

澜沧江及周边流域 TRMM 3B43 数据精度检验

曾红伟^{1,2}, 李丽娟¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:在地形复杂的澜沧江及周边流域,利用相关系数法、散点斜率法,以研究区内35个国家基准与基本站观测数据为“真值”对1998-2009年之间月尺度的TRMM 3B43降水数据精度进行检验,采用泰森多边形法、K-Means聚类法分析了高程与坡度对检验结果的影响,借助主成分法比较了高程与坡度对TRMM 3B43的影响程度。研究表明:在整体上,月尺度的TRMM 3B43数据具有较高精度;就个体而言,研究区上游与下游地区具有较高的精度,而在波密,以及中游的贡山、德钦、德钦及香格里拉等地区精度较低;高程对TRMM 3B43数据精度的影响小于坡度,在空间上呈现出较复杂的变化趋势,自托托河—勐腊随着海拔的降低,数据精度出现高值—低值—高值的变化规律;坡度对TRMM 3B43数据精度有较大影响,坡度越大,数据精度越低。

关键词:气象;降水;TRMM 3B43;泰森多边形;K-Means聚类;地形;澜沧江流域

准确的降水空间分布数据,理论上可以由高密度的站点数量采集^[1],但是受自然条件、战争、经济水平的影响,原本不足的观测站呈现出逐年减少的趋势^[2-5],目前世界上存在许多数据匮乏流域,在这些地区开展水文预报显得尤为迫切,因此国际水科学协会 IAHS (International Association of Hydrological Sciences) 于2003年7月在日本札幌召开的第23届国际地球物理和大地测量大会上,正式启动了一个简称为 PUB (Prediction in Ungauged Basins) 的国际水文计划,意在用未来10年的时间大力开展无资料流域的水文预报^[6]。

无疑使用卫星遥感数据在缺资料地区开展水文预报有着重要意义,而热带降雨测量使命卫星 TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) 在缺资料地区获取了大量的降水信息。TRMM 卫星于1997-11-27在日本 Tanegashima 发射,其携带了 TMI (TRMM Microwave Imager)、PR (Precipitation Radar)、VIRS (Visible and Infrared Radiometer)、CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System) 和 LIS (Lighting Imaging System) 五组传感器,其中 TMI、PR、VIRS 与降水有关^[7],PR 到目前为止还是全球唯一的星载测雨雷达,提供了丰富的降水3D特征^[8-9]。

TRMM 初始轨道高度为350 km,数据覆盖全球30°S~30°N地区,2001年8月轨道高度抬升至402.5 km,数据覆盖区域扩展至全球50°S~50°N地区。TRMM 至今已经积累了海量的覆盖大陆与海洋的高时间、空间分辨率降水数据,TRMM 降水数据在应用时,必须对其精度进行检验,学者做了不少研究工作。(1) TRMM 数据与台站、雷达观测数据的比较: Huffman^[10]在澳大利亚将 TRMM 3B42 RT 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具有较高的线性相关特

收稿日期: 2011-01-11; 修订日期: 2011-03-25

基金项目: 科技部科技基础性工作专项 (2008FY110300-01), 国家科技支撑计划课题 (全国主体功能区规划遥感地理信息支撑系统关键技术研究) (2008BAH31B01) [Foundation: Ministry of Science and Technology Special Foundation Work, No.2008FY110300-01; Key Project of the National Eleventh-Five Year Research Program of China, No. 2008BAH31B01]

作者简介: 曾红伟,男,博士生,主要从事水文学与水资源研究。E-mail: zenghw.09b@igsrr.ac.cn

通讯作者: 李丽娟,女,博士,研究员,主要从事水文学与水资源研究。E-mail: lilj@igsrr.ac.cn

征。Scott Curtis^[11]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 数据亦显示出相当精度。白爱娟等^[12-13]采用 TRMM 3B41 RT 资料在青藏高原及周边地区,陕西及周边地区与观测数据进行了比对,发现 TRMM 数据大体上可以反映降水的基本特征。刘俊峰等^[14]利用中国 650 个台站降水数据,在日、月、年尺度上,分析了多卫星降水分析数据 (TMPA 3B42) 在中国大陆 50°N 以南地区的适用性,发现随着时间尺度的增加,TRMM 数据的精度逐渐提高。李景刚等^[15]在洞庭湖流域对 TRMM 3B43 数据进行了检验,发现在月尺度上,相关系数可以接近 0.9。(2) TRMM 与 CAMP 精度比较:陈举^[16]在南海地区将 TRMM 3A25 数据与观测数据、CAMP 数据进行了比较,发现 TRMM 3A25 数据具有更丰富的空间结构,更好地体现了降水在空间和时间上的变化特征,反映了高大地形对降水分布的影响。(3) TRMM 不同版本数据精度比较:Huffman^[10]研究表明 TRMM V6 数据与 V6 版本之前的数据进行了比对,发现 V6 数据有着更高的相关系数与更小的偏差,Islam^[17]在 Bangladesh 亦对 V5、V6 数据进行了比较,得到相似的结论。

以上研究表明 TRMM 数据与台站、雷达观测数据,CAMP 卫星数据相比具有相当精度,且当前版本 V6 比其之前的数据精度有了大的提升。但是数据的精度检验存在以下不足:(1) TRMM 卫星资料检验的空间尺度太大,多为全国或更大尺度,从而掩盖了小尺度上数据差异;(2) 检验多在海洋或地势相对较平坦的区域,而对下垫面较复杂的区域检验不足;(3) 侧重检验,而缺乏对数据精度影响因子的分析。

因此本文以地势复杂的澜沧江及周边流域为研究区,在月尺度上,以区域内 35 个气象站观测的降水数据为“真值”对 TRMM 3B43 数据进行检验,并分析高程与坡度对数据精度的影响,为 TRMM 卫星数据的订正提供科学依据。

