

雅鲁藏布江流域不同源降水数据质量对比研究

黄 湔^{1,2}, 王中根^{1*}, 桑燕芳¹, 杨默远^{1,2}, 刘晓聪^{1,2}, 巩同梁³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 西藏自治区水利厅, 拉萨 850000)

摘 要:本文以雅鲁藏布江流域为研究区, 利用13个气象站点的实测降水量数据在年和月尺度上验证了中国地面降水网格数据、CRU(Climatic Research Unit)降水数据和GLDAS(Global Land Data Assimilation System)降水数据的精度, 并分析了不同源数据降水量年际变化特征和概率分布特性之间的差异。结果表明: 4种不同来源的降水数据均存在一定程度的差异。年尺度和月尺度上中国地面降水网格数据与实测降水量数值最接近; 而CRU降水数据和GLDAS降水数据与实测降水量相差较大, 在使用时需谨慎。从空间差异性看, 年尺度上CRU降水数据在每个站点与实测降水数据的相关性均高于GLDAS降水数据, 说明前者的空间一致性较好, 但相对误差却比GLDAS降水数据大。从年内变化趋势看, 中国地面降水网格数据能较好地反映流域降水月尺度的变化特征, CRU降水数据则在流域大部分地区的汛期时段都存在明显的高估, 而GLDAS数据无法反映月降水变化趋势, 年内坦化现象十分显著。从年际变化特征看, 中国地面降水网格数据能较好地反映实际降水量的年际变化特征, 而GLDAS降水数据和CRU降水数据反映的降水量年际变化特征偏小, 其中GLDAS数据的坦化现象更严重, 会高估低降水值, 低估高降水值。从降水概率分布情况来看, 3种来源的降水数据均不能反映站点实测的极端降水事件。

关 键 词:雅鲁藏布江; 降水; 数据挖掘; 时空变化; 概率分布

1 引言

雅鲁藏布江位于青藏高原东南部, 是世界上最长的高原河流, 也是国际典型 PUB(Prediction in Ungauged Basins)问题研究区(刘苏峡等, 2010)。该流域水资源总量十分丰富, 仅次于长江和珠江, 居全国第三位, 但流域内降水时空变异性大, 水资源分布不均, 开发利用率低, 不能完全适应西藏自治区经济社会可持续发展的需求。揭示和认识雅鲁藏布江流域降水的时空变化特性, 是了解高原流域独特的水循环过程、开展水文模拟预报以及水资源合理开发利用等一系列问题的重要基础。然而受复杂气候条件和高寒地理环境条件的综合影响,

雅鲁藏布江流域水循环过程呈现出明显的空间分异性, 导致降水变化及水循环特性研究十分困难。

目前, 该流域及其周边的国家气象站仅有10多个, 水文气象基础观测数据(尤其是降水观测数据)十分缺乏, 无法满足实际研究需要。许多学者尝试利用卫星遥感反演生成降水数据(骆三等, 2011), 或者进行数据融合与同化(胡庆芳, 2013)等手段获取更加丰富的降水数据, 并对其质量和实用性进行评估, 以弥补实测数据量的不足。在青藏高原地区, 也有类似研究, 如Wang等(2012)通过比较青藏高原63个气象站点的实测资料与MERRA、NCEP/NCAR-1、CFSR、ERA-40、ERA-Interim及GLDAS等6种再分析资料, 发现GLDAS的降水数据与观

收稿日期: 2015-07; 修订日期: 2015-11。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41330529); 中国科学院战略性先导科技专项(XDB03030202); 西藏自治区水资源承载力研究项目 [Foundation: Key Program of the National Natural Science Foundation of China, No.41330529; Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDB03030202; Program on Water Carrying Capacity of Tibet Autonomous Region]。

作者简介: 黄湔(1991-), 女, 湖南岳阳人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源研究, E-mail: huangx.13s@igsrr.ac.cn。

通讯作者: 王中根(1973-), 男, 河南潢川人, 研究员, 博士, 从事流域水文模拟及水资源管理工作, E-mail: wangzg@igsrr.ac.cn。

引用格式: 黄湔, 王中根, 桑燕芳, 等. 2016. 雅鲁藏布江流域不同源降水数据质量对比研究[J]. 地理科学进展, 35(3): 339-348. [Huang X, Wang Z G, Sang Y F, et al. 2016. Precision of data in three precipitation datasets of the Yarlun Zangbo River Basin[J]. Progress in Geography, 35(3): 339-348.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2016.03.008

测数据最接近;Wang等(2015)依据站点融合降水数据比较了2007-2010年拉萨河流域4种基于卫星反演的降水数据(CMORPH实时降水数据、CMOPRH站点校正数据、TMPA实时降水数据和TMPA站点校正数据)质量,结果表明:CMOPRH两套数据的误差均小于对应的TMPA降水数据,而经过校正的两套数据误差都比二者的实时降水数据误差小。然而,对于不同来源的降水数据在地形复杂的青藏高原腹地,尤其是雅鲁藏布江流域的适用性研究却十分不足,因此,本文将针对此问题作进一步分析验证。

本文主要选择目前广泛应用的4个来源降水数据资料——常规气象观测站点降水数据、国家气象局发布的中国地面降水网格数据、英国CRU(Climatic Research Unit)降水数据和美国GLDAS(Global Land Data Assimilation System)降水数据,开展雅鲁藏布江流域不同源降水数据质量的比较研究。以常规国家气象站点降水数据为基准,选择合适的指标,通过分析其他来源降水数据的时空特性评估其数据质量,为雅鲁藏布江流域水循环基础研究和水资源管理提供科学依据。

2 数据与方法

2.1 研究区概况

雅鲁藏布江是世界上海拔最高的国际河流,在中国境内全长2057 km,流域面积24.2万km²,多年平均径流量1661亿m³(全国第二次水资源调查评价结果)(刘昌明,2014);受印度洋季风和西风环流带,以及高原地理环境的影响,雅鲁藏布江流域降水时空分布特性十分复杂,降水量空间分布极不均匀,年降水量自藏东南最高5000 mm以上,逐渐向西北减少,到仲巴县河源区则低于300 mm。除支流拉萨河流域降水量自下游往上游递增外,其他河流的

