

# 1951~2015年我国西北干旱区夏季极端降水的时空特征研究

何 博<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

<sup>2</sup>贵州省铜仁市气象局, 贵州 铜仁

Email: shx@cuit.edu.cn

收稿日期: 2020年10月23日; 录用日期: 2020年11月5日; 发布日期: 2020年11月12日

## 摘 要

基于我国西北干旱区1951~2015年69个气象台站的逐日降水量, 用百分位法确定夏季极端降水阈值, 采用线性回归方法研究了我国西北干旱区夏季极端降水的时空变化特征, 并进一步分析了夏季极端降水量对夏季降水量的贡献。结果表明: (1) 从1951~2015年我国西北干旱区的夏季极端降水量、极端降水强度及极端降水频率总体上均呈现出增加的趋势; 从空间分布来看, 夏季极端降水量分布存在较为显著的空间差异性, 山区的夏季极端降水量、强度大于盆地及平原地区; (2) 1951~2015年夏季极端降水对夏季降水的贡献率呈现下降的趋势, 但自90年代后贡献率有所增加; 在空间上, 在降水较多的山区夏季极端降水量对夏季降水量的贡献率较低, 而在盆地及平原贡献率较高。

## 关键词

极端降水, 时空变化, 西北干旱区

## Study on the Temporal and Spatial Characteristics of Extreme Precipitation in the Arid Region of Northwestern China from 1951 to 2015

Bo He<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>Tongren Meteorological Bureau of Guizhou Province, Tongren Guizhou

Email: shx@cuit.edu.cn

Received: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2020; accepted: Nov. 5<sup>th</sup>, 2020; published: Nov. 12<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Based on the daily precipitation of 69 meteorological stations in the arid region of northwestern China from 1951 to 2015, the extreme precipitation threshold in summer was determined by the percentile method, and the temporal and spatial characteristics of extreme precipitation in summer in the arid region of northwestern China was studied using the linear regression, and the contribution of extreme precipitation to precipitation in summer was further analyzed. The results show that (1) the extreme precipitation, extreme precipitation intensity and frequency in the arid region of northwestern China generally showed an increasing trend during 1951-2015, extreme precipitation indicated significant difference of spatial distribution, and the extreme precipitation and extreme precipitation intensity in summer in mountainous areas were greater than that in basins and plains; (2) The contribution rate of extreme precipitation to precipitation in summer had a declined trend during 1951-2015, while after 1990s, there was an increasing trend, moreover, the contribution rate in mountain area with more precipitation was larger than that in the basins and plains.

## Keywords

Extreme Precipitation, Spatial and Temporal Variation, Arid Region of Northwestern China

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在全球变暖的背景下, 极端降水事件呈现出增加趋势[1] [2] [3]。极端降水事件的增加, 将带来泥石流、洪涝或干旱等自然灾害, 不仅会造成一定的经济损失, 甚至也会威胁到人类生命安全[4]。中国西北干旱区是全球气候变化的敏感区之一[5], 该区极端气候水文事件种类多且发生频繁, 尤其是自 20 世纪 80 年代以来, 西北干旱区极端气候水文事件的强度和频率均呈明显增加趋势[6] [7], 由此引发的灾害损失也在不断加大[8]。因此, 深入分析我国西北干旱区夏季极端降水的空间分布, 时间变化特征, 及其对夏季降水量的贡献, 有助于我们加强对西北干旱区夏季极端降水的认识, 也对当地政府应对极端降水可能造成的山洪、泥石流等自然灾害做出及时的预警方案以及防灾减灾具有十分重要的指示意义。

