

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. [MIAO Yunling, ZHANG Yunhui, ZHUO Shixin, et al. Spatial and Temporal Variation Characteristics of PCD and PCP in Eastern Xinjiang in Flood Season[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(6):949-956], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-0949

东疆地区汛期降水集中度和集中期的时空变化特征

苗运玲¹,张云惠²,卓世新²,张志高³

(1. 新疆乌鲁木齐市气象局, 新疆 乌鲁木齐 830006; 2. 新疆气象局, 新疆 乌鲁木齐 830002;
3. 安阳师范学院资源环境与旅游学院, 河南 安阳 455000)

摘要:利用东疆地区6个国家气象站1961—2016年汛期(5—9月)逐日降水序列资料,分析了东疆地区降水集中度(PCD)和集中期(PCP)的时空分布特征和变化规律。结果表明:近56 a来,东疆地区汛期PCD平均为0.35,呈逐年微弱减小趋势($-0.02 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$),表明汛期降水趋于均匀化;汛期PCP平均为35.0候,呈逐年推迟趋势($0.45 \text{ 候} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$),表明汛期降水有所推后。汛期PCD和PCP空间分布不均匀,南部平原大、北部山区小,最小值均出现在天山北麓巴里坤。汛期PCD和PCP在整个时段内都存在13 a左右的长周期变化,且前者在1996年发生突变,以下降趋势为主,表明降水集中度逐渐减弱,趋于均匀化。通过汛期降水量与汛期PCD、PCP的相关合成分析,发现少水年PCD较多水年偏大,而多水年PCP较少水年偏晚。

关键词:汛期;降水;集中度;集中期;时空分布

文章编号:1006-7639(2017)06-0949-08 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-0949

中图分类号:P426.62⁺3

文献标志码:A

引言

降水是调节水循环过程中最基本的环节,是地表径流的本源及地下水的主要补给来源,降水在空间分布上的不均匀和时间变化上的不稳定是引发洪灾和旱灾的最直接原因。近百年来,全球气候正经历一次以变暖为主要特征的显著变化。IPCC第四次评估报告指出,随着全球气候的变暖,极端天气气候事件发生的频率和强度也随之发生改变^[1-2]。其中,全球变暖对大气降水格局影响尤为突出,极端降水事件的强度和频率不断增加^[3-4],降水时空分布的非均匀性加剧^[5]。近年来,国内众多学者针对降水从不同角度、方法等进行了大量研究^[6-14],这些研究主要围绕降水的长期变化趋势、时空分布特征或是某次极端降水过程个例等展开分析,无法突出某个地区在某一时期内降水量最大值或最小值的变化特征,而降水这种非均匀性变化正是导致某一区域洪涝或干旱事件最重要的因素^[15]。为此,杨远东

等^[16]、张录军等^[17]把月或候降水量看作矢量,提出运用降水集中度(PCD)和集中期(PCP)来度量降水年内非均匀分配特征,这2个参数指标能够较好反映降水量在时间分布上的非均匀性。随后,国内众多学者通过该方法对华北^[18]、东北^[19]、东南沿海^[20]、宁夏^[21]、新疆^[22]等地降水进行研究,揭示PCD和PCP的时空分布特征、变化规律及降水事件的年内分布特征。

东疆位于新疆最东部,天山的尾部,远离海洋,属于温带大陆性干旱半干旱气候,地形复杂,地势南北差异大,年内降水分布极不均匀,特别是汛期降水在时间、空间上的非均匀分布,极易形成局部区域旱涝灾害,严重制约当地经济的可持续发展和人民生活水平。目前对东疆地区降水的研究多侧重于环流形势、气候特征及时空分布^[23-24],而针对其降水尤其是汛期降水时间上的非均匀性研究还少见。因此,本文利用PCD和PCP参数,对东疆地区汛期降水的时间、空间分布特征及变化规律进行研究,以期

收稿日期:2017-05-17;改回日期:2017-08-31

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(IDM2016001)和国家自然科学基金(41602366)共同资助

