

付超, 谌芸, 朱克云, 等, 2019. 2010—2016 年江西省暖季短时强降水特征分析[J]. 气象, 45(9): 1238-1247. Fu C, Chen Y, Zhu K Y, et al, 2019. Characteristics of flash heavy rain in Jiangxi warm season from 2010 to 2016[J]. Meteor Mon, 45(9): 1238-1247(in Chinese).

2010—2016 年江西省暖季短时强降水特征分析*

付 超^{1,4} 谌 芸^{1,2} 朱克云¹ 单九生³ 曾智琳¹

1 成都信息工程大学大气科学学院, 成都 610225

2 国家气象中心, 北京 100081

3 江西省气象台, 南昌 330096

4 福建省气象台, 福州 350000

提 要: 利用江西省 2010—2016 年 5—9 月 1597 个观测站逐小时降水资料对江西省短时强降水进行统计分析。采用 REOF 将降水场划分为 5 个区域: 赣北南部(I 区), 抚州市及赣州中部(II 区), 赣北北部(III 区), 赣南南部、北部(IV 区)以及赣中西部(V 区)。短时强降水高频区主要分布在地及河谷附近, 分别为湘赣交界罗霄山脉东侧、武夷山西侧、信江河谷、乐安河谷和昌江河谷。河谷附近短时强降水频次以昌江河谷最高(16.9 次/a), 山地附近最高在罗霄山脉东侧(12.6 次/a), 极端短时强降水分别位于上饶市东北部山区(3.7 次/a)及九岭山南侧的锦江河谷(3.3 次/a)。短时强降水主要发生在 5 月第 3 候、6、7 月第 3~4 候以及 8 月第 2~3 候。IV、V 区具有单峰型的日变化特征; I、II、III 区具有双峰型的日变化特征。主峰基本集中在下午 17 时; 次峰在上午 08—10 时。短时强降水对暴雨贡献率基本在 40% 以上, I、II 区的暴雨天气过程将近一半是由短时强降水贡献的。信江河谷是暴雨雨量中心, 但并不是短时强降水雨量中心; 昌江河谷与武夷山西麓既是暴雨中心也是短时强降水中心。

关键词: 短时强降水, 统计分析, 暖季, 降水性质

中图分类号: P466

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2019.09.005

Characteristics of Flash Heavy Rain in Jiangxi Warm Season from 2010 to 2016

FU Chao^{1,4} CHEN Yun^{1,2} ZHU Keyun¹ SHAN Jiusheng³ ZENG Zhilin¹

1 Chengdu University of Information Technology, College of Atmospheric Sciences, Chengdu 610225

2 National Meteorological Centre, Beijing 100081

3 Jiangxi Meteorological Observatory, Nanchang 330096

4 Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350000

Abstract: Statistical analysis of flash heavy rain in Jiangxi warm season from 2010 to 2016 is conducted based on hourly precipitation data from 1597 automatic weather stations. The precipitation field is divided into five regions by REOF: south part of northern Jiangxi (Region I), Fuzhou and central Ganzhou (Region II), northern Jiangxi (Region III), southern and northern Ganzhou (Region IV), and western of central Jiangxi (Region V). The high frequency areas of flash heavy rain are mainly distributed near mountains and river valleys. They are the eastern side of the Luoxiao Mountain, the western foot of Wuyi Mountain, the Xinjiang, the Le'an and the Changjiang River valleys. The frequency of flash heavy rain

* 国家自然科学基金项目(41975001, 41175048)和国家重点研发计划(2017YFC1502501)共同资助

2018 年 6 月 24 日收稿; 2019 年 4 月 3 日收修定稿

第一作者: 付超, 主要从事中尺度天气研究. Email: 744420681@qq.com

通信作者: 谌芸, 主要从事中尺度天气研究. Email: chenyun@cma.gov.cn

near the river valley is the highest in the Changjiang River valley (16.9 times one year), the highest near the mountains is the east side of the Luoxiao Mountain (12.6 times one year). The extreme flash heavy rain areas are located in the mountain areas of Northeast Shangrao (3.7 times one year) and the Jinjiang River valley (3.3 times one year). Flash heavy rain mainly occurred in the 3rd pentad of May, middle of June and July, and from 2nd to 3rd pentads of August. The diurnal variation characteristics of Regions IV and V are single peak types, diurnal variation characteristics of Regions I, II and III are bimodal patterns. The main peaks are concentrated at 17:00 BT in the afternoon; the second peak is during 08:00—10:00 BT in the morning. The contribution rate of flash heavy rain to rainstorm is basically above 40%, nearly half of the rainstorm weather processes in Regions I and II are contributed by flash heavy rain. The Xinjiang River valley is the center of rainstorm rainfall, but not the center of flash heavy rain rainfall. However, the Changjiang River valley and the western foot of Wuyi Mountain are both the centers of rainstorm rainfall and the flash heavy rain rainfall.

Key words: flash heavy rain, statistical analysis, warm season, precipitation properties

引 言

短时强降水是指短时间内产生的降水强度较大的降水,中央气象台定义为 1 h 雨量达 20 mm 或 3 h 雨量达 50 mm 的降水事件。短时强降水属于强对流天气类型的一种,是目前业务预报的重点与难点(段鹤等,2014;高洁和漆梁波,2015),由于突发性强、历时短、易造成洪涝灾害而备受关注,如 2017 年广州“5·7”极端降水事件,部分站点出现小时雨量 184.4 mm,3 h 雨量超过 380 mm,短时强降水持续时间最长达 9 h,造成严重城市内涝,并引起了广泛的社会关注(田付友等,2018;伍志方等,2018;傅佩玲等,2018)。

从气候角度对中国降水日变化特征以及降水持续时长等的统计研究已有不少成果(李建等,2008;Zhou et al,2008;宇如聪等,2014),而短时强降水的日变化具有明显的区域性差异,如四川盆地多发于 00—04 时(北京时,下同)(陈贝等,2016),西北地区东部主要集中在 22 时至次日 01 时(白晓平,2014),冷涡背景下的华北、东北等地的短时强降水则多发于午后至傍晚(何晗等,2015)。整体而言,我国南方短时强降水日变化表现出双峰特征,即早晨、午后到傍晚各有一个峰值。短时强降水空间具有很强的区域性特征,总的来看短时强降水高发区多为山前迎风坡、向风敞开的狭窄河谷或“喇叭口”处(韩宁和苗春生,2012;王国荣和王令,2013;陈炯等,2013)。不同强度的短时强降水的发生频率差异较大,但气候统计表明我国中东部地区 $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强

