

张涛,李亮亮,李建.2022.云贵高原两个国家基准站降水特性比较[J].暴雨灾害,41(1):50–57

ZHANG Tao, LI Liangliang, LI Jian. 2022. Comparison of rainfall characteristics of two national reference stations in Yunnan–Guizhou plateau [J].Torrential Rain and Disasters, 41(1):50–57

云贵高原两个国家基准站降水特性比较

张涛¹, 李亮亮², 李建²

(1.云南省大气探测技术保障中心,昆明 650034;2.中国气象科学研究院,北京 100081)

摘 要:为更好地理解 and 认识小尺度地形对降水特性的影响,利用位于云贵高原地区相近的两个国家基准站太华山和昆明站 2006—2018 年雨季(5—10 月)小时降水资料,统计分析了两站降水精细化的时空特征。结果表明,两站的海拔高度差约 500 m、站距约 5 km,暖季降水量差异不大,但降水的精细特征却存在明显差异,主要表现为:(1) 两站的降水量和平均降水强度年际差异不明显,但太华山站多数年份的降水频次远多于昆明站;(2) 降水日变化上,太华山站在 11—20 时的累积降水量要高于昆明站;两站降水频次均具有双峰型特征,但在 03—09 时和 11—17 时太华山站的降水频次要明显高于昆明站,00—13 时和 21—23 时昆明站的平均降水强度高于太华山站。(3) 两站的降水事件特征不同,太华山站的降水事件次数和累积降水量都明显多于昆明站,主要由持续时间在 6 h 以上的降水事件贡献。(4) 两站降水事件主要为共有降水事件,降水特性差异也主要由共有降水事件造成。太华山站先开始(结束)降水的共有降水事件次数比昆明站多(少),持续时间(降水频次)比昆明站长(多),短、长时降水事件的降水量(降水频次)比昆明站大(多),平均降水持续时间比昆明站多 0.36 h。(5) 两站单独降水事件占总降水事件的 39.9%,太华山站的单独降水事件数是昆明站的 1.83 倍,而且平均持续时间长于昆明站。

关键词:小尺度地形;日变化;降水频次;降水强度;降水事件

中图分类号:P426.62*3 **文献标志码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1004-9045.2022.01.006

Comparison of rainfall characteristics of two national reference stations in Yunnan–Guizhou plateau

ZHANG Tao¹, LI Liangliang², LI Jian²

(1. Atmospheric Observation and Technological Support Center of Yunnan Province, Kunming 650034;

2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract: To better understand the influence of small-scale terrain on precipitation, the temporal-spatial variation features of precipitation were statistically analyzed using hourly precipitation data from two adjacent Taihuashan and Kunming national reference stations in Yunnan–Guizhou Plateau during the rainy season of 2006–2018. The altitude difference between the two stations is about 500 m and the station distance is about 5 km. Results show that their rainy season precipitation amounts are similar, but the fine-scale characteristics of hourly precipitation are significantly different. The hourly precipitation differences between the two stations are as follows. (1) There are no obvious differences in the interannual variations of rainfall amount and rainfall intensity, but the rainfall frequency at Taihuashan station is higher than that at Kunming station in most years. (2) For diurnal variations, the cumulative precipitation amounts at Taihuashan station during 11:00–20:00 BT are larger than that at Kunming station. The precipitation frequency exhibits double diurnal peaks in both stations. The precipitation frequency at Taihuashan station is higher than that at Kunming station during 03:00–09:00 BT and 11:00–17:00 BT while the precipitation intensity at Taihuashan station is weaker than that at Kunming station during 00:00–13:00 BT and 21:00–23:00 BT. (3) The characteristics of precipitation events at the two stations are different. The number of precipitation events and cumulative precipitation at Taihuashan station are significantly higher than those at Kunming station, which is mainly contributed by the rainfall events longer than 6 hours. (4) For most rainfall events, rainfall can be observed at both two stations. Their rainfall differences are mainly caused by these

收稿日期: 2021-03-02; 定稿日期: 2021-06-12

资助项目: 国家自然科学基金项目(91637210, 41675075); 云南省气象局科研项目(YZ202003)

第一作者: 张涛, 主要从事天气雷达探测和观测设备站网规划。E-mail: tao4177@163.com

通信作者: 李建, 主要从事东亚气候特征及变率分析研究。E-mail: lij@cma.gov.cn

coexistent events. These events more easily start at Taihuashan station while they more easily end at Kunming station. The duration and precipitation frequency contributed by these events at Taihuashan station is also longer than that at Kunming station. The average precipitation duration of Taihuashan station is 0.36 h, which is longer than that of Kunming station. (5) The proportion of rainfall events that are only observed at one station is 39.9%. The number of rainfall events only occurring at Taihuashan station is 1.83 times than that at Kunming station. The duration of individual-rainfall-event at Taihuashan station is longer than that at Kunming station.

