

李博渊,赵江伟,李新豫,等.新疆北部暖季短时强降水的时空分布特征[J].沙漠与绿洲气象,2021,15(2):34-41.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2021.02.005

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



新疆北部暖季短时强降水的时空分布特征

李博渊^{1,2},赵江伟²,李新豫²,王 勇^{3*}

(1.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆 乌鲁木齐 830002;2.阿勒泰地区气象局,新疆 阿勒泰 836500;
3.新疆生态气象与卫星遥感中心,新疆 乌鲁木齐 830002)

摘要:基于2013—2019年暖季新疆北部518个自动站逐时降水资料,运用常规统计、归一化及其偏离程度、降水集中度(PCD)和集中期(PCP)等方法,研究该区短时强降水(Flash Heavy Rain, FHR)时空分布和统计特征。结果表明:(1)近7a新疆北部FHR发生频次年变化大,2016年最多,2014年最少,前者是后者的3.9倍。(2)FHR集中发生在6—7月,6月下旬为峰值,且日变化呈明显的单峰型,峰值主要在17:00—19:00。(3)FHR发生频次集中在山脉的迎风坡和喇叭口地形附近。(4)FHR PCD呈现由南向北、由西向东逐渐集中,阿勒泰地区最集中;PCP自伊犁河谷至天山北坡,从克拉玛依向西、向北逐渐推迟,阿勒泰地区最晚。(5)PCD伊犁河谷、天山北坡年变化呈增大的趋势,其它区域呈减小的趋势。PCP阿勒泰地区、博州、天山北坡年变化呈增大趋势,其它区域呈减小的趋势。

关键词:新疆北部;短时强降水;时空分布;统计特征

中图分类号:P468.024

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2021)02-0034-08

短时强降水(Flash Heavy Rain, FHR)是强对流天气的一类,具有突发性强、持续时间短、来势迅猛等特点,常伴有雷电、大风、冰雹等灾害性天气,易造成城市内涝、山体滑坡、泥石流等灾害,严重影响农牧业生产、人民财产和生命安全,常因造成的损失重大而备受关注。2016年7月31日—8月1日新疆伊犁河谷出现极端特大暴雨,多站日雨量破历史极值,最强日降水发生在巩留县库尔德宁,达100.1 mm;此次极端暴雨具有局地性、极端性、受灾点多等特点,造成民房、农田、牲畜、交通、水利设施等巨大的损失^[1-3]。

国内很多学者对不同范围FHR的时空分布做

过研究,结果表明其分布具有明显的区域特性。中国总体平均FHR发生频次日变化有3个峰值,主峰在16:00—17:00,次峰在01:00—02:00,第3峰值在早晨07:00—08:00;月变化7月最为活跃,其次为8月,7月第4候最活跃^[4-5]。就各区域而言,中国南方FHR日变化具有双峰特征,即早晨、午后至傍晚各有一个峰值^[6-8]。西南地区 and 青藏高原FHR日变化具有明显的夜发特性^[9-11]。西北地区东部FHR日变化呈3峰型,峰值分别出现在07:00、18:00、22:00;空间分布短时强降水集中度(Precipitation-concentration Degree, PCD)由东南向西北越来越集中,短时强降水集中期(Precipitation Concentration Period, PCP)自东向西逐步推迟^[12]。内蒙古地区及冷涡背景下造成的东北、华北FHR最容易发生在午后至傍晚^[13-14]。上述地区FHR月分布主要集中在7、8月;在地域分布上FHR主要发生在山前迎风坡、向风敞开的狭窄河谷或喇叭口等特殊地形附近。

新疆的气象工作者多年来对暴雨研究主要集中在大尺度环流背景、水汽来源及输送等方面^[3,15-17]。

收稿日期:2020-04-20;修回日期:2020-06-30

基金项目:国家自然科学基金(U2003106, 41975146);中亚大气科学研究基金(CAAS201921)

作者简介:李博渊(1988—),男,工程师,主要从事预报服务及相关的研究。E-mail: lbyxjalt@163.com

通信作者:王勇(1968—),男,正高级工程师,主要从事气象卫星及遥感应用研究。E-mail: 443409880@qq.com

近年来,随着新疆区域自动站网逐步建立,逐时气象资料在日常预报(尤其是降水资料短临预警)业务中成为不可或缺的重要资料,基于逐时降水资料的研究工作也逐步开展起来^[18-22],为预报员了解新疆夏季降水日变化特征、演变规律以及开展精细化降水预报提供支撑。同时,对 FHR 个例及数值模拟^[1-3]、FHR 过程的概念模型及环境参数特征^[23-27]等也开展了一些研究,对南疆 FHR 研究表明,7 月和 8 月上旬发生频繁,日变化呈明显的双峰特征,在凌晨、午后至傍晚较易发生^[27]。但上述已有 FHR 的研究主要针对中国中东部和南疆地区,利用区域自动站资料对新疆北部 FHR 的研究较少,尤其是 FHR 时空分布。新疆北部位于中国西北部,属干旱半干旱区,地形复杂,有高山、戈壁、沙漠、湖泊等,暖季 FHR 频发。因此,有必要对新疆北部暖季 FHR 开展统计分析,探讨新疆北部 FHR 时空分布特征及其与地形的关系,以期新疆短时强降水预报预警提供参考依据。

