

# 1960~2023年新疆塔城地区汛期极端降水指数时空变化特征及其对大气环流因子的响应

井立红<sup>1</sup>, 曾春蕾<sup>1\*</sup>, 扎璐<sup>1</sup>, 杨霏<sup>2</sup>, 井立军<sup>3</sup>

<sup>1</sup>新疆塔城地区气象局, 新疆 塔城

<sup>2</sup>新疆气象局科技服务中心, 新疆 乌鲁木齐

<sup>3</sup>沙湾市气象局, 新疆 沙湾

收稿日期: 2025年8月16日; 录用日期: 2025年9月15日; 发布日期: 2025年9月22日

## 摘要

利用近64年(1960~2023年)新疆塔城地区7个气象观测站汛期(5~9月)降水资料, 采用世界气象组织推荐的11个极端降水指数, 分别讨论了其时空变化特征, 探讨了其对大气环流因子的响应, 结果表明: ①近64a塔城地区汛期极端降水指数除CDD和CDW呈不显著减少趋势外, 其余各极端降水指数均呈不显著增多趋势。②7站各极端降水指数变化趋势差异较大, 其中RX1day、R50仅托里以1.16 mm/10a、0.29 d/10a的速率显著增多, R20仅额敏以0.22 d/10a的速率显著增多, CDD仅裕民、乌苏以-0.17 d/10a、-0.20 d/10a的速率显著减少。③三个区域中RX1day、R50盆地和南部不显著增多, 中部不显著减少, RX5day、R95P、PRCPFOT三个区域均不显著增多, R10、R20、R99P盆地及中部不显著增多, 南部不显著减少, SDII盆地不显著增多, 南部及中部不显著减少, CDD盆地及南部不显著减少, 中部不显著增多, CWD中部及南部不显著增多, 盆地不显著减少。④对塔城地区RX5day、SDII、R20、R50、PRCPFOT影响较大的大气环流因子是欧亚纬向环流、西太平洋副高北界位置指数、印度副高面积指数、西太平洋副高面积指数、东太平洋副高面积指数、北美副高面积指数、印缅槽强度指数、北非-大西洋-北美副高面积指数, 当上述大气环流因子出现且指数较大(正值)时, 则有利于塔城地区汛期上述极端降水指数增多, 反之, 则减少。⑤对单站RX1day、RX5day、SDII、R20、R50、CDD、CWD、R95P影响较大的大气环流因子是北美副高面积指数、西太平洋副高面积指数、印度副高面积指数、东太平洋副高面积指数、北非-大西洋-北美副高面积指数、印缅槽强度指数、印度副高北界位置指数、西太平洋副高北界位置指数、西太平洋副高西伸脊点、北非副高脊线位置指数、北非-北大西洋-北美副高脊线位置指数, 当上述大气环流因子出现指数较大(正值)时, 则有利于单站极端降水指数增多, 反之, 则减少。⑥对盆地和南部RX1day、RX5day、SDII、R50、R95P、R99P影响较大的大气环流因子是印缅槽强度指数、北非-大西洋-北美副高面积指数、印度副高面积指数、西太平洋副高面积指数、东太平洋副高面积指数、北美副高面积指数、印度副高北界位置指数, 当上述大气环流因子出现指数较大(正值)时, 则有利于盆地或南部汛期上述极端降水指数增多, 反之, 则减少。

## 关键词

汛期极端降水指数, 时空变化特征, 大气环流因子, 响应

\*通讯作者。

# Temporal and Spatial Variation Characteristics and Its Response to Atmospheric Circulation Factors of Extreme Precipitation Index in Flood Season in Tacheng Area of Xinjiang from 1960 to 2023

Lihong Jing<sup>1</sup>, Chunlei Zeng<sup>1\*</sup>, Lu Zha<sup>1</sup>, Xian Yang<sup>2</sup>, Lijun Jing<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tacheng Meteorological Bureau of Xinjiang, Tacheng Xinjiang

<sup>2</sup>Science and Technology Service Center, Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi Xinjiang

<sup>3</sup>Shawan Meteorological Bureau, Shawan Xinjiang

Received: Aug. 16<sup>th</sup>, 2025; accepted: Sep. 15<sup>th</sup>, 2025; published: Sep. 22<sup>nd</sup>, 2025

## Abstract

Based on the precipitation data of seven meteorological observation stations in flood season (May to September) in recent 64 years (1960~2023), the temporal and spatial variation characteristics of 11 extreme precipitation indexes recommended by the World Meteorological Organization were discussed, and the corresponding atmospheric circulation factors were analyzed. The results showed that ① the extreme precipitation indexes in flood season in Tacheng area in recent 64 years showed no significant decreasing trend, except CDD and CDW. ② The trends in extreme precipitation indices vary considerably across the seven stations; RX1day and R50 increase significantly only in the Tuoli at a rate of 1.16 mm/10a, 0.29 d/10a; R20 increases significantly only in the Emin at a rate of 0.22 d/10a; CDD decreases significantly only in the Yumin and Wusu at rates -0.17 d/10a, -0.20 d/10a respectively. ③ Among the three regions RX1day and R50 show non-significant increases in the basin and southern region, and non-significant decreases in the central region. RX5day, R95P, and PRCPOT show non-significant increases in all three regions. R10, R20, and R99P show non-significant increases in the basin and central region, and non-significant decreases in the southern region. SDII shows a non-significant increase in the basin and non-significant decreases in the southern and central regions. CDD shows non-significant decreases in the basin and southern region, and a non-significant increase in the central region. CWD shows non-significant increases in the central and southern regions, and a non-significant decrease in the basin. ④ The atmospheric circulation factors that have great influence on RX5day, SDII, R20, R50 and PRCPFOT in Tacheng area are Eurasian zonal circulation, northern boundary position index of western Pacific subtropical high, Indian subtropical high area index, western Pacific subtropical high area index, eastern Pacific subtropical high area index, North America subtropical high area index, Indo-Myanmar trough intensity index and North Africa-Atlantic-North America subtropical high area index. When the above atmospheric circulation factors appear and the index is large. ⑤ The atmospheric circulation factors that have great influence on RXDAY, RXDAY, SDII, R20, R50, CDD, CWD and R95P of single station are North American subtropical high area index, western Pacific subtropical high area index, Indian subtropical high area index, eastern Pacific subtropical high area index, North Africa-Atlantic-North America subtropical high area index, Indo-Myanmar trough intensity index, northern boundary position index of Indian subtropical high and western Pacific subtropical high. The western extension ridge point of the western Pacific subtropical high, the position index of the

north African subtropical high ridge line and the position index of the north African-North Atlantic-North American subtropical high ridge line, when the above atmospheric circulation factors appear and the index is large (positive), are beneficial to the increase of the single-station extreme precipitation index, and vice versa. ⑥ The atmospheric circulation factors that have a considerable influence on RX1day, RX5day, SDII, R50, R95P, and R99P in the basin and southern region include the Indian-Burmese Trough Intensity Index, North Africa-Atlantic-North American Subtropical High Area Index, Indian Subtropical High Area Index, Western Pacific Subtropical High Area Index, Eastern Pacific Subtropical High Area Index, North American Subtropical High Area Index, and the Northern Boundary Position Index of the Indian Subtropical High. When these atmospheric circulation factors exhibit higher index values (positive anomalies), they are conducive to an increase in the basin or southern region during the flood season. Conversely, lower index values (negative anomalies) are associated with a decrease in these indices.