作者简介:苗运玲(1976—),女,高级工程师,研究方向为新疆灾害性天气机理分析。E-mail:1360455877@qq.com。

提高汛期降水的预报、预测能力,为合理利用当地水资源和防灾减灾提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料

新疆地处天山尾部,东天山余脉横贯全境,将其分为南、北两个封闭式盆地,地势北高南低,且由东北向西南倾斜,地形地貌极为复杂(图1)。选取东疆地区6个国家级基准、基本气象站1961—2016年5—9月逐日降水量资料,该数据由新疆维吾尔自治区气象信息中心提供,经过了严格的数据质量控制处理。气候平均值时段为1981—2010年。

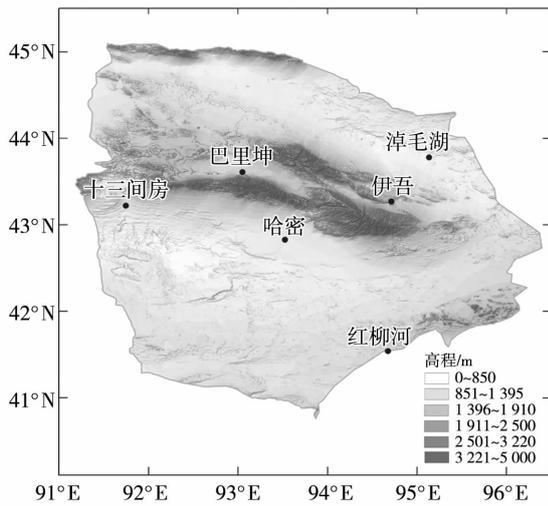


图1 东疆地区地形与气象站点分布

Fig. 1 The terrain and the spatial distribution of meteorological stations in eastern Xinjiang

1.2 降水集中度(PCD)和集中期(PCP)的定义

对表征单站降水量时间分配特征的降水集中度(precipitation concentration degree, PCD)和集中期(precipitation concentration period, PCP)参数采用张录军等^[17]定义的方法,即将1候的降水量值看作向量的长度,而相对应的候则作为向量的方向。该方

法是将某月或某候的降水量作为降水量矢量的模,研究时段看作是一个圆,该月或候与圆上0°的夹角为该矢量的方向,将多个月或候的降水量矢量进行合成,合成后的模与总降水量的比值定义为集中度,合成后的矢量方位角定义为集中期^[25]。计算公式如下:

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

$$PCP = \arctan \frac{R_{xi}}{R_{yi}} \tag{2}$$

其中:

$$\begin{cases} R_{xi} = \sum_{j=1} (r_{ij} \cdot \sin \theta_j) \\ R_{yi} = \sum_{j=1} (r_{ij} \cdot \cos \theta_j) \end{cases} \tag{3}$$

式中: R_i 为研究时段内的总降水量(mm), R_{xi} 、 R_{yi} 分别为研究时段内水平和垂直方向的降水量(mm); r_{ij} 为研究时段内某候降水量(mm); θ_j 为研究时段内各候对应的方位角(整个研究时段方位角设为360°); i 为年份序列($i = 1961, 1962, \dots, 2016$); j 为研究月份(5—9月)内候序列($j = 25 \sim 54$ 候)。

由公式(1)和(2)可知,PCD能够反映降水总量在研究时段内各个候的集中程度,取值在0.0~1.0之间。若在研究时段内,降水集中在某一候,则它们合成向量的模与降水总量之比为1,即PCD为极大值;若每个候的降水量都相等,则其各个分量累加后为0,即PCD为极小值。PCP则是合成向量的方位角,指示每个候降水量合成后的总体效应,即向量合成后所指示的最大角度,反映了最大候降水量出现在哪一个时段内。东疆汛期逐候方位角见表1。

另外,采用了线性趋势分析、相关分析、标准差分析、M-K突变检验、Morlet小波分析等统计方法,研究东疆地区汛期降水PCD和PCP时空分布特征。为了检验气候要素转折是否达到突变的标准,对突变点进行信噪比S/N检验,公式如下:

$$S/N = \frac{|\bar{x}_a - \bar{x}_b|}{S_a + S_b} \tag{4}$$

表1 东疆汛期(5—9月)逐候方位角

Tab. 1 The corresponding azimuth in pentads of flood season (from May to September) in eastern Xinjiang

