

毛冬艳,曹艳察,朱文剑,等,2018.西南地区短时强降水的气候特征分析[J].气象,44(8):1042-1050.

西南地区短时强降水的气候特征分析*

毛冬艳¹ 曹艳察¹ 朱文剑¹ 田付友¹ 郝丽萍² 康 岚² 张 涛¹

1 国家气象中心,北京 100081

2 四川省气象局,成都 610072

提 要: 利用国家级地面气象站逐小时和日降水数据集资料,对西南地区短时强降水的气候特征进行了分析,并对近 30 年来强短时强降水和强暴雨的变化趋势进行了分析。结果表明:西南地区短时强降水主要集中在 4—10 月;三个高发区分别位于贵州东南部、四川盆地西南部和云南东南部,年均发生次数约 5~6 次;强度一般为 $20\sim 30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,其中贵州 $30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上的小时降水强度所占比例最高,四川盆地西部边缘地区小时降水最强,超过 $80\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,极端小时降水达 $123.1\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$;短时强降水具有明显的夜发性,02 时左右为发生频次的峰值时段。从近 30 年西南地区超过第 90 百分位的强短时强降水与强暴雨的长期变化趋势来看,强短时强降水呈现频次增加、强度增强的变化趋势,强暴雨则变化不明显。

关键词: 西南地区,小时降水量,短时强降水,气候特征

中图分类号: P468

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.08.006

Climatic Characteristics of Short-Time Severe Precipitation in Southwest China

MAO Dongyan¹ CAO Yanca¹ ZHU Wenjian¹ TIAN Fuyou¹

HAO Liping² KANG Lan² ZHANG Tao¹

1 National Meteorological Centre, Beijing 100081

2 Sichuan Meteorological Service, Chengdu 610072

Abstract: Based on the hourly and daily precipitation data of national meteorological stations in Southwest China, the climatic characteristics of short-time severe precipitation are analyzed. In addition, the variation trend of short-time severe precipitation and severe rainstorms surpassing 90 percentile are analyzed as well. The results show that the short-time severe precipitation over Southwest China mainly occurs from April to October. The three regions where short-time severe precipitations are seen most frequently are located in the southeast of Guizhou Province, the southwest of Sichuan Basin, and the southeast of Yunnan Province, respectively, with average frequency is 5—6 times annually. Generally, the intensity is $20\sim 30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, with the highest proportion of more than $30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ in Guizhou. The highest intensity occurs in the western edge of Sichuan Basin where the intensity is over $80\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. The extreme hourly precipitation is $123.1\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. Moreover, the nocturnal feature of the short-time severe precipitations is evident and the wee hours around 02:00 am is the summit period. The long-term trend of severe precipitation and rainstorm in Southwest China for the period of 1981—2010 indicates that the frequency of the heavy short-time severe precipitations is increasing and the intensity becomes enhanced. For severe rainstorms, the trend is not evidently changed.

Key words: Southwest China, hourly precipitation, short-time severe precipitation, climatic characteristics

* 气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2013Z04)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201406002)和西南区域强降水预报创新团队(川气函[2013]328号)共同资助

2017年12月18日收稿; 2018年4月5日收修定稿

第一作者:毛冬艳,主要从事灾害性天气预报技术研究. Email:maody@ema.gov.cn

引 言

根据 2005—2010 年的灾害数据统计,强对流是近年来仅次于暴雨洪涝造成人员伤亡的第二大类气象灾害,短时强降水作为我国强对流天气的主要类型之一,一般是指 1 小时降水达到或超过 20 mm,由其引发的山洪、城市渍涝和地质灾害已屡见不鲜,对人民生命安全造成了严重威胁。2008 年 9 月 22—27 日,四川盆地西部发生持续性暴雨天气过程,引发严重的泥石流灾害(李金建等,2010)。2011 年 6 月 6 日,贵州望谟的短时强降水造成了重大人员伤亡。相对于区域性暴雨而言,短时强降水主要由中小尺度天气系统造成,具有生命史短、局地性强等特点,故预报难度更大。因此,加强对短时强降水天气的研究显得愈为重要。近年来越来越多的气象学者开始关注并研究短时强降水天气过程(周长春等,2009;徐珺等,2010)。

西南地区南部具有高原低纬度天气气候特点,而北部则受高原西风带天气系统控制,具有高原中纬度天气气候特点。这些均造成了该地区短时强降水天气的特殊性,加之复杂的地形、地质、地貌特征,在短时强降水天气条件下极易引发次生灾害,因此该地区是山洪地质灾害重点关注地区之一,提高该地区的灾害性天气预报、特别是短时强降水的预报预警准确率是防灾减灾所面临的重大挑战之一。

降水一直是我国气象学者关注的重要天气之一,受资料的限制,以往对日至年尺度的降水变化研究较多(张琪和李跃清,2014;林建和杨贵名,2014),而对小时尺度的降水研究较少。近年来,随着观测手段的不断丰富,小时降水资料已经在业务中占据越来越重要的地位,基于小时降水资料的研究工作也逐渐开展起来,为我们更为全面、细致地了解 and 掌握我国降水的气候特征提供了有益的参考。姚莉等(2009)利用 1991—2005 年全国小时降水资料分析了我国小时雨强的时空分布特征。Yu et al(2010)利用 1966—2005 年全国 575 个站点小时降水资料,揭示了中国夏末降水“南涝北旱”空间型的变化特征。李建等(2013)使用小时降水资料,考察了我国中东部地区极端降水的持续性和季节性特征。与此同时,对于我国不同区域的小时降水特征的研究也先后开展起来(殷水清等,2012;刘燕和黄敏辉,2004)。我国西南地区的降水受季风环流和复杂地

