

1960~2021年塔城地区汛期降水集中度和集中中期变化特征

井立红¹, 高婧^{2*}, 井立军², 杨霏³

¹新疆塔城地区气象局, 新疆 塔城

²沙湾市气象局, 新疆 沙湾

³新疆气象服务中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年8月22日; 录用日期: 2023年9月20日; 发布日期: 2023年9月26日

摘要

利用近62年(1960~2021年)塔城地区7个气象观测站汛期(5~9月)逐日、逐候降水量资料, 分别讨论了集中度(PCD)和集中期(PCP)的时空分布特征、变化规律及其影响因子, 结果表明: 1) 塔城地区汛期PCD波动幅度介于0.26~0.41, 平均为0.21; 汛期PCP波动幅度介于39~41候, 平均为36候。2) 塔城地区汛期PCD年际变化较平缓, 呈逐年微弱的增加趋势, 线性拟合递增率为0.01/10a, 表明年内降水分配趋于均匀化; 汛期PCP年际变化大, 线性倾向率为-1.05候/10a, 呈逐年显著推迟趋势(通过了0.05的显著性水平检验), 表明候最大降水量出现时间逐年推迟。3) 塔城地区汛期PCD年代际变化经历了“降低-升高-降低-降低-升高-降低”的交替演变, 其中1970年代为最高值, 1990年代为最低值; PCP经历了“升高-降低-升高-升高-降低-升高”的交替演变, 其中1990年代为最高值, 1970年代为最低值。4) 塔城地区汛期PCD序列在1970年代初期、1990年代中期、21世纪中期发生过明显的由多到少和由少到多的突变, 2019年为突变点; 汛期PCP序列在1970年代初期、1980年代中期、2000年代中期发生过明显的由多到少和由少到多的突变, 1990年为突变点。5) 塔城地区多雨年的PCD比少雨年大(或少雨年的PCD较多雨年偏小), 多雨年的集中期比少雨年晚(或少雨年的PCP比多雨年早), 各站空间分布差异较大。6) 塔城地区PCD和PCP与汛期降水、降水距平、距平百分率均呈正相关, 但相关系数较小; 比较而言, PCP与汛期降水、降水距平、距平百分率降水量的正相关程度更高, 表明当塔城地区汛期降水偏多时, 最大候降水出现日期越晚(推迟)。

关键词

汛期降水, 集中度, 集中期, 时空变化, 影响因子

Variation Characteristics of Precipitation Concentration and Concentration Period in Flood Season in Tacheng Area from 1960 to 2021

*通讯作者。

文章引用: 井立红, 高婧, 井立军, 杨霏. 1960~2021年塔城地区汛期降水集中度和集中中期变化特征[J]. 气候变化研究快报, 2023, 12(5): 1040-1051. DOI: 10.12677/ccrl.2023.125108

Lihong Jing¹, Jing Gao^{2*}, Lijun Jing², Xian Yang³

¹Tacheng Meteorological Bureau of Xinjiang, Tacheng Xinjiang

²Shawan Meteorological Bureau, Shawan Xinjiang

³Xinjiang Meteorological Service Center, Urumqi Xinjiang

Received: Aug. 22nd, 2023; accepted: Sep. 20th, 2023; published: Sep. 26th, 2023

Abstract

Based on the daily and hourly precipitation data of 7 meteorological observation stations in Tacheng area during flood season (May to September) in recent 62 years (1960 to 2021), the spatial and temporal distribution characteristics, variation rules and influencing factors of PCD and PCP were discussed respectively. The results show that: 1) The fluctuation range of PCD in flood season in Tacheng area is 0.26~0.41, with an average of 0.21; The fluctuation range of PCP in flood season is 39~41 pentad, with an average of 36 pentad. 2) The interannual variation of PCD in flood season in Tacheng area is relatively gentle, showing a weak increasing trend year by year, and the linear fitting increasing rate is 0.01/10a, indicating that the annual precipitation distribution tends to be uniform; The linear tendency rate of PCP in flood season was -1.05 pentad/10a, which showed a significantly delayed trend year by year (passing the significance level test of 0.05), indicating that the occurrence time of the maximum precipitation in monsoon was delayed year by year. 3) The decadal variation of PCD in flood season in Tacheng area experienced the alternating evolution of “down-rise-down-rise-down-decrease”, with the highest value in 1970s and the lowest value in 1990s. PCP experienced the alternating evolution of “up-down-up-up-up-down-down-up-up”, with the highest value in the 1990s and the lowest value in the 1970s. 4) The flood season PCD sequence in Tacheng area had obvious mutations from more to less and from less to more in the early 1970s, the middle of 1990s and the middle of 21st century, and 2019 was the mutation point; The PCP sequence in flood season had obvious changes from more to less and from less to more in the early 1970s, mid-1980s and mid-2000s, and was the mutation point in 1990. 5) PCD in rainy years is larger than that in rain-less years (or PCD in rain-less years is smaller than that in rain-less years), and the concentration period in rainy years is later than that in rain-less years (or PCP in rain-less years is earlier than that in rain-less years). 6) PCD and PCP were positively correlated with precipitation, precipitation anomaly and anomaly percentage in flood season, but the correlation coefficient was small; In comparison, the positive correlation degree of PCP with precipitation, precipitation anomaly and precipitation percentage anomaly is higher, indicating that when there is more precipitation in flood season, the date of the maximum monsoon precipitation appears later (delayed).

Keywords

Flood Season Precipitation, Degree of Concentration, Concentration Period, Spatiotemporal Variation

Copyright © 2023 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

降水作为一种重要的气候资源，是调节水循环过程中最基本的环节，也是区域水资源评价的重要内

容,其多少直接影响着水资源的数量和地区分布,其年际变化、长期变化及空间分布的不均匀性,不但对农业生产、社会经济生活有着重要影响,也是引发洪灾和旱灾的最直接原因[1]。

新疆地处欧亚大陆腹地,境内植被稀疏,岩体裸露面积大,河川和下垫面渗透力较差、生态环境极其脆弱,大部分地区夏季降水占全年降水量的 40%~70%,6~8 月多发的连续性降水或强降水造成山洪、泥石流、山体滑坡等自然灾害频发[2],给当地国民经济发展和人民生命财产安全造成巨大损失[2]。史玉光、袁玉江、薛燕、毛炜峰等[3] [4] [5] [6]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;施雅风认为西北地区气候由暖干向暖湿转型[7]。姜逢清[8]的研究认为,受全球变暖的影响,新疆出现了夏季洪涝、春秋季节干旱频率增大的现象,这主要是由于新疆气温升高和夏季降水异常增多导致的。

