

# 1981~2019年西藏极强降水的时空变化特征

次丹卓玛<sup>1\*</sup>, 次旺<sup>1</sup>, 次旺顿珠<sup>1</sup>, 李惠<sup>2</sup>, 马鹏飞<sup>1</sup>

<sup>1</sup>西藏自治区气候中心, 西藏 拉萨

<sup>2</sup>山南市贡嘎县气象局, 西藏 山南

收稿日期: 2022年6月14日; 录用日期: 2022年7月12日; 发布日期: 2022年7月22日

## 摘要

极强降水量是造成气象灾害的重要原因之一, 利用1981~2019年西藏自治区(简称西藏) 38个气象台站逐日降水量资料, 分析了西藏近39年来极强降水频数及强度的时空变化特征, 结合Mann-Kendall检验对极强降水频数和强度突变特征进行检验。结果表明: 西藏极强降水存在显著空间分布特征, 极强降水事件阈值主要呈现东南部及南部边缘聂拉木地区较大, 西北部及南部错那地区较小的趋势; 由于地势和气候背景等影响, 西藏南部和东南部地区极强降水偏多, 西部地区极强降水偏少。同时西藏极强降水存在明显的季节与年代际变化特征, 极强降水四季的频数及强度差异较大, 研究时间段内极强降水频数和强度整体呈现出缓慢增长的趋势, Mann-Kendall检验表明极强降水频数及强度出现交点较多, 整体呈现缓慢上升的变化趋势; 主要从 1984年出现突变。

## 关键词

强降水, 极强降水, 极端事件, 阈值, Mann-Kendall检验

# Spatio-Temporal Variations of Extremely Heavy Precipitation in Tibet during 1981~2019

Tseten Drolma<sup>1\*</sup>, Tsewang<sup>1</sup>, Tsewang Thondup<sup>1</sup>, Hui Li<sup>2</sup>, Pengfei Ma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Climate Center of Tibet Autonomous Region, Lhasa Tibet

<sup>2</sup>Gongga Meteorological Bureau, Shannan Tibet

Received: Jun. 14<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jul. 12<sup>th</sup>, 2022; published: Jul. 22<sup>nd</sup>, 2022

## Abstract

Extreme heavy rainfall is one of the main meteorological disasters. Using 38 weather stations' daily

\*第一作者。

文章引用: 次丹卓玛, 次旺, 次旺顿珠, 李惠, 马鹏飞. 1981~2019年西藏极强降水的时空变化特征[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(4): 497-509. DOI: 10.12677/ccrl.2022.114052

rainfall data from 1981 to 2019 in Tibet, analyzing the extremely heavy rainfall frequency and intensity in recent 39 years, and the Mann-Kendall test was also used to test the extremely heavy rainfall frequency and intensity jump characteristics. The results indicated that extremely heavy rainfall has obvious spatial distribution in Tibet, the threshold values of extremely heavy precipitation events mainly show a larger trend in the southeastern and southern border areas of Nyalam County, and a smaller trend in the northwestern and southern Cuona areas. Because of the geomorphology and climate, the south and southeast of Tibet have more extremely heavy rainfall than the west. Meanwhile, extremely heavy rainfalls also have an obvious seasonal and annual change, and the frequency is different obviously in the four seasons. The Mann-Kendall test showed that the frequency and intensity of extremely heavy precipitation had many intersections, and the overall trend was slowly rising. The mutation occurred in 1984.

## Keywords

Strong Rainfall, Extremely Strong Rainfall, Extreme Event, Critical Value, Mann-Kendall Test

Copyright © 2022 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

气候变化所引起的灾害风险已成为影响全球可持续发展的重大挑战[1]。IPCC 第五次评估报告表明, 全球各地极端事件异常变化, 导致各类自然灾害频发, 风险陡增[2]。极端降水事件发生的频次、范围以及强度也在不断增加[3]。Tank and Knnen [4]和 Kunkel et al. [5]分别分析了欧美两洲的极端降水事件, 指出极端降水事件以正变化趋势为主, 大部分站点的暴雨事件随着总降水量的增加而增加, 极端降水在十九世纪末至二十世纪初发生频率较高, 但随后降低。近年来, 关于我国极端降水事件的分布及变化特征也有不少研究[6]-[21]。如翟盘茂等[6] [7] [8]研究发现我国华北地区强降水事件趋于减少, 但西北地区强降水事件趋于增多; 刘学华等[9]分析 2003 年之前近 40 年来全国极端降水指数和年降水量总体呈线性增加趋势; 齐庆华[16]认为近 60 年来我国东部夏季极端性降水强度和频次在长江以南均以增加为主, 以北均为下降。

由于极端降水常导致山洪、泥石流、滑坡等灾害性天气发生, 对社会经济、群众生命财产以及生态系统造成一定影响, 目前, 已经成为政府和公众最为关注的极端事件之一, 也是政府防灾抗灾的重点。为此, 青藏高原极端降水的变化也一直受到国内外大气科学工作者的关注和研究[22]-[32]。马伟东[22]等研究表明 1961~2017 年青藏高原年降水量表现出上升趋势, 且各站点的极端降水量、极端降水日数和极端降水贡献率均表现出明显的上升趋势。对西藏极端降水事件频数的研究表明, 1961~2010 年间西藏极端降水事件频数总体呈不明显的增多趋势[23] [24]。杨丽敏等[25]研究得出西藏强降雨和强降雪有明显的季节性变化特征, 强降雨主要发生在 6~9 月, 强降雪主要发生在 2~5 月。但上述研究在极强降水强度和频数的研究方面还存在不足, 为此, 本文全面客观地分析了西藏近 39 年有关极强降水事件各指标的变化规律, 一方面有利于深化气候变化影响的研究; 另一方面有利于理解极端降水事件的时空演变, 减轻灾害风险, 对保障社会可持续发展有着重要意义。