1 研究采用的数据与方法

1.1 数据

研究所用的数据包括降水观测数据、TRMM 3B43 数据^①和 DEM 数据^②。(1) 降水观测数据来自于中国气象数据中心,对数据进行检验后,选取了 1998-2009 年澜沧江及周边流域 35 个国家基准与基本站观测数据。气象站观测、卫星遥感、大气模式模拟是降水数据的主要来源^[18]。尽管气象观测站的观测范围有限,但是其还是降水的最准确测量^[19],因此本研究以台站观测数据作为“真值”。(2) TRMM 3B43 数据来自 NASA,其空间分辨率为 0.25°×0.25°,时间分辨率为 1 个月,选取的时段同降水观测数据。(3) DEM 数据为 HYDRO1K DEM,水平分辨率为 1 km,HYDRO1K DEM 数据补充了原 GTOPO30 中的无资料网格,并在大部分区域进行了实际河网控制、重新填注等校正和滤波过程,具有较高的可靠性与精度^[20]。

1.2 检验及分析的方法

(1) 采用相关系数法、散点斜率法对 TRMM 3B43 数据进行检验:

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \tag{1}$$

式中: R 为相关系数, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$, n 为样本容量, x_i, y_i 分别为 TRMM 3B43 降水数据和气象站观测数据。 R 取值范围[0~1],越接近于 1,数据一致性越好。

① <http://mirador.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/mirador/presentNavigation.pl?tree=project&dataset=3B43: Monthly 0.25 x 0.25 degree merged TRMM and other sources estimates&project=TRMM&dataGroup=Gridded&version=006>
② http://eros.usgs.gov/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30/hydro/asia

散点斜率法以气象站观测降水量为自变量, TRMM 3B43降水数据为因变量,做一元线性回归分析,线性函数的斜率 K 越接近于1,偏差越小, K 大于1,说明 TRMM 3B43 降水量大于实测降水量, K 小于1,说明 TRMM 3B43 降水量小于实测降水量。

(2) 泰森多边形法 (Thiessen Polygons) 是对离散的采样点进行区域化的主要方法^[21],因此以35个气象观测站为基准,使用泰森多边形法将研究区剖分成35个多边形,刻画出相关系数(R)、偏差($|Bias|=|K-1|$)、高程(E)与坡度($Slope$)在空间上的分布。 K -Means 聚类法是样本聚类的强大工具,可快速进行分类并实现类内差异最小化和类间差异最大化,是较系统聚类更好的研究方法,故使用 K -Means 法对35个泰森多边形的 R 、 $|Bias|$ 、 E 与 $Slope$ 聚类,并分别以 E 、 $Slope$ 为自变量, R 、 $|Bias|$ 为因变量做回归分析,从而得到高程、坡度对 R 、 $|Bias|$ 的影响,最后采用主成分法,比较高程与坡度对 TRMM 3B43 数据质量影响程度。

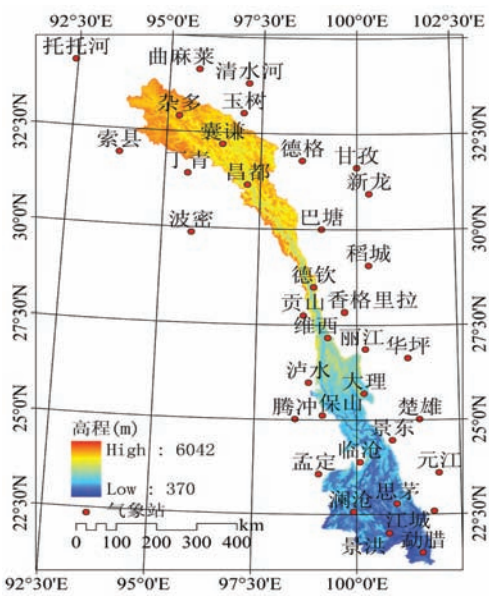


图1 澜沧江及周边流域地理位置及气象站的分布
Fig. 1 Geographical location and distribution of rain gauges in Lancang river basin

2 数据准确度检验

湄公河是亚洲第一大国际河流,也是东南亚文明历史发源的摇篮,其在中国境内的河段称为澜沧江(图1)。澜沧江流域地形、气候特征复杂,其直接影响本区水热条件的再分配^[22]。澜沧江纵贯横断山脉,是世界上最典型的南北走向的河流。澜沧江流域为纵向岭谷区的重要组成部分,具有“通道—阻隔”二元性特点,即区内东西向阻隔作用的绝对性和南北通道作用的相对性^[23],纵向岭谷区在气候上深受印度洋西南季风和西风环流交替影响^[24]。与流域地理位置的重要性,独特的地形、气候条件形成鲜明对比的是观测数据的匮乏,澜沧江及周边流域只有35个国家基准、基本气象站,是一个典型的缺资料区域。

2.1 数据总体精度评估

以研究区内的35个气象观测站1998-2009年观测数据为自变量,其对应的TRMM 3B43格网内的降水量为因变量做一元线性回归分析(图2)。经检验,TRMM 3B43与气象台站观测数据决定系数 $R^2 = 0.6833$,相关系数 $R = 0.83$, $K = 0.9257$,并通过置信度100%检验,说明TRMM 3B43与观测数据之间具有明显的线性相关特征与一致性,整体而言,TRMM 3B43数据的降水量比观测量略偏小。

从检验的结果可知,TRMM 3B43数据在整体上具有较好的精度,但是整体检验法掩盖了单个站点数据与对应

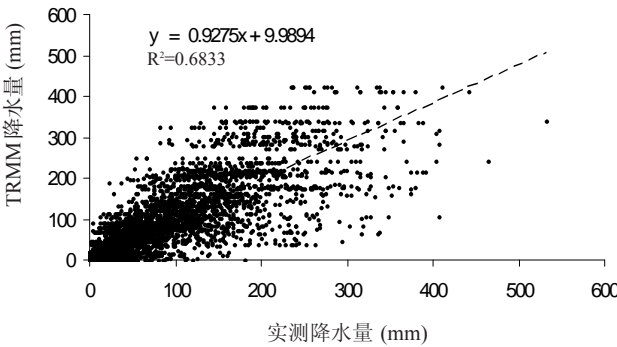


图2 澜沧江及周边流域1998-2009年TRMM 3B43与地面观测站降水量散点趋势
Fig. 2 Precipitation scatter diagram between TRMM 3B43 and rain gauges in Lancang river basin during 1998-2009

