

文章编号:2096 - 5389(2022)02 - 0039 - 07

贵阳市汛期短时强降水时空分布特征

王君军¹, 周 林¹, 王 彪²

(1. 贵州省贵阳市气象局, 贵州 贵阳 550002; 2. 贵州省气象信息中心, 贵州 贵阳 550002)

摘 要:利用加密自动气象观测站和国家气象观测站逐小时观测资料,分析了贵阳市 2014—2019 年汛期(4—9 月)短时强降水时空分布特征。结果表明:贵阳市汛期短时降水呈现中部多、南北少的空间分布特征,大值中心位于清镇市中南部—观山湖区—白云区一带,该区域也是降水量最多、短时强降水贡献最大的区域。贵阳市汛期短时强降水集中在 5—8 月,其中 6 月最多,7 月次之;一天中相对高值时段为 23—03 时、07—08 时和 20—21 时,不同月份短时强降水频次日变化存在差异;持续时间 ≥ 3 h 的短时强降水过程集中在清镇市中南部—观山湖区—白云区—乌当区西部一带,次高频区域集中在花溪区中南部及修文县南部。根据影响系统不同,将区域 $\geq 20\%$ 的短时强降水分为 4 类,其中低涡切变型最多占 50.9%,冷锋低槽型占 35.9%,梅雨锋型占 9.4%,两高切变型占 3.8%。

关键词:汛期;短时强降水;时空分布

中图分类号:P426.61⁺3 **文献标识码:**A

Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Short - time Heavy Precipitation during the Rainy Season in Guiyang

WANG Junjun¹, ZHOU Lin¹, WANG Biao²

(1. Guiyang Meteorological Bureau of Guizhou Province, Guiyang 550002, China;

2. Guizhou Meteorological Information Center, Guiyang 550002, China)

Abstract: Based on the hourly observation data of dense automatic weather observation station and national weather observation station in Guiyang from 2014 to 2019, the temporal and spatial distribution characteristics of short - term heavy precipitation during the rainy season (between April and September) were analyzed. The results indicate that the short - term precipitation during the rainy season in Guiyang presents the spatial distribution characteristics of being more in the central part and less in the north and the south. The large value center is located in the central and southern part of Qingzhen - Guanshanhu - Baiyun area, which is also the area with the largest precipitation and the largest contribution of short - term heavy precipitation. The Short - term heavy precipitation in the rainy season in Guiyang concentrated in May to August, with the highest value in June, followed by July. The relative high value periods in a day were 23:00 to 03:00 of the next day, 7:00 to 8:00 and 20:00 to 21:00, and the diurnal frequency of short - time heavy precipitation varies with the monthly variation. The short - term heavy precipitation process lasting more than 3 hours is concentrated in the south - central part of Qingzhen - Guanshanhu - Baiyun - West part of Wudang, and the sub - high - frequency regions is concentrated in the south - central of Huaxi and south of Xiuwen. According to the different impact systems, the short - term heavy precipitation with a regional scope greater than or equal to 20% can be divided into 4 categories, in which the low vortex shear type is the most, accounting for 50.9%, the cold front low trough type accounts for 35.9%, the

收稿日期:2021 - 05 - 19

第一作者简介:王君军(1982—),女,副高,主要从事天气预测预报及气象服务工作,E-mail:daqijunjun@foxmail.com。

通讯作者简介:王彪(1984—),男,副高,主要从事气象信息技术工作,E-mail:wb931@qq.com。

资助项目:贵州省气象局科研业务项目(黔气科登[2020]08-08号):贵阳市汛期短时强降水时空分布特征;贵阳市气象局气象科研项目(筑气科合 YW[2021]04号):贵阳市短时强降水特征分析及个例普查。

Meiyu front type accounts for 9.4%, and the two high Shear type accounted for 3.8%.

Key words: short-time heavy precipitation; the rainy season; temporal and spatial distribution

0 引言

短时强降水常具有突发性强、降水强度大等特点,其引发的山洪、地质灾害和城市内涝已屡见不鲜,对人民生命及生产安全造成威胁。近年来,随着观测手段的不断丰富,小时降水资料已在业务中占据越来越重要的地位,短时强降水受到许多气象工作者的广泛研究^[1-4]。陶诗言^[1]指出:我国历史上多次严重暴雨灾害中均伴有高强度的短时强降水。陈炯等^[2]研究了国内短时强降水的时间与空间分布情况,其中短时强降水最高的区域为华南地区。姚莉等^[3]分析了中国小时雨量的时空分布特征,指出:雨强的日变化具有明显的地区差异,其中西南和华南地区日变化最为明显。张天宇等^[4]指出长江中下游汛期极端总降水事件发生频次的多寡很大程度上影响着汛期总降水量的多少。