## Keywords

Extreme Precipitation Index in Flood Season, Temporal and Spatial Variation Characteristics, Atmospheric Circulation Factor, Respond

Copyright © 2025 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

IPCC 第六次评估报告(AR6)指出未来全球气温每升高 1℃, 极端降水事件强度将增加 7% (高信度), 进而引起极端降水事件频率与强度进一步增加[1]。在气候变暖的背景下, 全球大部分地区降水呈现极端化趋势, 各种极端天气及灾害事件不断增加, 自 20 世纪中叶以来中高纬度陆地区域极端降水事件明显增加, 特别是对气候变化敏感和生态环境脆弱的干旱、半干旱地区, 极端强降水引发的洪涝、山体滑坡、泥石流等次生地质灾害, 破坏当地赖以生存的生态环境, 给区域生态环境和人类生产生活带来不利影响[2]-[5]。

近年来, 国内外众多学者开展了对极端降水事件变化的研究, 高涛等[6]研究发现, 长江中下游、东南地区和西部的部分区域极端降水有增加趋势, 而华北、东北和西南的部分地区则有减少趋势。孙建奇等[7]指出, 中国区域冬季气温每增加 1℃, 降水和极端降水的增加百分率分别达 9.7%和 22.6%, 增幅明显高于全球平均水平, 说明中国区域冬季降水和极端降水对变暖的响应更加敏感。王苗等[8]研究发现, 近 50a 中国东部地区极端降水变化特征南北差异显著, 北方尤其是华北东部, 极端降水量及其所占降水量比例均有下降趋势, 而南方尤其是长江中下游地区则呈增加趋势。曹祥会等[9]对河北省主要极端气候指数的变化特征研究发现, 河北省具有干暖化倾向。杜亮亮等[10]利用河北邯郸地区 16 个观测站日降水与最高、最低气温资料, 分析了邯郸地区极端降水指数的时空变化特征, 探讨了极端降水对年降水和气温的响应关系。施雅凤[11]等人利用西北地区气象资料研究了西北地区气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景; 史玉光、袁玉江、薛燕、毛炜峰、吴秀兰等[12]-[17]对近 40~50a 新疆降水的研究指出: 新疆降水变化的总趋势是增湿明显, 平均增幅为 0.67 mm/10a, 后 10a 与前 30a 相比降水增加。李佳秀等[18]分析表明, 除持续干燥指数外, 北疆大部分站点极端降水指数变化率大于南疆。努尔比亚·吐尼牙孜等[19]利用塔里木盆地 44 个气象观测站 1960~2021 年逐日降水量资料, 选取世界气象组织(WMO)推荐的 10 个极端降水指数, 分析表明极端降水指数存在明显的年际波动和年代振荡, 20 世纪 80~90 年代各极端降

水指数均经历了“少-多”的变化(持续干期相反)。

塔城地区位于新疆西北部,是新疆乃至全国天气的上游,地形复杂多样,地势南高北低,是生态环境脆弱带、气候变化脆弱区和敏感地带。自然降水是农牧业灌溉的主要水源,但降水量的时空分布极不均匀,已成为制约当地农牧业生产和发展的瓶颈。近年来众多气象工作者对这一区域诸如冷季降水[20]等基本气象要素及灾害性天气的气候变化趋势做了一些研究,但对辖区各站点及区域汛期极端降水指数的时空变化特征及其对大气环流因子的响应的研究仍处于空白阶段。本文利用近 64a(1960~2023 年)塔城地区汛期(5~9 月)逐日、月、年降水量资料,选取世界气象组织气候学委员会公布的 11 个极端降水指数及相关大气环流因子,运用数理统计方法,分析了其时空变化特征,探讨了极端降水指数对大气环流因子的响应。以期减缓和应对极端气候事件变化规律提供理论依据和技术支撑,对区域生态系统可持续发展具有重要的现实意义。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 资料

使用新疆气象局信息中心提供的资料记录完整、连续、空间分布均匀的塔城地区 7 个国家级基准、基本气象观测站(包括:塔城、额敏、裕民、托里、和丰、乌苏、沙湾)近 64a(1960~2023 年)汛期(5~9 月)逐日、月、年降水量实况资料(未经查补延长处理)。为研究方便,依据各站气候特点,将塔城 7 站划分为 3 个研究区域,即:塔城盆地(包括:塔城、额敏、裕民、托里)、中部地区(包括:和布克赛尔,简称“和丰”)、南部地区(包括:乌苏、沙湾);将 7 站平均作为区域平均,气候平均值时段为 1960~2023 年;使用国家气候中心下发的 74 项环流特征量指数,筛选出与本地区相关性较好的大气环流因子。

### 2.2. 方法

**Table 1.** Definition of extreme precipitation index

**表 1.** 极端降水指数定义

类型	代码	名称	定义	单位
极值指数	RX1day	最大 1 d 降水量	每月最大 1 d 降水量	mm
	RX5day	最大 5 d 降水量	每月最大 5 d 降水量	mm
绝对指数	SDII	降水强度	日降水量 $R \geq 1.0$ mm 的累计降水量与降水日数的比值	$\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$
	R10	中雨日数	日降水量 $R \geq 10.0$ mm 的日数	d
	R20	大雨日数	日降水量 $R \geq 20.0$ mm 的日数	d
	R50	暴雨日数	日降水量 $R \geq 50.0$ mm 的日数	d
	CDD	连续干旱日数	日降水量 $R < 1.0$ mm 的最大连续日数	d
	CWD	连续湿日	日降水量 $R \geq 1.0$ mm 的最大连续日数	d
相对指数	R95P	强降水量	日降水量大于基准期内第 95%分位值的降水量	mm
	R99P	极强降水量	日降水量大于基准期内第 99%分位值的降水量	mm
	PRCPFOT	汛期降水量	日降水量之和	mm

选取世界气象组织气候学委员会推荐的 11 个极端降水指数(含极值指数、绝对指数、相对指数)(表 1),运用最小二乘法原理,采用一元线性回归方程对近 64a 塔城地区 7 站汛期(5~9 月)极端降水指数时间序列进行线性拟合,以此来描述汛期极端降水指数的变化,即令  $y(t) = a + bt$ ,其中  $t$  为时间序列,  $b \cdot 10a$

定义为汛期极端降水指数的变化速率,  $b > 0$  表示汛期极端降水指数呈增多趋势,  $b < 0$  表示呈减少趋势, 通过对一元线性回归方程的线性拟合, 得出在全球气候变暖的大背景下, 近 64a 塔城地区、7 站及三个区域汛期各极端降水指数的变化趋势及变化速率, 采用 F 检验方法对其线性倾向率进行显著性检验, 统一以显著性水平达到 0.05 作为通过检验的标准; 使用相关分析方法, 探讨了各极端降水指数与大气环流因子的响应关系, 采用 F 检验方法对相关系数进行显著性检验, 统一以显著性水平达到 0.05 作为通过检验的标准。

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 汛期极端降水指数的时空变化特征

**Table 2.** Linear tendency rate of extreme index in flood season in Tacheng area

**表 2.** 塔城地区汛期极端降水指数线性倾向率

指数	塔城地区	7 站变化范围	变化趋势		区域变化范围	变化趋势	
			上升	下降		上升	下降
RX1day	0.64 <sup>-</sup>	-0.87~1.16 mm/10a	4(1)	3	-0.47~0.71 mm/10a	2	1
RX5day	0.96 <sup>-</sup>	0.72~1.27 mm·d <sup>-1</sup> /10a	4	3	0.96~1.27 mm·d <sup>-1</sup> /10a	3	0
SDII	0.19 <sup>-</sup>	-0.22~0.68/10a	4	3	-0.16~0.44/10a	1	2
R10	0.26 <sup>-</sup>	-0.13~0.16 d/10a	5	2	-0.17~0.37/10a	2	1
R20	0.35 <sup>-</sup>	-0.03~0.22 d/10a	6(1)	1	-0.02~0.67/10a	2	1
R50	0.16 <sup>-</sup>	-0.03~0.16 d/10a	4(1)	3	-0.03~0.15/10a	2	1
CDD	-0.50 <sup>-</sup>	-0.20~0.09 d/10a	3	4(2)	-0.15~0.09/10a	1	2
CDW	-0.13 <sup>-</sup>	-0.20~0.09 d/10a	5	2	-0.13~0.11/10a	2	1
R95P	1.29 <sup>-</sup>	-0.65~3.83 mm/10a	6	1	0.03~1.13/10a	3	0
R99P	0.92 <sup>-</sup>	-1.82~3.39 mm/10a	5	2	-1.19~2.00/10a	2	1
PRCPFOT	0.79 <sup>-</sup>	-0.29~1.77 mm/10a	5	2	0.56~1.65/10a	3	0