1 研究区域、资料及方法

1.1 研究区域概况

天山山脉、阿尔泰山、沙吾尔山脉及其余山脉使新疆北部形成两山夹一盆的特殊地形,除山脉和准噶尔盆地地形外,还有向西开口的伊犁河谷、塔额盆地,向东开口的博州(博尔塔拉蒙古自治州)等特殊地形(图 1),以及博州赛里木湖、艾比湖和阿勒泰境内的乌伦古湖等有名湖泊。特殊的地形地貌使新疆北部降水机理复杂,为此,将天山北坡(包括塔城南部的乌苏市和沙湾县、石河子市、昌吉回族自治州、乌鲁木齐市)、伊犁(伊犁河谷)、博州、塔城北部(塔额盆地和和布克赛尔蒙古自治县)、克拉玛依市和阿勒泰地区为主要研究对象。

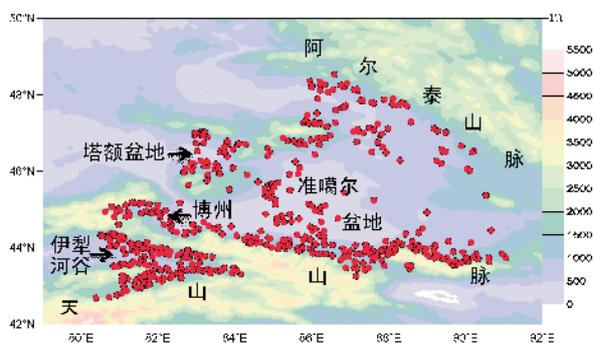


图 1 新疆北部 518 个气象观测站点分布及地形

1.2 资料及方法

中国目前尚无统一的短时强降水定义标准,中央气象台和中国中东部地区气象部门均将 1 h 降水量 ≥ 20 mm 的降水记为短时强降水。根据尺度分析和降水量与垂直速度的关系, ≥ 10 mm/h 的降水一般是由中小尺度天气系统造成的,而 ≥ 50 mm/h 的降水主要是由小尺度天气系统导致^[4]。根据多年的预报服务实践、暴雨洪水成灾事实和干旱半干旱地区暴雨特点,结合新疆预报业务,新疆气象部门将该标准调整为 1 h 降水量 ≥ 10 mm^[26-28]。因此,本文的短时强降水时空分布特征,按雨强 ≥ 10 mm/h 进行统计分析。

采用经过新疆气象信息中心筛选、整理、检测,并剔除不完整的资料及错误资料,严格实现数据质量控制的新疆北部(范围是 $79^{\circ}\sim 92^{\circ}\text{E}$, $42^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$) 50 个国家站和 468 个区域自动站,共 518 个气象观测站 2013—2019 年 5—9 月(简称“暖季”)逐时整点前 1 h 降水资料,筛选出雨强 ≥ 10 mm/h 的短时强降水事件,运用常规统计、归一化及其异常等方法对新疆北部及各区域短时强降水的时空特征进行分析,并用 PCD 和 PCP 方法,定量分析其非均匀性。

需要说明的是,由于所用资料中人为地将降水资料整理成整点资料,这可能导致部分连续 1 h 超过指定阈值的降水量被划分到两个时段而未达到本文所确定的短时强降水阈值标准,因此,统计的短时强降水频率要低于实际发生的频率。

对短时强降水日变化采用归一化处理^[29]。 $D_a(n)$ 代表归一化 FHR 逐时序列。定义为:

$$D_a(n) = \frac{R_a(n)}{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_a(i)} - 1 \quad (1)$$

式中, $R_a(n)$ 、 $R_a(i)$ 为第 n 时和第 i 时 FHR 发生频次, n, k 取值是 1、2、 \dots 、24。 $D_a(n)$ 为正,表示该时次的 FHR 发生频次大于平均频次, $D_a(n)$ 值越大,表明 FHR 发生频次偏离程度越大,反之亦然。当 $D_a(n)$ 为 0,表示短时强降水发生频次在该时刻为平均值。当 $D_a(n)$ 在任意一时刻都为 0,则表示该 FHR 序列没有日变化特征。

短时强降水频次归一化异常^[30]采用公式

$$p'(x) = \frac{p(x) - \overline{p(x)}}{\sigma[p(x)]} \quad (2)$$

对不同时刻短时强降水频次, $p(x)$ 表示发生次数; $\overline{p(x)}$ 表示短时强降水发生频次的平均值; $\sigma[p(x)]$ 表示短时强降水发生频次的标准偏差; $p'(x)$ 表示不同时刻 FHR 发生频次的异常幅度。

参考文献[31]的分析方法,对短时强降水进行PCD和PCP的分析,表达式为

$$P_{CDi} = \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{R_i} \quad (3)$$

$$P_{CPi} = \arctan\left(\frac{R_{xi}}{R_{yi}}\right) \quad (4)$$

$$R_{xi} = \sum_{i=0}^n (r_{ij} \cdot \sin\theta_j), \quad R_{yi} = \sum_{i=0}^n (r_{ij} \cdot \cos\theta_j) \quad (5)$$

P_{CDi} 和 P_{CPi} 分别为研究时段内第*i*年FHR频次的集中度和集中期; R_i 为研究时段内第*i*年FHR发生总频次; r_{ij} 为第*i*年第*j*旬所对应的方位角(整个研究时段的方位角设为 360°)FHR发生总频次; i 为年份(2013、2014、...、2019); j 是旬序($j=1、2、3、\dots、15$)。由(3)和(4)式可知,PCD能够反映FHR频次在研究时段内各个旬的集中程度。PCD越大,说明研究时段内各个旬的短时强降水频次差异越显著,即短时强降水在年内的发生时间越集中。PCP是合成向量的方位角,表征每个旬FHR合成后的总体效应,即向量合成后重心所指示的角度,反映暖季最多FHR出现在哪一句。