## 2. 研究区概况与分析方法

### 2.1. 资料来源

本文选用西藏 38 个气象站点(图 1)逐日降水资料, 数据来源于西藏自治区气象信息网络中心, 考虑

到数据完整性, 本文选取 1981~2019 年作为研究时段。

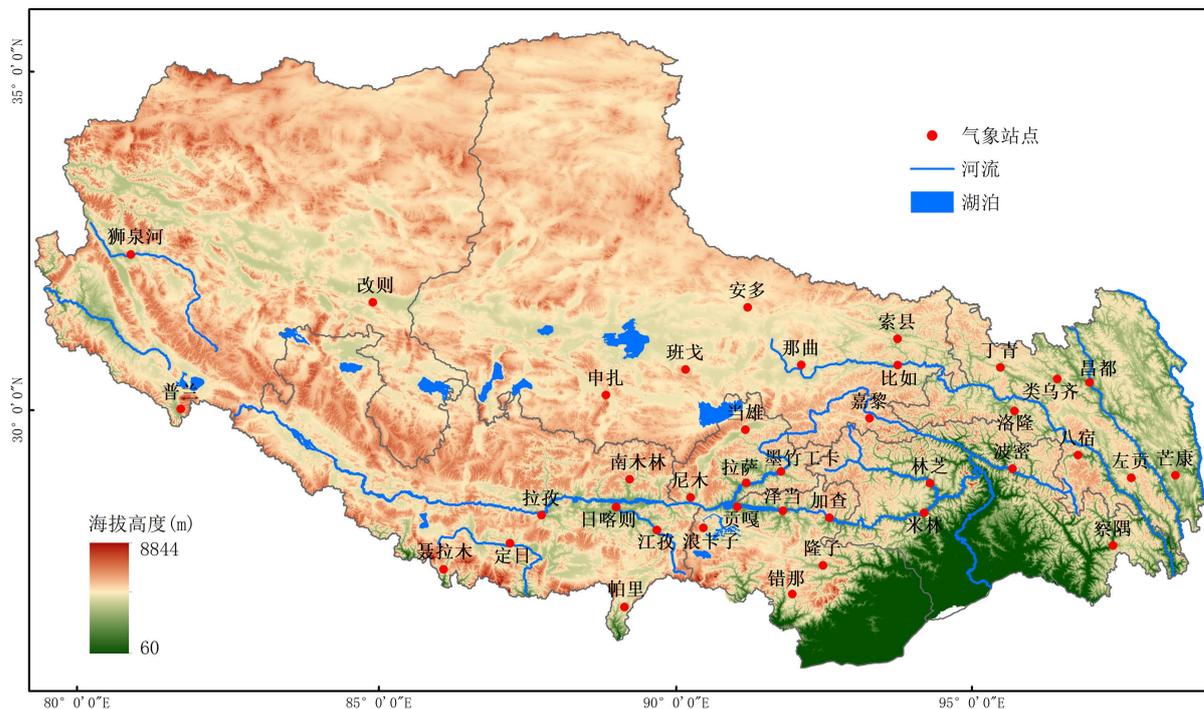


Figure 1. 38 meteorological stations in Tibet and their altitudes

图 1. 西藏 38 个气象站点及海拔高度

## 2.2. 研究区域概况

本文主要将西藏分为东南、西北等方位进行描述, 具体分为以下几处: 东南部具体是昌都、林芝一带; 西北部主要为阿里地区; 那曲市主要在北部; 拉萨市及沿江一线为中部; 普兰、聂拉木、错那及帕里等地为南部边缘一带。其中季节划分按照当地特殊自然地理环境, 以 4~5 月为春季, 6~8 月为夏季, 9~10 月为秋季, 11 月至次年 2 月为冬季。

## 2.3. 分析方法

本文中的极端降水定义见表 1。

Table 1. The extremely rainfall indexes and definitions

表 1. 极端降水指标及其定义

指数	定义
极端降水事件阈值	通过百分位计算得到的降水量阈值
极端降水事件频数	日降水量超过极端降水阈值的总日数
极端降水强度	极端降水总量与极端降水出现日数之比
极端降水量	日降水量大于基准期内第 99% 分位值的总降水量

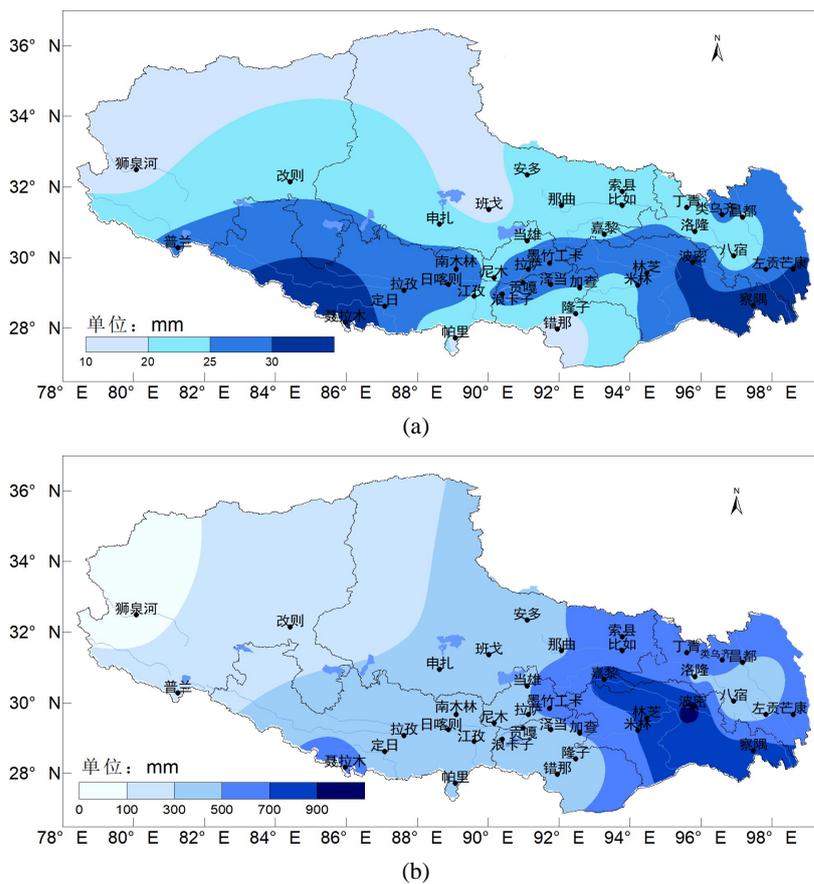
基于百分位阈值法, 将西藏 38 个气象站点 1981~2019 年逐年的非零日降水按升序排列, 之后取其第 99 个百分位数值定义为各站点极端降水事件的阈值。

极强降水的时间变化特征采用气候倾向率[33]公式进行计算, 应用 Mann-Kendall (简称 M-K 方法)突变检验方法[33], 分析极端降水参数的突变气候特征。

### 3. 极强降水的空间分布特征

#### 3.1. 极强降水量阈值空间分布

极强降水阈值在 17.3 (错那)~37.4 (聂拉木) mm 之间, 高值区主要分布在聂拉木、波密、察隅、芒康, 阈值大于 30 mm; 低值区位于错那、狮泉河、班戈、帕里, 阈值小于 20 mm。极强降水阈值空间主要呈现东南部及南部边缘聂拉木地区较大, 西北部及南部错那地区较小的趋势(图 2(a))。结合图 2(b)年总降水量的分布图来看, 全区 38 个站点, 有 5 个站点的年降水量超过 700 mm, 集中分布在东南部地区, 其中波密站的年降水量达到了 905.7 mm, 在所有站点中最高。