贵阳市地处贵州省中部,复杂的地形、地貌和地质特征,在短时强降水天气条件下易引发次生灾害,因此短时强降水预报预警的准确率也是防灾减灾面临的重要挑战之一。近年来许多气象工作者对贵阳强降水展开了研究,周明飞等^[5]研究指出贵州省短时强降水呈现出南多北少的空间分布特征。彭芳等^[6]利用贵州 84 站 1991—2009 年汛期逐小时降水资料统计了贵州省短时降水时空特征。陈海凤等^[7]指出贵阳市短时强降水及暴雨呈南多北少的分布特征。段莹等^[8]指出贵阳市暴雨平均雨量整体呈上升趋势,暴雨日数及总暴雨量呈现下降趋势。随着贵阳市经济的快速发展,防灾减灾能力的提升也越来越迫切,政府及社会对灾害性天气的精细化气象服务提出更高的要求。近年来贵阳市气象观测网的迅速发展,使得利用高密度气象观测资料获得该地区更细致的短时强降水特征成为可能。本文利用高密度气象观测资料,对贵阳市短时强降水特征进行分析,以进一步提高对该市短时强降水特征认识,提升监测预报及服务能力。

1 资料与方法

利用 2014—2019 年贵阳市加密自动气象观测站及国家气象观测站逐小时降水观测资料,采用《全国短时临近预报业务规定》短时强降水定义小时降水量 ≥ 20.0 mm。由于贵阳市气象观测站建站时间不一致,考虑降水时间的连续性及可信性,对

降水资料开展数据质量控制^[9-11],最终选取 8 个国家气象观测站及 116 个加密自动气象观测站(图 1)。

统计分析 2014—2019 年短时强降水样本发现,贵阳市短时强降水最早出现在 2 月,最晚出现在 11 月,汛期(4—9 月)占总样本的 94.1%。因此本文利用汛期逐时降水观测资料,采用统计方法,对贵阳市汛期短时强降水的空间、时间等特征进行分析,旨在掌握贵阳市短时强降水气候特征,对于短时强降水天气的预报以及防灾减灾提供参考依据。

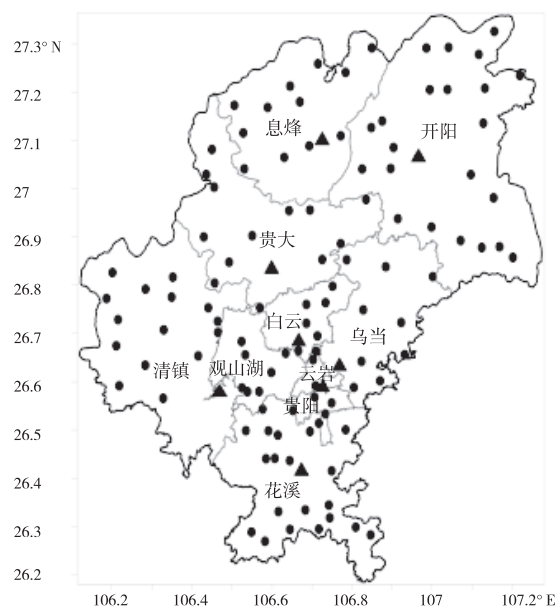


图 1 贵阳市加密自动气象观测站及国家气象观测站分布(●:区域地面气象观测站;▲:国家级气象观测站)

Fig. 1 Distribution map of dense automatic meteorological observation stations and national meteorological observation stations in Guiyang(●:Regional automatic meteorological observation stations; ▲:National meteorological observation stations)

2 短时强降水的空间分布特征

2.1 汛期短时强降水的空间分布特征

由贵阳市汛期平均降水量分布可见(图 2a),贵阳市中南部汛期降水量高于北部,除北部边缘降水量在 800 mm 以下外,其余大部在 800 mm 以上,超过 1100 mm 以上的大值中心主要有两个,一个位于清镇市中南部至观山湖一带,另一个位于花溪区东南部边缘。

由贵阳市汛期短时强降水量分布可见(图 2b),

汛期平均短时强降水量总体呈现出中部多于南北的分布特征,其中贵阳市北部边缘短时强降水量在 100 mm 以下,其余大部在 100 mm 以上,超过 200 mm 以上的大值中心位于贵阳市中南部,即清镇市中南部—观山湖区—修文县中南部—白云区中南部—乌当区西部一带以及花溪区东部地区。

由贵阳市汛期短时强降水量占总降水量的百分比分布可见(图 2c):息烽县北部、开阳县北部、花溪区北部及清镇市北部短时强降水占比在 15% 以下,其余地区在 15% 以上, $\geq 18\%$ 的范围与汛期降水量以及短时强降水量分布对应较好,其中 $\geq 22\%$