理环境的影响,表现出空间分布不均、局地差异明显、变化多样等特点,因此,小时降水资料在该区域的应用更是受到了气象学者的普遍关注。唐红玉等(2011)利用西南地区 1960—2000 年的小时降水资料,分析了逐月、逐日和逐时的降水频率和降水比率。张焕等(2011)利用西南地区近 40 年的小时降水资料研究了当地降水、特别是夏季和秋季降水的变化特征。彭芳等(2012)利用贵州省 1991—2009 年的小时降水资料,定义了不同站点小时降水量的强度阈值,并统计了强降水事件频数。Liang and Ding(2017)利用上海地区 1916—2014 年的小时降水资料,分析了近一个世纪以来上海地区极端强降水多时空尺度变化特征,并指出小时强降水的发生频次和总的降水强度的长期变化趋势具有显著的城市雨岛的特征。表 1 给出了近年来利用小时降水资料进行的相关研究。

Maddox et al(1978),Vieux and Bedient(1998)曾指出,虽然对 24 小时降水的气候特征已经做了大量的研究工作,但这一时间尺度和暴洪事件相比还是太长了。Brooks and Stensrud(2000)将小时降水与暴洪事件联系起来,试图从小时降水反映暴洪的特点。Sangstep(1989)利用美国中北部单站 30 年暖季(7—8 月)的小时降水资料,分析了该地区降水的夜发性特点及可能的产生原因。Winkler et al(1988)利用美国小时降水资料,分析了日变化可能的物理机制。

本文使用 1981—2010 年 30 年全国 2420 个站点、西南地区 402 个站点的小时降水资料(张强等,2016),分析该区域短时强降水的分布特征,并对强短时强降水和强暴雨两类不同时间尺度强降水的变化趋势进行分析,为预报员掌握该区域的降水特征、做好强降水的短时临近分析以及短期预报预警提供参考。

1 资料与方法

本文西南地区是指四川、重庆、贵州和云南四省(市),所用资料是由国家气象信息中心提供的中国国家级地面气象站逐小时降水数据集,资料时间为 1951—2012 年,全国共 2420 个站点,其中西南地区共 402 站,从中挑选出 1981—2010 年资料时间在 10 年以上的站点共 389 个(图 1),据此统计、分析西南地区短时强降水的分布特征。同时,根据国家气

表 1 利用小时降水资料进行的相关研究

Table 1 Correlation research based on hourly precipitation data

序号	作者 (发表年份)	资料区域	资料时段	站点数	主要研究内容
1.	姚莉等 (2009)	全国	1991—2005 年	485 站	1 小时雨强的时空分布特征
2.	Yu et al (2010)	全国	1966—2005 年	575 站	中国夏末降水“南涝北旱”空间型的变化特征
3.	李建等 (2013)	全国	1954—2010 年	575 站	中国中东部极端降水的持续性和季节特征
4.	唐红玉等 (2011)	西南地区	1960—2000 年	91 站	西南地区降水日变化特征
5.	张焕等 (2011)	西南地区	1961—2000 年	112 站	西南地区小时降水变化特征
6.	彭芳等 (2012)	贵州	1991—2009 年	84 站	贵州省汛期(4—9 月)短时降水特征分析
7.	殷水清等 (2012)	海河流域	1961—2004 年	21 站	海河流域夏季逐时降水变化趋势
8.	刘燕和黄敏辉 (2004)	广州	1986—1998 年	/	前汛期、后汛期和非汛期小时降水特征
9.	Liang and Ding (2017)	上海	1916—2014 年	11 站	小时强降水的发生频次和总降水强度的长期变化趋势

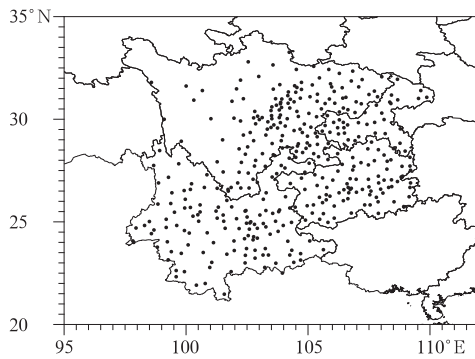


图 1 西南地区小时降水资料站点分布

Fig. 1 Distribution of hourly precipitation stations in Southwest China

象信息中心提供的“中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集(V3.0)”中 1951—2010 年全国共 2474 个站点每日 20 时至次日 20 时降水量资料,从中选取与小时降水资料相匹配且资料时间序列达到 30 年的站点共 355 个,将这些站点的短时强降水与暴雨的变化趋势进行对比分析。

本文使用的短时强降水、暴雨等相关定义如下:

(1) 短时强降水:指小时降水量 ≥ 20.0 mm;

(2) 暴雨:指日降水量 ≥ 50.0 mm;