降水分布规律大都表现为自下游往上游递减(巩同梁等,2006)。受地形影响,相邻地区的降水量也可能有很大差异,如相隔仅80 km的江孜和日喀则地区年降水量相差高达40%。此外,降水量的垂直分布规律也十分明显,从非冰川区过渡到冰川区年降水量随高程增加的递增率为10~30 mm/100 m(巩同梁,2006)。

2.2 数据来源

在考虑站点资料长度和完整性的基础上,选取国家气象局公开发布的常规气象观测站点降水数据和中国地面降水网格数据,以及国外广泛应用的英国CRU降水数据和美国GLDAS降水数据开展研究。4种降水数据源均出自国内外权威机构,且具有1973-2013年完整的系列长度。各数据源基本信息介绍如下:

(1) 中国国家常规气象站数据。取自中国气象科学数据共享服务网的日降水观测数据,雅鲁藏布江流域及其周边共有13个气象站点(图1)。本文将该降水数据作为评估分析其他降水数据质量的基准。

(2) 中国地面降水网格数据。基于中国2472个国家级地面气象站基本气象要素资料,采用TPS(Thin Plate Spline)薄盘样条法,并尽可能地消除起伏地形对降水空间插值精度的影响,通过专项整编最新生成的中国地面水平分辨率0.5°×0.5°的日降水、气温格点数据(赵煜飞等,2015),研究区范围内共有91个格点(图1)。

(3) 英国CRU降水数据。由英国East Anglia大学通过整合全球若干个知名数据库,重建了一套覆盖完整、高分辨率、且无中断的地表气候要素数据集,包括降水、气温等数据(闻新宇等,2006)。本文获取的是空间分辨率为0.5°×0.5°的月降水数据。

(4) 美国GLDAS降水数据。GLDAS是由美国哥达德空间飞行中心(GSFC)和美国国家环境预报

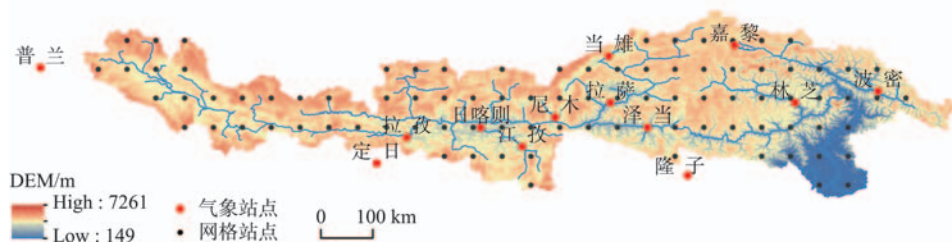


图1 雅鲁藏布江流域地理位置及气象站点分布图

Fig.1 Location of rainfall stations in the Yarlung Zangbo River Basin

中心(NCEP)联合发展的一个全球高分辨率的陆面模拟系统(Wang et al, 2011)。基于多源观测数据、再分析资料和大气同化产品,形成GLDAS的气象要素数据。其中,GLDAS降水数据来源于卫星遥感观测降水数据以及NOAA气候预报中心的业务化融合分析降水资料CMAP(王婉昭等, 2013)。本文获取的是空间分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的月降水数据。

2.3 分析方法

为对比研究不同来源降水数据的过程相似性,以及时程变化特征及空间差异性,选择下述分析方法和评估指标开展研究,将上述4类降水数据统一到月尺度和年尺度进行分析。4类降水数据中,中国地面降水网格数据、英国CRU降水数据和美国GLDAS降水数据是基于不同源数据处理生成的降水数据产品,为分析这些数据产品的质量,选择实测的气象观测站点降水数据为参照,可避免降水数据产品之间横向比较带来的不确定性。

(1) 插值方法。为获得CRU降水数据、GLDAS降水数据和降水网格数据在气象站点所处位置的数值,需要对其中的网格站点降水数据进行插值处理。这是因为CRU降水数据与GLDAS降水数据是网格化数据,气象站点坐标所在网格单元的降水量值即为所求,而降水网格站点数据为呈网格状的站点数据,需采用反距离加权IDW(Inverse Distance Weighted)法进行插值从而获得气象站点所处位置的降水量。该方法基本思路:假设任意点 (x, y) 的值与它周围 n 个参证点的值成正比,与该点到参证点的距离成反比。待估点 (x, y) 的值 $P^*(x, y)$ 可以表示为:

$$P^*(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i(t) P_i(t) \quad (1)$$

$$a_i(t) = \frac{1/D_i^b}{\sum_{i=1}^n (1/D_i^b)} \quad (2)$$

式中: $P_i(t)$ 为第 i 个参证站的观测值; $a_i(t)$ 为第 i 个参证站的权重; D_i 为待估点 (x, y) 到第 i 个参证站的距离; $n=4$ 为计算待估点用到的参证站的个数; b 为权重指数,常取2。

(2) 误差分析。以气象站实测降水数据为基准,对比分析降水网格数据、CRU降水数据、GLDAS降水数据,主要采用相关系数(r),相对误差(MRE)和纳西效率系数(NSE)等评估指标,具体公式如下:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - x_i}{x_i} \quad (4)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

式中: x_i 和 y_i 分别表示长度为 n 的两个降水序列,其中 x_i 为国家气象站点实测降水数据, \bar{x} 和 \bar{y} 分别表示两个降水序列的均值。 r 的取值范围为 $[0, 1]$,其值越接近1表明数据一致性越好(吕洋等, 2013); MRE 反映的是两种数据在数值上的偏离程度,其值越接近0则数值越精确; NSE 反映的是两个系列的相似程度,其值越接近1表明数值越接近气象站点降水观测值。