降水重现期一般为 5 a 左右,发生频率较低(Zhang and Zhai,2011;李建等,2013;Chen et al,2013;Zheng et al,2016),可归类为极端强对流天气(Doswell III,2001;俞小鼎等,2012)。由于短时强降水一般由中小尺度对流系统直接造成的,所以具有短时强降水的小时雨强越大、出现概率越低、持续时间也越短的普遍特征(郑永光等,2017)。

短时强降水是暖季多发的强对流天气,但由于地域差异,不同地区的短时强降水在时空分布、日变化特征及持续时长等会有很大的差异,已有的关于短时强降水的研究多针对某个区域或全国整体,利用区域自动站对江西地区的短时强降水的研究相对较少。江西地处我国江南地区,河湖丘陵密布,地形复杂,暖季短时强降水频发,有必要针对江西地区的短时强降水开展统计分析,并希望从其时空分布特征初步探讨短时强降水与地形、湖泊的关系,以期为江西地区的短时强降水预报预警提供参考。

1 资料与方法

本文统计时空分布及日变化特征采用国家气象信息中心 2010—2016 年 5—9 月江西省 91 个国家自动站和 1506 个区域自动站(图 1a)的逐日、逐小时、经过质量控制的降水资料。图 1b 给出了江西省地形图,可见江西整体地势外高内低,四周多为低山丘陵,山间分布有许多狭窄河谷,如东西走向的信江河谷,东北—西南向的昌江河谷,乐安河谷与锦江河谷,分别对应图 1b 中红色、黄色、黑色、蓝色方框;中间则以鄱阳湖平原为中心的盆地,海拔较低,地形

比较复杂;行政区域,全省共有 11 个市,分别为:赣北(九江、景德镇、上饶、鹰潭、南昌、宜春市)、赣中(萍乡、新余、抚州、吉安市)、赣南(赣州市),可以看出市界多以山脉来划分。

对短时强降水的定义采用中央气象台的标准,即 $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的降水归为短时强降水。查阅历史资料发现江西未出现过 $150 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的短时强降水,故对所用资料中 $\geq 150 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的站点予以剔除,然后再对短时强降水进行经验正交函数(Empirical Orthogonal Function, EOF)、旋转主成分分析(Empirical Orthogonal Function, REOF)分析,并通过 REOF 对江西进行分区,一般将每个模态的高载区域划分为一个区域,同一模态中符号一致的区域,表示这些区域气候变量变化一致,以便在气候变化相似的区域下研究时间变化。统计过程中,1 个观测站 1 小时出现 1 次短时强降水就记为 1 个个例(频次记为 1),连续 2 小时均有短时强降水,则记为 2 个个例(频次为 2),依次类推;时间上规定 5 日为 1 候。由于日降水资料仅有国家站数据,故短时强降水对暴雨贡献率仅研究国家站情况。

2 空间分布特征

2.1 EOF 与 REOF 分析

EOF 可以用少数几个新变量序列反映原多个变量的变化信息,基本原理是 p 个空间点的场随时间变化进行分解。REOF 是在 EOF 基础上再做旋转,可以反映出区域性相关结构,克服 EOF 应用中这一缺陷(吴洪宝和吴蕾,2010)。

通过对江西 2010—2016 年暖季逐月短时强降水总雨量采用距平处理后,再进行 EOF 分析,取前 4 个主成分,结果见表 1。第一主成分方差贡献率达 57.3%,后几个依次递减,特征值也有同样变化,前 4 个方差贡献率已占 100%。模态 1 全区基本为正,说明江西短时强降水总雨量变化是一致的,具体指某月短时强降水雨量普遍偏多或者偏少的现象;模态 2 分布有南北反向变化特征,表明江西南北部短时强降水具有南多(少)北少(多)的特点;模态 3 主要反映出江西南北部与鄱阳湖平原相反特征,江西短时强降水具有南北多(少)鄱阳湖平原少(多)的特点。

表 1 2010—2016 年江西暖季短时强降水 EOF 和 REOF 前 4 个模态的方差贡献及累积方差贡献率

Table 1 Variance and accumulate variance contributions of the first 4 EOFs and REOFs in flash heavy rain in Jiangxi warm season from 2010 to 2016

模态序号	特征值	EOF		REOF	
		方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	52.1	57.3	57.3	37.3	37.3
2	18.4	20.2	77.5	26.2	63.5
3	11.7	12.9	90.4	21.1	84.6
4	8.8	9.6	100	15.4	100

通过 EOF 分析可知江西短时强降水总雨量具有全区一致多(少)雨的现象,也存在南北、鄱阳湖平原之间的差异。为了进一步揭示江西短时强降水区域性特征,对前 4 个主成分进行正交旋转(结果如表 1),REOF 的 4 个模态方差贡献率也是逐渐减小。图 2 为 REOF 前 4 个模态空间分布, REOF1 的高载荷区主要分布在赣北南部(图 2a), REOF2 的高载荷区主要分布在抚州市及赣州中南部(图 2b), REOF3 的高载荷区主要分布于赣北北部(图 2c), REOF4 的高载荷区主要分布于赣南的南部、北部以及吉安市西南侧(图 2d)。从江西省 1960—2007 年 3—9 月短时强降水天气频次分布图(图 2f)来看,与采用 REOF 分区结果大致相同,尤其是赣州市南北部(Ⅳ区)与中部短时强降水频次呈反向差异,赣州市中部与抚州市(Ⅱ区)短时强降水频次差异不大。蓝、红色圈与 REOF 的第 2、4 个模态吻合,表现出该地区气候变量变化一致。因此,根据前 4 个模态的高载荷分布(等值线绝对值 ≥ 0.6),将江西划分为 5 个短时强降水区域(图 2e): I 区共 679 个站,含国家站 35 个; II 区共 269 个站,含国家站 16 个; III 区共 183 个站,含国家站 12 个; IV 区共 235 个站,含国家站 11 个; V 区共 183 个站,含国家站 17 个。结合江西行政区域划分,将 IV 区归为江西南部, II、V 区归为江西中部区域, I、III 区归为江西北部。

