

杨霞,周鸿奎,赵逸舟,等,2021. 新疆夏季暴雨精细化特征分析[J]. 气象,47(12):1501-1511. Yang X,Zhou H K,Zhao Y Z, et al,2021. Analysis on fine-scale characteristics of summer rainstorm in Xinjiang[J]. Meteor Mon,47(12):1501-1511(in Chinese).

新疆夏季暴雨精细化特征分析^{*}

杨 霞^{1,4} 周鸿奎² 赵逸舟³ 唐 震¹ 赵克明¹

1 新疆气象台,乌鲁木齐 830002

2 新疆气象信息中心,乌鲁木齐 830002

3 新疆气象局,乌鲁木齐 830002

4 高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室,成都 610072

提 要: 使用 2013—2019 年 901 个自动气象站逐小时降水资料,分析了新疆夏季暴雨的精细化特征,得到以下结论:新疆的暴雨日数总体呈北疆多,南疆少,山区多,平原少的特征;除天山山区中段外,南疆东南部昆仑山北坡的部分区域也是新疆暴雨高发区。7 月(8 月)新疆暴雨日数最多(少),短时强降水事件在暴雨中出现的比例也最高(低),以局地对流性暴雨(区域系统性暴雨)为主。新疆 75.3% 的站点在暴雨日中都出现过短时强降水事件,短时强降水事件在年平均暴雨日数不足 1 天的区域高发,在暴雨日数较多的区域出现的比例反而较低。短时强降水事件在暴雨日中出现的比例还随海拔高度的降低而增加,海拔低于 500 m 的站点在暴雨日中出现短时强降水事件的比例超过 85%。北疆博尔塔拉州、克拉玛依市、塔城地区北部、阿勒泰地区西部暴雨的“日雨”特征显著,暴雨日的平均降水时数短,短时强降水事件的发生比例高,区域平均的累计降水量、降水频次和平均降水强度的峰值时段均出现在下午至傍晚前后,以对流性暴雨为主;伊犁河谷至北疆沿天山一带和天山山区暴雨日的平均降水时数长,短时强降水事件的发生比例低,累计降水量和降水频次的峰值时段出现在夜间至上午;平均降水强度的峰值出现在傍晚至前半夜,以系统性暴雨为主;南疆暴雨的日变化特征比北疆复杂,暴雨的降水性质也更为复杂。

关键词: 暴雨,精细化特征,短时强降水,日变化,新疆

中图分类号: P459

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2021.12.006

Analysis on Fine-Scale Characteristics of Summer Rainstorm in Xinjiang

YANG Xia^{1,4} ZHOU Hongkui² ZHAO Yizhou³ TANG Zhen¹ ZHAO Keming¹

1 Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002

2 Xinjiang Meteorological Information Centre, Urumqi 830002

3 Xinjiang Meteorological Service, Urumqi 830002

4 Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610072

Abstract: On the basis of a quality controlled hourly rainfall dataset from 901 automatic weather stations (AWS) in 2013—2019, the fine-scale characteristics of summer rainstorm in Xinjiang are analyzed. The results show that the rainstorm days in northern Xinjiang are more than in southern Xinjiang, and the rainstorm days in mountain areas are more than in plains. In addition to the middle section of the Tianshan Mountains, parts of the northern slope of Kunlun Mountains in the southeastern part of southern Xinjiang also have rains frequently. In July (August), rainstorm days in Xinjiang are the most (fewest), and the proportion of short-time severe precipitation is the highest (lowest). In July, local convective rainstorm is

^{*} 国家自然科学基金项目(42065001、42030612)和高原与盆地暴雨旱涝灾害四川省重点实验室开放研究基金项目(SZKT201905)共同资助
2020 年 9 月 6 日收稿; 2021 年 6 月 7 日收修定稿

第一作者:杨霞,主要从事灾害性天气机理和预报技术研究. E-mail: Yangxia921@163.com

通讯作者:周鸿奎,主要从事气象信息技术研究. E-mail: 12558692@qq.com

the major event while in August regional systematic rainstorm is dominant. In Xinjiang, 75.3% of the stations had short-time severe precipitation during the heavy rain periods. The short-time severe precipitation events occurred frequently in the regions where the annual average number of heavy rain days was less than one day, but the regions with more heavy rain days were not hit by short-time severe precipitation very often. The proportion of short-time severe precipitation events in heavy rainfall periods in Xinjiang increases with the decrease of altitude, exceeding 85% stations below 500 m. The “daytime rain” characteristics of heavy rain in Bortala, Karamay, northern Tacheng and western Altay of northern Xinjiang are noticeable. The average rainfall time of the above-mentioned regional rainstorm days is short, and the occurrence percentage of short-time heavy rainfall events is high. The peaks of the regional average accumulated precipitation, frequency and average intensity of convective rainstorm often appear from afternoon to early evening. The average rainfall hours of rainstorm days in the Ili River Valley and the northern slope of Tianshan are more, but the short-time severe precipitation is at a low proportion. The peaks of accumulated precipitation and frequency often occur from night to morning, while the peak value of the average precipitation intensity appears from evening to the first half of the night, dominated by the systematic rainstorm. The diurnal variation of rainstorm in southern Xinjiang is more complicated than that in northern Xinjiang.

Key words: rainstorm, fine-scale characteristic, short-time severe precipitation event, diurnal variation, Xinjiang

引 言

暴雨是我国主要的灾害性天气之一(陶诗言, 1980; 丁一汇和张建云, 2009), 其导致的洪涝灾害常危及人民生命财产, 给国民经济带来巨大损失(苟阿宁等, 2019; 刘扬和王维国, 2020; 许凤雯等, 2020)。我国暴雨频发于长江中下游、华南、华西和华北等地区(鲍名和黄荣辉, 2006; 陈栋等, 2015), 暴雨日数南方多北方少、东部多西部少, 沿海多内陆少。近年来, 气象学者对我国季风区暴雨的时空分布特征、形成机理和预报方法等进行了大量研究(吴丽姬等, 2007; 王东海等, 2007; 王春学等, 2017; 汪玲瑶等, 2018; 高守亭等, 2018), 为暴雨预报、洪涝灾害风险评估和防灾减灾提供了科学依据(黄荣辉等, 2012; 廖代强等, 2019; 苏冉等, 2019)。

新疆位于中国西北部, 地域辽阔, 地形复杂, 北部的阿尔泰山、中部的天山、南部的昆仑山和北疆的准噶尔盆地、南疆的塔里木盆地构成特殊的“三山夹两盆”地形。新疆远离海洋, 是典型的干旱半干旱地区, 主要受西风带天气系统影响, 降水特征与我国东部季风区存在显著差别(张家宝等, 1986; 张家宝和邓子风, 1987; 马淑红和席元伟, 1997)。新疆的暴雨

雨量与我国东部地区相比明显偏少, 但其相对强度很大, 一次暴雨过程的降水量甚至能接近或超过当地的年平均降水量(杨莲梅, 2003)。由于新疆地表植被少, 贮水能力差, 暴雨极易诱发山洪、泥石流、山体滑坡等次生灾害, 给人民生命和财产带来巨大损失。1996 年 7 月新疆出现持续性大范围暴雨过程, 引发特大洪水造成境内 3 条铁路干线和主要的国道、省道几乎全部中断, 直接经济损失高达 40.9 亿元, 超过了新疆 1995 年地方财政总收入(马禹等, 1998)。2018 年 7 月 31 日, 新疆哈密市伊州区沁城乡小堡发生极端暴雨, 过程降雨量为 110 mm, 超过该地历史最大年降雨量(52.4 mm), 暴雨引发射月沟水库溃坝, 造成多人遇难, 当地公路、铁路、电力和通信设施严重受损。