近年来随着极端气候事件的强度和频率增加,降水时空分布的非均匀性加剧,而降水的这种非均匀性变化正是导致某一区域洪涝或干旱事件发生的最重要因素[9]。杨远东[10]、张录军[11]在对长江流域汛期旱涝灾害研究中,提出把月或候降水量看作矢量,提取出最大降水中心对应的时段,运用降水集中度(PCD)和集中期(PCP)这 2 个参数指标来度量及反映降水量年内在时空场上的非均匀性分配特征,可以比较理想地分析旱涝灾害发生的基本特征及其形成机制。孔锋[12]利用 1951~2012 年中国 659 个基本、基准站及自动站降水资料分析了中国降水的集中度和集中期的时空格局和变化趋势,得出中国整体降水集中度波动呈现减小趋势,且 1978 年之前波动较大,之后趋于平稳;集中期主要集中在第 26~30 周左右,并在 1978 年前后有 1~3 周不同幅度的之后和提前,且南方以推迟为主,北方以提前为主,中国整体降水集中度波动呈现微弱减少趋势,且 1978 年前显著减少,但 1978 年后显著增加;张天宇、张文、王米雪、胡丽莉、纳丽、任志艳、薛丽娟等[13]-[19]利用各地降水资料对华北、东北、东南沿海、河西走廊、宁夏、内蒙古、桂林等地雨季、降水过程、汛期降水进行集中度和集中期的研究,揭示其时空变化特征、变化规律及降水事件的年内分布特征;赵勇[20]、张林梅[21]、苗运玲[22] [23]对新疆北疆地区、阿勒泰地区、东疆地区、乌鲁木齐地区汛期降水集中度和集中期的时空变化特征进行了分析,结果表明,北疆以及 4 个子区域多年平均的汛期降水集中度约为 0.2 左右,汛期平均降水集中期出现在 32~37 候;东疆和乌鲁木齐汛期降水的集中度呈微弱减小趋势,集中期呈微弱提前趋势;阿勒泰地区汛期降水集中度呈微弱增加趋势,集中期呈推迟趋势。

塔城地区位于新疆西北部,是新疆乃至全国天气的上游,远离海洋,属于中温带大陆性干旱和半干旱气候区,境内幅员辽阔,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,而汛期降水占年降水量的 41.2%~77.9%,局地旱涝灾害严重,且时空分布不均匀,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积雪[24]、日照[25]、雷暴[26]、大风[27]、冻土[28]、高温[29]、干旱[30]、冷季降水[31]等进行了一些研究,但对辖区各站点及区域汛期降水时空分布非均匀性及其影响因子的研究仍处于空白阶段。本文利用 1960~2021 年汛期(5~9 月)逐候降水量资料,采用集中度和集中期、相关分析等方法,对其时空分布特征、变化规律及其影响因子进行研究,以期提高汛期降水的预报、预测能力,同时为科学应对区域旱涝灾害,合理调配、规划、开发及利用水资源,最大限度地减少气象灾害造成的损失提供科学依据与技术支持。

2. 数据来源与方法

2.1. 数据来源

使用新疆气象局信息中心提供的塔城地区 7 个气象观测站(包括:塔城、额敏、裕民、托里、和布克

赛尔、乌苏、沙湾)近 62 年(1960~2021 年)汛期(5~9 月)逐候(第 25~55 候)降水量实况资料。为研究方便,依据各地气候特点,将塔城 7 站划分为 3 个研究区域,即:盆地(包括:塔城、额敏、裕民、托里)、中部(包括:和布克赛尔,简称“和丰”)、南部(包括:乌苏、沙湾);将 7 站平均作为全区平均,气候平均值时段为 1991~2020 年。

2.2. 降水集中度(PCD)和集中期(PCP)的定义

张录军[11]指出,降水集中度(precipitation concentration degree, **PCD**)和集中期(precipitation concentration period, **PCP**),是利用向量分析原理来定义或表征研究区域内降水量在一定时段内分配特征的两个参数,可以定量地描述降水的集中程度和集中时段。

$$PCD = \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{R_i} \quad (1)$$

$$PCP = \arctan\left(\frac{R_{xi}}{R_{yi}}\right) \quad (2)$$

$R_{xi} = \sum_{j=1}^N r_{ij} * \sin \theta_j$; $R_{yi} = \sum_{j=1}^N r_{ij} * \cos \theta_j$, 式中,PCD 和 PCP 分别为研究时段内的降水集中度和集中期, i 代表年份, j 为研究时段内的候序($j=1,2,\dots,N$), R_i 为测站第 i 年的降水量, r_{ij} 为第 i 年第 j 候降水量; $\theta_j = 360^\circ * (j-1)/36$, 为研究时段内各候所对应的方位角。

PCD 能够反映降水总量在研究时段内各候的集中程度,PCD 越大,表明降水越集中,PCD 越小,表明降水越均匀;PCP 反映了一年最大候降水量出现在年内的某个具体的时段内,PCP 高值代表最大候降水出现时间较晚,低值代表出现时间较早。

2.3. 方法

采用一元线性回归方程对近 62a 塔城地区汛期 PCD 和 PCP 时间序列进行线性拟合,即令 $y(t) = a + bt$,其中 t 为时间序列, $b * 10a$ 定义为汛期 PCD 和 PCP 的变化速率, $b > 0$ 表示序列呈增多趋势, $b < 0$ 表示呈减少趋势,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;计算了汛期 PCD、PCP 的变异系数(v%),以此反映研究区域内汛期 PCD 和 PCP 的变异程度;使用 M-K 检验分析了汛期 PCD 和 PCP 的突变,并确定其突变时间;使用相关分析法,研究汛期降水、降水距平、降水距平百分率、多雨年、少雨年与汛期 PCD 和 PCP 的关系。

3. 结果与分析

3.1. 近 62a 塔城地区汛期降水 PCD 和 PCP 的时空变化特征

3.1.1. PCD 和 PCP 空间分布

从图 1 可以看出,塔城地区汛期 PCD 平均值为 0.21,最大值 0.62,出现在 1978 年,最小值 0.12,出现在 2008 年;7 站汛期 PCD 变化范围介于 0.26~0.41,低于中国大部分地区 PCD 值,与北疆地区、阿勒泰地区相当[12]-[23],7 站中和丰 PCD 最大(0.41),塔城(0.37)次之,托里最小(0.26);区域中中部最大(0.41),盆地(0.30)次之,南部(0.29)最小。