2.2 短时强降水空间分布

2010—2016 年短时强降水发生频次的统计结果表明,江西全省短时强降水的年均频次为 4.9 次,分析发现高频区(> 8 次/a)主要分布在山地与河

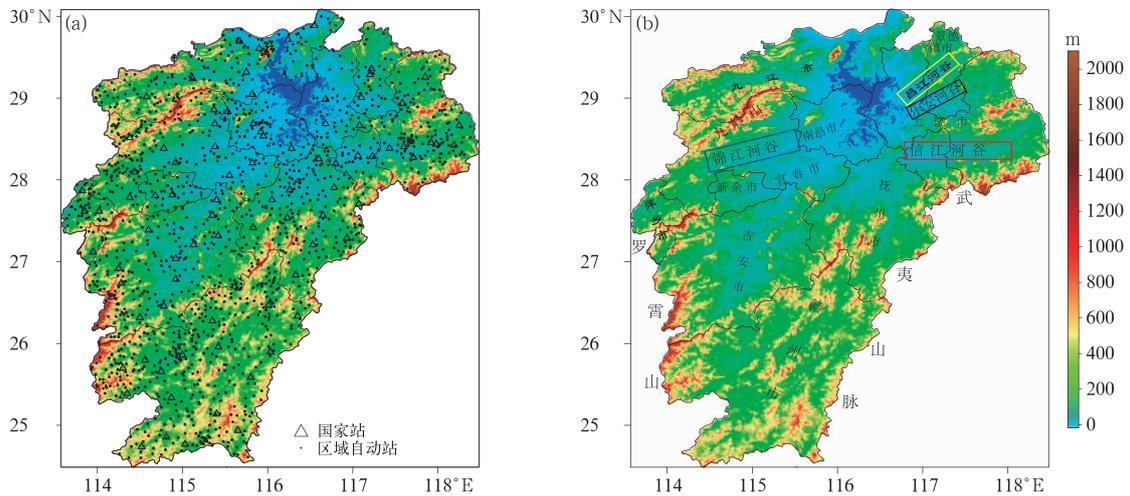


图 1 江西地区(a)地形高度(填色)及 1597 个台站,(b)行政区域
(蓝色阴影为鄱阳湖)

Fig. 1 Distribution of (a) terrain height (colors) and 1597 stations, (b) administrative area in Jiangxi
(Blue shadow is Poyang Lake)

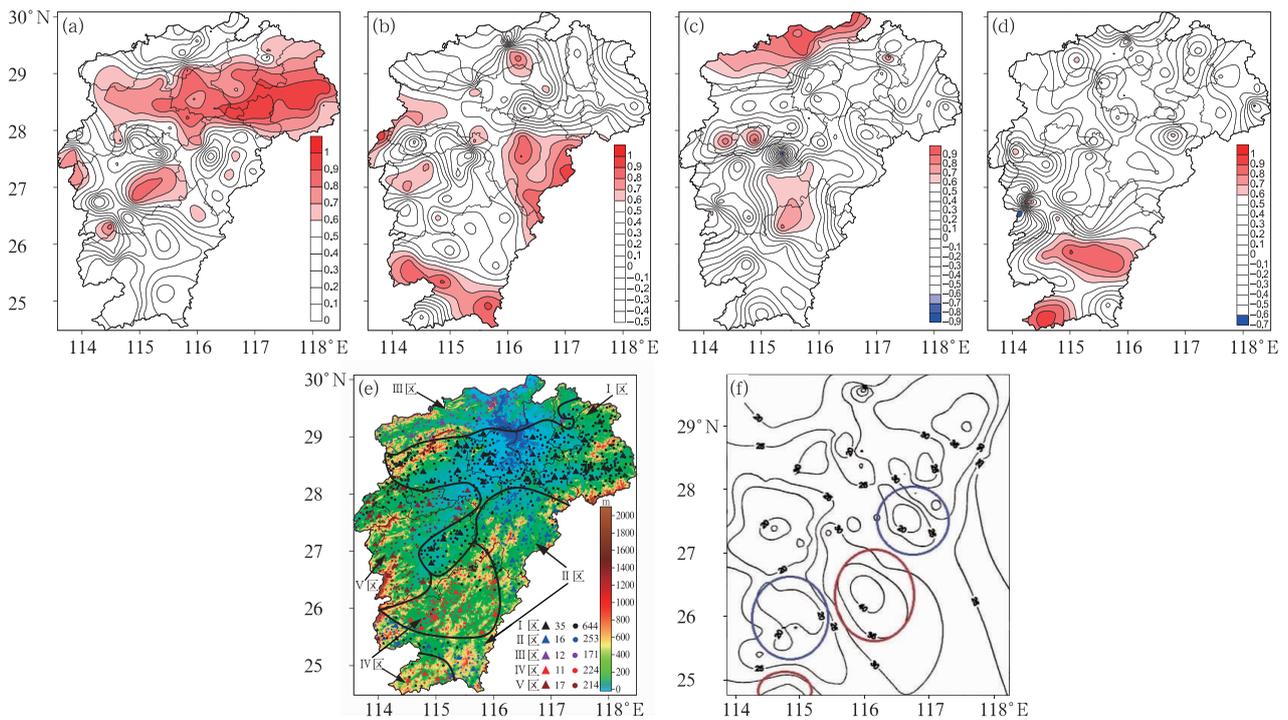


图 2 2010—2016 年江西暖季短时强降水(a~d)REOF 分析的前 4 个模态分布,(e)分区及站点分布情况
(▲表示国家站,●表示自动站,符号后面的数值是站数,黑实线是各区分界线),(f)江西省 1960—
2007 年 3—9 月 $30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水天气出现的次数分布[单位:站次;引自
刘献耀等(2009);蓝、红色圈表示频次大致相同的区域]

Fig. 2 (a—d) Distribution of the first four REOFs in flash heavy rain in Jiangxi warm season from 2010 to 2016,
(e) regional and station distribution of flash heavy rain (▲: national stations, ●: automatic
stations, black line: boundary of each district), (f) frequency distribution of $30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ flash heavy rain
in Jiangxi from March to September in 1960—2007 [unit: station numbers; cited from Liu et al (2009);
blue and red circles: areas with roughly same frequency]

谷附近,分别为湘赣交界罗霄山脉东侧、武夷山脉西侧、昌江河谷、乐安河谷和信江河谷附近(图 3a)。具体而言,河谷附近的短时强降水频次以昌江河谷最多,年均高达 16.9 次/a(图 3a 红色圈处),其次是乐安河谷(15.1 次/a,图 3a 黑色方框处),信江河谷(13.4 次/a,图 3a 红色方框处),山地附近的短时强降水则以罗霄山东侧最突出,年均有 12.6 次(图 3a 红色三角处)。

从不同强度的短时强降水来看,20~30 mm·h⁻¹等级的短时强降水发生频次占到总频次的 70% 左右(图略),其高频中心(图 3b)与总频次的高频区分布类似,极大值中心同样位于昌江河谷,年均达 11.4 次。IPCC 报告以气候均值日降水资料排序第 95% 位为阈值,该阈值以上为极端降水(高涛和谢立安,2014),因此,≥50 mm·h⁻¹可定为极端短时强降水。短时间内急促而强烈的降水则更容易引发灾害,可以引发暴洪事件或严重的城市内涝(Doswell III et al, 1996; 伍志方等, 2018)。统计发现,≥50 mm·h⁻¹等级的短时强降水频次仅占总频次的 4% 左右,两个高频中心(图 3c)分别位于上饶市东北部山区(3.7 次/a)及九岭山南侧的锦江河谷(3.3 次/a),前者为山地,后者为河谷,但与一般短时强降水(20~30 mm·h⁻¹)高频中心并不重叠,因此在相同的天气尺度系统影响下,极端短时强降水(≥50 mm·h⁻¹)的高频中心的形成可能与锦江河谷敞开方向、地形结构及上饶市东北部山地丘陵的局地地形有关。

