

文章编号: 1008-2786-(2018)5-750-15

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000371

1973—2016 年雅鲁藏布江流域极端降水事件 时空变化特征

刘江涛^{1,2}, 徐宗学^{1,2*}, 赵 煥^{1,2}, 彭定志^{1,2}, 张 瑞^{1,2}

(1. 北京师范大学 水科学研究院 北京 100875; 2. 城市水循环与海绵城市技术北京市重点实验室 北京 100875)

摘 要: 随着全球气候的改变,由极端降水事件所引发的干旱、洪涝、泥石流等自然灾害,引起了社会各界的广泛关注。本文基于雅鲁藏布江流域 19 个气象站点 1973—2016 年的逐日降水数据,使用线性倾向估计法、Mann-Kendall 非参数统计检验法和皮尔森相关系数法,分析了雅鲁藏布江流域极端降水事件的时空变化特征及其与印度洋偶极子指数(DMI)的相关性。结果表明:(1)1973—2016 年间,雅鲁藏布江流域极端降水指标整体上呈现出上升趋势,与流域内年平均降水量变化趋势相一致,其中降水日数(RD)、降水总量(PRCPTOT)、极端降水量(R95p)、连续湿润日数(CWD)指标均在 95% 信度水平上显著上升。RD、CWD 极端降水指标分别在 1995 年左右、2001 年左右发生了突变;(2)雅鲁藏布江流域的极端降水指标在空间上存在明显的差异性,表现出从东部到西部逐渐递减的分布特征。极端降水指标在雅鲁藏布江流域的空间分布特征表明,近年来,东部湿润地区暴雨事件可能更加频繁,洪涝灾害更加严重,西部地区则从相对干旱逐渐变得相对湿润;(3)对极端降水指标进行主成分分析,PRCPTOT 和 CWD 指标的载荷在主成分 1 和主成分 2 中分别占 0.94、0.71,表明可以用它们分别代表极端降水事件的降水量级和降水持续性;(4)1—3 月份的极端降水事件更容易受到印度洋偶极子(IOD)的影响,在雅鲁藏布江流域中部地区,2 月份的 DMI 与 PRCPTOT、CWD 呈现出正相关关系,相关系数分别达到 0.412 和 0.356,是易受 DMI 影响的主要地区。雅鲁藏布江流域在 250 hPa 和 500 hPa 的位势高度差值均存在负值中心,有利于极端降水事件的发生。研究结果为雅鲁藏布江流域水资源管理和灾害防治提供科学基础。

关键词: 雅鲁藏布江; 极端降水; 印度洋偶极子; 时空变化

中图分类号: X43; P333.2

文献标志码: A

在全球气温逐渐升高的背景下,冰川积雪不断消融,融水量逐年增加,全球范围内的水汽循环结构正发生着深刻的变化^[1],尤其是在青藏高原地区,极端降水事件更加频繁和严重^[2-3]。由此引发的暴雨、洪涝、干旱等灾害,对当地的经济发展和生态环境都产生了深刻的影响^[4]。极端降水事件正成为气候变化背景下水资源有效利用的热点和难点问题。

国内外众多的学者对极端降水事件做了大量的

研究,尤其是在全球气候变化的背景下,极端降水事件的变化具有全球性的特征,例如 Donat 等^[5]认为在全球范围内,由于温度的变化,极端降水事件发生的频率显著增加。干旱的区域更容易受到极端降水增加的影响。与此同时,Min 等^[6]基于降水观测数据和多尺度模型对极端降水事件进行模拟,发现在人类排放的温室气体影响下,在北半球近三分之二的陆地部分极端降水都有所增加。不同学者利用不同的降水资料对极端降水事件的研究也取得了大量

收稿日期(Received date):2018-02-28; 改回日期(Accepted date):2018-08-27

基金项目(Foundation item):国家自然科学基金重大研究计划重点支持资助项目(91647202)。[National Natural Science Foundation of China, Major Program (91647202)]

作者简介(Biography):刘江涛(1991-),男,河南商丘人,硕士研究生,主要研究方向:水文与水资源。[LIU Jiangtao (1991-), male, born in Shangqiu, Henan province, M. Sc. candidate, research on hydrology and water resource] E-mail: liujiangtao@mail.bnu.edu.cn

* 通讯作者(Corresponding author):徐宗学(1962-),男,博士,教授,主要研究方向:水文与水资源。[XU Zongxue (1962-), male, Ph. D., professor, specialized in hydrology and water resource]

的进展,例如,Herold等^[7]利用常见的五种降水卫星产品,选取两种极端降水指标,评估了极端降水对不同分辨率网格大小的敏感性,认为中度的极端降水对数据分辨率的选择不敏感。有学者认为极端降水事件不仅受当地的气候影响,也有可能受到大气环流因子的影响,例如,Liu等^[8]在渭河流域采用降水指标对黄土高原地区极端降水事件的变化规律做了研究,并分析了极端降水事件与太平洋年代际涛动(Pacific Decadal Oscillation, PDO)、厄尔尼诺(El Niño – Southern Oscillation, ENSO)的关系,发现在渭河流域,连续湿润天数有显著下降的趋势, PDO和 ENSO对渭河流域的极端降水事件有很强影响。其他一些学者^[9–15]分别在不同的流域采取不同的方法,分析了极端降水指标的时空变化规律以及成因。上述结果均表明极端降水事件的变化表现出一定的全球性且不同区域的极端降水事件变化规律不同的特点,并且环流的季节性变化对极端降水事件也产生重要影响。因此科学的认识和评估极端降水事件的时空分布特征及其背后的环流影响,对气象灾害的预测研究和减轻极端气候对生产生活的影响具有十分重要的作用。

雅鲁藏布江流域位于我国西南地区,是我国重要的水源涵养区,但生态环境脆弱,易受到极端降水事件的影响。因此,分析雅鲁藏布江流域极端降水事件的时空演变特征,探究其成因和对气候变率的响应机理,对雅鲁藏布江流域水资源合理开发利用以及积极应对旱涝灾害有重要意义。目前,在雅鲁藏布江流域开展极端降水事件的分析研究相对较少,并且多局限于流域整体的变化趋势研究^[11],雅鲁藏布江流域的极端降水时空分布特征以及演变规律亟待进行全面分析。

我国的极端降水事件与 ENSO、北大西洋涛动(North Atlantic Oscillation, NAO)、印度洋偶极子(Indian Ocean Dipole, IOD)和 PDO有着密不可分的关系^[16],尤其是 IOD影响着中国西南地区降水量的多寡。每年的1—3月,印度洋偶极子通过影响孟加拉湾地区向北的水汽输送进而影响青藏高原汛期的降水^[17–18],基于已有的研究结果,本文通过分析不同月份的 IOD 与极端降水相关性,以期揭示造成雅鲁藏布江流域极端降水事件时空分布特征的成因和机理。

本研究采用雅鲁藏布江流域 19 个气象站点数据,对流域内的极端降水事件进行分析,并进一步探讨了雅鲁藏布江流域极端降水事件与印度洋偶极子指数之间的关系,分析雅鲁藏布江流域极端降水事件的时空变化特征,对深入了解雅鲁藏布江流域的水资源的时空变化规律,积极应对极端降水事件所引发的旱涝灾害,具有十分重要的意义。

1 资料和方法

1.1 研究区概况

雅鲁藏布江位于青藏高原的东南部地区,流域范围是 28°~31°N, 82°~97°E(图 1)。雅鲁藏布江处于喜马拉雅山脉、冈底斯山、念青唐古拉山等众多山脉包围的河谷中,对气候环境变化极度敏感。雅鲁藏布江流域由于受到孟加拉湾暖湿气流的影响,降水十分充沛,但在空间分布上极不均匀,整体表现为东部降水多,西部降水少^[19]。

1.2 数据来源

本研究的降水数据是中国气象局气象数据中心的站点数据,由于雅鲁藏布江流域气象站点稀少,尤

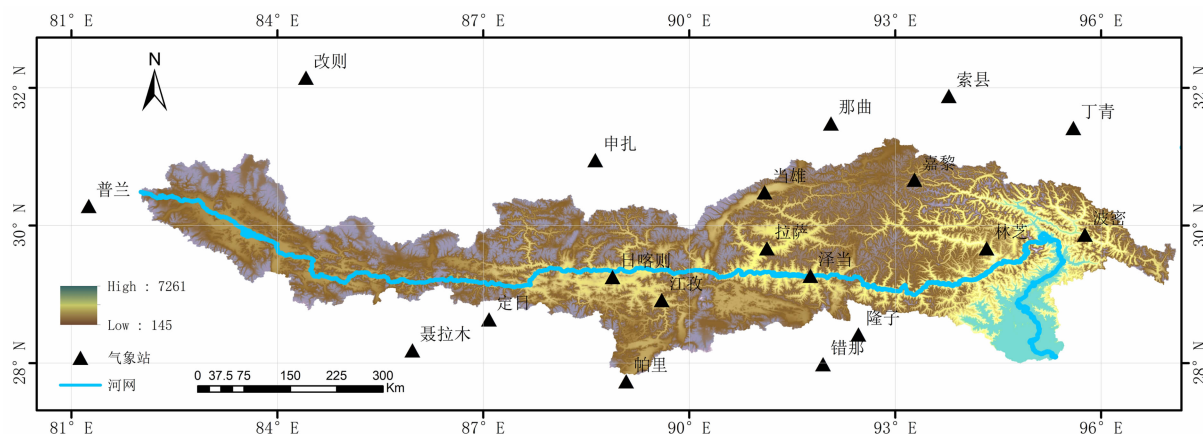


图 1 雅鲁藏布江流域 DEM 及气象站点分布

Fig. 1 The distribution of meteorological stations in the Yarlung Zangbo River basin, China