Key words: Small-scale topography; diurnal variation; rainfall frequency; rainfall intensity; rainfall event

引言

降水是气候系统中的重要要素之一,其时空分布对地球系统水资源分布和水循环过程有着不可替代的调节作用,因此对降水特性的研究始终是大气科学及相关领域备受关注的热点课题。受多尺度地形与大气复杂的相互作用的影响,地形可触发、增强以及调节降水(Houze, 2012; Kirshbaum et al., 2018; Smith, 2019)。因此,复杂地形区降水时空分布极不均匀(Smith, 1979)。正因为地形在局地降水形成、发展中起着举足轻重的作用,很多学者对地形降水进行了大量的观测和数值模拟研究(李清森, 1987; 林之光, 1995; 孙健等, 2002; 盛春岩等, 2012; 郭欣等, 2013; 徐道生等, 2015; 朱红芳等, 2015; 杨薇等, 2019; 赵玉春等, 2020; 张铭明, 2021)。

日变化是复杂地形区小时尺度降水的重要特征之一。随着现代科学技术的发展、气象观测站网的日趋完善和数值模式能力的不断提高,高时空分辨率的气象观测资料和数值模式产品日趋丰富,越来越多的学者关注了多种地形处降水日变化的特征。在青藏高原地区, Singh 和 Nakamura (2009)的研究结果表明,明显不同的日变化特征出现在山区、谷地以及湖泊地区。山区的降水活动通常在午后达到最强,而在谷地以及湖泊地区,存在一个明显的夜间主峰值,除了夜间峰值之外,面积较大的湖泊区同时还存在一个早上的次峰值。他们还发现,降水率的主峰值时刻随着湖泊面积的增大而滞后。在祁连山地区, Li 等 (2019)指出祁连山顶、山坡以及东北部平原地区的降水具有明显的区域差异,且坡区的清晨峰值强度随海拔高的降低而增强。在天山中段, Li (2018)分析了天山中部及周边地区夏季降水日变化的气候特征,山脉南部外围的清晨降雨在南部盆地局部触发,晚午山峰和北缘晚山峰均受山源降雨事件的影响。在黄山山脉, 刘裕禄等(2013)分析了黄山山脉的日雨量和短时雨量极值分布,发现日雨量极值分布与地形关系密切,降水系统经过黄山山脉时扰动加强是降雨增幅的主要原因。在新疆地区, 黄秋霞分析了昌吉市分析了主汛期(5—8月)降水的日变化特征,降水主要集中在夜间,降水频次为明显的单峰型,且以短时间(1~4 h)的降水为主,贡

献率最大的是持续7 h的降水。这一系列有关降水日变化的研究丰富了我们对小尺度地形区降水特性尤其是降水日变化特性的认识,有助于深入理解复杂地形区降水气候特征及其形成演变机制,对当地精细化预报方法的改进具有重要意义。

云南地处横断山系之间,地形复杂,降水量、温度等气象要素的地区性分布与其地形分布和山脉走向密切相关(胡娟等, 2011; 许彦艳等, 2015)。该地区的降水常常导致严重的山洪、滑坡、泥石流等次生地质灾害(解明恩等, 2004)。在低纬高原开展降水等气象要素精细化预报是亟待解决的问题,这一问题的解决需建立在对局地小尺度降水特性的认识上。目前有学者开始对该地区的降水特征进行研究,如苏锦兰等(2015)详细分析了横断山系云岭余脉点苍山东西侧降水特性及差异,结果显示点苍山东西侧多年平均降水气候态相似、年降水量接近,降水季节演变一致,但小时降水量和降水频次日变化存在显著差异。为进一步认识低纬高原地区局地小尺度地形对降水特性的影响,改进数值模式在低纬高原地形处的性能,提高低纬高原地区的精细化业务预报,本文选取云贵高原昆明小尺度地形区内相邻仅5 km、海拔高度差异500 m左右的两个国家基准站太华山站(56872)和昆明站(56778),分析两个站的降水在平均态、日变化以及降水事件的时空特征等方面的差异。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本文选取的两个站点均为国家基准站,具有较长时间的高质量观测资料。太华山站位于太华山山顶,昆明站位于市区平原,两站海拔高度差约500 m左右,水平直线距离不足5 km(图1),是云贵高原复杂小地形区不同地形区域观测站典型代表。

本文所用资料为2006—2018年连续13 a的太华山站和昆明站5—10月(雨季)的逐时降水数据,该数据来源于云南省气象局信息中心提供的经过质量控制的“云南省天气预报业务信息系统V1.01”数据库。根据对两站2006—2018年的降水量进行统计,5—10月的雨季降水量分别占总降水量的87.5%(太华山站)和87.1%(昆明站),因此本文研究中仅关注雨季。