塔城地区汛期 PCP 平均值为 36 候(即 6 月第 5 候),最大值为 44 候,出现在 1996 年,最小值为 35 候,出现在 1978 年;7 站 PCP 介于 39~41 候,最大值(最晚)为 41 候,出现在和丰,最小值(最早)39 候,出现在沙湾。

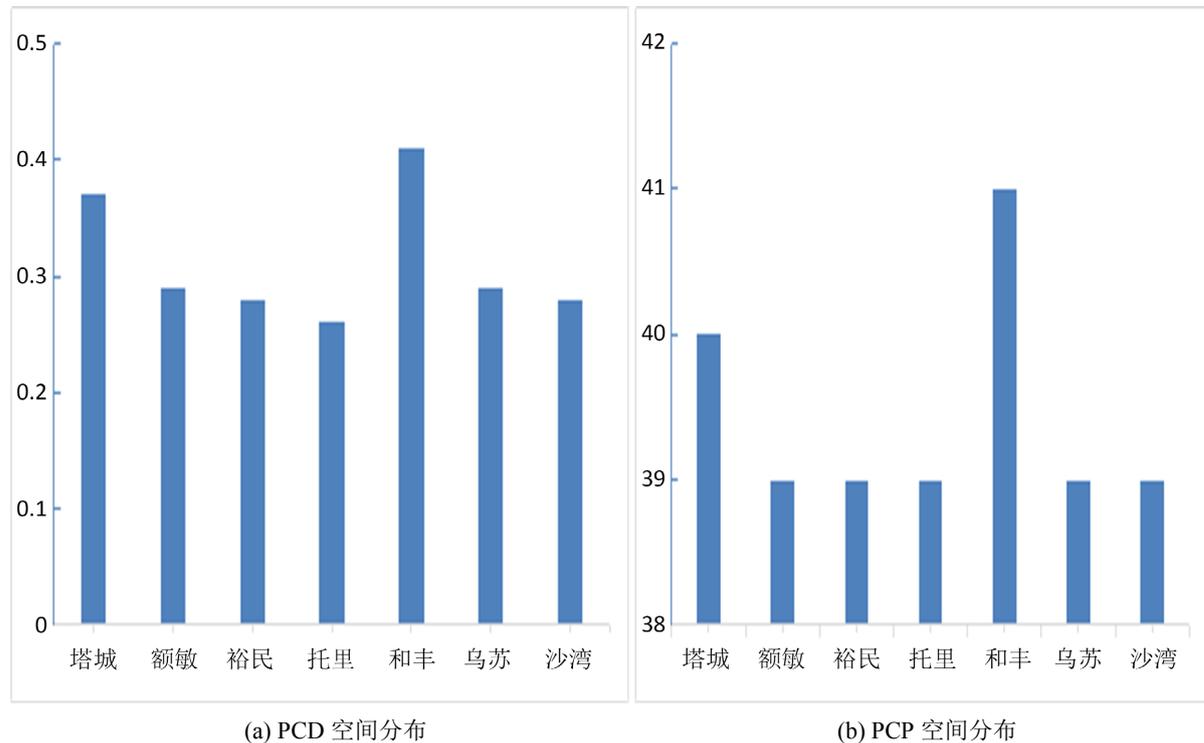


Figure 1. Spatial and temporal distribution of PCD and PCP in flood season in Tacheng area
图 1. 塔城地区汛期 PCD 和 PCP 空间分布

3.1.2. PCD 和 PCP 时间变化特征

Table 1. Linear tendency rates of PCD and PCP in flood season in Tacheng area
表 1. 塔城地区汛期 PCD 和 PCP 线性倾向率

	塔城	额敏	裕民	托里	和丰	乌苏	沙湾	塔城地区
PCD 线性倾向率	0.01 ⁻	0.01 ⁻	0.01 ⁻	0.01 ⁻	-0.02 ⁻	0.01 ⁻	0.01 ⁻	0.01 ⁻
PCP 线性倾向率	0.07 ⁻	0.07 ⁻	0.26 ⁻	0.38 ⁻	-0.31 ⁻	0.01 ⁻	0.2 ⁻	-1.05 [*]

注: ⁻为未通过显著性水平检验, ^{*}为通过 0.05 的显著性水平检验。

由表 1 可知,塔城地区汛期 PCD 年际变化较平缓,呈逐年微弱的增加趋势,线性拟合递增率为 0.01/10a,表明年内降水分配趋于均匀化,但均匀化趋势不显著(未通过显著性水平检验);7 站中塔城、额敏、托里、乌苏、沙湾线性倾向率介于 0.03~0.01,均呈不显著增加趋势(未通过显著性水平检验),裕民、和丰介于 -0.01~-0.02,呈不显著减少趋势(未通过显著性水平检验),表明这两个站点年内降水分配趋于集中化,但集中程度不显著;区域中盆地及南部 PCD 的线性倾向率均为 0.01/10a,呈微弱的不显著增加趋势(未通过显著性水平检验),中部呈微弱的不显著减小趋势(未通过显著性水平检验)。

塔城地区汛期 PCP 年际变化大,线性倾向率为 -1.05 候/10a,呈逐年显著推迟趋势(通过了 0.05 的显著性水平检验),表明候最大降水量出现时间逐年推迟;7 站 PCP 线性倾向率各不相同,和丰以 0.31 候/10a 的速率显著提前(通过 0.05 的显著性水平检验),额敏以 0.07 候/10a 的速率显著推迟(通过 0.05 的显著性水平检验),其余各站均呈不显著推迟趋势(未通过显著性水平检验),其中托里、裕民、沙湾、塔城、乌苏分别以 0.38 候/10a、0.26 候/10a、0.20 候/10a、0.07 候/10a 的速率不显著推迟(未通过显著性水平检验);区域中仅中部表现为显著提前趋势,盆地及南部分别以 0.19 候/10a、0.10 候/10a 的速率不显著推迟(未通

过 0.05 的显著性水平检验)。

3.1.3. PCD 和 PCP 年代际变化特征

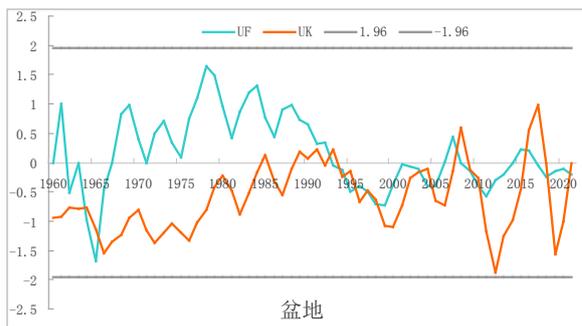
Table 2. Interdecadal distribution of PCD and PCP in flood season in Tacheng area