近年来, 众多学者就我国西北干旱区极端降水已展开了较多的研究。徐利岗等[9]研究表明我国西北干旱地区的降水量整体呈现出逐渐增加的趋势, 但由于地形差异等各种原因, 不同地区的增加趋势并不一致。李奇虎等[10]认为西北干旱区大部分站点的极端降水量也呈上升趋势, 只有少部分站点呈下降趋势, 其中极端降水量增加比较明显的站点主要分布在山区, 以天山山区为典例, 呈下降趋势的站点主要分布在非山区地带, 以塔里木盆地南侧为典例, 且近 50 年极端降水与总降水量的变化趋势基本上是一致的, 空间分布也基本一致。王少平等[11]研究发现 1961~2010 年西北干旱区夏季极端降水的频率整体上呈现增长的趋势, 夏季极端降水量对总降水量的贡献也逐年增加。杨宏青等[12]的研究表明西北大部分地区极端降水事件的增加趋势极为明显, 特别是极端降水的发生频次增加极为显著。赵丽等[13]研究近 50a 我国

西北干旱区极端降水并提出极端降水在我国西北地区受地形因素的影响较大,其中天山地区、北疆地区、河西-阿拉善地区极端降水量明显增多,而南疆地区的变化并不明显,张强[14]等研究进一步表明北疆发生极端强降水的概率较大,南疆发生弱降水的概率较大。总体来看,较多研究均表明我国西北干旱区极端降水量的变化存在较大的时空差异性。从季节变化来看,我国西北干旱区强降水在夏季增加最为显著[11],夏季强降水的增加可能会导致洪涝等自然灾害的发生,但目前就西北干旱区夏季极端降水量对夏季降水量贡献的时空变化特征的研究较少,其次,对西北干旱区极端降水进行研究的时段大多在近50a(2010年之前)。因此,本文对1951~2015年西北干旱区夏季极端降水的时空变化特征进行研究,进而揭示夏季极端降水的时空变化规律,并进一步分析了夏季极端降水对夏季降水量贡献率的时空变化特征,这将对西北干旱区夏季在防灾减灾方面提供一定的指导意义。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究区概况

中国西北干旱区是亚洲中部干旱区的重要组成部分,位于我国西部边陲,西北干旱地区涉及我国新疆、西藏、甘肃、宁夏、内蒙等省份。包括新疆全境、甘肃以北的河西走廊一带、青海西北的祁连山地区、内蒙古以西的阿拉善高原。西北干旱区的经纬度范围大致介于 $73^{\circ}\text{E}\sim 107^{\circ}\text{E}$ 和 $35^{\circ}\text{N}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 之间。干旱区北倚阿尔泰山脉,南靠昆仑山脉,西缘天山山脉,东接阿拉善高原。干旱区内还有塔里木盆地、准噶尔盆地、柴达木盆地等内陆盆地,还有塔克拉玛干沙漠,古尔班通古特沙漠等沙漠地区,土地总面积为218.6平方千米,约占全国国土面积的24.5%。我国西北干旱区属于典型大陆性气候,自然条件恶劣、生态极为脆弱,降水稀少。

### 2.2. 资料与方法

依据数据的连续性、时段、台站迁移等情况,选取了1951~2015年69个气象台站的日降水数据(台站分布如图1),数据来源于中国国家气象信息中心,该气象数据经过了严格的质量控制,数据完整性和准确性良好。

基于该数据,运用百分位法对西北干旱区极端降水阈值进行定义:将西北干旱区1951~2015年夏季(6、7、8月)各站逐日降水按升序排列,将第95个百分位值的65年平均定义为极端降水阈值。如果某日降水量大于该阈值,则认为该日出现了极端降水。极端降水量,极端降水频数、极端降水强度等定义见表1。

