

文章编号: 2096-1618(2021)06-0666-08

蓟州区半山地形下汛期短历时强降水特征研究

邹双泽¹, 白爱娟¹, 袁淑杰¹, 金海东², 刘振元², 黄金颖²

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 天津市蓟州区气象局, 天津 301900)

摘要:为更好掌握典型半山地形下天津蓟州区短历时强降水特征,利用蓟州区39个区域自动气象站2014–2019年汛期(6–9月)逐小时降水资料,统计分析蓟州区汛期短历时强降水的多时空尺度变化特征,结果表明:(1)暴雨对雨量累积的贡献高达34.6%,北部山区是降水中心;(2)各站小时降水量99%分位数计算的短历时强降水阈值高值区位于半山地形的迎风坡,87%测站阈值集中在20~30 mm/h;(3)7月上旬–8月中旬是蓟州区短历时强降水事件高发时段,半山地形下,逐月短历时强降水自南部平原向西北高地势区移动,最后快速南撤。短历时强降水的日变化表明强降水的夜发性显著,3–5时峰值最突出;(4)短历时强降水与半山地形关系密切,北部高海拔山区最频发、日变化最剧烈,集中于后半夜。

关键词:气象学;短历时强降水;半山地形区;蓟州区;阈值;多时空分布;日变化

中图分类号:P458.1⁺21

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2021.06.013

0 引言

蓟州区(39°45′~40°15′N, 117°05′~117°47′E,)位于天津市最北端,地势北高南低,北部属于燕山余脉,南部为冲积平原,为典型的半山地形区。全区最高峰为九山顶,海拔1078.5 m。蓟州区季风气候鲜明,年降水量678 mm。在复杂半山地形背景下,蓟州区夏季强对流天气(雷暴大风、冰雹、短时强降水等)频发^[1]。其中,短历时强降水突发性强、降水时段高度集中,易引发山区洪水、滑坡、泥石流以及中小河流库塘溢坝、垮坝等气象灾害和衍生灾害。因此开展蓟州区短历时强降水的研究,对推动当地强对流天气监测预警,提高政府部门气象防灾减灾的决策能力有重要意义。

对降水量多时空尺度变化的研究较多^[2–4],随着降水观测日趋丰富,近年对短历时强降水的研究取得了新进展。燕亚菲等^[5]通过卫星亮温资料估算的台风莫兰蒂短时强降水落区与地面实测能较好对应。梁维亮等^[6]用雷达定量降水估计方法研究了广西短历时强降水。卫星反演、雷达估算、模式输出等作为降水产品的来源,能较好刻画降水量的空间分布,但精度上仍存在不足。高时空分辨率地面气象站观测能较准确地反映短历时强降水时空分布、生消演变和传播等特征。近年来加密的区域自动气象站资料在短历时强降

水研究上发挥了重要作用,王国荣等^[7]统计发现北京夏季短历时强降水与地形关系密切。陈炯等^[8]等研究揭示了中国暖季短历时强降水华南为高频区。田付友等^[9]利用最大似然估计的方法,对逐小时降水的分布进行了拟合。Li等^[10–11]研究了中国东部短历时强降水持续时间、季节特征的区域差异和小时极端降水的变化趋势。

以往对天津短历时强降水的研究多集中于环渤海地区且以个例分析、数值模拟为主^[12–13],也鲜有针对半山特殊地形下的蓟州区的研究探索。为此,从蓟州区2014–2019年39个区域自动气象站小时降水资料入手,分析了半山特殊地形下的汛期蓟州区的降水背景和短历时强降水多时空分布等特征,以期掌握当地短历时强降水特征、为强对流天气服务产品的制作提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料

所用数据由天津市蓟州区气象局提供,选取了2014–2019年汛期6–9月39个区域自动站逐小时降水资料。站点分布(图1)北密南疏,北部山区地势高低起伏大,有68%的测站分布于此。

降水数据质量控制:时间一致性检查。观测世界时均转换为北京时,保证各个自动站资料时间长度一

收稿日期:2021-12-07

基金项目:青海省科技厅应用基础研究资助项目(2020-ZJ-739-1);
气象灾害预测预警与应急管理研究中心科研资助项目(ZHYJ20-YB02);
天津市蓟州区气象局“三农”资助项目

致;异常值检查。根据历年1 h最大降水量数据81.7 mm,若有1 h降水量超过该值的,则回查原始数据,查找当天天气实况,与天气雷达卫星云图和周围多站的降水资料进行对比,判断该条记录的正确性。