研究表明, 20 世纪 80 年代后期以来, 青藏高原北侧的西北干旱区由暖干向暖湿转型, 新疆是显著转型区, 在整个西北区域转型特征最为突出(施雅风等, 2002; 2003)。进入 21 世纪后, 新疆暴雨增多(杨莲梅等, 2011), 特别是近 10 年新疆暴雨造成的灾害约占当地气象灾害的 40%。由于受到观测技术水平的限制, 20 世纪 90 年代前, 新疆仅有 105 个国家基本气象站, 因此早期开展的新疆暴雨特征研究不论是空间尺度还是时间尺度都相对较粗(张家宝和

邓子风,1987),难以全面系统地揭示新疆暴雨的精细化特征。目前,新疆的暴雨研究主要从天气学角度,通过大量的天气个例分析,对造成新疆暴雨的大尺度环流背景(张云惠等,2015;孙颖姝等,2019)、中尺度天气系统(杨霞等,2014;曾勇等,2019;刘晶等,2019)和暴雨过程的水汽输送及快速集中机制(张俊兰等,2016)等都有了一定的认识。近年来,随着自动气象站网的不断完善,目前新疆已建成1800余个自动气象站,高时空分辨率的降水资料为深入系统地开展新疆暴雨精细化特征研究提供了条件。本文利用2013—2019年区域加密自动气象站逐小时降水资料,分析新疆夏季暴雨的精细化特征,以期进一步加深对于干旱区暴雨的认识,为新疆暴雨预报服务和防灾减灾提供参考。

1 资料和方法

本文使用2013—2019年夏季(6—8月)新疆901个自动气象站逐小时降水资料进行研究,首先对自动气象站逐小时降水资料进行查验,剔除了异常值和缺测数据。

新疆地处于旱半干旱地区,全国的暴雨标准和短时强降水事件的标准在新疆都不适用。本文采用新疆现行的降水业务标准(张家宝等,1986),即日降水量 R (指前一日20时至当日20时各时次 $\geq 0.1\text{ mm}$ 的累计降水总量),当 $24.1\text{ mm} \leq R < 48.0\text{ mm}$ 时为暴雨, $48.1\text{ mm} \leq R \leq 96.0\text{ mm}$ 为大暴雨, $R \geq 96.1\text{ mm}$ 为特大暴雨。将小时降水量 $\geq 10.0\text{ mm}$ 的降水事件定义为短时强降水事件。本文中某站的暴雨日数指该站日降水量达到新疆暴雨标准的降雨日数;某日新疆区域内任意一站出现暴雨,则该日就记为一个新疆暴雨日;一个新疆暴雨日内出现的总暴雨站次即为当日的暴雨站次,其中同时出现短时降水事件的暴雨站次即为伴有短时强降水事件的暴雨站次。平均暴雨站次指累计暴雨站次与总暴雨站点数之比。

小时降水量指某整点到下一个整点1小时内 $\geq 0.1\text{ mm}$ 的累计降水总量;若某小时降水量 $\geq 0.1\text{ mm}$,则该小时记录1次小时降水频次;逐时累计降水量与对应时次累计降水频次之比为该小时多年平均降水强度。暴雨日的降水时数指暴雨日中小时降水量 $\geq 0.1\text{ mm}$ 的累计小时数,某站暴雨日的平均降水时数指该站暴雨日的累计降水时数与暴雨

日数之比。某一海拔区间暴雨日中出现短时强降水事件的平均比例为该海拔区间内的所有站在暴雨日中出现短时强降水事件比例的平均。

2 结果分析

2.1 新疆夏季暴雨的基本特征

图1给出2013—2019年新疆夏季暴雨日数和暴雨站次的年际和月际分布特征,可以看出:2013—2019年新疆共出现362个暴雨日和2722站次暴雨;平均每年出现51.7个暴雨日和388.9站次暴雨。新疆暴雨日数和暴雨站次的年变化趋势基本一致,但暴雨站次的年变化比暴雨日数更大。2013—2019年中,2017年的新疆暴雨日数最多,为60 d,2014年最少,为41 d,二者相差19 d;2016年的暴雨站次最多,为790站次;2014年最少,仅为165站次,二者相差625站次。从新疆暴雨日数和站次的月变化可以看出(图1b),二者的分布特征存在差异,新疆暴雨日数7月最多,6月次之,8月最少;但暴雨站次却是6月最多,8月次之,7月最少。由此可知,在夏季的三个月中,7月的新疆暴雨日数虽然最多,但该月的暴雨站次却最少,说明7月新疆更易出现局地性暴雨;8月的新疆暴雨日数最少,但该月的暴雨站次却不少,因此8月新疆更易出现区域性暴雨。

2013—2019年夏季,新疆共有694个站点出现过暴雨,平均每年约99个,占总站点数的11%。新疆各站年平均暴雨日数的分布总体呈北疆多,南疆少;山区多,平原少的特征(图2)。伊犁河谷东部南部、北疆沿天山一带、天山山区中段东段、南疆西部山区和南疆东南部昆仑山北部山区的年平均暴雨日数较多,其中天山山区中段是暴雨日数最多的地区,年平均暴雨日数可达3.6 d,南北疆其他地区的年平均暴雨日数均不足1 d。由于新疆105个国家基本气象站主要分布在平原地区,山区站点较少,特别是南疆的山区站点更少,而且主要分布在南疆西部,因此过去使用国家基本气象站降水资料开展的新疆暴雨研究,无法反映出南疆东南部昆仑山北坡部分山区站点也是新疆暴雨高发区的特征(杨莲梅,2003)。本文利用区域加密自动气象站的降水资料分析后发现,南疆东南部昆仑山北坡部分山区站点的年平均暴雨日数最多可达2.4 d,该数值大于南疆西部山

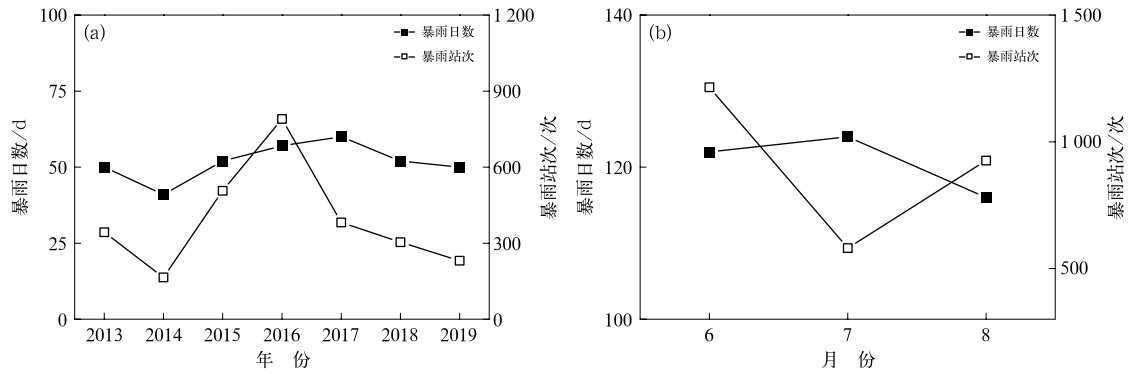


图 1 2013—2019 年夏季新疆暴雨日数和暴雨站次年变化(a)及月变化(b)分布

Fig. 1 Annual variation (a), monthly variation (b) of rainstorm days and station frequencies in Xinjiang in summer from 2013 to 2019