2 结果与分析

2.1 时间变化特征

新疆北部暖季FHR近7a来的年变化幅度较大(图2a)。该区FHR2014年发生频次最少,共发生210次;2016年为新疆北部FHR发生频次的峰值年,共发生了824次,是2014年的3.9倍。2017年明显减少,为466次,2017—2019年略呈减少的趋势。这是因为2014年是超强厄尔尼诺现象的开始年份,2015年春季之后发展形成强超强厄尔尼诺事件,2016年1月开始迅速减弱^[32]。庄晓翠等^[33]、方国华等^[34]研究表明,厄尔尼诺当年或结束年有利于新疆北部夏季降水偏多,开始年或次年有利于降水偏少。因而造成2014年新疆北部FHR发生频次异常偏少,比近7a年平均发生频次(668次)少458次;2016年FHR发生频次异常偏多,偏多156次。

新疆北部暖季FHR发生频次月际分布上呈单峰型特征(图2b),5月开始该区FHR发生频次迅速增多,6月达到峰值,之后逐月减小,9月最少。5月短时强降水发生的频次为369次,6月迅速增多,共发生1267次;7月次之,为993次;8、9月快速减小,分别为596、114次。由近7a新疆北部FHR旬发生频次的变化分布(图3)可知,5月FHR波动增加,下旬之后逐旬增加,至6月下旬达峰值,为545

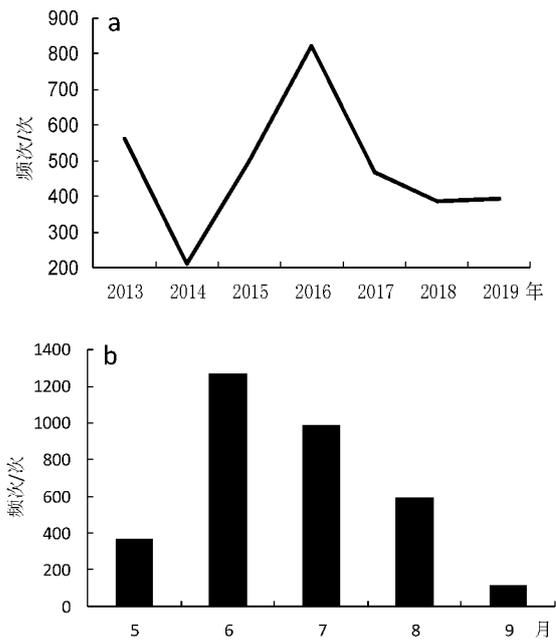


图2 近7a暖季新疆北部FHR事件发生频次的年变化(a)和月变化(b)

次;7月上旬至9月下旬新疆北部FHR波动减少,9月上旬最少,仅22次;呈现出迅速增多,缓慢减少的特点;与中国中东部短时强降水7月为峰值,呈现出缓慢增多、迅速减少的特点不同^[4]。张家宝等^[15-16]研究表明,5月副热带西风急流位于南疆、强度较弱,6月初迅速北跳增强至天山山脉,且整个夏季都维持在天山山脉附近,9月开始缓慢南撤。夏季500hPa副热带锋区(南支)位于 45°N 附近;6月极锋锋区位于北欧至新疆北部(北支),7月北上至北冰洋沿岸,8月开始回到6月的位置。因此,6月新疆北部受南、北2支锋区影响,FHR发生频次明显增多;7月受南支锋区影响,全年最热,热力不稳定性最大,FHR发生仅次于6月;8月也受2支锋区影响,但热力条件差于6月,FHR发生位于第三。另外,张云惠等^[35]研究表明,新疆夏季降水主要受中亚低涡影响,以6月

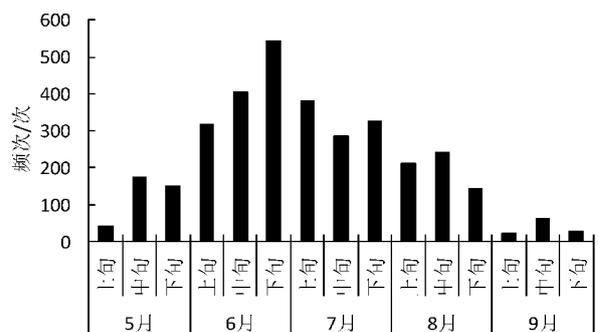


图3 近7a暖季新疆北部短时强降水事件发生频次的旬变化

最盛,7月次之。可见,新疆北部 FHR 主要发生在 6—7 月(占 67.7%),6 月下旬最多,8 月明显减少。与夏季副热带西风急流的活跃、南北支锋区在北疆汇合、中亚低涡的活跃及热力条件有关。

