: 23 - 43.
- [15] 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: 207 - 216.
- [16] 陈贺, 李原园, 杨志峰, 等. 地形因素对降水分布影响的研究 [J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 119 - 122.

Variation Characteristics of Precipitation Based on TRMM Data During 2001 - 2010 in Linxia of Gansu Province

YANG Wenyue¹, MA Jinhui², YANG Wenkai²

(1. Linxia Meteorological Bureau of Gansu Province, Linxia 731100, China;
2. College of Earth and Environmental Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Although the precipitation data from weather stations are widely applied in weather forecasting, climatic prediction and climate change research, etc, it is quite hard to reflect effectively the spatial variation of precipitation. As a precipitation radar satellite, TRMM has been collecting plentiful temporal and spatial precipitation information, so it becomes effective data to study hydrology and climate. In this study, based on the TRMM 3B43 precipitation data with $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ spatial resolution from 2001 to 2010 and digital elevation model (DEM) in Linxia of Gansu Province, the precipitation from TRMM 3B43 were downscaled to $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ by using regression model and residuals method, firstly. Combined the observation value of 6 rain gauge stations, the downscaled precipitations were subsequently validated. And on this basis the temporal and spatial variation of precipitation in Linxia were quantitatively studied in recent 10 years. The results showed that the downscaling processing of TRMM 3B43 improved effectively the spatial resolution and quality of precipitation data, and it was certain credibility on the whole, but the values of precipitation were smaller than the ground observation. The average annual precipitation decreased from southwest to northeast in Linxia, and gradually increased with elevation rising, their correlation coefficient was 0.82. The rainfall in Linxia mainly concentrated from May to September, which was more than 70% of the annual precipitation, and precipitation was maximum in June and minimum in December.

Key words: precipitation characteristics; TRMM 3B43; downscaling; Linxia