**Figure 2.** The spatial distribution of extreme precipitation threshold (a) and total precipitation (b) in Tibet from 1981 to 2019  
**图 2.** 西藏 1981~2019 年极强降水阈值(a)和总降水量(b)空间分布图

从站点上来看, 波密、察隅两站在表现出高降水量的同时表现出了高极强降水量的特征。需要特别注意的是, 在南部边缘聂拉木地区, 其降水量虽然不高, 但其极强降水阈值却表现出较高水平, 存在明显的极强降水阈值高值区, 究其原因, 该地区主要受到来自南部孟加拉湾的水汽输送通道的影响。一般而言, 降水的水汽主要来自海洋和湖泊的水汽蒸发, 聂拉木地区距离南部的孟加拉湾较近, 其受海洋影响较大, 水汽多。聂拉木县以喜马拉雅山脉的主干线为界, 可分为两个气候类型区。一个是北区, 其气候是表现为寒, 少雨; 另一个是南区以樟木镇为主, 气候表现为高温、降水多。因而聂拉木地区经向的

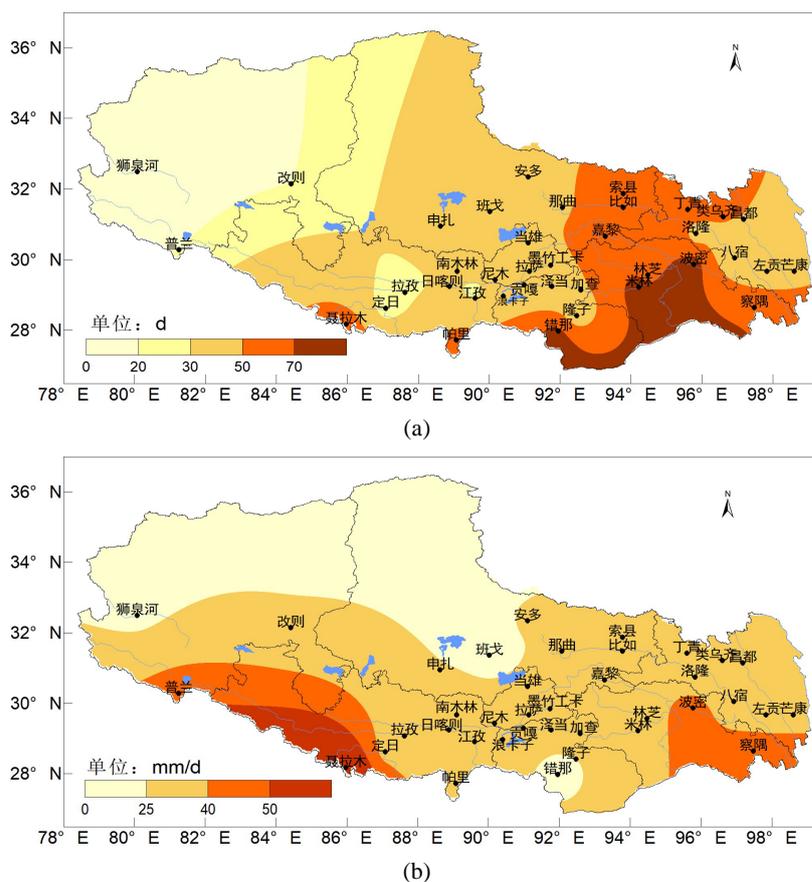
极强降水阈值梯度十分明显，这与喜马拉雅山脉对气流的阻挡作用密不可分。

整体而言，1981~2019 年期间，西藏地区极强降水阈值存在十分显著的空间差异，东南部的波密、察隅地区以及南部边缘地区的聂拉木地区降水阈值大；南部错那、西部狮泉河、普兰和改则地区降水阈值小，中部地区的阈值在这两者之间，这样的分布特征与西藏的地形特征、地理位置息息相关。

### 3.2. 极强降水量的频数、强度空间分布

1) 频数分布：1981~2019 年极强降水频数主要呈东多西少的空间分布特点，强降水多年累积频数介于 13 (狮泉河)~73 (错那) d 之间，其中米林、波密、错那频数大于 70 d；阿里地区频数小于 20 d (图 3(a))。

2) 强度分布：极强降水的强度是衡量极端降水的另一要素，强度越大造成灾害的几率越高，因此研究极强降水的强度显得尤为重要。西藏 1981~2019 年极强降水强度介于 22.2 (狮泉河)~64.1 (聂拉木) mm/d 之间，聂拉木、普兰、波密、察隅强度大于 40 mm/d。其中，聂拉木极强降水强度最强，超过 60 mm/d；其余各地的极强降水强度较集中，在 25~40 mm/d 之间(图 3(b))。



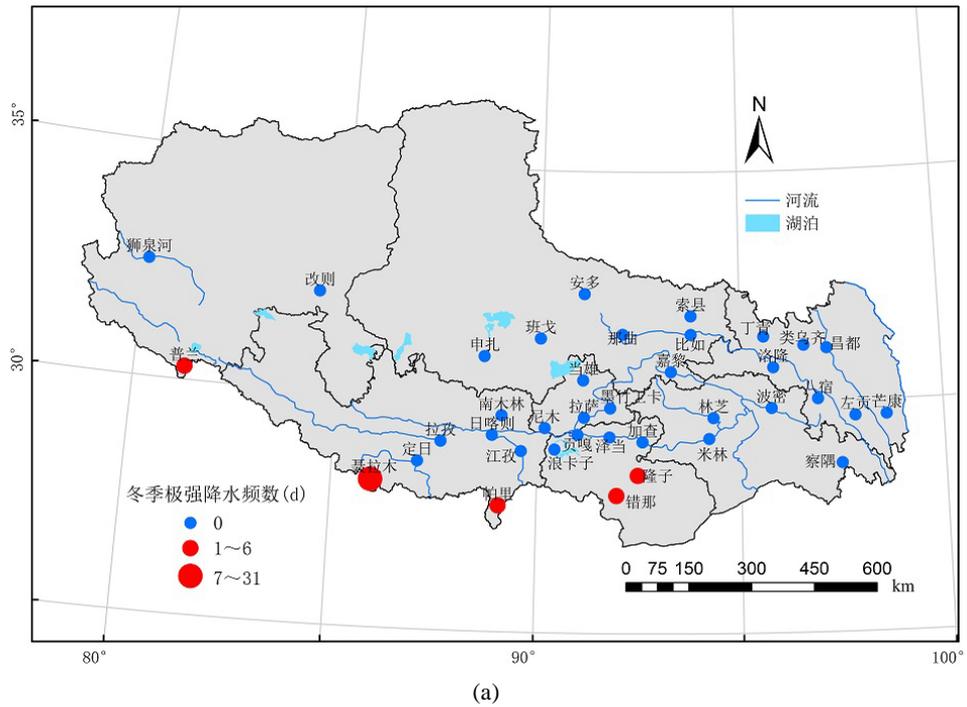
**Figure 3.** The spatial distribution of extremely heavy rainfall frequency (a) and intensity (b) from 1981 to 2019 in Tibet  
**图 3.** 西藏 1981~2019 年极强降水频数(a)、强度(b)空间分布图