(3) 年际变化分析。为分析各个来源降水数据的年际变化特征,比较不同来源降水数据的变差系数 C_v ,其计算公式如下:

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{1}{\bar{x}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

式中: σ 为样本标准差;其余符号同上。

C_v 的大小反映了降水量的年际变化, C_v 越大,说明年降水量波动越大; C_v 越小,说明年降水量的年际变化很小,逐年降水量之间差异不大(马淑红等, 1991)。

(4) 概率分布。通过绘制降水量累积频率曲线,比较不同来源降水数据降水量的频率分布情况。分布函数公式如下:

$$G(x) = 1 - F(x) = 1 - P(X \geq x) \quad (7)$$

式中: X 、 x 为降水事件; $G(x)$ 、 $F(x)$ 分别为 $X \leq x$ 、 $X \geq x$ 的概率;事件 $x_1 \leq X \leq x_2$ 的概率为 $G(x_2) - G(x_1)$ 。

3 结果与分析

3.1 相关性分析

以雅鲁藏布江流域内地面气象站的实测年降水量(1973-2013年)为基准,分别与对应的降水网格数据、CRU降水数据和GLDAS降水数据进行相关性分析。考虑到卫星数据在1998年前精度不高,此处将数据分为1973-1998年和1999-2013年两段进

行对比分析。结果表明(图2),中国地面降水网格数据在两个时间段相关系数差别不大,分别为0.51和0.48,而全时段与气象站实测降水量数据的相关性达0.79。CRU降水数据的相关性从1998年之前的0.12提高到1998年之后的0.24。GLDAS降水数据相关系数也有了明显提高,从0.25提高到0.35。为进一步对比分析,对各单站点进行分析验证。

3.2 单站月过程分析

对于流域上游的拉孜站及周边的普兰站和定日站,CRU降水数据能够反映年内变化趋势,但存在明显高估的现象,误差极大,尤其在汛期6-9月

份。GLDAS降水数据坦化现象明显,无法反映降水的月变化过程。流域内拉孜站的网格降水数据几乎与气象站实测数据重合,较准确地反映了降水的年内变化过程,但在降水量少的非汛期偏差较大,导致月平均相对误差较大。对于流域外的普兰站和定日站,网格站点降水数据也能很好反映峰值和月变化趋势,但误差较大,纳西效率系数也较低,这是由于流域内外显著的地理环境差异所致。

网格点月降水数据的效果(表1)在流域中游日喀则、拉萨、当雄、泽当和江孜站效果较好,能反映降水年内不同月份的趋势变化和峰值;汛期(6-9月)

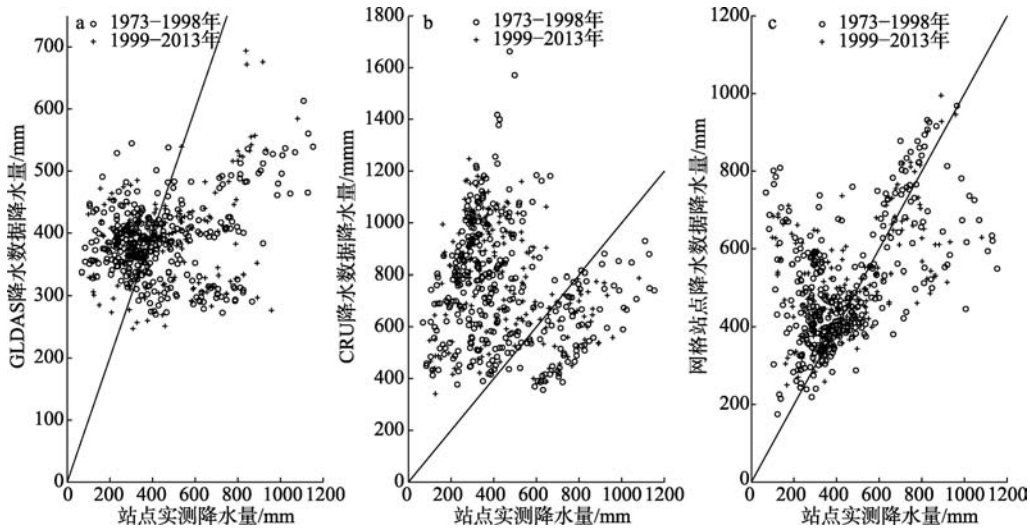


图2 3种降水数据与气象站点实测降水量散点图

Fig.2 Scatter diagram of precipitation data obtained from three sources in relation to observations at the 13 meteorological stations

表1 网格站点降水数据与实测站点降水数据月过程比较

Tab.1 Difference of monthly precipitation between gridded Chinese ground precipitation dataset and observed precipitation at the 13 meteorological stations

台站	相关系数	纳西效率系数	绝对误差/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
普兰	0.98	0.25	3.01	6.61	11.93	19.46	31.78	66.18	63.85	57.80	48.38	24.54	6.75	2.30
定日	0.99	0.66	2.63	4.12	10.13	6.87	2.18	1.12	0.48	0.41	0.85	3.29	4.32	2.19
拉孜	1.00	0.99	3.66	2.79	4.32	1.89	0.15	0.12	0.05	0.06	0.07	0.18	0.99	3.37
日喀则	1.00	0.97	0.80	4.07	4.24	1.70	0.05	0.17	0.16	0.14	0.10	0.51	1.64	16.88
江孜	1.00	0.85	1.37	2.04	1.56	1.04	0.42	0.25	0.30	0.36	0.38	1.43	1.90	0.99
尼木	1.00	0.97	1.25	2.73	1.37	0.70	0.11	0.00	0.15	0.16	0.14	0.29	3.10	1.04
拉萨	1.00	0.96	0.17	0.10	0.36	0.26	0.18	0.23	0.14	0.13	0.15	0.15	0.70	0.44
当雄	1.00	0.99	0.21	0.09	0.12	0.06	0.01	0.10	0.08	0.03	0.10	0.07	0.02	0.26
泽当	0.99	0.97	6.36	4.52	1.77	0.88	0.32	0.27	0.02	0.03	0.03	0.95	2.27	8.86
嘉黎	1.00	0.99	0.27	0.35	0.31	0.24	0.07	0.04	0.08	0.11	0.06	0.24	0.42	0.37
隆子	0.68	-2.66	0.30	0.19	0.25	2.43	3.37	6.39	4.36	3.53	4.47	3.69	1.17	0.07
林芝	0.99	0.99	0.75	0.70	0.08	0.05	0.06	0.06	0.01	0.02	0.18	0.13	0.30	1.41
波密	0.70	0.54	0.32	0.64	0.75	0.65	0.49	0.34	0.22	0.46	0.29	0.58	0.44	0.32