格网的 TRMM 3B43 数据之间的差异,尤其降水是所有气象要素中影响因子最多的变量,其受地形、地势、经度、纬度、海拔、大气环流、海陆位置等因素影响,具有空间、时间上的不连续性与高度非线性特征。因此,仅仅对数据总体精度进行评估是不足的。

2.2 数据个体精度评估

以各个气象观测站 1998-2009 年的月降水量数据为自变量(X 轴),以各个气象站对应的格网 TRMM 3B43 数据为因变量(Y 轴),做一元线性回归分析,得到 TRMM 3B43 数据与各气象观测站之间的相关系数(表 1),经过泰森多边形剖分后,以面积为权重,本文仅从 35 个站点中选取 21 个站点进行散点分析(图 3)。

从表 1 可以看出:(1) 大部分的气象观测站观测的降水量与 TRMM 3B43 估计的降水量之间呈现出较高的相关性,这进一步验证了在澜沧江及周边流域,TRMM 3B43 数据与气象观测数据之间存在明显的线性关系;(2) 少部分台站相关系数较低,如波密、贡山、德钦、维西观测降水量与 TRMM 3B43 的 R 值分别为 0.643,0.564,0.591,0.681,说明这些台站 TRMM 3B43 数据与观测数据之间的线性关系相对较弱,波密与德钦尤其明显。

以 35 个气象台站为基准,采用 Thiessen 多边形剖分的方式将研究区剖分成 35 个多边形,根据 Thiessen 思想可知单个多边形内任何一点到该多边形内气象站的距离都小于到其它气象站的距离,因此 35 个多边形表示 35 个气象站最大影响范围,进而得到 R 的区域分布规律(图 4a)。从图中可知,研究区 TRMM 3B43 数据与气象观测数据的相关系数 R 值,自托托河—勐腊一线呈现出“高值—低值—高值—低值”的变化特征,中部的贡山、德钦、波密、维西是 R 的低值聚集区,其它地区 R 明显高于中部地区。采用 K-Means 聚类的方式,以 R 分别等于 0.599,0.734,0.861,0.93727 为聚类中心,将 35 个 Thiessen 多边形分为 1,2,3,4 共四级(图 4b),1 级到 4 级相关性递增,从图中可以看出,R 值的低值区集中在中部的波密—维西一带及其周边的香格里拉、丽江,而 R 值的高值区集中在上游的托托河—德格及中下游的泸水—临沧一带。

气象观测数据与 TRMM 3B43 数据线性回归方程的斜率 K 揭示了各个气象站所对应的格网点的 TRMM 3B43 数据偏离气象观测数据的程度(表 2)。将表 2 中的 K 值,以公式 $Bias = K - 1$ 计算得到 TRMM3B 43 数据低估与高估真实值的程度。数据低估的情况如下:华坪 (-0.583)、丽江 (-0.533) 低估了 50%~60%的降水量;维西 (-0.449)、波密 (-0.453)、贡山 (-0.451) 低估了 40%~50%的降水量;德钦 (-0.357)、香格里拉 (-0.345)、稻城 (-0.351) 低

表 1 澜沧江及周边流域 1998–2009 年 TRMM 3B43
与地面观测站降水量相关系数
Tab. 1 Coefficient on precipitation between TRMM 3B43 and rain gauges
in Lancang river basin during 1998–2009

台站	R	台站	R	台站	R	台站	R	台站	R
巴塘	0.856	贡山	0.564	囊谦	0.933	丁青	0.969	德钦	0.591
保山	0.918	华坪	0.815	清水河	0.917	甘孜	0.879	泸水	0.942
波密	0.643	江城	0.855	曲麻莱	0.947	元江	0.844	香格里拉	0.726
昌都	0.813	景东	0.896	思茅	0.882	勐腊	0.762	德格	0.916
楚雄	0.842	景洪	0.833	索县	0.856	孟定	0.894	临沧	0.902
大理	0.873	澜沧	0.874	托托河	0.956	杂多	0.965	维西	0.680
稻城	0.844	丽江	0.769	腾冲	0.961	新龙	0.892	玉树	0.891

表 2 澜沧江及周边流域 1998–2009 年 TRMM 3B43
与各地面观测站降水量偏离程度

Tab. 2 Bias between TRMM 3B43 and different rain gauges
in Lancang river basin during 1998–2009

台站	K	台站	K	台站	K	台站	K	台站	K
巴塘	0.787	贡山	0.549	囊谦	1.069	丁青	1.126	德钦	0.643
保山	1.283	华坪	0.417	清水河	1.255	甘孜	0.907	泸水	1.270
波密	0.547	江城	0.726	曲麻莱	0.871	元江	1.173	香格里拉	0.655
昌都	0.935	景东	1.231	思茅	0.956	勐腊	0.851	德格	1.033
楚雄	1.204	景洪	0.927	索县	0.754	孟定	1.063	临沧	1.137
大理	1.197	澜沧	0.948	托托河	0.928	杂多	1.116	维西	0.551
稻城	0.649	丽江	0.467	腾冲	1.172	新龙	0.766	玉树	0.877