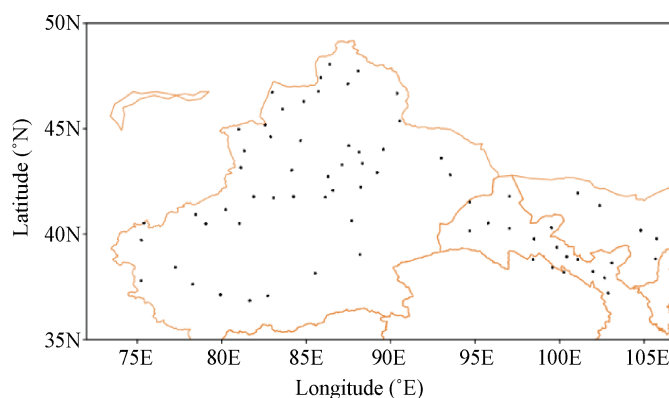


Figure 1. Study region and the distribution of stations

图1. 研究区及站点分布

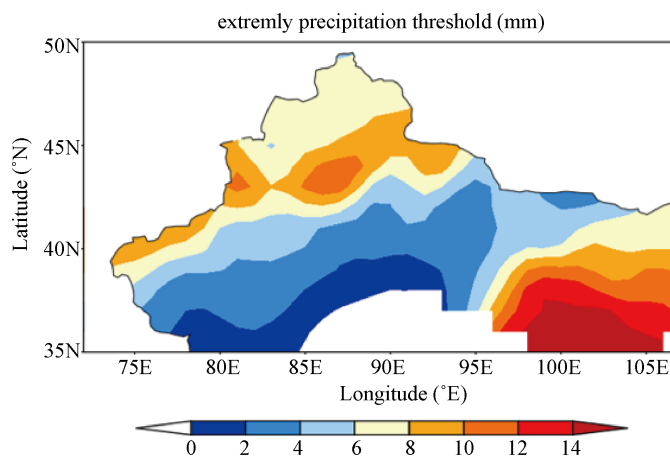
**Table 1.** Definition of the extreme precipitation index**表 1.** 极端降水指数定义

极端降水指数	定义	单位
极端降水阈值	通过百分位计算得到	mm
极端降水量	日降水量超过极端降水阈值的降水量之和	mm
极端降水频数	日降水量超过极端降水阈值的日数	d
极端降水强度	超过极端降水阈值的降水量与极端降水出现日数之比	mm/d

### 3. 西北干旱区夏季极端降水的时空变化特征

#### 3.1. 西北干旱区夏季极端降水阈值的空间分布

图 2 给出了西北干旱区极端降水阈值的空间分布, 可以看出, 受西北干旱区的地形影响, 夏季极端降水阈值空间差异性较大。其中西部以天山地区的夏季极端降水阈值最大, 大于 8 mm, 最大的天山山区达到了 10 mm 以上。研究区东部以河西走廊和阿拉善以及祁连山脉一带极端降水阈值较大, 最大值达到了 14 mm 以上。而夏季极端降水阈值最小的地方则是昆仑山脉地区, 低于 2 mm。总的来说, 西北干旱区极端降水阈值大值区主要集中在降水量较大的山区, 而在降水量较小的盆地、平原, 阈值较小, 由此可见, 极端降水阈值的分布存在较大空间差异性。