其是在流域西部地区,只有在流域的边界附近零星分布几个气象站点。为了全面反映雅鲁藏布江流域极端降水的真实情况,选用雅鲁藏布江流域内外 19 个站点 1973—2016 年的降水量数据(图 1)。海温的数据为 1957—2016 年美国国家海洋和大气管理局(NOAA)逐月的 Extended Reconstructed Sea Surface Temperature V4(ERSST.v4)数据,空间分辨率为 $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$ 。位势高度场和风场来自 National Centers Environmental Prediction(NCEP)数据。

1.3 研究方法

研究极端事件变化特征可以通过定义与极端事件有关的气候指标,分析气候指标与极端事件之间的关系。极端降水事件可以定义为降水序列中超过极端降水事件阈值的降水事件,其中极端降水阈值可以通过绝对阈值法(如在我国 24 h 降雨量在 50 mm 以上为暴雨)和相对阈值法(如降水序列中超过一定百分位的降水量)确定,本研究采用世界气象组织推荐的极端气候指标中 6 个极端降水指标,对雅鲁藏布江流域的极端降水特征进行分析,这 6 种极端降水指标(表 1)能够较好描述流域的极端降水情况^[20-22]。

印度洋偶极子反映了热带的印度洋东部和西部海温距平(Sea Surface Temperature Anomalies, SSTA)相位变化特征,印度洋偶极子指数定义为^[23],印度洋海域 $50^{\circ}\text{E} \sim 70^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$ 的海温距平的平均值与海域 $90^{\circ}\text{E} \sim 110^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}\text{S} \sim 0^{\circ}$ 的 SSTA 的差值。Dipole Mode Index(DMI)可以反映出印度洋东西海温异常的强弱变化特征,当 IOD 为正相位时,热带西印度洋的 SSTA 大于热带东印度洋的 SSTA,DMI 为正值;当 IOD 为负相位时,热带西印度洋的 SSTA 小于热带东印度洋的 SSTA,DMI 为负值。

本研究首先利用线性倾向估计法对雅鲁藏布江

流域极端降水的趋势变化进行分析^[24],并通过 F 检验对极端降水的时间序列进行显著性检验;其次采取 MK 非参数统计检验方法^[25-26]对极端降水突变性进行研究;然后对极端降水指标进行主成分分析^[27],提取指标中方差贡献率最大的主成分 1 和主成分 2 代表整个极端降水指标序列;最后对 ERSST.v4 海温数据和极端降水指标通过 zscore 标准化处理,去除数据量纲的影响,并通过皮尔森相关法分析探讨极端降水指标与 DMI 的相关性和时空分布特征,最后对极端降水偏强年与偏弱年合成的差值场进行分析。

2 结果与分析

2.1 极端降水指标年际变化特征

2.1.1 极端降水指标变化趋势特征

1973—2016 年雅鲁藏布江流域极端降水指标 5 年滑动平均的变化趋势结果如图 2 和表 2 所示,极端降水指标整体上呈现波动性增加的趋势,与全球极端降水变化背景下,中高纬度地区的极端降水事件增加相一致^[28-29]。根据极端降水指标趋势变化在回归线的分布情况,极端降水指标的变化可以大致分为五个不同的阶段:1973—1978, 1978—1983, 1983—1993, 1993—2002, 2002—2016。在这五个阶段中降水指标呈现出明显的“丰水年—枯水年—丰水年—枯水年—丰水年”交错分布的特征。

降水日数 RD 的多年平均值是 134.48 d,倾向率为 $2.3 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$, RD 在过去的 44a 中呈现出上升的趋势,并通过了 95% 的信度水平检验 ($p < 0.05$)。降水强度 SDII 的多年平均值为 $3.05 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,未通过 95% 的信度水平检验 ($p > 0.05$), SDII 的上升趋势不明显。降水总量 PRCPTOT 的多年平均值为 409.78 mm,倾向率为 $7.2 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$,

表 1 雅鲁藏布江流域极端降水事件的指标

Tab. 1 Indices of precipitation extreme event in the Yarlung Zangbo River basin

| 指标类型 | 指标 | 名称 | 定义 | 单位 |
|-------|---------|---------|----------------------------|---------------------------------|
| 绝对指标 | RD | 降水日数 | 降水量大于 1mm/day 的日数 | d |
| | PRCPTOT | 降水总量 | 降水量大于 1mm/day 的降水总量 | mm |
| 持续性指标 | CWD | 连续湿润日数 | 降水量大于 1mm/day 的最大持续日数 | d |
| | SDII | 降水强度 | 降水量大于 1mm/day 的降水强度 | $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ |
| 强度指标 | RX5day | 五日最大降水量 | 最大连续 5 日降水总量 | mm |
| 相对指标 | R95p | 极端降水量 | 日降水量超过降水序列中第 95 个百分位的降水量之和 | mm |

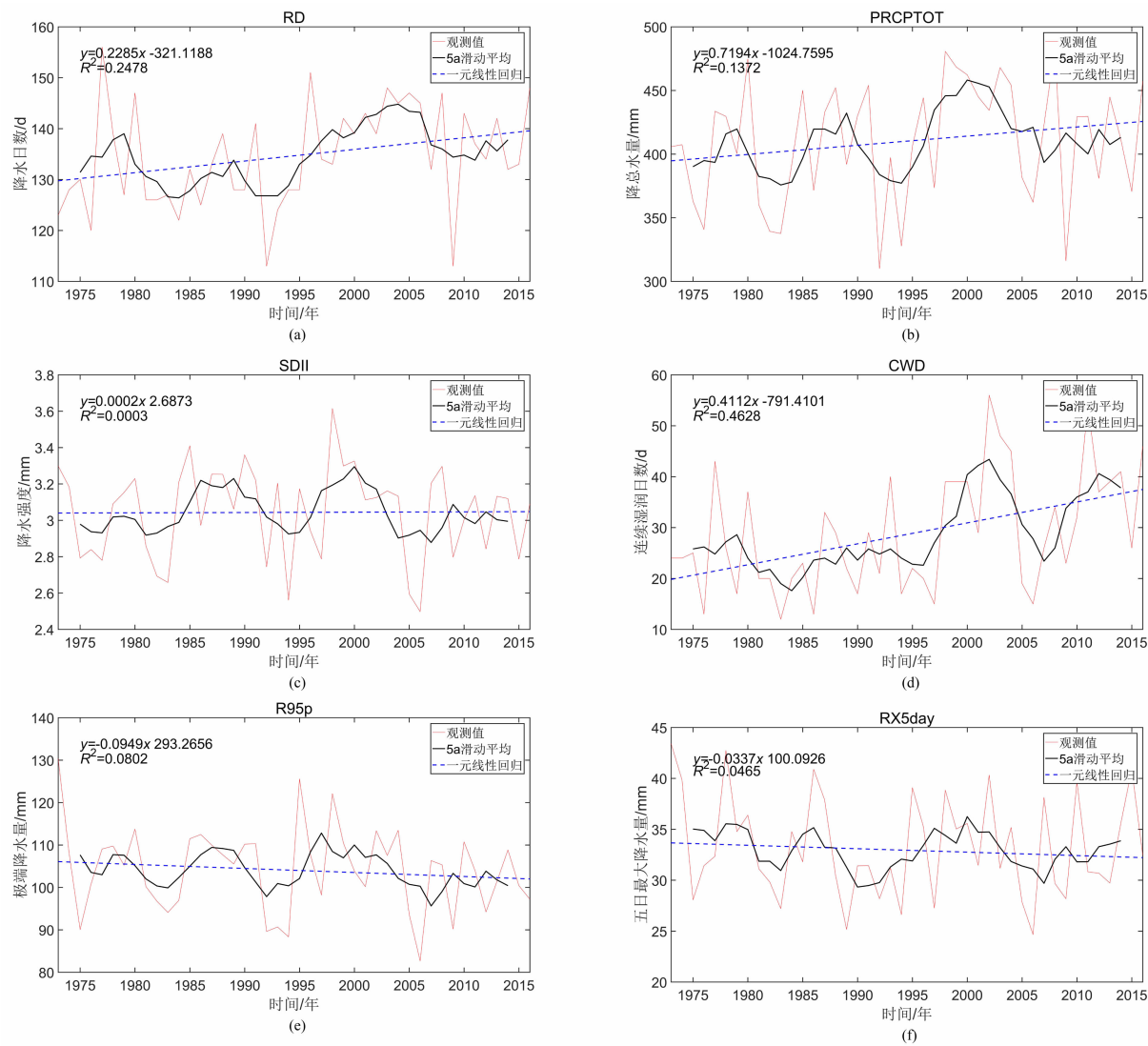


图 2 1973—2016 年雅鲁藏布江流域极端降水指标趋势变化：
(a) RD; (b) PRCPTOT; (c) SDII; (d) CWD; (e) R95p; (f) RX5day

Fig. 2 Annual trend for extreme precipitation indices in the Yarlung Zangbo River basin during 1973—2016;
(a) RD; (b) PRCPTOT; (c) SDII; (d) CWD; (e) R95p; (f) RX5day