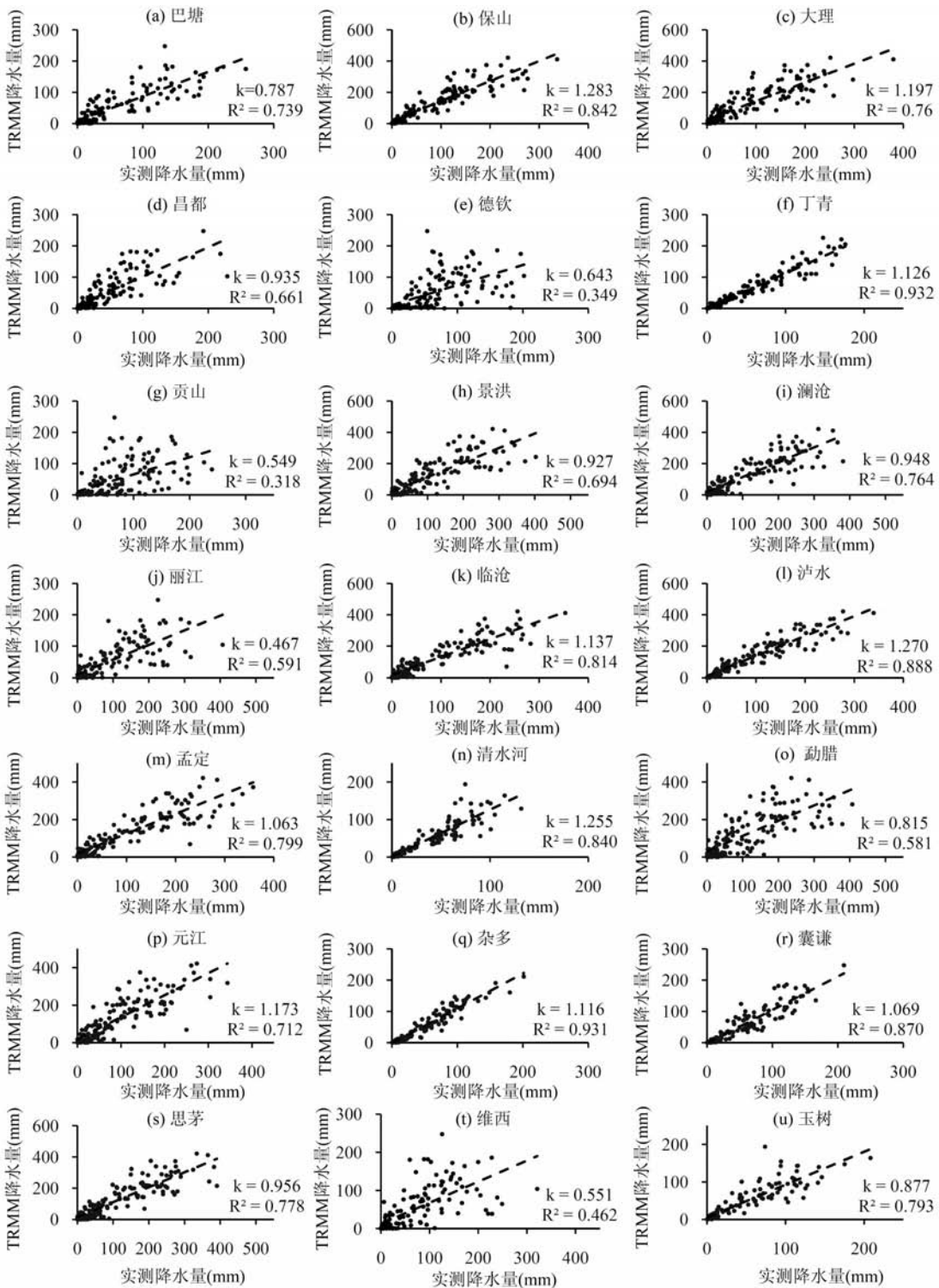


图3 澜沧江及周边流域各地面观测站1998-2009年TRMM 3B43与观测降水量散点趋势

Fig. 3 Precipitation scatter diagram between TRMM 3B43 and rain gauges in Lancang river basin during 1998-2009

估了 30%~40% 降水量;江城 (-0.274)、索县 (-0.246)、新龙 (-0.234)、巴塘 (-0.214) 低估了 20%~30% 的降水量;勐腊 (-0.149)、曲麻莱 (-0.129)、玉树 (-0.123) 低估了 10%~20% 的降水量;甘孜 (-0.093)、景洪 (-0.073)、托托河 (-0.072)、昌都 (-0.065)、澜沧 (-0.052)、思茅 (-0.044) 低估了 0%~10% 的降水量。数据高估的台站如下:德格 (0.033)、孟定 (0.063)、索谦 (0.069) 高估了 0%~10% 的降水量;杂多 (0.116)、丁青 (0.126)、临沧 (0.137)、腾冲 (0.172)、元江 (0.173)、大理 (0.197) 高估了 10%~20% 的降水量;楚雄 (0.204)、景东 (0.231)、清水河 (0.255)、泸水 (0.270)、保山 (0.283) 高估了 20%~30% 的降水量。

对比华坪 ($R = 0.819, K = 0.417$)、保山 ($R = 0.918, K = 1.283$) 等站点,发现只从单一的数据相关性来考虑数据的质量,掩盖了高相关系数下的数据之间存在偏差这一事实,说明研究斜率 K 的重要性,但与此同时,通过相关系数与斜率的研究,为数据校正提供了一条可行之路,即在高的相关系数前提下,通过数据之间的一元回归方程对数据进行订正。采用与 R 相同的方式,将整个研究区剖分成 35 个 Thiessen 多边形,得到 K 值在流域的空间分布(图 5a)。为得到各个台站 TRMM 3B43 数据与观测数据之间偏离程度的分布规律,将 $Bias$ 取绝对值得到偏离程度值 $|Bias|$,采用 K-Means 聚类的方式,以 $|Bias|$ 分别等于 0.5580, 0.401, 0.22938, 0.0896 为聚类中心,将 $|Bias|$ 分成 1, 2, 3, 4 共四级,1~4 级偏离的程度逐渐减小(图 5b)。

从图 5 可知,从托托河—勐腊, $|Bias|$ 值呈现出低值—高值—低值的变化趋势,丽江—华坪偏差最大,波密—贡山—稻城次之,托托河—甘孜及孟定—勐腊是偏差最小。就整体而言, $|Bias|$ 较大的台站主要集中的区域和 R 值较低的区域类似,都位于研究中的中部地区。