的中心区域集中在清镇市中南部—观山湖区—白云区南部一带。

贵阳市汛期短时强降水累计频次分布(图 2d)与短时强降水量及短时强降水量占总降水量的百分比分布相似,其中心位于贵阳市中南部,即清镇市中南部—观山湖区—白云区—乌当区西部边缘。从雨强 $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 分布可见(图 2e),南部发生频次高于北部,南部中心位于清镇市中南部至观山湖区一带,北部中心位于开阳县中南部。图 2f 显示小时极值降水量分布不均,大致有 3 个中心:清镇市西部、花溪区东部以及开阳县中南部。

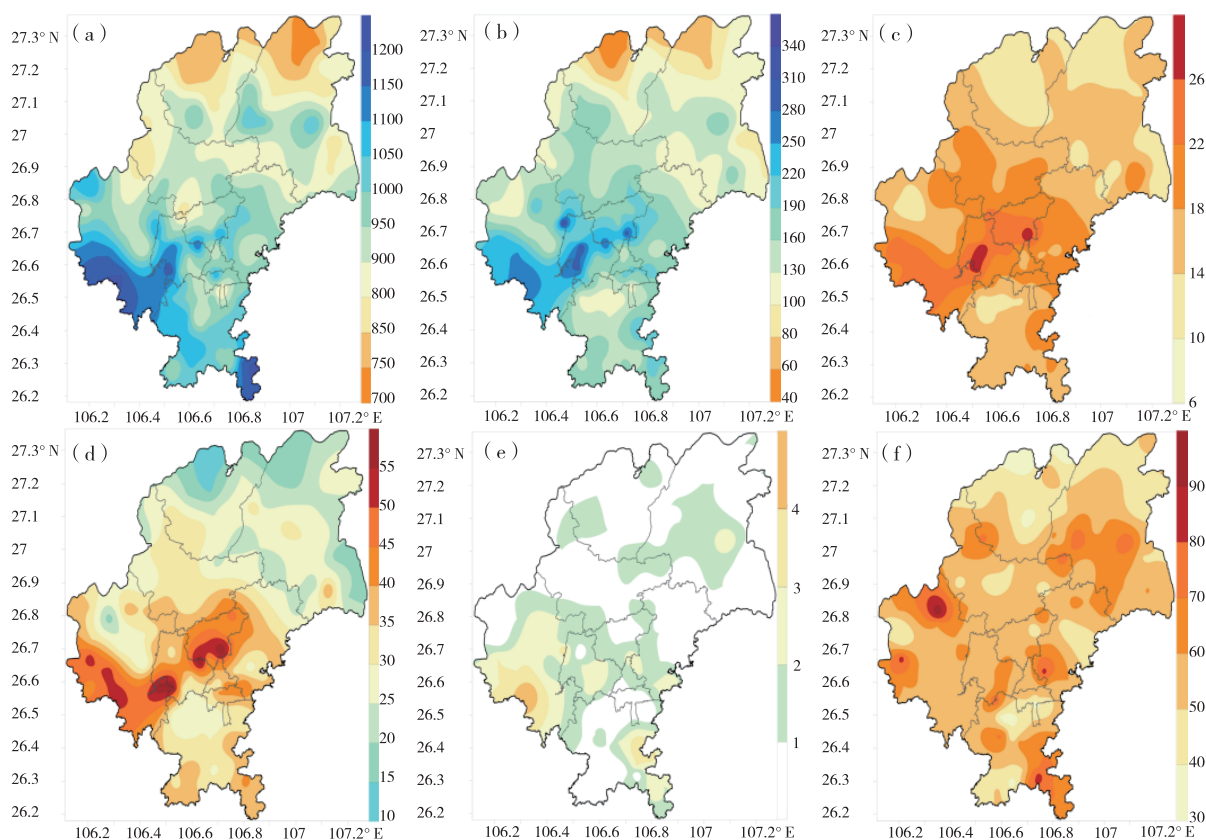


图2 贵阳市 2014—2019 年汛期降水量(a,单位: mm)、短时强降水量(b,单位:mm)、同期短时强降水量占总降水量的百分比(c,单位:%)、短时强降水累计频次(d,单位:站次)、 $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水累计频次(e,单位:站次)及短时强降水极值(f,单位:mm)空间分布

Fig.2 The spatial distribution of the average precipitation(a, unit: mm), the average short-term heavy precipitation(b, unit: mm), the percentage of short-term heavy precipitation in total precipitation(c, unit: %), accumulative number of stations of short-term heavy precipitation(d, unit: number of stations), accumulative number of stations of short-term heavy precipitation more than or equal to $50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ (e, unit: number of stations) and the extreme value of short-term heavy precipitation(f, unit: mm) during the rainy season from 2014 to 2019 in Guiyang

2.2 逐月短时强降水的空间分布特征

由图 3 可见,贵阳市 2014—2019 年汛期逐月短时强降水空间分布差异明显,除 4 月和 9 月以分散性短时强降水为主、中心区域不明显外,其余各月中心特征显著,其中 5 月中心区域位于中部一线,即