区,与北疆沿天山一带接近。然而,目前针对南疆暴雨的研究主要集中在西部,对南疆南部昆仑山北坡暴雨涉及的较少,对这一区域暴雨的形成机制尚不清晰,还需要进一步深入研究。

表 1 给出新疆不同海拔(H)区间的站点数、暴雨站数和暴雨站次分布,可以看出,新疆 70% 以上的观测站点都分布在 $500\text{ m}<H\leq 2500\text{ m}$ 的区域, $H>2500\text{ m}$ 的站点最少,仅有 52 个,其中 38.5% 的站点(20 个)出现过暴雨,每站平均出现暴雨 5.5 次; $1500\text{ m}<H\leq 2500\text{ m}$ 的站点有 186 个,其中

91.9% 的站点(171 个)出现过暴雨,每站平均出现暴雨 6.4 次; $500\text{ m}<H\leq 1500\text{ m}$ 的站点有 592 个,其中 80.4% 的站点(476 个)出现过暴雨,每站平均出现暴雨 3.1 次; $H<500\text{ m}$ 的站点有 71 个,其中 38.0% 的站点(27 个)出现过暴雨,每站平均出现暴雨 1.8 次。综上所述,新疆 $1500\text{ m}<H\leq 2500\text{ m}$ 的站点出现暴雨的比例最高, $H<500\text{ m}$ 的站点最低; $H<2500\text{ m}$ 站点的平均暴雨站次随海拔高度的升高而增加, $1500\text{ m}<H\leq 2500\text{ m}$ 的站点的平均暴雨站次约是 $H<500\text{ m}$ 站点的 3.6 倍。

表 1 2013—2019 年夏季新疆暴雨站数、暴雨站次和短时强降水事件在不同海拔(H)区间的分布

Table 1 The distributions of the number of rainstorm stations, rainstorm station frequencies and short-time severe precipitation events at different altitudes (H) intervals in Xinjiang in summer from 2013 to 2019

H/m	站数/个	出现过暴雨的站数/个	暴雨站数占总站数的比例/%	累计暴雨站次/次	平均暴雨站次/次	伴有短时强降水的暴雨站数/个	伴有短时强降水事件的暴雨站数占总暴雨站数的比例/%	出现短时强降水事件的平均比例/%
>2500	52	20	38.5	110	5.5	6	30.0	42.0
$1500<H\leq 2500$	186	171	91.9	1102	6.4	135	78.9	52.3
$500<H\leq 1500$	592	476	80.4	1462	3.1	366	76.9	71.4
≤ 500	71	27	38.0	48	1.8	20	74.1	85.4

2.2 暴雨日中短时强降水事件的特征

新疆暴雨的突发性强,历时短,暴雨天气过程中常常存在由中小尺度对流系统造成的短时强降水事件,许多暴雨过程的 1 h 最大降水量,6 h 降水量和日降水量都很接近,这也是干旱区暴雨不同于季风区暴雨的特征(张家宝和邓子风,1987)。为了弄清新疆夏季暴雨中短时强降水事件的发生情况,本文分别统计了 2013—2019 年夏季新疆暴雨日中短时

强降水事件的出现比例。由图 3a 可以看出,新疆平均每年有 173.9 站次暴雨中伴有短时强降水事件,暴雨中出现短时强降水事件的站次占暴雨总站次的年平均比例为 44.7%。2013—2019 年中,2016 年伴有短时强降水事件的暴雨站次最多,为 318 站次,但该年伴有短时强降水事件的暴雨站次占总暴雨站次的比例最低,仅为 40.3%;2014 年伴有短时强降水事件的暴雨站次最少,为 73 站次,2019 年伴有短时强降水事件的暴雨站次占总暴雨站次的比例最

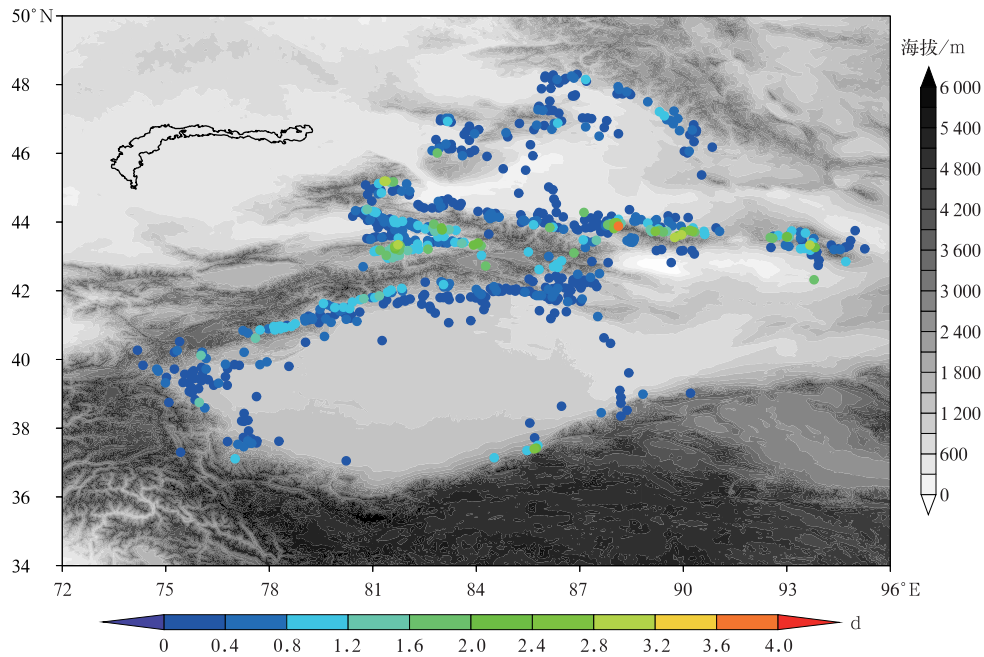


图 2 2013—2019 年夏季新疆各站年平均暴雨日数(彩色圆点)分布

Fig. 2 Spatial distribution of mean annual rainstorm days (color dots) in Xinjiang in summer from 2013 to 2019

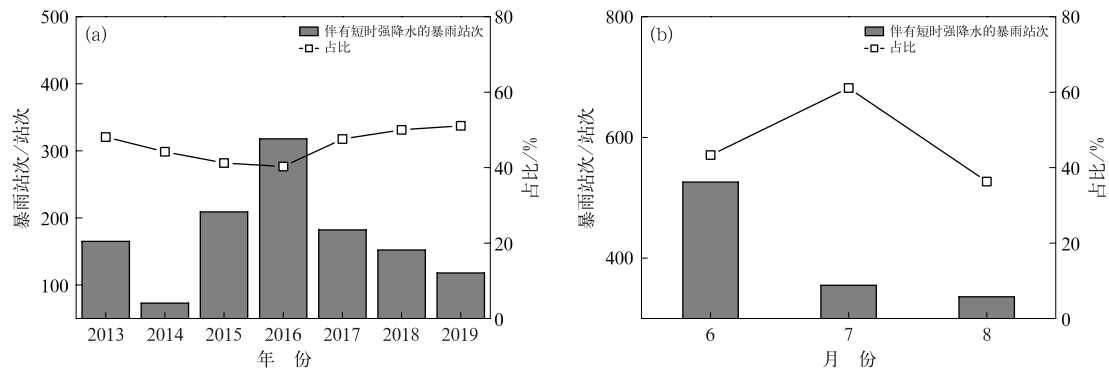


图 3 2013—2019 年夏季伴有短时强降水事件的暴雨站次和伴有短时强降水事件的暴雨站次占总暴雨站次的比例的年变化(a)和月变化(b)