注:绝对误差为网格站点数据减去实测站点降水数据。

在日喀则、拉萨和江孜站略偏大,但非汛期相对误差较为显著,其中日喀则站12月的相对误差高达1685.5%,其他几个站也有类似的现象,导致月平均相对误差极大。CRU降水数据(表2)仍然表现出明显高估的现象,5-10月该现象尤为明显。GLDAS降水数据(表3)仍然坦化严重,无法反映降水年内趋势变化和峰值,除流域外隆子站,其余中游各站点汛期降水量都明显偏小,非汛期降水量则明显偏大。流域外隆子站地理环境比较独特,3种不同来源的降水数据均不能反映隆子站降水月尺度特性。

流域下游的嘉黎站网格站点降水数据质量好,仅7、8月降水量略高于实测降水量。CRU降水数据汛期一致性较差且整体偏小。林芝站网格降水数据与实测值的一致性和纳西效率系数都非常好,但不同月份间降水波动比实际小。CRU降水数据在林芝站汛期明显高估,但非汛期效果较好,整体月平均相对误差小于网格站点降水数据。由于波密站地处藏东南海拔较低处,地形起伏较大,不同来源的数据均不能很好地反映该地降水量的年内变化,特别是8月份的低值无法反映。3种来源

表2 CRU降水数据与实测站点降水数据月过程比较

Tab.2 Difference of monthly precipitation between CRU precipitation dataset and observed precipitation at the 13 meteorological stations

台站	相关系数	纳西效率系数	绝对误差/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
普兰	0.91	0.31	26.47	45.37	42.03	40.87	28.42	16.36	8.88	28.80	15.53	11.15	14.10	16.00
定日	0.94	-1.83	13.28	21.96	30.89	42.21	50.00	130.58	130.83	97.72	82.44	31.01	15.17	13.53
拉孜	0.98	-1.28	8.72	17.29	24.85	35.52	40.86	107.78	137.37	101.94	73.04	23.58	10.19	9.43
日喀则	0.98	-0.20	3.69	10.05	12.45	27.67	35.62	98.14	123.95	81.24	63.19	17.00	3.20	3.24
江孜	0.97	-5.04	3.30	6.73	12.53	41.03	51.53	154.55	184.25	136.18	84.25	28.65	4.50	0.91
尼木	0.98	-1.61	0.19	1.43	5.76	27.47	29.79	110.42	140.26	90.17	54.47	12.88	2.41	0.55
拉萨	0.98	0.60	0.12	0.20	3.32	18.46	10.95	56.63	72.42	29.53	22.75	3.62	0.47	0.65
当雄	0.99	0.88	2.18	1.24	0.25	6.05	5.39	28.79	39.90	21.72	5.09	7.36	0.90	2.91
泽当	0.97	-0.20	0.59	0.22	0.40	24.07	23.58	93.76	97.35	57.88	32.50	6.44	1.23	0.02
嘉黎	0.97	0.81	6.74	10.25	14.80	18.28	51.65	45.99	20.30	24.55	40.24	18.49	5.82	4.29
隆子	0.58	-15.59	8.28	8.76	7.47	50.25	60.22	187.36	224.45	164.71	101.41	31.61	3.22	3.83
林芝	0.97	0.94	0.34	0.87	7.77	11.29	20.13	5.81	30.10	12.99	22.20	12.42	0.37	0.66
波密	0.73	0.56	2.02	20.71	69.75	70.36	44.63	10.36	52.78	43.91	16.24	47.56	10.94	2.60

注:绝对误差为CRU降水数据减去实测站点降水数据。

表3 GLDAS降水数据与实测站点降水数据月过程比较

Tab.3 Difference of monthly precipitation between GLDAS precipitation dataset and observed precipitation at the 13 meteorological stations

台站	相关系数	纳西效率系数	绝对误差/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
普兰	0.85	0.60	13.44	18.06	26.53	28.90	19.90	3.30	37.11	27.96	3.55	20.63	11.46	9.58
定日	0.80	0.44	16.71	16.43	27.09	29.44	23.01	19.43	48.35	60.57	20.93	34.83	21.94	13.71
拉孜	0.87	0.62	13.41	12.40	16.53	20.41	16.51	1.60	49.67	52.56	18.70	36.45	15.95	10.34
日喀则	0.89	0.65	6.05	9.52	10.50	18.03	10.95	3.41	65.49	66.90	9.70	38.92	14.25	6.29
江孜	0.87	0.73	4.57	5.18	7.69	19.63	17.21	10.39	26.24	24.91	13.61	36.31	16.23	6.61
尼木	0.93	0.84	2.73	3.02	2.68	9.72	9.54	0.42	23.67	23.66	12.31	33.72	13.17	3.98
拉萨	0.92	0.75	1.20	0.32	0.61	8.20	2.92	19.54	51.05	46.43	2.55	33.06	12.75	3.29
当雄	0.96	0.69	1.49	1.52	3.58	5.66	16.56	37.97	55.89	46.30	21.87	15.67	5.36	0.18
泽当	0.93	0.81	1.79	0.76	1.69	5.10	8.35	1.52	37.76	32.73	1.43	30.78	12.83	4.41
嘉黎	0.94	0.39	5.41	10.30	18.12	28.59	60.14	92.30	78.39	65.19	58.26	6.14	1.84	1.59
隆子	0.41	-0.20	6.75	12.73	15.38	11.54	26.50	44.12	43.20	38.27	40.36	32.50	14.00	1.57
林芝	0.97	0.61	2.08	1.26	10.78	21.03	27.75	61.76	62.70	48.04	57.31	4.82	13.98	6.94
波密	0.74	0.49	8.03	11.33	64.58	78.03	44.11	70.76	24.41	2.90	53.78	43.52	11.84	12.25