2013—2019 年暖季新疆北部 FHR 日变化具有明显单峰型特征(图 4),FHR 归一化分布图上(图 4a),FHR 午后开始迅速增多。归一化频次(归一化值)14:00—15:00 由 -0.45 快速增大到 0.04,16:00—23:00 为 0.65~1.13;峰值 0.93~1.13 出现在 17:00—19:00,偏离的幅度达 137%~167%,在峰值附近偏离程度相对平稳;峰点在 19:00 为 1.13(图 4b)。00:00—01:00 由 0.35 迅速下降到 -0.08,03:00—14:00 为 -0.34~-0.85,10:00 为弱小峰值(-0.85)。06:00—09:00 和 11:00—13:00 在 -0.64~-0.74(图 4a),偏离的幅度为 -95%~-110%,在谷值附近,偏离幅度变化较平稳;谷点在 08:00 为 -0.74(图 4b)。暖季新疆北部短时强降水事件日变化归一化演变与偏离幅度的变化结果有很好的—致性,上述结论与陈春艳等^[18]、李博渊等^[19]研究的新疆夏季降水日变化特征的结论基本—致。新疆北部位于中高纬度,暖季昼长夜短,昼夜温差大;白天升温迅速,午后至傍晚热力不稳定最强;傍晚,山坡由于辐射降温出现山

风环流,低层暖湿气流抬升触发不稳定能量;这些是新疆北部 FHR 午后至夜间频发的主要原因。

2.2 空间分布特征

暖季新疆北部短时强降水发生频次与地势分布特征匹配比较—致,近 7 a 来,发生频次最多的为 45 次,位于博州温泉县哈日布呼镇珠斯仑站,该站位于喇叭口地形附近。FHR 发生频次 ≤ 10 次的站点有 427 个,各地均有发生;发生在 11~20 次的站点有 72 个,主要分布在伊犁河谷、博州和天山北坡,其次是塔城北部,阿勒泰地区较少; >20 次的站点有 17 个(图 5a),主要分布在伊犁河谷、博州西部、天山北坡,其它区域在研究时段内没有发生过。新疆北部各站 FHR 平均雨强在 10.1~30.1 mm/h,因此,本文按 10.1~20 mm/h 和 20.1~30.1 mm/h 两个级别来讨论该区域平均雨强的分布特征。 ≤ 20 mm/h 的站点有 481 个; >20 mm/h 的站点有 36 个,主要分布在天山北坡及其以北的北疆地区,伊犁河谷和博州发生站点较少(图 5b)。FHR 主要发生在沿山—带迎风坡、喇叭口地形及湖泊与陆地的交界附近,主要集中在伊犁河谷、天山北坡、向东开口的博州、向西开口的塔额盆地(塔城北部)以及阿尔泰山和沙吾尔山等地沿山—带;准噶尔盆地较少。FHR 高频值均在迎

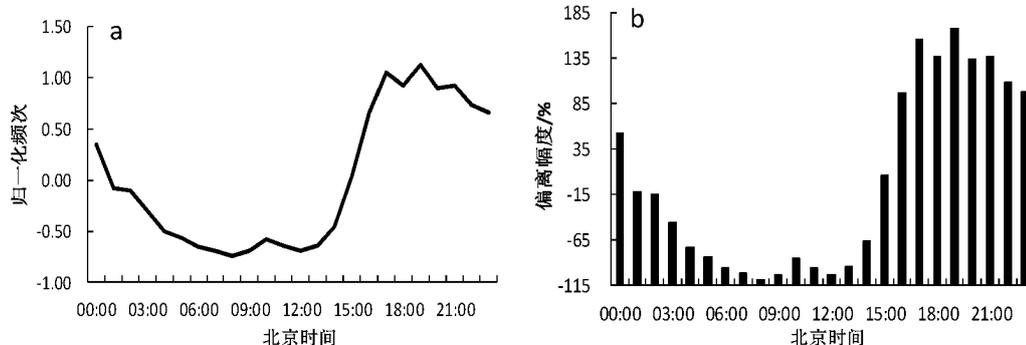


图 4 近 7 a 暖季新疆北部 FHR 事件日变化演变归一化(a)、偏离幅度(b)

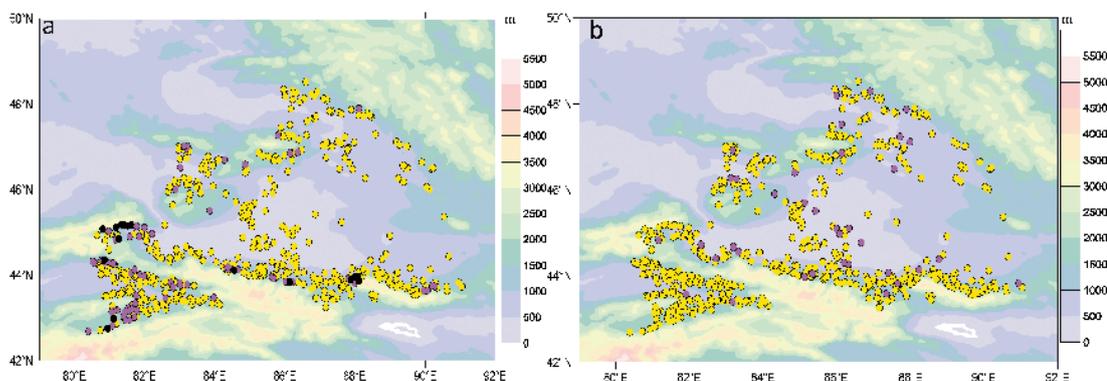


图 5 近 7 a 暖季新疆北部 FHR 发生频次空间分布(a)和平均雨强(b)

(a 中,黄色为 1~10 次的站,红色为 11~20 次的站,黑色为 >20 次的站;b 中,黄色为 <20 mm/h 的站,红色为 ≥ 20 mm/h 的站;填色为地形高度)