表 2 1973—2016 年雅鲁藏布江流域极端降水指标多年平均值和年际变化趋势

Tab. 2 Mean value and its trend for extreme precipitation indices in the Yarlung Zangbo River basin during 1973—2016

| 指标 | RD | PRCPTOT | SDII | RX5day | R95p | CWD |
|------|--------|---------|------|--------|--------|-------|
| 多年均值 | 134.48 | 409.78 | 3.05 | 33.28 | 104.29 | 28.84 |
| 趋势 | ▲ | ▲ | △ | ▽ | ▽ | ▲ |

注: ▲表示显著性上升, △表示不显著上升; ▼表示显著性下降, ▽表示不显著性下降。

PRCPTOT 在过去的 44a 中呈现出上升的趋势,并通过了 95% 的信度水平检验 ($p < 0.05$)。它的显著性上升可能是受到降水日数显著性增加和降水强度不显著性增加叠加的影响。并且 RD 的显著性上升是 PRCPTOT 显著性上升的主要因素,而 SDII 对

PRCPTOT 显著性上升的影响相对较小。

五日最大降水量 RX5day 的多年平均值为 33.28 mm,倾向率为 $0.337 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$,并通过 95% 的信度水平检验 ($p < 0.05$)。极端降水量 R95p 的多年平均值为 104.29 mm,倾向率为

$-0.95 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 未通过 95% 的信度水平检验 ($p > 0.05$)。连续湿润日数 CWD 的多年平均值为 28.84 d, 倾向率为 $4.11 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 并通过 95% 的信度水平检验 ($p < 0.05$), 表明雅鲁藏布江的连续降水日数是在显著性增加。

2.1.2 极端降水指标突变特征

在 95% 的显著性水平下, 雅鲁藏布江流域的 CWD、RD 极端降水指标均发生了突变 (图 3), 并且均在突变后呈现显著性增加的趋势, PRCPTOT、SDII、R95p 和 RX5day 指标没有发生突变。RD 的 UF 和

UB 曲线在 0.05 显著性水平区间中, 相交于 1995 年左右, UF 曲线在 2002 年左右超过 0.05 显著性水平, 说明雅鲁藏布江流域的 RD 存在明显的突变。RD 的突变点在 1995 年左右, 在突变前 RD 的多年平均值为 130 d, 而突变后的多年平均值为 139.4 d, 突变后比突变前增加了 9.4 d。同理, CWD 的突变点在 2001 年左右, 突变前 CWD 多年平均值为 25.1 d, 在突变后的多年平均值为 36.1 d, 突变后比突变前增加了 9 d。

2.1.3 极端降水指标年代际变化特征

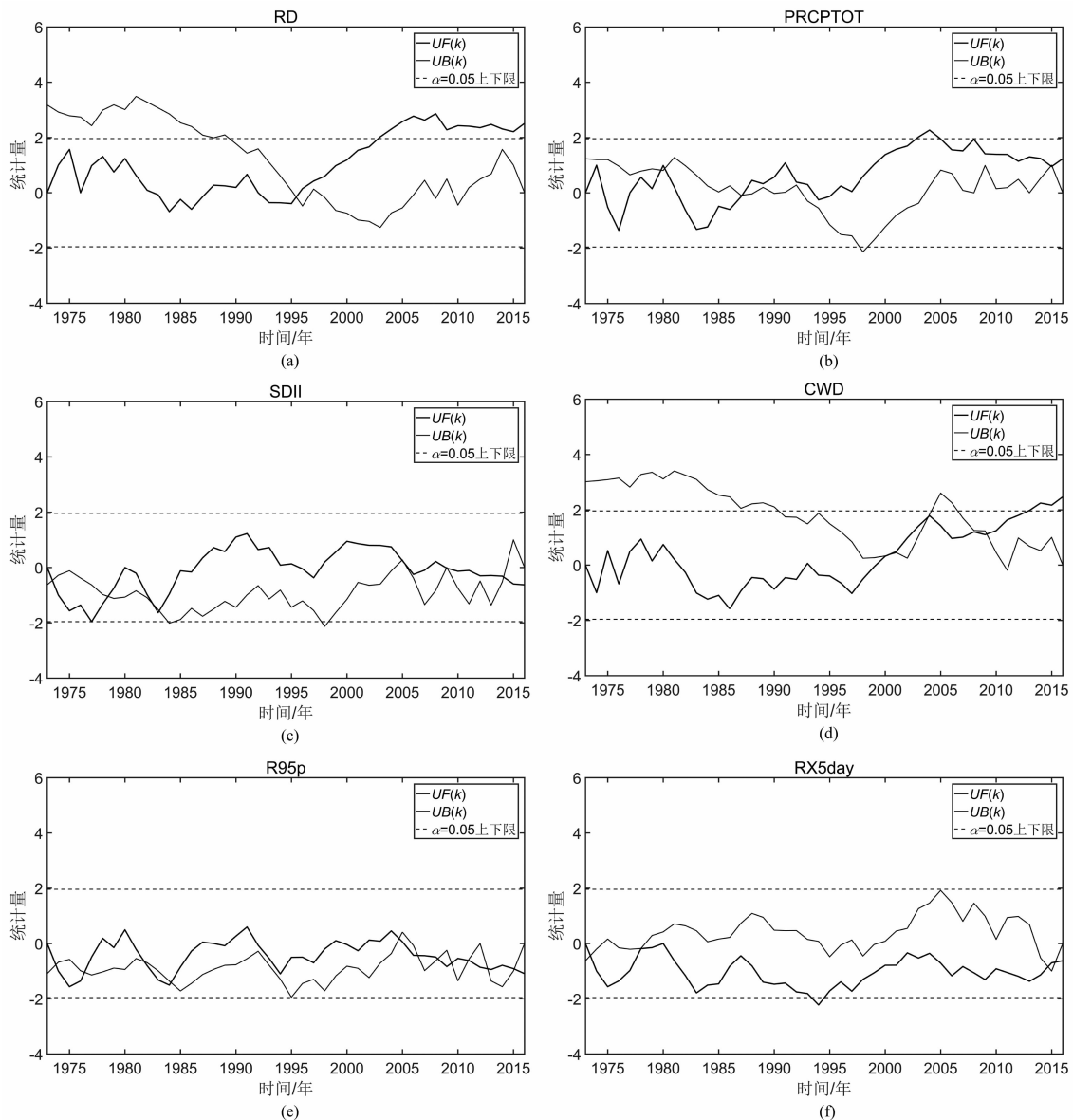


图 3 1973—2016 年雅鲁藏布江流域极端降水指标突变特征:

(a) RD; (b) PRCPTOT; (c) SDII; (d) CWD; (e) R95p; (f) RX5day

Fig. 3 The result of Mann - Kendall method for the extreme precipitation indices in the Yarlung Zangbo River basin during 1973—2016:

(a) RD; (b) PRCPTOT; (c) SDII; (d) CWD; (e) R95p; (f) RX5day

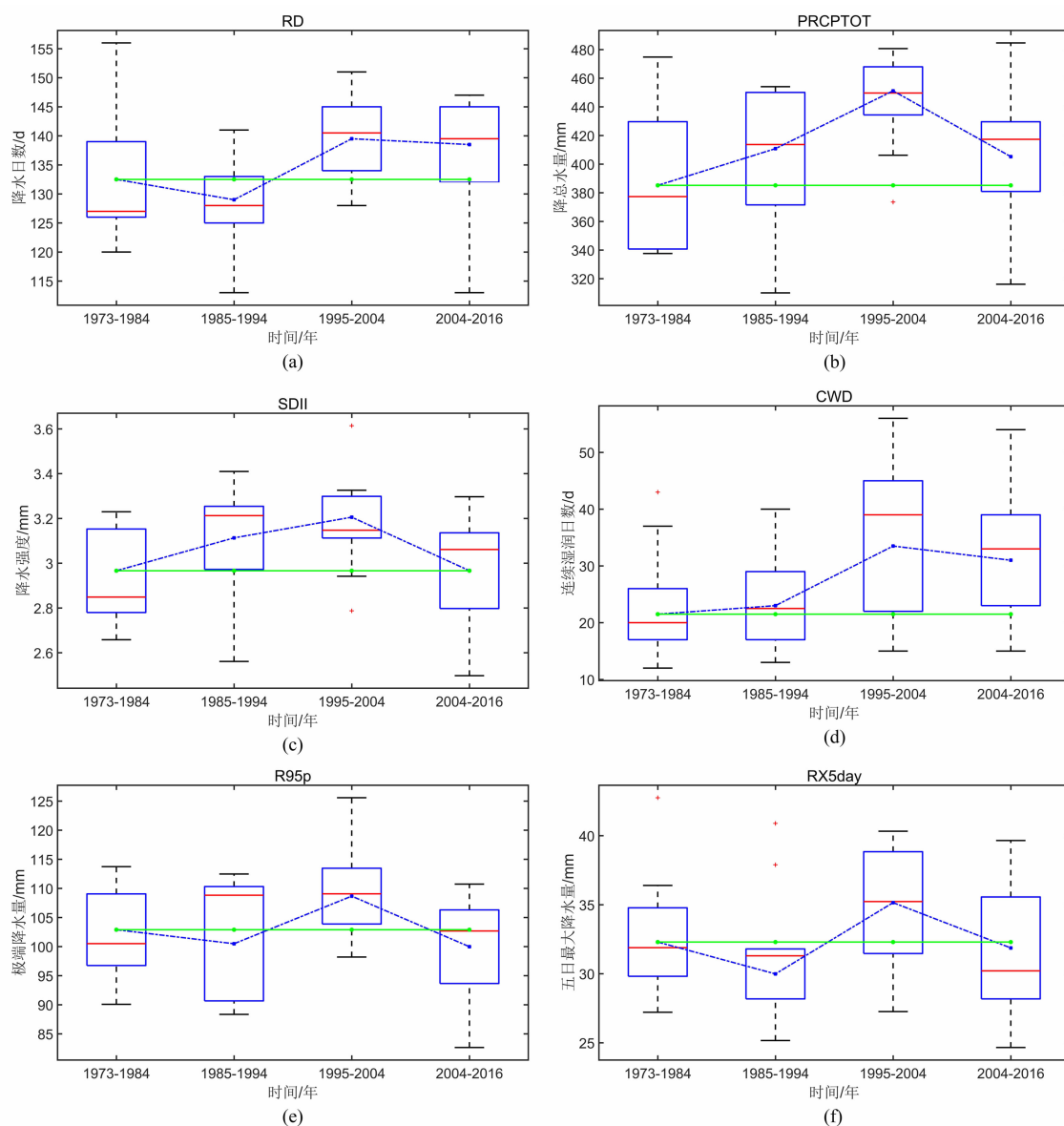


图4 1973—2016年雅鲁藏布江流域极端降水指标的年代际变化特征:

(a) RD; (b) PRCPTOT; (c) SDII; (d) CWD; (e) R95p; (f) RX5day

Fig. 4 The result of inter-decadal change characteristics of the extreme precipitation indices in the Yarlung Zangbo River basin during 1973—2016: (a) RD; (b) PRCPTOT; (c) SDII; (d) CWD; (e) R95p; (f) RX5day

从雅鲁藏布江流域极端降水指标的箱线图(图4)可以看出在不同的年代际下,极端降水指标整体上存在上升趋势,RX5day和R95p在整个年代际中是先下降后上升的波动变化。所有的指标在1995—2014这十年间的均值较高,因此极端降水事件发生的概率较大,年际间极端降水量占降水总量的比例也比较大。结合极端降水事件的逐年变化趋势和突变状况,可以发现不同的年代际间极端降水事件发生的频率、极端降水事件的降水总量、极端降水事件的持续性都有比较大的年际间变化,整个雅

江流域经历着从暴雨事件发生相对较少到暴雨事件频发的转变。

2.2 极端降水指标的空间变化特征

2.2.1 极端降水指标数值空间分布特征

雅鲁藏布江地区极端降水指标的空间分布如图5所示,可以看出,RD、PRCPTOT、SDII、CWD、R95p、RX5day都表现出相似的空间分布特征,呈现出从流域的东部向西部逐渐递减的空间布局特征,并且在流域的中部地区偶尔出现区域性高值中心。说明雅鲁藏布江流域的极端降水事件主要发生在流域的东

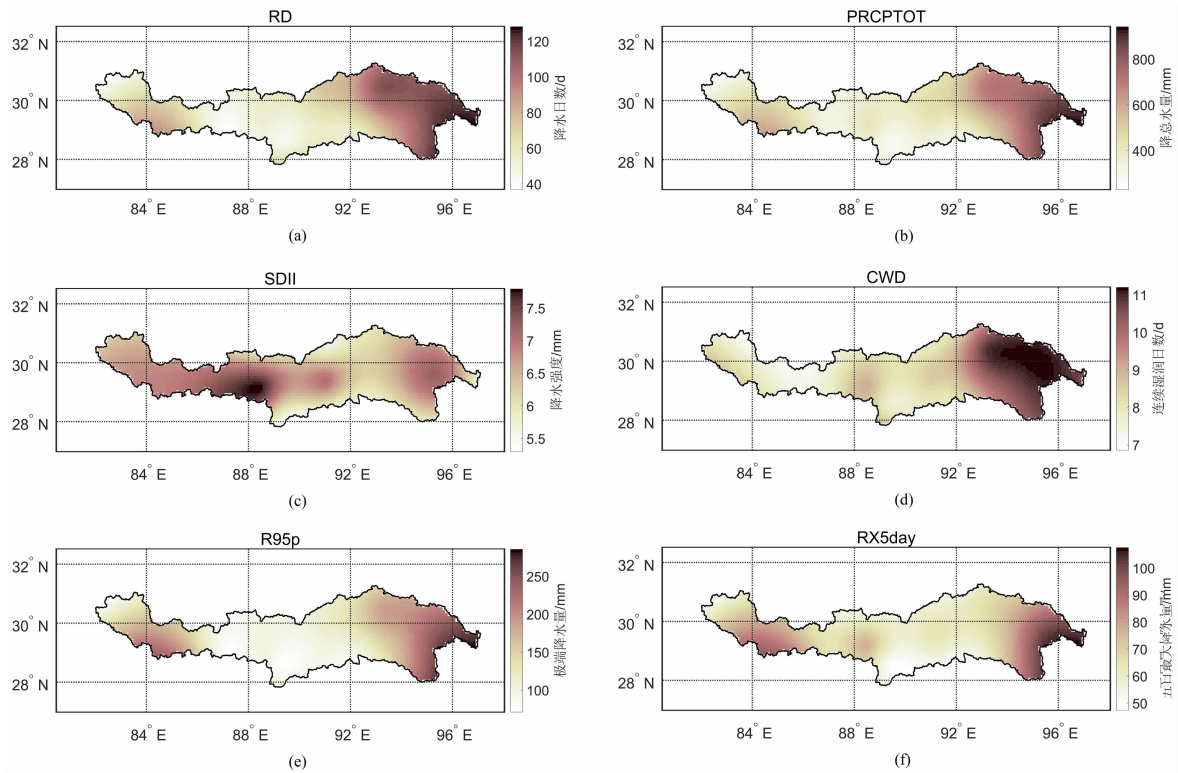


图5 1973—2016年雅鲁藏布江流域极端降水指标的空间分布:

(a) RD; (b) PRCPTOT; (c) SDII; (d) CWD; (e) R95p; (f) RX5day

Fig. 5 Spatial distribution of the extreme precipitation indices in the Yarlung Zangbo

River basin during 1973—2016: (a) RD; (b) PRCPTOT; (c) SDII; (d) CWD; (e) R95p; (f) RX5day

部地区,与雅鲁藏布江流域的年平均降水量空间分布一致^[30]。极端降水指标的空间分布特征可能与印度洋暖湿气流的运动有关,暖湿气流沿着雅鲁藏布江下游的河谷地带向青藏高原的腹地源源不断的输送水汽,当受到副热带西风槽前的西南气流控制的时候,在流域的下游会形成一个极强的降水带^[31],使流域的下游地区降水量急剧增加,因此极端降水在流域的下游地区的数值也相对比较大。

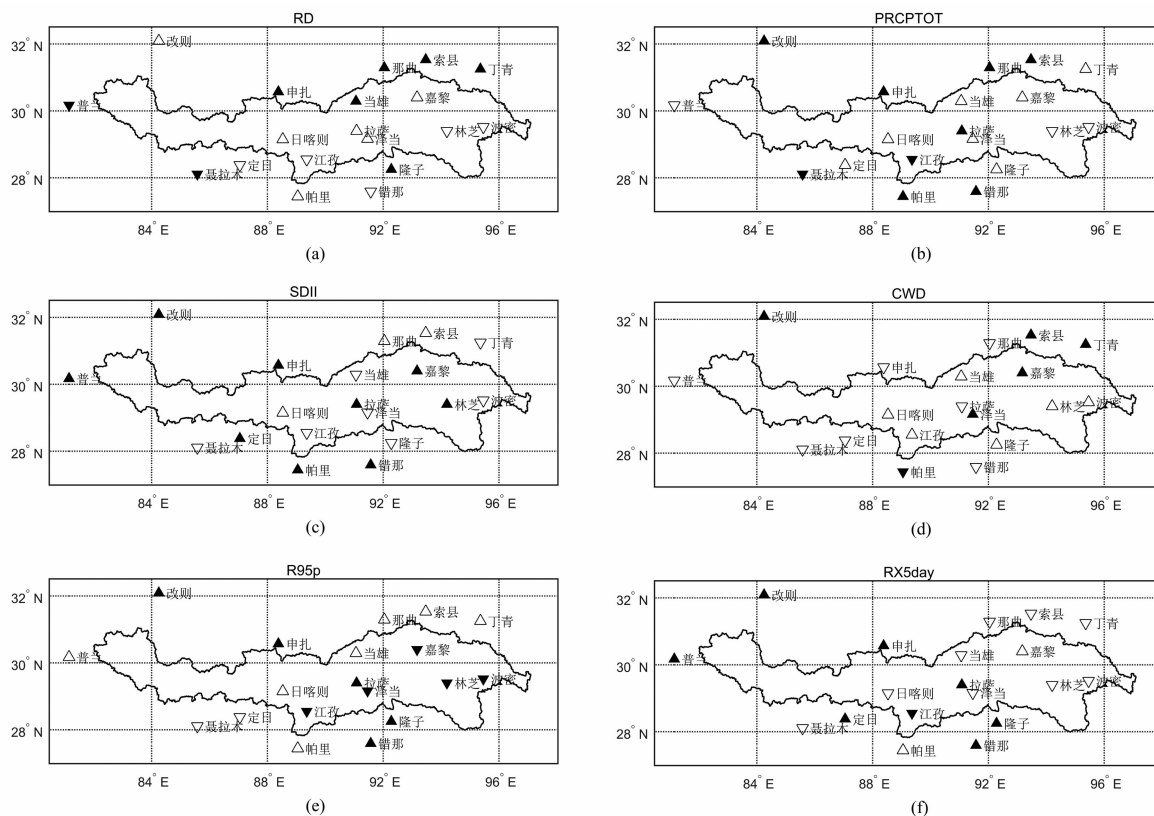
具体到每个指标, RD 从流域东部的 98.9 ~ 119.8 d 减少到西部的 25.3 ~ 31.5 d, PRCPTOT 从东部的 619.3 ~ 865.1 mm 减小到西部的 146.7 ~ 169.6 mm,降水日数和降水总量在雅鲁藏布江流域从东部向西部逐渐递减。SDII 的空间分布是从流域的中游地区向流域的中下游地区逐渐递减。最大的 SDII 位于日喀则站,为 7.7 mm · d⁻¹,值得注意的是降水强度 SDII 在流域的中上游地区形成一个高值中心区,可能导致该区域产生短时强降水。RX5day 从流域东部的 67 ~ 100.9 mm 向西部逐渐递减到 38.1 ~ 42.2 mm。R95p 从流域东部的 161.3 ~ 250.8 mm 逐渐递减到西部的 45.0 ~