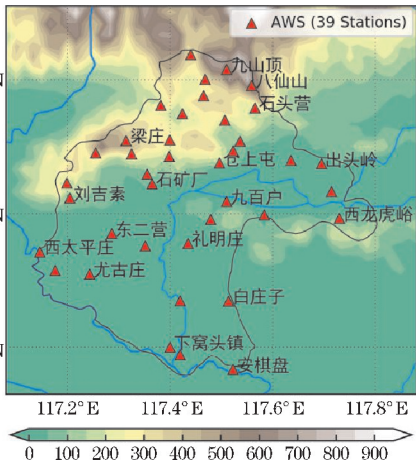


图1 蓟州区地形海拔高度(填色)与39个区域自动站(红色三角)分布

1.2 方法

依据百分位阈值法的定义^[14],将测站小时降水量按递增顺序排列($X_1, X_2, \dots, X_m, \dots, X_n$),某个值 $\leq X_m$ 的概率为

$$P = \frac{m-0.31}{n+0.38} \tag{1}$$

其中: m 为 X_m 序号, n 为降水序列长度, P 为概率值。

如果有100条记录,95位置上的小时降水量($P=94.33\%$)与96位置上的小时降水量($P=95.32\%$)之间做线性插值,得到 $P=95\%$ 所对应的值,即是第95百分位阈值。若某时次小时降水量大于该站阈值,则记该站出现一次短时强降水事件,连续两小时小时降水量大于阈值,则记为两次短时强降水事件,以此类推。

2 蓟州区汛期降水特征

2.1 小时降水量统计特征

统计分析蓟州区研究时段内累计降水小时数、降水量、平均降水强度和小时最大降水量,得出蓟州区降水的空间分布态(图2)。6年累计降水小时数(图2a),从南到北递增分布,高值中心位于北部半山区。即普遍存在北部半山区降水频率比南部平原大的现象;与累计降水小时数分布类似,6年累计降水量(图2b),在山区分布不均匀,九山顶附近出现了降水量的极大值(3867.3 mm)。平均降水强度(图2c)有两个大值中心,分别位于九山顶(2.94 mm/h)和西南角的东二营(2.67 mm/h)。值得注意的是西南角降水频次不多,但平均降水强度较大,发生强降水天气的风险高。出现过的小时最大降水量的极值为81.7 mm/h,位于铁岭子(图4d),小时最大降水量的分布更复杂,受制于地形地貌、海陆分布等诸多因素。

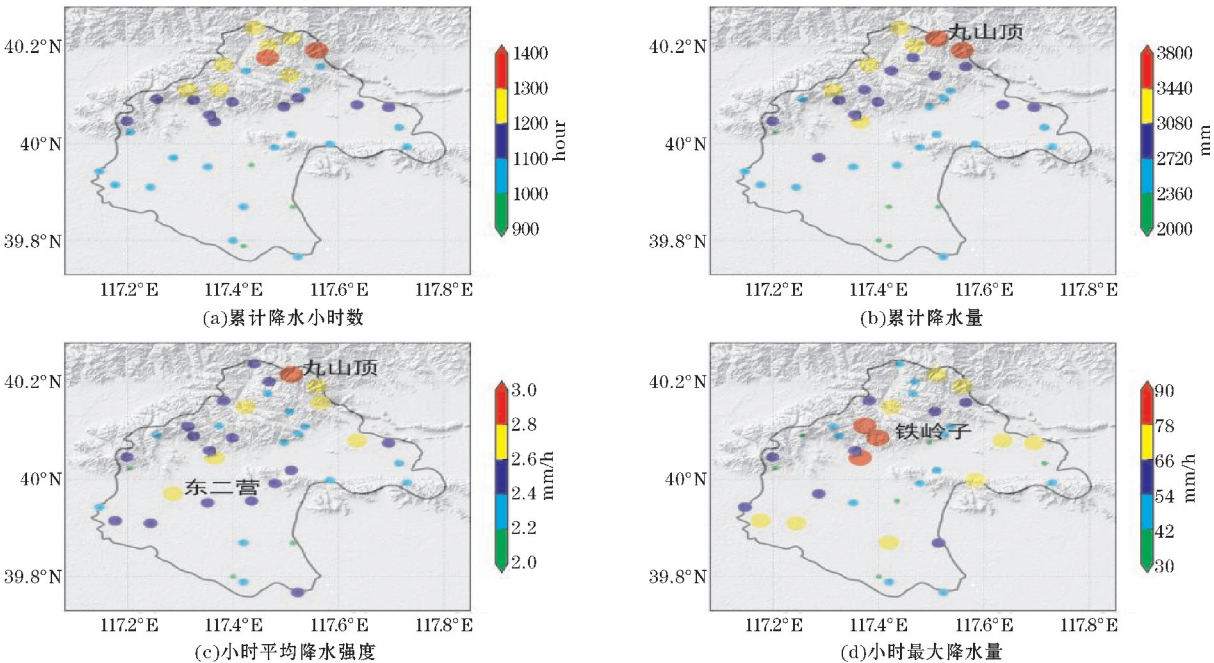


图2 2014–2019年汛期蓟州区小时降水统计量与山地阴影合成

2.2 不同等级降水量贡献

根据降水等级国家划分标准(GB/T 28592-2012),计算蓟州区各站4个等级(小雨、中雨、大雨、暴雨及以上)小时降水量对累计降水量的贡献率。如图3所示,小雨、中雨、大雨、暴雨及以上区域平均的贡献率各为16%、33%、21%、30%,中雨和暴雨以上量级对降水的贡献率最