5月	6月	7月	8月	9月
25候, [0°, 12°]	31候, (72°, 84°]	37候, (144°, 156°]	43候, (216°, 228°]	49候, (288°, 300°]
26候, (12°, 24°]	32候, (84°, 96°]	38候, (156°, 168°]	44候, (228°, 240°]	50候, (300°, 312°]
27候, (24°, 36°]	33候, (96°, 108°]	39候, (168°, 180°]	45候, (240°, 252°]	51候, (312°, 324°]
28候, (36°, 48°]	34候, (108°, 120°]	40候, (180°, 192°]	46候, (252°, 264°]	52候, (324°, 336°]
29候, (48°, 60°]	35候, (120°, 132°]	41候, (192°, 204°]	47候, (264°, 276°]	53候, (336°, 348°]
30候, (60°, 72°]	36候, (132°, 144°]	42候, (204°, 216°]	48候, (276°, 288°]	54候, (348°, 360°]

式中: \bar{x}_a 、 \bar{x}_b 、 S_a 、 S_b 分别为转折年份前后两时段要素的平均值和标准差,规定 $S/N > 1$ 时,则认为该年存在突变,否则不存在突变^[26]。

2 东疆汛期降水量时空分布特征

东疆地区年平均降水量在 243 ~ 707 mm,5—9 月降水量占全年降水量的 57.7% ~ 80.6%。因此,重点研究 5—9 月降水量,同时把该时期看作东疆地区的降水汛期。

从东疆地区汛期降水的空间分布[图 2(a)]可知,汛期降水量由南部平原向北部山区逐渐增加,最大降水中心出现在天山北麓的巴里坤(142.3 mm),最小出现在东北部的淖毛湖(11.9 mm),这与年降水量的空间分布相似(图略)。从汛期降水量标准差空间分布[图 2(b)]可见,标准差变率最大的也是巴里坤,其次是伊吾,最小的是淖毛湖,其空间

分布趋势与汛期降水基本一致。标准差变率越大,降水的稳定性愈差,通常发生洪涝灾害的可能性也越大。

从东疆地区汛期降水距平百分率的年际变化(图 3)可知,汛期降水距平百分率总体呈增加趋势,以 $5.71\% \cdot (10 a)^{-1}$ 的速率显著增加(通过 0.05 显著性检验),降水距平百分率在 -54.7% (2001 年) ~ 84.1% (2015 年),变率较大,容易形成干旱或洪涝灾害。从 9 a 滑动平均曲线看出,东疆地区汛期降水距平百分率阶段性变化明显,总体呈现“升高 - 降低 - 升高”的趋势演变。其中,1960—1970 年代中后期汛期降水长时间维持在负距平状态,降水处于偏少期,主要以干旱少雨为主;1980 年代末至 1990 年代末以正距平为主,降水处于偏多状态;2000 年代再次以负距平为主,降水处于偏少状态;2012 年以后降水又以偏多状态为主。

