

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2019.0522

ZHOU Yaman, ZHAO Yong, LIU Jing. Analyzing on the characteristics of extreme summer precipitation events in northern Xinjiang [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2020, 42(2):598–608. [周雅蔓, 赵勇, 刘晶. 我国新疆北部地区夏季极端降水事件的特征分析[J]. 冰川冻土, 2020, 42(2):598–608.]

# 我国新疆北部地区夏季极端降水事件的特征分析

周雅蔓<sup>1,2</sup>, 赵勇<sup>2</sup>, 刘晶<sup>3,4</sup>

(1. 新疆维吾尔自治区气象台, 新疆乌鲁木齐 830002; 2. 成都信息工程大学 大气科学学院, 四川成都 610225; 3. 中国气象局 乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆乌鲁木齐 830002; 4. 中亚大气科学研究中心, 新疆乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 基于1961–2017年6–8月新疆北部47个观测站点的逐日降水资料, 根据百分位法定义不同站点的夏季极端降水阈值, 分析了新疆北部地区夏季极端降水事件和最大日降水的时空分布特征、贡献率及其与海拔的关系。结果表明: 新疆北部地区夏季极端降水事件和最大日降水量的各个特征量分布存在明显的时空差异, 空间上夏季极端降水事件、最大日降水量表现为山区高、盆地低的特点, 在海拔2 000 m左右存在一个最大降水带; 夏季极端降水事件和最大日降水量呈增多、增强的趋势, 并从20世纪90年代前后开始有明显的增加。夏季极端降水事件主要以单日为主, 夏季极端降水贡献随时间呈缓慢增加的趋势, 而夏季极端降水过程贡献和最大日降水贡献随时间变化呈下降趋势。

**关键词:** 极端降水; 最大日降水; 时空分布; 海拔; 新疆北部

**中图分类号:** P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2020)02-0598-11

## 0 引言

极端天气事件对社会经济、农业生产和人民生活有很大的影响, 当前全球变暖的背景下, 极端天气事件发生的概率增加, 灾害损失加剧<sup>[1–2]</sup>。其中极端降水事件随机性大, 突发性强, 损害大, 洪水、洪涝等自然灾害发生频率增加, 大范围持续的极端降水事件易造成泥石流和山体滑坡等自然灾害<sup>[3–5]</sup>, 严重制约经济发展和人民的生产生活<sup>[6]</sup>。IPCC第三次和第四次报告中<sup>[7–8]</sup>, 将极端天气事件定义为: 在某一特定地点和时间, 其发生概率极小, 通常只占该类天气现象的10%或者更低, 并指出中纬度地区强降水事件的发生愈发频繁, IPCC第五次报告<sup>[9]</sup>指出, 1880–2012年, 由于人类活动和自然因素综合影响, 全球地表平均温度升高了0.85℃, 大气不稳定性增加, 21世纪末大部分的陆地区域可能表现出强降雨事件的频率或强度的增加。极端降水事件一

旦发生, 往往给国民经济和人民生命财产造成重大损失, 引发的灾害风险也更为巨大。

新疆位于亚欧大陆腹地, 远离海洋, 地形地貌复杂, 气候干燥少雨, 为典型的干旱、半干旱气候区。1987年以来, 新疆降水量明显增加, 由“暖干”转为“暖湿”<sup>[10]</sup>, 且全疆大部分测站降水量突变也发生在20世纪80年代后<sup>[11–14]</sup>。由于新疆生态环境比较脆弱, 下垫面渗透能力差, 连续极端降水往往会造成泥石流、洪水、山体滑坡等自然灾害, 对新疆极端降水事件的关注及研究显得尤为重要。近年来, 极端降水指数呈自东南向西北递增的空间变化规律, 南疆、北疆极端降水指标的年际变化存在显著增加, 极端降水指标基本上在1986年、1987年发生突变, 各指标突变前后的变化存在明显差异<sup>[15–17]</sup>。新疆极端降水在季节和空间分布上均存在较大差异, 山区极端降水强度大, 平原地区极端降水频数多, 极端降水量和频数在夏季和冬季均呈明

收稿日期: 2018-05-14; 修订日期: 2019-07-26

基金项目: 国家重点研发计划专项(2018YEC1507103); 中亚大气科学研究基金(CAAS201902); 中国沙漠气象科学研究基金项目(Sqj2016005)资助

作者简介: 周雅蔓(1990–), 女, 新疆博乐人, 工程师, 2020年在成都信息工程大学获硕士学位, 从事天气预报预测和灾害性天气研究. E-mail: 15276759704@163.com

通信作者: 赵勇, 研究员, 从事区域变化和模拟研究. E-mail: zhaoyong@idm.cn.

显增加趋势<sup>[18-21]</sup>，新疆中部、南疆西部、北疆东部及北部极端强弱降水同时出现的可能性减小，而天山西部与南疆北部的可能性增加<sup>[22-24]</sup>，天山地区夏季极端降水事件呈增多趋势。此外，极端降水量受地形因素影响大<sup>[25-26]</sup>，年极端降水量越少的区域，极端降水对年降水量的贡献越大<sup>[27]</sup>，夏半年极端降雨量和极端降水事件频次的增加导致了年极端降水量的气候突变<sup>[28]</sup>。

天山横贯新疆中部，南疆地处于干旱沙漠地带，北疆以山地气候为主，降水主要集中在夏季，且北疆地区、天山山区降水量呈线性增加趋势<sup>[29-31]</sup>，以往关于极端降水量、极端降水过程的研究较少，因此讨论新疆北部极端降水事件的特征变化是十分必要的。本文利用 1961 - 2017 年新疆北部和天山地区共 47 个观测站点的逐日降水资料，用百分位的方法定义了夏季极端降水阈值，分析新疆北部夏季(6 - 8 月)极端降水事件、最大日降水量的时空变

化特征及其与海拔的关系。

1 资料与方法

本文选用 CIMISS(全国综合气象信息共享平台)气象数据提供的全疆 105 个测站 1961 年 1 月 1 日 - 2017 年 12 月 31 日的逐日降水观测资料，考虑到新疆地区降水多分布在夏季(6 - 8 月)，从中选取 6 月 1 日 - 8 月 31 日的逐日降水资料用于该研究。由于北疆地区的夏季降水(平均 100 mm 左右)远大于南疆(平均 30 mm 左右)，因此，研究北疆地区夏季极端降水更有实际意义。为确保资料的正确和完整性，对其进行了简单的质量控制，即剔除在研究时间段内日降水数据缺测量超过 5% 的站点，筛选 5 个站点后，符合本文研究的新疆北部和天山山区共有 47 个观测站[图 1(a)]，不同海拔上的观测站点分布见表 1。本文将研究的区域统称为新疆北部地区。