大,不同的测站各有差异。中雨和暴雨与测站海拔的相关性为0.37和0.25,而小雨与大雨的相关性低至0.04和0.03。对比发现,暴雨贡献相对大值站,多位于地形起伏的高海拔地区,如石头营和八仙山站。暴雨发生频率小即累计降水小时数占比少(3.49%),但对累计雨量贡献最大(34.6%),极易对人们生产生活产生不良影响,因此进一步分析蓟州区强降水特点是是有必要的。

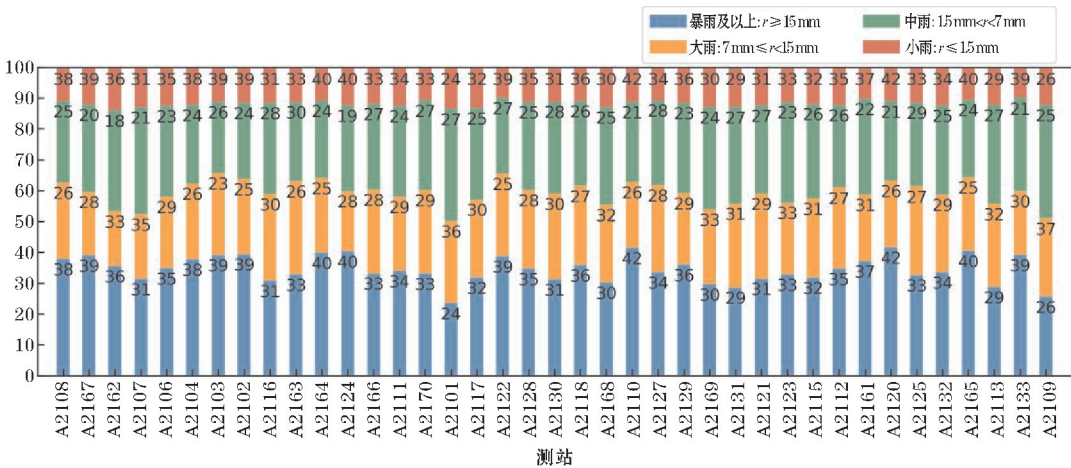


图3 蓟州区39个自动站不同等级降水对累计降水量的贡献率

3 蓟州区汛期短历时强降水时空分布特征

3.1 短历时强降水阈值及其空间分布

考虑到蓟州区降水分布不均匀,降水量北部山区多于南部平原、西部多于东部的事实,按照同一标准划分当地降水强度等级不合理,在此选用百分位阈值法来定义各站的降水等级,产生不同的阈值标准对短历时强降水事件进行筛选。

计算各站小时降水量第95%、97%和99%分位数(图4)发现,95%分位数的最小值、中位数和最大值分别为8.9 mm、12 mm和14.5 mm,中国气象局给出的短历时强降水标准为20 mm/h,以95%分位数作为短历时强降水的阈值显著偏小。97%分位数的最小值、中位数和最大值分别为12.3 mm、16.0 mm和20.5 mm,而99%分位数最小值、中位数和最大值为20.7 mm、25.7 mm和32.2 mm。97%和99%分位数箱线图分布差异较大,97%分位数箱线上界接近99%分位数下界,97%分位数的数据分布较均匀,数值集中16.0~17.3 mm。99%分位数右偏分布,集中在24.0~27.4 mm,且存在少量的温和异常值,99%分位数偏态特征大于97%分位数。已有研究揭示了华北地区极

端降水事件两极化发展越发严重^[15-16],若取99%分位数,则全部测站的阈值都能超过20 mm/h。综上分析,以99%分位数作为某一测站短历时强降水阈值与实践工作经验更符合,更具代表性。

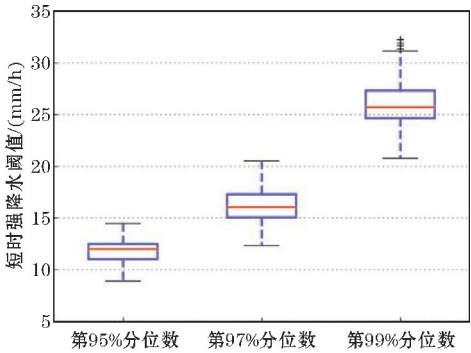


图4 蓟州区39个自动站小时降水量第95%、97%和99%分位数降水阈值分布

后面均以各站第99%分位数阈值对短历时强降水事件进行筛选。99%分位数阈值空间分布如图5所示,蓟州区34个(87%)测站阈值集中在20~30 mm/h,阈值>30 mm/h的测站分布在九山顶附近。西南和东北是阈值高中心。西南部的强中心在杨津庄镇,强降水阈值达31 mm/h。东北部的强中心在八仙山,阈值达32.2 mm/h。强降水阈值最小值为西太平庄20.8 mm/h。阈值高低通常可以反映当地降水强度的大小,北部半山区为高阈值分布区。