表 2. 塔城地区汛期 PCD 和 PCP 年代际分布

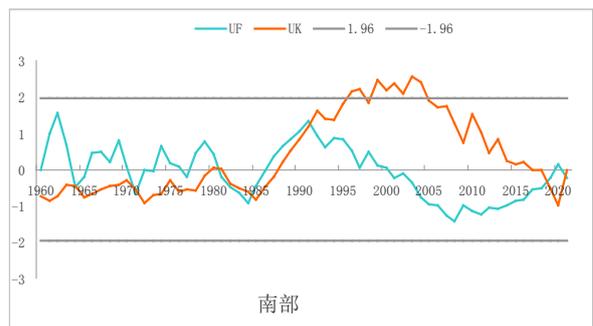
		1960 年代	1970 年代	1980 年代	1990 年代	2000 年代	21 世纪初年	近 62a 平均
塔城	PCD	0.31	0.36	0.28	0.25	0.69	0.30	0.37
	PCP	41	38	38	41	39	41	40
裕民	PCD	0.27	0.35	0.29	0.26	0.28	0.26	0.28
	PCP	38	39	40	40	39	40	39
额敏	PCD	0.29	0.35	0.32	0.22	0.27	0.30	0.29
	PCP	39	39	39	40	39	39	39
托里	PCD	0.24	0.23	0.30	0.26	0.28	0.24	0.26
	PCP	42	35	36	41	41	41	39
和丰	PCD	0.51	0.47	0.34	0.35	0.30	0.46	0.41
	PCP	42	43	40	40	41	41	41
乌苏	PCD	0.34	0.30	0.29	0.27	0.23	0.27	0.29
	PCP	40	36	41	41	39	38	39
沙湾	PCD	0.25	0.35	0.29	0.28	0.23	0.31	0.28
	PCP	40	37	37	41	38	40	39
盆地	PCD	0.28	0.33	0.30	0.25	0.38	0.28	0.30
	PCP	40	38	38	40	40	4	39
南部	PCD	0.29	0.32	0.29	0.28	0.23	0.29	0.29
	PCP	40	37	39	41	38	39	39
全区	PCD	0.32	0.34	0.30	0.27	0.33	0.31	0.31
	PCP	40	38	39	41	39	40	40

从表 2 可以看出, 近 62a 年塔城地区汛期 PCD 年代际分布经历了“降低 - 升高 - 降低 - 降低 - 升高 - 降低”的交替演变, 其中 1970 年代为最高值, 其次为 2000 年代, 其后依次为 1960 年代、21 世纪初年、1980 年代, 1990 年代为最低值; 7 站汛期 PCD 年代际分布差异较大, 依据其变化特点可将其分成四型, 其中 I 型塔城、裕民、额敏, 汛期 PCD 年代际分布经历了“降低 - 升高 - 降低 - 降低 - 升高 - 降低”的演变, 其中塔城 2000 年代为最高值, 1990 年代为最低值, 裕民 1990 年代为最高值, 21 世纪初年为最低值, 额敏 1970 年代为最高值, 1990 年代为最低值; II 型托里, 汛期 PCD 年代际分布经历了“降低 - 降低 - 升高 - 降低 - 升高 - 降低”的演变, 1960 年代为最高值, 21 世纪初年为最低值; III 型乌苏, 汛期 PCD 年代际分布经历了“升高 - 降低 - 降低 - 降低 - 降低 - 升高”的演变, 1960 年代为最高值, 2000 年代为最低值; IV 型沙湾, 汛期 PCD 年代际分布经历了“降低 - 升高 - 降低 - 降低 - 降低 - 升高”的演变, 1970 年代为最高值, 2000 年代为最低值; 区域中, 盆地汛期 PCD 年代际分布经历了“降低 - 升高 - 降低 - 降低 - 升高 - 降低”的演变, 2000 年代为最高值, 1990 年代为最低值; 南部经历了“降低 - 升高 - 降低 - 降低 - 降低 - 升高”的演变, 其中 1970 年代为最高值, 2000 年代为最低值。

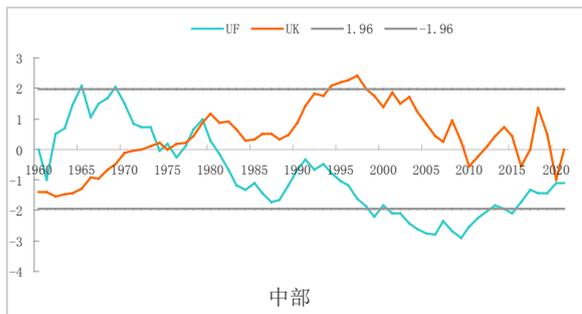
近 62a 年塔城地区汛期 PCP 年代际分布经历了“升高-降低-升高-升高-降低-升高”的演变，其中 1990 年代为最高值，其次为 1960 年代，其后依次为 21 世纪初年、2000 年代、1980 年代，1970 年代为最低值；7 站汛期 PCP 年代际分布差异较大，各不相同，其中塔城汛期 PCP 经历了“升高-降低-降低-升高-降低-升高”的演变，1990 年代为最高值，1980 年代为最低值；裕民 PCP 经历了“降低-升高-升高-降低-降低-升高”的演变，1980 年代为最高值，1960 年代为最低值；额敏 PCP 经历了“降低-升高-降低-升高-降低-降低”的演变，1990 年代为最高值，1980 年代为最低值；托里 PCP 经历了“升高-降低-升高-升高-升高-降低”的演变，1960 年代为最高值，1970 年代为最低值；和丰 PCP 经历了“降低-升高-降低-升高-升高-升高”的演变，1970 年代为最高值，1980 年代为最低值；乌苏 PCP 经历了“升高-降低-升高-升高-降低-降低”的演变，1990 年代为最高值，1970 年代为最低值；沙湾 PCP 经历了“升高-降低-升高-升高-降低-升高”的演变，1990 年代为最高值，