注: \*为通过 0.05 的显著性水平检验, <sup>-</sup>为未通过显著性水平检验; 括号内为通过 0.05 的显著性水平检验的站点数或区域数, 无括号为未通过显著性水平检验的站点数或区域数。

由表 2 可知, 近 64a 塔城地区汛期极端降水指数除 CDD 和 CDW 呈不显著减少趋势外(线性倾向率分别为 -0.50 d/10a、-0.13 d/10a, 未通过显著性水平检验, 下同), 其余极端降水指数均呈不显著增多趋势(未通过显著性水平检验, 下同), 其中 RX1day、RX5day、SDII、R10、R20、R50、R95P、R99P、PRCPFOT 分别以 0.64 mm/10a、0.96 mm/10a、0.19 mm·d<sup>-1</sup>/10a、0.26 d/10a、0.35 d/10a、0.16 d/10a、1.29 mm/10a、0.92 mm/10a、0.79 mm/10a 的速率不显著增多。

7 站 RX1day 线性倾向率在 -0.87~1.16 mm/10a 之间, 仅托里以 1.16 mm/10a 的速率显著增多(通过了 0.05 的显著性水平检验), 额敏、托里、乌苏、沙湾分别以 0.50 mm/10a、1.16 mm/10a、0.58 mm/10a、0.16 mm/10a 的速率不显著增多, 塔城、裕民、和丰分别以 -0.86 mm/10a、-0.05 mm/10a、-0.47 mm/10a 的速率不显著减少; RX5day 线性倾向率在 -0.71~1.6 mm/10a 之间, 其中额敏、托里、和丰、沙湾分别以 0.85 mm/10a、1.14 mm/10a、1.27 mm/10a、0.65 mm/10a 的速率不显著增多, 塔城、裕民、乌苏分别以 -0.72 mm/10a、-0.31 mm/10a、-0.21 mm/10a 的速率不显著减少; SDII 线性倾向率在 -0.22~0.68 mm·d<sup>-1</sup>/10a 之间, 其中塔城、额敏、裕民、托里分别以 0.25 mm·d<sup>-1</sup>/10a、0.68 mm·d<sup>-1</sup>/10a、0.19 mm·d<sup>-1</sup>/10a、0.63 mm·d<sup>-1</sup>/10a 的速率不显著增多, 和丰、乌苏、沙湾分别以 -0.16 mm·d<sup>-1</sup>/10a、-0.22 mm·d<sup>-1</sup>/10a、-0.07 mm·d<sup>-1</sup>/10a 的

速率不显著减少; R10 线性倾向率在 $-0.13\sim 0.16$  d/10a 之间, 其中塔城、额敏、裕民、托里、和丰分别以 $0.16$  d/10a、 $0.05$  d/10a、 $0.13$  d/10a、 $0.04$  d/10a、 $0.06$  d/10a 的速率不显著增多, 乌苏、沙湾分别以 $-0.13$  d/10a、 $-0.14$  d/10a 的速率不显著减少; R20 线性倾向率在 $-0.03\sim 0.22$  d/10a 之间, 其中仅额敏以 $0.22$  d/10a 的速率显著增多(通过了 $0.05$  的显著性水平检验), 塔城、裕民、托里、和丰、乌苏分别以 $0.05$  d/10a、 $0.01$  d/10a、 $0.12$  d/10a、 $0.08$  d/10a、 $0.04$  d/10a 的速率不显著增多, 沙湾以 $-0.03$  d/10a 的速率不显著减少; R50 线性倾向率在 $-0.03\sim 0.16$  d/10a 之间, 其中仅托里以 $0.29$  d/10a 的速率显著增多(通过了 $0.05$  的显著性水平检验), 额敏、乌苏、沙湾分别以 $0.04$  d/10a、 $0.01$  d/10a、 $0.02$  d/10a 的速率不显著增多, 塔城、裕民、和丰分别以 $-0.03$  d/10a、 $-0.02$  d/10a、 $-0.03$  d/10a 的速率不显著减少; CDD 线性倾向率在 $-0.20\sim 0.09$  d/10a 之间, 其中仅裕民、乌苏以 $-0.17$  d/10a、 $-0.20$  d/10a 的速率显著减少(通过了 $0.05$  的显著性水平检验), 塔城、和丰、沙湾分别以 $0.01$  d/10a、 $0.09$  d/10a、 $0.07$  d/10a 的速率不显著增多, 额敏、托里分别以 $-0.08$  d/10a、 $-0.05$  d/10a 的速率不显著减少; CWD 线性倾向率在 $-0.20\sim 0.09$  d/10a 之间, 其中塔城、托里、和丰、乌苏、沙湾分别以 $0.01$  d/10a、 $0.01$  d/10a、 $0.01$  d/10a、 $0.09$  d/10a、 $0.01$  d/10a 的速率不显著增多, 额敏、裕民分别以 $-0.20$  d/10a、 $-0.14$  d/10a 的速率不显著减少; R95P 线性倾向率在 $-0.65\sim 3.83$  mm/10a 之间, 仅沙湾以 $-0.65$  mm/10a 的速率不显著减少, 塔城、额敏、裕民、托里、和丰、乌苏分别以 $0.75$  mm/10a、 $3.83$  mm/10a、 $0.56$  mm/10a、 $3.05$  mm/10a、 $0.74$  mm/10a、 $0.76$  mm/10a 的速率不显著增多; R99P 线性倾向率在 $-1.8\sim 3.39$  mm/10a 之间, 其中塔城、额敏、裕民、托里、和丰分别以 $0.81$  mm/10a、 $3.30$  mm/10a、 $0.49$  mm/10a、 $3.39$  mm/10a、 $0.85$  mm/10a 的速率不显著增多, 乌苏、沙湾以 $-1.82$  mm/10a、 $-0.55$  mm/10a 的速率不显著减少; PRCPFOT 线性倾向率在 $-0.29\sim 1.77$  mm/10a 之间, 其中额敏、托里、和丰、乌苏、沙湾分别以 $0.95$  mm/10a、 $1.77$  mm/10a、 $1.65$  mm/10a、 $1.41$  mm/10a、 $0.25$  mm/10a、 $0.56$  mm/10a 的速率不显著增多, 塔城、裕民以 $-0.29$  mm/10a、 $-0.18$  mm/10a 的速率不显著减少。

综上所述, 塔城 SDII、R10、R20、CDD、CWD、R95P、R99P 不显著增多, RX1day、RX5day、R50、PRCPFOT 不显著减少; 额敏 RX1day、RX5day、SDII、R10、R50、R95P、R99P、PRCPFOT 不显著增多, CDD、CWD 不显著减少; 裕民 SDII、R10、R20、R95P、R99P、PRCPFOT 不显著增多, RX1day、RX5day、R50、CWD 不显著减少; 托里 RX1day、RX5day、SDII、R10、R20、R95P、R99P、PRCPFOT 不显著增多, R50、CDD、CWD 不显著减少; 和丰 RX5day、R10、R20、CDD、CWD、R95P、R99P、PRCPFOT 不显著增多, RX1day、SDII、R50、不显著减少; 乌苏 RX1day、R20、R50、CWD、R95P、PRCPFOT 不显著增多, RX5day、SDII、R10、R99P、不显著减少; 沙湾 RX1day、RX5day、R50、CDD、CWD、PRCPFOT 不显著增多, SDII、R10、R20、R95P、R99P 不显著减少。