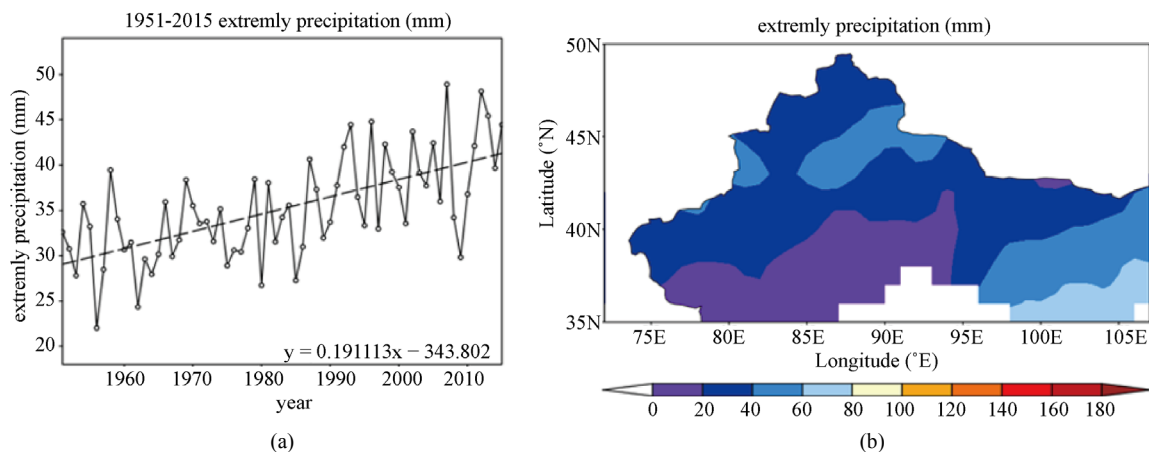


**Figure 2.** The spatial distribution of threshold of extreme precipitation in summer in the arid region of Northwestern China

**图 2.** 西北干旱区夏季极端降水阈值空间分布

#### 3.2. 西北干旱区夏季极端降水量的时空变化

在全球变暖的背景下, 我国西北干旱区呈现出向“暖湿”转变的特点。图 3(a)表明 1951~2015 年西北干旱区极端降水量介于 20~50 mm, 整体呈现出增加的趋势, 增长的速率约为 1.9 mm/10a。尤其在 20 世纪 80 年代后增长的态势尤为明显。从极端降水量的空间分布来看(图 3(b)), 西北干旱区夏季极端降水量呈现出自东南向西北减小、再增加的空间分布特征。由此可见, 西北干旱区极端降水量的分布存在较大的空间差异性, 但基本与阈值的分布一致。在天山山脉地区以及研究区东南部夏季极端降水量最大, 大于 40 mm, 而在研究区最南部等区域夏季极端降水量最小, 在 20 mm 以下。

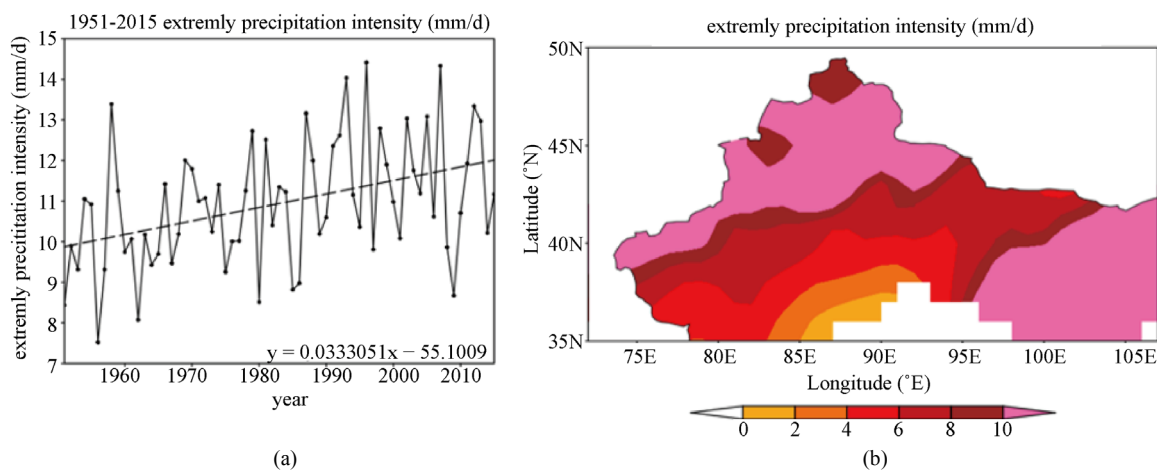


**Figure 3.** The interannual variations (a) and spatial distribution (b) of extreme precipitation in summer in the arid region of Northwestern China during 1951-2015