3 高程与坡度对 TRMM 3B43 数据的影响

澜沧江及周边流域与其他流域相比,巨大的高程落

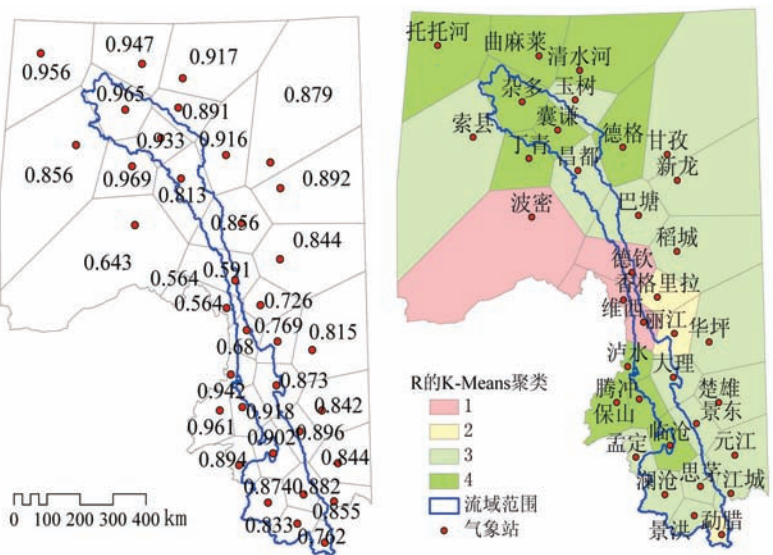


图 4 澜沧江及周边流域 R 值空间分布与 K-Mean 聚类
Fig. 4 Distribution(a) and K-Mean cluster(b) of R in Lancang river basin

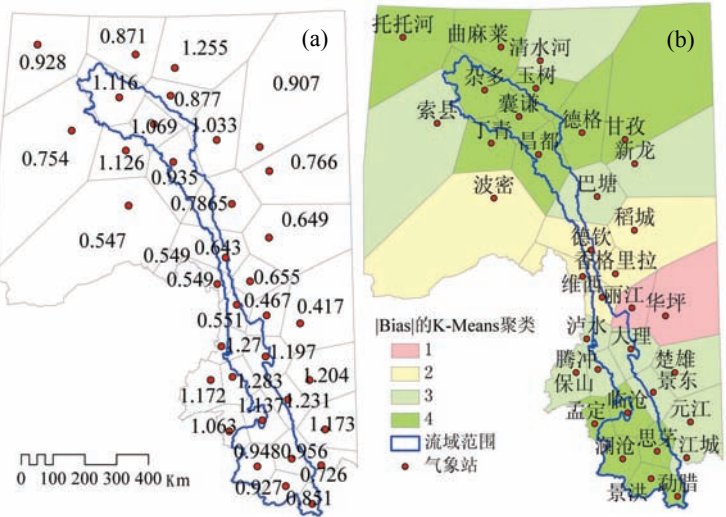


图 5 澜沧江及周边流域 K 值空间分布(a)与 $|Bias|$ 的 K-Means 聚类(b)
Fig. 5 K distribution(a) and K-Means cluster(b) of $|Bias|$ in Lancang river basin

差,陡峭的“谷—岭”地形是其最显著的特征,因此本文仅对高程、坡度两个地形因子与 TRMM 3B43 数据精度的关系进行分析。

3.1 高程对 TRMM 3B43 数据的影响

以Hydro1K DEM作为高程数据,分别计算出 35 个多边形的平均高程,以高程分别等于 4546 m、3623 m、2423 m、1463 m 为聚类中心,利用 K-Means 聚类方法将 35 个多边形分为 1、2、3、4 共四级,1~4 级海拔高程递减 (图 6)。

从高程的空间分布可以看出,托托河—勐腊一带的高程呈现出逐渐降低的规律,托托河—巴塘一带高程最大,维西—勐腊一带高程递减。从聚类的结果可以看出,平均高程最大的区域位于研究区的上游地区,最低区域位于研究区的下游地区。

以各个区域的平均高程为因变量,以 TRMM 3B43 数据与气象台站观测数据之间的相关系数 R 为自变量做三次多项式回归分析 (图 7a),两者的相关系数为 0.64,两者之间的关系较复杂,呈现出较强的三次关系特征,即随着海拔的升高,相关系数呈现出增加—减少—增加的变化趋势。

以各个区域的平均高程为因变量,以 TRMM 3B43 数据与气象观测数据的 $|Bias|$ 为自变量做二次多项式回归分析 (图 7b),两者相关系数为 0.71,二次项的系数小于 0,从图中可以看出两者呈现出明显的抛物线特征,具体的变化趋势是:随着海拔的升高, $|Bias|$ 先增加至最大值,随后减少。

从分析的结果可以看出, R 值最低区, $|Bias|$ 最大区,即 TRMM 3B43 数据精度最差区域集中在 3000 m 左右的三江并流地区,即贡山—香格里拉一带,而该地区降水异质性显著,其可能的原因有:① 巨大的高程落差:明庆忠^[25]指出该地区不到 100 km 的范围内自西往东北纵向排列着高黎贡山、怒山—碧罗雪山、云岭、香格里拉大雪山和沙鲁里山,怒江、澜沧江、

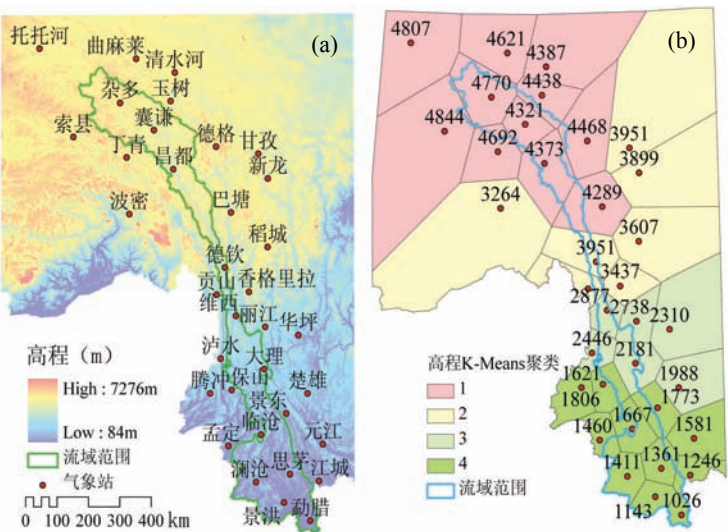


图 6 澜沧江及周边流域高程空间分布(a)与 K-Means 聚类分析(b)
Fig. 6 Distribution(a) and K-Means cluster(b) of elevations in Lancang river basin