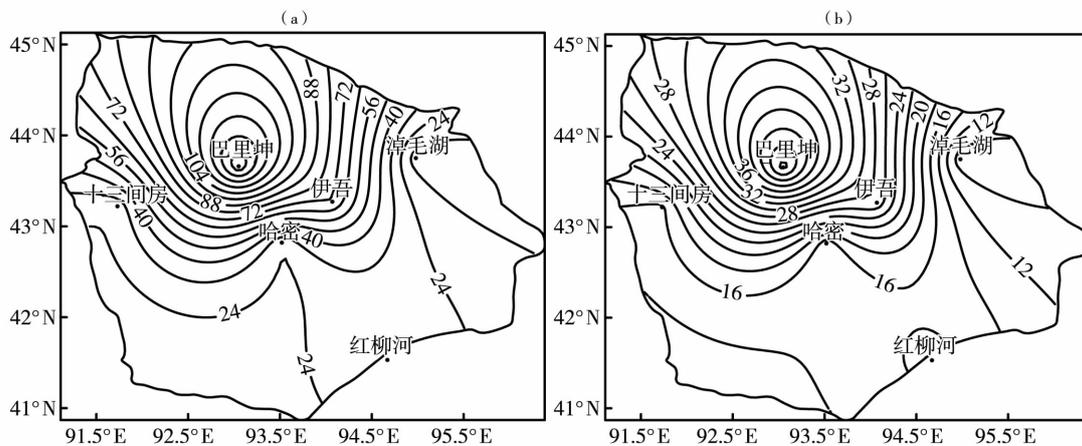


图 2 1961—2016 年东疆地区汛期降水量(a)及其标准差(b)空间分布(单位:mm)

Fig. 2 Spatial distribution of precipitation in flood season (a) and its standard deviation (b) in the east of Xinjiang during 1961 - 2016 (Unit:mm)

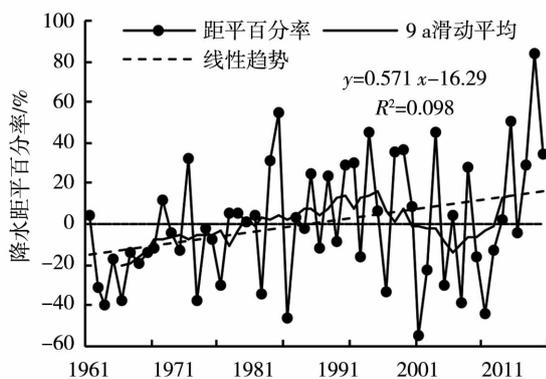


图 3 1961—2016 年东疆地区汛期降水量距平百分率变化

Fig. 3 Change of precipitation anomaly percentage in flood season during 1961 - 2016 in the east of Xinjiang

3 东疆汛期 PCD 和 PCP 时空变化特征

3.1 汛期 PCD 和 PCP 的年际变化

1961—2016 年东疆地区汛期 PCD 变化范围为 0.07 ~ 0.70,平均为 0.35,年际变化较大。当 PCD 大于多年平均值时,则认为该年汛期降水在时间分布上较集中;当 PCD 小于多年平均值时,表明该年汛期降水在时间分布上比较均匀^[27]。图 4 为 1961—2016 年东疆地区汛期 PCD 和 PCP 的年变化,可以看出,近 56 a 东疆地区汛期 PCD 整体呈逐年减小趋势,且通过了 0.05 显著性检验,递减率为 $-0.02 \cdot (10 a)^{-1}$ [图 4(a)],表明降水集中度有所减小,即汛期降水在时间分布上趋于均匀化,且均匀化趋势较显著,最低值出现在 1985 年。从汛期 PCD

的年代际距平(表 2)变化可知,1960 年代、1980 年代汛期 PCD 为正距平,说明这 2 个年代该地区降水比较集中,特别是 1960 年代中有 8 a 汛期 PCD 大于多年平均值,表明该阶段降水集中度较其他时期表现明显;其余年代汛期 PCD 为负距平,特别是 2000 年代表现最明显,表明该阶段降水集中程度明显减弱;2011—2016 年汛期 PCD 虽为负距平,但较前 10 a 明显增大,从 -0.06 增大到 -0.02 ,表明 PCD 集中程度逐渐从不集中趋于集中。

当 PCP 大于多年平均值,认为该年汛期降水集中期出现较晚;当 PCP 小于多年平均值,则认为降水集中期出现较早^[27]。经统计,近 56 a 东疆地区汛期 PCP 平均值为 35.0 候(6 月第五候),最大值(最晚)为 47.5 候(8 月第五候),出现在 1982 年和 2004 年,最小值(最早)为 25.2 候(5 月第一候),出现在 1998 年;东疆地区 PCP 偏早、偏晚年各占一半。从图 4(b)可知,东疆地区汛期 PCP 呈逐年推迟趋势,推迟率为 -0.45 候 $\cdot (10 a)^{-1}$,但未通过显著性检验,表明该地区汛期 PCP 推迟并不显著。另外从表 2 可见,1960 年代、1990 年代及 2000 年代汛期 PCP 为负距平,小于多年平均值,说明这 3 个时期 PCP 在年代际尺度上有提前的趋势,其他时期均为正距平,大于多年平均值,特别是近 6 a 较多年平均值明显偏大,PCP 为 42.6 候(7 月第六候),说明该阶段 PCP 呈明显推迟状态。