风坡和喇叭口地形附近,表明特殊地形对气流的强迫抬升作用很明显。平均雨强较强的区域主要分布在天山北坡及其以北的北疆地区。

2.3 气候特征

特殊的地形地貌使新疆北部降水机理复杂,为了更好地分析 FHR 气候特征,将新疆北部分为阿勒泰、塔城北部、博州、伊犁河谷、克拉玛依和天山北坡 6 个区域。近 7 a 暖季新疆北部短时强降水共发生 3 339 次,其中伊犁河谷发生最多(1 141 次),天山北坡次之(956 次),克拉玛依最少(62 次)。但从近 7 a 各区域各测站 FHR 发生的平均站次来看,博州平均站次最多,达 10.4 次/站;伊犁河谷次之,为 8.0 次/站,克拉玛依最少,仅为 2.3 次/站(表 1)。博州是向东开口的喇叭口地形,伊犁河谷是典型的向西开口的喇叭口地形,均有利于水汽在特殊地形附近辐合抬升。另外,博州境内有高山湖泊——赛里木湖和艾比湖,因此,该区发生 FHR 平均站次较多。伊犁河谷地处西风气流迎风坡,同时又是典型的向西开口的喇叭口地形,地形动力抬升作用也较强,因而 FHR 发生的平均站次仅次于博州。塔城北部、天山北坡、阿勒泰地区主要是迎风坡,FHR 频次相对适中。克拉玛依地处塔城东部的吾尔喀什尔山背风坡和准噶尔盆地,故 FHR 频次最少。再次说明了新疆北部特殊地形对暖季 FHR 的发生起着决定性作用。

表 1 近 7 a 暖季新疆北部各区域短时强降水统计结果

	阿勒泰	塔城北部	博州	伊犁	克拉玛依	天山北坡
观测站数/站	76	57	44	142	27	172
短时强降水频次/次	338	385	457	1 141	62	956
平均频次/(次/站)	4.4	6.8	10.4	8.0	2.3	5.6

近 7 a 来,新疆北部各区域 FHR 发生频次 PCD 平均值的趋势和大小均不相同。新疆北部 PCD 平均值为 0.47,说明短时强降水频次年内发生时间相对分散,博州最明显,伊犁河谷和塔城北部次之。由表 2 可知,阿勒泰地区 FHR 发生频次的 PCD 最大,平均值达 0.76,博州最小,为 0.40,伊犁河谷和塔城北部为次小,为 0.48,克拉玛依和天山北坡 PCD 平均值分别是 0.57 和 0.51;表明新疆北部 FHR 年内发生频次,最北的阿勒泰地区最集中,而喇叭口地形的博州、伊犁河谷和塔城北部相对分散,天山北坡和位于准噶尔盆地的克拉玛依相对较分散,即 FHR 年内集中程度由南向北、由西向东逐渐集中。

表 2 近 7 a 新疆北部各区域平均短时强降水频次的 PCD 和 PCP

	阿勒泰	塔城北部	博州	伊犁	克拉玛依	天山北坡	新疆北部
PCD	0.76	0.48	0.4	0.48	0.57	0.51	0.47
PCP/(°)	179.2	165.2	172.2	144.9	160.8	168.5	162.2

从年变化曲线(图 6a)来看,近 7 a 新疆北部 PCD 变化呈波动减少的趋势,PCD 平均值 2014 年最大(0.64),即 FHR 出现时间相对集中,其它年份 PCD 平均值在 0.36~0.47,即 FHR 出现时间相对分散,2018 年 PCD 最小(0.36),说明北疆 FHR 年内发生频次的集中程度越来越弱。阿勒泰地区 PCD 为 M 型呈略减小的趋势,2019 年最小(0.55),其它年份为 0.67~0.91,2018 年最大(0.91),其次是 2015 年,为 0.89(图 6b)。塔城北部 PCD 呈波动减少的趋势,PCD 平均值 2014 年最大(0.66),其它年份为 0.23~0.59,2018 年 PCD 最小,为 0.23(图 6c)。博州 PCD 呈波动减少的趋势,PCD 平均值 2014 年最大(0.66),其它年份为 0.20~0.47,小于塔城北部,说明博州和塔城北部相似,尤其是 2018 年 PCD 最小,为 0.20(图 6d)。伊犁河谷 PCD 呈增大的趋势,PCD 平均值 2013 年最小(0.22),其它年份为 0.49~0.57,2015 年 PCD 最大,为 0.57(图 6e)。克拉玛依 PCD 年际波动呈 W 的减小趋势,PCD 平均值 2016 年最大(0.83),其它年份为 0.31~0.69,2015、2018 年 PCD 最小,均为 0.31,是 FHR 发生相对最分散的年份(图 6f)。天山北坡 PCD 呈波动增加的趋势,PCD 平均值 2014 年最大(0.71),其它年份为 0.37~0.66,2015 年 PCD 最小,为 0.37,是 FHR 发生相对最分散的年份(图 6g)。阿勒泰、塔城北部、博州、克拉玛依 FHR 发生频次 PCD 年变化呈波动减小的趋势,说明上述区域 FHR 年内发生频次的集中程度越来越弱,尤其是博州。伊犁河谷和天山北坡 FHR 发生频次 PCD 年变化呈波动增多的趋势,说明这两个地区 FHR 年内发生频次的集中程度越来越强,尤其是伊犁河谷(图 6)。

暖季新疆北部平均 PCP 主要在 144°~180°,表明新疆北部暖季短时强降水集中发生的时间在 6 月中旬到 7 月中旬,其中伊犁河谷平均 PCP 最小,为 144.9°,表明该区域 FHR 暖季集中发生的时间最早(6 月中旬前后),其它区域均相对较晚;阿勒泰 PCP 最大(179.2°),表明该区域暖季 FHR 集中发生的时间最晚(7 月上旬前后)。