(3) 短时强降水站次数:指一定时间段、一定区域内所有站点出现短时强降水的次数;

(4) 暴雨站日数:指一定时间段、一定区域内所有站点出现暴雨的日数。

在分析短时强降水和暴雨长期变化趋势中,使用了魏凤英(2007)提出的线性趋势估计方法。该方法是通过建立某一气候变量和时间之间的一元线性回归,从而得到一条直线来表示该气候变量与时间的关系。该方法属于时间序列分析范畴,被较多的应用于气候变量的长期变化趋势分析中(Liang and Ding, 2017; 符娇兰等, 2008)。

2 西南地区短时强降水气候特征分析

2.1 短时强降水集中期

对西南地区短时强降水初、终日的统计结果表明(图略),该区域短时强降水于 3 月上旬最早出现在云南省东南部,而后随夏季风的增强逐渐由东南向西北方向推进,川西高原出现时间最晚,一般在 6 月下旬至 7 月上旬;短时强降水结束时间则是由川西高原逐渐退向云南南部,最晚于 11 月上旬结束。

为了考察西南地区短时强降水发生的主要月份,统计分析了逐月短时强降水平均和最大发生次数(图 2)。结果表明,就月平均次数而言,呈明显的单峰型分布,主要出现在 4—10 月,其中 7 月发生频次最高,平均每站出现短时强降水约 1.02 次,向两端逐渐减小,3 和 11 月平均只有 0.01 次,呈现以 7 月为中心的对称分布,这与上述短时强降水的开始

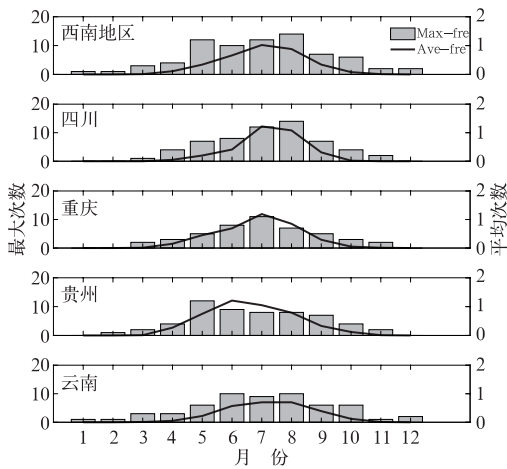


图 2 西南地区及各省(市)逐月短时强降水平均和最大发生次数
(线条表示月平均发生次数,柱状表示月最大发生次数)

Fig. 2 Frequencies of monthly average and maximum short-time severe precipitation in the Southwest China and for provinces (municipality)
(Line is four monthly average frequency and column for monthly maximum frequency)

和结束时间是相吻合的。这种分布与彭芳等(2012)以强降水阈值定义的贵州强降水事件的月分布特征相一致。就短时强降水月最大发生次数而言,则主要集中在 5—8 月,最大次数均超过 10 次,其中 8 月最大,达 14 次。在此基础上,对四个省(市)分别进行了分析,可见,不同省(市)之间既表现出一定的共性特征,同时又各有其特点,主要表现在月平均次数均呈单峰型分布,四川、重庆的月平均次数峰值均出现在 7 月,而贵州出现在 6 月,云南同时出现在 7 和 8 月,就其次数而言,四川、重庆、贵州基本相当,均

为 1.2 次左右,云南则相对要小,仅为 0.7 次;就月最大次数而言,四个省(市)均达到或超过 10 次,其中四川最大为 14 次,云南最小为 10 次,贵州出现在 5 月,重庆为 7 月,四川为 8 月,云南则在 6—8 月都出现过。

2.2 空间分布特征

从 1981—2010 年 4—10 月西南地区短时强降水水平均次数分布(图 3a)可见,整个区域从西北向东南发生次数逐渐递增;呈现三个高发中心,分别位于云南东南部、贵州东南部和四川盆地西南部,发生次数一般为 5~6 次,同时,在四川南部和云南北部交界处也有一个中心,其发生频次高于周边地区,但低于上述三个中心,一般为 3 次左右;川西高原到四川盆地发生频次梯度最大的区域,表明这里短时强降水发生频次在空间上变化最大;高原地区平均每年发生短时强降水的次数一般不到 1 次。

从逐月演变来看,上述三个短时强降水高发区出现的时间及持续时间都有一定的差异。5 月,贵州东南部最早成为短时强降水高发区,月发生次数超过 1 次;6 月(图 3b),短时强降水高发区的范围进一步扩大至整个贵州东部,频次也进一步增多,为该区域出现短时强降水最多的月份,达到或超过 2 次,同时云南东南部也逐渐增多;7 月(图 3c),贵州东南部的短时强降水发生次数和高发区范围都有所减小,处于减弱的趋势,而云南东南部频次则进一步增大,达 1.5~2 次,变化最为显著的是四川盆地,大部地区明显增多,达到了 1 次,部分区域超过 2 次;8 月,贵州东南部进一步减弱,四川盆地的高发区虽然有所减弱,但发生频次仍较高。可见,贵州东部的短时强降水主要集中在 5—7 月,持续时间比较长,其