3.2 汛期 PCD 和 PCP 的空间分布

从 1961—2016 年东疆地区汛期 PCD 空间分布[图 5(a)]看出,汛期 PCD 大致自南部平原向北部山区逐渐减小,位于东北端的淖毛湖汛期 PCD 最大,达 0.61,而地处天山北麓的巴里坤汛期 PCD 最小,形成一低值中心,中心值仅有 0.31,仅是淖毛湖 PCD 的一半,这种空间分布与汛期降水完全相反,说明降水量越大则降水集中程度越弱,反之集中程

表 2 1961—2016 年东疆地区汛期 PCD 和 PCP 的年代际距平

Tab. 2 Decadal anomalies of PCD and PCP in flood season in the east of Xinjiang during 1961—2016

时间	PCD	PCP/候
1961—1970 年	0.10	-3.8
1971—1980 年	-0.04	2.5
1981—1990 年	0.02	2.7
1991—2000 年	-0.01	-3.9
2001—2010 年	-0.06	-2.0
2011—2016 年	-0.02	7.5

度越明显。

从汛期 PCP 空间分布[图 5(b)]来看,东疆地区汛期 PCP 等值线基本呈东北—西南向的带状分布,且 PCP 值由北向南逐渐增大,与 PCD 的空间分布差异较大。其中,东南部的红柳河 PCP 值最大,即汛期 PCP 出现较晚,在 36.7 候(6 月第六候),其次是天山南部的哈密市,为 36.3 候,而天山北麓的巴里坤汛期 PCP 值最小,即汛期 PCP 出现最早,为 34.5 候(6 月第四候)。

3.3 汛期 PCD 和 PCP 的周期特征

为进一步研究东疆地区近 56 a 汛期 PCD 和 PCP 的周期变化特征,分别对其时间序列进行 Morlet 小波分析(图 6)。从图 6(a)看出,近 56 a 东疆地区汛期 PCD 一直存在 6 a 左右的短周期和 13 a、28 a 左右的长周期变化,其中 28 a 左右的长周期变化具有全域性,呈现出“集中—分散—集中—分散—集中”的演变特征;1970 年代中期以后还存在 10 a 左右的周期变化。另外,从 2012 年开始汛期降水集中程度有所加大,且至今尚未形成正值闭合中心,预计未来东疆地区汛期 PCD 逐渐趋于集中的程度仍将持续。

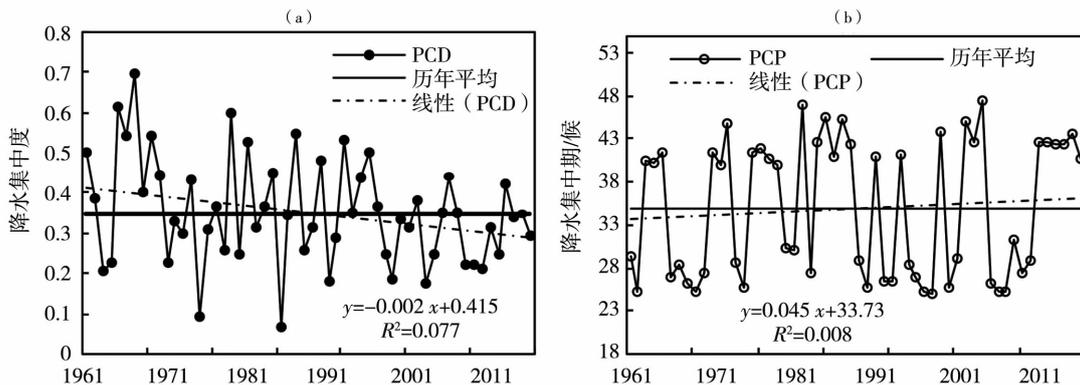


图 4 1961—2016 年东疆地区汛期 PCD(a) 和 PCP(b) 年际变化

Fig. 4 Interannual variations of PCD (a) and PCP (b) in flood season in the east of Xinjiang during 1961—2016