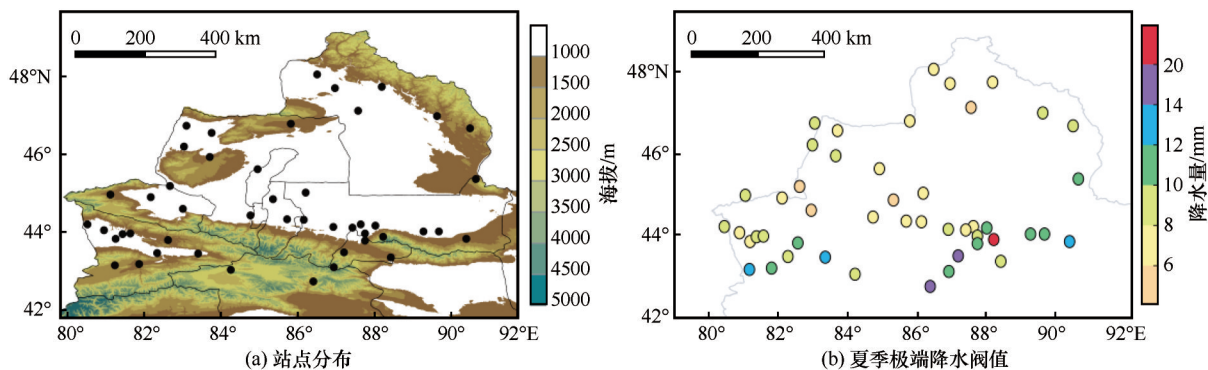


图 1 新疆北部地区观测站点分布(a)和各夏季极端降水阈值(b)

Fig. 1 Distribution of observational stations (a) and the extreme summer precipitation thresholds (b) in northern Xinjiang

表 1 不同海拔上新疆北部地区观测站点分布

Table 1 Distribution of observation stations at different altitudes in northern Xinjiang

海拔/m	站点个数	海拔/m	站点个数
300 ~ 400	4	1 200 ~ 1 400	5
400 ~ 500	5	1 400 ~ 1 600	0
500 ~ 600	9	1 600 ~ 1 800	2
600 ~ 700	4	1 800 ~ 2 000	3
700 ~ 800	7	2 000 ~ 2 500	1
800 ~ 1 000	3	2 500 ~ 3 000	0
1 000 ~ 1 200	3	3 000 ~ 3 500	1

确定极端降水事件阈值的方法采用国际上常用的百分位法，即将一定时间段内的逐日降水量各自按升序(降序)排列，选取某个百分位值作为极端降水事件的阈值，日降水量超过该阈值的事件称为

极端降水事件。将新疆北部地区 47 个观测站 1961 - 2017 年夏季逐日降水量按数值升序排列，得到  $x_1, x_2, \dots, x_n$ ，选取日降水量  $\geq 0.1$  mm 的第 90 个百分位的日降水量定义为夏季极端降水量的阈值，以此阈值来确定夏季极端降水事件。则百分位阈值  $X(p)$  的计算公式为： $X(p)=X(j)+a[X(j+1)-X(j)]^{[32]}$ 。式中， $j$  为逐日降水量的排列序号； $j=\text{Int}[pn+(1+p)/3]$ ；其中  $\text{Int}(x)$  为取整函数；表示取  $x$  的整数部分，不四舍五入； $a$  为权重系数， $a=pn+(1+p)/3-j$ ，其中  $p$  为选取的百分位数。本文的研究中  $p$  取 90%，作为确定极端降水事件的标准。

根据本文研究中新疆北部地区 47 个观测站的夏季极端降水阈值空间分布[图 1(b)]来看，新疆北部地区的平均夏季极端降水阈值达 9.1 mm，夏季

极端降水阈值的分布呈现山区高、盆地低的特点,与各观测站年均夏季降水量关系密切。夏季极端降水阈值的高值区在伊犁河谷东南部山区、天山山区、乌鲁木齐和昌吉州东部,其夏季极端降水阈值超过 10 mm;其中,夏季极端降水阈值的最大值出现在天池站,阈值为 22.5 mm,最小值出现在精河站,阈值为 4.6 mm。

本文对夏季极端降水事件和最大日降水量的时间特征部分做 Mann-Kendall 突变及趋势分析,取 95% 的信度水平,并对文中的统计结果进行显著性检验(相关系数检验)。此外,为了便于本文的讨论,简单说明几个特征量:夏季极端降水量为夏季极端降水量的总和;夏季极端降水频率为夏季日降水量超过夏季极端降水事件阈值的日数;夏季极端降水贡献为夏季极端降水量与年总降水量的比值;夏季极端降水过程为降水时间 $\geq 2$ 天,且至少有 1 日降水量超过极端降水阈值的降水过程;夏季极端降水过程降水量为夏季极端降水过程中降水量的总和;夏季极端降水过程贡献为夏季极端降水过程降水量与年总降水量的比值;夏季最大日降水量为夏季日降水量的最大值;夏季最大日降水贡献为夏季最大日降水量与夏季极端降水量的比值。

## 2 极端降水事件的时空特征

### 2.1 极端降水的时空分布特征

年均夏季降水量[图 2(a)]和年均夏季极端降水量[图 2(b)]的分布较为一致,两者都存在明显的区域差异,盆地的年均夏季降水量普遍低于 80 mm,年均夏季极端降水量普遍低于 40 mm,年均夏季降水量超过 100 mm 和年均夏季极端降水量超过 50 mm 的站点主要分布在伊犁河谷东南部山区和天山山区。其中,年均夏季降水量超过 150 mm 的地区,其年均夏季极端降水量几乎达 70 mm 以上,最大值可达 100 mm 之多,可见夏季降水量与夏季极端降水量关系密切。从图 2 给出的年均夏季极端降水频率[图 2(c)]来看,年均夏季极端降水频率超过 3d 的频发区主要位于伊犁河谷东南部山区和天山山区,最大值达 6 d,年均夏季极端降水频率的低值区主要位于准葛尔盆地,年均不到 2.6 d,表明盆地地区夏季发生极端降水的次数不多,这也与新疆北部年均夏季降水量的分布较为一致。通过对年均夏季极端降水贡献的分析[图 2(d)]可知,年均夏季极端降水贡献超过 25% 的地区

主要位于天山山区、博州、阿勒泰东部和昌吉州东部,新疆北部其他地区的年均夏季极端降水贡献在 11.5% ~ 19.6%,其中达坂城、巴仑台地区的夏季极端降水贡献超过 36.2%,可见夏季极端降水对年降水量的贡献较大。

1961 - 2017 年,新疆北部地区 47 个观测站的平均夏季极端降水量、夏季极端降水频率总体呈上升趋势,从图 3(a)、3(b)(通过 95% 信度检验)结合 M-K 突变检验和趋势分析来看,两者从 1991 年后均开始有明显的增加,夏季极端降水量和夏季极端降水频率在 1987 年首次突破 59 mm 和 3.7 d,之后又多次达到峰值,这与其他学者的研究结果也较为吻合<sup>[8-10,19]</sup>。在 2016 年,夏季极端降水量和夏季极端降水频率出现这 57 年来的峰值,夏季极端降水量达 91.8 mm,夏季极端降水频率达 4.9 d。从新疆北部地区 47 个观测站的平均夏季极端降水贡献年变化特征来看[图 3(c)],夏季极端降水贡献随时间变化呈缓慢增加的趋势,平均夏季极端降水贡献为 18.7%,最大值出现在 2007 年,高达 28.7%,47 个观测站的夏季极端降水总量超过 4 000 mm,最小值出现在 1980 年,为 11.2%,对应 47 个观测站的夏季极端降水总量为 1 159.0 mm,因此,近年来夏季极端降水量对年降水量有较大的贡献。