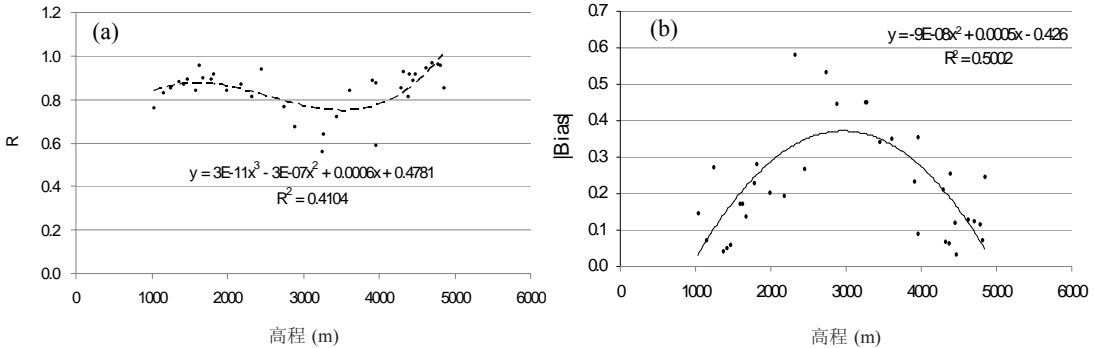


图 7 澜沧江及周边流域高程与相关系数(a)、 $|Bias|$ 的散点图(b)
Fig. 7 Scatter diagram of elevation, R (a) and $|Bias|$ (b) in Lancang river basin

金沙江穿行在这几座大山之中,三条大江在本区平行南流数百千米,河谷深切,山峰耸立,形成相对高差 3000 m 以上的大峡谷群景观。

② 立体气候显著:地势垂直变化显著,立体气候显著,干湿季分明,山下温高、雨少,蒸发量大,山顶寒冷,雨多、湿度大,形成了“一山有四季,十里不同天”的独特景象^[26]。

③ 岭谷地貌的阻隔作用:纵向岭谷地貌对西南季风的阻隔作用较大,西南季风又以夏季的 6-8 月活动最频繁与强盛,尤卫红等^[27]研究表明(26.00°N, 101.50°E) 附近(香格里拉—丽江)的夏季降水量的 2 年时间变化尺度是显著的。综上所述,尽管 TRMM 3B43 降水数据经过了 GPCP (Global Precipitation Climatology Center) 与 CAMS (Climate Assessment and Monitoring System) 地面雨量站订正^[10],但是在降水异质如此强烈的三江并流地区,在缺乏稠密观测站点情况下进行的数据订正质量明显偏低。

3.2 坡度对 TRMM3B43 数据的影响

由 Hydro1K DEM 数据得到研究区坡度并计算出 35 个多边形的平均坡度,以 Slope 分别等于 12.506, 10.051, 6.976, 4.304 为聚类中心,利用 K-Means 聚类方法将 35 个 Thiessen 多边形分为 1, 2, 3, 4 共四级,1~4 级坡度逐渐递减(图 8)。

从 Slope 的空间分布可以看出,托托河—勐腊一线的坡度呈现出低值—高值—低值的变化特征,其中托托河—昌都一带坡度较为缓和,波密、德钦—泸水、维西一带坡度最大,大理—勐腊一带坡度趋于和缓。从聚类的结果可以看出, Slope 最大的区域以贡山—维西呈辐射状向外扩散。

以各个区域的 Slope 为因变量,以 TRMM 3B43 数据与卫星数据之间的 R 为自变量做二次多项式回归分析(图 9a),两者相关系数为 0.73,说明两者呈现出较明显的抛物线关系特征,从图中可以明显看出坡度与相关系数主要呈现出反比特性,即随着坡度的增加,相关系数下降。

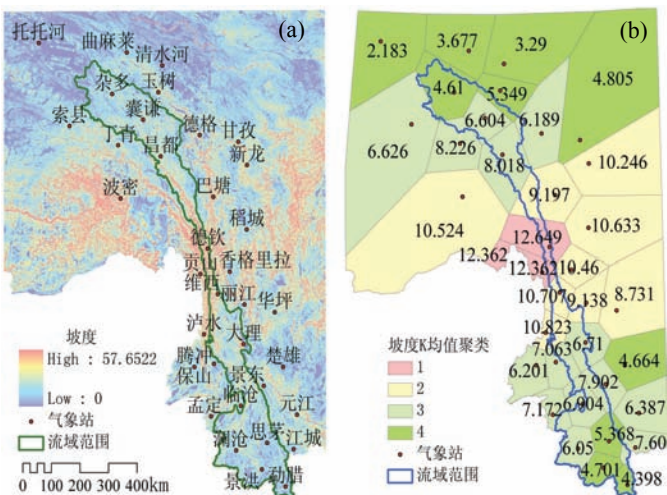


图 8 澜沧江及周边流域坡度空间分布(a)与 K-Means 聚类(b)
Fig. 8 Distribution(a) and K-Means cluster(b) of slope in Lancang river basin

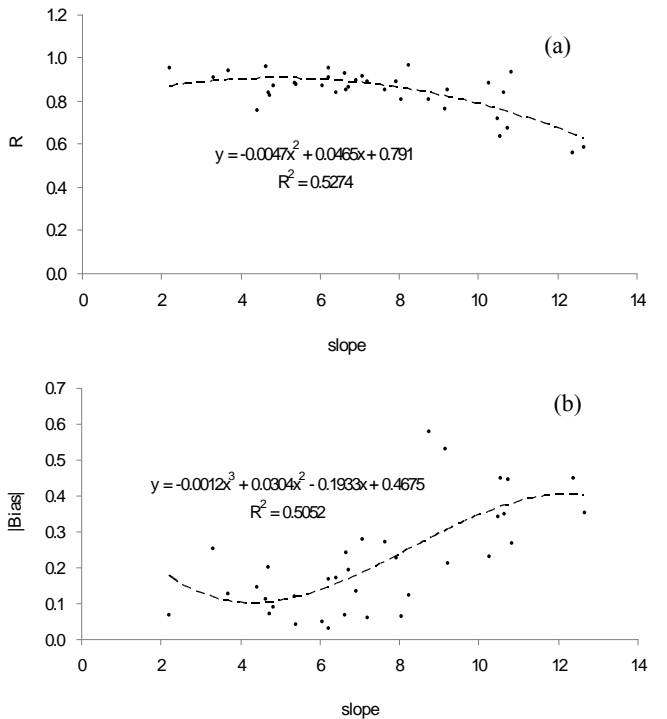


图 9 澜沧江及周边流域坡度与相关系数(a)、|Bias|(b)的散点图
Fig. 9 Scatter diagram of Slope, R(a) and |Bias|(b) in Lancang river basin