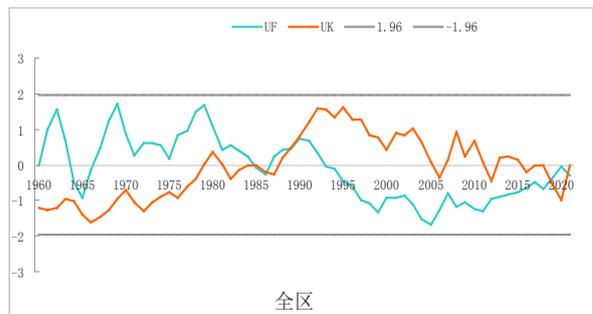
(a) 盆地



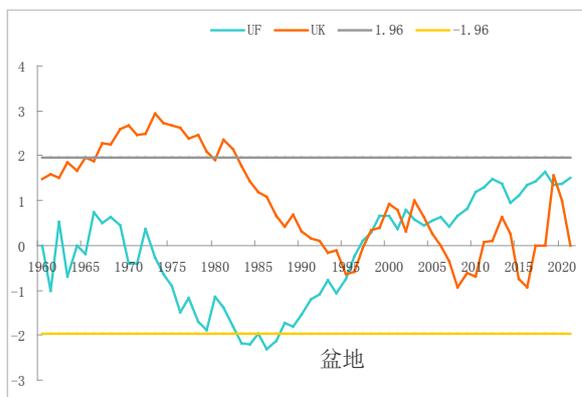
(b) 南部



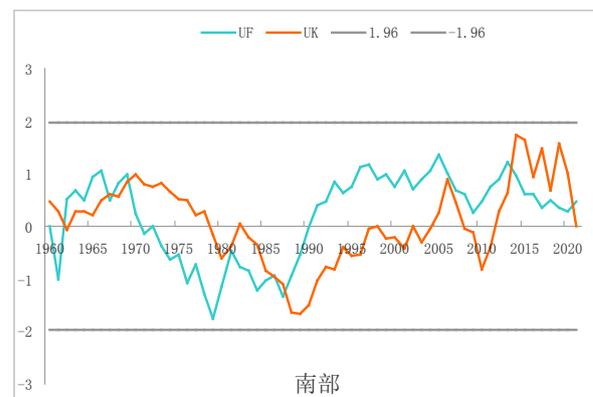
(c) 中部



(d) 全区



(e) 盆地



(f) 盆地

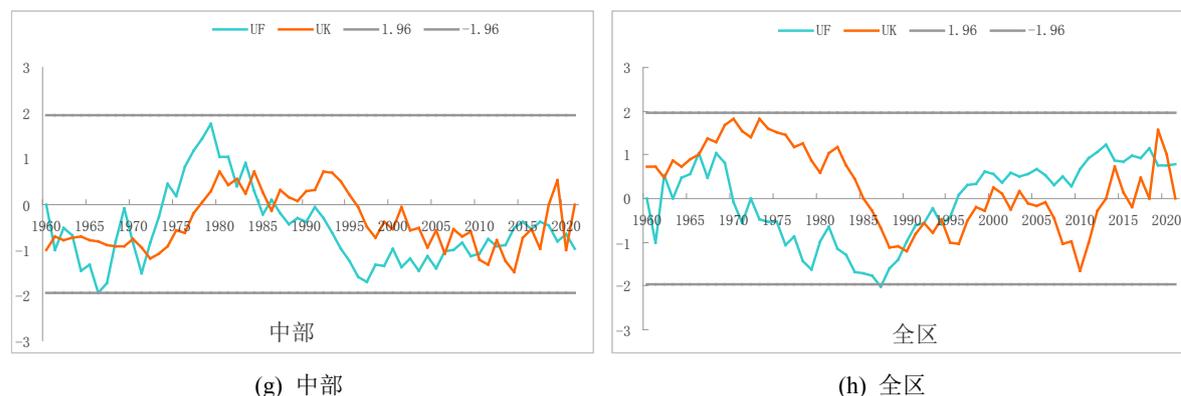


Figure 2. Abrupt change curves of PCD ((a)~(d)) and PCP ((e)~(h)) in flood season in Tacheng area
图 2. 塔城地区汛期 PCD ((a)~(d))和 PCP ((e)~(h))突变曲线

1970 年代为最低值。区域中，盆地和南部 PCP 年代际分布经历了“升高 - 降低 - 升高 - 升高 - 降低 - 升高”的演变，均以 1990 年代为最高值，1970 年代为最低值。

3.1.4. PCD 和 PCP 的突变分析

利用 M-K 突变检验方法，绘制近 62a 年塔城地区及三个区域汛期 PCD 和 PCP 突变曲线(图 2(a)~(h))，其中图 2(a)为塔城地区汛期 PCD 突变曲线，由图可知，盆地汛期 PCD 序列分别在 1980 年代初期、1990 年代初期、21 世纪初年中期发生过明显的由多到少和由少到多的突变，根据 UF_k、UB_k 曲线交点的位置，可以确定 2016 年为突变点；图 2(b)为南部汛期 PCD 突变曲线，由图可知南部汛期 PCD 序列在 20 世纪 1960 年代中期、1990 年代初至 2000 年代初期、21 世纪中期分别发生过明显的由多到少和由少到多的突变，汛期根据 UF_k、UB_k 曲线交点的位置，可以确定 2019 年为突变点；由图 2(c)可知中部 PCD 序列在 1970 年代中期、1980 年代初期、1990 年代中期发生过明显的由多到少和由少到多的突变，根据 UF_k、UB_k 曲线交点的位置，可以确定 1974 年为突变点；由图 2(d)可知全区汛期 PCD 序列在 1970 年代初期、1990 年代中期、21 世纪中期发生过明显的由多到少和由少到多的突变，根据 UF_k、UB_k 曲线交点的位置，可以确定 2019 年为突变点。

图 2(e)为塔城地区汛期 PCP 突变曲线，由图可知，盆地汛期 PCP 序列分别在 1980 年代中期、1990 年代初、2000 年代末期发生过明显的由多到少和由少到多的突变，根据 UF_k、UB_k 曲线交点的位置，可以确定 1996 年为突变点；由图 2(f)可知，南部 PCP 序列在 20 世纪 1960 年代初期、1970 年代中期、1990 年代初至 2000 年代初期发生过明显的由多到少和由少到多的突变，根据 UF_k、UB_k 曲线交点的位置，可以确定 1988 年、2014 年为突变点。由图 2(g)可知，中部 PCP 序列在 1960 年代末期、1980 年代中期、21 世纪初年发生过明显的由多到少和由少到多的突变，根据 UF_k、UB_k 曲线交点的位置，可以确定 1972 年为突变点；由图 2(h)可知，全区 PCP 序列在 1970 年代初期、1980 年代中期、2000 年代中期发生过明显的由多到少和由少到多的突变，根据 UF_k、UB_k 曲线交点的位置，可以确定 1990 年为突变点。