Fig. 3 Annual variation (a) and monthly variation (b) in Xinjiang in summer from 2013 to 2019 both rainstorm station frequencies with short-time severe precipitation and the proportion of rainstorm station frequencies accompanied by short-time severe precipitation to total rainstorm station frequencies

高,为 51.1%。从夏季逐月分布可以看出(图 3b),新疆 6 月伴有短时强降水事件的暴雨站次最多;7 月次之,8 月最少;但 7 月伴有短时强降水事件的暴雨站次占总暴雨站次的比例最高,6 月次之,8 月最少。对比图 1b 和图 3b 不难看出,7 月新疆暴雨日数最多,暴雨中短时强降水事件的出现比例也最高,因此 7 月的暴雨多由局地强对流系统造成,影响范

围相对较小,从而使得该月的暴雨站次是夏季 3 个月中最少的。8 月新疆暴雨日数最少,暴雨中短时强降水事件的出现比例最低,因此 8 月的暴雨多由系统性降水造成,影响范围相对较大,从而使得该月的暴雨站次并不少。

从新疆夏季各站暴雨日中短时强降水事件出现比例的空间分布可以看出(图 4),全疆有 198 个站

点在夏季暴雨日中出现短时强降水事件的比例为 100%，这些站点主要分布在北疆的博尔塔拉州、塔城地区北部、克拉玛依市、阿勒泰地区西部、天山北坡中段和南疆塔里木盆地。北疆伊犁河谷、天山山区中段、阿勒泰地区东部和南疆西北部山区暴雨日中短时强降水事件的出现比例为 50% 左右；天山山区西段是新疆暴雨日中短时强降水事件出现比例最低的区域，不足 30%。对比图 4 和图 2 不难看出，新疆各站年平均暴雨日数和暴雨日中短时强降水事件出现比例的空间分布存在较大差异：在暴雨日数较多的伊犁河谷和天山山区中段，暴雨日中短时强降水事件的出现比例较低，而在北疆博尔塔拉州、塔城地区北部、克拉玛依市、阿勒泰地区西部和南疆塔里木盆地等年平均暴雨日数不足 1 d 的区域，大部分站点暴雨日中短时强降水事件的出现比例都较高，甚至为 100%。可见，新疆短时强降水事件在暴雨日数较少的区域出现比例较高，在暴雨日数较多的区域出现比例反而较少，这一特征与我国东部地区存在差异。

进一步分析新疆不同海拔区间的站点在暴雨日中出现短时强降水事件的比例可以看出(表 1)，2013—2019 年，新疆共有 527 个站点在暴雨日中出现过短时强降水事件，占总暴雨站点的 75.9%，其

中 $H > 2500$ m 的暴雨站点出现短时强降水事件的比例最低，仅为 30%，其他 3 个海拔区间的暴雨站点出现短时强降水事件的比例均超过 70%。由表 1 还可以看出，新疆暴雨日中短时强降水事件的出现比例随海拔高度的降低而增加， $H \leq 500$ m 的站点在暴雨日中出现短时强降水事件的比例(85.4%)约是 $H > 2500$ m(42%)站点的 2 倍。由表 1 还可以看出，新疆 $H \leq 500$ m 的地区，出现过暴雨的站点数和每站平均出现的暴雨次数都是最少的，但是这些站点在暴雨日中出现短时强降水事件的比例却超过 85%，说明新疆 $H \leq 500$ m 的站点很少出现暴雨，每次暴雨几乎都是由强对流系统造成的短时强降水事件产生的。

2.3 暴雨降水时数及昼夜分布

过去由于观测资料的限制，无法精确地获得暴雨日的降水时数，本文利用自动站逐小时降水资料，逐站统计其暴雨日的平均降水时数(R)，得到新疆区域暴雨日的平均降水时数为 11.3 h。由图 5 可以看出，北疆各站按暴雨日数平均的降水时数的空间差异较大，除阿勒泰地区东部外，博尔塔拉州、塔城地区北部、克拉玛依市和阿勒泰地区西部暴雨日的平均降水时数均小于 12 h；而伊犁河谷至北疆沿天

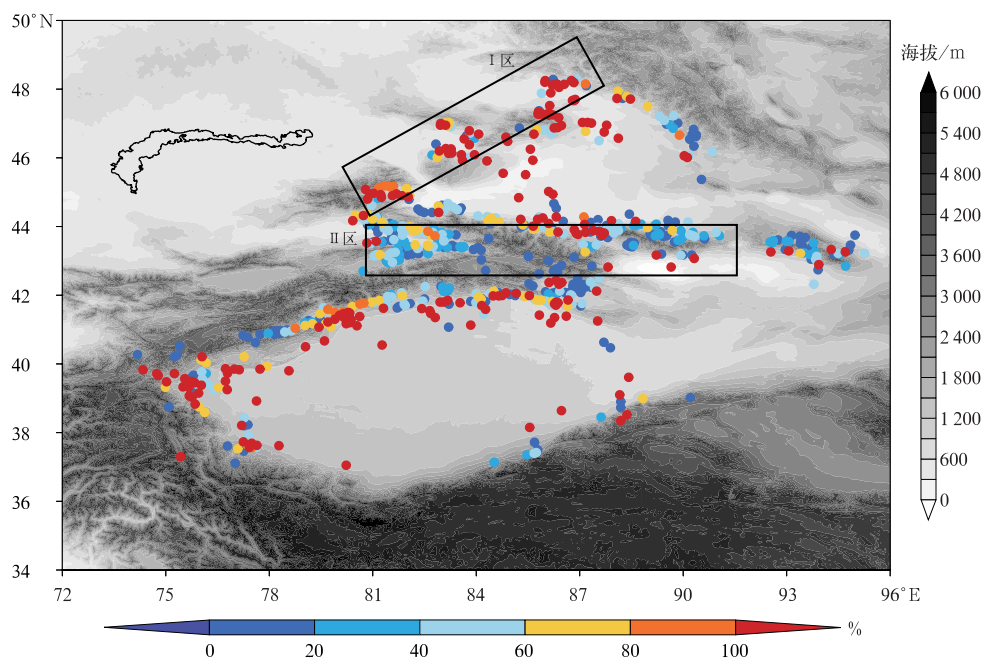


图 4 2013—2019 年夏季新疆夏季暴雨中短时强降水事件出现的比例(彩色圆点)

Fig. 4 Proportion (colored dots) of short-time severe precipitation events of summer rainstorm in Xinjiang from 2013 to 2019