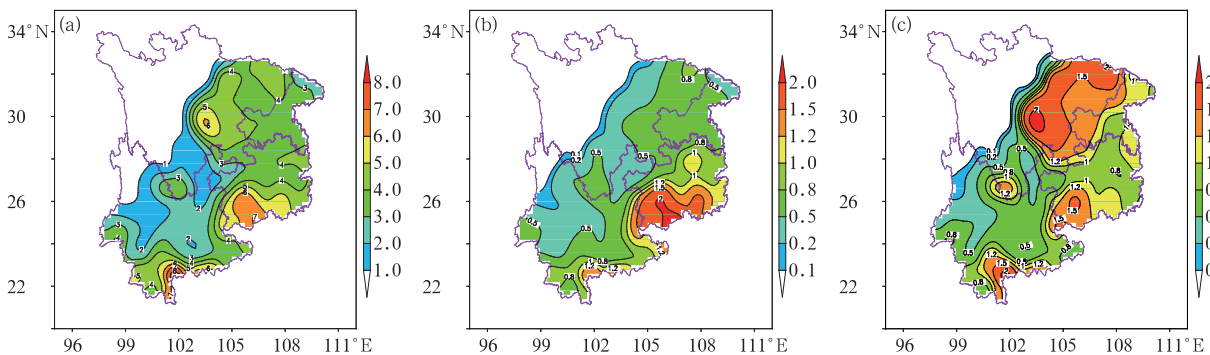


图 3 1981—2010 年 4—10 月(a), 6 月(b), 7 月(c)西南地区短时强降水平均发生次数分布

Fig. 3 Distribution of average frequencies for short-time severe precipitation in April—October (a), June (b) and July (c) of 1981—2010

中 6 月发生频次最高,范围最大;四川盆地则集中爆发在 7—8 月,以 7 月为最强;云南东南部则集中在 6—8 月,但范围小。由上述分析可见,西南地区强降水区域随季节呈由东南向西北整体推进趋势,与统计给出的 $110^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$ 区域 5 d 滑动平均的西太平洋副热带高压脊线位置阶段性北跳活动基本一致(韦道明等,2011)。

2.3 强度和持续时间

从 1981—2010 年 4—10 月西南地区短时强降水的平均强度来看,大部分地区强度在 $26\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上,其中,四川盆地大部、贵州大部等地达到或超过 $28\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,四川盆地中部的部分地区超过了 $30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。从近 30 年的极端最大强度分布来看,整个区域差异明显,其中,四川盆地西部边缘地区小时降水最强,超过 $80\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,四川盆地大部、贵州达 $60\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 以上,其他大部分地区为 $50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$,西部高原地区 $20\sim 30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 即达到了极端最大。从小时降水强度的极值来看,该区域最大小时降水出现在 1999 年 8 月 3 日的四川安县,为 $123.1\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。另外,2000 年 9 月 24 日在四川纳溪出现了 $121.9\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的强降水。郑似

莘(1989)根据水文资料的分析表明,1979 年 7 月 20 日贵州安顺暴雨,10 min 雨量达 72 mm,在全国也是罕见的。

为了进一步分析西南地区短时强降水的特征,在 $20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 的基础上,将其划分为不同的强度等级。Sangstep(1989)在分析美国中北部 7—8 月降水的日变化特征时,将小时降水划分为六个等级,分别为微量、0.01~0.03 英寸(0.25~0.75 mm)、0.04~0.47 英寸(1.0~11.75 mm)、0.48~0.99 英寸(12.0~24.75 mm)、1.0~1.99 英寸(25.0~49.75 mm)和 ≥ 2.0 英寸($\geq 50.0\text{ mm}$),结果表明,等级 1 主要出现在白天,等级 2 同时出现在白天和夜间,而等级 3 及以上的小时降水具有明显的夜发性。姚莉等(2009)在探讨小时降水年平均发生频率、日变化和极端降水等问题时,将雨强划分为四个等级,分别为 $>1\text{ mm}$ 、 $>2\text{ mm}$ 、 $>4\text{ mm}$ 和 $>8\text{ mm}$ 。综合上述划分方法,并结合目前的业务标准以及小时强降水的可能致灾性,本文将小时强降水划分为三个等级,分别为 $20\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}\leq$ 等级 1 $<30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 、 $30\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}\leq$ 等级 2 $<50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 、等级 3 $\geq 50\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