**图 3.** 1951~2015 年西北干旱区夏季极端降水量年际变化(a)与空间分布(b)

### 3.3. 西北干旱区夏季极端降水强度的时空变化

从图 4(a)可以看出西北干旱区极端降水强度介于 7~14 mm/d, 整体来看, 1951~2015 西北干旱区极端降水强度呈现出增加的趋势, 增加的速率为 0.033 mm/d. 从空间分布可以看出(图 4(b)), 研究区西北部以及东南部的夏季极端降水强度较研究区其它区域大. 除了准噶尔盆地西部和阿尔泰山脉西部一带夏季极端降水强度在 8 mm~10 mm 之间, 其余如天山山脉地区以及祁连山脉地区都大于 10 mm. 由天山山脉地区向南, 夏季极端降水强度逐渐减少, 一直到塔克拉玛干沙漠地区达到最少, 夏季极端降水强度低于 2 mm. 西北干旱区夏季极端降水强度空间分布总的特点是东部地区大于西部地区, 山区大于盆地以及平原地区, 其中以祁连山脉和天山地区夏季极端降水强度最大, 塔克拉玛干沙漠地区夏季极端降水强度最小, 夏季极端降水强度在 2 mm 以下.



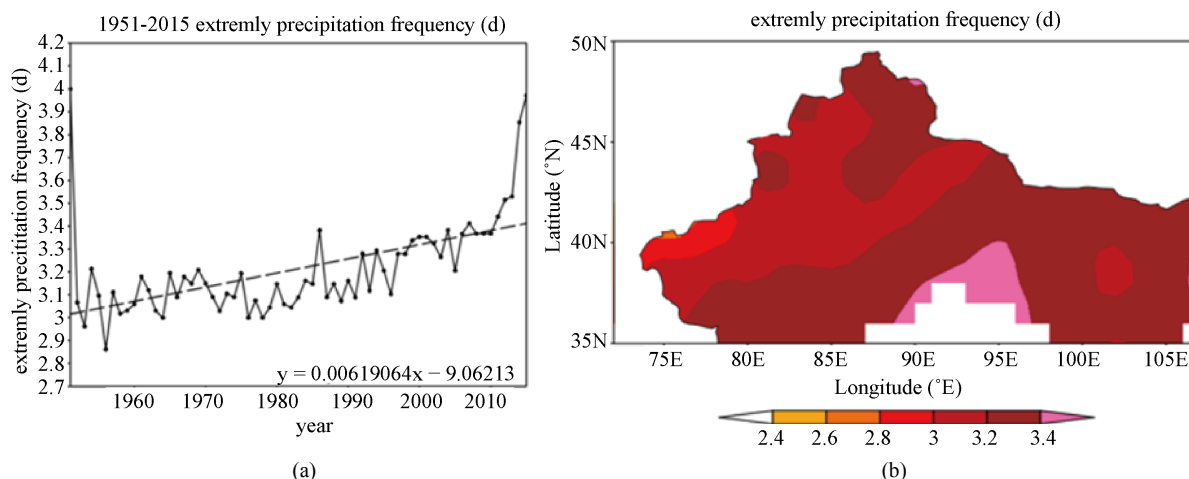
**Figure 4.** The interannual variations (a) and spatial distribution (b) of extreme precipitation intensity in summer in the arid region of Northwestern China during 1951-2015

**图 4.** 1951~2015 年西北干旱区夏季极端降水强度的年际变化(a)与空间分布(b)

### 3.4. 西北干旱区夏季极端降水频数的时空分布

我国西北干旱区夏季极端降水的频数随着时间的变化呈现出增加的趋势, 尤其是 90 年代以后, 增加

趋势更为明显(图 5(a))。从空间分布可以看出(图 5(b)), 天山山区的夏季极端降水频数大于其周边地区, 夏季极端降水频数最大的区域位于昆仑山脉与祁连山脉交界处, 东部夏季极端降水频数除了阿拉善高原中部以外都比较大, 降水频数最小的地区位于研究区西南部。西北干旱区年极端降水频数分布总的特点是自西向东逐渐增加, 自北向南逐渐增加。从变化趋势来看, 在北疆地区通过了置信度为 99.5%显著性检验, 阿拉善高原以及河西走廊地区通过了置信度为 99%的显著性检验(图略)。