4. 降水异常年 PCD 和 PCP 的时空分布

4.1. 降水异常年 PCD 和 PCP 合成分析

筛选汛期降水距平百分率 $\geq 20\%$ 的年份作为多雨年，距平 $\leq -20\%$ 为少雨年，由表 3 可知，塔城地区多雨年大部分集中出现在 1980 年代以后(占 70.0%)，多雨年前 10 名的降水距平百分率介于 30.3%~73.3%，分别是 1960、1969、1972、1983、1988、1992、1993、2007、2013、2016 年；少雨年前 10 名距平百分率介于 -55.0%~-24.51%之间，分别是 1962、1974、1975、1980、1982、1991、1997、2006、2012、2014

Table 3. The rainy year and little rain in Tacheng area (Top 10)
表 3. 塔城地区多雨年和少雨年(排名前 10)

	多雨年										少雨年									
塔城	1960	1966	1988	1992	1993	1998	2005	2013	2015	2016	1962	1974	1978	1980	1982	1994	1996	1999	2006	2008
裕民	1960	1969	1970	1972	1983	1988	1992	1993	2013	2016	1962	1968	1971	1974	1975	1985	1989	1991	1997	1999
额敏	1960	1983	1988	1992	1993	1998	2003	2013	2015	2016	1962	1974	1975	1989	1990	1991	2006	2011	2012	2014
托里	1960	1972	1988	1992	1993	2002	2007	2011	2013	2016	1962	1974	1975	1984	1985	1989	1996	1997	2006	2014
和丰	1964	1969	1972	1983	1992	1993	2007	2016	2018	2019	1966	1974	1977	1978	1982	1991	1996	1997	2006	2008
乌苏	1960	1969	1983	1987	1988	1993	1999	2001	2007	2016	1962	1965	1974	1977	1979	1980	2005	2012	2018	2021
沙湾	1960	1961	1969	1987	1988	1993	1999	2007	2016	2019	1962	1965	1976	1977	1980	2000	2005	2012	2014	2020
全区	1960	1969	1972	1983	1988	1992	1993	2007	2013	2016	1962	1974	1975	1980	1987	1991	1997	2006	2012	2014

年。由上可知，多雨年和少雨年均有 2a 出现在 21 世纪以后。采用合成分析法将多雨年和少雨年的汛期 PCD 进行合成，计算可知，塔城地区汛期多雨年平均 PCD 为 0.23，少雨年 PCD 为 0.20，表明少雨年降水集中度高于多雨年，即少雨年降水集中程度高于多雨年。

4.2. 降水异常年 PCD 和 PCP 的空间分布

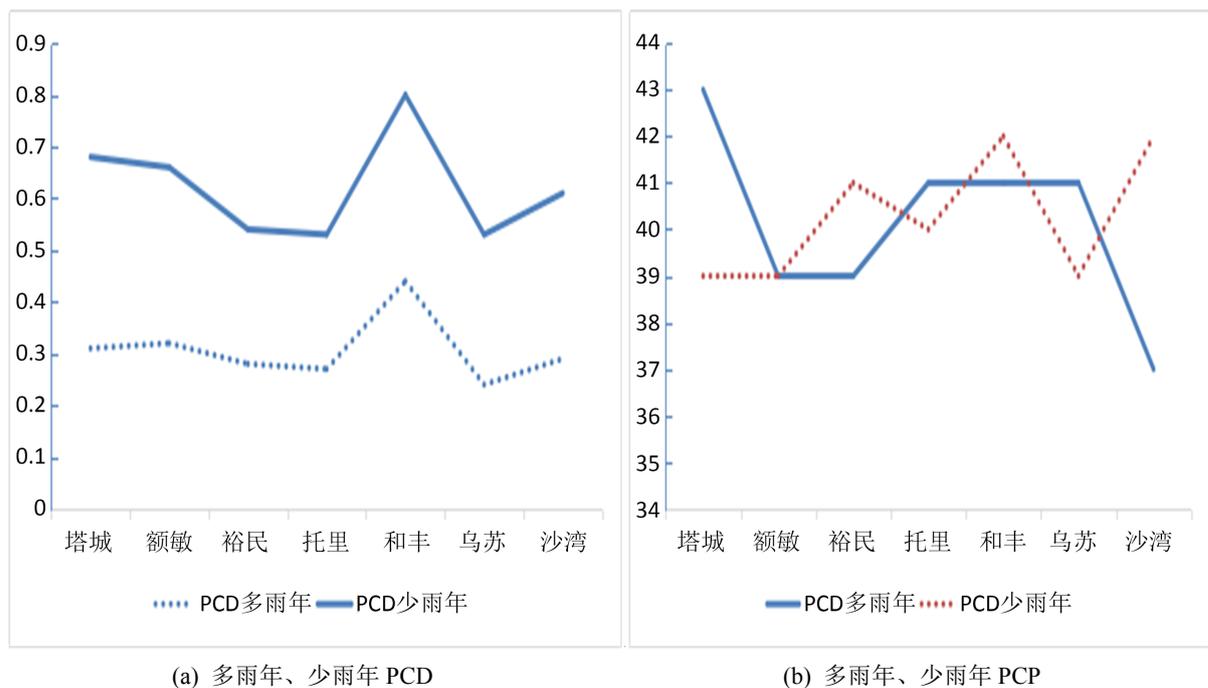


Figure 3. Spatial distribution of PCD and PCP in rainy year and little rain in Tacheng area
图 3. 塔城地区多雨年与少雨年 PCD 空间分布

由图 3 可知，塔城地区各站汛期多雨年 PCD 介于 0.24~0.44，自北向南逐渐减小，高值中心出现在中部(0.44)，低值中心出现在南部(乌苏最小，为 0.24)；汛期少雨年 PCD 介于 0.26~0.37，自北向南 PCD 高低相间出现，高值中心出现在盆地(塔城最大，为 0.37)，低值中心出现在南部(乌苏最小，为 0.24)。塔城、额敏、乌苏、沙湾少雨年 PCD 高于多雨年，说明这些站点少雨年降水集中程度高于多雨年，而裕民、