由图 4 可见,随着降水强度的增加,其所占比例

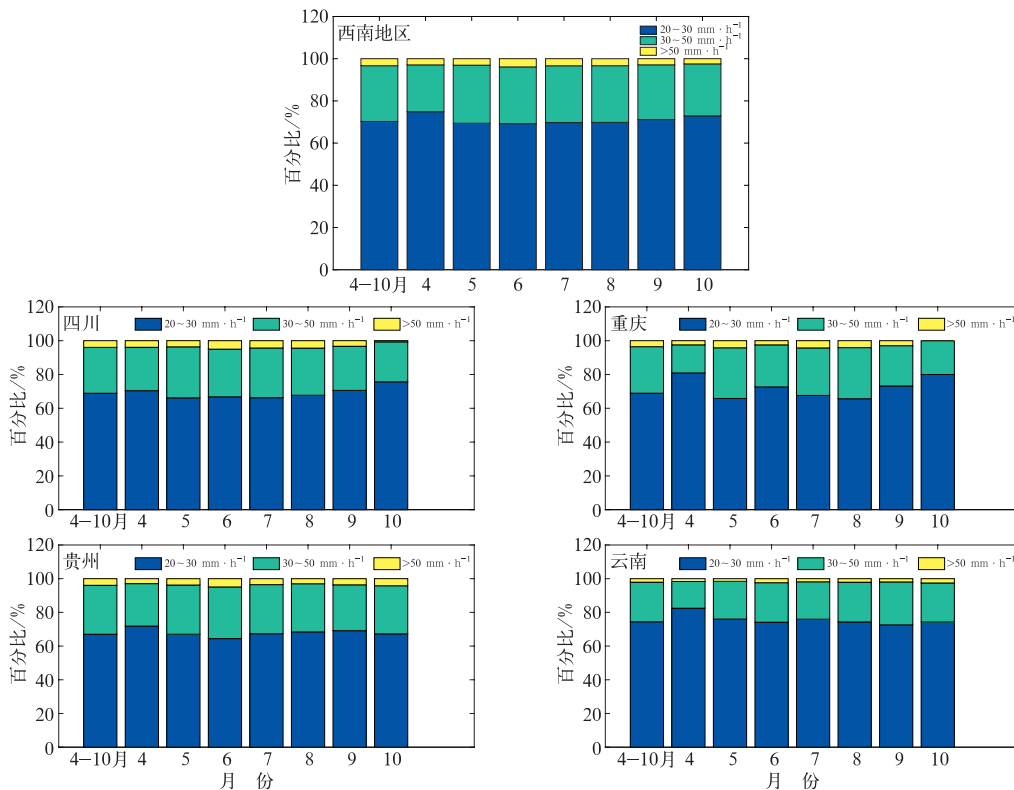


图 4 1981—2010 年 4—10 月西南地区以及四个省(市)不同强度短时强降水所占百分比
Fig. 4 Percentages of different intensities of short-time severe precipitation in Southwest China and four provinces (municipality) in April–October of 1981–2010

明显减少,从 4—10 月的平均情况来看,三个等级所占比例分别为 70%、27% 和 3%,其中,20~30 mm·h⁻¹的短时强降水以 4 月比例为最高,达 75%,30~50 mm·h⁻¹的各月基本相当,最高的 5 月(27%)相对最低的 4 月(22%)仅高出 5%,50 mm·h⁻¹以上的各月基本都在 3%左右。从四个省(市)的情况来看,云南 20~30 mm·h⁻¹短时强降水的比例最高,达 74%,贵州则最低,为 67%,说明云南的短时强降水以 30 mm·h⁻¹以下的强度为主,而贵州 30 mm·h⁻¹以上的短时强降水的比例则要高于其他三个省(市)。这与郑似莘(1989)的研究结果中贵州 1 小时暴雨均值占 24 小时暴雨均值的比例最大,可达 50%~55%是相吻合的。

从西南地区短时强降水持续时间(即小时降水量持续≥20 mm 的小时数)来看,大部分地区持续时间较短,为 1~2 h,超过 3 小时的主要集中在三个区域,分别为四川盆地大部、贵州东南部和云南东南部,且以四川盆地范围最大,部分地区甚至超过 4 小时。可见,短时强降水持续时间和发生频次之间具有很好的一致性。

2.4 日变化特征分析

川西地区的降水一直以来就有“巴山夜雨”的说法(吕炯,1942)。段春锋等(2013)的研究结果表明,中国夜雨现象站点多且分布广,降水频率峰值时间多出现在下午和后半夜,其中峰值时间在夜间最为显著的区域是西南地区(该研究西南地区是指青藏高原、四川盆地和云贵高原)。那么,对于本文所重点研究的短时强降水,是否也同样具有夜发性的特点呢?图 5 给出了该区域 4—10 月短时强降水事件的日变化特征和变化趋势。从逐小时演变曲线可见,短时强降水的次数呈明显的单峰型分布,发生次数的峰值出现在 02 时左右,谷值出现在 12 时左右,峰值次数约是谷值次数的 3 倍,夜发性特征非常显著。

陈忠明等(2004)对西南低涡的研究表明,西南低涡作为我国最强烈的暴雨系统之一,其发生具有明显的年、季、月和日变化,其中 7 月出现最多,低涡在夜间生成的几率比白天高一倍多,这与前面短时强降水和暴雨的峰值均出现在 7 月以及降水的夜发性特征具有较好的一致性,也可能是导致上述特征的主要原因之一。Sangstep(1989)在研究美国中北部暖季降水的夜发性特点时,将以往的研究归纳为

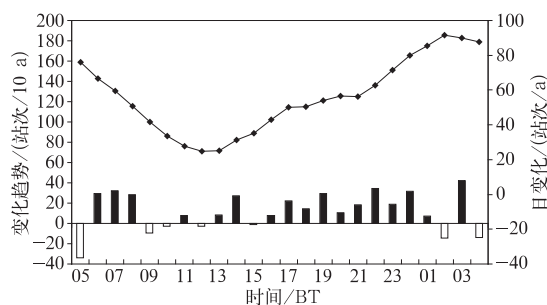


图 5 1981—2010 年 4—10 月西南地区短时强降水日变化特征及变化趋势(柱形为 2001—2010 年 10 年相对于 1981—1990 年 10 年的短时强降水的站次差,折线图为日变化特征)