大量研究表明,除了地形因素外,短时强降水的空间分布还与闪电活动、雷暴分布、中尺度对流系统活跃区等密切相关(马明等,2004; 中国气象局,2007; 郑永光等,2008)。可见,影响短时强降水空间分布的因素非常多,很难单从某个因素去解释这些高频区的成因,要深入探究其形成原因需要通过数值模拟进行更为细致的分析。

3 时间变化特征

3.1 候变化

从图 4 来看,各区变化比较一致。降水高频次分别出现在 5 月第 3 候、6 月第 4 候、7 月第 3~4 候、8 月第 2~3 候。其中 6 月第 4 候频次最高,2010—2016 年暖季短时强降水频次共 4320 次(指全省所有测站在 6 月第 4 候出现的频次)。这主要与东亚季风的的活动以及江淮梅雨季有关。

东亚夏季风一般在 5 月中旬建立,江西受夏季风的影响,各区短时强降水频次在 5 月第 3 候前基本都有明显的增加。5 月第 3 候后北方冷空气回退(朱乾根等,2007),短时强降水频次呈下降趋势,江西北部(I、III 区)在 5 月第 6 候前下降最为明显。由俞亚勋等(2013)对副热带高压(以下简称副高)与东亚季风雨带联系的气候统计来看,平均入出梅时间为 6 月 17 日至 7 月 10 日。陈旭和李栋梁(2016)采用新标准下对江淮近 53 年梅雨特征进行分析,得

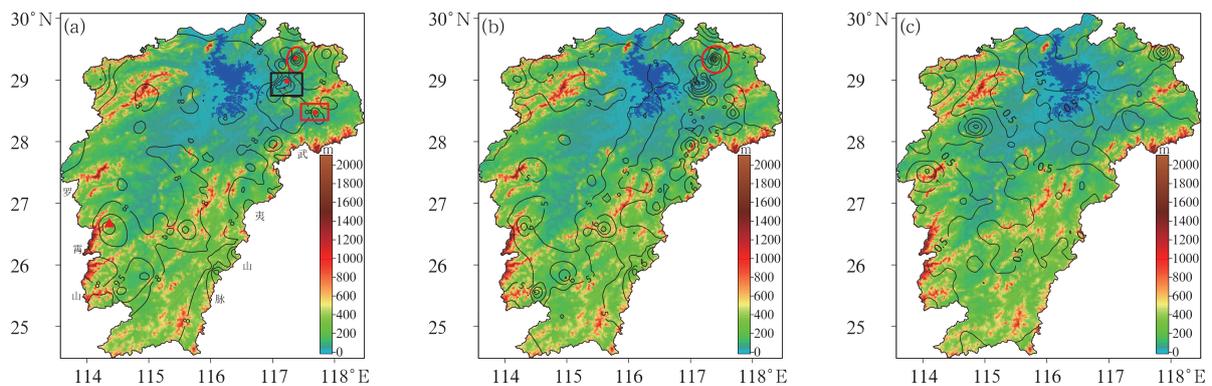


图 3 2010—2016 年江西暖季平均短时强降水频次分布

(a)总频次,(b)20~30 mm·h⁻¹的降水,(c)≥50 mm·h⁻¹的降水

(填色:地形高度;黑色等值线:短时强降水频次,单位:次)

Fig. 3 Distribution of average frequency of flash heavy rain in Jiangxi warm season from 2010 to 2016

(a) total frequency, (b) 20—30 mm·h⁻¹, (c) ≥50 mm·h⁻¹

(Colors fill is terrain height; black contour is average frequency of flash heavy rain, unit: times)

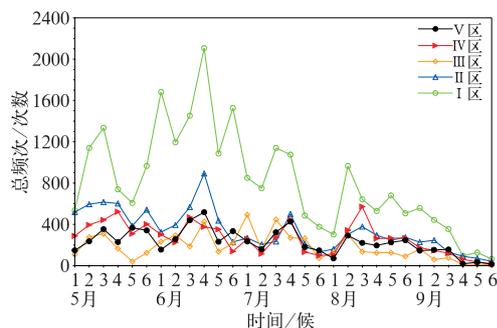


图4 江西2010—2016年各区暖季短时强降水总频次逐候变化

Fig. 4 Pentad variation of total frequency of flash heavy rain in different areas of Jiangxi in the warm season from 2010 to 2016

出多年平均入出梅时间是6月8日至7月20日。江西6月中旬正是入梅时期,此时副高第一次北跳,东亚夏季风北移至长江流域,造成长江中下游地区大范围降水(俞亚勋等,2013)。图4也显示各区在6月中旬短时强降水频次基本达到整个暖季最高峰,尤其是I区最为明显。到了7月第3~4候有又一个小高峰,正常情况下,7月中旬接近出梅,此时副高位置较入梅偏北,其频次普遍低于6月中旬。但是I、III区7月第3候频次大于同时期其他三个区域,而此时雨带主要位于江淮地区,江西北部多以副高边缘的暖区降水为主(陈玥等,2016),当冷空气较强时与西南低空急流相配合能给江西北部(I、III区)带来降水(王文东,2010;唐健和代刊,2014)。

平均而言,7月第4候开始出梅,全省各区短时强降水频次都有所降低。到8月第2~3候,短时强降水又出现一极大值,此时副高再次北抬,雨带进入华北,江淮地区盛行副高南侧的偏东气流,副高边缘常出现暖区降水(陈玥等,2016)。此时也是台风季节,由热带天气系统也可以带来降水天气,同时华南也处于后汛期(朱乾根等,2007),也会给江西南部带来降水天气。从8月下旬开始,由于季风迅速南退(陈隆勋等,1991),副高南撤西伸并滞留于台湾海峡西北侧(俞亚勋等,2013),导致降水大幅度减少。

3.2 日变化

从5个区域短时强降水日变化特征(图5a)来看。除IV、V区具有单峰型特征外,其他(I、II、III区)为双峰型特征。17时左右有一高峰,主要以午后热对流所致(陈炯等,2013);上午峰值在09时附

近,早上的高峰多与低空急流的加强有关(郑永光等,2010),下午峰值高于上午峰值。对比II、V区可知,东西部的整体日变化差异并不明显,但是13—17时,西部(V区)午后日变化比东部更活跃(II区)。