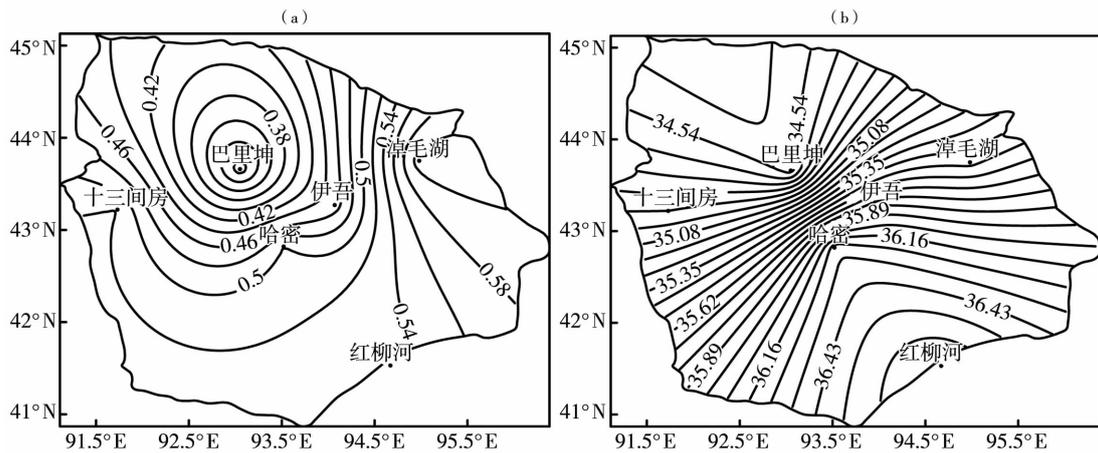


图 5 1961—2016 年东疆地区汛期 PCD(a) 和 PCP(b) 空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of PCD (a) and PCP (b) in flood season in the east of Xinjiang during 1961 - 2016

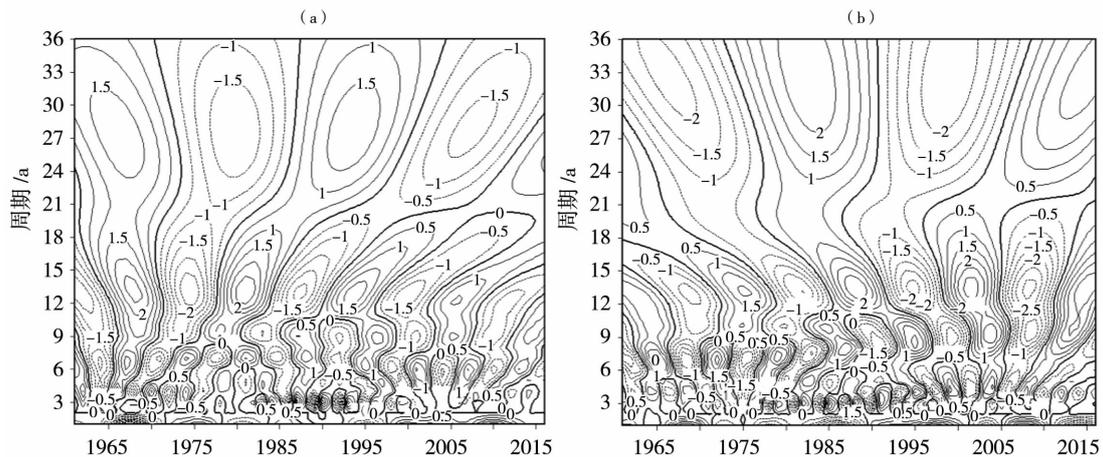


图 6 1961—2016 年东疆地区汛期 PCD(a) 和 PCP(b) 的 Morlet 小波分析

Fig. 6 Wavelet coefficients of PCD (a) and PCP (b) in flood season in the east of Xinjiang during 1961 - 2016