鉴于新疆降水与海拔有较大相关性,下面重点分析夏季极端降水随海拔的变化情况。由图 4(a)、4(b)可知,年均夏季极端降水量与年均夏季降水量变化基本一致,海拔 300 ~ 800 m 的范围内年均夏季极端降水量与年均夏季降水量随海拔的增加而增大,海拔 800 ~ 1 400 m 范围内两者随海拔的增加呈现振荡的特点,海拔 1 400 ~ 2 000 m 范围内,年均夏季极端降水量与年均夏季降水量随海拔增加迅速增大,在 2 000 m 左右达到最大值,2 000 m 以上随着海拔增加,两者又开始减少,到 3 000 m 以上又有所增加,这与天山地形动力作用有一定的关系<sup>[33]</sup>。年均夏季极端降水频率[图 4(c)]在海拔 300 ~ 800 m 的范围内随海拔的变化与年均夏季极端降水量的特点相似,年均夏季极端降水频率在海拔 800 ~ 1 600 m 范围内随海拔变化呈振荡变化,随后随海拔增加明显增大,在 1 800 m 左右达到最大值,海拔在 1 800 ~ 2 000 m 的范围里,年均夏季极端降水频率又随海拔增加而减小,2 000 m 以上随着海拔的增加,年均夏季极端降水频率又有所增



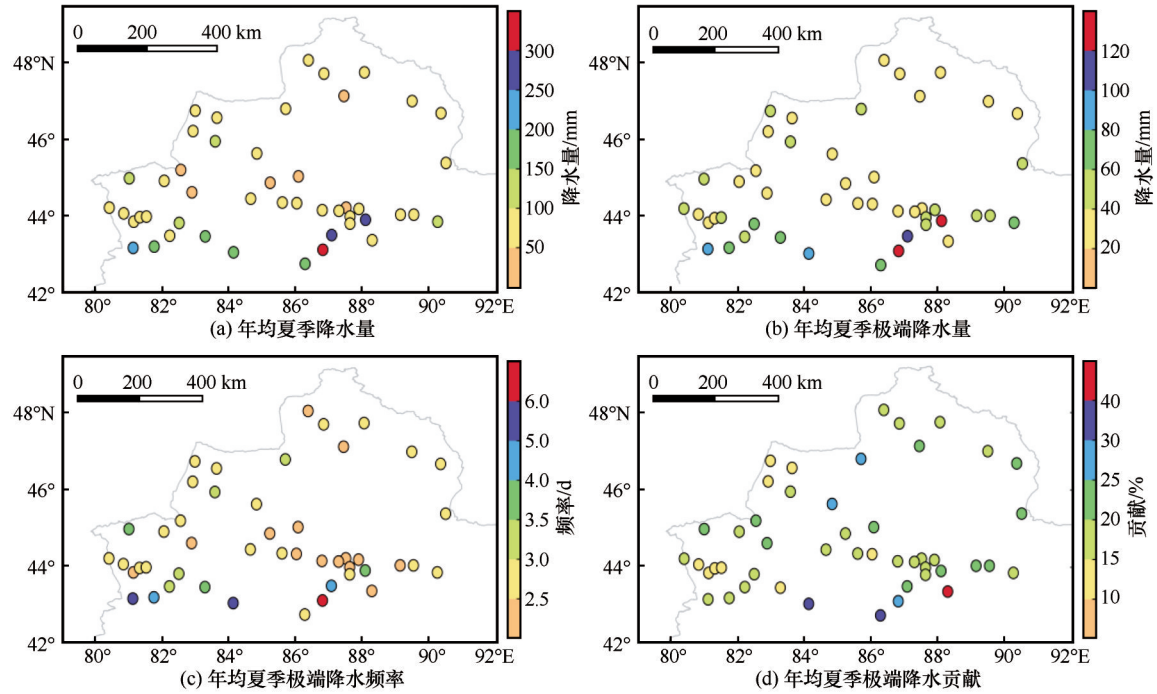


图2 新疆北部地区年均夏季降水量和夏季极端降水特征量的空间分布

Fig. 2 Spatial distributions of annual mean summer precipitation (a), annual mean extreme summer precipitation (b), annual mean extreme summer precipitation frequency (c), and annual mean extreme summer precipitation contribution (d) in northern Xinjiang

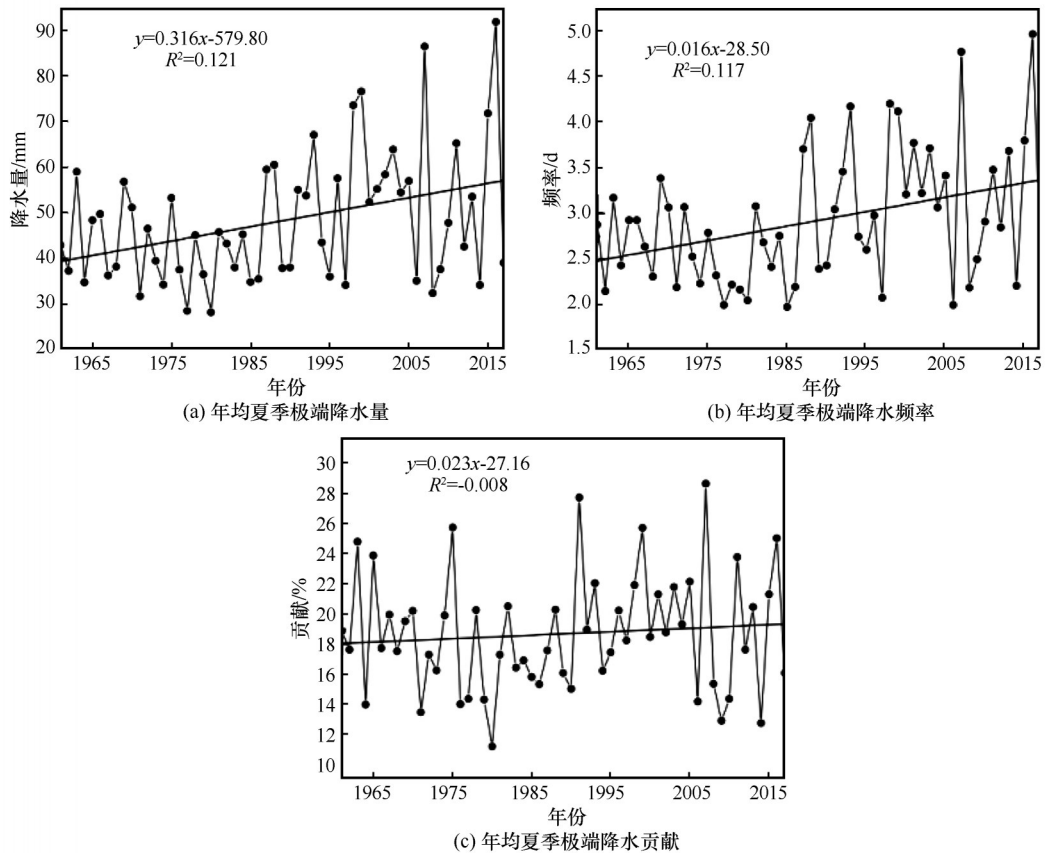


图3 新疆北部地区平均夏季极端降水特征量的时间分布

Fig. 3 Annual variations of average extreme summer precipitation (a), average extreme summer precipitation frequency (b), and average extreme summer precipitation contribution (c) in northern Xinjiang