从各区逐候日变化分布来看(图5b~5f),7月第4候之后,各区短时强降水基本出现在下午或晚上,16—18时频次较高,可能是长江中游地区白天低层大气稳定度降低和对流有效位能增大,有利于傍晚热对流的发展(赵玉春等,2012)。I、II、V区的短时强降水多集中在5—6月,6月第4候09时频次较高,可能由于季风日变化在“白天蓄能—夜间释放”机制中的贡献作用,即季风夜间加速可激发长江流域早晨强降水(Chen et al, 2017)。III区短时强降水主要集中在6—7月,高频次在7月第3候17时,该区位于江西最北端,主要影响系统有高空槽、低涡、切变线、低空急流、副高(王文东,2010;林玉成等,2013;唐健和代刊,2014;沈晓琳等,2015;权婉晴和何立富,2016)。到了8月,短时强降水具有明显纬向特征,其频次呈“南多北少”,南部(IV区)短时强降水在8月第2~3候较多,可能是由台风及外围显著的偏东风、东风波等造成的(杨舒楠和何立富,2013)。

4 短时强降水对暴雨贡献率

短时强降水与暴雨有一定的区别,在时间尺度上前者侧重降水强度,后者侧重累计降水(孙继松,2017)。一次暴雨过程不一定会出现短时强降水,但是持续性或间歇性的短时强降水能形成暴雨甚至特大暴雨。

从暖季短时强降水总雨量及暴雨分布(图6)来看,两者有些类似,总体来看暖季暴雨呈现出由西南向东北递增,雨带较集中,而短时强降水总雨量分布较为零散。暴雨和短时强降水主要集中在I、II、III区,全省短时强降水对暴雨贡献率基本在40%以上(图6a),最高在景德镇市昌江河谷,达81%。I、II区平均贡献率分别为49.8%、48.5%,说明其暴雨天气过程将近一半是由短时强降水贡献的。同时整个暖季的暴雨基本分布在这两个区域内,暴雨占暖季总雨量的40%左右(图6b中等值线)。结合图1的地形高度可知,山地、河谷及湖泊附近的暴雨或者短时强降水雨量普遍要比其他非区域贡献大,地形

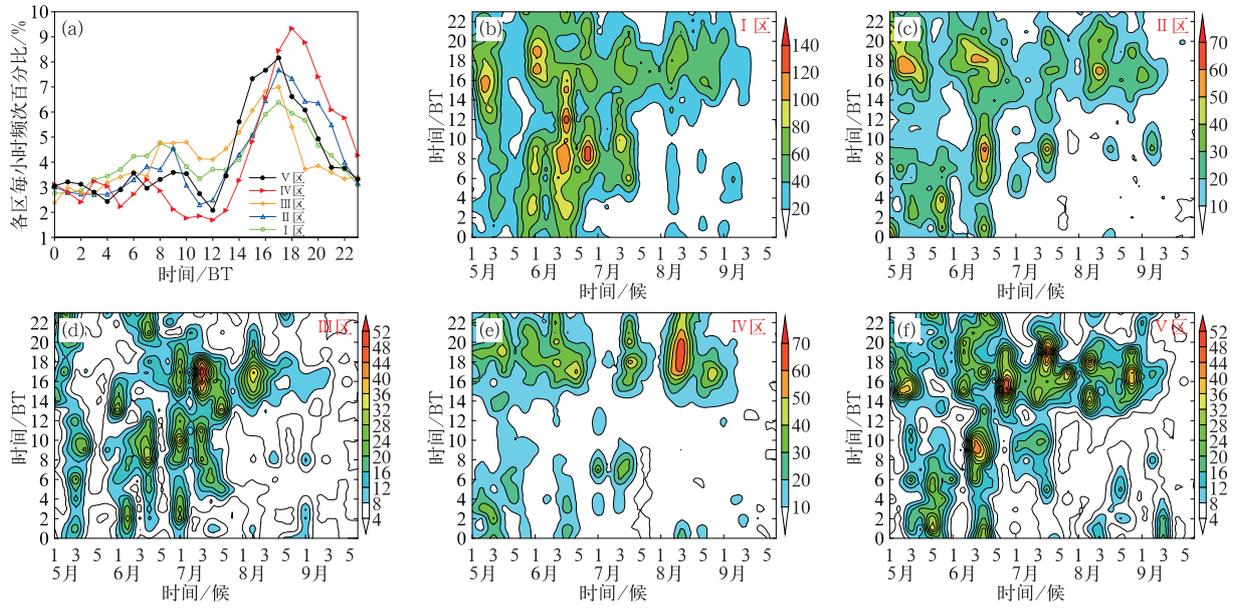


图 5 2010—2016 年江西暖季短时强降水(a)各区每小时频次占总频次比例日变化, (b~f)各区强降水频次逐候-日变化分布(填色,单位:次)

Fig. 5 (a) Diurnal variation of hourly frequency to total frequency of flash heavy rain in each region, (b-f) distribution of pentad variation of flash heavy rain frequency in each region (colored area, unit: times) in Jiangxi warm season from 2010 to 2016

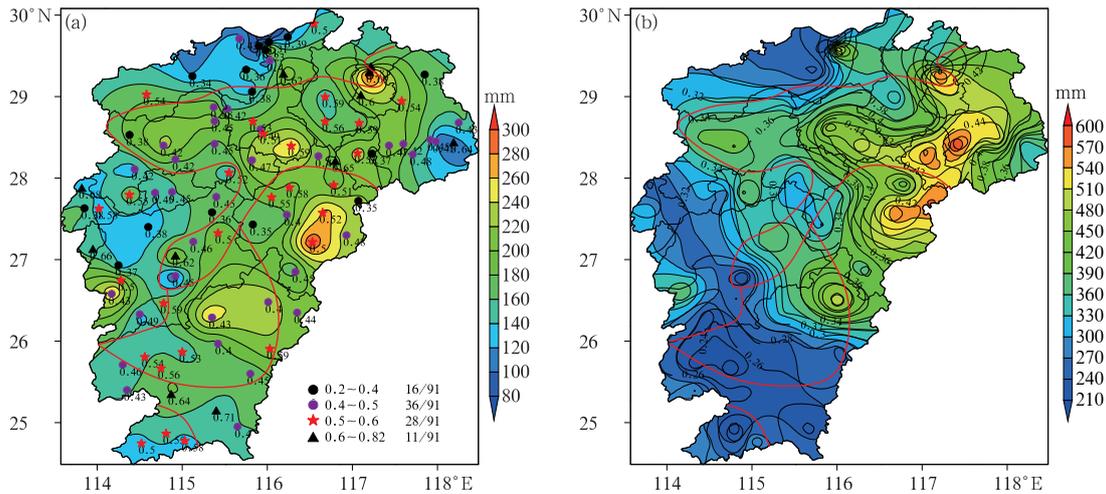


图 6 2010—2016 年江西暖季(a)短时强降水总雨量(填色)及其对暴雨贡献率(站点分布,符号下面的数值为占比,图例中的分数表示 91 个国家站中分别有 16、36、28、11 个国家站在相应的百分比范围内),(b)暴雨雨量(填色)及其占总雨量比(等值线)(图中红线为各区分界线)