**Figure 5.** The interannual variations (a) and spatial distribution (b) of extreme precipitation frequency in summer in the arid region of Northwestern China during 1951-2015

**图 5.** 1951~2015 年西北干旱区夏季极端降水频率的 annual 变化(a)与空间分布(b)

### 3.5. 西北干旱区夏季极端降水量对夏季降水量贡献率的时空分布

从 1951 年到 2015 年我国西北干旱区夏季极端降水量呈现增加趋势, 为进一步分析夏季极端降水对夏季降水的贡献, 图 6(a)给出了 1951~2015 年西北干旱区夏季极端降水量、夏季降水量及夏季极端降水对夏季降水量的贡献率的年际变化。可以看出, 1951~2015 年我国西北干旱区夏季降水量及夏季极端降水量都呈现增加的趋势, 而夏季极端降水对夏季降水的贡献率整体上却逐渐降低的, 但 1988 年开始, 极端降水的贡献率又有逐渐增加的趋势, 可能是由于极端降水频数和强度的增大, 使得 20 世纪 90 年代后期极端降水量增加, 进一步使得我国西北干旱区呈现出“暖干”向“暖湿”的转型, 这与已有的研究结论一致[15]。

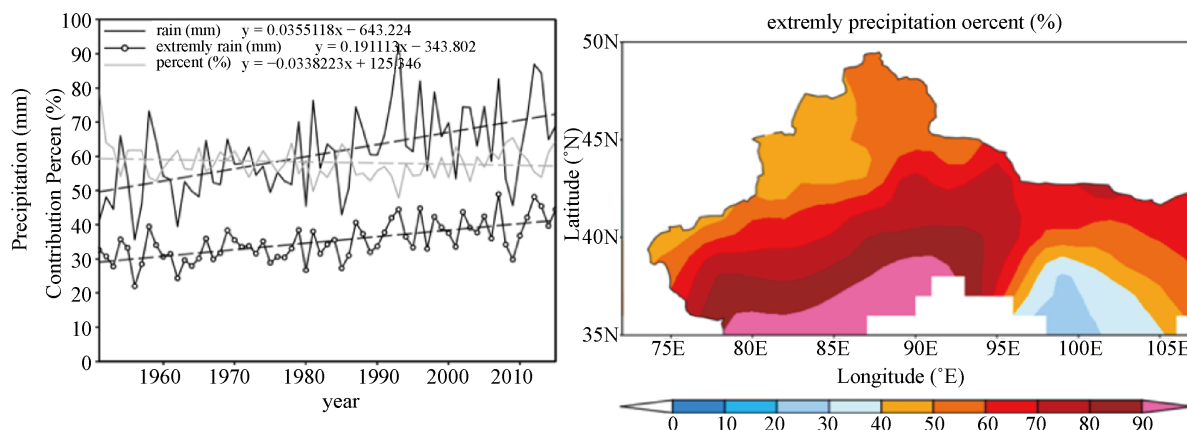
由于西北干旱区地形因素的影响, 西北干旱区极端降水量的分布存在较大的时空差异性, 进而使得极端降水量对降水量的贡献也存在空间差异。从图 6(b)可以看出, 西北干旱区夏季极端降水量对夏季降水量的贡献率从东南向西北呈现先增加再减少的分布。在塔克拉玛干沙漠以及昆仑山脉地区贡献率达到最大, 几乎在 90%以上。而在研究区东部则刚好相反, 由北向南是在逐渐减少的, 到达河西走廊地区甚至只有 30%以下。