加。从图4(d)来看,年均夏季极端降水贡献在海拔300~800m的范围内表现为振荡减少的趋势,在海拔800~2000m的范围内表现为振荡增加的特点,在1100m左右达到最大值,海拔2000m以上年均夏季极端降水贡献随着海拔的增加而增大,海拔3000m以上年均夏季极端降水贡献随海拔增加而减小。由此可见,夏季极端降水和地形的海拔变化

关系密切,夏季极端降水量并非随着海拔的增加而一直增大,在海拔2000m左右存在一个最大的夏季极端降水带,夏季极端降水频率随海拔增加出现振荡增加的特点,在高海拔地区夏季极端降水发生的频率最高,但对应的夏季极端降水贡献并非随海拔增加而增大,主要在海拔1000~1800m范围内出现较大峰值。

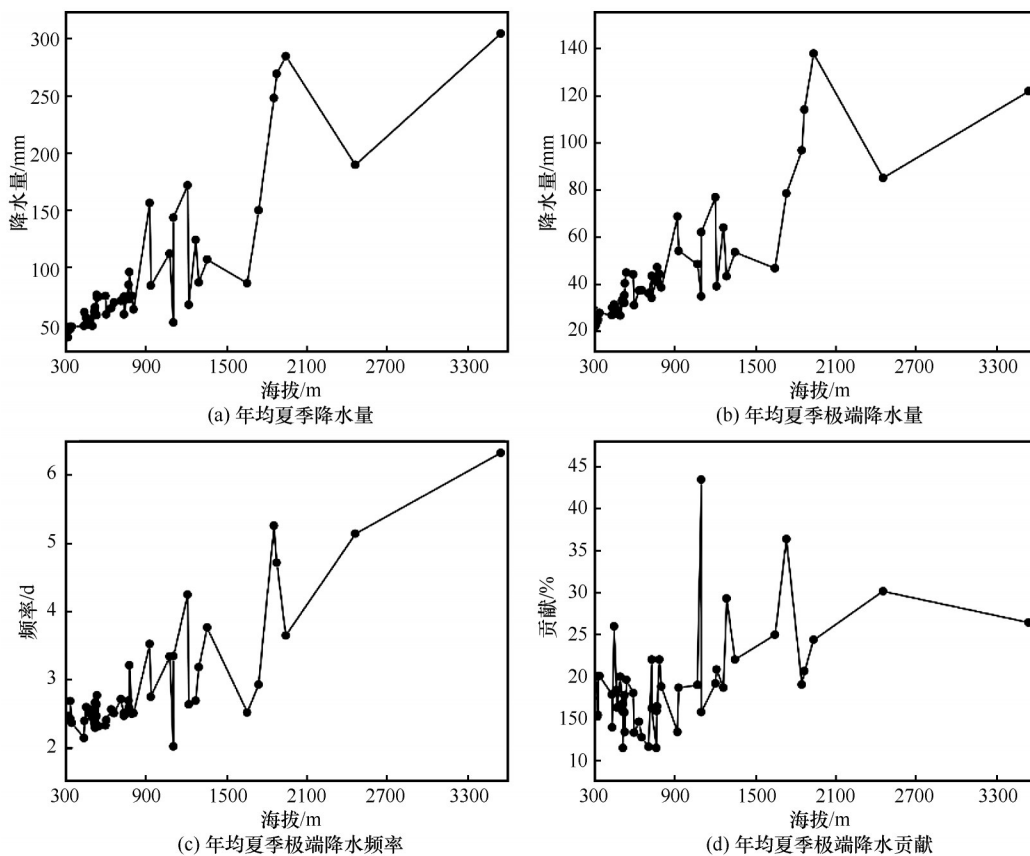


图4 新疆北部地区年均夏季极端降水特征量随海拔的变化

Fig. 4 Variations of annual average summer precipitation (a), annual average extreme summer precipitation (b), annual average extreme summer precipitation frequency (c) and annual average extreme summer precipitation contribution (d) in northern Xinjiang

## 2.2 极端降水过程的时空分布特征

通过分析图5(a)的年均夏季极端降水过程降水量可知,准葛尔盆地的年均夏季极端降水过程降水量在15~35mm之间,伊犁河谷、北疆西部山区、乌鲁木齐、昌吉州东部和天山山区的年均夏季极端降水过程降水量超过40mm,其中天山大西沟、天池、小渠子、昭苏、巴音布鲁克5个观测站的年均夏季极端降水过程降水量超过100mm。由图5(b)可知,新疆北部地区47个观测站的平均夏季极端降水过程贡献达20.2%,天山山区和达坂城、和布克赛尔、温泉、克拉玛依的年均夏季极端降水

过程贡献超过25%,这与年均夏季极端降水贡献大值区的空间分布基本一致。其中,达坂城、天山大西沟、巴音布鲁克和巴仑台的年均夏季极端降水过程贡献超过35%,可见山区地带的夏季极端降水过程降水量对年降水量的贡献最大。

从1961~2017年新疆北部地区47个观测站的平均夏季极端降水过程降水量的时序图[图6(a),通过95%的信度检验]可以看出,随时间的变化,平均夏季极端降水过程降水量也呈增加的趋势,57年来的平均夏季极端降水过程降水量达55.6mm。通过M-K突变检验和趋势分析,平均夏季极端降水

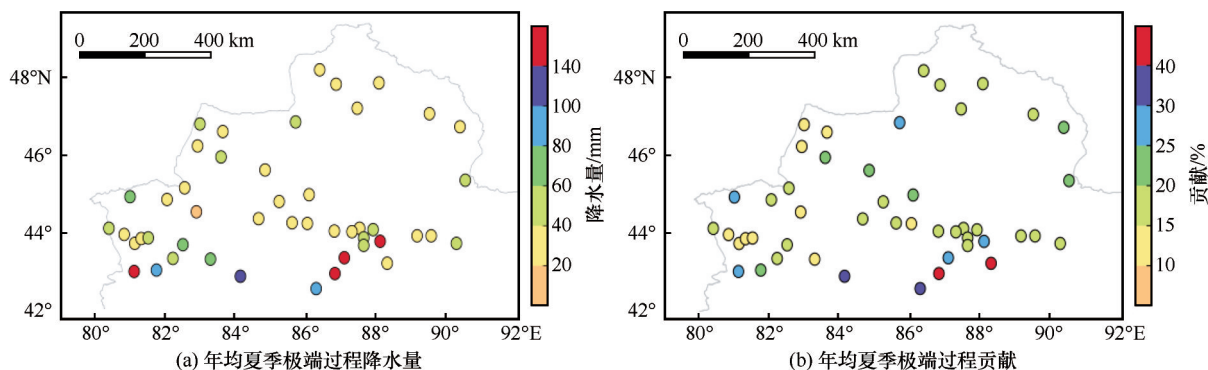


图5 新疆北部地区年均夏季极端降水过程降水量(a)及其贡献(b)的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of annual average extreme summer precipitation (a) and annual average extreme summer precipitation contribution (b) in northern Xinjiang