托里、和丰少雨年 PCD 低于多雨年,说明这些站点少雨年降水集中程度低于多雨年,汛期降水呈均匀化分布。

塔城地区汛期多雨年 PCP 平均为 40,少雨年 PCP 为 36,表明少雨年降水集中期明显晚于多雨年,即少雨年最大候降水量出现时间晚于多雨年。多雨年和少雨年 PCP 的空间分布明显不同,7 站汛期多雨年 PCP 介于 37~43,自北向南逐渐减小,高值中心出现在盆地(塔城最大,为 43),低值中心出现在南部(沙湾最小,为 37);汛期少雨年 PCP 介于 39~42,自北向南高低值相间出现,高值中心出现在南部(沙湾最大,为 42),低值中心出现在盆地(塔城最小,为 39)。裕民、额敏、和丰、沙湾少雨年 PCP 高于多雨年,说明这些站点少雨年降水集中程度高于多雨年,而塔城、托里、乌苏少雨年 PCP 低于多雨年,说明这些站点少雨年降水集中程度低于多雨年,汛期最大候降水出现时间晚于多雨年。

综上所述,塔城地区汛期多雨年和少雨年 PCD 和 PCP 的空间分布差异较大,PCD 多雨年高值中心出现在中部,低值中心出现在南部,而少雨年高低值中心均出现在盆地;PCP 多雨年高值中心出现在盆地,低值中心出现在南部,少雨年高值中心出现在南部,低值中心出现在盆地。

5. PCD、PCP 影响因子分析

Table 4. Correlation coefficients between flood season precipitation and PCD and PCP in Tacheng area

表 4. 塔城地区汛期降水与 PCD、PCP 相关系数

		塔城	裕民	额敏	托里	和丰	乌苏	沙湾	盆地	南部	全区
汛期降水	PCD	-0.27*	-0.06 ⁻	-0.04 ⁻	-0.10 ⁻	0.13 ⁻	-0.13 ⁻	-0.11 ⁻	0.06 ⁻	-0.10 ⁻	0.08 ⁻
	PCP	0.19 ⁻	-0.15 ⁻	0.08 ⁻	0.05 ⁻	-0.04 ⁻	0.07 ⁻	-0.30*	0.05 ⁻	-0.15 ⁻	-0.02 ⁻
汛期降水距平	PCD	0.01 ⁻	-0.06 ⁻	-0.04 ⁻	-0.10 ⁻	0.20 ⁻	-0.13 ⁻	-0.11 ⁻	0.06 ⁻	-0.10 ⁻	0.08 ⁻
	PCP	0.20 ⁻	-0.15 ⁻	0.08 ⁻	0.05 ⁻	-0.06 ⁻	0.06 ⁻	-0.30*	0.05 ⁻	-0.15 ⁻	0.02 ⁻
汛期降水距平百分率	PCD	0.01 ⁻	-0.06 ⁻	-0.04 ⁻	-0.10 ⁻	0.20 ⁻	-0.13 ⁻	-0.11 ⁻	0.06 ⁻	-0.10 ⁻	0.08 ⁻
	PCP	0.20 ⁻	-0.15 ⁻	0.08 ⁻	0.05 ⁻	-0.06 ⁻	0.06 ⁻	-0.30*	0.05 ⁻	-0.15 ⁻	0.02 ⁻

注: ⁻为未通过显著性水平检验,*为通过 0.05 的显著性水平检验。

使用相关分析方法,分析了 PCD、PCP 与汛期降水、降水距平、降水距平百分率的关系,由表 4 可以看出,塔城地区汛期降水与 PCD 呈弱的不显著正相关(未通过显著性水平检验,相关系数 0.08),7 站中仅和丰呈弱的不显著正相关(未通过显著性水平检验,相关系数为 0.13),塔城呈显著负相关(通过了 0.05 的显著性检验,相关系数-0.27),说明塔城汛期降水偏多时,PCD 集中程度弱,其余各站相关系数介于-0.04~-0.27,均呈不显著负相关(未通过显著性水平检验),这与赵勇[20]所述天山以南以正相关为主,天山以北以负相关为主的结论一致,区域中仅南部呈不显著负相关,盆地及中部均呈不显著正相关。塔城地区汛期降水距平、降水距平百分率与 PCD 均呈弱的不显著正相关(未通过显著性水平检验,相关系数 0.08),7 站中仅和丰、塔城为弱的不显著正相关(未通过显著性水平检验,相关系数分别为 0.20、0.01),其余各站均为不显著负相关(未通过显著性水平检验,相关系数介于-0.04~-0.13),区域中仅南部呈不显著负相关,盆地及中部均呈不显著正相关。

塔城地区汛期降水与 PCP 为弱的不显著正相关(未通过显著性水平检验,相关系数 0.02);7 站相关系数自北向南减小,其中最大值 0.19,出现于塔城,最小值-0.30,出现于沙湾,7 站中有 57%的站点表现为不显著正相关(塔城、额敏、托里、乌苏),相关系数介于 0.05~0.19,表明这些区域降水偏多时,最大候降水出现的日期越晚(推迟),有 43%的站点表现为负相关(裕民、和丰、沙湾),相关系数在-0.05~-0.30,表明这些区域降水偏多时,最大候降水出现的日期越早(提前),其中仅沙湾相关系数为-0.30,表现为显

显著相关(通过了 0.05 的显著性水平检验), 表明沙湾汛期降水偏多时, PCP 推迟的可能性较大; 区域中仅盆地弱的正相关(未通过显著性水平检验, 相关系数 0.05), 南部和中部均表现为不显著负相关。塔城地区汛期降水距平、降水距平百分率与 PCP 为弱的正相关(未通过显著性水平检验, 相关系数 0.02), 7 站中有 57% 的站点表现为不显著正相关(塔城、额敏、托里、乌苏), 相关系数在 0.05~0.20, 表明这些区域降水量越大, 最大候降水出现的日期越晚, 有 43% 的站点表现为负相关(裕民、和丰、沙湾), 相关系数在 -0.06~-0.30, 其中仅沙湾相关系数为 -0.30, 表现为显著负相关(通过了 0.05 的显著性水平检验), 表明沙湾降水量越大, 最大候降水出现的日期越早; 区域中仅盆地弱的正相关(未通过显著性水平检验, 相关系数 0.05), 南部和中部均表现为不显著负相关。

综合来看, 塔城地区 PCD 和 PCP 与汛期降水、降水距平、距平百分率均呈正相关, 但相关系数均较小; 各站及各区域相关性各不相同, 差异较大, 其中 PCD 与汛期降水、汛期降水距平、距平百分率基本为负相关, PCP 以正相关为主; 比较而言, PCP 与汛期降水、降水距平、距平百分率降水量的正相关程度更高, 表明当塔城地区汛期降水偏多时, 最大候降水出现日期越晚(推迟)。