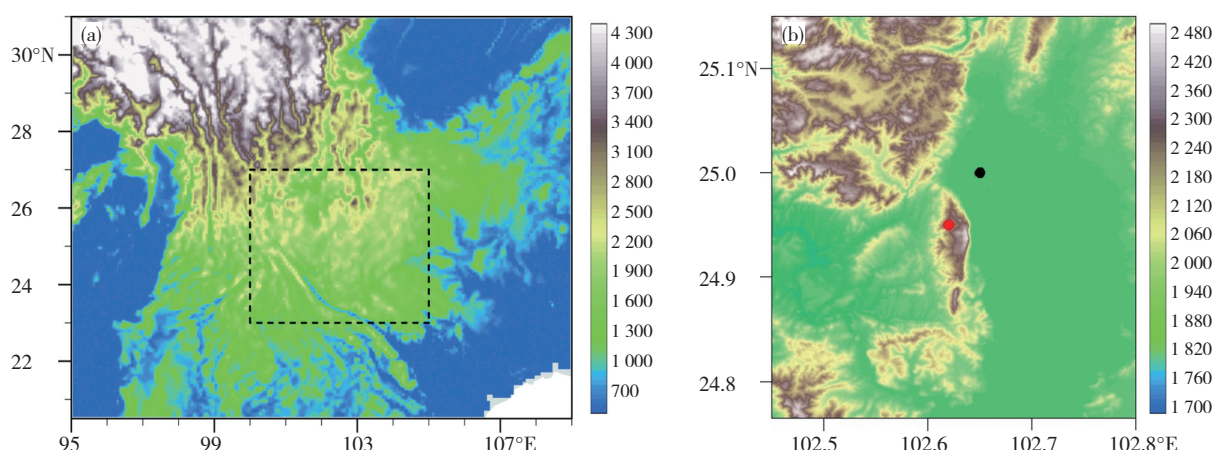


图1 我国西南地区的地形分布(a)及太华山(红色圆点)站和昆明(黑色圆点)站的地理位置(b, 彩色为地形高度, 单位:m)

Fig.1 (a) The topography of Southwest China, and (b) the locations of Taihuashan station (red dot) and Kunming station (black dot). Shading in the figure represents topographic height, unit: m.

1.2 研究方法

文中定义:定义小时降水量大于等于0.1 mm 的时段为有效降水时段。某一时间段的降水量为该时段内累积量,降水频次定义为有效降水的总时段,降水强度为降水量除以降水频次。

为了研究降水事件的演变,利用Yu等(2015)提出的区域降水事件(RRE)的方法来挑选降水事件,RRE的定义基于太华山站和昆明站的小时降水数据。首先,给出区域降水事件的识别过程,两站 t 时刻的降水 $P_{x,t}$ 为两个台站的最大降水量,即

$$P_{x,t} = \max(P_{i,t}) \quad (i=2)$$

其中 $P_{i,t}$ 为 i 站在 t 时刻的小时降水量。其次,由降水时间序列 $P_{x,t}$ 来定义两站的降水事件,降水事件定义为当某一降水时段之后连续2 h为无效降水时段时,判定一次降水事件结束。将一次降水事件所历经的小时数定义为此次事件的持续时间(Yu et al., 2007a)。

在挑选出的区域降水事件中,若两站均发生降水,则定义该事件为共有降水事件,若仅有一站发生降水,则定义该事件为该站的单独降水事件。

为了研究降水的持续性问题,参考已有研究(杨萍等, 2013),按照降水事件持续时间的长短,将其分为三类:短时降水(持续时间为1~3 h),中时降水(持续时间为4~6 h)和长时降水(持续时间为6 h以上)。

2 结果分析

2.1 年降水量、降水频次、降水强度的对比分析

图2给出了太华山站和昆明站雨季累积降水量、降水频次和降水强度的逐年演变特征。总体来看,两站降水量、降水频次和降水强度的逐年演变趋势基本一致,降水量和降水频次均表现出2011年前下降、2011年后上升的特点。从图2a可知,2006—2018年平均的雨季累积降水量太华山站($879.9 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$)要多于昆明站($847.5 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$),其中,7个年份(2007、2009、2012、2013、2014、2015、2018)太华山站降水量明显偏多,尤其是2007、2012和2015年,较昆明站偏多 $186.9 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上;4个年份(2008、2011、2016、2017)昆明站降水量略多,但较太华山站偏多不超过 $68.3 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$;2个年份(2006、2010)两个站的降水量基本一致。由图

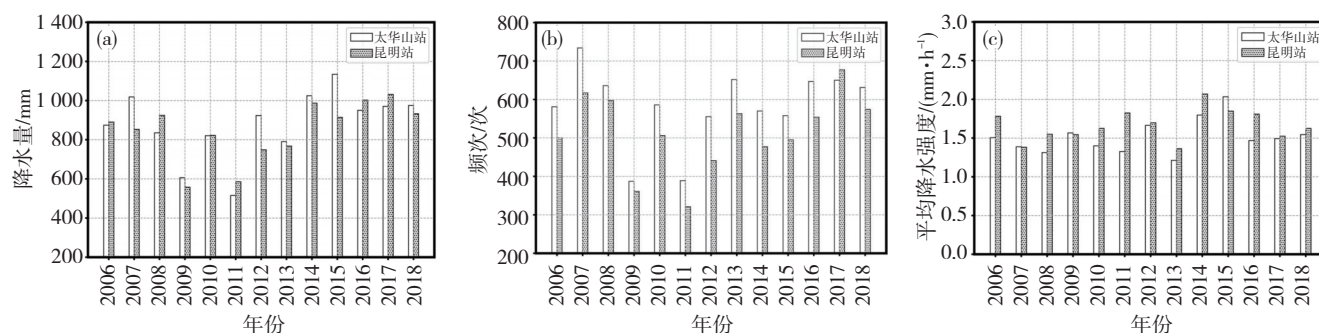


图2 昆明站和太华山站2006—2018年逐年雨季累积降水量(a)、累积降水频次(b)和平均降水强度(c)对比图

Fig.2 (a) Comparison of cumulative rainfall amount, (b) cumulative rainfall frequency and (c) average rainfall intensity in the rainy season from 2006—2018 at Kunming station and Taihuashan station.