分析表明, 7 站各极端降水指数时空变化趋势差异较大, 仅 CDD 大部分站点呈不显著减少趋势, 其余各极端降水指数大部分站点均呈不显著增多趋势, 其中 RX1day、R50 仅托里以 $1.16$  mm/10a、 $0.29$  d/10a 的速率显著增多(通过了 $0.05$  的显著性水平检验, 下同), R20 仅额敏以 $0.22$  d/10a 的速率显著增多, CDD 仅裕民、乌苏以 $-0.17$  d/10a、 $-0.20$  d/10a 的速率显著减少。

三个区域各极端降水指数时空变化趋势差异较大, 依据其线性倾向率的变化可将其分为 6 种类型:

- ① RX1day、R50 盆地和南部不显著增多, 中部不显著减少;
- ② RX5day、R95P、PRCPFOT 三个区域不显著增多;
- ③ R10、R20、R99P 盆地及中部不显著增多, 南部不显著减少趋势;
- ④ SDII 盆地不显著增多, 南部及中部不显著减少;
- ⑤ CDD 盆地及南部不显著减少, 中部不显著增多;
- ⑥ CWD 中部及南部不显著增多, 盆地不显著减少。

### 3.2. 汛期极端降水指数对大气环流因子的响应

毛炜峰[21]对大气环流指数与新疆北部夏季降水两者之间的关系进行了探讨, 本文分别计算了塔城

地区、7 站及三个区域汛期极端降水指数与同期 88 项大气环流特征量的相关系数，从中筛选出相关性较好的因子，以此来探讨汛期极端降水指数对大气环流因子的响应。筛选原则为：① 某环流因子与塔城地区或塔城 7 站中任意 3 站汛期某极端降水指数相关系数通过 0.05 或 0.01 的显著性水平检验，则认为该环流因子对塔城地区汛期某极端降水指数影响较大；② 某环流因子与塔城 7 站中任意 1 站或 2 站汛期极端降水指数相关系数通过 0.05 或 0.01 的显著性水平检验，则认为该环流因子对单站汛期极端降水指数影响较大；③ 某环流因子与塔城地区三个区域中任意一个区域汛期某极端降水指数相关系数通过 0.05 或 0.01 的显著性水平检验，则认为该环流因子对该区域汛期某极端降水指数影响较大。

### 3.2.1. 塔城地区汛期极端降水指数对大气环流因子的响应

**Table 3.** Correlation between extreme precipitation index and atmospheric circulation factors in flood season in Tacheng area  
**表 3.** 塔城地区汛期极端降水指数与大气环流因子的相关关系

	RX1day	RX5day	SDII	R10	R20	R50	CDD	CWD	R95P	R99P	PRCPFOT
欧亚纬向环流	0.23 <sup>-</sup>	0.31 <sup>*</sup>	0.16 <sup>-</sup>	0.09 <sup>-</sup>	0.18 <sup>-</sup>	0.20 <sup>-</sup>	0.01 <sup>-</sup>	-0.05 <sup>-</sup>	0.15 <sup>-</sup>	0.13 <sup>-</sup>	0.13 <sup>-</sup>
北非 - 大西洋 - 北美副高面积指数	0.15 <sup>-</sup>	0.15 <sup>-</sup>	0.22 <sup>-</sup>	0.10 <sup>-</sup>	0.20 <sup>-</sup>	0.27 <sup>*</sup>	-0.01 <sup>-</sup>	-0.07 <sup>-</sup>	0.16 <sup>-</sup>	0.14 <sup>-</sup>	0.11 <sup>-</sup>
印度副高面积指数	0.08 <sup>-</sup>	0.07 <sup>-</sup>	0.26 <sup>*</sup>	0.05 <sup>-</sup>	0.23 <sup>-</sup>	0.21 <sup>-</sup>	0.11 <sup>-</sup>	0.02 <sup>-</sup>	0.12 <sup>-</sup>	0.12 <sup>-</sup>	0.09 <sup>-</sup>
西太平洋副高面积指数	0.19 <sup>-</sup>	0.19 <sup>-</sup>	0.31 <sup>*</sup>	0.14 <sup>-</sup>	0.30 <sup>*</sup>	0.26 <sup>*</sup>	0.03 <sup>-</sup>	-0.07 <sup>-</sup>	0.22 <sup>-</sup>	0.21 <sup>-</sup>	0.17 <sup>-</sup>
东太平洋副高面积指数	0.15 <sup>-</sup>	0.17 <sup>-</sup>	0.23 <sup>-</sup>	0.09 <sup>-</sup>	0.28 <sup>*</sup>	0.19 <sup>-</sup>	0.02 <sup>-</sup>	-0.05 <sup>-</sup>	0.17 <sup>-</sup>	0.15 <sup>-</sup>	0.12 <sup>-</sup>
北美副高面积指数	0.16 <sup>-</sup>	0.18 <sup>-</sup>	0.26 <sup>*</sup>	0.12 <sup>-</sup>	0.25 <sup>*</sup>	0.27 <sup>*</sup>	0.04 <sup>-</sup>	-0.05 <sup>-</sup>	0.19 <sup>-</sup>	0.18 <sup>-</sup>	0.14 <sup>-</sup>
西太平洋副高北界位置指数	0.24 <sup>-</sup>	0.25 <sup>*</sup>	0.13 <sup>-</sup>	-0.21 <sup>-</sup>	0.27 <sup>*</sup>	0.21 <sup>-</sup>	0.06 <sup>-</sup>	0.09 <sup>-</sup>	0.24 <sup>-</sup>	0.22 <sup>-</sup>	0.24 <sup>*</sup>
印缅槽强度指数	0.18 <sup>-</sup>	0.17 <sup>-</sup>	0.25 <sup>*</sup>	0.13 <sup>-</sup>	0.23 <sup>-</sup>	0.27 <sup>*</sup>	0.05 <sup>-</sup>	-0.11 <sup>-</sup>	0.18 <sup>-</sup>	0.17 <sup>-</sup>	0.13 <sup>-</sup>

注：<sup>\*</sup>为通过 0.05 的显著性水平检验，<sup>-</sup>为未通过显著性水平检验。

由表 3 可知，对塔城地区 RX5day 影响较大的大气环流因子是欧亚纬向环流(相关系数 0.31, 通过 0.05 的显著性水平检验，下同)、西太平洋副高北界位置指数(相关系数 0.25)；对 SDII 影响较大的大气环流因子是印度副高面积指数、西太平洋副高面积指数、北美副高面积指数、印缅槽强度指数，相关系数分别为 0.26、0.31、0.26、0.25；对 R20 影响较大的大气环流因子是西太平洋副高面积指数、东太平洋副高面积指数、北美副高面积指数、西太平洋副高北界位置指数，相关系数分别为 0.30、0.28、0.25、0.27；对 R50 影响较大的大气环流因子是西太平洋副高面积指数、北美副高面积指数、北非 - 大西洋 - 北美副高面积指数、印缅槽强度指数，相关系数分别为 0.26、0.27、0.27、0.27；对汛期降水量影响较大的大气环流因子是西太平洋副高北界位置指数(相关系数 0.24)。当上述大气环流因子出现且指数较大(正值)时，则有利于塔城地区汛期 RX5day、SDII、R20、R50、汛期降水量增多，反之，则减少。

### 3.2.2. 塔城 7 站汛期极端降水指数对大气环流因子的响应

由表 4 可知，对单站 RX1day 影响较大的大气环流因子是欧亚纬向环流(乌苏、沙湾，相关系数 0.31、0.27 分别通过了 0.01、0.05 的显著性水平检验)、亚洲纬向环流(沙湾，相关系数 0.26，通过 0.05 的显著性水平检验，下同)、北大西洋 - 欧洲环流 W 型(额敏，相关系数 0.29)；对 RX5day 影响较大的大气环流因子是欧亚纬向环流(托里、沙湾，相关系数 0.26、0.32)，亚洲纬向环流(托里、沙湾，相关系数均为 0.27)，亚洲经向环流(裕民，相关系数 -0.28)，北大西洋 - 欧洲环流 C 型(和丰，相关系数 0.25)；对 SDII 影响较大的大气环流因子是北大西洋 - 欧洲环流 W 型(额敏，相关系数 0.32)，北大西洋 - 欧洲环流 C 型(额敏、