注:绝对误差为GLDAS降水数据减去实测站点降水数据。

降水数据在该地的误差都很大。

GLDAS降水数据在流域下游的三站都呈现出明显的坦化,说明GLDAS降水数据的坦化现象与地理位置无关,是数据本身的特点。

总体来说,网格站点降水数据能较好地反映流域降水月尺度的变化特征,CRU降水数据在流域大部分地区的汛期时段都存在明显的高估,而GLDAS数据则无法反映月降水变化趋势,年内坦化现象十分显著。

3.3 单站年过程分析

雅鲁藏布江流域内和流域周边13个地面气象站1971-2013年年降水量与其他3种数据年降水量的对比结果如表4。

3类数据中,网格站点的降水数据整体上能较好地反映实测降水量随时间的变化,但存在一定误差,无法准确代表实测降水量。13个气象站中,普兰站、嘉黎站、泽当站、尼木站、江孜站、拉孜站、隆子站、定日站网格数据比实测数据偏大,日喀则站、拉萨站、当雄站、林芝站、波密站的数据比实测数据偏小,相对误差的正负偏差在空间上未表现出明显的规律性。所有站点中,网格站点降水数据在波密站和普兰站质量最差,其中波密站的相对误差大,相关系数小,纳西效率系数低,可靠性差,可能与波密处在雅鲁藏布江的下游地区,海拔相对较低,且附近地形起伏剧烈有关,因此在插值过程中出现较大偏差;而普兰站是所有站点中唯一处于流域边界之外且属于印度河上游与雅鲁藏布江上游水文区的,由于地势高寒,印度洋水汽难以到达,与流域内其

他地区气候差别显著,导致该站相关系数最小,为负值,相对误差最大,纳西效率系数最低。当雄站、嘉黎站的降水网格数据与实测降水量的相关系数高达0.93和0.92,说明数据的一致性最好。当雄站、林芝站和拉孜站的纳西效率系数都在0.6以上,说明降水网格数据与实测降水量的相似性好。林芝站和当雄站的相对误差最小,均在10%以内,说明这两个站点的网格降水数据与实测数据最接近。

CRU数据资料源中不包含卫星观测资料,不使用模式同化,仅仅是整合了国际上比较具有代表性的数据集,主要包括Jones(Jones, 1994; Jones et al, 2003)、Hulme(Hulme, 1992)、GHCNv2(Peterson et al, 1998)和New(New et al, 2000)数据集等,用数学方法进行插值。由于西藏地区的台站明显偏少,这些数据集借用了测站密集的中亚和南亚各国,如毗邻的印度和哈萨克斯坦的观测资料,虽然在一定程度上提高了插值的准确性,却忽视了喜马拉雅山的巨大屏障作用,导致其结果与实际观测结果出现了较大偏差。13个站点中,林芝站CRU降水数据与实测降水量的相关系数很高,误差较小,是由于林芝站地处雅鲁藏布江下游,海拔相对较低,地形相对平缓,插值的精度较大。而位于雅鲁藏布江上游的拉孜站和上游以上的普兰站,误差很大,相关系数也仅为0.46和0.39,说明了海拔较高地区的结果出现了很大的偏差。拉萨站的相关系数高达0.96,说明该站数据一致性很高,但相对误差高达50.05%,纳西效率系数也为负值,说明在数值上与实测降水量存在一定程度的偏差。普兰站、隆子

表4 3种降水数据与气象站实测降水数据对比
Tab.4 Difference between precipitation obtained from three different precipitation datasets and observed precipitation at the 13 meteorological stations

台站	网格降水数据			CRU降水数据			GLDAS降水数据		
	相对误差/%	相关系数	纳西效率系数	相对误差/%	相关系数	纳西效率系数	相对误差/%	相关系数	纳西效率系数
普兰	356.64	-0.33	-82.77	303.75	0.39	-67.75	162.40	0.18	-16.58
泽当	25.07	0.80	0.09	89.47	0.83	-11.50	19.64	0.44	0.18
波密	-33.27	0.28	-5.26	-22.25	0.58	-1.94	-39.33	0.14	-7.51
林芝	-6.67	0.86	0.61	-7.07	0.87	0.70	-38.14	0.24	-5.97
隆子	106.81	0.54	-18.21	240.68	0.71	-120.93	38.41	0.13	-2.18
定日	78.03	0.84	-6.02	237.36	0.72	-69.10	54.24	-0.05	-2.58
嘉黎	11.14	0.92	0.10	-35.85	0.80	-7.82	-57.55	0.23	-22.04
拉孜	14.5	0.80	0.63	192.83	0.46	-39.80	38.47	-0.16	-0.68
日喀则	-14.38	0.70	0.32	117.19	0.79	-20.19	21.95	0.06	-0.10
江孜	41.91	0.73	-1.94	255.85	0.75	-109.32	39.27	0.24	-1.62
尼木	24.16	0.46	-0.32	143.10	0.64	-37.11	26.76	0.24	-0.37
拉萨	-14.08	0.84	0.27	50.05	0.96	-4.44	19.79	0.36	-0.24
当雄	-7.88	0.93	0.72	17.32	0.83	0.13	-33.43	0.34	-2.94