过程降水量在1992年发生突变,并从1993年开始呈现上升趋势,首次突破70 mm,此后多次达到峰值,2016年平均夏季极端降水过程降水量突破90 mm,也是57年来的最大值,1998年次之,平均夏季极端过程降水量为87.1 mm,由此表明夏季极端降水过程降水量近年来显著增加。结合平均夏季极端降水过程贡献来看[图6(b)],57年的平均夏季极端降水过程贡献为20.9%,略高于平均夏季极端降水贡献(18.7%)。1990–2017年,平均夏季极端降水过程贡献有4年低于平均夏季极端降水贡献,有7年平均夏季极端降水过程贡献超过平均夏季极端降水量贡献不足1%。结合57年夏季单日极端降水频次来看[图6(c),通过99%的信度检验],近年来夏季单日极端降水事件日益增多,对年降水量的贡献增加。

### 3 最大日降水量的时空分布特征

通过对年均夏季最大日降水量空间分布[图7(a)]的分析可知,准葛尔盆地的年均夏季最大日降水量为10.3~19.8 mm,超过20 mm的年均夏季最大日降水量主要集中在伊犁河谷东南部山区、乌鲁木齐、昌吉州东部和天山山区,天池年均夏季最大日降水量高达51.2 mm,因此山区的夏季日降水量值比较大,这与年均夏季极端降水量的空间分布较为一致,均呈现出盆地低、山区高的特征。从年均夏季最大日降水量对夏季极端降水量的贡献来看[图7(b)],新疆北部地区47个观测站的平均夏季最大日降水量贡献达46.2%,准葛尔盆地年均夏季最大日降水贡献在45%~55%之间,达坂城的年均夏季最大日降水贡献为63.6%。可见,在盆地地区夏季最大日降水量对夏季极端降水量的贡献很大,

而在伊犁河谷东南部山区、北疆西部山区和天山山区的年均夏季最大日降水贡献为22.5%~45.8%,可见在这些年均夏季极端降水频率大的地区,由于年均夏季极端降水量大,夏季最大日降水量贡献比较小。

图8(通过90%的信度检验)给出了新疆北部地区47个观测站的平均夏季最大日降水量及其贡献的时间变化特征。由图8(a)和M-K趋势分析可知,平均夏季最大日降水量随时间变化呈线性增长趋势,在1986年后发生突变,1987年首次突破23 mm,最大值出现在2007年,平均夏季最大日降水量为29.6 mm,2016年次之,为29.1 mm。综合来看,57年的平均最大日降水量为19 mm。1961–1987年的27年间,平均夏季最大日降水量只有6次超过19 mm,而1987年以来的31年,平均夏季最大日降水量有18次超过19 mm。因此1987年之后,夏季最大日降水量有明显的增加,这与平均夏季极端降水量的变化特征较为一致。由图8(b)的可知,随着时间的增加,平均夏季最大日降水贡献呈现出下降的趋势,这与平均夏季最大日降水量的时间变化趋势相反,主要是由于夏季极端降水量、极端降水频率和极端降水贡献随时间变化呈上升趋势,且夏季极端降水量的增加速度比最大降水量的增加速度更快。

由图9(a)来看,年均夏季最大日降水量在海拔300~800 m的范围内基本随着海拔的增加而增大,在海拔800~2 000 m的范围内表现为振荡并增加的特点,在海拔1 400~2 000 m的范围内年均夏季最大日降水量增加明显,在2 000 m左右达到最大值,降水量超过50 mm,在海拔2 000 m以上,随着海拔增加,年均夏季最大日降水量又开始减少,到

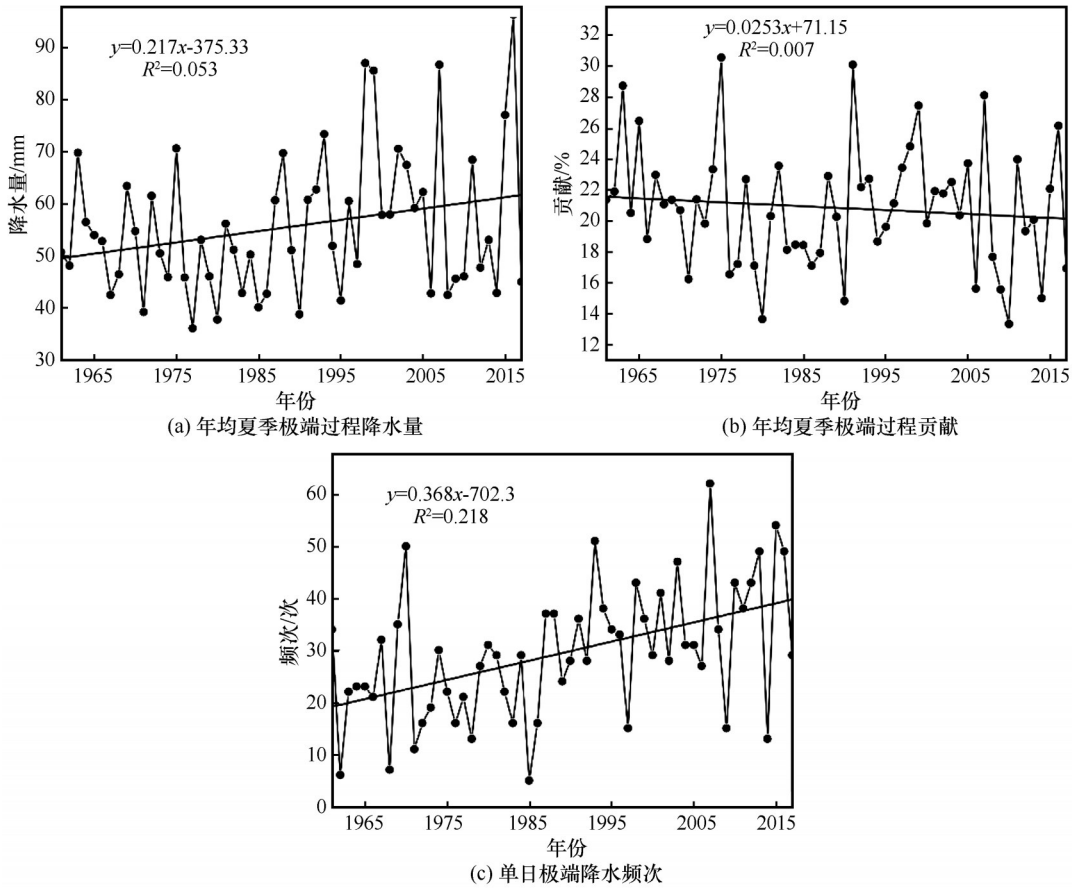


图6 新疆北部地区平均夏季极端降水过程降水量(a)及其贡献(b)和单日极端降水频次(c)的时间分布  
Fig. 6 Annual variations of average extreme summer precipitation (a), average extreme summer precipitation process contribution (b) and frequency of extreme precipitation in a single day (c) in northern Xinjiang