采用相似研究方式,以 Slope 为因变量,|Bias|为自变量做三次多项式回归分析(图9b),两者的相关系数为0.71,说明两者之间呈现出较明显的三次关系特征。从图中可以看出,随着 Slope 的增加,|Bias|有着小幅度的减少,之后,随着 Slope 的增加,|Bias|明显增大。

在总体上分析结果表明,坡度对 TRMM 3B43 数据的精度的影响总体体现为坡度越大,TRMM 3B43 数据的质量越差。

为反映坡度与高程对数据质量影响的程度,用 R 、|Bias|、 E 与 Slope 来表示 TRMM 3B43 数据的精度,将四个变量进行标准化处理,采用主成分分析法,得到三个主成分 F_1 , F_2 , F_3 , 累计解释分别为 57.388%、82.492%、91.787%,特征值分别为 2.296、1.004、0.372,其中 $F_1 = -0.58R + 0.58|Bias| - 0.05E + 0.58Slope$, $F_2 = 0.05R + 0.03|Bias| + 0.99E + 0.11Slope$, $F_3 = 0.81R + 0.51|Bias| - 0.08E + 0.27Slope$,主成分综合模型为 $F = -0.26R + 0.42|Bias| + 0.23E + 0.42Slope$,由综合模型可知,坡度对数据质量的影响大于高程。

4 结论

将 1998-2009 年澜沧江及周边流域共计 35 个气象站观测降水量与其所在格网对应的 TRMM 3B43 降水数据在月尺度进行精度检验,得到以下结论。

(1) TRMM 3B43 数据与 35 个气象观测数据在整体上的 $R = 0.83$, $K = 0.93$,说明 TRMM 3B43 数据与观测数据之间具有明显的线性关系特征,数据的偏差较小,数据质量较高。

(2) 对 35 个气象台数据准确性逐个进行分析,发现大部分气象台站 R 值较高,少部分 R 值较低,最低值出现在研究区中部的贡山、德钦、波密等地区;|Bias|其变化趋势与相关系数类似,但是在华坪等少数相关系数较高的区域,|Bias|较大。

(3) 以 35 个气象观测站为基准,对研究区进行 Thiessen 剖分,得到 35 个子区域。将 35 个子区域的 R 值、|Bias|进行 K-Means 聚类分析,发现从托托河—勐腊, R 相关系数呈现出高值—低值—高值—低值的变化趋势,而 |Bias|呈现出低值—高值—低值的变化趋势,总体来说,研究区的上游与下游地区数据质量较好,中部地区,尤其波密—贡山—维西一带,数据质量较差。

(4) 将 R 值、|Bias|、高程与坡度之间的关系进行研究发现,高程对数据质量的影响较坡度小且呈现较复杂的变化规律,随着高程增加, R 呈现出增加—减少的变化趋势,|Bias|呈现出增加—减少—增加的变化趋势,坡度对数据的质量有较大影响,在整体上表现为坡度增大,数据质量越低的变化规律。

参考文献(References)

- [1] Zhu Huiyi, Jia Shaofeng. Uncertainty in the spatial interpolation of rainfall data. *Progress in Geography*, 2004, 23(2): 34-42. [朱会义, 贾绍凤. 降雨信息空间插值的不确定性分析. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 34-42.]
- [2] Xia Jun, Tan Ge. Hydrological science towards global change: Progress and challenge. *Resources Science*, 2002, 24(3): 1-7. [夏军, 谈戈. 全球变化与水文科学新的进展与挑战. *资源科学*, 2002, 24(3): 1-7.]
- [3] Robert F A, George J H, Alfred C. The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) monthly precipitation analysis (1979-present). *Journal of Hydrometeorology*, 2003, 4(6): 1147-1167.
- [4] Xia Jun, Tan Ge, Li Xin. Hydrological prediction in ungauged basins. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(2): 192-196. [谈戈, 夏军, 李新. 无资料地区水文预报研究的方法与出路. *冰川冻土*, 2004, 26(2): 192-196.]
- [5] Su F F, Yang H, Dennis P L. Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 2007, 9: 622-640.
- [6] Sivapalan M, Takeuchi K, Franks S W. IAHS decade on predictions in ungauged basins (PUB), 2003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. *Hydrological Sciences Journal*, 2003, 48(6): 857-880.
- [7] Kummerow C, Barnes W. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1998, 15: 809-817.