近 7 a 新疆北部 PCP 年变化呈略有减少趋势, FHR 集中期 PCP 在 $133^{\circ}\sim 191^{\circ}$ 变化, 2017 年 6 月中旬前后最小, 即集中程度出现得最早, 2018 年 7 月中旬前后最大, 即集中程度最晚, 说明在研究时段内暖季北疆 FHR 集中发生的时间越来越早 (图 6a)。分析近 7 a 阿勒泰地区 FHR 的 PCP 年变化曲线(图 6b)可知, PCP 变化呈增加趋势, 并在 $163^{\circ}\sim 205^{\circ}$ 变化, 最小值出现在 2017 年 7 月上旬前后, 最大值出现在 2019 年 7 月下旬前后, 说明阿勒泰地区 FHR 发生集中程度呈推后的趋势。塔城北部 PCP 的年变化趋势与北疆类似, 呈减小的趋势, 其值在 $138^{\circ}\sim$

226° 变化, 最小值出现在 2014 年 7 月中旬前后, 最大值出现在 2013 年 8 月上旬前后(图 6c), 说明塔城北部 FHR 发生集中程度呈提前的趋势。博州 PCP 的年变化趋势与阿勒泰类似, 呈增多的趋势, 其值在 $112^{\circ}\sim 230^{\circ}$ 变化, 最小值出现在 2015 年 6 月中旬前后, 最大值出现在 2018 年 8 月中旬前后(图 6d), 说明博州 FHR 发生集中程度呈推后的趋势。伊犁河谷 PCP 的年变化趋势与塔城北部类似, 呈减小的趋势; 其值在 $104^{\circ}\sim 182^{\circ}$ 变化, 最小值出现在 2017 年 6 月中旬前后, 最大值出现在 2013 年 7 月中旬前后(图 6e), 说明伊犁河谷 FHR 年内发生集中程度呈提前

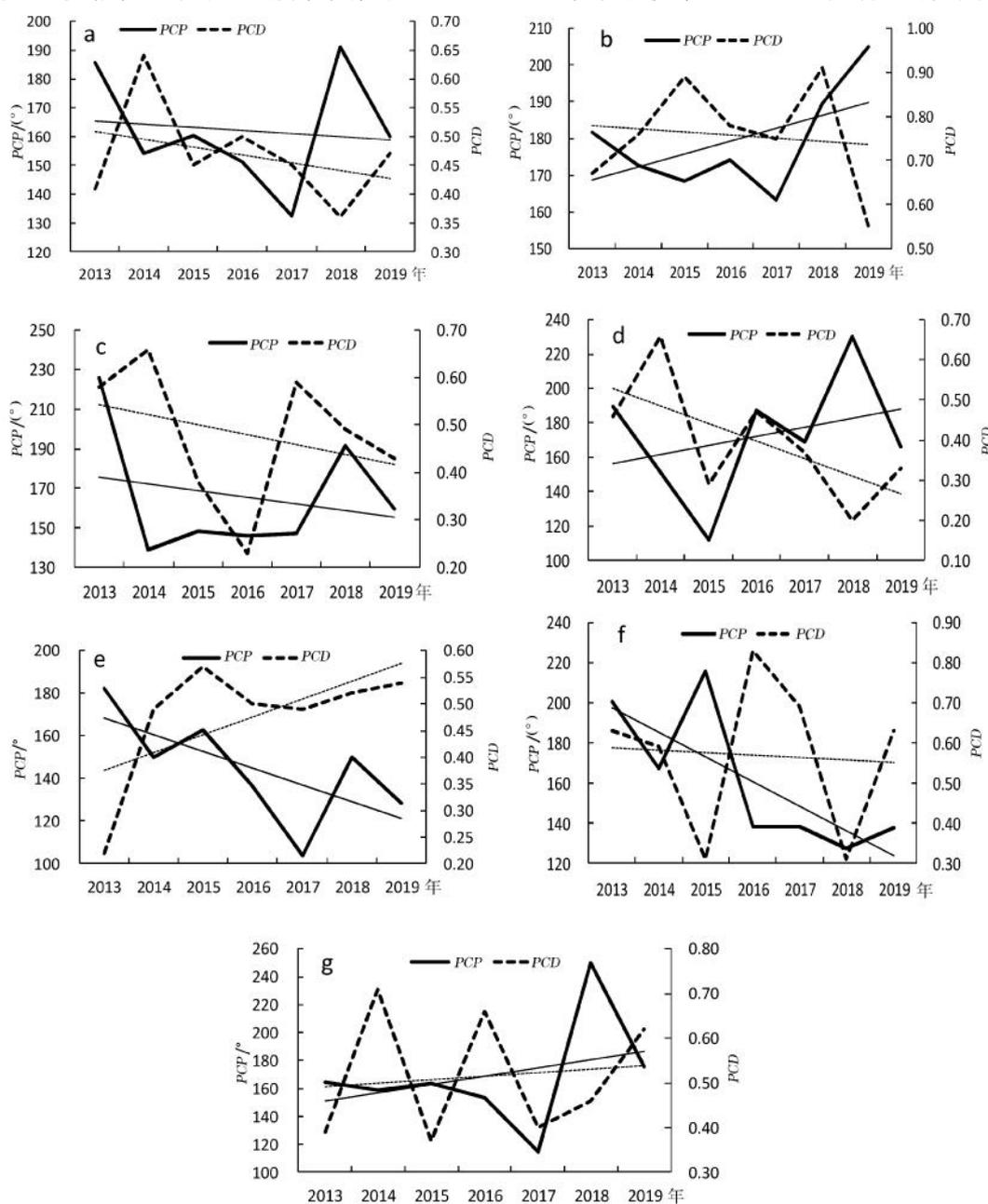


图 6 近 7 a 新疆北部及各区域短时强降水频次的 PCD、PCP 年变化 (a 为北疆, b 为阿勒泰, c 为塔城北部, d 为博州, e 为伊犁, f 为克拉玛依, g 为天山北坡)