2b可知,太华山站多年平均雨季累积降水频次(582.8次/年)远大于昆明站(514.1次/年),其中,除2017年昆明站略多于太华山站外,其余年份太华山站雨季累积降水频次均高于昆明站,并以2007年最明显,该年太华山站较昆明站偏多117次。综合来看,两站的雨季累积降水量差异不大,但处于山上的太华山站的雨季累积降水频次明显高于平原上的昆明站。由图2c可知,太华山站在2006—2018年中大部分年份里(2009、2015年除外)的年平均小时降水强度小于昆明站,特别是2006年、2011年、2014年差异更明显。

2.2 降水日变化特征对比分析

降水日变化是降水最基本的变化模态之一。对降水日变化的研究,有助于深入理解降水的形成机制,在提高和改善区域气候模式预报方面有重要意义(Yu et al., 2007)。为了分析两站降水在小时尺度上的差异,分别用给出积降水量、累积降水频次、平均降水强度三个要素的日变化特征,如图3所示。总体来看,两站的三个降水要素的日变化都呈现双峰特征,峰值分别出现在清晨和下午,且双峰特征在降水频次上表

现最突出。虽然两站的雨季平均降水量相差不大,但从累积降水量日变化来看(图3a),昆明站在凌晨至清晨时段(01—05时)略高于太华山站,但在午后至前半夜(12—20时),太华山站的小时累积降水量都大于昆明站,平均而言,太华山站在该时段累积降水量比昆明站高出5.8%。从降水频次日变化来看(图3b),太华山站在各个时段均大于昆明站,且差异的大值出现的时段为03—07时和12—16时,分别多167次(占总累积降水频次差异(617次)的27%)和143次(占总体累积降水频次差异的23%),两个峰值时间段内的降水频次差异占累积频次差异的60%。两站降水频次的差异最大值出现在07时,差异为74次;对于平均降水强度日变化来看(图3c),太华山站降水强度日变化幅度小,午后降水强度略大,但昆明站降水强度日变化幅度大,夜间降水强度明显强于午后。雨季平均降水强度的差异主要是由00—11时的差异导致的,在这个时段,昆明站的降水强度都明显高于太华山站,但在下午13时开始,太华山站的小时平均降水强度基本与昆明站一致,并且在晚上17—19时高于昆明站。

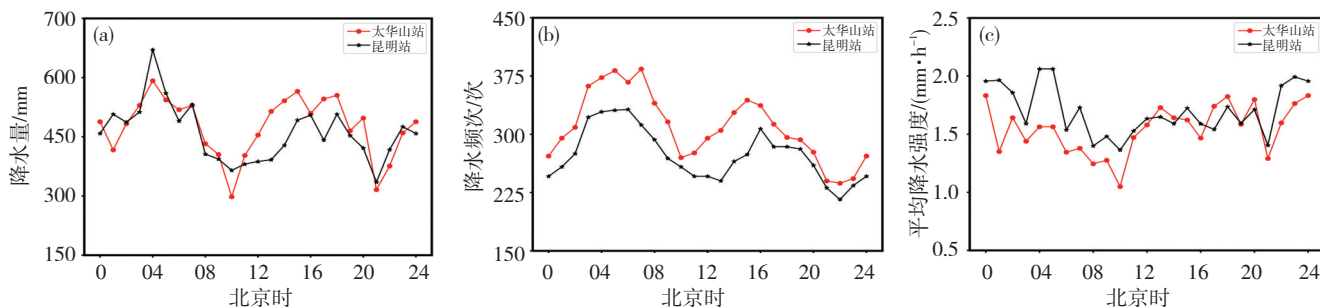


图3 昆明站和太华山站2006—2018年雨季累积降水量(a)、累积降水频次(b)和平均降水强度(c)的日变化对比曲线

Fig.3 Diurnal variations of (a) cumulative rainfall amount, (b) cumulative rainfall frequency and (c) average rainfall intensity in the rainy season from 2006 to 2018 at Kunming station and Taihuashan station.

2.3 降水事件的时空特征

2.3.1 降水事件的时间特征

特殊的地理位置和复杂的地形与海陆分布,使得中国降水日变化的区域特征复杂多样,这种区域差异与不同持续时间降水事件的演变特征密切相关(Yu et al., 2007)。表1给出太华山站和昆明站的短时、中时和

长时降水事件的多年累积降水量和事件数的总体特征,可见,两站主要降水事件和降水量由长时降水事件贡献,两站在该类事件中的差异尤为显著,其中太华山站的降水事件数多于昆明站,偏多14.3%,长时降水事件偏多达23.9%,短时降水事件偏多1.2%,中时降水事件偏多7%。对于累积降水量,太华山站略多

表1 不同持续时间降水事件的事件数和降水量的总体特征

Table 1 Overall characteristics of numbers and rainfall amount for rainfall events with different durations.