54.1 mm。CWD 在流域中最大值是在东部下游的波密站,为 11.2 d。总的来说,降水日数 RD、降水总量 PRCPTOT、极端降水量 R95p 在流域的下游部分比较高,存在较高的极端降水风险,极易引发洪水、泥石流等自然灾害。

2.2.2 极端降水指标变化趋势空间分布特征

从图 6 各极端降水指标在雅鲁藏布江流域的变化趋势空间分布可以看出,极端降水指标在雅鲁藏布江流域呈现出上升趋势的站点主要分布在流域的东北部地区。其中,CWD 在流域的西部和南部地区的站点呈现出显著下降的趋势,流域的东北部地区多呈现出显著上升的趋势,其中索县、丁青、嘉黎、泽当、改则站为显著性增加。雅鲁藏布江流域的 CWD 显著上升可能是因为在全球气候变化背景下,雅鲁藏布江流域冰川积雪融化增多,水汽含量增大,当地水汽循环结构发生改变,促使更多更密集的降水事件发生^[32],尤其是雅江流域的东南地区,水资源总量充沛,持续性降水可能引发山洪灾害等。

流域多年平均降水日数指标 RD 为 134 天,整体上表现出上升的趋势,倾向率为 2.29 d · (10a)⁻¹。



▲表示显著性上升, △表示不显著上升; ▼表示显著性下降, ▽表示不显著性下降。

图6 1973—2016年雅鲁藏布江流域极端降水指标变化趋势空间分布:

(a) RD; (b) PRCPTOT; (c) SDII; (d) CWD; (e) R95p; (f) RX5day

Fig. 6 Spatial distribution of trend of the extreme precipitation indices in the Yarlung Zangbo

River basin during 1973—2016: (a) RD; (b) PRCPTOT; (c) SDII; (d) CWD; (e) R95p; (f) RX5day

在19个站点中有12个站点有上升的趋势,7个站点有下降的趋势,其中申扎、当雄、那曲、索县、丁青、隆子在上升的站点中通过了95%信度水平检验($p < 0.05$)。这些站点多位于流域的东北部边界地区,在过去的44年中,这些站点的降水日数逐渐增多,可能导致区域的气候趋于湿润。聂拉木、江孜、林芝在下降趋势的站点中通过了95%信度水平检验($p < 0.05$)。

降水强度SDII多年平均值为 $3.05 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,没有通过显著性检验,说明雅鲁藏布江流域的降水强度上升不显著。在空间分布上,19个站点中有12个站点有上升的趋势,7个站点是下降的趋势。上升趋势的站点主要集中在流域的中部地区,其中普兰、改则、申扎、拉萨、嘉黎、林芝、错那、帕里站点均通过95%信度水平检验($p < 0.05$)。

降水总量PRCPTOT指标,在19个站点中有14个站点有上升的趋势,5个站点有下降的趋势,其中只有江孜、聂拉木站点在下降趋势的站点中通过了

95%信度水平检验($p < 0.05$),改则、申扎、那曲、索县、拉萨、帕里、错那站点在上升趋势的站点中通过了95%信度水平检验($p < 0.05$)。PRCPTOT的倾斜率为 $7.2 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$,PRCPTOT与雅鲁藏布江流域上多年平均降水的变化趋势一致。比较RD、SDII和PRCPTOT的空间分布图,可以看出当RD显著性增加的站点中,PRCPTOT一般也是显著性增加。雅鲁藏布江流域降水总量的增加趋势在很大程度上是降水日增加所引起的。

极端降水量指标R95p,在流域上的整体是有上升的趋势,19个站点中有12个站点有上升趋势,其中改则、申扎、隆子、拉萨、错那站点通过95%信度水平检验($p < 0.05$)。7个站点是下降的趋势,其中嘉黎、波密、林芝、泽当、江孜站点通过95%信度水平检验($p < 0.05$)。极端降水强度指标在流域的东北部地区增长趋势比较明显。

五日最大降水量指标RX5day,在流域的整体上是不显著下降的趋势。19个站点中,有9个站点有

上升趋势,其中普兰、改则、申扎、定日、拉萨、隆子、错那站点通过了 95% 信度水平检验($p < 0.05$),这些主要分布在流域的中西部地区。10 个站点有减少的趋势,其中只有江孜站点通过了 95% 信度水平检验($p < 0.05$)。

2.3 极端降水指标的主成分分析

对雅鲁藏布江流域极端降水指标进行主成分分析(表 3),从 6 个极端降水指标中提取成分 1 和成分 2,它们的方差贡献率分别为 65.38%、13.17%,方差累积量占总方差的 78.55%,所以主成分 1 和主成分 2 可以代表整个极端降水指标。在成分 1 中,PRCPTOT 的载荷达到了 0.94,说明 PRCPTOT 与极端降水指数具有一致性,可以用成分 1 中 PRCPTOT 表征极端降水的量级。在成分 2 中,CWD 的载荷达到了 0.71,因此可以用成分 2 中的 CWD 表征极端降水事件的持续性。

计算极端降水指标之间的相关系数(表 4),可以看到 PRCPTOT、CWD 与其余指标之间均是正相关关系,并且除 CWD 与 R95p 指标之间未通过 0.01 信度水平检验($p > 0.01$),其余指标之间均通过 0.01 信度水平检验($p < 0.01$)。PRCPTOT 与其余指标之间的相关系数最小为 0.518,最大为 0.844,而 CWD 与其余指标之间的相关系数相对较低,最高为 0.518,对主成分 2 的表征相对较弱。综上所述,本研究利用 PRCPTOT 和 CWD 分别表征极端降

水的量级和持续性,用来计算极端降水指标与 DMI 的相关性和空间分布特征。

2.4 极端降水指标与 DMI 的相关关系

将 PRCPTOT、CWD 与逐月的 DMI 进行相关分析(图 7),可以看到 DMI 与雅鲁藏布江流域内的 PRCPTOT 在 1—5 月份呈现正相关关系,在 5—12 月呈现负相关关系。DMI 与雅鲁藏布江流域内的 CWD 在 1—5 月份、7—10 月份呈现正相关关系,在 5—7 月份、10—12 月份呈现负相关关系。从图中可以看到 2 月份的 DMI 指数与雅鲁藏布江流域内的 PRCPTOT、CWD 有较强的相关性,相关系数分别为 0.265、0.387。

2 月的 DMI 与雅鲁藏布江流域的 PRCPTOT 的相关系数空间分布表明(图 8a),雅鲁藏布江流域西部地区的 PRCPTOT 指标与 DMI 为显著性负相关,中东部地区为显著性正相关,并且在中部地区出现相关系数为 0.412 的高相关区域,说明 2 月的 DMI 对雅鲁藏布江流域的中部地区 PRCPTOT 具有显著性影响。

2 月的 DMI 与雅鲁藏布江流域的 CWD 的相关系数空间分布表明(图 8b),雅鲁藏布江流域大部分地区的 CWD 指标与 DMI 为显著正相关,在中东部地区出现相关系数分别为 0.356、0.273 的大值区域,说明 2 月的 DMI 对雅鲁藏布江流域的中部和东部地区具有较显著影响。

表 3 1973—2016 年雅鲁藏布江流域极端降水指标主成分分析

Tab. 3 Factor loadings and explained variances for extreme precipitation indices in the Yarlung Zangbo River basin during 1973—2016

| 成分 | RD | PRCPTOT | SDII | RX5day | R95p | CWD | 方差贡献率% |
|----|------|---------|------|--------|-------|------|--------|
| 1 | 0.70 | 0.94 | 0.86 | 0.77 | 0.92 | 0.54 | 65.38 |
| 2 | 0.22 | 0.20 | 0.08 | -0.42 | -0.31 | 0.71 | 13.17 |

表 4 1973—2016 年雅鲁藏布江流域极端降水指标相关系数分析

Tab. 4 Correlation coefficients of extreme precipitation indices in the Yarlung Zangbo River basin during 1973—2016

| | RD | PRCPTOT | SDII | RX5day | R95p | CWD |
|---------|-------|---------|-------|--------|---------|-------|
| RD | 1.000 | — | — | — | — | — |
| PRCPTOT | 0.827 | 1.000 | — | — | — | — |
| SDII | 0.407 | 0.844 | 1.000 | — | — | — |
| RX5day | 0.421 | 0.578 | 0.568 | 1.000 | — | — |
| R95p | 0.546 | 0.776 | 0.764 | 0.819 | 1.000 | — |
| CWD | 0.324 | 0.518 | 0.516 | 0.245 | 0.306 * | 1.000 |