的趋势。克拉玛依 PCP 的年变化趋势与伊犁类似,呈减小的趋势,其值在 $127^{\circ}\sim 216^{\circ}$ 变化,最小值出现在 2018 年 6 月中旬前后,最大值出现在 2015 年 7 月下旬前后(图 6f),说明克拉玛依 FHR 年内发生集中程度呈提前的趋势。天山北坡 PCP 的年变化趋势与阿勒泰类似,呈增多的趋势,其值在 $115^{\circ}\sim 250^{\circ}$ 变化,最小值出现在 2017 年 6 月中旬前后,最大值出现在 2018 年 8 月上旬前后,说明天山北坡 FHR 年内发生集中程度呈推后的趋势(图 6g)。由此可见,近 7 a 阿勒泰、博州和天山北坡 FHR 发生的 PCP 年变化呈增加的趋势,表明暖季 FHR 年内集中发生的时间越来越晚;塔城北部、伊犁河谷和克拉玛依 FHR 发生的 PCP 年变化呈减少趋势,表明暖季 FHR 年内集中发生的时间越来越早。

3 结论

利用新疆北部 518 个国家站和区域自动站 2013—2019 年暖季 5—9 月逐时降水资料,通过常规统计、归一化及其偏离程度、降水集中度(PCD)和集中期(PCP)等方法得出以下结论:

(1)2013—2019 年暖季新疆北部 FHR 发生频次年变化大,2016 年最多,2014 年最少,前者是后者的 3.9 倍。FHR 集中发生在 6 月上旬至 7 月下旬,6 月下旬为峰值。FHR 日变化呈明显单峰型,峰值主要出现在 17:00—19:00。

(2)近 7 a 新疆北部 FHR 的空间分布与地形密切相关,主要集中在伊犁河谷、天山北坡、向东开口的博州及向西开口的塔额盆地等特殊地形附近。短时强降水的高频区位于山脉迎风坡和喇叭口地形附近,说明特殊地形对气流的强迫抬升作用明显。

(3)在空间分布上,新疆北部 FHR 年内发生频次 PCD 由南向北、由西向东逐渐集中,以阿勒泰地区最集中,克拉玛依依次之,博州、伊犁河谷、塔城北部相对均匀。PCP 在空间分布上,伊犁河谷至天山北坡逐渐推迟,由克拉玛依市向西、向北逐渐推迟。

(4)新疆北部 FHR 发生频次 PCD 伊犁河谷、天山北坡年内集中程度越来越强,尤其是伊犁河谷;其它区域年内发生频次的集中程度越来越弱,尤其是博州。PCP 克拉玛依市、伊犁河谷和塔城北部呈提前趋势,而阿勒泰地区、博州、天山北坡呈推后趋势。

参考文献:

[1] 曾勇,杨莲梅.新疆西部一次极端暴雨事件的成因分析[J].高原气象,2018,37(5):1220-1232.
[2] 曾勇,周玉淑,杨莲梅.新疆西部一次大暴雨形成机理的

数值模拟初步分析[J].大气科学,2019,43(2):372-388.
[3] 刘晶,周玉淑,杨莲梅,等.伊犁河谷一次极端强降水事件水汽特征分析[J].大气科学,2019,43(5):959-974.
[4] 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.
[5] 徐慧燕,邓霞君,周国华.丽水地区短时强降水时空分布特征及成因分析[J].气象与环境科学,2016,39(3):44-49.
[6] 王婧羽,李哲,汪小康,等.河南省雨季短时强降水时空分布特征[J].暴雨灾害,2019,38(2):152-160.
[7] 沈伟,袁慧玲,晨曦,等.江苏暖季短时强降水的时空不均匀特征分析[J].大气科学学报,2017,40(4):453-462.
[8] 付超,湛芸,朱克云,等.2010—2016 年江西省暖季短时强降水特征分析[J].气象,2019,45(9):1238-1247.
[9] 毛冬艳,曹艳察,朱文剑,等.西南地区短时强降水的气候特征分析[J].气象,2018,44(8):1042-1050.
[10] 王芬,严小冬,谷晓平,等.2006—2015 年黔西南初夏短时强降水时空特征分析[J].暴雨灾害,2017,36(5):460-466.
[11] 朱平,俞小鼎,王振会,等.青海高原致灾性对流天气时空分布特征[J].干旱气象,2019,37(3):377-383.
[12] 白晓平,靳双龙,王士功,等.中国西北地区东部短时强降水时空特征[J].中国沙漠,2018,38(2):410-417.
[13] 马素艳,李林惠.呼和浩特近 50a 短时强降水统计特征[J].冰川冻土,2017,39(3):534-539.
[14] 国世友,钟幼军.2013 年 7 月 2—4 日东北冷涡暴雨天气分析[J].气象与环境科学,2017,40(3):101-109.
[15] 张家宝,邓子风.新疆降水概论[M].北京:气象出版社,1987.
[16] 张家宝.新疆短期天气预报指导手册[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,1986.
[17] 杨莲梅,张云惠,汤浩.2007 年 7 月新疆三次暴雨过程的水汽特征分析[J].高原气象,2012,31(4):963-973.
[18] 陈春艳,王建捷,唐冶,等.新疆夏季降水日变化特征[J].应用气象学报,2017,28(1):72-85.
[19] 李博渊,马宏君,庄晓翠,等.2010—2016 年新疆阿勒泰地区暖季降水日变化特征[J].干旱气象,2017,35(5):797-805.
[20] 李胜楠.库尔勒市主汛期降水日变化特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(2):63-68.
[21] 黄秋霞,方雯,王春燕,等.新疆昌吉市主汛期降水日变化特征[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(6):19-23.
[22] 赵克明.喀什市降水日变化特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(2):31-35.
[23] 庄晓翠,李健丽,李博渊,等.北疆北部 2 次区域性暴雨的中尺度环境场分析[J].沙漠与绿洲气象,2014,8(6):23-30.
[24] 庄晓翠,李如琦,李博渊,等.中亚低涡造成新疆北部区