清镇市中南部—观山湖区—白云区—乌当区—开阳县南部一带;6 月强降水频次增加,中心位于贵阳市西南部,即清镇市中南部—观山湖区—白云区一带以及花溪区中西部;7 月强降水频次开始减弱,中心位于清镇市南部—观山湖区—白云区—乌当区

西部、清镇市北部至修文县西部以及花溪区东部边缘一带;8 月中心区域位于清镇市中部、修文县南部、观山湖区北部以及白云区南部。可见在 5—7 月

短时强降水中心特征尤为显著,其大致集中在清镇市中南部—观山湖区—白云区一带。

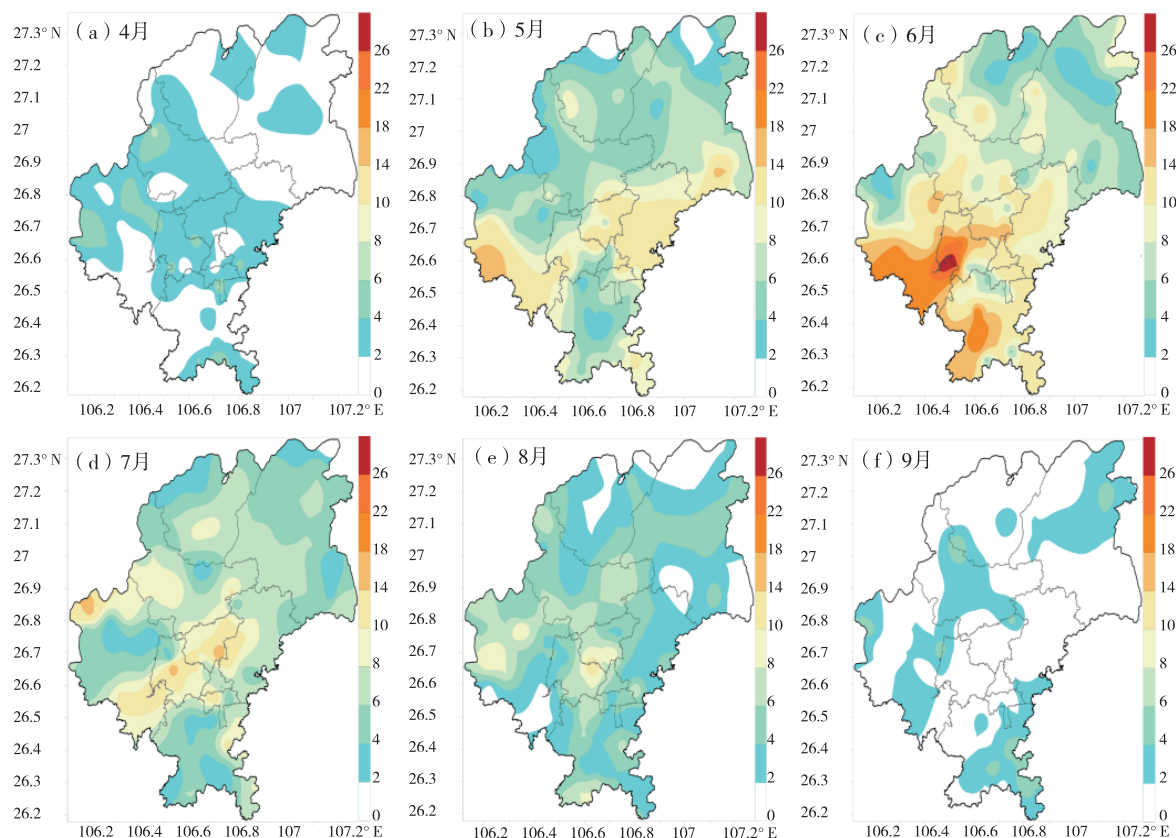


图 3 贵阳市 2014—2019 年汛期逐月短时强降水累计频次空间分布(a~f;4—9 月,单位:站次)

Fig. 3 The spatial distribution of cumulative number of stations of monthly short term heavy precipitation during the rainy season in Guiyang from 2014 to 2019(a-f; April to September, unit: number of stations)

3 短时强降水的时间变化特征

3.1 短时强降水的月变化

通过对贵阳市 2014—2019 年汛期短时强降水强度统计分析可知,贵阳市短时强降水以 20.0 ~ 29.9 mm 为主,占总频次的 65.6%,30.0 ~ 49.9 mm 占 30.4%, ≥ 50.0 mm 短时强降水占 4.0%,而 ≥ 80 mm 短时强降水仅出现 5 站次。