站、定日站、拉孜站、日喀则站、江孜站、尼木站的平均相对误差都超过 100%，偏差很大；而隆子站、定日站、日喀则站、江孜站的相关系数都达 0.7 以上，相关系数较好，说明这些站点的 CRU 数据结果与实测降水量的一致性较好，插值结果能在一定程度上较好地反映实际降水量的变化趋势，这些站点的数据可以通过整体校正系统误差后使用。

GLDAS 数据资料的来源比较广泛，它融合了地面观测资料和遥感反演的卫星观测资料(王玉娟等, 2013)。本文通过比较 GLDAS 降水数据与雅鲁藏布江流域内和周边的 13 个站点实际观测资料发现, GLDAS 降水数据整体相关系数较低, 说明数据的一致性较差; 相关系数最高的泽当站, 也仅为 0.44, 说明 GLDAS 降水数据不能很好地反映降水量的变化趋势。整体上 GLDAS 降水数据的相对误差比 CRU 降水数据小, 这说明该数据集整体上数值的波动幅度较小。波密站、林芝站、嘉黎站存在明

显低估的情况, 这三站都处于雅鲁藏布江的下游地区, 年降水量相比其他站来说较大, 说明 GLDAS 降水数据对于年降水量偏丰地区存在明显的低估现象, 尤其是对有可能出现极端大降水事件的地区。位于雅鲁藏布江南岸的江孜站、普兰站、隆子站、定日站的值比实际观测值大, 尤其是对于年降水量很小的普兰站, 存在很明显的高估现象; 日喀则站、泽当站、拉萨站的数值在观测值平均值附近小幅度波动, 能在一定程度上反映实际多年平均的年降水量。总体来说, GLDAS 降水数据坦化现象严重, 不能反映实测降水量的变化趋势, 但是, 对于年降水量在 400 mm 左右的站点, 其数值可反映多年平均降水状况。

3.4 单站降水量年际变化

表 5 为 4 种不同来源降水数据的变差系数。从表 5 中不难发现, GLDAS 降水数据的年际变化最小 ($0.06 \leq C_v \leq 0.14$), 其次是 CRU 降水数据, 而网格站

表 5 不同降水数据变差系数、极大值、极小值和均值比较

Tab.5 Coefficient of variation, maximum, minimum, and average values of precipitation in the four precipitation datasets

台站	国家气象站点数据				网格站点降水数据			
	极大值	极小值	均值	变差系数	极大值	极小值	均值	变差系数
普兰	294.80	68.20	156.97	0.34	808.10	429.20	629.86	0.14
定日	474.30	104.90	294.32	0.28	759.43	303.20	502.71	0.18
拉孜	587.80	122.90	341.17	0.28	488.93	175.08	353.20	0.28
日喀则	665.20	210.40	427.55	0.25	497.80	218.90	384.80	0.25
江孜	498.00	131.20	287.97	0.24	516.85	225.75	395.59	0.24
尼木	534.90	210.10	345.46	0.23	566.30	254.63	399.31	0.23
当雄	706.30	327.70	475.06	0.21	648.05	323.25	444.83	0.21
拉萨	613.80	229.60	439.13	0.22	507.68	240.53	379.26	0.22
泽当	623.80	204.30	391.01	0.26	571.93	325.75	462.18	0.26
隆子	425.60	121.00	287.26	0.21	737.48	431.63	570.91	0.12
嘉黎	957.80	586.20	727.32	0.13	995.00	658.80	804.92	0.13
林芝	985.00	509.60	687.67	0.16	813.02	491.38	651.53	0.16
波密	1152.60	536.20	890.60	0.15	968.00	422.05	597.37	0.15

台站名	CRU降水数据				GLDAS降水数据			
	极大值	极小值	均值	变差系数	极大值	极小值	均值	变差系数
普兰	853.10	341.40	581.25	0.23	453.06	273.59	370.93	0.13
定日	1662.80	484.60	953.95	0.21	544.73	313.83	408.90	0.14
拉孜	1417.70	599.40	931.71	0.17	482.16	326.62	401.26	0.09
日喀则	1184.30	477.80	907.00	0.19	485.09	315.53	415.96	0.09
江孜	1571.10	586.20	996.36	0.19	473.26	277.47	374.25	0.10
尼木	1228.50	488.40	820.16	0.19	501.50	247.15	389.43	0.12
当雄	780.00	390.50	546.69	0.18	344.33	251.30	305.43	0.07
拉萨	884.80	377.00	655.38	0.21	483.09	318.66	381.90	0.08
泽当	1162.20	428.20	727.77	0.22	446.89	295.43	385.81	0.08
隆子	1255.70	557.70	951.87	0.14	471.89	316.17	374.16	0.09
嘉黎	604.80	356.50	465.92	0.14	351.96	272.83	304.73	0.06
林芝	880.20	440.90	662.53	0.14	482.92	382.03	415.22	0.06
波密	929.40	497.50	692.11	0.14	693.59	463.72	529.29	0.10

点数据和国家气象站点数据较为接近。其中4种降水数据年际变化最小的站点均为嘉黎站,反映了嘉黎站年降水量变化很小的特点。实测降水资料显示,普兰站年降水量的变化最大($C_v=0.34$),这一特点在其他降水数据中也得到体现。总体来说,GLDAS反映的降水量年际变化特性与实测降水量存在一定差异性,每个站点都偏小,这也再次验证了GLDAS数据存在坦化特征。CRU数据反映的降水量年际变化特征趋势与实测数据基本相符,但整体也呈现偏小的现象。网格站点数据反映的降水量年际变化特点与实测数据最接近。

此外,从表5中还可以看出,网格站点的降水数据极大值和极小值除流域边界外侧三站外,都与实测值比较接近;日喀则、当雄、拉萨、林芝、波密站的均值偏小,其余站点均偏大。CRU降水数据的极大值、极小值和均值在隆子站及其上游站均偏大,隆子下游站点均偏小;而GLDAS降水数据的极大值除流域外三站偏大之外,其余站点的值都偏小;极小值在当雄、隆子、嘉黎、林芝、波密站偏大,其余站点偏小;普兰、定日、拉孜、萨普、尼木和隆子站点的均值比实测均值偏大,其余站点偏小。