### 3.3. 极强降水频数、强度季节空间分布特征

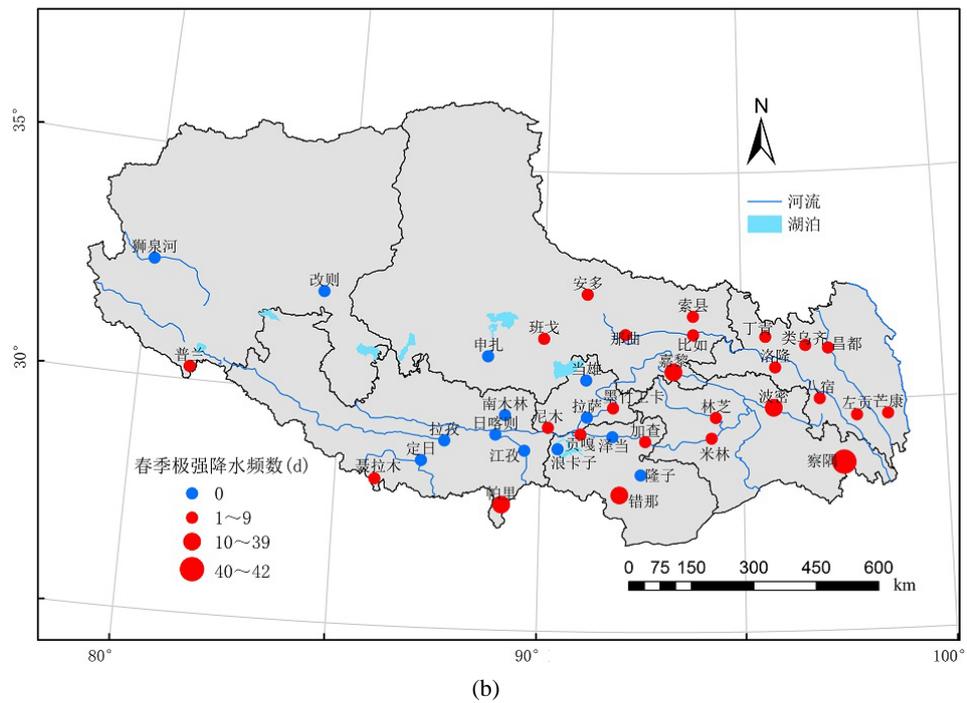
极强降水频数存在显著的季节差异。由于冬季西风和夏季西南风的起源、性质和控制时间不同，使西藏降水的季节分布非常不均匀。对于西藏地区而言，冬季水汽主要来源于中纬度的偏西风，但是水汽输送非常弱，除东南部部分区域的水汽略强，其余地区上空的水汽输送非常弱[34]，导致冬季的极端降水

普遍偏低。春季高原地区水汽主要来源于中纬度地区的偏西风水汽输送。秋季西藏地区的水汽输送主要来自中纬度的西风带水汽输送，强度较弱[34]，因此春秋两季极端降水较少；夏季高原维持着强烈的西南季风[35]，在其支配下，西藏的降水非常集中，整体夏季极端降水处于一个偏高平稳的分布状态。

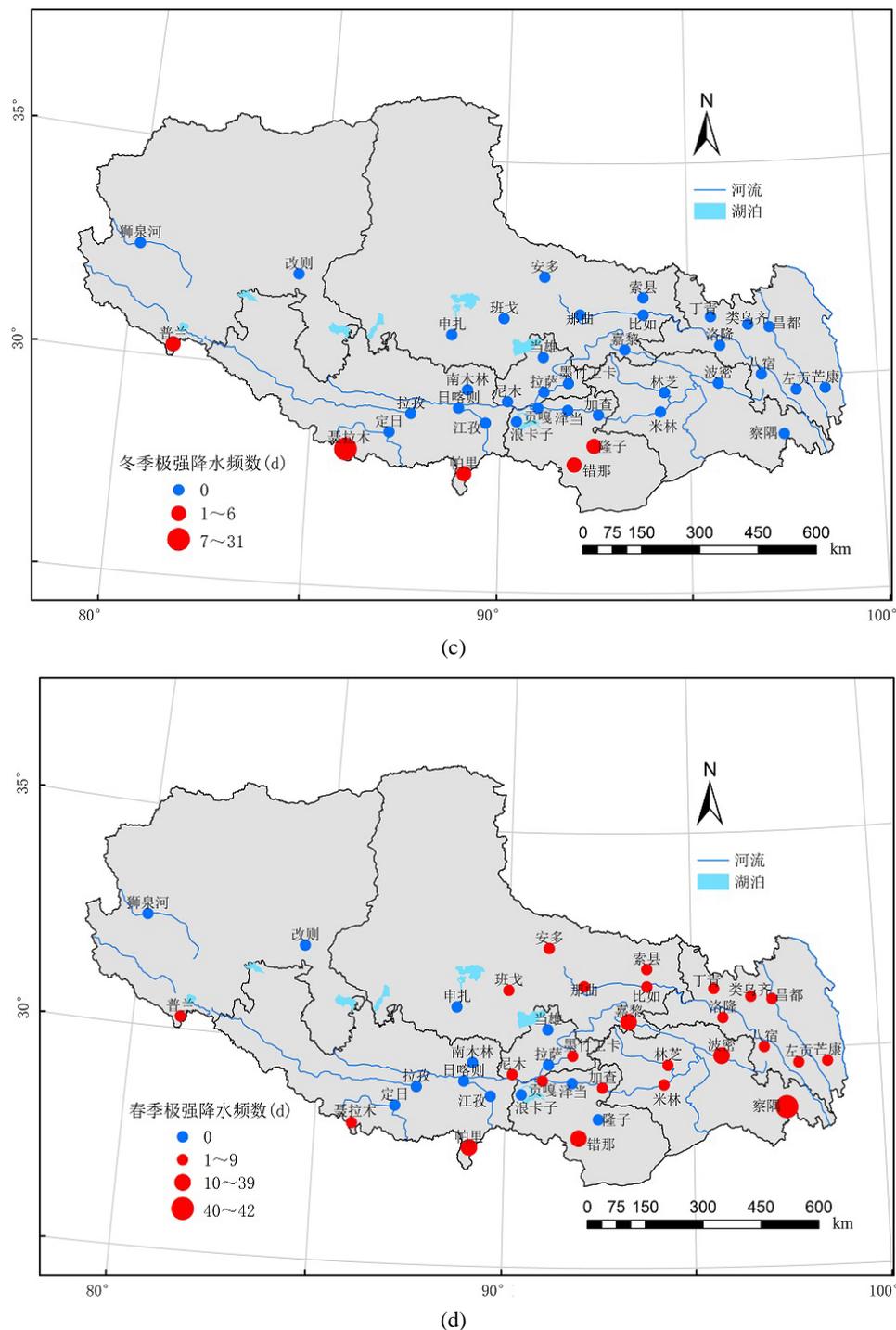
1) 各季节极强降水频数空间分布特征：1981~2019年西藏冬季极强降水频数最多出现在聂拉木，累计值为31 d；普兰、错那、隆子、帕里出现极强降水天气极少，仅1~6 d之间；其余各地因冬季气温偏低、降水条件不足未出现极强降水(图 4(a))。春季极强降水频数较少，介于0~42 d之间(图 4(b))，最大值位于