注: * 未通过 0.01 显著性检验。

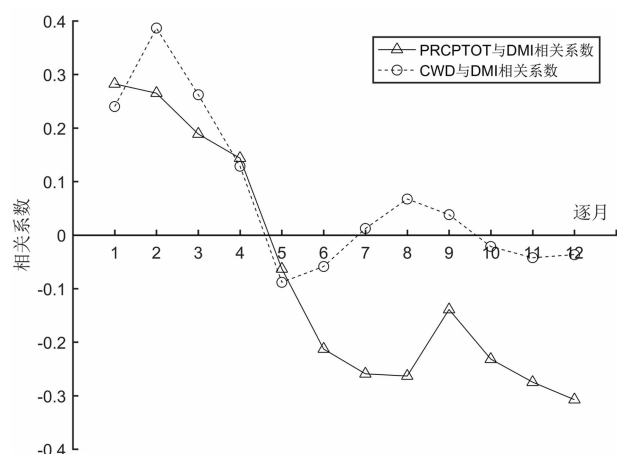


图7 1973—2016年雅鲁藏布江流域中
PRCPTOT、CWD指标与DMI的相关关系

Fig. 7 Correlation coefficients of PRCPTOT, CWD and DMI
in the Yarlung Zangbo River basin during 1973—2016

雅鲁藏布江流域的极端降水变化与印度洋上的大气环流有着密切的关系,本研究对雅鲁藏布江流域

1973—2016年1—3月极端降水偏强年和偏弱年的合成场进行分析。选取1—3月中PRCPTOT和CWD的距平同时超过标准差的年份作为降水偏强年,小于标准差的-1倍的年份作为降水偏弱年。降水偏强年分别为1973、1980、1990、1995、2002、2007、2014、2015。降水偏弱年分别为1975、1984、1992、1993、1994、2006、2008、2009。利用NCEP再分析数据中250 hPa和500 hPa位势高度场和风场数据,分别在降水偏强年和降水偏弱年进行合成,再将降水偏强年与降水偏弱年的合成场进行相减,得到如图9所示的差值场分布。250 hPa的合成场显示了中纬度地区交替的正负异常模式,这表明在极端降水偏强年和偏弱年以Rossby波的形式沿着东南亚方向传播,以特定的环流形式影响雅鲁藏布江流域的降水。从图中可以看出雅鲁藏布江流域在250 hPa和500 hPa位势高度场的差值均存在负值中心,这表明雅鲁藏布江流域极端降水偏强年的位势高度要小于极端降水偏弱年的位势高度,容易发

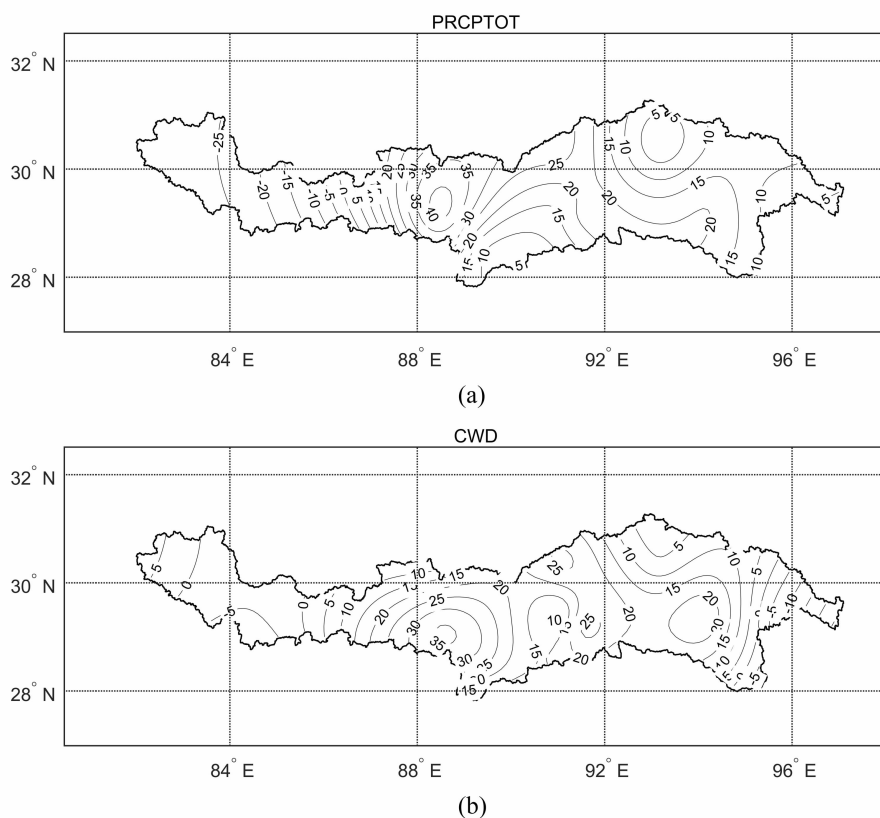


图8 1973—2016年雅鲁藏布江流域PRCPTOT(a)、CWD指标(b)
与2月DMI的相关关系分布图(百分比形式)

Fig. 8 Spatial distribution of correlation coefficients of PRCPTOT (a),
CWD (b) and DMI in the Yarlung Zangbo River basin during 1973—2016

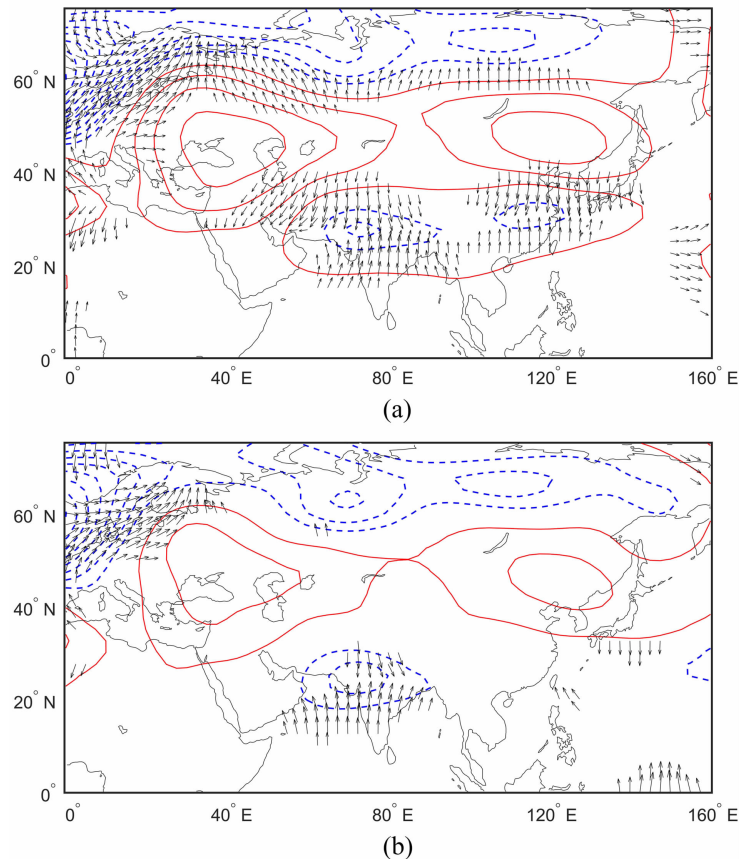


图9 1973—2016年雅鲁藏布江流域极端降水偏强年与偏弱年合成的差值场，
图中红色实线表示正异常，蓝色虚线表示负异常

Fig. 9 Composite differences of 250hPa and 500hPa between strong and weak extreme precipitation years
in the Yarlung Zangbo River basin during 1973—2016

生闭合的低压中心，抽吸辐散作用明显，有利于短时强降水的发生^{[21][33]}。

3 讨论

在全球气候变化的背景下，极端降水事件已成为研究的热点问题。不同的学者在不同的研究区展开了极端降水事件研究，但是对雅鲁藏布江流域极端降水事件的趋势变化和空间分布研究，尤其是对极端降水事件时空分布特征的成因和机理研究相对较少。本研究选取雅鲁藏布江流域内外19个站点的降水数据分别计算RD、PRCPTOT、CWD、SDII、RX5day、R95p极端降水指标，并从极端降水指标在1973—2016年多年的变化趋势特征、突变特征、年代际变化特征、空间分布特征、变化趋势的空间分布特征，全面地分析了雅鲁藏布江流域极端降水情况的变化特征，并尝试从印度洋偶极子与极端降水事

件的相关性分析其变化机理。极端降水事件是通过极端降水阈值进行确定，因此阈值的确定方法对整个研究起到至关重要的作用。绝对阈值法和相对阈值法是确定极端降水阈值的常见方法，但是绝对阈值法假定整个研究区内阈值相同，无法反应整个地区极端降水空间分布的真实情况。相对阈值法按照不同地区降水序列中百分比确定阈值大小，可以为不同站点所属地区设置不同的极端降水阈值，对整个研究区有很好的适用性。

印度洋偶极子与我国南方地区（尤其是西南地区）的降水有着密切的关系。正IOD事件常常伴随着南方地区降水的增多，而负IOD事件则伴随着降水事件的减少。很多学者从大气环流的角度分析青藏高原与印度洋偶极子震荡关系，吴亚平等^[17]通过分析青藏高原水汽输送通量的特征与印度洋偶极子的关系，认为IOD事件对1—3月青藏高原水汽输送有着明显的影响，两者呈现出正相关关系，这与本