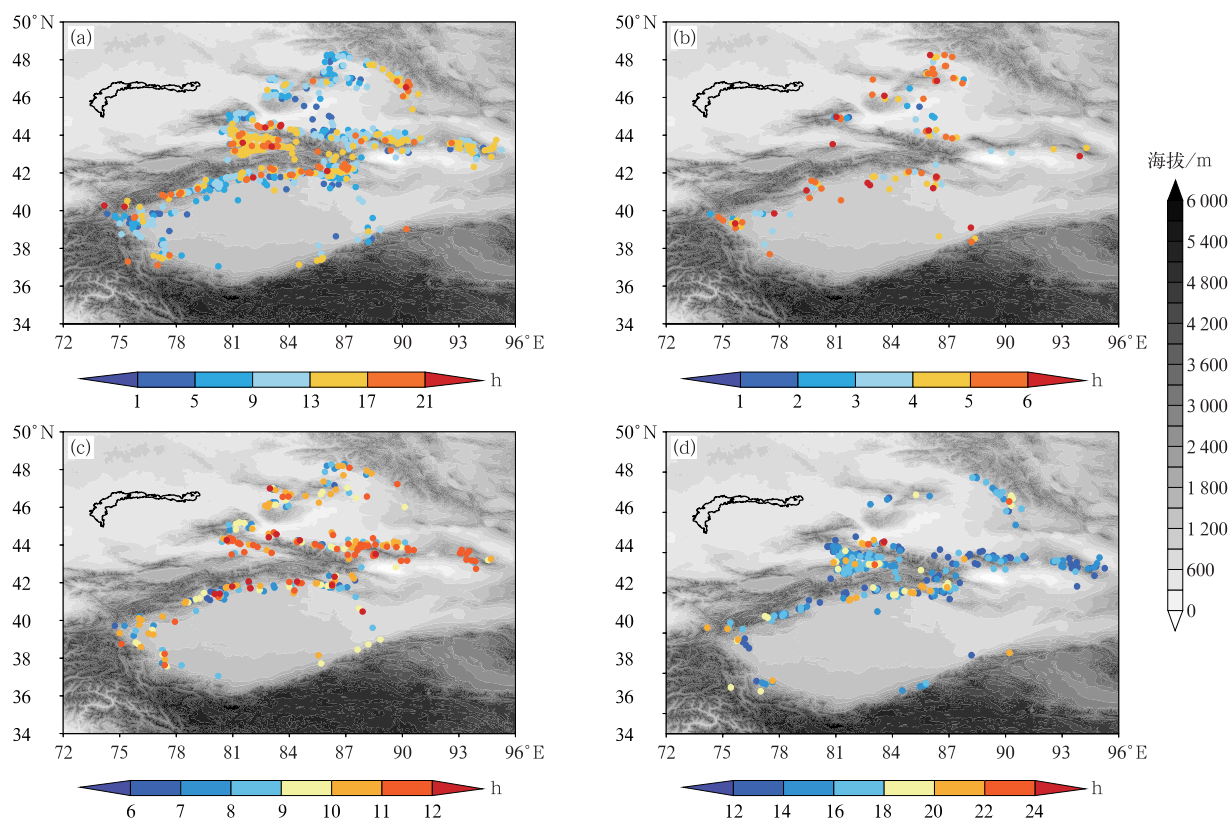


图 5 2013—2019 年夏季新疆各站暴雨日的平均降水时数分布(a);暴雨日的平均降水时数 $R \leq 6$ h(b), $6 < R \leq 12$ h(c) 和 > 12 h(d)的站点分布(彩色圆点)

Fig. 5 Mean rainfall hours of summer rainstorm in Xinjiang (a), site distribution with $R \leq 6$ h (b), $6 < R \leq 12$ h (c), and $R > 12$ h (d) (colored dots) from 2013 to 2019

山一带、天山山区大部地区暴雨日的平均降水时数均大于 12 h;南疆各站暴雨日的平均降水时数的空间差异不显著。为了进一步分析新疆各站暴雨日的平均降水时数的分布特征,按照 $R \leq 6$ h、 $6 < R \leq 12$ h 和 $R > 12$ h 将暴雨日的平均降水时数分为 3 类,可以看出, $R \leq 6$ 的站点共有 107 个,占总暴雨站数的 15.4%,主要分布在新疆 87°E 以西地区,除哈密市北部的个别站点外,南北疆 87°E 以东的区域基本没有(图 5b)。 $6 < R \leq 12$ h 的站点全疆共有 286 个,占总暴雨站数的 41.2%,主要分布在北疆的博尔塔拉州、塔城地区、克拉玛依市、阿勒泰地区西部、北疆沿天山一带以及南疆的偏西和偏北地区(图 5c); $R > 12$ h 的站点共有 301 个,占总暴雨站数的 43.4%,主要分布在北疆的伊犁河谷、天山山区、阿勒泰地区东部以及南疆的高海拔山区(图 5d)。综上所述,新疆 80% 以上站点 $R > 6$ h, $R > 12$ h 的站点集中分布在伊犁河谷和天山山区, $R \leq 6$ h 的站点主要分布在新疆西部,东部几乎没有。

研究表明,新疆夏季降水的夜雨特征明显(崔彩霞等,2008),那么新疆夏季暴雨是否也具有明显的夜雨特征呢?为弄清这个问题,本文按白天(08—20 时)和夜间(20—08 时)两个时段,分别统计每个站白天和夜间的降水量及降水时数占总暴雨降水量和降水时数的比例。由图 6 可以看出,北疆地区夏季暴雨降水量昼夜比例的空间差异较大,博尔塔拉州、塔城地区、克拉玛依市和阿勒泰地区东部以昼雨为主,白天降水量占暴雨总降水量的比例超过 80% (图 6a);而伊犁河谷和天山山区中段地区以夜雨为主,夜间降水量占暴雨总降水量的比例超过 70% (图 6b)。北疆地区暴雨日的降水时数昼夜比例的空间分布与暴雨降水量存在差异,博尔塔拉州、塔城地区、克拉玛依市和阿勒泰地区西部暴雨日的降水时数白天多(图 6c),天山山区中段夜间多,伊犁河谷地区昼夜比例接近(图 6d)。南疆除西部地区,暴雨降水量和降水时数均以夜间居多外,其他区域的昼夜差异不显著。