图 4 为贵阳市 2014—2019 年汛期短时强降水逐月频次变化。分析可知,贵阳市短时强降水集中在 5—8 月,占总频次的 87.4%,其中 6 月峰值显著(占 33.1%),7 月次之(占 19.9%)。 ≥ 30 mm 的短时强降水峰值出现在 6 月(占 35.1%),5 月次之(占 21.7%); ≥ 50 mm 的短时强降水峰值出现在 6 月(占 35.3%),5 月次之(占 22.3%)。

3.2 短时强降水的日变化

通过分析贵阳市 2014—2019 年汛期短时强降水日变化,揭示不同月份最易发生短时强降水的时

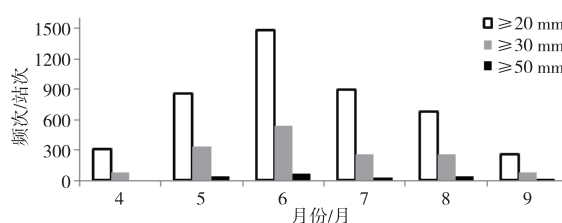


图 4 贵阳市 2014—2019 年汛期短时强降水逐月频数变化
Fig. 4 Monthly variation of the number stations of short term heavy precipitation during the rainy season in Guiyang from 2014 to 2019

段(图 5)。4 月最强时段出现在 23 时,其次是 20 时;5 月份最强时段出现在 00—03 时,其次是 19 时;6 月最强时段出现在 00—04 时,其次是 07—08 时;7 月最强时段出现在 03—06 时,其次为 16—17 时及 21 时前后;8 月最强时段集中在 23—00 时,其次是 13 时和 15—18 时;9 月最强时段出现在 02—06 时,其次是 21 时。从短时强降水的频数可见,4 月最强时段(23 时)频次为 76 次;5 月最强时段

(00—03 时)频次在 100 次以上,其中 00 时最高(120 次);6 月最强时段(00—04 时)在 100 次以上,其中 03 时最高(153 次);7 月短时强降水频次开始逐渐下降,最强时段(03—06 时)为 50~65 次;8 月最强时段(23—00 时)为 50~55 次;9 月高峰时段降至 25 次左右。可见,贵阳市短时强降水以夜雨居多,强降水的发生时段主要有 3 个:23—03 时、07—08 时和 20—21 时。但不同月份短时强降水频次日变化存在差异,这与文献[7]研究贵州 1 d 中 3 个高峰时段为 23—02 时、05—08 时和 17—20 时的结论

相似。而 $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水集中出现在 21—05 时,其峰值出现在 05 时,其次是 03 时。

采用文献[12]中将 1 d 分为 6 个时段:20—23 时(上半夜)、00—03 时(下半夜)、04—07(凌晨)、08—11 时(上午)、12—15 时(下午)和 16—19 时(傍晚),4 月短时强降水最易出现在上半夜;5 月、6 月最易出现在下半夜;9 月最易出现在凌晨;而 7 月和 8 月较其他月份夜雨特征相对不明显,其中 7 月多集中在凌晨及傍晚,8 月多集中在午后至上半夜。而 $\geq 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 短时强降水最易出现在上半夜至凌晨。

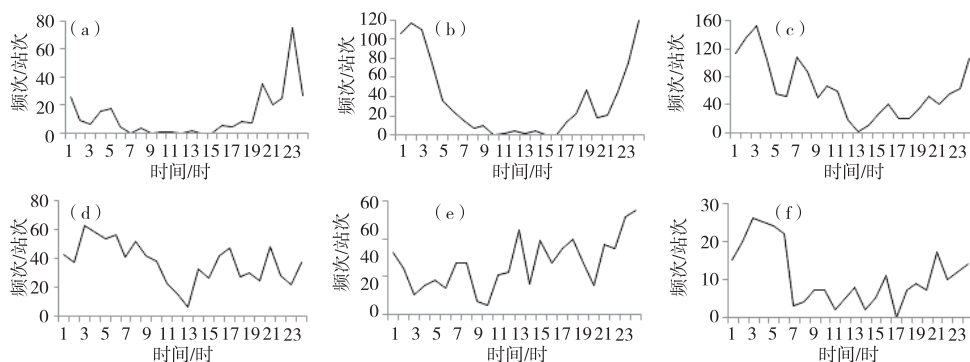


图5 贵阳市 2014—2019 年汛期逐月短时强降水日变化(a~f:4—9 月)

Fig. 5 Daily variation of the number stations of monthly short-term heavy precipitation during the rainy season in Guiyang from 2014 to 2019 (a-f: April to September)