Fig. 5 Daily changes and variation trend of short-time severe precipitation in Southwest China in April–October of 1981–2010 (Column represents difference of stations between 2001–2010 and 1981–1990, line chart is for daily variation)

两种物理上的解释,一种是由于湍流所造成的垂直动量传输的日变化,另一种是平原上地转风的日变化,这两种因素所造成的边界层风场的日变化可以导致大尺度垂直运动场的日变化。

从近 30 年短时强降水发生频次的变化趋势来看,对于每天大部分时次而言,短时强降水的次数都是呈增加趋势的,仅有个别时次(如 02、04、05 和 09 时等)是减少的,增加和减少最为显著的时次分别为 03 和 05 时,增减的幅度基本相当,约为 40 站次/10 a。可见,在全球气候变化的背景下,西南地区短时强降水的发生频率总体上是增加的,但对于夜发性特征的变化趋势,还有不确定之处,值得进一步细致研究。

3 强短时强降水与强暴雨的变化趋势分析

近年来,许多专家学者利用日降水资料,对我国降水的多年变化趋势进行了分析研究,得到了许多有益的结论(李聪等,2012;张琪和李跃清,2014;熊光洁等,2012;杨明等,2010)。其中,李聪等(2012)的研究表明,近 60 年来我国各区域年平均降水量大多为减少趋势,其中,华北地区和西南地区减少明显。相对于日降水变化趋势的研究而言,由于资料等的原因,对于小时尺度降水的变化研究相对要少

得多。

为了进一步分析西南地区达到一定强度、具有一定灾害性影响的短时强降水和暴雨的变化趋势,这里参考以往一些专家学者的做法(Zhang and Zhai, 2011),以第 90 百分位作为强短时强降水和强暴雨的阈值标准。据此分析表明,1981—2010 年西南地区强短时强降水的标准为 $\geq 41.1 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,强暴雨的标准为 $\geq 105.2 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。下面分别对强短时强降水和强暴雨的变化趋势进行分析。

3.1 强短时强降水变化趋势分析

从西南地区近 30 年强短时强降水发生频次(图 6a)来看,1981 年以来,其发生频次总体上呈线性增长趋势,但年际之间变化幅度比较大,其中,发生频次最低的是 1986 年的 91 站次,最高的是 1998 年的 165 站次,长期增长速率为 $8.7 \text{ 站次}/10 \text{ a}$ 。 t 检验结果表明通过了 0.05 的显著性水平检验。

从强短时强降水强度变化趋势(图 6b)可见,1981—2010 年强短时强降水的年均强度波动比较大,整体呈显著增强的趋势,增强的速率约为 $0.9 \text{ mm}/10 \text{ a}$,且通过了 0.01 的显著性水平检验。对于超过第 95、99 百分位(分别对应 48.2 和 $64.0 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$)的短时强降水的趋势分析,可以得到相同的结论(图略)。可见,近 30 年西南地区强的短时强降水呈现频次增加、强度增强的变化趋势。

3.2 强暴雨变化趋势分析

采用与上述强短时强降水相同的方法,对强暴雨的变化趋势进行分析。

从近 30 年西南地区强暴雨发生频次(图 7)来看,其中 1991—2010 年的近 20 年强暴雨日数呈减少的趋势,10 年平均日数从 95.5 d 减少到 88.2 d,减少的速率约为 $3.8 \text{ d}/10 \text{ a}$,且通过了 0.99 的显著性水平检验,但 30 年的变化没有通过显著性水平检验。

从强度长期变化趋势来看,近 30 年强暴雨的强度总体呈现减弱的趋势,但是没有通过显著性水平检验。同时,分别选取了超过第 95 和第 99 百分位(强度分别对应 125.5 和 $182.2 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$)的暴雨强度进行了分析,得到了相同的结果。可见,对于强暴雨的强度变化趋势还有待于更为深入细致的分析。

从上述分析可见,近 30 年西南地区不同时间尺度的降水呈现出不同的变化特征,其中,强短时强降水呈频次增加、强度增强的趋势,强暴雨变化趋势不明显。一般而言,短时强降水主要是由中小尺度系统引发的历时短、局地性强的对流性降水,暴雨则主要是在相对稳定的天气形势下由持续一定时间的降水累积而成。强短时强降水增多增强表明该区域降水的对流性特征更加显著,结合前面的分析可见,傍晚到前半夜以及凌晨是短时强降水增加的主要时段。