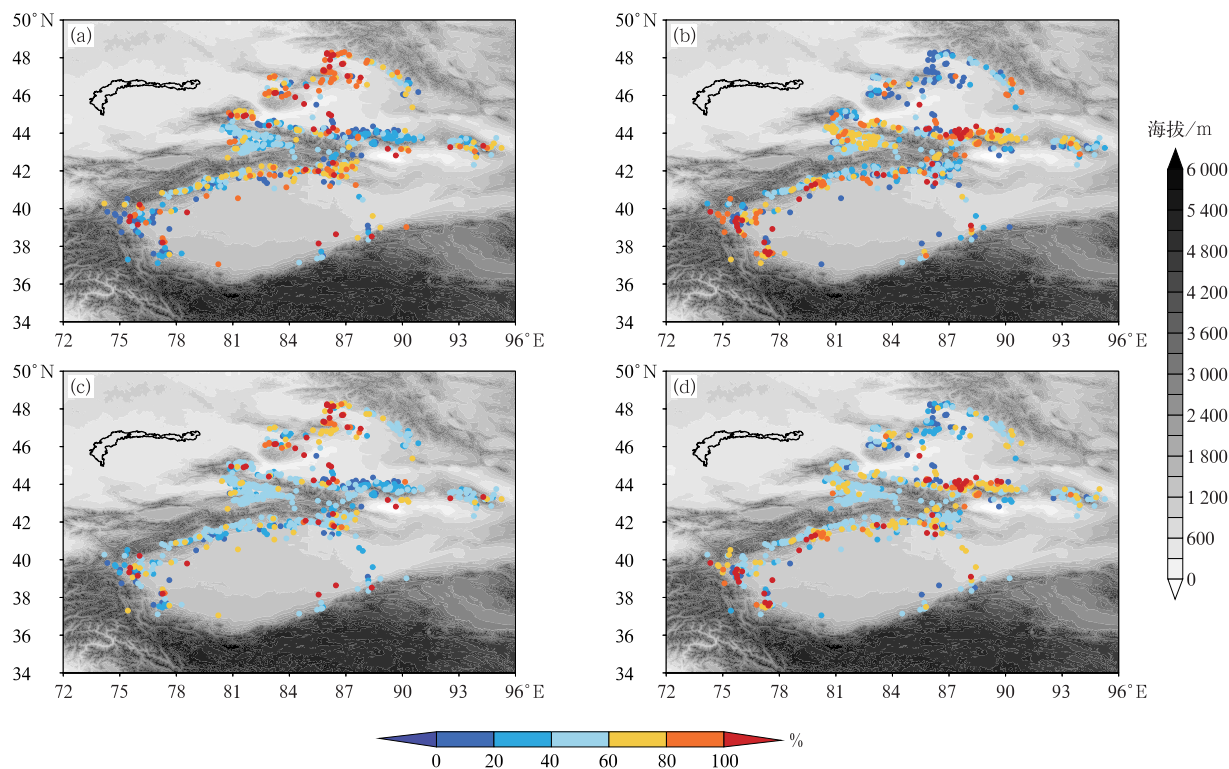


图 6 2013—2019 年夏季新疆暴雨 08—20 时降水量(a)和降水时数(c);20—08 时降水量(b), 降水时数(d)分别占总暴雨降水量和总降水时数的比例(彩色圆点)

Fig. 6 The ratio (color dots) of precipitation (a, b) and precipitation hour (c, d) to total rainstorm precipitation and total rainstorm precipitation hour respectively in Xinjiang during

(a, c) 08:00 BT—20:00 BT and (b, d) 20:00 BT—08:00 BT in summer from 2013 to 2019

2.4 暴雨的日变化特征

日变化是全球天气气候系统变化的最基本模态之一,降水的日变化差异在诸多气象变量中表现的最为显著(宇如聪等,2014)。新疆地处干旱半旱区,其夏季暴雨呈现怎样的日变化特征呢?由前文分析可知,北疆地区暴雨的降水性质存在显著的区域差异,博尔塔拉州、克拉玛依市、塔城地区北部、阿勒泰地区西部暴雨日数少,但暴雨日中短时强降水事件的出现比例高;伊犁河谷至北疆沿天山一带和天山山区的暴雨日数多,但暴雨日中短时强降水事件的出现比例低。为进一步分析不同区域夏季暴雨的日变化特征,本文将北疆划分为两个区域,即北疆Ⅰ区和Ⅱ区,其中北疆Ⅰ区包括博尔塔拉州、塔城地区、克拉玛依市和阿勒泰地区西部,北疆Ⅱ区包括伊犁河谷至北疆沿天山一带和天山山区(图4)。

图7给出北疆Ⅰ区、Ⅱ区和南疆暴雨日中各时次累计降水量、累计降水频次和平均降水强度的日变化特征曲线。可以看出,北疆Ⅰ区和Ⅱ区累计降水量日变化曲线的峰值时段和谷值时段几乎呈反位

相分布,北疆Ⅰ区降水量的峰值时段为15—20时,谷值时段为02—14时(图7a₁);北疆Ⅱ区的峰值时段则为22时至次日13时,谷值时段为14—21时(图7a₂)。南疆地区累计降水量日变化曲线呈多峰型(图7a₃),04、10和18时为3个相对峰值,21时是南疆降水量最少时次,降水量不到峰值时次的1/2。北疆Ⅰ区、Ⅱ区和南疆地区累计降水频次的日变化曲线均呈单峰型(图7b),累计降水频次最大时次分别出现在16、11和04时。北疆Ⅰ区平均降水强度与累计降水量的日变化曲线分布较为相似,峰值时段也在15—20时,谷值时段为02时至次日14时(图7c₁)。北疆Ⅱ区平均降水强度日变化曲线也呈单峰型,降水强度最大时次出现在23时。南疆平均降水强度日变化曲线呈双峰型,峰值时次分别出现在18时和22时,05—14时的平均降水强度较小。

综上所述,北疆Ⅰ区暴雨日的平均降水时数较短,短时强降水事件在暴雨日中高发,累计降水量、累计降水频次和平均降水强度的峰值时段一致,均在下午至傍晚前后;因此该区域的暴雨主要由午后至傍晚前后的对流性降水造成。北疆Ⅱ区的累计降

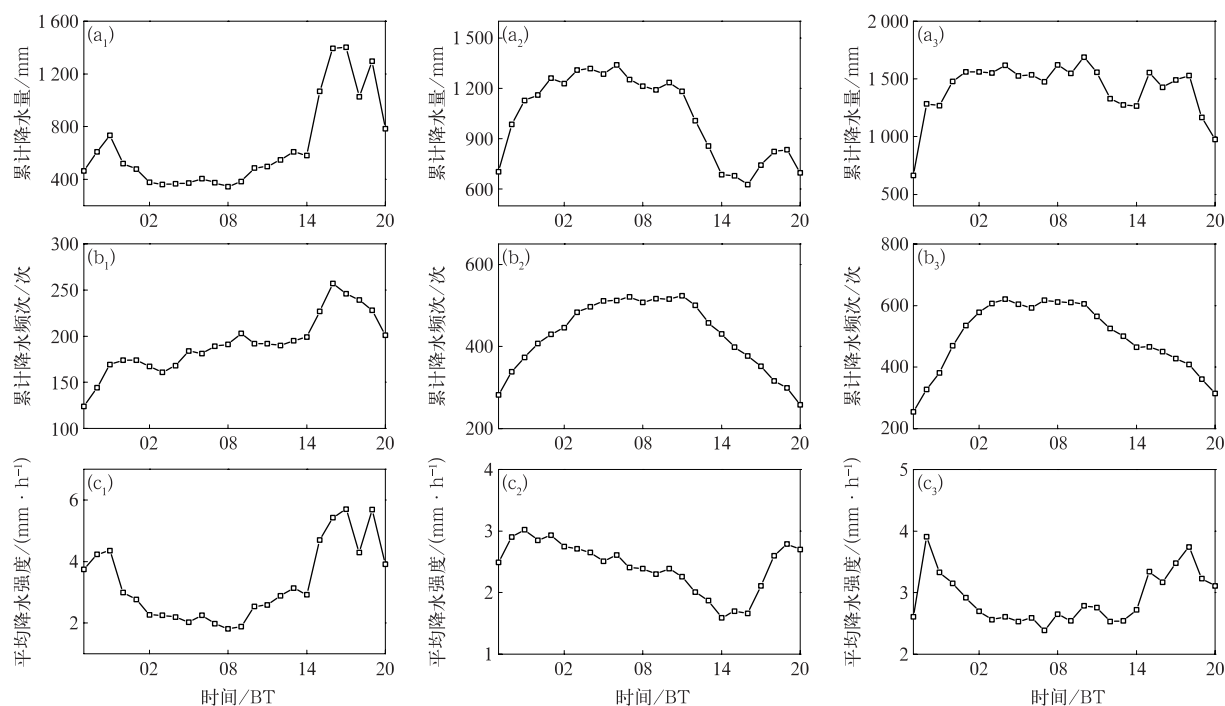


图 7 2013—2019 年夏季新疆不同区域暴雨日累计降水量(a)、累计降水频次(b)、平均降水强度(c)的日变化特征

(a_1, b_1, c_1)北疆 I 区, (a_2, b_2, c_2)北疆 II 区, (a_3, b_3, c_3)南疆

Fig. 7 Diurnal variation characteristics of accumulated precipitation (a), accumulated precipitation frequency (b) and average precipitation intensity (c) during rainstorm days in different regions of Xinjiang in summer from 2013 to 2019
(a_1, b_1, c_1) District I of northern Xinjiang, (a_2, b_2, c_2) District II of northern Xinjiang, (a_3, b_3, c_3) southern Xinjiang