统计量	站点名称	短时降水事件	中时降水事件	长时降水事件	总降水事件
事件数/次	太华山站	1 628	1 957	4 443	8 028
	昆明站	1606	1 828	3 585	7 019
降水量/mm	太华山站	1 856.4	2 885.1	6 428	11 169.5
	昆明站	1 971.7	2 880.6	6 002.1	10 854.4

于昆明站, 偏多2.9%, 主要由长时降水事件所贡献, 太华山站偏多7.1%, 中时降水事件, 两站基本一致, 短时降水事件太华山站比昆明站还多6.1%。

2.3.2 降水事件的空间特征

表2给出了2006—2018年间两个站所在区域降水事件中的事件数、降水频次和降水量以及各自所占百分比。从表2可以看出, 区域降水事件中, 共有降水事件居多, 占总区域降水事件的60.23%, 单独降水事件中, 太华山站的单独降水事件是昆明站的1.8倍。

区域降水事件的频次主要来自共有降水事件的贡献, 其贡献率达85.73%, 对于单独降水事件, 太华山的频次是昆明站的约1.8倍。另外, 区域降水事件的降水量有93.39%来自于共有降水事件, 单独降水事件的降水量两个站差别不大, 太华山站略小于昆明站。从以上分析可以看出两站大部分事件为共有事件, 但单独降水事件对区域事件的影响也不可小视, 太华山站单独事件数和频次数远远多于昆明站, 降水量略小于昆明站。

表2 区域降水事件的总体特征
Table 2 Overall characteristics for regional rainfall events.

统计量	区域降水事件	共有事件	单独事件(太华山站)	单独事件(昆明站)
事件数	2 105	1 268	542	295
事件百分比		60.23%	25.75%	14.01%
频次数/次	8 936	7 661	815	460
频次百分比/%		85.73%	9.12%	5.14%
累积降水量/mm	16 012.4	14 955.2	505.9	551.3
降水量百分比/%		93.39%	3.16%	3.44%

2.3.3 共有降水事件中两站降水特征的对比分析

从共有降水事件的日变化(图4a、c、e)可以看出,

两站在日变化上都具有双峰特征, 清晨峰值强于午后峰值, 且太华山站的降水频次在各个时次都明显高于

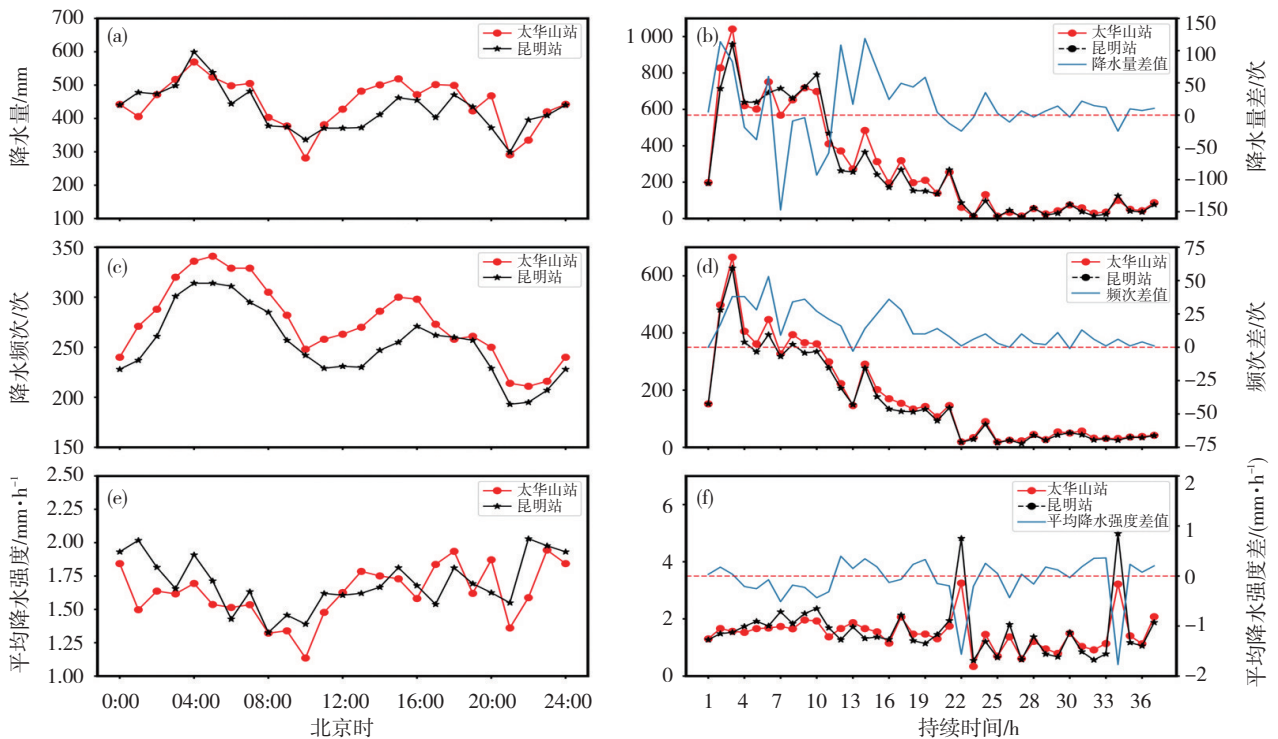


图4 两站共有降水事件的降水量(上)、降水频次(中)、平均降水强度(下)的日变化对比曲线(a、c、e)和不同持续时间的差异特征(b、d、f), 其中红色曲线代表太化山站, 黑色曲线代表昆明站, 图b、d、f中红色虚线表示差值为0, 蓝色曲线代表两个站在不同持续时间的差值

Fig.4 (a, c, e) Comparison of diurnal variations of rainfall amount (top), rainfall frequency (middle), and average rainfall intensity (bottom), and (b, d, f) the difference characteristics of different durations for the coexistent-rainfall-event at both stations. The red curves represent Taihuashan station. The black curves represent Kunming station. The red dotted lines represent no difference and the blue curves represent the difference under different durations at both stations in Figs. b, d, and f.