裕民, 相关系数-0.31); 对 CWD 影响较大的大气环流因子是亚洲纬向环流(额敏、裕民, 相关系数-0.33、-0.27, 通过 0.01 或 0.05 的显著性水平检验)。当上述大气环流因子出现且指数较大(正值)时, 则有利于单站汛期 RX1day、RX5day、SDII、CWD 增多, 反之, 则减少。

**Table 4.** Correlation between Extreme Precipitation Index and Atmospheric Circulation Factors at Tacheng 7 Station in Flood Season (1)

**表 4.** 塔城 7 站汛期极端降水指数与大气环流因子的相关关系(1)

		欧亚纬向环流	亚洲纬向环流	亚洲经向环流	北大西洋 - 欧洲环流 W 型	北大西洋 - 欧洲环流 C 型
RX1day	范围	0.06~0.32	0.09~0.26	-0.24~-0.01	-0.04~0.29	-0.19~0.20
	正/负相关	7(2)/0	7(1)/0	0/7	5(1)/2	4/3
RX5day	范围	0.02~0.26	-0.03~0.27	-0.28~0.02	-0.08~0.20	-0.04~0.25
	正/负相关	7(2)/0	6(2)/1	1/6(1)	4/3	6(1)/1
SDII	范围	-0.06~0.23	-0.06~0.22	-0.21~0.14	-0.02~0.32	--0.31~0.15
	正/负相关	6/1	5/2	4/3	6(1)/1	2/5(2)
R10	范围	-0.09~0.20	-0.12~0.15	-0.23~0.08	-0.11~0.10	-0.07~0.13
	正/负相关	5/2	5/2	3/4	3/4	5/2
R20	范围	-0.06~0.23	0.01~0.21	-0.14~-0.04	-0.01~0.09	-0.06~0.15
	正/负相关	6/1	7/0	0/7	6/1	3/4
R50	7 站范围	0.02~0.19	-0.04~0.12	-0.22~0.03	-0.10~0.15	-0.06~0.19
	正/负相关	7/0	6/1	1/6	5/2	4/3
CDD	范围	-0.06~0.15	0.02~0.17	-0.15~0.04	-0.14~0.17	-0.04~0.17
	正/负相关	6/1	7/0	2/5	3/4	3/4
CWD	范围	-0.17~0.09	-0.24~0.09	-0.33~0.01	-0.11~-0.02	0.01~0.24
	正/负相关	3/4	2/5	2/5(3)	0/7	7/0
R95P	范围	-0.03~0.24	-0.07~0.22	-0.23~0.02	-0.08~0.15	-0.08~0.15
	正/负相关	5/2	5/2	2/5	2/5	5/2
R99P	范围	-0.01~0.24	-0.06~0.21	-0.23~0.04	-0.04~0.14	-0.06~0.16
	正/负相关	6/1	5/2	2/5	3/4	5/2
PRCPFOT	范围	-0.03~0.21	-0.03~0.20	-0.23~0.02	-0.07~0.10	0.02~0.17
	正/负相关	6/1	6/1	2/5	1/6	7/0

注: 括号内为通过 0.05 或 0.01 的显著性水平检验的站点数, 无括号均为未通过显著性水平检验的站点数。

**Table 5.** Correlation between Extreme Precipitation Index and Atmospheric Circulation Factors at Tacheng 7 Station in Flood Season (2)

**表 5.** 塔城 7 站汛期极端降水指数与大气环流因子的相关关系(2)

		北非-大西洋-北美副高面积指数	印度副高面积指数	西太平洋副高面积指数	东太平洋副高面积指数	北美副高面积指数	北非副高脊线位置指数	北非-北大西洋-北美副高脊线位置指数	印度副高北界位置指数	西太平洋副高北界位置指数	西太平洋副高西伸脊点指数	印槽强度指数
RX1day	范围	-0.07~0.28	0.03~-0.22	-0.02~0.27	-0.02~0.26	-0.03~0.25	-0.25~0.07	-0.34~-0.10	-0.06~-0.23	0.07~-0.16	-0.25~0.11	-0.08~-0.29
	正/负	5(1)/2	7/0	6(2)/1	6(1)/1	6(1)/1	4/3(1)	1/6(1)	5/2	7/0	5/2(1)	6/1(1)
RX5day	范围	-0.02~0.23	0.01~-0.19	0.04~0.26	0.04~-0.26	0.03~0.26	-0.17~0.06	-0.21~0.11	-0.01~0.25	0.11~-0.25	-0.12~0.10	-0.05~-0.27
	正/负	6/1	7/0	7(2)/0	7(1)/0	7(1)/0	3/4	2/5	6(1)/1	7(1)/0	3/4	6(1)/1

续表

SDII	范围	-0.05-0.32	0.09-0.24	-0.01-0.35	0.02-0.29	-0.08-0.34	-0.15-0.15	-0.15-0.17	-0.03-0.32	-0.15-0.21	-0.19-0.13	-0.08--0.33
	正/负	4(2)/3	7/0	6(3)/1	7(2)/0	5(3)/2	2/5	5/2	6(1)/1	5/2	2/5	5(4)/2
R10	范围	-0.07-0.22	-0.05-0.10	-0.07-0.21	-0.08-0.16	-0.08-0.24	-0.18-0.10	-0.19-0.11	-0.04-0.15	-0.04-0.31	-0.14-0.15	-0.02--0.26
	正/负	5/2	5/2	6/1	6/1	6/1	2/5	6/1	5/2	6(1)/1	3/4	5(1)/2
R20	范围	-0.04-0.34	-0.03--0.33	0.04-0.42	0.08--0.38	-0.02-0.39	-0.15-0.19	-0.17-0.10	-0.02-0.40	0.05--0.29	-0.17-0.14	0.01--0.33
	正/负	6(1)/1	6(1)/1	7(1)/0	7(1)/0	6(1)/1	3/4	4/3	6(1)/1	7(1)/0	2/5	7/0
R50	范围	-0.08-0.32	0.09--0.23	-0.03--0.26	-0.05-0.21	-0.03-0.26	-0.20-0.12	-0.15-0.23	-0.06-0.25	0.02--0.19	-0.20-0.09	-0.07--0.27
	正/负	5(1)/2	7/0	6(1)/1	5/2	6(2)/1	2/5	2/5	5(1)/2	7/0	4/3	6(2)/1
CDD	范围	-0.17-0.12	-0.10-0.24	-0.03-0.19	-0.07--0.19	-0.12-0.16	-0.12-0.12	-0.16-0.17	-0.06-0.25	-0.17-0.20	-0.22-0.20	-0.14--0.18
	正/负	3/4	4(1)/3	3/4	4/3	4/3	5/2	4/3	4(1)/3	6/1	4/3	3/4
CWD	范围	-0.23-0.15	-0.11-0.20	-0.15--0.13	-0.15-0.16	-0.32-0.09	-0.26-0.24	-0.15-0.01	-0.01-0.24	0.11--0.25	-0.12-0.07	-0.04--0.30
	正/负	4/3	5/2	5/2	5/2	5/2(1)	5/2(1)	2/5	6/1	7/0	3/4	6(1)/1
R95P	范围	-0.02-0.27	0.02-0.19	0.04-0.30	0.02-0.22	-0.01-0.28	-0.21-0.14	-0.15-0.15	-0.01-0.24	0.11--0.25	-0.12-0.08	-0.04--0.30
	正/负	6(1)/1	7/0	7(1)/0	7/0	6(1)/1	2/5	2/5	6/1	7/0	3/4	6(1)/1
R99P	范围	-0.05-0.25	0.03-0.18	0.03-0.29	-0.01-0.20	-0.03-0.27	-0.20-0.14	-0.17-0.14	-0.01-0.24	0.01--0.22	-0.11-0.07	-0.04--0.29
	正/负	5(1)/2	7/0	7(1)/0	6/1	5(1)/2	5/2	1/6	6/1	7/0	2/5	6(1)/1
PRCPFOT	范围	0.03-0.13	-0.01-0.12	0.08-0.18	0.06-0.13	0.03--0.17	-0.18-0.08	-0.12-0.06	-0.02-0.15	0.16--0.23	-0.11-0.06	0.04--0.19
	正/负	7/0	6/1	7/0	7/0	7/0	2/5	3/4	6/1	7/0	3/4	7/0