水量和累计降水频次的峰值时段接近,均在夜间至上午,平均降水强度的峰值在傍晚前后至前半夜,该区域暴雨日短时强降水事件的出现比例较低,暴雨的平均降水时数较长,暴雨以系统性降水为主。南疆地区暴雨的降水性质较为复杂,其累计降水量和平均降水强度在凌晨和傍晚均存在一个峰值,而累计降水频次却只在凌晨存在一个峰值,因此南疆地区的暴雨在夜间时段降水量多可能是由于降水频次多,而在傍晚时段降水量多,可能是因为这一时段的降水强度大所致,由于傍晚前后是南疆对流系统较为活跃的时段,因此这一时段虽然降水频次不多,但由对流系统产生的降水强度较大,从而使得降水量较多。

3 结论与讨论

本文使用 2013—2019 年 901 个自动气象站逐

小时降水资料,分析了新疆夏季暴雨的精细化特征,得到以下结论:

(1)7 月新疆暴雨日数最多,短时强降水事件在暴雨日中的出现比例也最高,但暴雨站次最少,因此 7 月多局地对流性暴雨;8 月新疆暴雨日数最少,但暴雨站次却较多,暴雨日中短时强降水事件的出现比例最低,因此 8 月多区域系统性暴雨。

(2)新疆各站年平均暴雨日数总体呈北疆多,南疆少,山区多,平原少的特征;天山山区中段是新疆年平均暴雨日数最多的区域。由于缺乏山区站点的观测,国家基本气象站降水资料无法分析出南疆南部昆仑山北坡的山区站点也是新疆暴雨高发区域的特征,区域加密自动气象站降水资料揭示该区域年平均暴雨日数最多可达 2.4 d,与北疆沿天山一带接近。

(3)新疆 75.3%的站点在暴雨日中都出现过短时强降水事件,短时强降水事件在年平均暴雨日数

不足1 d的区域高发,在暴雨日数较多的区域出现的比例反而较低。暴雨日中短时强降水事件的出现比例随海拔高度的降低而增加,海拔低于500 m站点的比例(85.4%)约是海拔高于2 500 m站点(42%)的2倍。

(4)新疆80%以上站点暴雨日的平均降水时数都大于6 h,暴雨日的平均降水时数大于12 h的站点集中分布在伊犁河谷和天山山区,暴雨日的平均降水时数小于6 h的站点主要分布在新疆西部,东部几乎没有。北疆地区夏季暴雨降水量昼夜比例的空间差异较大,博尔塔拉州、塔城地区北部、克拉玛依市和阿勒泰地区东部以昼雨为主;伊犁河谷和天山山区中段以夜雨为主。南疆除西部地区夜雨特征明显外,其他区域的昼夜差异不显著。

(5)北疆暴雨的日变化特征存在显著的区域差异,北疆Ⅰ区和Ⅱ区累计降水量日变化的峰值和谷值时段呈反位相分布,北疆Ⅰ区累计降水量、累计降水频次和平均降水强度的峰值时段均在下午至傍晚前后,该区域暴雨日的平均降水时数短,短时强降水事件发生比例高,以局地对流性暴雨为主;北疆Ⅱ区累计降水量和降水频次的峰值时段在夜间至上午;平均降水强度的峰值在傍晚前后至前半夜,该区域暴雨日的平均降水时数长,短时强降水事件发生比例低,以区域系统性暴雨为主;南疆地区暴雨的降水日变化特征更为复杂,暴雨的降水性质也更复杂。

新疆地域辽阔,拥有高山、戈壁、沙漠、绿洲等复杂地形,强降水形成的机制与我国东部季风区存在较大差异。本文仅对新疆暴雨的精细化特征进行了统计分析,未涉及机理研究,今后将结合环流特征,从动力、热力等方面,利用数值模式模拟等方式,进一步探究新疆不同区域,不同降水性质的暴雨过程的中尺度天气系统特征和强降水形成的物理机制。

参考文献

- 鲍名,黄荣辉,2006.近40年我国暴雨的年代际变化特征[J].大气科学,30(6):1057-1067. Bao M, Huang R H, 2006. Characteristics of the interdecadal variations of heavy rain over China in the last 40 years[J]. Chin J Atmos Sci, 30(6):1057-1067(in Chinese).
- 陈栋,黄荣辉,陈际龙,2015.我国夏季暴雨气候学的研究进展与科学问题[J].气候与环境研究,20(4):477-490. Chen D, Huang R H, Chen J L, 2015. Recent progress and prospective scientific problems concerning climatological research on summer heavy rainfall in China[J]. Clim Environ Res, 20(4):477-490(in Chinese).
- 崔彩霞,李杨,杨青,2008.新疆夜雨和昼雨的空间分布和长期变化[J].中国沙漠,28(5):903-907. Cui C X, Li Y, Yang Q, 2008. Spatial distribution and long-term variation of nocturnal and daytime rainfall in Xinjiang[J]. J Desert Res, 28(5):903-907(in Chinese).
- 丁一汇,张建云,2009.暴雨洪涝[M].北京:气象出版社. Ding Y H, Zhang J Y, 2009. Heavy Rainfalls and Floods[M]. Beijing:China Meteorological Press(in Chinese).
- 高守亭,周玉淑,冉令坤,2018.我国暴雨形成机理及预报方法研究进展[J].大气科学,42(4):833-846. Gao S T, Zhou Y S, Ran L K, 2018. A review on the formation mechanisms and forecast methods for torrential rain in China[J]. Chin J Atmos Sci, 42(4):833-846(in Chinese).
- 苟阿宁,王玉娟,张家国,等,2019.一次梅雨锋附近“列车效应”致灾大暴雨过程观测分析[J].气象,45(8):1052-1064. Gou A N, Wang Y J, Zhang J G, et al, 2019. Analysis on heavy rainfall event caused by “train effect” in a Meiyu front of Hubei Province[J]. Meteor Mon, 45(8):1052-1064(in Chinese).
- 黄荣辉,陈栋,刘永,2012.中国长江流域洪涝灾害和持续性暴雨的发生特征及成因[J].成都信息工程学院学报,27(1):1-19. Huang R H, Chen D, Liu Y, 2012. Characteristics and causes of the occurrence of flooding disaster and persistent heavy rainfall in the Yangtze River Valley of China[J]. J Chengdu Univ Inf Technol, 27(1):1-19(in Chinese).
- 廖代强,朱浩楠,周杰,等,2019.暴雨强度公式及其设计雨型的取样方法研究[J].气象,45(10):1375-1381. Liao D Q, Zhu H N, Zhou J, et al, 2019. Research on storm intensity formula and design rain pattern sampling method[J]. Meteor Mon, 45(10):1375-1381(in Chinese).
- 刘晶,周雅蔓,杨莲梅,等,2019.伊犁河谷“7.31”极端暴雨过程不稳定性及其触发机制研究[J].大气科学,43(6):1204-1218. Liu J, Zhou Y M, Yang L M, et al, 2019. The instability and its trigger mechanism of extreme precipitation event in the Yili River Valley on 31 July 2016[J]. Chin J Atmos Sci, 43(6):1204-1218(in Chinese).
- 刘扬,王维国,2020.基于随机森林的暴雨灾害人口损失预估模型及应用[J].气象,46(3):393-402. Liu Y, Wang W G, 2020. Assessing model of casualty loss in rainstorms based on random forest and its application[J]. Meteor Mon, 46(3):393-402(in Chinese).
- 马淑红,席元伟,1997.新疆暴雨的若干规律性[J].气象学报,55(2):239-248. Ma S H, Xi Y W, 1997. Some regularities of storm rainfall in Xinjiang, China[J]. Acta Meteor Sin, 55(2):239-248(in Chinese).
- 马禹,王旭,陶祖钰,1998.新疆“96·7”特大暴雨水汽场特征综合研究[J].新疆气象,21(5):9-13. Ma Y, Wang X, Tao Z Y, 1998. Study on vapors features of 96·7 heavy rain in Xinjiang[J]. Xinjiang Meteor, 21(5):9-13(in Chinese).
- 施雅风,沈永平,李栋梁,等,2003.中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J].第四纪研究,23(2):152-164. Shi Y F, Shen Y P, Li D L, et al, 2003. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in Northwest China[J].