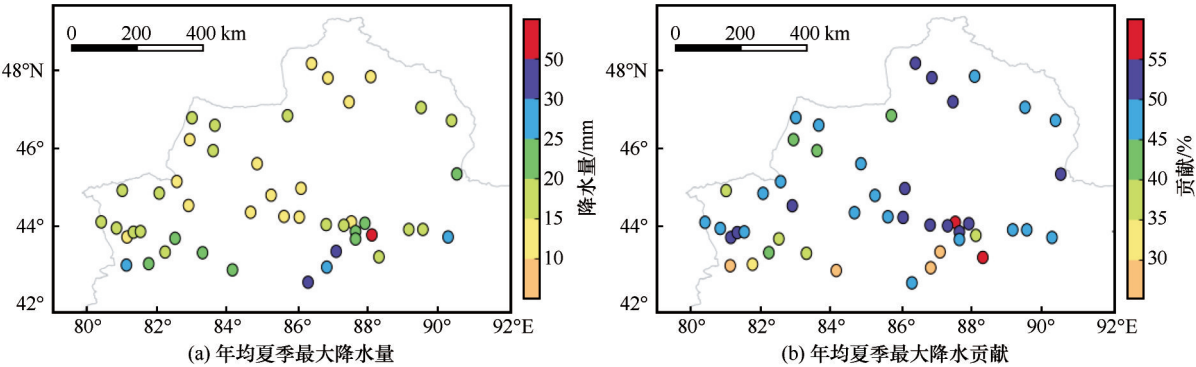


图7 新疆北部地区年均夏季最大日降水量(a)和最大日降水贡献(b)的空间分布  
Fig. 7 Spatial distributions of annual average maximum daily precipitation (a) and annual average maximum daily precipitation contribution (b) in summer in northern Xinjiang

3 000 m 以上年均夏季最大日降水量又有所增加。对比分析可知,年均夏季最大日降水量与年均夏季降水量、年均夏季极端降水量随海拔的变化较为一致。年均夏季最大日降水贡献在海拔 300 ~ 800 m 范围内基本随着海拔的增加而减小,在海拔 800 ~ 1 800 m 范围内表现为振荡的特点,在 1 100 m 左右达到最大值,年均夏季最大日降水贡献为 63.6%,

由于此处站点的夏季极端降水量小,最大日降水占夏季极端降水量的比例大,夏季最大日降水贡献比较大,海拔 2 000 m 以上随着海拔的增加,年均夏季最大日降水贡献明显减小。由此可知,夏季最大日降水量并非随着海拔的增加而一直增大,在海拔 2 000 m 左右夏季最大日降水量比较大,夏季最大日降水贡献与海拔的关系较为复杂,主要在低海拔



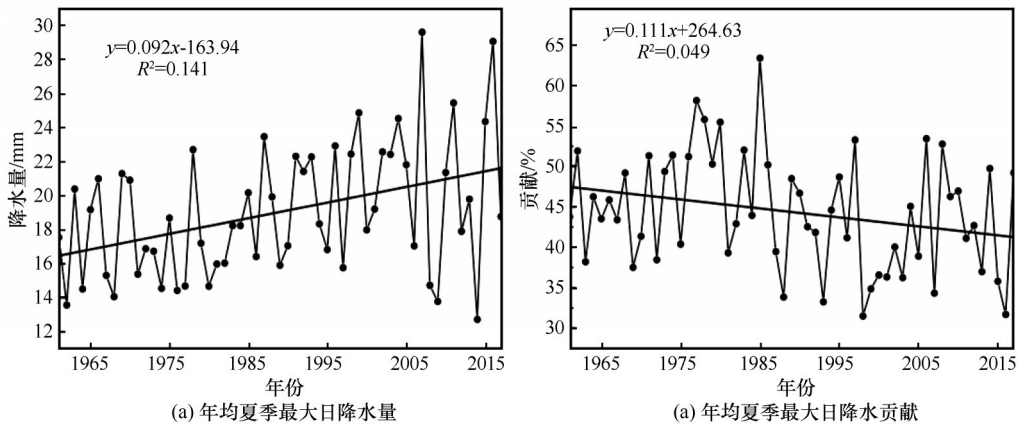


图8 新疆北部地区平均夏季最大日降水量(a)及其贡献(b)的时间分布

Fig. 8 Annual variations of average maximum daily precipitation (a) and average maximum daily precipitation contribution (b) in summer in northern Xinjiang

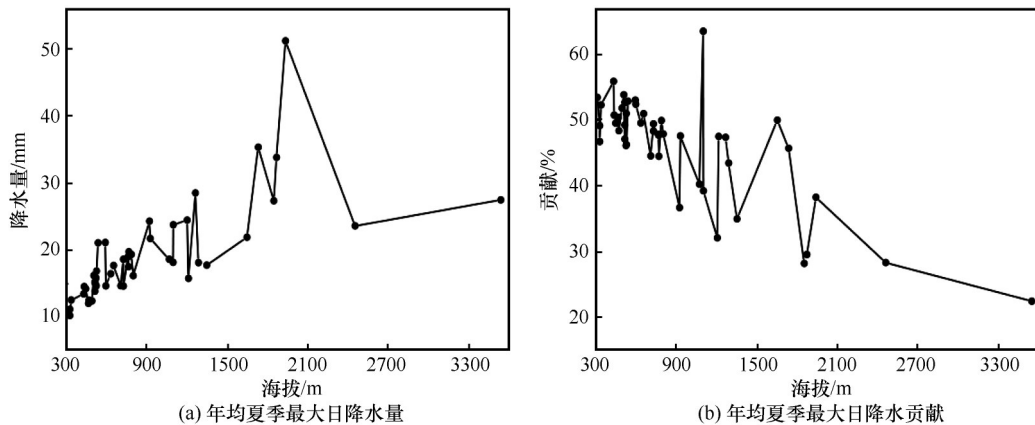


图9 新疆北部地区年均夏季最大日降水量(a)及其贡献(b)随海拔的变化

Fig. 9 Annual variations of average maximum daily precipitation (a) and average maximum daily precipitation contribution (b) in summer in northern Xinjiang

地区夏季最大日降水贡献比较大, 随海拔的增加夏季最大日降水贡献整体呈减小的趋势。

#### 4 结论

本文利用新疆北部地区 1961—2017 年 6—8 月的日降水量资料分析了北部地区夏季极端降水事件、极端降水过程和最大日降水量的时空分布特征及其与海拔的关系, 主要得出以下结论:

(1) 在空间分布上, 新疆北部地区的夏季极端降水过程降水量、最大日降水量与夏季极端降水量、极端降水频率分布较为一致, 在地域上有明显的空间差异, 表现为山区高、盆地低的特点, 高值区主要集中在伊犁河谷东南部山区、乌鲁木齐、昌吉州东部和天山山区, 伊犁河谷东南部山区和天山山区的部分地区夏季平均有 3~4 d 出现极端降水。伊犁河谷东南部山区的夏季极端降水贡献、夏季极