(a)



(b)



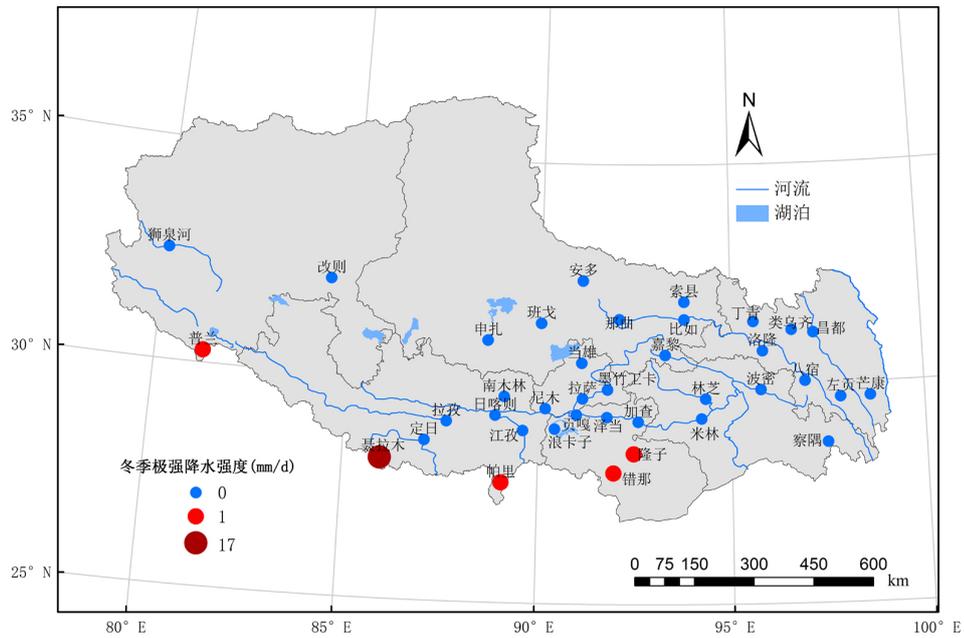
**Figure 4.** The spatial distribution of heavy rainfall frequency from 1981 to 2019 in Tibet. (a) Spring, (b) Summer, (c) Autumn, and (d) Winter

**图 4.** 西藏 1981~2019 年极强降水频数空间分布图。(a) 为冬季, (b) 为春季, (c) 为夏季, (d) 为秋季

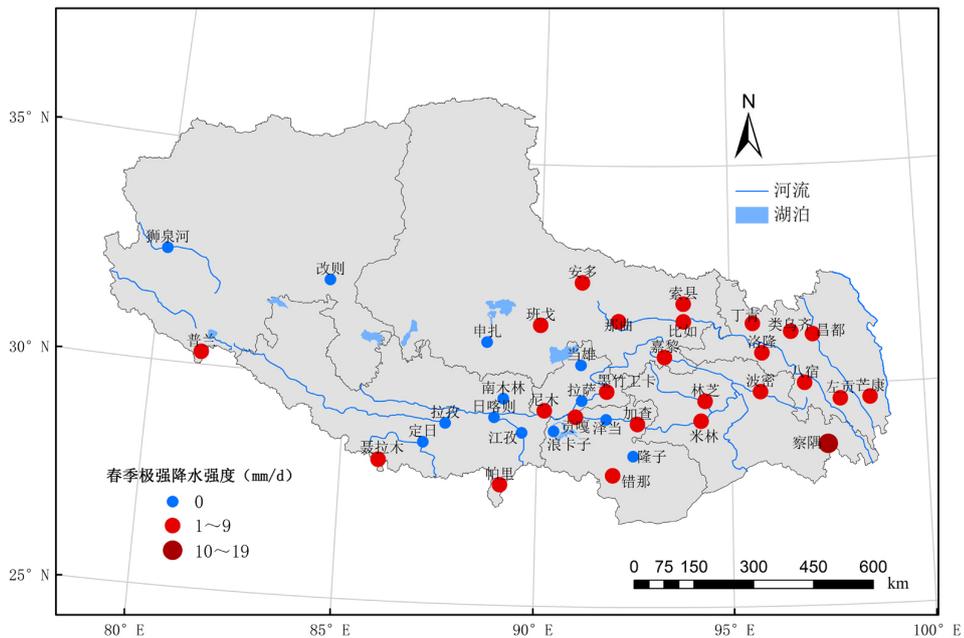
察隅(42 d), 次值为波密(26 d); 且共有 13 个站点未出现极强降水。极强降水主要集中在夏季, 与周顺武[30] 强降水主要集中在 7 月上旬~8 月下旬的结论相一致, 其范围在 3 (聂拉木)~58 (米林) d 之间, 除聂拉木、普兰、察隅频数不足 10 d 外, 其余普遍维持在一个较多的层次(图 4(c))。秋季极强降水频数最大值位于南部

边缘的聂拉木(24 d); 次值为波密(20 d); 江孜未出现极强降水; 其余区域偏少, 范围在 1~16 d 之间(图 4(d))。秋季除南部边缘一带有一个极强降水区域中心外, 在东南部地区也存在一个相对大值区。