- Quatern Sci, 23(2):152-164(in Chinese).
- 施雅风, 沈永平, 胡汝骥, 2002. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 24(3):219-226. Shi Y F, Shen Y P, Hu R J, 2002. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China[J]. J Glaciol Geocryol, 24(3):219-226(in Chinese).
- 苏冉, 廖菲, 齐彦斌, 2019. 华南暖区暴雨过程集合动力因子的诊断分析[J]. 气象, 45(11):1517-1526. Su R, Liao F, Qi Y B, 2019. Diagnostic analysis of ensemble dynamic factors during the warm-sector torrential rain in South China[J]. Meteor Mon, 45(11):1517-1526(in Chinese).
- 孙颖姝, 周玉淑, 王咏青, 2019. 一次双高空急流背景下南疆强降水事件的动力过程和水汽源分析[J]. 大气科学, 43(5):1041-1054. Sun Y S, Zhou Y S, Wang Y Q, 2019. Analysis of dynamic process and moisture source on a heavy precipitation event in Southern Xinjiang associated with the double upper-level jet[J]. Chin J Atmos Sci, 43(5):1041-1054(in Chinese).
- 陶诗言, 1980. 中国之暴雨[M]. 北京: 科学出版社. Tao S Y, 1980. Heavy Rainfalls in China[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- 王春学, 马振峰, 王佳津, 等, 2017. 四川盆地区域性暴雨时空变化特征及其前兆信号研究[J]. 气象, 43(12):1517-1526. Wang C X, Ma Z F, Wang J J, et al, 2017. Characteristics of regional rainstorm in Sichuan Basin and its precursor signal[J]. Meteor Mon, 43(12):1517-1526(in Chinese).
- 王东海, 钟水新, 刘英, 等, 2007. 东北暴雨的研究[J]. 地球科学进展, 22(6):549-560. Wang D H, Zhong S X, Liu Y, et al, 2007. Advances in the study of rainstorm in Northeast China[J]. Adv Earth Sci, 22(6):549-560(in Chinese).
- 汪玲瑶, 湛芸, 肖天贵, 等, 2018. 夏季江南地区暖区暴雨的统计分析[J]. 气象, 44(6):771-780. Wang L Y, Chen Y, Xiao T G, et al, 2018. Statistical analysis of warm-sector rainstorm characteristics over the southern of middle and lower reaches of the Yangtze River in summer[J]. Meteor Mon, 44(6):771-780(in Chinese).
- 吴丽姬, 温之平, 贺海晏, 等, 2007. 华南前汛期区域持续性暴雨的分布特征及分型[J]. 中山大学学报(自然科学版), 46(6):108-113. Wu L J, Wen Z P, He H Y, et al, 2007. The distribution features and patterns of regional durative rainstorm during pre-rainy season over South China[J]. Acta Sci Nat Univ Sunyatseni, 46(6):108-113(in Chinese).
- 许风雯, 狄靖月, 李宇梅, 等, 2020. 北京“7·16”暴雨诱发地质灾害成因分析[J]. 气象, 46(5):705-715. Xu F W, Di J Y, Li Y M, et al, 2020. Cause analysis of the geological hazards induced by the 16 July 2018 rainstorm in Beijing[J]. Meteor Mon, 46(5):705-715(in Chinese).
- 杨莲梅, 2003. 新疆极端降水的气候变化[J]. 地理学报, 58(4):577-583. Yang L M, 2003. Climate change of extreme precipitation in Xinjiang[J]. Acta Geogr Sin, 58(4):577-583(in Chinese).
- 杨莲梅, 李霞, 张广兴, 2011. 新疆夏季强降水研究若干进展及问题[J]. 气候与环境研究, 16(2):188-198. Yang L M, Li X, Zhang G X, 2011. Some advances and problems in the study of heavy rain in Xinjiang[J]. Clim Environ Res, 16(2):188-198(in Chinese).
- 杨霞, 李云, 赵逸舟, 等, 2014. 新疆一次深秋局地短时大暴雨的成因分析[J]. 高原气象, 33(1):162-170. Yang X, Li Y, Zhao Y Z, et al, 2014. Analysis of a brief torrential rain event in autumn in Xinjiang[J]. Plateau Meteor, 33(1):162-170(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).
- 曾勇, 周玉淑, 杨莲梅, 2019. 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, 43(2):372-388. Zeng Y, Zhou Y S, Yang L M, 2019. A preliminary analysis of the formation mechanism for a heavy rainstorm in western Xinjiang by numerical simulation[J]. Chin J Atmos Sci, 43(2):372-388(in Chinese).
- 张家宝, 邓子风, 1987. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社. Zhang J B, Deng Z F, 1987. Xinjiang Precipitation Generality[M]. Beijing: China Meteorological Press(in Chinese).
- 张家宝, 苏起元, 孙沈清, 等, 1986. 新疆短期天气预报指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社. Zhang J B, Su Q Y, Sun S Q, et al, 1986. Guide Handbook on Xinjiang Short-Term Weather Forecast[M]. Urumqi: Xinjiang People Press(in Chinese).
- 张俊兰, 李娜, 秦贺, 等, 2016. 新疆一次暴雨过程的观测分析及水汽特征[J]. 暴雨灾害, 35(6):537-545. Zhang J L, Li N, Qin H, et al, 2016. The observational analysis and water vapor characteristics of a rainstorm process in Xinjiang[J]. Torr Rain Dis, 35(6):537-545(in Chinese).
- 张云惠, 李海燕, 蒯喜禄, 等, 2015. 南疆西部持续性暴雨环流背景及天气尺度的动力过程分析[J]. 气象, 41(7):816-824. Zhang Y H, Li H Y, Lin X L, et al, 2015. Analysis of continuous rainstorm circulation background and the dynamic process of synoptic-scale in west of Southern Xinjiang[J]. Meteor Mon, 41(7):816-824(in Chinese).