文所得出 PRCPTOT 与 CWD 在 1—3 月份更容易受到 IOD 的影响的结论相一致。印度洋偶极子通过影响孟加拉湾地区向北的水汽输送进而影响青藏高原地区的水汽输送。张平等^[34]通过偏暖年和偏冷年的高度场进行合成分析,认为当印度洋海水温度异常偏冷时,印度洋大气辐散下沉有利于发生,并在 200 hPa 产生差值环流,其中心在青藏高原南部有利于降水产生,这与本文对雅鲁藏布江流域的极端降水变化与印度洋上的大气环流的关系分析的结果一致。在雅鲁藏布江地区开展极端降水分布特征和成因机理研究有利于加强对雅鲁藏布江流域水资源合理利用,灾害的预防和治理。但是本研究对雅鲁藏布江流域极端降水的内在机理研究得尚不全面,未来可以利用更多的大气环流因子、太阳活动等内容展开分析,以期更进一步明确雅鲁藏布江流域极端降水事件的发生机理和变化趋势,为雅鲁藏布江流域水资源管理提供科学基础。

4 结论

本研究基于 1973—2016 年雅鲁藏布江流域的日降水数据,分析了雅鲁藏布江流域 44a 极端降水事件发生的时空变化特征及其与 DMI 的相关性和时空分布特征,可以得出以下结论:

(1) 雅鲁藏布江流域极端降水指标整体上呈现出上升趋势,与流域内年平均降水变化趋势相一致。其中 RD、PRCPTOT、CWD 指标均在 95% 显著性水平上增加。RD、CWD 极端降水指标分别在 1995 年左右、2001 年左右发生了突变。极端降水指标在 1995—2014 这十年间中均值较高,表明极端降水事件在此期间发生的可能性比较大。

(2) 雅鲁藏布江流域的极端降水指标在空间上存在明显的差异性,表现出从东部到西部逐渐递减的分布特征。受雅鲁藏布江流域地形和气候的综合影响,极端降水指标在雅鲁藏布江的空间分布反映了东部湿润地区可能更加频繁地发生暴雨事件,洪涝灾害更加严重,西部地区则从相对干旱逐渐变得相对湿润。

(3) 极端降水指标主成分分析结果表明,主成分 1 和主成分 2 的方差累计率占到了总方差的 78.55%,可以利用主成分 1 中的 PRCPTOT 和主成分 2 中的 CWD 分别表征极端降水事件的量级和持

续性,并且 PRCPTOT 和 CWD 与其他极端指标显著性正相关。

(4) 印度洋偶极子指数 (DMI) 与 PRCPTOT 在 1—5 月份呈现正相关关系,在 5—12 月呈现负相关关系。DMI 与 CWD 在 1—5 月份、7—10 月份呈现正相关关系,在 5—7 月份、10—12 月份呈现负相关关系。PRCPTOT 与 CWD 在 1—3 月份更容易受到 IOD 的影响。在空间分布上,2 月份的 DMI 与雅鲁藏布江流域中东部地区的 PRCPTOT 为显著性正相关,并在中部地区出现相关系数为 0.412 的区域。DMI 与雅鲁藏布江流域绝大部分地区的 CWD 为显著性正相关,在中部东部地区出现相关系数分别为 0.356、0.273 的大值区域。雅鲁藏布江流域在降水偏强年和降水偏弱年中,250 hPa 和 500 hPa 位势高度差值均存在负值中心,有利于雅鲁藏布江流域极端降水事件发生。

参考文献 (References)

- [1] 宋晓猛, 张建云, 占车生, 等. 气候变化和人类活动对水文循环影响研究进展[J]. 水利学报, 2013, 44(7): 779 - 790 [SONG Xiaomeng, ZHANG Jianyun, ZHAN Chesheng. Review for impacts of climate change and human activities on water cycle[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(7): 779 - 790]
- [2] 缪启龙, 张磊, 丁斌. 青藏高原近 40 年的降水变化及水汽输送分析[J]. 气象与减灾研究, 2007, 30(1): 14 - 18 [MIAO Qilong, ZHANG Lei, DING Bin. Analysis of precipitation changes and water vapor in the Tibetan Plateau during the last four decades [J]. Meteorology and Disaster Research, 2007, 30(1): 14 - 18]
- [3] 曹瑜, 游庆龙, 马茜蓉, 等. 青藏高原夏季极端降水概率分布特征[J]. 高原气象, 2017, 36(5): 1176 - 1187 [CAO Yu, YOU Qinglong, MA Qianrong, et al. Probability distribution for the summer extreme precipitation in the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Plateau Meteorology, 2017, 36(5): 1176 - 1187]
- [4] EASTERLING D R, MEEHL G A, PARMESAN C, et al. Climate extremes: observations, modeling, and impacts [J]. Science, 2000, 289(5487): 2068 - 2074
- [5] DONAT M G, LOWRY A L, ALEXANDER L V, et al. More extreme precipitation in the world's dry and wet regions[J]. Nature Climate Change, 2016, 6(5): 508 - 513
- [6] MIN S K, ZHANG Xuebin, ZWIERS F W, et al. Human contribution to more-intense precipitation extremes [J]. Nature, 2011, 470(7334): 378 - 381
- [7] HEROLD N, BEHRANGI A, ALEXANDER L V. Large uncertainties in observed daily precipitation extremes over land[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2017, 122(2): 668 - 681
- [8] LIU Saiyan, HUANG Shengzhi, HUANG Qiang, et al.

- Identification of the non-stationarity of extreme precipitation events and correlations with large-scale ocean-atmospheric circulation patterns: a case study in the Wei River Basin, China[J]. *Journal of Hydrology*, 2017, **548**: 184 – 195
- [9] 陈迪, 闵锦忠. 长江中下游夏季极端降水指数的变化特征[J]. 气象科学, 2017, **37**(4): 497 – 504 [CHEN Di, MIN Jinzhong. Analysis on the variation of extreme precipitation indices in the mid-lower Yangtze River valley of China [J]. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2017, **37**(4): 497 – 504]
- [10] 郑江禹, 张强, 史培军, 等. 珠江流域多尺度极端降水时空特征及影响因子研究[J]. 地理科学, 2017, **37**(2): 283 – 291 [ZHENG Jiangyu, ZHANG Qiang, SHI Peijun, et al. Spatiotemporal characteristics of extreme precipitation regimes and related driving factors in the Pearl River Basin [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, **37**(2): 283 – 291]
- [11] 游庆龙, 康世昌, 闫宇平, 等. 近 45 年雅鲁藏布江流域极端气候事件趋势分析[J]. 地理学报, 2009, **64**(5): 592 – 600 [YOU Qinglong, KANG Shichang, YAN Yuping, et al. Trends in daily temperature and precipitation extremes over the Yarlung Zangbo River Basin during 1961 – 2005 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2009, **64**(5): 592 – 600]
- [12] 靳俊芳, 殷淑燕, 庞奖励. 近 60a 来汉江上游极端降水变化研究——以安康地区为例[J]. 干旱区研究, 2014, **31**(6): 1061 – 1067 [JIN Junfang, YIN Shuyan, PANG Jiangli. Extreme precipitation in the upper reach of Hanjiang river in recent 60 years—a case study of Ankang region [J]. *Arid Zone Research*, 2014, **31**(6): 1061 – 1067]
- [13] 贾文雄, 张禹舜, 李宗省. 近 50 年来祁连山及河西走廊地区极端降水的时空变化研究[J]. 地理科学, 2014, **34**(8): 1002 – 1009 [JIA Wenxiong, ZHANG Yushun, LI Zongsheng. Spatial and temporal change of precipitation extremes in Qilian mountains and Hexi corridor in recent fifty years [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, **34**(8): 1002 – 1009]
- [14] 郭湘宇, 吴正方, 杜海波, 等. 福建省极端降水时空变化特征及其环流因素分析[J]. 资源科学, 2017, **39**(6): 1084 – 1098 [GUO Xiangyu, WU Zhengfang, DU Haibo, et al. Spatio-temporal change characteristics and circulation causes of extreme precipitation in Fujian Province [J]. *Resources Science*, 2017, **39**(6): 1084 – 1098]
- [15] 宋晓猛, 张建云, 孔凡哲, 等. 北京地区降水极值时空演变特征[J]. 水科学进展, 2017, **28**(2): 161 – 173 [SONG Xiaomeng, ZHANG Jianyun, KONG Fanzhe, et al. Spatio-temporal variation characteristics of precipitation extremes in Beijing [J]. *Advances in Water Science*, 2017, **28**(2): 161 – 173]
- [16] 顾西辉, 张强, 陈晓宏, 等. 中国多尺度不同量级极端降水发生率非平稳性研究[J]. 水利学报, 2017, **48**(5): 505 – 515 [GU Xihui, ZHANG Qiang, CHEN Xiaohong, et al. The spatiotemporal rates of heavy precipitation occurrence at difference scales in China [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2017, **48**(5): 505 – 515]
- [17] 吴亚平, 雷俊, 方之芳. 印度洋海温的偶极振荡与夏季青藏高原水汽输送的关系[J]. 高原山地气象研究, 2008, **28**(2): 10 – 14 [WU Yaping, LEI Jun, FANG Zhifang. The relationship between the Indian Ocean Dipole oscillation and moisture transportation on the Tibetan Plateau in summer [J]. *Plateau and Mountain Meteorology Research*, 2008, **28**(2): 10 – 14]
- [18] 刘青春, 秦宁生, 李栋梁, 等. 印度洋海温的偶极振荡与高原汛期降水和温度的关系[J]. 高原气象, 2005, **24**(3): 350 – 356 [LIU Qingchun, QIN Ningsheng, LI Dongliang, et al. Relationship between Dipole oscillation of sea temperature in Indian Ocean and precipitation and temperature in flood season over Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Plateau Meteorology*, 2005, **24**(3): 350 – 356]
- [19] 杨志刚, 卓玛, 路红亚, 等. 1961—2010 年西藏雅鲁藏布江流域降水量变化特征及其对径流的影响分析[J]. 冰川冻土, 2014, **36**(1): 166 – 172 [YANG Zhigang, ZHUO Ma, LU Hongya, et al. Characteristics of precipitation variation and its effects on runoff in the Yarlung Zangbo River basin during 1961 – 2010 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, **36**(1): 166 – 172]
- [20] 孔锋, 史培军, 方建, 等. 全球变化背景下极端降水时空格局变化及其影响因素研究进展和展望[J]. 灾害学, 2017, **32**(2): 165 – 174 [KONG Feng, SHI Peijun, FANG Jian, et al. Advances and prospects of spatiotemporal pattern variation of extreme precipitation and its affecting factors under the background of global climate change [J]. *Journal of Catastrophology*, 2017, **32**(2): 165 – 174]
- [21] 袁文德, 郑江坤, 董奎. 1962—2012 年西南地区极端降水事件的时空变化特征[J]. 资源科学, 2014, **36**(4): 766 – 772 [YUAN Wende, ZHENG Jiangkun, DONG Kui. Spatial and temporal variation in extreme precipitation events in southwestern China during 1962 – 2012 [J]. *Resources Science*, 2014, **36**(4): 766 – 772]
- [22] 杨莲梅. 新疆极端降水的气候变化[J]. 地理学报, 2003, **58**(4): 577 – 583 [YANG Lianmei. Climate change of extreme precipitation in Xinjiang [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, **58**(4): 577 – 583]
- [23] SAJI N H, GOSWAMI B N, VINAYACHANDRAN P N, et al. A dipole mode in the tropical Indian Ocean [J]. *Nature*, 1999, **401**(6751): 360
- [24] 黄嘉佑, 李庆祥. 气象数据统计分析方法[M]. 北京: 气象出版社, 2015: 54 – 60 [HUANG Jiayou, LI Qingxiang. *Meteorological Data Statistical Analysis Method* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2015: 54 – 60]
- [25] 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: 69 – 72 [WEI Fengying. *Modern Climatic Statistical Diagnosis and Forecasting Technology* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999: 69 – 72]
- [26] 徐宗学, 张楠. 黄河流域近 50 年降水变化趋势分析[J]. 地理研究, 2006, **25**(1): 27 – 34 [XU Zongxue, ZHANG Nan. Long-