昆明站;由于太华山站在00—12时和21—23时的降水强度偏小,故太华山站在01—11时的降水量基本上都小于昆明站,而12时起太华山站降水强度逐渐增强,降水频次增多,故太华山站在12—20时的降水量要高于昆明站。从不同持续时间的共有降水事件的降水量、频次、强度的对比曲线图(图4b、d、f)可以看出,太华山站在持续时间1~4 h的事件中,降水强度基本昆明站一致,但频次偏多,降水量多于昆明站;在持续时间5~11 h内的降水事件中,降水强度小于昆明站,降水频次略高于昆明站,降水量小于昆明站;在持续时间大于12 h的事件中,太华山站降水强度大部分持续时间强于昆明站,降水频次偏多,降水量多于昆明站。

为了更详细地研究在共有降水事件中两站降水演化过程的特征和差异,我们从日变化的角度做了进一步的分析。从共有事件的开始时刻的日变化曲线(图5a)可以看出,开始于太华山站的共有事件数为390,是开始于昆明站的共有事件数约1.5倍。在两类共有事件中,开始时刻都存在明显的日变化特征,开始于太华山站的共有事件的开始时刻有三个峰值时段(00—05时和11—15时以及21时),其中最大值出现在21时,次数达到34次;开始于昆明站的共有事

件,其开始时刻峰值时段不明显,仅在00时和13—18时略多一点,开始时刻最多出现在00时,为25次。从共有事件的峰值时刻的日变化曲线(图5b)可以看出,共有事件的峰值时刻分别位于太华山站和昆明站的共有事件数的差异不大,但日变化上也有差异,两站均分别在00时和21时出现峰值,太华山站先达到峰值的次数略多,特别是21时,其余时刻两站先达到峰值事件数差异不大,太华山站偏午后,昆明站偏凌晨和晚上。从共有事件的结束时刻的日变化曲线(图5c)可以看出,从昆明站结束的共有事件数为364,是结束于太华山站的事件数的1.24倍,特别是00—15时时段明显偏多。从逐次分析此类降水事件,通过统计两站在2006—2018年5—10月间共发生共有降水事件数为1486次,其中太华山站的降水频次为6647次,平均降水持续时间为4.47 h,而昆明站的降水频次为6111次,平均降水持续时间为4.11 h,即在共有降水事件发生时,太华山站的平均降水持续时间比昆明站多0.36 h。图5d给出了共有事件中,两个站在共有事件中的开始时间差与结束时间差,以太华山为基准,正(负)值代表共有事件中,昆明站早(晚)于太华山站开始,0值代表两站同时开始。图5d统计分析了共有降

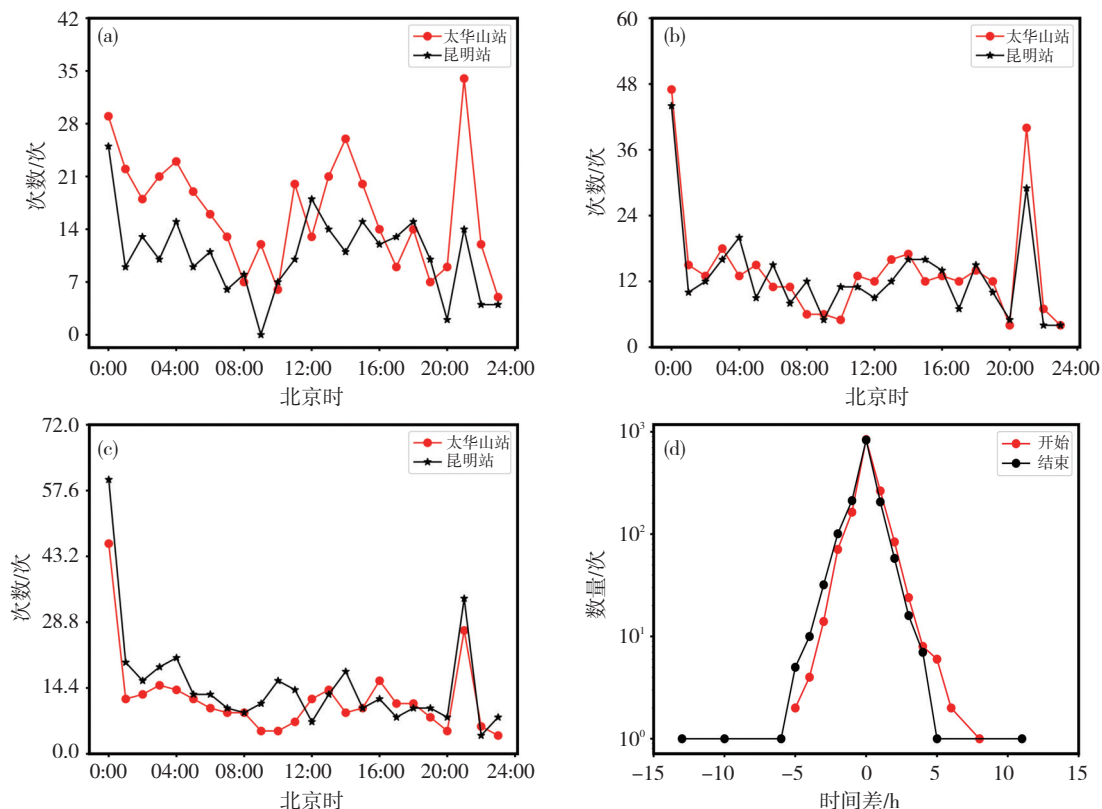


图5 太华山站和昆明站的共有事件的开始时刻(a)、峰值时刻(b)、结束时刻(c)的事件次数日变化演变曲线,以及共有事件中两个站的开始时间差和结束时间差的统计(d),其中红色(黑色)曲线表示开始(结束)时间差曲线

Fig.5 Diurnal variations of numbers of coexistent-rainfall-events at (a) starting, (b) peaking and (c) ending time at Taihuashan station and

Kunming station, and (d) the cumulative numbers of the starting and ending time difference for coexistent-rainfall-event.