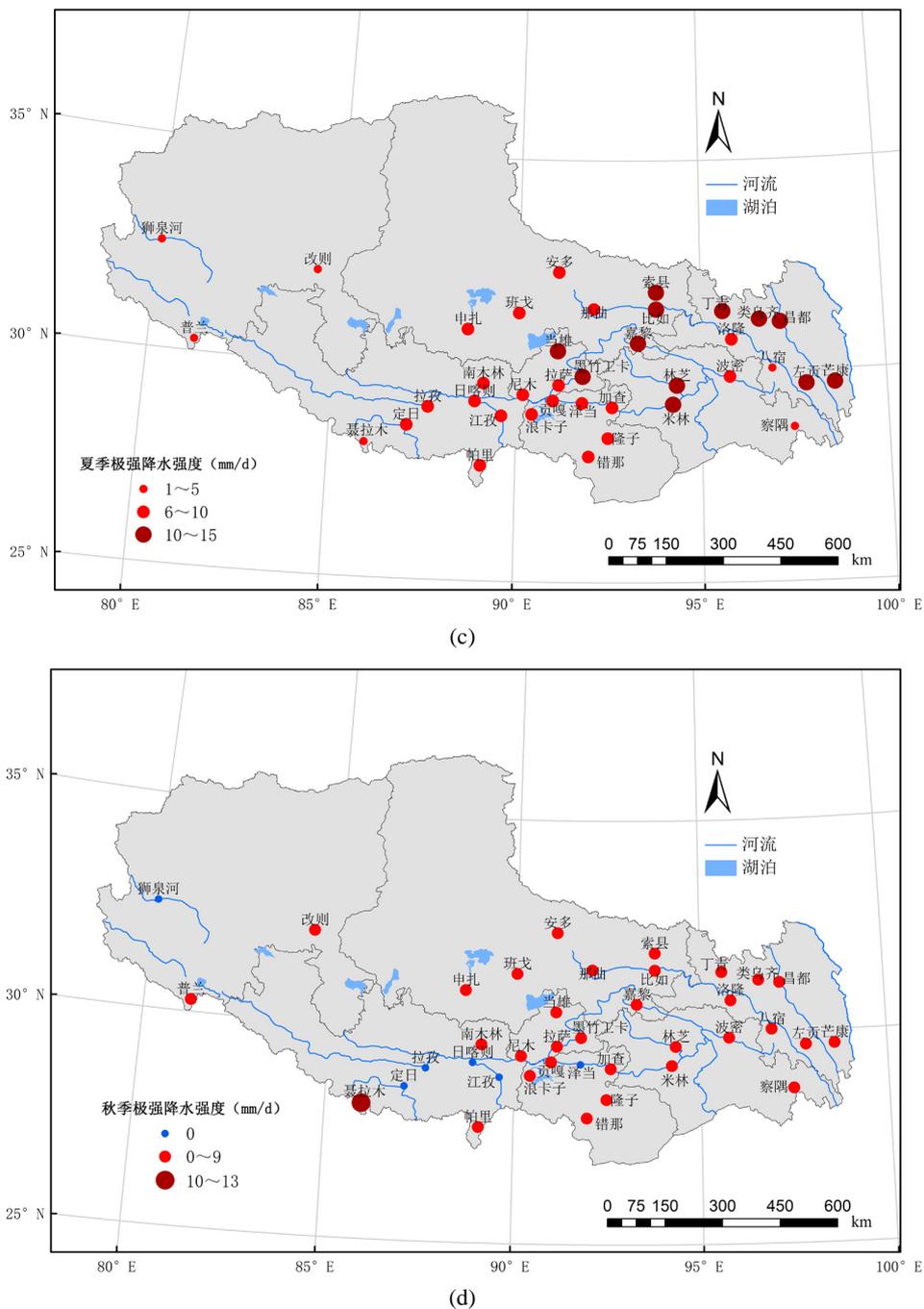
2) 各季节极强降水强度空间分布特征: 1981~2019 年西藏冬季极强降水强度高值区出现在南部边缘一带, 其中聂拉木最强为 17 mm/d (图 5(a)); 春季极强降水强度较弱, 介于 0~19 mm/d 之间(图 4(b)), 最高值位于察隅, 次值为波密(mm/d); 夏季各地区极强降水强度普遍维持在较高层次, 范围为 1~15 mm/d, 其中最高值为米林, 最低值为聂拉木(图 5(c))。秋季极强降水强度最高值位于南部边缘的聂拉木(13 mm/d); 次值为波密(9 mm/d), 其余区域偏弱, 范围在 0~6 mm/d 之间(图 5(d))。



(a)



(b)



**Figure 5.** The spatial distribution of heavy rainfall intensity from 1981 to 2019 in Tibet. (a) Spring, (b) Summer, (c) Autumn, and (d) Winter

**图 5.** 西藏 1981~2019 年极强降雨强度空间分布图。(a) 为冬季, (b) 为春季, (c) 为夏季, (d) 为秋季

从整个区域看, 极强降雨频数及强度高值区主要位于西藏东南部以及南部边缘地区, 其季节分布存在较大差异, 其主要与其地势及气候有关。南部边缘地区的极强降雨主要受孟加拉湾热带风暴影响, 风暴出现时, 其外围云系在南支西风槽的引导下, 不断向北输送丰富的水汽, 导致南部边缘地区的极强降雨事件增大。而西藏东南部的极强降雨事件可能是由西太平洋副热带高压和印度低压引起的, 西太平洋副热带高压向西伸时, 其脊点向西延伸至西藏东部, 脊线向北抬升, 有利于印度低压云系将南部水汽输送高原, 在

西太平洋副高西南气流的作用下,影响西藏东部地区。低值区主要位于西部地区,且不同的季节,极强降水变化不显著,这一现象主要可能与西藏西部地势高亢,水汽来源匮乏有关。中部地区随季节极强降水变化较大,春秋两季极强降水少,夏季多,冬季少,主要原因可能是气温、季风和纬度的影响[36] [37]。