- term trend of precipitation in the Yellow River basin during the past 50 years[J]. *Geographical Research*, 2006, **25**(1):27–34]
- [27] 徐华山, 徐宗学, 唐芳芳, 等. 漳卫南运河流域水质时空变化特征及其污染源识别[J]. *环境科学*, 2012, **33**(02):359–369 [XU Huashan, XU Zongxue, TANG Fangfang, et al. Spatiotemporal variation analysis and identification of water pollution sources in the Zhangweinan river basin [J]. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2012, **33**(02):359–369]
- [28] 林厚博, 游庆龙, 焦洋, 等. 基于高分辨率格点观测数据的青藏高原降水时空变化特征[J]. *自然资源学报*, 2015, **30**(02):271–281 [LIN Hongbo, YOU Qinglong, JIAO Yang, et al. Spatial and temporal characteristics of the precipitation over the Tibetan from 1961 to 2010 based on high resolution grid-observation dataset [J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, **30**(02):271–281]
- [29] MURRAY V, MCBEAN G M, BHATT M, et al. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation[J]. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 2012, **18**(6):586–599
- [30] 胡林涓, 彭定志, 张明月, 等. 雅鲁藏布江流域气象要素空间插值方法的比较与改进[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2012, **48**(5):449–452 [HU Linjuan, PENG Dingzhi, ZHANG Mingyue, et al. Spatial Interpolation of Meteorological variables in Yarlung Zongbo river basin [J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2012, **48**(5):449–452]
- [31] 高登义, 邹捍, 王维. 雅鲁藏布江水汽通道对降水的影响[J]. *山地学报*, 1985, **3**(4):51–61 [GAO Dengyi, ZOU Han, WANG Wei. Influence of water vapor pass along the Yarlung Zangbo river on Precipitation [J]. *Mountain Research*, 1985, **3**(4):51–61]
- [32] 杨逸畴, 高登义, 李渤生. 雅鲁藏布江下游河谷水汽通道初探[J]. *中国科学*, 1987, **8**:97–106 [YANG Yichou, GAO Dengyi, LI Bosheng. Study of vapor inflow corridors in valley plain in the downstream of the Yarlung Zangbo river basin [J]. *Scientia Sinica*, 1987, **8**:97–106]
- [33] YUAN Chaoxia, TOZUKA T, MIYASAKA T, et al. Respective influences of IOD and ENSO on the Tibetan snow cover in early winter[J]. *Climate Dynamics*, 2009, **33**(4):509–520
- [34] 张平, 高丽, 毛晓亮. 青藏高原气温与印度洋海温遥相关的初步研究[J]. *高原气象*, 2006, **25**(5):800–806 [ZHANG Ping, GAO Li, MAO Xiaoliang. Primary analyses of teleconnection relationship between the Qinghai-Xizang Plateau air temperature and the Indian Ocean SST [J]. *Plateau Meteorology*, 2009, **33**(4):509–520]

Spatiotemporal Variation of Extreme Precipitation Events in the Yarlung Zangbo River Basin from 1973 to 2016, China

LIU Jiangtao^{1,2}, XU Zongxue^{1,2*}, ZHAO Huan^{1,2}, PENG Dingzhi^{1,2}, ZHANG Rui^{1,2}

(1. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Beijing Key Laboratory of Urban Hydrological Cycle and Sponge City Technology, Beijing 100875, China)

Abstract: Precipitation plays an important role in hydrological and energy cycle. With the global climate changes, extreme precipitation events in the worldwide are increasing frequently. Therefore, it is essential to estimate extreme precipitation events, especially in the Qinghai-Tibet Plateau. The correlation between the spatiotemporal variations of the extreme precipitation and the DMI (Dipole Mode Index) of NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) were analyzed by using the linear regression, Mann-Kendall, and correlation analysis methods, based on the daily precipitation data from 1973 to 2016 at 19 meteorological stations in the Yarlung Zangbo River basin. The results showed that the values of the extreme precipitation indices presented an increasing trend from 1973 to 2016, which was consistent with the trend of the average annual precipitation variation. Specifically, all of the indices including the RD (days of precipitation), PRCPTOT (annual total wet-day precipitation), R95p (very wet days), CWD (consecutive wet days) showed the significant increasing in a confidence level of 95%, while the RD and the CWD extreme precipitation indices experienced abrupt changes around 1995, and 2001; (2) The spatial differences of the extreme precipitation indices were obvious, which showed a decreasing tendency from the west to the east in the Yarlung Zangbo River basin. In recent years, the

heavy precipitation events may be more frequent in the eastern humid areas, which may cause more flood disasters, and the western relative arid areas became relatively humid; (3) The results of the principal component analysis showed that PRCPTOT and CWD explained variances of 94% and 71%, which revealed they can be used to characterize the extreme events; (4) DMI was significantly and positive correlated to the precipitation in the most parts of the Yarlung Zangbo River basin. The correlation coefficients between DMI and PRCPTOT were greater than 0.4, and the correlation coefficients between DMI and CWD were greater than 0.3 in parts of the central areas. There was a negative low value center in the geopotential height difference of 250 hPa and 500 hPa over Yarlung Zangbo River basin, which promoted the occurrence of extreme precipitation events. Studying extreme precipitation events and its influencing factors can provide useful information for flood control and water resources management.

Key words: Yarlung Zangbo River; extreme precipitation; Indian Ocean Dipole; spatiotemporal variation

书讯:

《地质灾害生物治理工程设计规范》发布实施

由中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所牵头起草的团体标准《地质灾害生物治理工程设计规范》(T/CAGHP 050-2018)近期已由中国地质大学出版社出版发行,中国地质灾害防治工程行业协会发布试行。

地质灾害生物治理工程是指采用活的植物,单独用植物或与土木工程和其他工程材料相结合,抑制地质灾害发生、减弱地质灾害活动、减轻地质灾害损失,并对灾前、灾中、灾后生态环境维护、保育、修复、重建和资源开发具有显著作用的生态工程或措施。

《规范》是我国地质灾害防治工程行业和地质环境修复行业首个生物措施的专门规范,其适用于泥石流、滑坡、崩塌、地面塌陷等地质灾害和矿山地质环境修复、土地整治的生物治理工程设计。《规范》包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、基本规定、设计依据、植物生长基础设计、分项治理工程设计、专项治理工程设计、监测设计、养护抚育要求、施工组织设计、质量评定与工程验收等12个章节和16个规范性及资料性附录。

《规范》的发布和实施,对充分利用和发挥生物治理工程措施效能,促进地质灾害土木防治工程和生物治理工程相结合,保护修复地质环境和生态环境,推动我国地质灾害生物治理工程设计、地质环境和生态环境修复行业规范化、系统化、科学化具有重要指导意义。