3.3 短时强降水的持续时间

我国降水过程中超过 60% 的过程属于持续时间较长的降水^[13]。结合贵阳市降水特点,参考李强等^[14]研究川渝盆地主汛期短时强降水持续时间的定义,本文根据小时降水量 $\geq 20 \text{ mm}$ 具体时间,以连续 2 h 小时雨量 $< 5 \text{ mm}$ 为截断,统计其前后连续降水持续时间。分析可见(图 6),76.4% 的短时强降水过程持续时间集中在 1~3 h,其中 1 h 的发生频率最高为(32.3%),2 h 次之(28.2%),3 h 后,持续短时强降水发生频率迅速降低,而 $\geq 9 \text{ h}$ 的短时强降水过程仅占 1.4%,但是贵阳市最长持续时间曾达 16 h(出现在 2014 年 7 月 16 日)。从图 6 还可以看出,6 月和 9 月以 2 h 发生频率最高。 $\geq 2 \text{ h}$ 持续性短时强降水过程主要集中在 5—7 月,2~7 h 以 6 月频率最高,8 h 以 5 月频率最高,9 h 以上持续性短时强降水 94.6% 出现在 7 月。

图 7 给出贵阳市 2014—2019 年汛期伴随短时强降水的持续时间 $\geq 3 \text{ h}$ 降水过程频次分布,在贵阳市中南部持续性短时强降水过程明显高于北部,高频区域集中在清镇市中南部—观山湖区—白云区南部—乌当区西部一带,次高频区域集中在花溪区中南部及修文县南部。

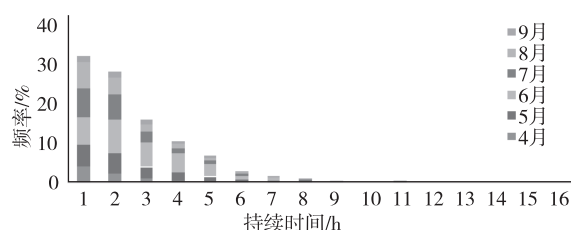


图6 贵阳市 2014—2019 年汛期短时强降水过程不同持续时间的频率变化

Fig. 6 Frequency variation of the different durations for short-term heavy precipitation events during the rainy season in Guiyang from 2014 to 2019

4 汛期短时强降水分类及其时空分布

表 1 给出了贵阳市 2014—2019 年汛期不同范围短时强降水过程月分布。分析可见,贵阳市短时强降水区域主要在 10% 以下,占 67.35%, $10\% \leq$ 区域 $< 20\%$,占 14.63%,区域 $\geq 20\%$ 占 18.02%。区域范围在 10% 以下以 8 月最多(53 次),其次为 7 月(38 次); $10\% \leq$ 区域 $< 20\%$ 和区域 $\geq 40\%$ 以 6 月最多(11 次和 10 次), $20\% \leq$ 区域 $< 30\%$ 以 7 月和 9 月最多(3 次), $30\% \leq$ 区域 $< 40\%$ 以 6—7 月最多(5 次), $\geq 40\%$ 的区域 6 月出现 10 次,可见,贵阳市 6 月最易出现大范围短时强降水。

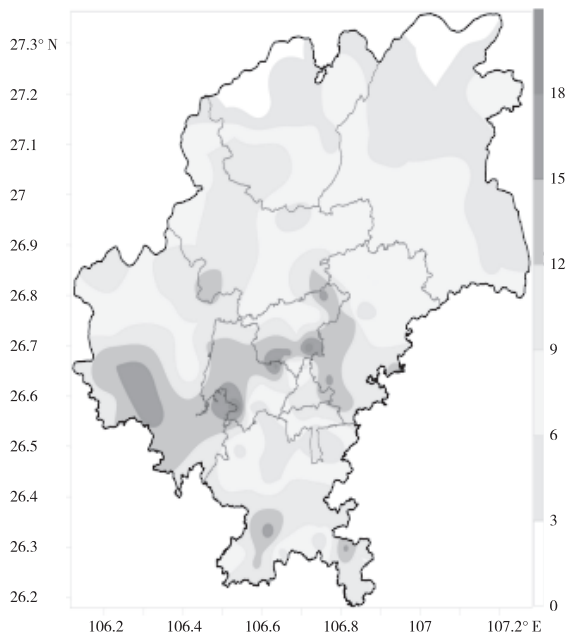


图 7 贵阳市 2014—2019 年汛期伴随短时强降水持续时间 ≥ 3 h 降水过程频次分布(单位:站次)

Fig. 7 Frequency distribution of short-term heavy rainfall events lasting more than or equal to 3 hours during the rainy season in Guiyang from 2014 to 2019 (unit: number of stations)

表 1 贵阳市 2014—2019 年汛期不同范围
短时强降水过程的月分布

Tab. 1 Monthly variations of short-term heavy precipitation events in different ranges during the rainy season in Guiyang from 2014 to 2019