6. 结论与讨论

1) 塔城地区汛期 PCD 波动幅度介于 0.26~0.41, 平均为 0.31, 呈逐年微弱增加趋势(0.01/10a), 表明汛期降水趋于均匀化; 汛期 PCP 波动幅度介于 39~41 候, 平均为第 36 候, 呈逐年显著推迟趋势(-1.05 候/10a), 表明汛期降水明显推后;

2) 塔城地区汛期 PCD 经历了“降低-升高-降低-降低-升高-降低”的演变, 其中 1970 年代为最高值, 1990 年代为最低值; 汛期 PCP 经历了“升高-降低-升高-升高-降低-升高”的演变, 其中 1990 年代为最高值, 1970 年代为最低值; 各站及各区域汛期 PCD 和 PCP 年代际分布差异较大。

3) 塔城地区汛期 PCD 序列在 1970 年代初期、1990 年代中期、21 世纪中期发生过一次明显的由多到少和由少到多的突变, 2019 年为突变点; 汛期 PCP 序列分别在 1970 年代初期、1980 年代中期、2000 年代中期发生过一次明显的由多到少和由少到多的突变, 1990 年为突变点。

4) 塔城地区 PCD 和 PCP 与汛期降水、降水距平、距平百分率均呈现正相关, 但相关系数均较小; 各站 PCD 与汛期降水、汛期降水距平、距平百分率基本为负相关, PCP 以正相关为主; 比较而言, PCP 与汛期降水、降水距平、距平百分率降水量的正相关程度更高, 表明当塔城地区汛期降水偏多时, 最大候降水出现日期越晚(推迟)。

5) 塔城地区多雨年的集中度比少雨年大(或少雨年的 PCD 较多雨年偏小), 多雨年的集中期比少雨年晚(或少雨年的 PCP 比多雨年早), 各站空间分布较大差异。

6) 长期以来气象工作者多用现有气象资料来分析降水的多寡或非均匀性变化, 但人类活动诸如城市化带来的大量土地利用变化、城市化带来的大量人为排放, 是否会对降水的集中度和集中期带来影响, 需要利用各种资料结合起来对其进行综合分析, 可能更有助于提高对降水成因的分析, 进而对城市洪涝管理提供依据。

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变化特征及其对大气环流因子的响应(MS202307)和托里县夏季致洪暴雨形成机理研究”(MS202217)和 2021~2022 年塔城地区气象局局管课题“1960~2021 年塔城地区汛期降水集中度和集中期时空变化特准分析”共同资助。

参考文献

[1] 翟盘茂, 任福民. 中国降水极值变化趋势检验[J]. 气象学报, 1999, 57(2): 208-216.

- [2] 郭艳君, 孙安健. 我国西北地区夏季旱涝气候特征研究[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(5): 97-102.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 薛燕, 韩萍, 冯国华. 半个世纪以来新疆降水和气温的变化趋势[J]. 干旱区研究, 2003, 20(2): 127-130.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 李少娟, 钱永甫. 中国降水年内分配的时空演变特征之新法研究[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(3): 314-321.
- [10] 杨远东. 河川径流年内分配的计算方法[J]. 地理学报, 1984, 39(2): 218-227.
- [11] 张录军, 钱永甫. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究[J]. 地球地理学报, 2004, 47(4): 622-630.
- [12] 孔锋, 方佳毅, 刘凡, 等. 1951-2012 年中国降水集中度和集中期的时空格局[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2015, 51(4): 404-411.
- [13] 张天宇, 程炳岩, 王记芳, 等. 华北雨季降水集中度和集中期的时空变化特征[J]. 高原气象, 2007, 26(4): 843-853.
- [14] 张文, 张天宇, 刘剑. 东北降水过程年集中度和集中期的时空变化特征[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(3): 403-410.
- [15] 王米雪, 延军平. 1960-2013 年中国东南沿海地区年内降水集中度和集中期的时空变化特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 277-282, 287.
- [16] 胡丽莉, 李玲萍, 郭小芹. 河西走廊东部汛期降水集中度和集中期特征分析[J]. 干旱区研究, 2016, 33(4): 758-765.
- [17] 纳丽, 李欣, 朱晓炜, 等. 宁夏近 50a 降水集中度和集中期特征分析[J]. 干旱区地理, 2012, 35(5): 724-731.
- [18] 任志艳, 延军平, 王鹏涛. 1960-2012 年内蒙古降水集中度和集中期特时空变化[J]. 中国沙漠, 2016, 36(3): 760-766.
- [19] 蒋丽娟, 施能, 周文志, 等. 桂林市汛期降水集中度和集中期与旱涝关系的研究[J]. 气象研究与应用, 2007, 28(3): 23-26.
- [20] 赵勇, 闵岫, 秦贺, 等. 北疆汛期降水集中程度的特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2011, 5(3): 6-11.
- [21] 张林梅, 庄晓翠, 胡磊, 等. 新疆阿勒泰地区汛期降水集中度和集中期的时空变化特征[J]. 中国农业气象, 2009, 30(4): 501-508.
- [22] 苗运玲, 张云惠, 卓世新, 等. 东疆地区汛期降水集中度和集中期的时空变化特征[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 949-956.
- [23] 苗运玲, 卓芝正, 张军, 等. 乌鲁木齐汛期降水集中度和集中期时空变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(4): 9-16.
- [24] 井立红, 井立军, 高婧, 等. 塔城地区积雪变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2009, 3(1): 35-40.
- [25] 井立红, 井立军, 高婧, 等. 塔城地区日照时数变化特征及影响因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(7): 120-126.
- [26] 高婧, 井立军, 李新东, 等. 新疆塔城地区雷暴时空分布及变化特征[J]. 干旱区地理, 2010, 33(1): 37-44.
- [27] 高婧, 井立军, 井立红, 等. 新疆塔城地区大风年际振荡及环流背景[J]. 干旱区地理, 2011, 34(2): 284-291.
- [28] 井立红, 高婧, 秦榕, 等. 塔城地区 1960-2018 年季节性冻土变化特征及其影响因子分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(3): 88-93.
- [29] 井立红, 井立军, 高婧, 等. 塔城地区 1960-2005 年高温天气演变特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2007, 1(5): 32-37.
- [30] 井立红, 高婧, 李新东, 等. 塔城地区干旱时空分布及变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(7): 58-64.
- [31] 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.