3.5 整体概率分布分析

对所有13个站点1973-2013年年降水量进行统计,绘制降水量累积频率曲线(图3)。从图3可以

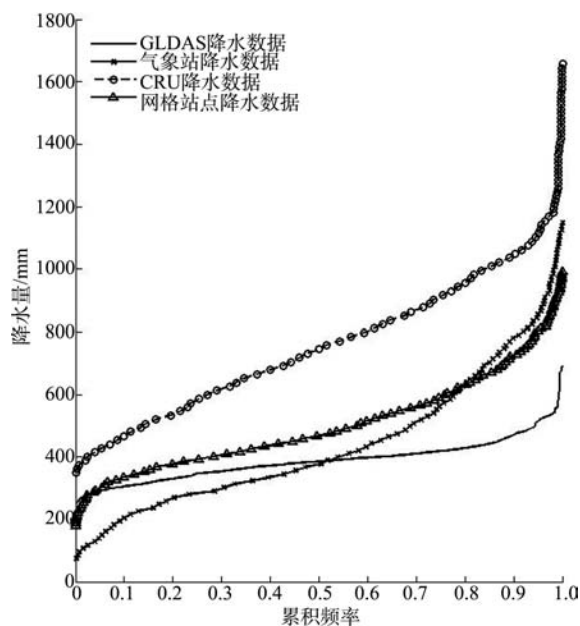


图3 4种降水数据降水量累积频率曲线

Fig.3 Cumulative frequency curves of precipitation in the four precipitation datasets

看出,与实测降水数据相比,CRU数据的年降水量明显偏大,年降水量在400 mm以下的概率几乎为0,年降水量在400~1000 mm中的概率与降水量呈较显著的线性相关。而GLDAS数据的统计结果显示,大约90%的降水量为300~500 mm,几乎不存在小于300 mm或者大于500 mm的年降水事件;网格站点的曲线与实测降水量曲线在年降水量为500 mm处相交,之后几乎重合,说明这两种来源的数据在年降水量 ≥ 500 mm的概率分布是一致的;而在200 mm<年降水量<500 mm时,网格站点的曲线在实测降水量曲线之上,说明如果发生相同的降水事件,网格站点的概率高于实际可能发生的概率。然而与实测降水量相比,另外3种来源的数据都显示不存在降水量小于200 mm的事件,说明三者均不能反映实际可能发生的极端少降水事件。

4 结论

本文主要利用雅鲁藏布江流域实测站点的降水数据,通过比较相关系数、相对误差、纳西效率系数、变差系数和累积频率分布,对网格站点降水数据、GLDAS降水数据、CRU降水数据的质量进行了分析评价。总体上,3种不同来源降水数据的质量与站点实测数据都存在不同程度的差异,若直接使用这些降水数据在雅鲁藏布江开展流域水循环模拟和水循环要素变化规律研究,需进一步进行修正和调整,主要结论如下:

(1) 网格站点降水数据精度高于GLDAS降水数据和CRU降水数据。在年尺度上,除波密站和普兰站相关系数仅为0.28和-0.33外,其余站点的相关系数都基本达0.7以上。月尺度数据也能很好地反映降水的年内变化趋势,其原因主要在于网格站点降水数据和常规气象站点观测数据本质上同源。

(2) CRU降水数据整体的相关性要优于GLDAS降水数据,说明CRU降水数据与实测数据年、月尺度的一致性均较好,且能比较准确地反映降水的峰值和变化趋势。但CRU降水数据整体误差很大,尤其是在降水量较为充足的汛期呈现严重偏高的现象,需要通过误差校正后才能使用。

(3) GLDAS降水数据坦化现象明显。在年、月尺度的时程分布上均不能反映降水量趋势变化和极端降水事件,只能反映多年平均降水状况;在空间分布上会低估高降水值,高估低降水值。

(4) 3种来源的降水数据都不能反映极端降水事件。GLDAS降水数据的降水量集中在300~500 mm, CRU降水数据的降水量与概率呈现较显著的相关关系, 网格站点降水数据与实测降水量的概率分布在>500 mm时基本一致, 但会高估200~500 mm时降水事件发生的概率。

参考文献(References)