注：括号内为通过 0.05 或 0.01 的显著性水平检验的站点数，无括号均为未通过显著性水平检验的站点数。

由表 5 可知，对单站 RX1day 影响较大的大气环流因子是北美副高面积指数(额敏，相关系数 0.25，通过 0.05 的显著性水平检验，下同)、印缅槽强度指数(额敏，相关系数 0.29)、北非副高脊线位置指数(裕民，相关系数-0.25)、北非-北大西洋-北美副高脊线位置指数(裕民，相关系数-0.34，通过 0.01 的显著性水平检验)、西太平洋副高西伸脊点指数(裕民，相关系数-0.25；乌苏，相关系数 0.25)、北非-北大西洋-北美副高面积指数(托里，相关系数 0.28，通过 0.01 的显著性水平检验)、西太平洋副高面积指数(托里，相关系数 0.27)，东太平洋副高面积指数(托里，相关系数 0.26)；对 RX5day 影响较大的大气环流因子是西太平洋副高面积指数(额敏、乌苏，相关系数 0.26)、北美副高面积指数(额敏，相关系数 0.26)、印缅槽强度指数(额敏，相关系数 0.27)、印度副高北界位置指数(额敏，相关系数 0.25)、东太平洋副高面积指数(乌苏，相关系数 0.26)、西太平洋副高北界位置指数(沙湾，相关系数 0.25)；对 SDII 影响较大的大气环流因子是西太平洋副高面积指数(塔城、额敏、裕民，相关系数分别为 0.29、0.32、0.35，通过 0.05 或 0.01 的显著性水平检验)、北美副高面积指数(塔城、裕民、额敏、托里，相关系数 0.26、0.25、0.34、0.32，通过 0.05 或 0.01 的显著性水平检验)、印缅槽强度指数(塔城、额敏、托里，相关系数 0.26、0.33、0.26)、北非-大西洋-北美副高面积指数(额敏、托里，相关系数 0.30、0.32)、印度副高面积指数(额敏，相关系数 0.24)，东太平洋副高面积指数(额敏、托里，相关系数 0.25、0.29)；印度副高北界位置指数(额敏，相关系数 0.32)；对 R10 影响较大的大气环流因子是印缅槽强度指数(塔城，相关系数 0.26)、西太平洋副高北界位置指数(裕民，相关系数 0.31)；对 R20 影响较大的大气环流因子是北非-大西洋-北美副高面积指数(额敏，相关系数 0.34，通过 0.01 的显著性水平检验)、印度副高面积指数(额敏，相关系数 0.33，通过 0.01 的显著性水平检验)、西太平洋副高面积指数(额敏，相关系数 0.42，通过 0.01 的显著性水平检验)、东太平洋副高面积指数(额敏，相关系数 0.38，通过 0.01 的显著性水平检验)、北美副高面积指数(额敏，相关系数 0.39，通过 0.01 的显著性水平检验)、印度副高北界位置指数(额敏，相关系数 0.42，通过 0.01 的显著性水平检验)、西太平洋副高北界位置指数(额敏，相关系数 0.29)、印缅槽强度指数(额敏，相关系

数 0.33, 通过 0.01 的显著性水平检验); 对 R50 影响较大的大气环流因子是北美副高面积指数(额敏, 相关系数 0.26)、印度副高北界位置指数(额敏, 相关系数 0.25)、印缅槽强度指数(额敏、托里, 相关系数 0.27、0.25, 通过 0.05 或 0.01 的显著性水平检验)、北非 - 大西洋 - 北美副高面积指数(塔城, 相关系数 0.32)、西太平洋副高面积指数(托里, 相关系数 0.26)、北美副高面积指数(托里, 相关系数 0.27); 对 CDD 影响较大的大气环流因子是印度副高北界位置指数(和丰, 相关系数 0.25); 对 CWD 影响较大的大气环流因子是北美副高面积指数(额敏, 相关系数-0.32)、北非副高面积指数(乌苏, 相关系数-0.26)、北非 - 北大西洋 - 北美副高脊线位置指数(乌苏, 相关系数-0.32); 对 R95P、R99P 影响较大的大气环流因子是北非 - 大西洋 - 北美副高面积指数(额敏, 相关系数 0.27)、西太平洋副高面积指数(额敏, 相关系数 0.30)、北美副高面积指数(额敏, 相关系数 0.28)、印缅槽强度指数(额敏, 相关系数 0.30); 当上述大气环流因子出现且指数较大(正值)时, 则上述站点上述极端降水指数增多, 反之, 则减少。

### 3.2.3. 三个区域汛期极端降水指数对大气环流因子的响应

**Table 6.** Correlation between extreme precipitation index and atmospheric circulation factors in flood season in three regions (1)

**表 6.** 三个区域汛期极端降水指数与大气环流因子的相关关系(1)

		欧亚 纬向环流	欧亚 经向环流	亚洲 纬向环流	亚洲 经向环流	北大西洋 - 欧洲环流 W 型	北大西洋 - 欧洲环流 C 型	北大西洋 - 欧洲环流 E 型
RX1day	范围	0.07~0.35	-0.18~-0.04	0.06~0.27	-0.13~-0.02	-0.04~0.22	-0.15~0.20	-0.19~-0.15
	正/负相关	3(1)/0	0/3	3(1)/0	0/3	3/1	2/1	0/3
RX5day	范围	0.08~0.26	-0.12~-0.02	0.04~0.22	-0.17~-0.04	-0.08~0.09	0.04~0.25	-0.15~-0.07
	正/负相关	3(1)/0	0/3	3/0	0/3	2/1	3(1)/0	0/3
SDII	范围	0.05~0.22	-0.01~-0.23	-0.01~0.24	-0.05~0.01	0.10~0.29	-0.26~0.08	-0.23~-0.02
	正/负相关	3/0	0/3	2/1	2/1	3(1)/0	2/1(1)	0/3
R10	范围	-0.09~0.15	-0.10~0.11	-0.10~0.17	-0.14~0.06	-0.05~0.04	-0.07~0.01	0.02~0.14
	正/负相关	2/1	2/1	2/1	2/1	1/2	1/2	3/0
R20	7 站范围	-0.01~0.25	-0.11~-0.03	0.02~0.23	-0.04~-0.09	0.05~0.09	-0.07~0.09	-0.14~-0.01
	正/负相关	2(1)/1	0/3	3/0	0/3	3/0	1/2	0/3
R50	7 站范围	0.02~0.20	-0.02~-0.16	-0.24~-0.01	-0.10~0.06	-0.10~0.06	0.02~0.19	-0.09~-0.03
	正/负相关	3/0	0/3	0/3	2/1	2/1	3/0	0/3
CDD	7 站范围	-0.01~0.20	-0.03~0.02	0.08~0.18	-0.15~-0.04	-0.11~0.08	-0.02~0.17	-0.09~0.01
	正/负相关	2/1	1/2	3/0	0/3	1/2	2/1	1/2
CWD	7 站范围	-0.17~0.01	-0.19~0.01	-0.13~-0.04	-0.31~0.10	-0.13~0.01	-0.02~0.18	0.02~0.09
	正/负相关	1/2	2/1	0/3	2/1(1)	1/2	2/1	3/0
R95P	7 站范围	-0.01~0.24	-0.10~0.02	-0.02~0.20	-0.15~0.02	-0.06~0.03	-0.01~0.15	-0.09~0.01
	正/负相关	2/1	1/2	2/1	1/2	1/2	2/1	1/2
R99P	7 站范围	0.01~0.21	-0.10~0.02	-0.01~0.20	-0.15~0.02	-0.03~0.03	0.01~0.16	-0.08~-0.03
	正/负相关	3/0	2/1	2/1	2/1	1/2	3/0	0/3
PRCPFOT	7 站范围	-0.03~0.20	-0.10~0.03	-0.03~0.17	-0.19~0.01	-0.07~-0.02	0.07~0.17	-0.05~0.02
	正/负相关	2/1	1/2	2/1	1/2	0/3	3/0	1/2