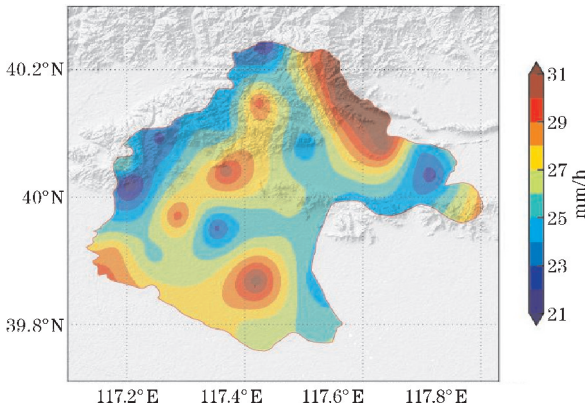


图5 蓟州区小时降水量 99%分位数降水阈值空间分布

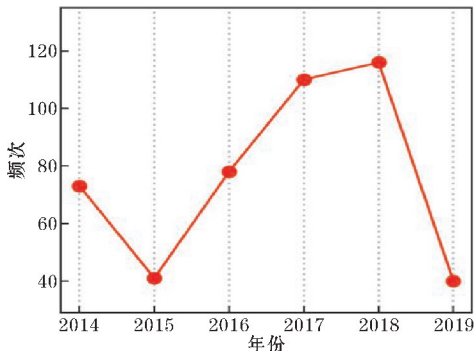
3.2 年际和月际变化特征

统计研究时段内短历时强降水事件出现的次数,作频次变化曲线如图 6 所示。年分布上(图 6a),2014–2016 年强降水事件较少,其中 2015–2016 是强厄尔尼诺年;2017–2018 年偏多,为拉尼娜年。太平洋海温异常模式 ENSO 是中国夏季降水预测的重要参考指标^[18],本研究结果符合拉尼娜年份华北汛期多雨的观测事实。

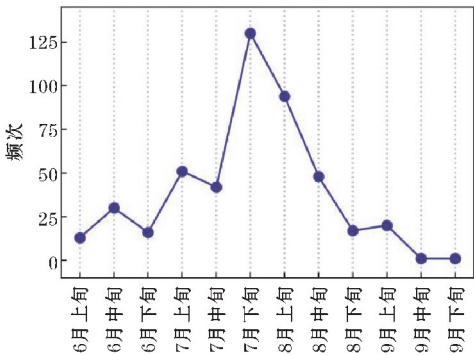
月变化曲线呈单峰型(图 6b),7 月下旬强降水最活跃(126 次),其次是 8 月上旬,9 月中下旬最不活跃(2 次)。月变化曲线不平滑,强降水事件呈间歇性和阶段性发展,具有多个大值分布(活跃期),这与东亚季风以非连续性的方式进退有关。

为进一步认识短历时强降水逐月变化特征,图 7 给出逐月的短历时强降水多年累计频次空间分布。6 月,除南部白庄子站频次异常高达 6 次外,空间分布大致呈从南到北递增趋势;7 月强降水事件明显增多,北部半山区高值中心分布零散化,集中在出头岭和盘山附近(8~10 次)。西

南角桑梓镇出现强中心,数值高达 11 次。7 月空间分布大致为东西高,中间低;8 月,强降水事件比 7 月略少,桑梓镇转为相对低值中心,相对高值中心位于北部半山区(7~8 次),与高大地形对应;9 月,强降水事件显著减少,此时高值中心位于南部东赵各庄–杨津庄镇(3~4 次),低值中心位于九山顶附近,频次不足 1 次。其空间分布大致呈从南到北递减。6–9 月,高值中心自南向西北部移动,最后快速南撤,这与东亚季风的进退,华北雨带的季节性位移关系密切。其中 6 月和 9 月空间分布位向相反。