- 巩同梁. 2006. 雅鲁藏布江流域水循环演变机理与水资源利用战略研究[D]. 北京: 北京师范大学. [Gong T L. 2006. Mechanism of hydrological cycle and water resources management tragedy in the Yarlung Tsangpo River Basin [D]. Beijing, China: Beijing Normal University.]
- 巩同梁, 刘昌明, 刘景时. 2006. 拉萨河冬季径流对气候变暖和冻土退化的响应[J]. 地理学报, 61(5): 519-526. [Gong T L, Liu C M, Liu J S. 2006. Hydrological response of Lhasa River to climate change and permafrost degradation in Xizang[J]. Acta Geographica Sinica, 61(5): 519-526.]
- 胡庆芳. 2013. 基于多源信息的降水空间估计及其水文应用研究[D]. 北京: 清华大学. [Hu Q F. 2013. Rainfall spatial estimation using multi-source information and its hydrological application[D]. Beijing, China: Tsinghua University.]
- 刘昌明. 2014. 中国水文地理[M]. 北京: 科学出版社. [Liu C M. 2014. Chinese Hydrological Geography[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 刘苏峡, 刘昌明, 赵卫民. 2010. 无测站流域水文预测(PUB)的研究方法[J]. 地理科学进展, 29(11): 1333-1339. [Liu S X, Liu C M, Zhao W M. 2010. Towards the methodology for predictions in ungauged basins[J]. Progress in Geography, 29(11): 1333-1339.]
- 骆三, 苗峻峰, 牛涛, 等. 2011. TRMM测雨产品3B42与台站资料在中国区域的对比分析[J]. 气象, 37(9): 1081-1090. [Luo S, Miao J F, Niu T, et al. 2011. A comparison of TRMM 3B42 products with rain gauge observations in China[J]. Meteorological Monthly, 37(9): 1081-1090.]
- 吕洋, 杨胜天, 蔡明勇, 等. 2013. 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, 28(8): 1414-1425. [Lv Y, Yang S T, Cai M Y, et al. 2013. The applicability analysis of trmm precipitation data in the Yarlung Zangbo River Basin[J]. Journal of Natural Resources, 28(8): 1414-1425.]
- 马淑红, 张学文. 1991. 新疆年降水变差系数的若干规律性[J]. 气象学报, 49(1): 39-45. [Ma S H, Zhang X W. 1991. Some rules of variation coefficient of annual rainfall in Xinjiang[J]. Acta Meteorologica Sinica, 49(1): 39-45.]
- 王婉昭, 高艳红, 许建伟. 2013. 青藏高原及其周边干旱区气候变化特征与GLDAS适用性分析[J]. 高原气象, 32(3): 635-645. [Wang W Z, Gao Y H, Xu J W. 2013. Applicability of GLDAS and climate change in the Qinghai-Xizang Plateau and its surrounding arid area[J]. Plateau Meteorology, 32(3): 635-645.]
- 王玉娟, 王树东, 宋文龙, 等. 2013. GLDAS数据产品在渭河流域潜在蒸散发模拟中的应用研究[J]. 干旱区资源与环境, 27(12): 53-58. [Wang Y J, Wang S D, Song W L, et al. 2013. Application of GLDAS data to the potential evapotranspiration monitoring in Weihe River Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 27(12): 53-58.]
- 闻新宇, 王绍武, 朱锦红, 等. 2006. 英国CRU高分辨率格点资料揭示的20世纪中国气候变化[J]. 大气科学, 30(5): 894-904. [Wen X Y, Wang S W, Zhu J H, et al. 2006. An overview of China climate change over the 20th century using UK UEA/CRU high resolution grid data[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 30(5): 894-904.]
- 赵煜飞, 朱江. 2015. 近50年中国降水格点日值数据集精度及评估[J]. 高原气象, 34(1): 50-58. [Zhao Y F, Zhu J. 2015. Assessing quality of grid daily precipitation datasets in china in recent 50 years[J]. Plateau Meteorology, 34(1): 50-58.]
- Hulme M. 1992. A 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models[J]. Climate Dynamics, 7(2): 57-72.
- Jones P D. 1994. Hemispheric surface air temperature variations: A reanalysis and an update to 1993[J]. Journal of Climate, 7(11): 1794-1802.
- Jones P D, Moberg A. 2003. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001[J]. Journal of Climate, 16(2): 206-223.
- New M, Hulme M, Jones P. 2000. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate[J]. Journal of Climate, 13(13): 2217-2238.
- Peterson T C, Vose R, Schmoyer R, et al. 1998. Global Historical Climatology Network (GHCN) quality control of monthly temperature data[J]. International Journal of Climatology, 18(11): 1169-1179.
- Wang A H, Zeng X B. 2012. Evaluation of multireanalysis products with in situ observations over the Tibetan Plateau [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 117 (D5): D05102.
- Wang F X, Wang L, Koike T, et al. 2011. Evaluation and application of a fine-resolution global data set in a semiarid mesoscale river basin with a distributed biosphere hydro-

logical model[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 116(D21): D21108.
Wang S, Liu S X, Mo X G, et al. 2015. Evaluation of remotely

sensed precipitation and its performance for streamflow simulations in basins of the southeast Tibetan Plateau[J]. Journal of Hydrometeorology, 16(6): 2577-2594.

Precision of data in three precipitation datasets of the Yarlung Zangbo River Basin

HUANG Xi^{1,2}, WANG Zhonggen^{1*}, SANG Yanfang¹, YANG Moyuan^{1,2},
LIU Xiaocong^{1,2}, GONG Tongliang³

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Water Resources Department of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000, China)

Abstract: The Yarlung Zangbo River is a transboundary river with rich hydropower resources. Reliable precipitation data are important for water resource development planning of the region. Due to the high elevation, complex topography, and severe climate, especially in the western part of the basin, however, rainfall stations are sparse. Precipitation estimation from satellite data or assimilation provides potential alternatives for precipitation measurements in regions where conventional precipitation gauges are not readily available. In this study, the performance of the gridded Chinese ground precipitation dataset, the Climatic Research Unit (CRU) precipitation dataset, and the precipitation data of the Global Land Data Assimilation System (GLDAS) in 1973-2013 were evaluated for the Yarlung Zangbo River Basin using observations from 13 meteorological stations. The results show that the four precipitation datasets significantly differ. The annual gridded Chinese ground precipitation dataset is the closest to the observed data while CRU and GLDAS precipitation datasets should be calibrated before use due to their limited precision. The CRU precipitation data show strong correlation with the observed precipitation, which indicates that there is a relatively high consistency between the CRU precipitation dataset and observed precipitation although its mean relative error is large. Monthly data analysis shows that the gridded Chinese ground precipitation dataset can reflect the variation characteristics while the CRU precipitation dataset tends to overestimate in flood season. Different from these two datasets, the GLDAS precipitation dataset presents obvious smoothing effect during the year. Annual variation of precipitation in the gridded Chinese ground precipitation dataset is closer to that of the observed precipitation while the coefficients of variation of precipitation in the other two datasets are much smaller. The GLDAS dataset overestimates precipitation in drier areas and underestimates precipitation in areas where annual precipitation is high. All the three precipitation datasets are unable to reflect the extreme precipitation events according to the probability distribution. The probability distribution of the GLDAS dataset concentrates in the range of 300~500 mm while the probability distribution of CRU precipitation ranges from 200~500 mm, higher than the observed precipitation.

Key words: Yarlung Zangbo River; precipitation; data mining; spatiotemporal variation; probability distribution