The red and black curves represent the starting and ending time difference curves, respectively.

水事件中两站持续时间差异的数量,从时间差异来看,两站在同一共有降水事件中时间差异主要集中在2 h以内(占总数量的95.9%),56.6%的共有事件是同时开始的,其中开始时间差异最长为12h(仅有1次),结束时间差异最长为13 h(仅有2次);从不同时间差异数量上来看,时间差异在0~5 h的开始降水事件中,太华山站数量明显要多于昆明站,而时间差异0~5 h的结束降水事件中恰好相反。

2.3.4 单独降水事件中两站降水特征的对比分析

两个站点距离很近,但受地形影响站点所处位置有差异,通过上述分析可知两个站除了共有降水事件发生之外,也存在单独降水事件。图6a、b、c分别代表

两个站单独降水事件中降水量(图6a)、降水频次(图6b)、平均降水强度(图6c)的日变化,从图6b可以看出太华山站在单独降水事件频次日变化上出现两次峰值时段(03—09时和12—19时)而昆明站仅在16时和21时出现两次峰值,单独降水频次明显少于太华山站,从图6c可以看出虽然昆明站降水频次少,但平均降水强度日变化上大部分时段强于太华山站,特别是凌晨04—08时;从图6a单独降水事件降水量日变化可以看出,昆明站单独降水事件降水量日变化呈现两个峰值区,分布是03—07时和16—23时,而太华山单独降水事件在在01—12时降水量偏小,13—24时降水量明显增多。

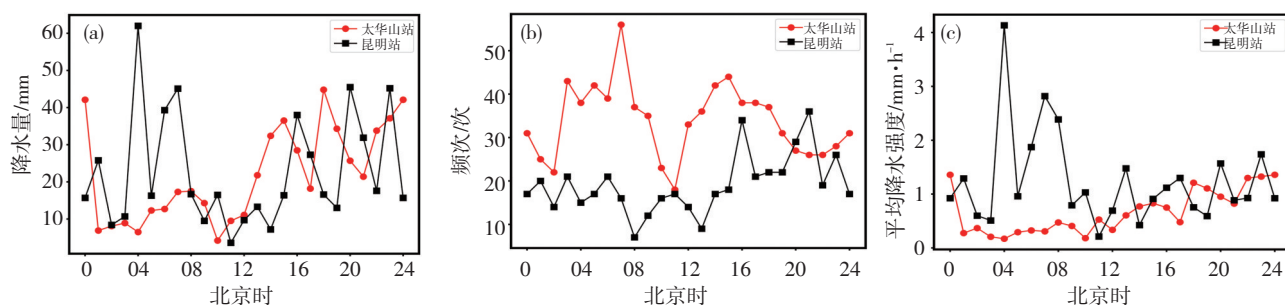


图6 两站单独降水事件的降水量(a)、降水频次(b)、平均降水强度(c)的日变化对比曲线

Fig.6 Comparison of diurnal variations of (a) rainfall amount, (b) rainfall frequency and (c) rainfall intensity for the individual-rainfall-event at both stations.

3 结论与讨论

本文利用位于云贵高原地区相近的两个国家基准站太华山和昆明站2006—2018年雨季(5—10月)小时降水资料,统计分析了两站降水精细化的时空特征。结果表明,相距如此之近的昆明和太华山国家基准气候站的降水的精细化特征存在明显的差异,具体表现为:

(1) 两站雨季累积降水量和平均降水强度在近13年内的差异不明显,太华山比昆明站多的年份偏多一点;太华山站的年降水频次在大部分年份上多于昆明站。

(2) 两站降水量、降水频次和降水强度的日变化特征都呈现双峰。太华山站降水频次的日变化双峰特征比昆明站明显,且大部分时次频次明显高于昆明站;太华山站平均降水强度在00—13时小于昆明站,在14—23时基本与昆明站一致;两站降水量日变化在凌晨至早上基本一致,在午后至晚上,太华山站小时累积降水量多于昆明站,且日变化也比昆明站明显。

(3) 从不同持续时间的降水事件来看,两站的降水特性差异主要由持续时间6 h以上的长时降水事件造成。两站在短时、中时降水峰值存在相位差,太华山站较昆明站提前1~2 h。在长时降水事件中,太华山