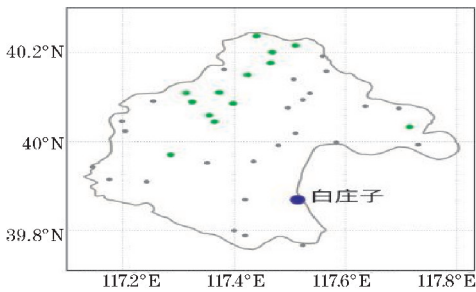


(a) 年变化

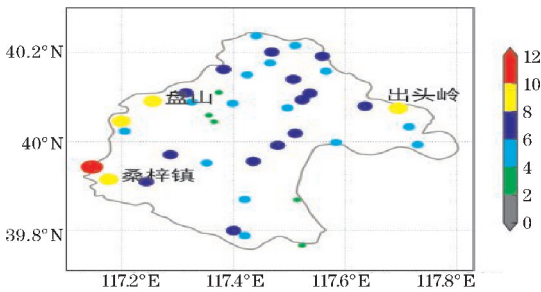


(b) 旬变化

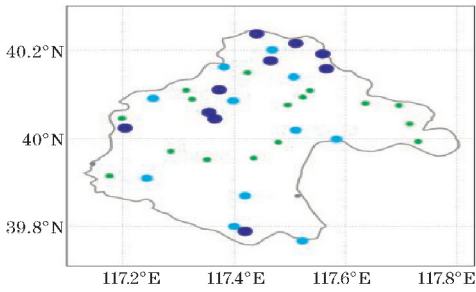
图 6 短历时强降水事件频次变化曲线



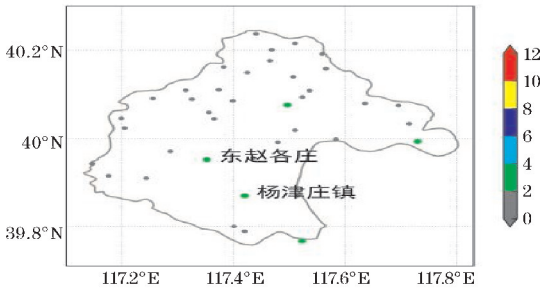
(a)6月



(b)7月



(c)8月



(d)9月

图 7 逐月短历时强降水频次空间分布

3.3 日变化特征

强降水和雷暴等对流活动有明显的日变化,图8给出了蓟州区短历时强降水年均累计降水量、频次和平均降水强度在日内不同时刻的变化曲线。蓟州区短历时强降水年平均降水量在日尺度内明显波动,呈单峰型,主峰出现在3时,其后降水量迅速衰减。7-9时是最不活跃的时段,且曲线变化平缓;短历时强降水年均频次同降水量日变化曲线类似,数值上都表现为白天小,夜间大,且夜间位相特征明显。时间变率上,二者均是上午和下午变化平缓,午夜后变化迅速。这种降水量和频次的协同变化反应了蓟州地区具有较稳定的降水日变化模式。

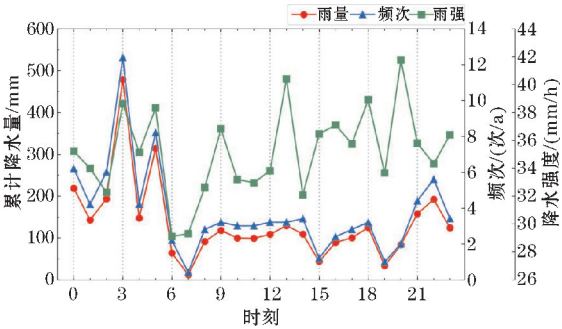


图8 蓟州区短历时强降水年均累计降水量、降水频次和平均降水强度日变化曲线

降水强度日变化曲线呈多峰型,3-5 时和 13-20 时为强降水最活跃的时段。对比降水量和频次发现,

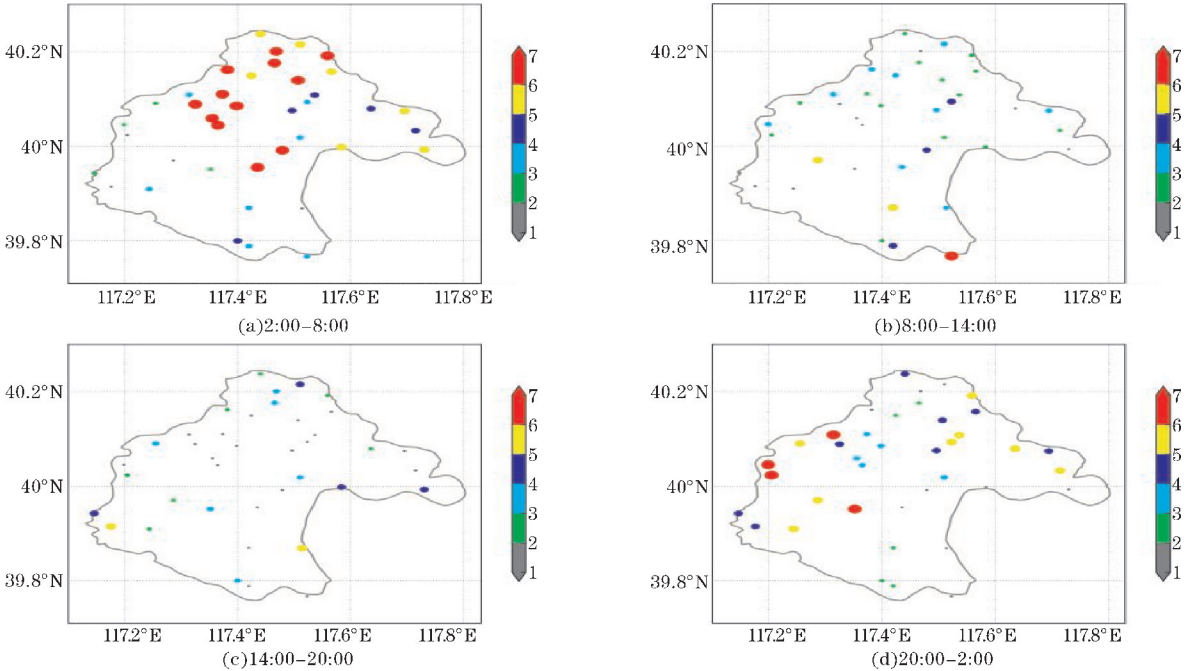


图9 蓟州区短历时强降水在4个日变化时段的频次分布

降水强度的日变化振幅更大。午后至傍晚时段,降水强度位相时间略滞后于与降水量和频次1小时。三者7时左右均达到日最小值。另外,蓟州区18-21时出现短历时强降水的频率不如其他时段高,但是强度大,易凸显短历时强降水的极端性,需警惕其引发的气象灾害。