## 4. 结论

基于 69 个气象台站的降水日资料, 对 1951~2015 年我国西北干旱区夏季极端降水的时空变化特征进行了分析, 并进一步研究了夏季极端降水对夏季降水的贡献, 得出以下主要结论:

1. 在我国西北干旱区, 夏季极端降水强度与极端降水量的时空变化趋势基本相同。从年际变化来看, 夏季极端降水量、极端降水强度及极端降水频数都呈现增加的趋势。但从空间变化来看, 存在显著的时

空差异性,在天山地区以及河西走廊、阿拉善高原还有祁连山区等地的夏季极端降水强度与极端降水频率的增加趋势较为显著,意味着,在这些地区极端降水量增加,发生频率大,强度大,在某种程度上表明夏季发生洪涝的可能性大,当地政府和相关部门应该加强该地区的洪涝灾害的防御工作。



**Figure 6.** The interannual variations (a) and spatial distribution (b) of the contribution rate of extreme precipitation to precipitation in summer in the arid region of Northwest China during 1951-2015

**图 6.** 1951~2015 年西北干旱区夏季极端降水量对夏季降水量贡献率的年际变化(a)与空间分布(b)

2. 1951~2015 年西北干旱区夏季极端降水量对降水量的贡献率呈现下降的趋势,这可能是由于降水量与极端降水量变化不一致导致的。从空间上来看,从北往南贡献率呈现逐步增加的特征,在夏季降水量较多的山区,极端降水量的贡献较小,而在夏季降水量较少的平原和盆地贡献率较高,这表明越是降水较少、干旱的地区,极端降水对降水量影响就越大。

## 参考文献

- [1] Goswamin, B.N., Venugopal, V., Sengupta, D., *et al.* (2006) Increasing Trend of Extreme Rain Events over India in a Warming Environment. *Science*, **314**, 75-83. <https://doi.org/10.1126/science.1132027>
- [2] 沈永平, 王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1068-1076.
- [3] 陈姣, 张耀存. 气候变化背景下陆地极端降水和温度变化区域差异[J]. 高原气象, 2016, 35(4): 955-968.
- [4] 柏会子, 肖登攀, 刘剑锋, 等. 1965-2014 年华北地区极端气候事件与农业气象灾害时空格局研究[J]. 地理与地理信息科学, 2018, 34(5): 99-105.
- [5] 姚俊强, 杨青, 陈亚宁, 等. 西北干旱区气候变化及其对生态环境影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(5): 1283-1291.
- [6] Chen, Y.N., Takeuchi, K., Xu, C.C., *et al.* (2006) Regional Climate Change and Its Effects on River Runoff in the Tarim Basin, China. *Hydrological Processes*, **20**, 2207-2216. <https://doi.org/10.1002/hyp.6200>
- [7] Wang, H.J., Chen, Y.N., Pan, Y.P., *et al.* (2015) Spatial and Temporal Variability of Drought in the Arid Region of China and Its Relationships to Teleconnection Indices. *Journal of Hydrology*, **523**, 283-296. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.01.055>
- [8] 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.
- [9] 徐利岗, 周宏飞, 杜历, 等. 1951-2008 年中国西北干旱区降水时空变化及其趋势[J]. 中国沙漠, 2015, 35(3): 724-734.
- [10] 李奇虎, 马庆勋. 1960-2010 年西北干旱区极端降水特征研究[J]. 地理科学, 2008, 34(9): 1134-1138.
- [11] 王少平, 姜逢清, 吴小波, 等. 1961-2010 年西北干旱区极端降水指数的时空变化分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 318-326.
- [12] 杨宏青, 陈正洪, 石燕, 等. 长江流域近 40 年强降水的变化趋势[J]. 气象, 2005, 31(3): 66-68.
- [13] 赵丽, 韩雪云, 杨青. 近 50a 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.

- [14] 张强, 李剑锋, 陈晓宏, 等. 基于 Gopula 函数的新疆极端降水概率时空变化特征[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 3-12.
- [15] 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.