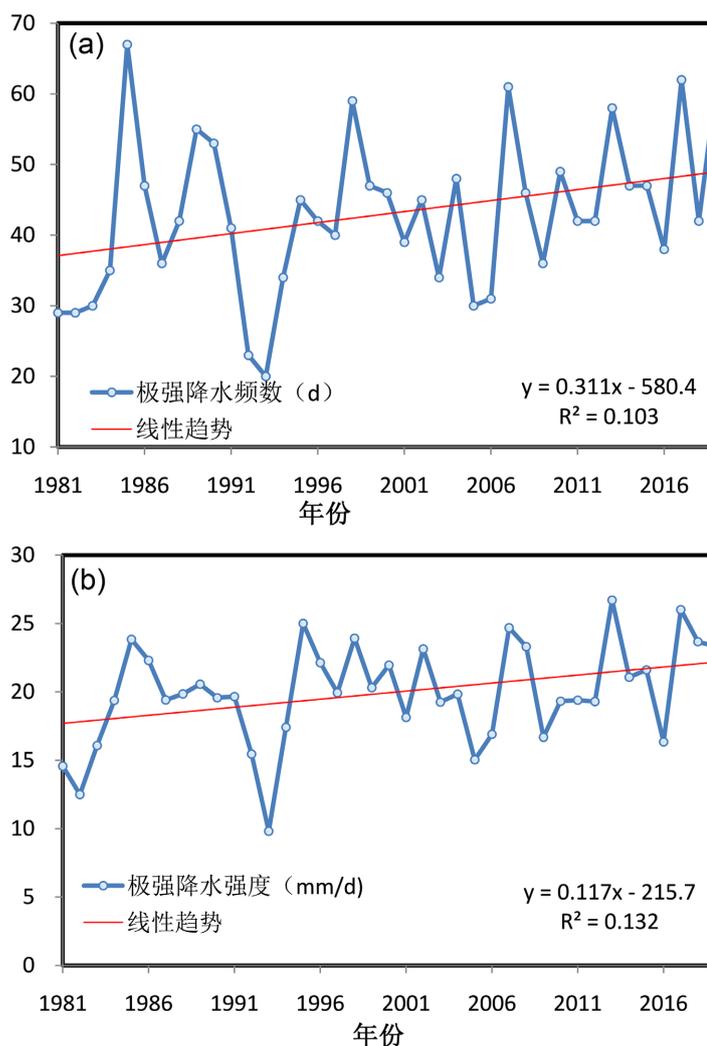
综上,结合不同区域的极强降水在四季的分布特征,分析认为造成四季分布不同的主要影响因子可能为副高、西风急流、季风等。这些因子使得不同季节的大气环流发生变化,从水汽和垂直运动角度影响降水条件,进而影响极强降水的季节分布。

## 4. 时间变化特征

### 4.1. 极强降水 1981~2019 年的频数、强度的年变化

全区累计极强降水频数整体以  $3.1 \text{ d}/10\text{a}$  ( $P < 0.1$ ) 的趋势增加,增加趋势较明显,1985 年频数最多(67 d); 1993 年频数最少,为 20 d (图 6(a))。

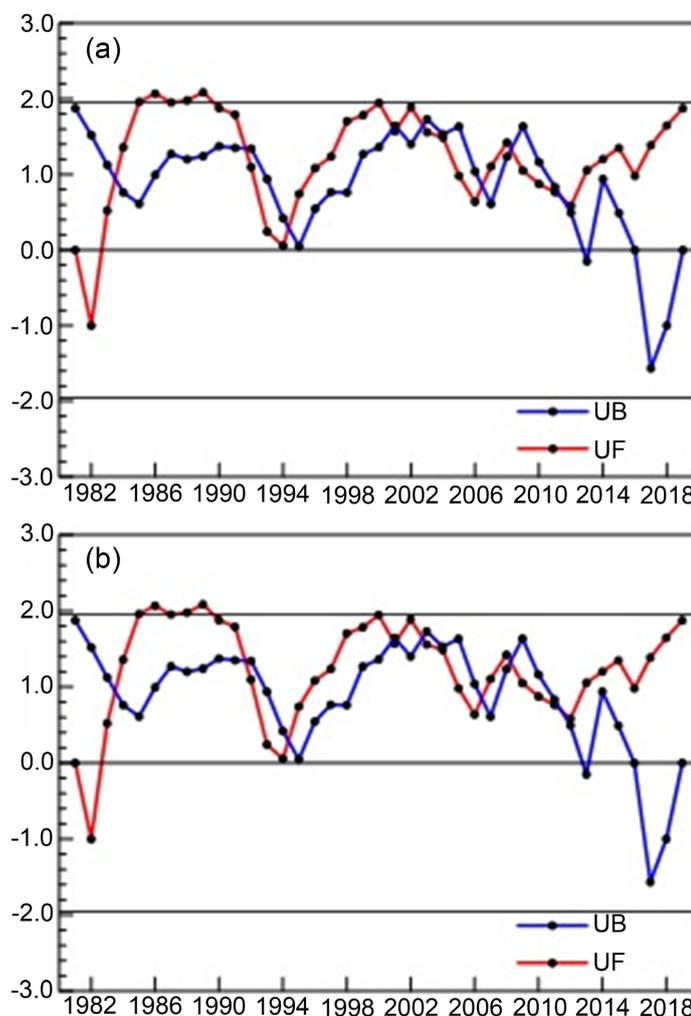
强降水强度全区以  $1.2 \text{ mm}/\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$  ( $P < 0.05$ ) 的速率在增加,2013 年强度最强,为  $26.7 \text{ mm}/\text{d}$ ; 1993 年强度最弱,为  $9.8 \text{ mm}/\text{d}$  (图 6(b))。



**Figure 6.** The trend diagram of extremely heavy precipitation frequency (a) and intensity (b) in Tibet from 1981 to 2019  
**图 6.** 西藏 1981~2019 年极强降水频数(a)、强度(b)变化趋势图

## 4.2. 极强降水 1981~2019 年的频数、强度的 M-K 检验

为研究极强降水的频数和强度是否存在气候突变, 本文采用 M-K 突变检验方法进行突变分析[37], 可以看出极强降水频数及强度出现交点较多, 整体呈现缓慢上升的变化趋势。根据 UF 和 UB 曲线的交点位置, 确定西藏极强降水频数及强度的突变现象, 具体是从 1984 年开始的(图 7)。



**Figure 7.** The MK statistics of extreme heavy precipitation frequency (a) and intensity (b) in Tibet from 1981 to 2019

**图 7.** 西藏 1981~2019 年极强降水频数(a)、强度(b) MK 统计量图

## 5. 结论

本文利用西藏 38 个气象站逐日降水数据, 分析该区域 1981~2019 年极端降水事件的时空变化特征, 主要结论如下:

1) 极强降水阈值具有明显空间差异。极强降水阈值在 17.3 (错那)~37.4 (聂拉木) mm 之间, 极强降水阈值空间主要呈现东南部及南部边缘聂拉木地区较大, 西北部及南部错那地区较小的趋势。需要特别注意的是南部边缘聂拉木地区, 其降水量虽然不高, 但其极强降水阈值却表现出较高水平, 存在明显的极强降水阈值高值区。