李明财等^[18]研究天津市夏季降水日变化发现累计降水量曲线呈明显的双峰型,且降水量只与降水强度的变化一致。与此不同,文中分析发现蓟州区降水量曲线呈单峰型,与降水频次变化类似。而宇如聪等^[19]研究结论与文中类似。研究结论不相同的原因与研究区域和资料分辨率等有关。蓟州区地理位置特殊,华北平原东部近海地区与北边燕山山脉在此相遇,日变化特征更复杂,是多区域叠加的结果。尽管结论有异同,但都能描述蓟州区强降水的夜发性特征。针对夜雨已有丰富的研究成果,动力条件如地形激发的局地热力环流、边界层惯性震荡、大尺度环流背景等和热力条件如夜间云顶辐射冷却、下垫面热通量交换对夜雨现象的形成与维持有重要影响^[20-21]。但其内在机制复杂,不同地区存在明显差异^[22-23]。

为探讨短历时强降水事件在日尺度内的传播特征,将一天划分为4个时段(2:00-8:00、8:00-14:00、14:00-20:00、20:00-2:00),图9给出了不同时段短历时强降水多年累计频次的区域分布。总体上与前文分析的短历时强降水3-5时最活跃、7-17时最不活跃的特征一致。

8:00–14:00 是一日内强降水的不活跃时段,此时高频区位于最南边。14:00–20:00 同样不够活跃,说明午后热对流对蓟州区短历时强降水的触发作用有限。8:00–20:00 短历时强降水南部平原比北部半山区更活跃。20:00–2:00 短历时强降水频次显著增加,且高频区范围分布广,集中在以庄果峡为中心的北部半山区。2:00–8:00 频次再增加,高频区范围再向北扩张,分布均匀。

蓟州区短历时强降水日尺度内是进退式传播,从午后开始逐渐向北,清晨之后快速南退。与此不同的是海风环流在白天最强,这说明海陆分布差异对其影响小。可能与地势分布差异形成的局地环流(山谷风)、大尺度天气系统(地面气旋,东北冷涡)提供的有利对流环境关系更密切。

4 短历时强降水与半山地形关系分析

据对蓟州区短历时强降水的分析可知,北部高海拔区与南部平原的地形差异导致南北强降水呈现不同区域特点,此处在南缘白庄子、北缘八仙山和中部梁庄各选一个测站讨论蓟州区短历时强降水与半山地形的关系。见图 10,白庄子短历时强降水多年累计降水量为357.4 mm,累计频次为 10 次。北部半山区的八仙山累计降水量为588.8 mm,累计频次为 15 次。而梁庄的累计降水量422.8 mm和累计频次 13 介于二者之间。累计降水量和频次都随地势升高而递增,从南至北海拔每上升100 m 累计降水量增加约23 mm。

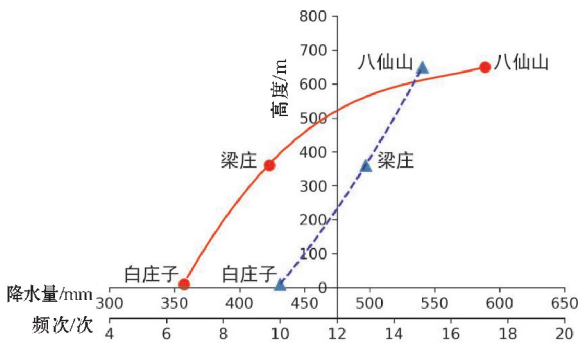
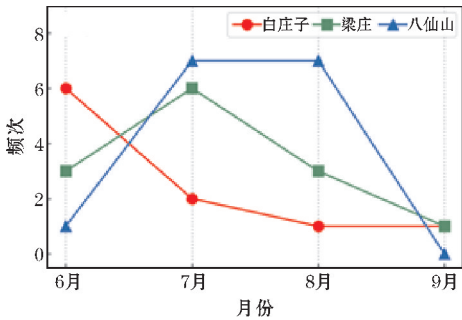


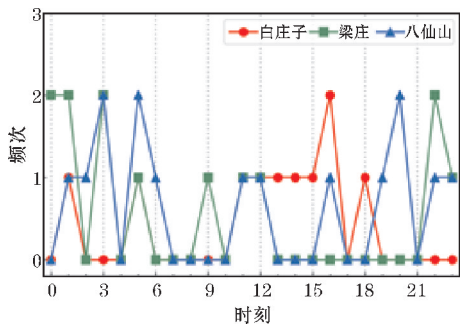
图 10 蓟州区 3 个半山地形代表站短历时强降水多年累计降水量(红色实线)和频次(蓝色虚线)与地形的关系曲线