- [8] Hirose, Masafumi, Nakamura K J. Spatial and seasonal variation of rain profiles over Asia observed by spaceborne precipitation radar. *Journal of Climate*, 2002, 15: 3443-3458.
- [9] Hirose Masafumi, Nakamura K J. Spatiotemporal variation of the vertical gradient of rainfall rate observed by the TRMM precipitation radar. *Journal of Climate*, 2004, 17: 3378-3397.
- [10] George J H, Robert F A, David T B. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, 2006, 8(1): 38-55.
- [11] 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. *Natural Hazards*, 2007, 43(2): 187-198.
- [12] Bai Aijuan, Liu Changhai, Liu Xiaodong. Diurnal variation of summer rainfall over the Tibetan Plateau and its neighboring regions revealed by TRMM multi-satellite precipitation analysis. *Chinese Journal of Geophysics*, 2008, 51(3): 704-714. [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. *地球物理学报*, 2008, 51(3): 704-714.]
- [13] Bai Aijuan, Fang Jiangang, Zhang Kexiang. Summer rainfall in shaanxi and its neighborhood regions observed by TRMM satellite. *Journal of Catastrophology*, 2008, 23(2): 41-45. [白爱娟, 方建刚, 张科翔. TRMM 卫星资料对陕西及周边地区夏季降水的探测. *灾害学*, 2008, 23(2): 41-45.]
- [14] Liu Junfeng, Chen Rensheng, Han Chuntan. Evaluating TRMM multi-satellite precipitation analysis using gauge precipitation and MODIS snow-cover products. *Advances in Water Science*, 2010, 21(3): 343-348. [刘俊峰, 陈仁升, 韩春坛. 多卫星遥感降水数据精度评价. *水科学进展*, 2010, 21(3): 343-348.]
- [15] Li Jinggang, Li Jiren, Huang Shifeng. Characteristics of the recent 10 year flood/drought over the Dongting Lake Basin based on TRMM precipitation data and regional integrated Z-index. *Resources Science*, 2010, 32(6): 1103-1110. [李景刚, 李纪人, 黄诗峰. 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. *资源科学*, 2010, 32(6): 1103-1110.]
- [16] Chen Ju, Shi Ping, Wang Dongxiao. Spatial distribution and seasonal variability of the rainfall observed from TRMM precipitation radar (PR) in the South China Sea Area (SCSA). *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(1): 29-35. [陈举, 施平, 王东晓. TRMM 卫星降雨雷达观测的南海降雨空间结构和季节变化. *地球科学进展*, 2005, 20(1): 29-35.]
- [17] Islam M N, Uyeda H. Use of TRMM in determining the climatic characteristics of rainfall over Bangladesh. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 108(3): 264-276.
- [18] Xie P P, Arkin P A. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, 78(11): 2539-2558.
- [19] Mark N, Martin T, Mike H. Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology*, 2001, 21(15): 1889-1922.
- [20] Yu Zhongbo. *Principles and Applications of Distributed Watershed Hydrology*. Beijing: Science Press, 2008: 33-34. [余钟波. *流域分布式水文学原理与应用*. 北京: 科学出版社, 2008: 33-34.]
- [21] Gong Jianya. *Geographical Information System*. Beijing: Science Press, 2001: 187. [龚健雅. *地理信息系统基础*. 北京: 科学出版社, 2001: 187.]
- [22] Li Lijuan, Li Haibing, Wang Juan. Analysis on hydrological and water quality character and their spatial and temporal distribution in Lancangjiang River. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(1): 49-56. [李丽娟, 李海滨, 王娟. 澜沧江水文与水环境特征及其时空分异. *地理科学*, 2002, 22(1): 49-56.]
- [23] Li Zhenghai, Song Guobao, Gao Jixi. Study on the relationship among land use tempo-spatial change, range-gorge distribution and channels effect in longitudinal range-gorge region. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(suppl.2): 90-99. [李政海, 宋国宝, 高吉喜. 纵向岭谷区土地利用时空变化与岭谷格局及通道效应的关系研究. *科学通报*, 2006, 51(增刊 2): 90-99.]
- [24] Qin Jian. *Weather and Climate in Low Latitude Plateau*. Beijing: China Meteorological Press, 1997: 1-2. [秦剑. *低纬高原天气气候*. 北京: 气象出版社, 1997: 1-2.]
- [25] Ming Qingzhong. The analysis to the landforms character of the river valley in the Three Parallel Rivers Region. *Journal of Yunnan Normal University: Natural Sciences Edition*, 2007, 27(2): 65-69. [明庆忠. 纵向岭谷三江并流区河谷地貌特征分析. *云南师范大学学报: 自然科学版*, 2007, 27(2): 65-69.]
- [26] Wu Liqun, Li Xuehui. Analysis on change of annual precipitation altitude in high mountain areas. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2004, 16(2): 4-7. [伍立群, 李学辉. 高山地区年降水量随高程变化分析. *云南地理环境研究*, 2004, 16(2): 4-7.]
- [27] You Weihong, Wu Xiangyun, Li Dejun. Temporal-spatial features and law of summer precipitation interannual variability over the Longitudinal Range-Gorge Region under effect of the summer monsoon. *Progress in Geography*, 2007, 26(5): 23-31. [尤卫红, 吴湘云, 李德俊. 夏季风作用下的纵向岭谷区夏季降水量年际变化的时空特征和规律. *地理科学进展*, 2007, 26(5): 23-31.]

Accuracy Validation of TRMM 3B43 Data in Lancang River Basin

ZENG Hongwei^{1,2}, LI Lijuan¹

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: The Lancang river basin is a typical area of lacking data with complicated terrain and climate characteristics. It is located in the upper reaches of Mekong river basin. There is great potential to carry out hydrological prediction in ungauged basins by using satellite estimate precipitation data. As a precipitation radar satellite, TRMM has been collecting plentiful fine temporal-spatial precipitation data, so it is significant to use the TRMM precipitation data to study hydrological and climatic characteristics in the Lancang river basin. However, it is necessary to check the accuracy of TRMM data before using it. Based on the correlation coefficients and scatter points slope methods, the accuracy of TRMM 3B43 data at monthly time scale during 1998-2009 was validated by using the 35 rain gauges data, which were distributed in the Lancang river basin and its surrounding areas. Then the influence of slope and elevation on the checking result based on Thiessen polygons and K-Means cluster methods was analyzed. Finally, principal component analysis was used to compare the differences of elevation and slope on the accuracy of TRMM 3B43. The results are obtained as follows. (1) Compared with the 35 rain gauges, TRMM 3B43 data displayed good accuracy in the whole study area at monthly time scale. (2) There were significant differences of accuracy among the 35 sites; the TRMM 3B43 data had good accuracy in the upstream and downstream of the research areas, while the middle area was poor, especially Bomi, Gongshan, Deqin and Shangrila. (3) Compared with slope, the influence of elevation on the accuracy of TRMM 3B43 was more complicated, and the accuracy showed that there was a high-low-high variation when the elevation decreased from upstream to downstream, which may be caused by strong spatial heterogeneity of precipitation in this area. (4) The slope of research area had great influence on the accuracy of TRMM 3B43 data, which decreased as the increase of slope, the middle research area has the maximum slope so the accuracy was the worst, while the upstream and downstream had relatively high accuracy due to flat terrain.

Key words: meteorology; precipitation; TRMM 3B43; Thiessen polygons; k-means cluster; terrain; Lancang river basin