注: 括号内为通过 0.05 或 0.01 的显著性水平检验的区域数, 无括号均为未通过显著性水平检验的区域数。

由表 6 可知, 对三个区域汛期各极端降水指数有较大影响的大气环流因子差异较大, 其中对南部 RX1day 影响较大的大气环流因子是欧亚纬向环流(相关系数 0.35, 通过 0.01 的显著性水平检验)、亚洲纬向环流(相关系数 0.25, 通过 0.05 的显著性水平检验, 下同), 对 RX5day 影响较大的大气环流因子是欧亚纬向环流(相关系数 0.26), 对 R20 影响较大的大气环流因子是欧亚纬向环流(相关系数 0.25); 对盆地 SDII 影响较大的大气环流因子是北大西洋 - 欧洲环流 W 型(相关系数 0.29), 北大西洋 - 欧洲环流 C 型(相关系数-0.26), 对 CWD 影响较大的大气环流因子是亚洲纬向环流(相关系数-0.31)。当上述大气环流因子出现且指数较大(正值)时, 则有利于盆地或南部汛期上述极端降水指数增多, 反之, 则减少。

**Table 7.** Correlation coefficient between extreme precipitation index and circulation characteristics in flood season in three regions (2)

**表 7.** 三个区域汛期极端降水指数与环流特征量的相关系数(2)

注:	北非 - 北大西洋 - 北美副高面积指数	印度副高面积指数	西太平洋副高面积指数	东太平洋副高面积指数	北美副高面积指数	北非副高脊线位置指数	北非 - 北大西洋 - 北美副高脊线位置指数	印度副高北界位置指数	西太平洋副高北界位置指数	西太平洋副高西伸脊点指数	印缅槽强度指数	
RX1day	范围	-0.07~0.20	0.04~-0.15	-0.02~0.23	0.02~0.20	-0.03~0.19	-0.10~0.07	-0.17~-0.09	-0.01~-0.17	0.07~-0.19	-0.02~0.11	0.09~-0.26
	正/负	2/1	3/0	2/1	3/0	2/1	2/1	0/3	2/1	3/0	2/1	2(1)/1
RX5day	范围	-0.02~0.20	0.02~-0.25	0.04~0.27	0.06~-0.26	0.03~0.24	-0.12~0.06	-0.17~0.11	-0.01~0.20	0.15~-0.24	0.02~0.10	-0.05~-0.26
	正/负	2/1	3(1)/0	3(1)/0	3(1)/0	3/0	2/1	1/2	2/1	3(1)/0	3/0	2(1)/1
SDII	范围	-0.08~0.34	0.14~0.22	0.03~0.39	0.03~0.27	-0.06~0.37	-0.14~0.17	-0.15~0.12	-0.05~0.29	-0.04~0.20	-0.09~-0.03	-0.04~-0.36
	正/负	1(1)/2	3/0	3(1)/0	3(1)/0	2(1)/1	1/2	1/2	2(1)/1	1/2	0/3	1(1)/2
R10	范围	-0.14~0.16	0.03~0.05	-0.01~0.18	-0.03~0.11	-0.04~0.17	-0.17~0.09	-0.11~0.02	-0.02~0.08	0.05~0.23	-0.04~-0.03	-0.02~-0.18
	正/负	2/1	3/0	2/1	2/1	2/1	1/2	1/2	2/1	3/0	0/3	2/1
R20	范围	0.02~0.24	0.14~-0.19	0.04~0.33	0.08~-0.30	0.04~0.29	-0.14~0.14	-0.12~0.07	0.01~-0.23	0.05~-0.24	-0.10~0.13	0.03~-0.25
	正/负	3/0	3/0	3(1)/0	3(1)/0	3(1)/0	2/1	2/1	3/0	3/0	1/2	3(1)/0
R50	范围	-0.08~0.28	0.07~-0.20	-0.03~-0.24	-0.01~0.17	-0.03~0.26	-0.23~0.03	-0.18~0.08	0.02~0.18	0.05~-0.19	-0.07~0.07	-0.07~-0.30
	正/负	2(1)/1	3/0	2/1	2/1	2(1)/1	2/1	2/1	3/0	3/0	2/1	2(1)/1
CDD	范围	-0.18~0.12	0.02~0.24	-0.11~0.19	-0.14~-0.19	-0.17~0.16	-0.12~0.18	-0.16~0.05	-0.14~0.25	-0.15~0.16	-0.04~0.23	-0.11~-0.18
	正/负	2/1	3/0	2/1	2/1	2/1	2/1	2/1	2(1)/1	2/1	1/2	1/2
CWD	范围	-0.03~0.16	0.05~0.20	-0.02~-0.16	-0.01~0.16	-0.01~0.12	-0.18~-0.01	-0.24~-0.06	-0.07~0.11	0.01~-0.17	-0.18~0.01	-0.29~-0.21
	正/负	2/1	3/0	2/1	2/1	2/1	0/3	1/2	2/1	3/0	1/2	1/2
R95P	范围	0.01~0.21	-0.11~0.11	0.06~0.26	0.03~0.19	0.01~0.24	-0.17~0.14	-0.12~0.06	0.01~0.17	0.12~-0.24	-0.06~0.03	0.01~-0.23
	正/负	3/0	2/1	3(1)/0	3/0	3/0	1/2	2/1	3/0	3/0	2/1	3/0
R99P	范围	-0.03~0.21	0.05~0.12	0.04~0.26	0.03~0.18	-0.02~0.23	-0.17~0.12	-0.11~0.06	-0.04~0.17	0.08~-0.23	-0.07~0.02	0.02~-0.23
	正/负	2/1	3/0	3(1)/0	3/0	2/1	1/2	1/2	2/1	3/0	1/2	3/0
PRCFOT	范围	0.05~0.12	0.04~0.09	0.10~0.17	0.07~0.13	0.05~-0.16	-0.15~0.07	-0.07~0.03	0.03~0.10	0.19~-0.22	-0.09~0.05	0.02~-0.15
	正/负 相关	3/0	3/0	3/0	3/0	3/0	1/2	1/2	3/0	3/0	2/1	3/0

注: 括号内为通过 0.05 或 0.01 的显著性水平检验的区域数, 无括号均为未通过显著性水平检验的区域数。

由表 7 可知, 对盆地 RX1day 影响较大的大气环流因子是印缅槽强度指数(相关系数 0.26, 通过 0.05 的显著性水平检验, 下同), 对 RX5day 影响较大的大气环流因子是印缅槽强度指数(相关系数 0.26), 对 SDII 影响较大的大气环流因子是北非 - 大西洋 - 北美副高面积指数(相关系数 0.34, 通过 0.01 的显著性水平检验)、西太平洋副高面积指数(相关系数 0.39, 通过 0.01 的显著性水平检验)、东太平洋副高面积指数(相关系数 0.27)、北美副高面积指数(相关系数 0.29, 通过 0.01 的显著性水平检验)、印度副高北界位置指数(相关系数 0.29)、印缅槽强度指数(相关系数 0.36, 通过 0.01 的显著性水平检验), 对 R20 影响较大