区域范围	次数/次						总次数 /次	比例 /%
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月		
区域 $< 10\%$	32	26	32	38	53	17	198	67.35
$10\% \leq$ 区域 $< 20\%$	4	7	11	10	7	4	43	14.63
$20\% \leq$ 区域 $< 30\%$	2	1	2	3	2	3	13	4.42
$30\% \leq$ 区域 $< 40\%$	2	4	5	5	2	1	19	6.46
$\geq 40\%$	0	4	10	3	4	0	21	7.14
合计	40	42	60	59	68	25	294	100.00

4.1 区域范围 $\geq 20\%$ 不同类型短时强降水月分布

根据业务服务实践将区域范围 $\geq 20\%$ 短时强降水天气过程定为区域性短时强降水,参考《贵州预报员手册》天气类型分类,将 2014—2019 年汛期贵阳市区域范围 $\geq 20\%$ 短时强降水个例(共 53 个)归结为 4 种类型:低涡切变型、冷锋低槽型、梅雨锋型和两高切变型。由表 2 可见:贵阳市短时强降水出现

最多为低涡切变型,共出现 27 次,占总样本的 50.9%;其次为冷锋低槽型(占 35.9%);再次为梅雨锋型(占 9.4%)和两高切变型(占 3.8%)。其中低涡切变型主要集中在 5—8 月;冷锋低槽型集中在 5—6 月以及 8—9 月,其中 9 月均为冷锋低槽型;梅雨锋型集中在 6—7 月。

表 2 贵阳市 2014—2019 年汛期不同天气类型
短时强降水过程(区域范围 $\geq 20\%$) 的月分布

Tab. 2 Monthly distribution of short-term heavy precipitation events (regional range more than 20%) of different weather types during the rainy season in Guiyang from 2014 to 2019

分类	次数/次						总次数 /次	比例 /%
	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月		
低涡切变	2	5	10	6	4		27	50.9
冷锋低槽	2	4	4	1	4	4	19	35.9
梅雨锋			3	2			5	9.4
两高切变				2			2	3.8
合计	4	9	17	11	8	4	53	100.0

4.2 不同类型短时强降水空间分布

选取占比较大的低涡切变型(50.9%)及冷锋低槽型(35.8%)短时强降水进行空间特征分析,由图 8 可知,低涡切变型短时强降水落区整体呈现出中部高于南北的分布特征,大值区主要集中在清镇市中南部—观山湖区—修文县南部—白云区—乌当区中南部一带,其中 ≥ 12 d 的区域集中在清镇市中南部、观山湖区中部至白云区南部。冷锋低槽型短时强降水类型落区与低涡切变型存在一定差异,除了在清镇市南部至观山湖区和乌当区南部存在大值区外,在修文县中西部至息烽县南部以及开阳县中北部也存在大值区。

5 结论

利用贵阳市 2014—2019 年汛期(4—9 月)加密自动气象观测站及国家气象观测站逐小时降水观测资料,分析短时强降水时空分布特征,并基于天气学方法进行天气学分类,统计不同类型短时强降水的空间分布特征,得到以下结论:

①贵阳市汛期短时降水量呈现出中部多,南北少的空间分布特征,显著大值区集中在清镇市中南部—观山湖区—白云区一带,且大值区域也是短时强降水贡献大,发生频次高的区域。

②贵阳市汛期短时强降水主要集中在 5—8 月,其中 6 月峰值显著,7 月次之;逐月空间分布特征差异明显,其中 5—7 月中心特征尤为显著,其中心位于清镇市中南部—观山湖区—白云区一带。