图 11 为多年累计频次逐月和逐时变化曲线。三者累计频次逐月变化趋势不一致(图 11a),白庄子和梁庄分别在 6 月和 7 月短历时强降水易发生,频次达 6 次。八仙山短历时强降水集中在 7、8 月,频次达 7 次。八仙山月均频次也比白庄子和梁庄高,即北部短

历时强降水更易发。见图 11(b),南部白庄子日变化曲线呈单峰型,峰值出现在 15–16 时,最不活跃时段位于 6–10 时和傍晚至凌晨。中部的梁庄呈双峰型,主峰位于 22–2 时。北部八仙山呈三峰型,最强峰值出现在 3–5 时,滞后于梁庄的峰值约 3 小时,上午依然不活跃。对比发现,八仙山和梁庄较白庄子短历时强降水平均频次更高,日变化更剧烈。八仙山和梁庄短历时强降水易发生在夜间时段尤其是后半夜,而白庄子易发生在白天午后时段。即蓟州区短历时强降水夜发性特征最突出的区域在北部半山区,而南部平原短历时强降水白天较频繁。



(a) 逐月变化



(b) 逐时变化

图 11 蓟州区 3 个半山地形代表站短历时强降水多年累计频次时间变化曲线

蓟州区短历时强降水与半山地形关系紧密,北部半山区海拔高、地形梯度大,同时也是降水中心。高大地形对大气运动有动力抬升作用,南来暖湿气流遇到蓟州区北部半山地形之后在山前抬升,易引发气旋式辐合。山地不同高度接受的太阳辐射和气流抬升所释放的潜热不同,当蓟州区低层处于不稳定层结时,垂直环流发展。地形动力和热力效应对降水的增幅作用使得蓟州北部半山区降水偏多,因此蓟州区短历时强降水多发生于山脉迎风坡。尉英华^[24]研究发现风场与地形相配合的地形抬升是海河流域北系山脉迎风坡降雨增幅的主要动力因子,上升运动区对应燕山山脉迎风坡坡度较大地区。

5 结论

利用半山地形下蓟州区 39 个区域自动气象站小时降水量资料,基于对 2014–2019 年汛期蓟州区降水背景的分析,定义各站短历时强降水阈值,并给出短历时强降水空间分布、年际、月际和日变化等特征,得出以下结论:

(1) 暴雨对蓟州半山区雨量累计的贡献高达 34.6%。累计降水小时数、年均降水量、小时平均降水强度分布等均是北部半山区数值高于南部平原。最大小时降水量存在极端性,分布复杂。

(2) 各站小时降水量 99% 分位数作为短历时强降水阈值更合理。87% 测站阈值集中在 20 ~ 30 mm/h,西南部的杨津庄镇 (31 mm/h) 和东北的八仙山 (32.2 mm/h) 各为两个强中心。阈值分布与地形山脉走势一致,多集中在半山地形的迎风坡。

(3) 短历时强降水具有明显的年、月和日变化。厄尔尼诺年 (2014–2016 年) 频次偏少,而拉尼娜年 (2017–2019 年) 偏多,高频时段集中在 7 月上旬–8 月中旬。逐月空间分布表明短历时强降水事件中心自南部平原向西北高地势区移动,最后快速南撤。短历时强降水的夜发性特征显著,3–5 时为高发时段,随后频次下降,7 时最不活跃。频次日变化空间上也具有传播特征,午后开始逐渐向北传播,清晨之后南退。

(4) 短历时强降水分布与当地半山地形关系密切。多年累计降水量和频次随地势升高而递增。北部高海拔半山区短历时强降水最频发,集中于 7、8 月,也是强降水夜发性最显著的区域,其日变化最剧烈。这是半山地形动力热力效应共同作用的结果。

参考文献:

- [1] 高润祥,司鹏,宋明,等. 近 50 年天津地区局地气候变化特征分析[J]. 气候与环境研究,2011,16(2):159–168.
- [2] 翟盘茂,潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报,2003,58(增1):1–10.
- [3] 蔡敏,丁裕国,江志红. 我国东部极端降水时空分布及其概率特征[J]. 高原气象,2007,26(2):309–318.
- [4] 刘海文,丁一汇. 华北汛期降水月内时间尺度周期振荡的年代际变化分析[J]. 大气科学,2011,35(1):157–167.
- [5] 燕亚菲,谈建国,崔林丽,等. 利用葵花 8 号 (Hi-mawari-8) 高时空分辨率的红外亮温资料估计台风莫兰蒂的短历时强降水及其演变[J]. 气象,2019,45(3):318–329.
- [6] 梁维亮,黄荣,翟丽萍,等. 广西短历时强降水雷达定量降水估测方法试验[J]. 灾害学,2016,31(2):59–62.
- [7] 王国荣,王令. 北京地区夏季短历时强降水时空分布特征[J]. 暴雨灾害,2013,32(3):276–279.
- [8] 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与中尺度对流系统日变化关系分析[J]. 气象学报,2013,71(3):367–382.
- [9] 田付友,郑永光,毛冬艳,等. 基于 Γ 函数的暖季小时降水概率分布[J]. 气象,2014(7):787–795.
- [10] Li J, Yu R, Yuan W, et al. Changes in Duration-Related Characteristics of Late-Summer Precipitation over Eastern China in the Past 40 Years[J]. Journal of Climate, 2011, 24(21):5683–5690.
- [11] Li J, Yu R, Sun W. Duration and seasonality of hourly extreme rainfall in the central eastern China[J]. Journal of Meteorological Research, 2014, 27(6):799–807.
- [12] 熊明明,徐姝,李明财,等. 天津地区小时降水特征分析[J]. 暴雨灾害,2016,35(1):84–90.
- [13] 靳振华,庄庭,卜清军. 天津沿岸一次极端短历时强降水的中尺度分析和雷达回波特征[J]. 天津科技,2018,45(7):82–85.
- [14] Bonsal B R, Zhang X, Vincent L A, et al. Characteristics of Daily and Extreme Temperatures over Canada[J]. Journal of Climate, 2001, 14(9):1959–1976.
- [15] 郝立生,丁一汇. 华北降水变化研究进展[J]. 地理科学进展,2012,31(5):593–601.
- [16] 靳泽辉,苗峻峰,张永瑞,等. 华北地区极端降水变化特征及多模式模拟评估[J]. 气象科技,2017,45(1):91–100.
- [17] 龚道溢,王绍武. 近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响[J]. 科学通报,1999,44(3):315.
- [18] 李明财,段丽瑶,杨艳娟,等. 天津市夏季降水日变化特征[J]. 气象与环境学报,2009,25(6):11–14.
- [19] 宇如聪,李建. 中国大陆日降水峰值时间位相的区域特征分析[J]. 气象学报,2016,74(1):18–30.
- [20] Yu R, Yuan W, Li J, et al. Diurnal phase of late-night against late-afternoon of stratiform and con-

- vective precipitation in summer southern contiguous China[J]. *Climate Dynamics*, 2009, 35(4): 567–576.
- [21] He P, Chen G. Diurnal Variations of Precipitation over North China Regulated by the Mountain-plains Solenoid and Boundary-layer Inertial Oscillation[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2019, 36(8): 863–884.
- [22] Yu R, Zhou T, Xiong A, et al. Diurnal variations of summer precipitation over contiguous China[J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(1): 223–234.
- [23] 卢萍, 宇如聪, 周天军. 2003年8月“巴蜀夜雨”过程的模拟和分析研究[J]. *气象学报*, 2008, 66(3): 371–380.
- [24] 尉英华, 陈宏, 刘一玮, 等. 地形影响下海河流域北系强降水成因分析[J]. *气象与环境科学*, 2018, 41(3): 81–88.

Study on the Characteristics of Short-time Severe Precipitation during the Rainy Season in the Half-Mountain Topography of Jizhou District

ZOU Shuangze¹, BAI Aijuan¹, YUAN Shujie¹, JIN Haidong², LIU Zhenyuan², HUANG Jinyin²

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Meteorological Service of Jizhou District Tianjin, Tianjin 301900, China)

Abstract: In order to better grasp the characteristics of short-duration heavy rainfall in Jizhou District, Tianjin under the typical half-hill terrain, the hourly precipitation data of 39 regional automatic weather stations in Jizhou District during the flood season (June–September) from 2014 to 2019 were used to statistically analyze Jizhou District. The multi-temporal and spatial-scale variation characteristics of the short-duration heavy rainfall during the flood season. The results show that: (1) Heavy rain contributes as high as 34.6% to the accumulation of rainfall, and the northern half-mountain area is the precipitation center; (2) The 99% quantile calculation of hourly precipitation at each station The high value area of the short-duration heavy precipitation threshold is located on the windward slope of the semi-mountain terrain, and 87% of the station thresholds are concentrated at 20–30 mm/h; (3) Early July to mid-August is the period of high occurrence of short-duration heavy precipitation events in Jizhou District. Under the semi-mountain terrain, the monthly short-duration heavy rainfall moved from the southern plain to the northwest high terrain area, and finally withdrew quickly south. The diurnal variation of short-duration heavy precipitation shows that the night-occurrence of heavy precipitation is significant, with the peak at 3–5 o'clock being the most prominent; (4) Short-duration heavy precipitation is closely related to the mountain topography, with the most frequent occurrence and the most intense daily variation in the northern high-altitude and mid-mountainous areas, Focus on the latter half of the night.

Keywords: meteorology; short-duration heavy precipitation; mountainous terrain; Jizhou; threshold; multi-temporal and spatial distribution; diurnal variation