端降水过程贡献并不大, 为 11%~27%, 天山山区的夏季极端降水、极端降水过程降水量对年降水量的贡献最大, 贡献率在 20%~41%。结合夏季最大日降水贡献来看, 准葛尔盆地地区的夏季最大日降水量对夏季极端降水量的贡献最大, 达到 46%~53%, 在夏季极端降水量较大的地区, 夏季最大日降水贡献比较小。

(2) 在时间尺度上, 1961—2017 年新疆北部地区的夏季极端降水量、极端降水频率、极端降水过程降水量和最大日降水量总体呈上升趋势, 四者从 20 世纪 90 年代前后开始均有明显的增加, 表明夏季极端降水事件和最大日降水量近年来增加较为明显。平均夏季极端降水贡献随时间呈缓慢增加的趋势, 新疆北部地区 57 年的平均夏季极端降水贡献为 18.7%, 但平均夏季极端降水过程贡献随时间变化呈缓慢下降趋势, 近年来持续时间  $\leq 1$  d 的极



端降水日益增多,对年降水量的贡献增大;此外,平均夏季最大日降水贡献也呈现出下降的趋势,夏季极端降水量增加速度比最大日降水量的增加速度更快。

(3) 新疆降水与海拔密切相关,平均夏季极端降水量、最大日降水量并非随着海拔的增加而一直增大,在海拔 2 000 m 左右可能存在一个最大的夏季降水带。平均夏季极端降水贡献在海拔 300 ~ 2 000 m 范围内表现为振荡增加的特点,2 000 m 以上随着海拔的增加夏季极端降水贡献增大,3 000 m 以上平均夏季极端降水贡献减小,主要在海拔 1 000 ~ 1 800 m 范围内出现较大的峰值。平均夏季最大日降水贡献随海拔的增加整体呈减小的趋势,主要在低海拔地区夏季最大日降水对夏季极端降水的贡献比较大,低海拔地区夏季最大单日降水占夏季极端降水量的比例多。

#### 参考文献(References):

- [1] Ding Yihui, Ren Guoyu, Shi Guangyu, et al. National assessment report of climate change (I): Climate change in China and its future trend[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(1): 3-8, 50. [丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8, 50.]
- [2] Allan R P, Soden B J. Atmospheric warming and the amplification of precipitation extremes[J]. *Science*, 2008, 321(5895): 1481-1484.
- [3] Yang Jinhu, Jiang Zhihong, Wang Pengxiang, et al. Temporal and spatial characteristic of extreme precipitation event in China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2008, 13(1): 75-83. [杨金虎, 江志红, 王鹏祥, 等. 中国年极端降水事件的时空分布特征[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(1): 75-83.]
- [4] Zhai Panmao, Pan Xiaohua. Change in extreme temperature and precipitation over Northern China during the second half of the 20th century[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(Suppl 1): 1-10. [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(增刊 1): 1-10.]
- [5] Jiang Zhihong, Ding Yuguo, Chen Weilin. Projection of precipitation extremes for the 21st century over China[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(4): 202-207. [江志红, 丁裕国, 陈威霖. 21 世纪中国极端降水事件预估[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(4): 202-207.]
- [6] MoJianfei, ZhongShiquan, ChenYanli, et al. Study on social economic exposure degree model of basin flood hazard of extreme precipitation events in Guangxi[J]. *Journal of Catastrophology*, 2018, 33(2): 83-88. [莫建飞, 钟仕全, 陈燕丽, 等. 极端降水事件下广西流域洪涝社会经济暴露度分析[J]. 灾害学, 2018, 33(2): 83-88.]
- [7] Houghton J T, Ding Yihui, Griggs D J, et al. Climate change 2001: the science of climate change: contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. New York: Cambridge University Press, 2001.
- [8] Solomon S, Qin Dahe, Manning M, et al. Climate change 2007: the physical science basis: contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [9] Stocker T F, Qin Dahe, Platter G K, et al. Climate change 2013: the physical science basis: contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. New York: Cambridge University Press, 2013: 123-137.
- [10] Shang Shasha, Lian Lishu, Ma Ting, et al. Spatiotemporal variation of temperature and precipitation in Northwest China in recent 54 years[J]. *Arid Zone Research*, 2018, 35(1): 68-76. [商沙沙, 廉丽姝, 马婷, 等. 近 54 a 中国西北地区气温和降水的时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2018, 35(1): 68-76.]
- [11] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(3): 219-226. [施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 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, 2002, 24(3): 219-226.]
- [12] Hu Ruji, Jiang Fengqing, Wang Yajun, et al. A study on signals and effects of climatic pattern change from warm-dry to warm-wet in Xinjiang [J]. *Arid Land Geography*, 2002, 25(3): 194-200. [胡汝骥, 姜逢清, 王亚俊, 等. 新疆气候由暖干向暖湿转变的信号及影响[J]. 干旱区地理, 2002, 25(3): 194-200.]
- [13] Zhang Shengjun, Wang Tianming, Wang Tao, et al. Spatial-temporal variation of the precipitation in Xinjiang and its abrupt change in recent 50 years [J]. *Journal of Desert Research*, 2010, 30(3): 668-674. [张生军, 王天明, 王涛, 等. 新疆近 50 a 来降水量时空变化及其突变分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(3): 668-674.]
- [14] Chen Yaning, Wang Huaijun, Wang Zhicheng, et al. Characteristics of extreme climatic/hydrological events in the arid region of Northwestern China[J]. *Arid Land Geography*, 2017, 40(1): 1-9. [陈亚宁, 王怀军, 王志成, 等. 西北干旱区极端气候水文事件特征分析[J]. 干旱区地理, 2017, 40(1): 1-9.]
- [15] Li Jiaxiu, Du Chunli, Du Shifei, et al. Temporal-spatial variation and trend prediction of extreme precipitation events in Xinjiang [J]. *Arid Zone Research*, 2015, 32(6): 1103-1112. [李佳秀, 杜春丽, 杜世飞, 等. 新疆极端降水事件的时空变化及趋势预测[J]. 干旱区研究, 2015, 32(6): 1103-1112.]
- [16] Jiang Fengqing, Hu Ruji, Wang Shaoping, et al. Trends of precipitation extremes during 1960-2008 in Xinjiang, the Northwest China [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2013, 111(1/2): 133-148.
- [17] Zhang Yanwei, Wei Wenshou, Jiang Fengqing, et al. Trends of extreme precipitation events over Xinjiang during 1961-2008 [J]. *Journal of Mountain Science*, 2012, 30(4): 417-424. [张延伟, 魏文寿, 姜逢清, 等. 1961-2008 年新疆极端降水事件的变化趋势[J]. 山地学报, 2012, 30(4): 417-424.]
- [18] Zhao Yong, Huang Danqing, Zhu Jian. The preliminary analysis of extreme precipitation events in northern Xinjiang [J]. *Desert and Oasis Meteorology*, 2010, 4(5): 1-5. [赵勇, 黄丹青, 朱坚. 北疆极端降水事件的初步分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2010, 4(5): 1-5.]