的大气环流因子是西太平洋副高面积指数(相关系数 0.39, 通过 0.01 的显著性水平检验)、东太平洋副高面积指数(相关系数 0.30)、北美副高面积指数(相关系数 0.29)、印缅槽强度指数(相关系数 0.25), 对 R50 影响较大的大气环流因子是北非 - 大西洋 - 北美副高面积指数(相关系数 0.28)、北美副高面积指数(相关系数 0.25)、印缅槽强度指数(相关系数 0.30), 对 R95P、R99P 影响较大的大气环流因子是西太平洋副高面积指数(相关系数均为 0.26); 对南部 RX5day 影响较大的大气环流因子是印度副高面积指数(相关系数 0.25)、西太平洋副高面积指数(相关系数 0.27)、东太平洋副高面积指数(相关系数 0.26)。当上述大气环流因子出现且指数较大(正值)时, 则有利于盆地或南部汛期上述极端降水指数增多, 反之, 则减少。

#### 4. 结论与讨论

1) 近 64a 塔城地区汛期极端降水指数仅 CDD、CDW 以  $-0.50 \text{ d}/10\text{a}$ 、 $-0.13 \text{ d}/10\text{a}$  的速率不显著减少, 其余各极端降水指数均呈不显著增多趋势。

2) 7 站各极端降水指数变化趋势差异较大, 仅 CDD 大部分站点呈不显著减少趋势, 其余各极端降水指数大部分站点均呈不显著增多趋势, 其中 RX1day、R50 仅托里以  $1.16 \text{ mm}/10\text{a}$ 、 $0.29 \text{ d}/10\text{a}$  的速率显著增多, R20 仅额敏以  $0.22 \text{ d}/10\text{a}$  的速率显著增多, CDD 仅裕民、乌苏以  $-0.17 \text{ d}/10\text{a}$ 、 $-0.20 \text{ d}/10\text{a}$  的速率显著减少。

3) 三个区域各极端降水指数变化趋势差异明显, 其中 RX1day、R50 盆地和南部显著增多, 中部不显著减少; RX5day、R95P、PRCPFOT 三个区域均不显著增多; R10、R20、R99P 盆地及中部不显著增多, 南部不显著减少; SDII 盆地不显著增多, 南部及中部不显著减少; CDD 盆地及南部不显著减少, 中部不显著增多; CWD 中部及南部不显著增多, 盆地不显著减少。

4) 对塔城地区 RX5day 影响较大的大气环流因子是欧亚纬向环流、西太平洋副高北界位置指数, 对 SDII 影响较大的大气环流因子是印度副高面积指数、西太平洋副高面积指数、北美副高面积指数、印缅槽强度指数, 对 R20 影响较大的大气环流因子是西太平洋副高面积指数、东太平洋副高面积指数、北美副高面积指数、西太平洋副高北界位置指数, 对 R50 影响较大的大气环流因子是西太平洋副高面积指数、北美副高面积指数、北非 - 大西洋 - 北美副高面积指数、印缅槽强度指数, 对汛期降水量影响较大的大气环流因子是西太平洋副高北界位置指数。当上述大气环流因子出现且指数较大时, 则塔城地区汛期 RX5day、SDII、R20、R50 汛期降水量增多, 反之, 则减少。

5) 对塔城 7 站 RX1day、RX5day、SDII、R20、R50、CDD、CWD、R95P 影响较大的大气环流因子是北美副高面积指数、西太平洋副高面积指数、印度副高面积指数、东太平洋副高面积指数、北非 - 大西洋 - 北美副高面积指数、印缅槽强度指数、印度副高北界位置指数、西太平洋副高北界位置指数、西太平洋副高北界位置指数、西太平洋副高西伸脊点、北非副高脊线位置指数、北非 - 北大西洋 - 北美副高脊线位置指数, 当上述大气环流因子出现且指数较大(正值)时, 则塔城 7 站站极端降水指数增多, 反之, 则减少。

6) 对盆地和南部 RX1day、RX5day、SDII、R50、R95P、R99P 影响较大的大气环流因子是印缅槽强度指数、北非 - 大西洋 - 北美副高面积指数、印度副高面积指数、西太平洋副高面积指数、东太平洋副高面积指数、北美副高面积指数、印度副高北界位置指数; 当上述大气环流因子出现且指数较大(正值)时, 则有利于盆地或南部汛期上述极端降水指数增多, 当上述大气环流因子出现且指数较小(负值)时, 则盆地或南部上述极端降水指数减少。

7) 汛期塔城地区局地多短时强降水、雷暴大风、冰雹等强对流天气, 且具有突发性强、局地性强、持续时间短的特点, 汛期极端降水指数对某些大气环流因子的响应具备一定的指示意义, 但在使用过程中不能以偏概全。

## 基金项目

新疆气象局气象科技创新发展基金项目“塔城地区汛期极端降水指数时空分布特征及其对大气环流因子的响应(MS202307)”和新疆气象局引导性计划项目“塔城地区暖季短时强降水分布特征及成因分析(YD2024006)”共同资助。

## 参考文献

- [1] 江晓菲, 李伟, 游庆龙. 中国未来极端气温变化的概率预估及其不确定性[J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(3): 228-236.
- [2] 王闪闪, 王素萍, 冯建英. 2015 年全国干旱状况及其影响与成因[J]. 干旱气象, 2016, 34(2): 382-389.
- [3] 胡彩虹, 王纪军, 柴晓玲, 等. 气候变化对黄河流域径流变化及其可能影响研究进展[J]. 气象与环境科学, 2013, 36(2): 57-65.
- [4] 许朗, 李海艳, 刘爱军. 我国近年旱情演变及其对农业造成的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(7): 53-56.
- [5] 周波涛, 钱进. IPCC AR6 报告解读: 极端天气气候事件变化[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(6): 713-718.
- [6] 高涛, 谢立安. 近 50 年来中国极端降水趋势与物理成因研究综述[J]. 地球科学进展, 2014, 29(5): 577-589.
- [7] 孙建奇, 敖娟. 中国冬季降水和极端降水对变暖的响应[J]. 科学通报, 2013, 58(8): 674-679.
- [8] 王苗, 郭品文, 邬昀. 中国东部极端降水变化特征及其与大气稳定度的关系[J]. 大气科学学报, 2014, 37(1): 47-56.
- [9] 曹祥会, 龙怀玉, 张继宗. 等. 河北省主要极端气候指数的时空变化特征[J]. 中国农业气象, 2015, 36(3): 245-253.
- [10] 杜亮亮, 周雪英, 赵有谱. 等. 河北邯郸地区极端降水指数气候特征及其与降水量、气温的关系[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 968-974.
- [11] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步研究[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219-226.
- [12] 邓子风, 张家宝. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社, 1985: 15.
- [13] 史玉光, 孙照渤, 杨青. 新疆区域面雨量分布特征及其变化规律[J]. 应用气象, 2008, 19(3): 326-332.
- [14] 毛炜峰, 江远安, 李江风. 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.
- [15] 姜逢清, 胡汝骥. 近 50 年来新疆气候变化与洪、旱灾害扩大化[J]. 中国沙漠, 2004, 24(1): 35-40.
- [16] 袁玉江, 何清, 穆贵金. 天山山区近 40 年夏季降水变化及与南北疆的比较[J]. 冰川冻土, 2003, 25(3): 331-335.
- [17] 吴秀兰, 张太西, 王慧等. 1961-2017 年新疆区域气候变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(4): 27-34.
- [18] 李佳秀, 杜春丽, 杜世飞, 等. 新疆极端降水事件时空变化及趋势预测[J]. 干旱区研究, 2015, 32(6): 1103-1112.
- [19] 努尔比亚·吐尼牙孜, 姚俊强, 阿依努尔·买买提吐逊, 米日古丽·米吉提, 等. 1961-2021 年塔里木盆地极端降水指数时空变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(5): 25-34.
- [20] 井立红, 魏小亚, 高婧, 等. 近 50a 新疆塔城地区冷季降水变化特征分析[J]. 干旱气象, 2012, 30(1): 39-44.
- [21] 毛炜峰. 用前期大气环流指数预测新疆北部夏季降水的探讨[J]. 气象, 2009, 35(6): 82-89.