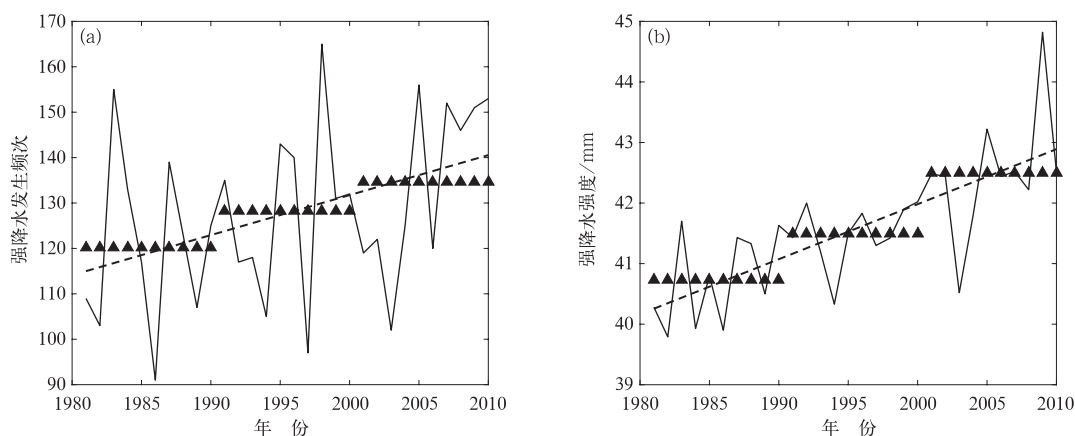


图 6 1981—2010 年西南地区强短时强降水发生频次(a)和强度(b)变化趋势
(折线为每年发生频次或平均强度,黑色实三角为 10 年平均,虚线为趋势线)

Fig. 6 Variation trend of short-time severe precipitation exceeding the 90th percentile in Southwest China in 1981–2010

(a) frequency, (b) intensity

(Line chart stands for annual frequency or average intensity, black solid rectangle represents ten-year average, dashed line is for tendency line)

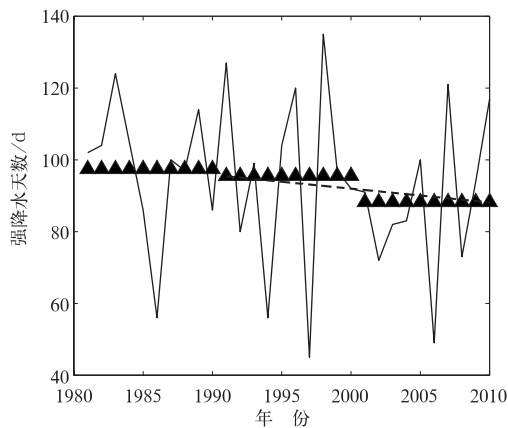


图 7 1981—2010 年西南地区强暴雨
发生频次变化趋势
(标注同上)

Fig. 7 Variation trend of severe rainstorm
exceeding the 90th percentile in Southwest
China in 1981—2010
(Signs are the same as in Fig. 6)

我国东部地区降水受到多种因素的影响,包括东亚夏季风、南亚季风、ENSO 现象、地表气温或海温等,从物理条件来看,是动力、热力和水汽等条件综合作用的产物,这些因素使得降水特征的变化更加复杂。李德帅(2016)对华南地区的研究表明,该区域降水增加的可能机制为全球气候变化影响西太平洋副热带高压的活动是原始驱动力,但是低层涡度增加是最重要的直接诱因。段旭等(2011)对于西南地区极端洪涝事件的分析表明,夏季副热带高压脊线位置偏南,有利于四川、重庆等地降水偏多。但副热带高压与其他天气系统之间如何相互作用、其主导因素如何、与当地特殊的地形条件和局地特征的关系如何等,还有待于更加客观定量的分析评估和深入研究。

4 结论与讨论

通过以上分析,初步得到以下结论:

(1) 西南地区短时强降水一般于 3 月上旬开始,11 月上旬结束,主要集中在 4—10 月,其中 7 月发生频次最高,呈明显的单峰型分布,对于每个站而言,月平均次数最大值为 1.02 次,月最大次数则可达 14 次。

(2) 从西南地区短时强降水的空间分布来看,

呈现三个高发区,分别位于贵州东南部、四川盆地西南部和云南东南部。其中,贵州东部的短时强降水主要集中在 5—7 月,持续时间比较长,以 6 月发生频次为最高,范围最大;四川盆地则集中爆发在 7—8 月,以 7 月为最强;云南东南部则集中在 6—8 月,但范围相对较小。

(3) 西南地区短时强降水平均强度大部分地区在 $26 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上,其中,云南 $30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以下的短时强降水比例最高,贵州则是 $30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上的比例最高。近 30 年的极端最大强度以四川盆地西部边缘地区为最强,超过 $80 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,四川盆地也是该区域短时强降水持续时间长的区域,一般为 3 h,局地可超过 4 h。

(4) 西南地区短时强降水呈现明显的夜发性特征,02 时左右的峰值发生频次约是 12 时谷值的 3 倍,从近 30 年短时强降水发生频次的变化趋势来看,对于每天大部分时次而言,短时强降水的次数都是呈增加趋势的,仅在凌晨和上午的个别时次是减少的。

(5) 近 30 年强短时强降水呈现频次增加、强度增强的变化趋势,降水的对流性特征更加显著,增加时段主要集中在傍晚到前半夜以及凌晨,强暴雨的变化趋势不明显。

需要指出的是,本文仅根据西南地区小时降水资料初步分析和揭示了近 30 年该区域短时强降水的一些基本气候特征,但对其与复杂地形之间的关系,以及不同地区、不同季节强短时强降水和强暴雨的长期变化趋势及其可能产生的物理机制,还有待于今后进行更为深入细致的工作。

致谢:感谢国家气象中心符娇兰博士、上海市气象局梁萍博士和西安市气象局张雅斌博士的指导,在此深表感谢!