Fig. 6 (a) Average of total precipitation of flash heavy rain (colored area), contribution rate of flash heavy rain to rainstorm (stations distribution plot, and the number below the symbol is percentage, the scores in the legend indicate there are 16, 36, 28 and 11 national stations in the corresponding percentage range of 91 national stations), (b) rainfall of rainstorm (colored area), and ratio of rainstorm to total rainfall (contour) in Jiangxi warm season from 2010 to 2016 (Red line is the boundary of each district)

对短时强降水有一定作用。

从短时强降水与暴雨的总雨量来看(图6),信江河谷是暴雨雨量中心(I区东部),但并不是短时强降水雨量中心,表明暴雨一般是由大尺度层状降水造成,降水强度较弱,但持续时间较长,累积到较大的降水量,可能与信江河谷的地形有关,信江河谷呈东西向狭长分布,有利于暖湿空气在河谷内汇合堆积,从而产生持续较长时间的降水,但河谷较深,两侧多为低矮丘陵,地形对气流的抬升力并不强,难以激发出中小尺度对流产生短时强降水。关于信江河谷的暴雨多发、但短时强降水频次较低的原因,日后考虑通过更多典型个例做深入分析。但是景德镇市昌江河谷(Ⅲ区)与武夷山西麓(Ⅱ区)既是暴雨中心也是短时强降水中心,表明这两地区的降水大多以中小尺度为主,降水强度较大,持续时间不长,从图6a来看,这两地区短时强降水对暴雨贡献率较大(超过50%),暴雨主要是由短时强降水造成。可能是昌江河谷的丘陵地形对气流抬升作用强,且水汽供应充足,比较容易产生中小尺度对流降水;也有可能鄱阳湖对大气中低层的温湿结构和边界层物理过程有显著影响,天气系统经过鄱阳湖,吸收水汽潜热得到发展(傅敏宇等,2013;汪如良等,2016),继而影响其下游的昌江流域;另外,高空槽后冷空气与西南暖湿气流共同影响下(陈博宇和张芳华,2015;曹艳察和张涛,2016),也可诱发短时强降水。抚州市东、南、西三面环山,地势呈“南高北低”,冷空气沿着鄱阳湖平原南下至该地区并与暖湿气流交汇,地形影响产生的辐合上升和局地热力不稳定等作用(孙素琴等,2016),加上该地短时强降水中心靠近洪门水库,使得抚州市东部成为短时强降水和暴雨集中区。

5 结 论

对江西地区短时强降水进行时空统计分析,结果如下:

(1) 利用 EOF 与 REOF 分解方法分析发现江西短时强降水总雨量具有全区一致多(少)雨的现象,也存在南北、鄱阳湖平原之间的差异,降水场可分为5个区域:赣北南部(I区),抚州市及赣州中南部(Ⅱ区),赣北北部(Ⅲ区),赣南南部、北部(Ⅳ区),赣中西部(Ⅴ区)。江西地区暖季短时强降水主要分布在山地及河谷附近,分别为湘赣交界罗霄山脉东

侧、福建武夷山西侧,信江河谷、乐安河谷以及昌江河谷。短时强降水频次河谷附近以昌江河谷最高(16.9次/a),山地附近最高在罗霄山脉东侧(12.6次/a),极端短时强降水的高频中心分别位于上饶市东北部山区(3.7次/a)及九岭山南侧的锦江河谷(3.3次/a)。

(2) 短时强降水主要发生在5月第3候,6、7月第3~4候以及8月第2~3候。6月第4候是短时强降水高集中区,8月中旬后短时强降水频次逐渐降低。Ⅳ、Ⅴ区具有单峰型的日变化特征;Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区具有双峰型的日变化特征。短时强降水主峰一般集中在下午17时;次峰在上午08—10时。西部(Ⅴ区)午后12—17时短时强降水频次比东部(Ⅱ区)高。

(3) 短时强降水对暴雨的贡献率基本在40%以上,Ⅰ、Ⅱ区的暴雨过程有将近一半左右是由短时强降水贡献的。信江河谷是暴雨雨量中心,但并不是短时强降水雨量中心;但是景德镇市昌江河谷与武夷山西麓既是暴雨中心也是短时强降水中心。

本文不足之处在于空间特征上只能粗略解释到地形动力抬升与热力作用,时间上大致与江南雨季大尺度环流背景相联系,由于区域自动站观测资料年代序列不长,候变化特征可能存在偏差,后续需要积累更长的时间序列资料做进一步研究。

参考文献

- 白晓平,2014.西北地区东部短时强降水特征及预报研究[D].兰州:兰州大学. Bai X P, 2014. A study on the characteristics and prediction methods of short-time heavy rainfall in the east of Northwest China [D]. Lanzhou: Lanzhou University (in Chinese).
- 曹艳察,张涛,2016.2016年6月大气环流和天气分析[J].气象,42(9):1154-1160. Cao Y C, Zhang T, 2016. Analysis of the June 2016 atmospheric circulation and weather [J]. Meteor Mon, 42(9):1154-1160 (in Chinese).
- 陈贝,高文良,周学云,2016.四川盆地西南部短时强降水天气特征分析[J].高原山地气象研究,36(3):14-20. Chen B, Gao W L, Zhou X Y, 2016. Synoptic characteristic analysis of short-time hard rain in Southwest Sichuan Basin [J]. Plateau Mountain Meteor Res, 36(3):14-20 (in Chinese).
- 陈博宇,张芳华,2015.2015年6月大气环流和天气分析[J].气象,41(9):1170-1176. Chen B Y, Zhang F H, 2015. Analysis of the June 2015 atmosphere circulation and weather [J]. Meteor Mon, 41(9):1170-1176 (in Chinese).
- 陈炯,郑永光,张小玲,等,2013.中国暖季短时强降水分布和日变化特征及其与中尺度对流系统日变化关系分析[J].气象学报,71