站降水频次的双峰明显高于昆明站,太华山站在12—19时时段的降水量明显高于昆明站,这也是两站降水特性的主要差异。

(4) 从区域降水事件来看,两站主要降水事件和降水特性差异来自于共有降水事件。在共有事件中,大部分事件同时开始于两站,这些事件中,结束于太华山站的事件数多于昆明站,太华山站的平均降水持续时间比昆明站多0.36 h。开始于单站的共有事件中,开始于太华山的共有事件多于开始于昆明站的,结束于太华山站的共有事件也多于结束于昆明站的。在共有事件中,降水频次比昆明站多,降水量比昆明站大。

(5) 两站单独降水事件占总降水事件的39.9%,太华山站单独降水事件数是昆明站的1.83倍,多为持续时间在1~4 h的降水事件。单独事件日变化差异明显,太华山站在凌晨和下午降水频次多,呈现明显双峰形态,但降水强度小,午后至晚上降水降水量略多;昆明站午后出现降水频次高峰,早晚降水强度打,降水量在凌晨和晚上呈现双峰。

从以上结果来看,两个站在小时降水特性上存在明显的差异,特别是降水频次和降水强度方面,这种差异主要是由于小尺度复杂地形造成的。而这种差异在相当长一段时间是数值天气预报系统无法识别

分辨的,严重影响着降水预报的准确性。在下一步的研究中,我们将利用数值模式以及雷达资料,对造成两站降水精细化特征差异的机制以及造成这些差异的天气系统的特征进行分析研究,从而为精细化预报服务提供依据。

参考文献:

- 郭欣,郭学良,付丹红.2013.钟形地形动力抬升和重力波传播与地形云和降水形成关系研究[J].大气科学,37(4):786-800
- 黄秋霞,方雯,王春燕,等.2016.新疆昌吉市主汛期降水的日变化特征[J].沙漠与绿洲气象,10(6):19-23
- 胡娟,闵颖,李华宏,等.2016.云南省地质灾害精细化气象风险预警模型优化研究[J].灾害学,31(4):110-115
- 解明恩,程建刚,范蓓.2004.云南气象灾害的时空分布规律[J].自然灾害学报,13(5):40-47
- 李清森.1987.张家口地区的风暴“源地”[J].高原气象,6(2):187-191
- 林之光.1995.地形降水气候学[M].北京:科学出版社
- 刘裕禄,黄勇.2013.黄山山脉地形对暴雨降水增幅条件研究[J].高原气象,32(2):2608-2615
- 盛春岩,高守亭,史玉光.2012.地形对门头沟一次大暴雨动力作用的数值研究[J].气象学报,70(1):65-77
- 孙健,赵平,周秀骥.2002.一次华南暴雨的中尺度结构及复杂地形的影响[J].气象学报,60(3):333-342
- 苏锦兰,李建,杨桂荣,等.2015.横断山系云岭余脉点苍山东西侧小时降水特性对比分析[J].气象,41(1):17-24
- 唐永兰,徐桂荣,于晓晶.2019.近49a中国30°N带不同地形下大城市与其郊区的降水特征[J].暴雨灾害,38(4):354-363
- 徐道生,陈子通,谢东东,等.2015.地形效应引起的局地扰动对华南降水预报的影响研究[J].热带气象学报,31(2):173-181
- 许彦艳,王曼,马志敏,等.2015.山脉地形对云南冷锋切变型强降水的影响[J].云南大学学报(自然科学版),37(5):717-727
- 杨萍,刘伟东.2013.北京地区加密自动气象站数据的质量分析[J].气象科技进展,3(6):27-34
- 杨薇,冯文,陈有龙.2019.地形对海南岛冬季暴雨影响的数值试验[J].干旱气象,37(5):781-789
- 张铭明,李建,甘玉婷,等.2021.基于GWR模型的中国中东部降水与海拔高度关系特征分析[J].暴雨灾害,40(1):1-11
- 赵玉春,王叶红.2020.我国东南沿岸及复杂山地后汛期降水日变化的数值研究[J].大气科学,44(2):371-389
- 朱红芳,王东勇,娄珊珊,等.2015.地形对台风“海葵”降水增幅影响的研究[J].暴雨灾害,34(2):160-167
- Houze Jr R A.2012.Orographic effects on precipitating clouds [J].Reviews of Geophysics, 50(1):1-47
- Kirshbaum D, Adler B, Kalthoff N, et al.2018.Moist orographic convection: Physical mechanisms and links to surface-exchange processes [J].Atmosphere,9(3):80
- Li L L, Li J, Chen H M, et al.2019.Diurnal variations of summer precipitation over the Qilian Mountains [J].J Meteor Res, 33(1):1-13
- Li J. 2018.Hourly station-based precipitation characteristics over the Tibetan Plateau [J].International Journal of Climatology,38:1560-1570
- Singh P, Nakamura K.2009.Diurnal variation in summer precipitation over the central Tibetan Plateau [J].Journal of Geophysical Research: Atmospheres,114(D20)
- Smith R. 2019.100 Years of Progress on Mountain Meteorology Research[J].Meteorological Monographs,59(1):416-427
- Smith R B.1979.The influence of mountains on the atmosphere[J].Advances in Geophysics, 21:87-230
- Yu R C,Zhou T J,Xiong A Y, et al.2007.Diurnal variations of summer precipitation over contiguous China [J].Geophys Res Lett,34:L01704
- Yu R C,Chen H M,Sun W.2015.The Definition and Characteristics of Regional Rainfall Events Demonstrated by Warm Season Precipitation over the Beijing Plain [J].Journal of hydrometeorology,16(1):396-406

(责任编辑 邓 雯)