参考文献

- 陈忠明,闵文彬,崔春光,2004. 西南低涡研究的一些新进展[J]. 高原气象,23(S1):1-5.
- 段春锋,曹雯,缪启龙,等,2013. 中国夏季夜雨的空间分布特征[J]. 自然资源学报,28(11):1935-1944.
- 段旭,陶云,杜军,等,2011. 西南地区气候变化基本事实及极端气候事件[M]. 北京:气象出版社:165-179.
- 符娇兰,林祥,钱维宏,2008. 中国夏季分级雨日的时空特征[J]. 热带气象学报,24(4):367-373.
- 李聪,肖子牛,张晓玲,2012. 近 60 年中国不同区域降水的气候变化

- 特征[J]. 气象, 38(4):419-424.
- 李德帅, 2016. 基于逐小时资料的华南地区汛期降水时空变化特征及其成因研究[D]. 兰州: 兰州大学.
- 李建, 宇如聪, 孙澍, 2013. 从小时尺度考察中国中东部极端降水的持续性和季节特征[J]. 气象学报, 71(4):652-659.
- 李金建, 张宗磊, 马振峰, 等, 2010. 2008年9月四川一次持续暴雨过程触发及维持特征[J]. 气象与减灾研究, 33(1):53-57.
- 林建, 杨贵名, 2014. 近30年中国暴雨时空特征分析[J]. 气象, 40(7):816-826.
- 刘燕, 黄敏辉, 2004. 广州逐时降水分析[J]. 广东气象, (2):1-3.
- 吕炯, 1942. 巴山夜雨[J]. 气象学报, 16(S1):36-53.
- 彭芳, 吴古会, 杜小玲, 2012. 贵州省汛期短时降水时空特征分析[J]. 气象, 38(3):307-313.
- 唐红玉, 顾建峰, 俞胜宾, 等, 2011. 西南地区降水日变化特征分析[J]. 高原气象, 30(2):376-384.
- 韦道明, 李崇银, 谭言科, 2011. 夏季西太平洋副热带高压南北位置变动特征及其影响[J]. 气候与环境研究, 16(3):255-272.
- 魏凤英, 2007. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社:37-41.
- 熊光洁, 王式功, 尚可政, 等, 2012. 中国西南地区近50年夏季降水的气候特征[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 48(4):45-52.
- 姚莉, 李小泉, 张立梅, 2009. 我国1小时雨强的时空分布特征[J]. 气象, 35(2):80-87.
- 杨明, 李维亮, 刘煜, 等, 2010. 近50年我国西部地区气象要素的变化特征[J]. 应用气象学报, 21(2):198-205.
- 殷水清, 高歌, 李维京, 等, 2012. 1961—2004年海河流域夏季逐时降水变化趋势[J]. 中国科学:地球科学, 42(2):256-266.
- 徐珺, 毕宝贵, 湛芸, 2010. 济南7.18大暴雨中尺度分析研究[J]. 高原气象, 29(5):1218-1229.
- 张焕, 翟盘茂, 唐红玉, 2011. 1961—2000年西南地区小时降水变化特征[J]. 气候变化研究进展, 7(1):8-13.
- 张琪, 李跃清, 2014. 近48年西南地区降水量和雨日的气候变化特征[J]. 高原气象, 33(2):372-383.
- 张强, 赵煜飞, 范邵华, 2016. 中国国家级气象台站小时降水数据集研制[J]. 暴雨灾害, 35(2):182-186.
- 郑似苹, 1989. 我国西南地区暴雨特性初步分析[J]. 水文, (3):50-53.
- 周长春, 顾清源, 冯汉中, 2009. 四川盆地东北部中尺度MCS暴雨过程分析[J]. 高原山地气象研究, 29(4):45-49.
- Brooks H E, Stensrud D J, 2000. Climatology of heavy rain events in the United States from hourly precipitation observations[J]. Mon Wea Rev, 128(4):1194-1201.
- Liang Ping, Ding Yihui, 2017. The Long-term variation of extreme heavy precipitation and its link to urbanization effects in Shanghai during 1916—2014[J]. Adv Atmos Sci, 34(3):321-334.
- Maddox R A, Hoxit L R, Chappell C F, et al, 1978. Comparison of meteorological aspects of the Big Thompson and rapid city flash floods[J]. Mon Wea Rev, 106(3):375-389.
- Sangstep W E, 1989. A study of 30 years of July and August hourly precipitation data for Omaha, Nebraska[J]. Wea Forecasting, 4(4):562-567.
- Vieux B E, Bedient P B, 1998. Estimation of rainfall for flood prediction from WSR-88D reflectivity: a case study, 17—18 October 1994[J]. Wea Forecasting, 13(2):407-415.
- Winkler J A, Skeeter B R, Yamamoto P D, 1988. Seasonal variations in the diurnal characteristics of heavy hourly precipitation across the United States[J]. Mon Wea Rev, 116(8):1641-1658.
- Yu Rucong, Li Jian, Yuan Weihua, et al, 2010. Changes in characteristics of late-summer precipitation over eastern China in the past 40 years revealed by hourly precipitation data[J]. J Climate, 23(12):3390-3396.
- Zhang Huan, Zhai Panmao, 2011. Temporal and spatial characteristics of extreme hourly precipitation over eastern China in the warm season[J]. Adv Atmos Sci, 28(5):1177-1183.