- (3):367-382. Chen J, Zheng Y G, Zhang X L, et al, 2013. Analysis of the climatological distribution and diurnal variations of the short-duration heavy rain and its relation with diurnal variations of the MCSs over China during the warm season[J]. *Acta Meteor Sin*, 71(3):367-382(in Chinese).
- 陈隆勋, 朱乾根, 罗会邦, 等, 1991. 东亚季风[M]. 北京: 气象出版社: 1-93. Chen L X, Zhu Q G, Luo H B, et al, 1991. East Asian Monsoon[M]. Beijing: China Meteorological Press: 1-93(in Chinese).
- 陈旭, 李栋梁, 2016. 新标准下江淮梅雨特征的分析[J]. *气象科学*, 36(2):165-175. Chen X, Li D L, 2016. The features of Meiyu under the new standard[J]. *Sci Meteor Sin*, 36(2):165-175(in Chinese).
- 陈玥, 谌芸, 陈涛, 等, 2016. 长江中下游地区暖区暴雨特征分析[J]. *气象*, 42(6):724-731. Chen Y, Chen Y, Chen T, et al, 2016. Characteristics analysis of warm-sector rainstorms over the middle-lower reaches of the Yangtze River[J]. *Meteor Mon*, 42(6):724-731(in Chinese).
- 段鹤, 夏文梅, 苏晓力, 等, 2014. 短时强降水特征统计及临近预警[J]. *气象*, 40(10):1194-1206. Duan H, Xia W M, Su X L, et al, 2014. Features statistics and warning of flash heavy rains[J]. *Meteor Mon*, 40(10):1194-1206(in Chinese).
- 傅敏宁, 郑有飞, 邓玮, 等, 2013. 鄱阳湖地区复杂地表条件下一次强降水过程的近地面边界层特征[J]. *大气科学学报*, 36(1):60-67. Fu M N, Zheng Y F, Deng W, et al, 2013. Characteristics of surface layer during a heavy rainfall process over the complex surface of Poyang Lake[J]. *Trans Atmos Sci*, 36(1):60-67(in Chinese).
- 傅佩玲, 胡东明, 张羽, 等, 2018. 2017年5月7日广州特大暴雨微物理特征及其触发维持机制分析[J]. *气象*, 44(4):500-510. Fu P L, Hu D M, Zhang Y, et al, 2018. Microphysical characteristics, initiation and maintenance of record heavy rainfall over Guangzhou Region on 7 May 2017[J]. *Meteor Mon*, 44(4):500-510(in Chinese).
- 高洁, 漆梁波, 2015. 上海地区短时强降水特点及其影响[J]. *气象与环境科学*, 38(3):52-60. Gao J, Qi L B, 2015. Characteristics and influence of short duration heavy rainfall in Shanghai[J]. *Meteor Environ Sci*, 38(3):52-60(in Chinese).
- 高涛, 谢立安, 2014. 近 50 年来中国极端降水趋势与物理成因研究综述[J]. *地球科学进展*, 29(5):577-589. Gao T, Xie L A, 2014. Study on progress of the trends and physical causes of extreme precipitation in China during the last 50 years[J]. *Adv Earth Sci*, 29(5):577-589(in Chinese).
- 韩宁, 苗春生, 2012. 近 6 年陕甘宁三省 5—9 月短时强降水统计特征[J]. *应用气象学报*, 23(6):691-701. Han N, Miao C S, 2012. Statistical characteristics of short-time heavy precipitation in Shan-Gan-Ning Region from May to September in recent 6 years[J]. *J Appl Meteor Sci*, 23(6):691-701(in Chinese).
- 何晗, 谌芸, 肖天贵, 等, 2015. 冷涡背景下短时强降水的统计分析[J]. *气象*, 41(12):1466-1476. He H, Chen Y, Xiao T G, et al, 2015. Statistical analysis of severe short-time precipitation under cold vortex background[J]. *Meteor Mon*, 41(12):1466-1476(in Chinese).
- 李建, 宇如聪, 孙激, 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. Li J, Yu R C, Sun W, 2013. Duration and seasonality of the hourly extreme rainfall in the central-eastern part of China[J]. *Acta Meteor Sin*, 71(4):652-659(in Chinese).
- 李建, 宇如聪, 王建捷, 2008. 北京市夏季降水的日变化特征[J]. *科学通报*, 53(7):829-832. Li J, Yu R C, Wang J J, 2008. Diurnal variation of summer precipitation in Beijing[J]. *Chin Sci Bull*, 53(12):1933-1936.
- 林玉成, 徐珺, 张芳华, 2013. 2013年7月大气环流和天气分析[J]. *气象*, 39(10):1379-1384. Lin Y C, Xu J, Zhang F H, 2013. Analysis of the July 2013 atmospheric circulation and weather[J]. *Meteor Mon*, 39(10):1379-1384(in Chinese).
- 刘献耀, 许爱华, 刘芳, 2009. 江西省春夏季强对流天气气候特征[J]. *气象与减灾研究*, 32(4):50-56. Liu X Y, Xu A H, Liu F, 2009. Climatic characteristics of severe convective weather in spring and summer in Jiangxi[J]. *Meteor Disaster Reduct Res*, 32(4):50-56(in Chinese).
- 马明, 陶善昌, 祝宝友, 等, 2004. 卫星观测的中国及周边地区闪电密度的气候分布[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 34(4):298-306. Ma M, Tao S C, Zhu B Y, et al, 2005. Climatological distribution of lightning density observed by satellites in China and its circumjacent regions[J]. *Sci China Ser D: Earth Sci*, 48(2):219-229.
- 权婉晴, 何立富, 2016. 2016年7月大气环流和天气分析[J]. *气象*, 42(10):1283-1288. Quan W Q, He L F, 2016. Analysis of the July 2016 atmospheric circulation and weather[J]. *Meteor Mon*, 42(10):1283-1288(in Chinese).
- 沈晓琳, 张芳华, 周博坤, 2015. 2015年7月大气环流和天气分析[J]. *气象*, 41(10):1298-1304. Shen X L, Zhang F H, Zhou B K, 2015. Analysis of the July 2015 atmospheric circulation and weather[J]. *Meteor Mon*, 41(10):1298-1304(in Chinese).
- 孙继松, 2017. 短时强降水和暴雨的区别与联系[J]. *暴雨灾害*, 36(6):498-506. Sun J S, 2017. Differences and relationship between flash heavy rain and heavy rainfall[J]. *Torr Rain Dis*, 36(6):498-506(in Chinese).
- 孙素琴, 许爱华, 郑婧, 等, 2016. 江西省汛期暴雨时空分布及区域性暴雨分区[J]. *气象与减灾研究*, 39(2):90-97. Sun S Q, Xu A H, Zheng J, et al, 2016. The regionalization and spatial-temporal characteristics of the torrential-rain in Jiangxi Province during the flood season[J]. *Meteor Disaster Reduct Res*, 39(2):90-97(in Chinese).
- 唐健, 代刊, 2014. 2014年7月大气环流和天气分析[J]. *气象*, 40(10):1286-1292. Tang J, Dai K, 2014. Analysis of the July 2014 atmospheric circulation and weather[J]. *Meteor Mon*, 40(10):1286-1292(in Chinese).
- 田付友, 郑永光, 张小玲, 等, 2018. 2017年5月7日广州极端强降水对流系统结构、触发和维持机制[J]. *气象*, 44(4):469-484. Tian F Y, Zheng Y G, Zhang X L, et al, 2018. Structure, triggering