2) 极强降水频数、强度亦具有明显空间分布特征。极强降水频数主要呈东多西少的空间分布特点, 强

降水多年累积频数介于 13 (狮泉河)~73 (错那) d 之间; 极强降水强度介于 22.2 (狮泉河)~64.1 (聂拉木) mm/d 之间。

3) 极强降水频数、强度存在显著的季节差异。冬季聂拉木频数最多、强度最强, 其余各地出现频数极少、强度弱, 大部分站点未出现极强降水; 春秋两季频数略少、强度较弱; 夏季频数及强度普遍维持在一个较高的层次, 聂拉木频数最少, 强度最低。

4) 全区累计极强降水频数整体以 3.1 d/10a 的趋势增加, 增加趋势较明显; 强度全区以  $1.2 \text{ mm/d} \cdot (10\text{a})^{-1}$  的速率在增加。从 M-K 突变检验方法进行突变分析, 西藏极强降水频数及强度的突变现象, 具体是从 1984 年开始的。

## 基金项目

211 项目资助, 课题编号: 21108。

## 参考文献

- [1] UNISDR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction) (2009) Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction (2009). United Nations, Geneva.
- [2] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Cambridge University Press, Cambridge. <http://www.ipcc.ch>
- [3] 胡宜昌, 董文杰, 何勇. 21 世纪初极端天气气候事件研究进展[J]. 地球科学进展, 2007, 22(10): 1066-1075.
- [4] Tank, A. and Knnen, G.P. (2003) Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe 1946-1999. *Journal of Climate*, **16**, 3665-3680. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016%3C3665:TIODT%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016%3C3665:TIODT%3E2.0.CO;2)
- [5] Kunkel, K.E., Easterling, D.R., Redmond, K. and Hubbard, K. (2003) Temporal Variations of Extreme Precipitation Events in the United States 1895-2000. *Geophysical Research Letters*, **30**, 1900. <https://doi.org/10.1029/2003GL018052>
- [6] 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(z1): 1-10.
- [7] 翟盘茂, 李萃萃, 李威. 极端降水事件变化的观测研究[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 144-148.
- [8] 翟盘茂, 李蕾, 周佰铨, 陈阳. 江淮流域持续性极端降水及预报方法研究进展[J]. 应用气象学报, 2016, 27(5): 631-640.
- [9] 刘学华, 季致建, 吴洪宝, 于秀晶. 中国近 40 年极端气温和降水的分布特征及年代际差异[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 618-624.
- [10] 王英, 曹明奎, 陶波, 李克让. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征[J]. 地理研究, 2006, 25(6): 1031-1040+图版 4.
- [11] 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.
- [12] 王志福, 钱永甫. 中国极端降水事件的频数和强度特征[J]. 水科学进展, 2009, 20(1): 1-9.
- [13] 张利平, 杜鸿, 夏军, 徐霞. 气候变化下极端水文事件的研究进展[J]. 地理科学进展, 2011, 30(11): 1370-1379.
- [14] 武文博, 游庆龙, 王岱. 基于均一化降水资料的中国极端降水特征分析[J]. 2016, 31(6): 1015-1026.
- [15] 甘文强, 李刚, 万雪丽. 近 57 a 5-9 月贵州极端强降水变化特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(4): 617-623+635.
- [16] 齐庆华. 中国东部降水的极端特性及其气候特征分析[J]. 热带气象学报, 2019, 35(6): 742-755.
- [17] 李银娥, 张文言, 陈赛男, 韩芳蓉. 2008-2017 年鄂西南区域极端降水特征及成因[J]. 干旱气象, 2019, 37(6): 875-884.
- [18] 郑小华, 娄盼星, 刘环, 冯蕾, 马永永. 陕西极端降水时空变化特征研究[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(4): 9-16.
- [19] 袁祝香, 杨雪艳, 刘玉汐, 等. 松辽流域 1961-2017 年极端降水变化特征[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 199-203+212.
- [20] 折远洋, 杨波, 尚清芳, 王凤鹏, 苏玲. 近 58 年河西地区降水事件的连续性特征[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 139-145.

- [21] 徐东坡, 李金明, 周祖昊, 刘佳嘉, 严子奇, 汪党献. 1956-2018 年中国降水特征的时空分布规律研究[J]. 水利水电技术, 2020, 51(10): 20-27.
- [22] 马伟东, 刘峰贵, 周强, 陈琼, 刘飞, 陈永萍. 1961-2017 年青藏高原极端降水特征分析[J]. 自然资源学报, 2020, 35(12): 3039-3050.
- [23] 建军, 杨志刚, 卓嘎. 近 30 年西藏汛期强降水事件的时空变化特征[J]. 高原气象, 2012, 31(2): 380-386.
- [24] 杨志刚, 建军, 洪建昌. 1961-2010 年西藏极端降水事件时空分布特征[J]. 高原气象, 2014, 33(1): 37-42.
- [25] 杨丽敏, 黄佩宇, 边巴卓嘎. 西藏强降水天气气候特征[J]. 高原气象, 2015(12): 50-53.
- [26] 高文德, 王昱, 李宗省, 王文胜, 杨盛梅. 高寒内流区极端降水的气候变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2021, 43(6): 1693-1703.
- [27] 韩国军. 近 50 年青藏高原气候变化特征分析[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- [28] 高佳佳, 杜军. 雅鲁藏布江流域极端降水模拟及预估[J]. 冰川冻土, 2021, 43(2): 580-588.
- [29] 林振耀, 赵听奕. 青藏高原气温降水变化的空间特征[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 1996(4): 354-358.
- [30] 周顺武, 王传辉, 吴萍, 王美蓉. 青藏高原强降水日数的时空分布特征[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 23-31.
- [31] 孙晓光, 王腾, 李白萍, 卓永, 普布桑姆. 昌都市极端降水事件的时空变化特征[J]. 西藏科技, 2016(7): 68-71.
- [32] 曹瑜, 游庆龙, 马茜蓉. 青藏高原中东部夏季极端降水年代际变化特征[J]. 气象科学, 2019, 39(4): 437-445.
- [33] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 44-45.
- [34] 卓嘎, 罗布, 周长艳. 1980-2009 年西藏地区水汽输送的气候特征[J]. 冰川冻土, 2012, 34(4): 783-794.
- [35] 鲍玉章. 青藏高原的水汽通道[J]. 气象, 1981(11): 2-4
- [36] 叶笃正, 高由禧, 等. 青藏高原气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 49-61.
- [37] 宋善允, 王鹏祥, 杜军, 等. 西藏气候[M]. 北京: 气象出版社, 2013: 177.