- [19] Zhao Yong, Deng Xueliang, Li Qin, et al. Characteristics of the extreme precipitation events in the Tianshan Mountains in relation to climate change[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32(5): 927 – 934. [赵勇, 邓学良, 李秦, 等. 天山地区夏季极端降水特征及气候变化[J]. *冰川冻土*, 2010, 32(5): 927 – 934.]
- [20] Zhao Yong, Huang Danqing, Zhu Jian, et al. The feature analysis of regional and persistent extreme precipitation events in northern Xinjiang region[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2011, 33(3): 524 – 531. [赵勇, 黄丹青, 朱坚, 等. 北疆极端降水事件的区域性和持续性特征分析[J]. *冰川冻土*, 2011, 33(3): 524 – 531.]
- [21] Zhao Li, Han Xueyun, Yang Qing. Spatial and temporal variability of the extreme precipitation in the arid region of Northwest China during recent 50 years[J]. *Desert and Oasis Meteorology*, 2016, 10(1): 19 – 26. [赵丽, 韩雪云, 杨青. 近50 a 西北干旱区极端降水的时空变化特征[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2016, 10(1): 19 – 26.]
- [22] Li Jianfeng, Zhang Qiang, Chen Xiaohong, et al. Spatial-temporal evolution pattern of probability distribution characteristics of extreme precipitation in Xinjiang Autonomous Region[J]. *Journal of Catastrophology*, 2011, 26(2): 11 – 17. [李剑锋, 张强, 陈晓宏, 等. 新疆极端降水概率分布特征的时空演变规律[J]. *灾害学*, 2011, 26(2): 11 – 17.]
- [23] Gao Jing, Jing Lihong, Jing Lijun, et al. Analysis on the climatic characteristics of extreme precipitation events in northern Xinjiang[J]. *Journal of Shanxi Meteorology*, 2017(3): 23 – 28. [高婧, 井立红, 井立军, 等. 北疆地区极端降水事件气候特征分析[J]. *陕西气象*, 2017(3): 23 – 28.]
- [24] Liu Youcun, Jiao Keqin, Zhao Kui, et al. The response of precipitation to global climate change in the Tianshan Mountains, China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2017, 39(4): 748 – 759. [刘友存, 焦克勤, 赵奎, 等. 中国天山地区降水对全球气候变化的响应[J]. *冰川冻土*, 2017, 39(4): 748 – 759.]
- [25] Tong Jin, Wei Lingxiang, Ye Jinyin, et al. Spatial-temporal distribution characteristics of short-time strong precipitation in the flood season under different terrains over Anhui Province[J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2017, 33(6): 42 – 48. [童金, 魏凌霄, 叶金印, 等. 安徽省不同地形条件下汛期短时强降水时空分布特征[J]. *气象与环境学报*, 2017, 33(6): 42 – 48.]
- [26] Li Kaiming, Zhong Xiaofei, Jiang Ye, et al. Study on vertical gradient change of air temperature and precipitation in Urumqi River basin during 1961 – 2016[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2018, 40(3): 607 – 615. [李开明, 钟晓菲, 姜烨, 等. 1961 – 2016年乌鲁木齐河流域气温和降水垂直梯度变化研究[J]. *冰川冻土*, 2018, 40(3): 607 – 615.]
- [27] Zhao Li, Yang Qing, Han Xueyun, et al. Spatial and temporal differences of extreme precipitation during 1961 – 2009 in Xinjiang, China[J]. *Journal of Desert Research*, 2014, 34(2): 550 – 557. [赵丽, 杨青, 韩雪云, 等. 1961 – 2009年新疆极端降水事件时空差异特征[J]. *中国沙漠*, 2014, 34(2): 550 – 557.]
- [28] Yang Lianmei. Climate change of extreme precipitation in Xinjiang[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(4): 577 – 583. [杨莲梅. 新疆极端降水的气候变化[J]. *地理学报*, 2003, 58(4): 577 – 583.]
- [29] Reziwanguli Maimaitiyiming, Yang Jianjun, Liu Yongqiang, et al. Characteristics of changes in temperature and precipitation in Xinjiang in recent 54 years[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(2): 128 – 133. [热孜宛古丽·麦提依明, 杨建军, 刘永强, 等. 新疆近54年气温和降水变化特征[J]. *水土保持研究*, 2016, 23(2): 128 – 133.]
- [30] Mao Weiyi, Jiang Yuan'an, Li Jiangfeng. Analysis on the linear tendency of precipitation in north Xinjiang[J]. *Arid Land Geography*, 2006, 29(6): 797 – 802. [毛炜峰, 江远安, 李江凤. 新疆北部的降水量线性变化趋势特征分析[J]. *干旱区地理*, 2006, 29(6): 797 – 802.]
- [31] Li Ruqi, Tang Ye, Cai Ren, et al. Analysis on the features of summer precipitation regional in Xinjiang[J]. *Desert and Oasis Meteorology*, 2007, 1(5): 15 – 17. [李如琦, 唐冶, 蔡仁, 等. 新疆夏季降水的区域特征分析[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2007, 1(5): 15 – 17.]
- [32] Zhang Xuebin, Hegerl G, Zwiers F W, et al. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes[J]. *Journal of Climate*, 2005, 18(11): 1641 – 1651.
- [33] Yu Xiaojing, Zhao Yong. Simulation of orographic effects on summer rain in the Tianshan Mountains[J]. *Journal of Desert Research*, 2016, 36(4): 1133 – 1143. [于晓晶, 赵勇. 地形对天山夏季降水影响的模拟[J]. *中国沙漠*, 2016, 36(4): 1133 – 1143.]

## Analyzing on the characteristics of extreme summer precipitation events in northern Xinjiang

ZHOU Yaman<sup>1,2</sup>, ZHAO Yong<sup>2</sup>, LIU Jing<sup>3,4</sup>

(1. Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, China; 2. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 3. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 4. Center for Central Asia Atmosphere Science Research, Urumqi 830002, China)

**Abstract:** Based on the summer daily precipitation data from 47 observational stations in northern Xinjiang from 1961 to 2017, the extreme summer precipitation thresholds at different observational stations were defined according to the percentile method. The temporal and spatial distribution of the extreme summer precipitation events and the maximum daily precipitation in northern Xinjiang and their contribution, relationship with altitude were analyzed. The results indicate that: Both extreme summer precipitation events and the maximum daily precipitation in the northern Xinjiang had presented obviously temporal and spatial differences. The extreme summer precipitation and the maximum daily precipitation were high in the mountains and low in the basin. There was a maximum precipitation band occurred at approximately 2 000 m above sea level. The extreme summer precipitation events and the maximum daily precipitation in northern Xinjiang had been significantly increased since the 1990s. The extreme precipitation events in summer were mainly on a single day. The contribution of the extreme summer precipitation had been slowly increased. But the contribution of the precipitation of the extreme precipitation process and the maximum daily precipitation in summer had showed a downward trend over time.

**Key words:** extreme precipitation; maximum daily precipitation; temporal and spatial distribution; altitude; northern Xinjiang

(责任编辑: 游庆龙; 编辑: 庞瑜, 周成林)