- and maintenance mechanism of convective systems during the Guangzhou extreme rainfall on 7 May 2017[J]. *Meteor Mon*, 44(4):469-484(in Chinese).
- 王国荣,王令,2013.北京地区夏季短时强降水时空分布特征[J].*暴雨灾害*,32(3):276-279. Wang G R, Wang L, 2013. Temporal and spatial distribution of short-time heavy rain of Beijing in summer[J]. *Torr Rain Dis*, 32(3):276-279(in Chinese).
- 汪如良,刘熙明,郭维栋,2016.鄱阳湖地区湖-陆-气相互作用的观测分析[J].*热带气象学报*,32(4):558-569. Wang R L, Liu X M, Guo W D, 2016. Observation analyses of the lake-land-atmosphere interaction in Poyang Lake Region[J]. *J Trop Meteor*, 32(4):558-569(in Chinese).
- 王文东,2010.2010年7月大气环流和天气分析[J].*气象*,36(10):122-127. Wang W D, 2010. Analysis of the July 2010 atmospheric general circulation and weather[J]. *Meteor Mon*, 36(10):122-127(in Chinese).
- 吴洪宝,吴蕾,2010.气候变率诊断和预测方法:第2版[M].北京:气象出版社:1-48. Wu H B, Wu L, 2010. *Methods for Diagnosing and Forecasting Climate Variability*[M]. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press:1-48(in Chinese).
- 伍志方,蔡景就,林良勋,等,2018.2017年广州“5·7”暖区特大暴雨的中尺度系统和可预报性[J].*气象*,44(4):485-499. Wu Z F, Cai J J, Lin L X, et al, 2018. Analysis of mesoscale systems and predictability of the torrential rain process in Guangzhou on 7 May 2017[J]. *Meteor Mon*, 44(4):485-499(in Chinese).
- 杨舒楠,何立富,2013.2013年8月大气环流和天气分析[J].*气象*,39(11):1521-1528. Yang S N, He L F, 2013. Analysis of atmosphere circulation and weather in August 2013[J]. *Meteor Mon*, 39(11):1521-1528(in Chinese).
- 宇如聪,李建,陈昊明,等,2014.中国大陆降水日变化研究进展[J].*气象学报*,72(5):948-968. Yu R C, Li J, Chen H M, et al, 2014. Progress in studies of the precipitation diurnal variation over contiguous China[J]. *Acta Meteor Sin*, 72(5):948-968(in Chinese).
- 俞小鼎,周小刚,王秀明,2012.雷暴与强对流临近天气预报技术进展[J].*气象学报*,70(3):311-337. Yu X D, Zhou X G, Wang X M, 2012. The advances in the nowcasting techniques on thunderstorms and severe convection[J]. *Acta Meteor Sin*, 70(3):311-337(in Chinese).
- 俞亚勋,王式功,钱正安,等,2013.夏半年西太副高位置与东亚季风雨带(区)的气候联系[J].*高原气象*,32(5):1510-1525. Yu Y X, Wang S G, Qian Z A, et al, 2013. Climatic linkages between SH-WP position and EASM rainy-belts and-areas in East part of China in summer half year[J]. *Plateau Meteor*, 32(5):1510-1525(in Chinese).
- 赵玉春,徐明,王叶红,等,2012.2010年汛期长江中游对流降水日变化特征分析[J].*气象*,38(10):1196-1206. Zhao Y C, Xu M, Wang Y H, et al, 2012. A characteristic analysis on diurnal variations of convective rainfall along the Yangtze River middle valleys in 2010 flooding season[J]. *Meteor Mon*, 38(10):1196-1206(in Chinese).
- 郑永光,陈炯,朱佩君,2008.中国及周边地区夏季中尺度对流系统分布及其日变化特征[J].*科学通报*,53(4):471-481. Zheng Y G, Chen J, Zhu P J, 2008. Climatological distribution and diurnal variation of mesoscale convective systems over China and its vicinity during summer[J]. *Chin Sci Bull*, 53(10):1574-1586(in Chinese).
- 郑永光,陶祖钰,俞小鼎,2017.强对流天气预报的一些基本问题[J].*气象*,43(6):641-652. Zheng Y G, Tao Z Y, Yu X D, 2017. Some essential issues of severe convective weather forecasting[J]. *Meteor Mon*, 43(6):641-652(in Chinese).
- 郑永光,王颖,寿绍文,2010.我国副热带地区夏季深对流活动气候分布特征[J].*北京大学学报(自然科学版)*,46(5):793-804. Zheng Y G, Wang Y, Shou S W, 2010. Climatology of deep convection over the subtropics of China during summer[J]. *Acta Sci Nat Univ Pekinensis*, 46(5):793-804(in Chinese).
- 中国气象局,2007.中国灾害性天气气候图集[M].北京:气象出版社:21-31. China Meteorological Administration, 2007. *Atlas of China Disastrous Weather and Climate*[M]. Beijing: China Meteorological Press:21-31(in Chinese).
- 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等,2007.天气学原理和方法:第4版[M].北京:气象出版社:343-367. Zhu Q G, Lin J R, Shou S W, et al, 2007. *The Principle and Method of Weather*[M]. 4th ed. Beijing: China Meteorological Press:343-367(in Chinese).
- Chen G X, Sha W M, Iwasaki T, et al, 2017. Diurnal cycle of a heavy rainfall corridor over East Asia[J]. *Mon Wea Rev*, 145(8):3365-3389.
- Chen J, Zheng Y G, Zhang X L, et al, 2013. Distribution and diurnal variation of warm-season short-duration heavy rainfall in relation to the MCSs in China[J]. *Acta Meteor Sin*, 27(6):868-888.
- Doswell III C A, 2001. Severe convective storms-an overview[M]// Doswell III C A. *Severe Convective Storms*. Boston: American Meteorological Society:1-26.
- Doswell III C A, Brooks H E, Maddox R A, 1996. Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology[J]. *Wea Forecasting*, 11(4):560-581.
- Zhang H, Zhai P M, 2011. Temporal and spatial characteristics of extreme hourly precipitation over eastern China in the warm season[J]. *Adv Atmos Sci*, 28(5):1177-1183.
- Zheng Y G, Xue M, Li B, et al, 2016. Spatial characteristics of extreme rainfall over China with hourly through 24-hour accumulation periods based on national-level hourly rain gauge data[J]. *Adv Atmos Sci*, 33(11):1218-1232.
- Zhou T J, Yu R C, Chen H M, et al, 2008. Summer precipitation frequency, intensity, and diurnal cycle over China: a comparison of satellite data with rain gauge observations[J]. *J Climate*, 21(16):3997-4010.