- 域暴雨成因分析[J].气象,2017,43(8):924-935.
- [25] 庄晓翠,李博渊,秦榕,等.新疆东部一次区域极端暴雨环境场特征[J].高原气象,2020,39(6):947-959.
- [26] 庄晓翠,赵江伟,李健丽,等.新疆阿勒泰地区短时强降水流程型及环境参数特征[J].高原气象,2018,37(3):675-685.
- [27] 黄艳,俞小鼎,陈天宇,等.南疆短时强降水概念模型及环境参数分析[J].气象,2018,44(8):1033-1041.
- [28] 杨莲梅,张云惠,黄艳,等.新疆短时强降水诊断分析暨预报手册[M].北京:气象出版社,2020.
- [29] YU R C, LI J, YUAN W H, et al. Changes in characteristics of late-summer precipitation over eastern China in the past 40 years revealed by hour precipitation data[J].Journal of Climate,2010,23(23):3390-3396.
- [30] Zolina O, Simmer C, Guieu S K, et al. Changing structure of European precipitation: Longer wet periods leading to more abundant rainfalls [J].Geophysical Research Letters,2010,37(6):460-472.
- [31] ZHANG L J, QIAN Y E. Annual distribution features of the yearly precipitation in China and their interannual variations [J].Acta Meteorologica Sinica,2003,17(2):146-163.
- [32] 周楠,马霞,张翠.2014年超强厄尔尼诺与宁夏气候的关联分析[J].南方农业,2018,12(23):145-148.
- [33] 庄晓翠,安冬亮,刘大锋.阿勒泰地区夏季降水概念模型及预测模型[J].沙漠与绿洲气象,2008,6(2):16-18.
- [34] 方国华,丁紫玉,闻昕,等.厄尔尼诺事件及其对我国夏季降水时空分布的影响 [J].河海大学学报(自然科学版),2017,45(6):481-488.
- [35] 张云惠,杨莲梅,肖开提,多莱特,等.1971-2010年中亚低涡活动特征[J].应用气象学报,2012,23(3):312-321.
- [36] 鲁坦,徐文明,俞小鼎,等.2003—2014年河南春季暴雨特征及影响系统分析[J].气象与环境科学,2017,40(2):92-99.
- [37] 魏晓雯,梁萍,何金海.上海地区不同类型短时强降水的大尺度环流背景特征分析[J].气象与环境科学,2016,39(2):69-75.

Spatial and Temporal Characteristics of Warm Season Flash Heavy Rain in Northern Xinjiang

LI Boyuan^{1,2}, ZHAO Jiangwei², LI Xinyu², WANG Yong³

(1. Institute of Desert Meteorology of China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China;

2. Altay Regional Meteorological Bureau, Altay 836500, China;

3. Xinjiang Ecological Meteorology and Satellite Remote Sensing Center, Urumqi 830002, China)

Abstract Based on the hourly precipitation data of 518 automatic stations in the warm season from 2013 to 2019 in the north of Xinjiang. Using conventional statistics, normalization and its deviation degree, precipitation concentration degree (PCD), concentration period (PCP), and other methods, the spatial-temporal distribution and statistical characteristics of flash heavy rain (flash heavy rain, FHR) in this area were studied. The results showed that: (1) In the past seven years, the annual frequency of FHR had changed greatly in Northern Xinjiang, the most in 2016 and the least in 2014, and the former is 3.9 times higher than the latter. (2) FHR mainly occurred from June to July, it peaked in late June, and the daily variation was unimodal, the peak value appeared mainly from 17:00 to 19:00. (3) The frequency of FHR was concentrated near the windward slope and the bell mouth of the mountain. (4) FHR PCD was gradually concentrated from south to north and from west to east, Altay was the most concentrated; PCP was from Ili River Valley to the north slope of Tianshan Mountains, From Karamay to the west and north, it was gradually delayed, Altay was the latest. (5) Annual change of PCD in the valley of Ili and the north slope of Tianshan Mountain were increasing, other areas showed a decreasing trend. Annual change of PCD showed an increasing trend in Altay area, Bozhou, northern slope of the Tianshan Mountains, and decreasing trends in the other areas.

Key words northern Xinjiang; flash heavy rain; temporal and spatial distribution; statistical characteristics