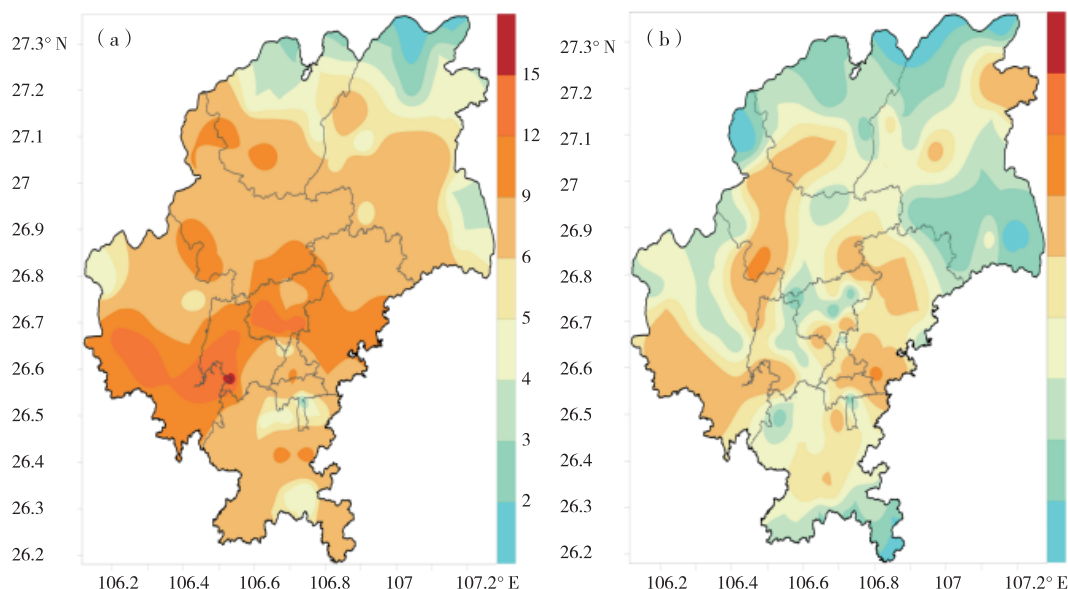


图 8 贵阳市 2014—2019 年低涡切变型(a)、冷锋低槽型(b)短时强降水空间分布(单位:d)

Fig. 8 Spatial distribution of short - time heavy precipitation in vortex shear type
(a) and cold front trough type (b) in Guiyang from 2014 to 2019(unit: days)

③贵阳市汛期短时强降水以夜雨居多,强降水发生时段主要有 3 个:23—03 时、07—08 时和 20—21 时。不同月份短时强降水频次日变化存在差异,4 月最容易出现在上半夜;5 月、6 月和 9 月最易出现在后半夜;而 7 月和 8 月较其他月份夜雨特征相对不明显。

④贵阳市短时强降水过程持续时间集中在 1 ~ 3 h,其中 1 h 的发生频率最高,2 h 次之。各月短时强降水持续时间有所不同,其中 6 月和 9 月以 2 h 发生频率最高,9 h 以上持续性短时强降水 94.6% 出现在 7 月。

⑤持续时间 ≥ 3 h 的短时强降水过程呈现出中南部显著高于北部的分布特征,其中高频区位于清镇市中南部—观山湖区—白云区—乌当区西部一带,次高频区集中在花溪区中南部及修文县南部。

⑥根据影响系统不同,将区域 $\geq 20\%$ 的短时强降水过程分为 4 类,其中低涡切变型最多,占 50.9%,冷锋低槽型占 35.9%,梅雨锋型占 9.4%,两高切变型占 3.8%。不同类型的短时强降水空间分布存在差异。

参考文献

[1] 陶诗言. 中国之暴雨[M]. 北京:科学出版社,1980.
[2] 陈炯,郑永光,张小玲,等. 中国暖季短时强降水分布和日变化特征及其尺度对流系统日变化关系分析[J]. 气象学报,2013, 71 (3):367-382.
[3] 姚莉,李小泉,张立梅. 我国 1 小时雨强时空分布特征[J]. 气象,

2009,35(2):80-87.

[4] 张天宇,程炳岩,刘晓冉. 近 45 年长江中下游地区汛期极端强降水事件分析[J]. 气象,2007,33(10):80-87.
[5] 周明飞,熊伟,杜小玲. 贵州近 10 年短时强降水统计分析[J]. 成都信息工程大学学报,2016,31(4):425-432.
[6] 彭芳,吴古会,杜小玲. 2012. 贵州汛期短时强降水时空特征分析[J]. 气象,38(3):307-313.
[7] 陈海风,李扬,黄世芹,等. 基于自动站观测的贵阳强降水特征分析[J]. 贵州气象,2017,41(3):46-50.
[8] 段莹,张东海,胡欣欣,等. 贵阳市暴雨变化趋势及短历时暴雨雨型研究[J]. 贵州气象,2016,40(1):19-24.
[9] 任芝花,赵平,张强,等. 适用于全国自动站小时降水资料的质量控制方法[J]. 气象,2010,36(7):123-134.
[10] 李林,张子曰,范雪波,等. 基于短时强降水特征的北京暴雨蓝色预警指标研究[J]. 气候与环境研究,2018,23(3):268-274.
[11] 贺芳芳,杨涵洧,穆海振,等. 上海地区短历时强降水致灾阈值探索[J]. 高原气象,2017,36(6):1567-1575.
[12] 沈澄,颜廷柏,刘冬晴,等. 2008-2012 年南京短时强降水特征分析[J]. 气象与环境学报,2015,31(1):28-33.
[13] YU Rucong, XU Youping, ZHOU Tianjun, et al. Relation between rainfall duration and diurnal cycle in the warm season precipitation over central eastern China[J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(13):173-180.
[14] 李强,张亚萍,何跃,等. 川渝盆地主汛期短时强降水事件日变化特征研究[J]. 西南大学学报(自然科学版),2018,40(7):144-152.
[15] 郑卡妮,马中元,陈鲍发. 2020 年江西汛期大暴雨卫星云图特征分析[J]. 气象水文海洋仪器,2022,38(2):29-31.
[16] 张子莹,李超. 鄂西南地区暴雨过程强降水特征分析[J]. 气象水文海洋仪器,2022,38(3):56-60.