近 56 a 东疆地区汛期 PCP 存在 13 a 和 33 a 左右的长周期变化[图 6(b)], 其中 33 a 左右的周期变化具有全域性, 经历“提前 - 推迟 - 提前 - 推迟”规律变化; 在 1970 年代末期到 1990 年代中期存在 3 a 左右的短周期, 1960—1980 年代存在 7 a 左右的周期变化, 1970 年代中期以后还存在 10 a 左右的周期变化。2010 年以后汛期 PCP 进入偏晚期, 且等值线未形成正值闭合中心, 预计未来东疆地区汛期 PCP 推迟趋势还将持续。

3.4 汛期 PCD 和 PCP 的突变分析

为了突出 1961—2016 年东疆地区汛期 PCD 和 PCP 较长时间变化的信号, 采用 Mann - Kendall 法进行变化趋势及突变分析。由图 7(a) 可知, UF 和 UB 曲线在 ± 1.96 临界线范围内出现多个交点, 特别是在 1970 年代中期到 1990 年代中期表现最为突出。通过信噪比检验发现, 只有 1996 年信噪比大于 1 ($S/N = 1.11$), 表明该年是汛期 PCD 的突变年, UF

表现为下降趋势, 2010 年开始 UF 虽超过临界线, 但仅维持了 2 ~ 3 a, 表明汛期 PCD 下降趋势不太显著, 而 2012 年以后又有微弱的上升, 表明汛期 PCD 不集中程度逐渐减小。由图 7(b) 可知, 东疆地区汛期 PCP 的 UF 和 UB 曲线在 ± 1.96 临界线范围内也出现多个交点, 通过信噪比检验发现, 所有交点 $S/N < 1$, 说明汛期 PCP 在研究时段内没有发生突变。

3.5 汛期降水与 PCD 和 PCP 的相关合成分析

为了解东疆地区汛期降水量与汛期 PCD、PCP 的关系, 进行了相关分析。从图 8(a) 可见, 汛期 PCD 与汛期降水量之间正相关和负相关区域各占一半, 且相关性自天山山脉向南逐渐递增。其中, 天山以北以负相关为主, 这与赵勇等^[28]的研究结论相一致; 天山以南以正相关为主, 且哈密市以南通过 0.05 显著性检验, 说明东疆地区南部汛期降水偏多时, PCD 偏小的可能性较大。从汛期降水量与汛期 PCP 之间的相关系数[图 8(b)] 可知, 东疆地区大部

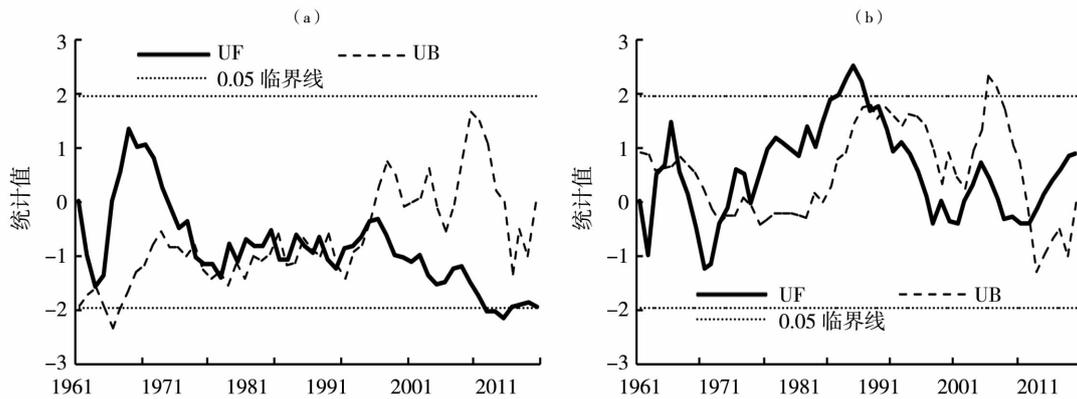


图7 1961—2016年东疆地区汛期PCD(a)和PCP(b)突变分析
 Fig. 7 Mutation analyses of PCD (a) and PCP (b) detected by Mann - Kendall method in the east of Xinjiang during 1961 - 2016

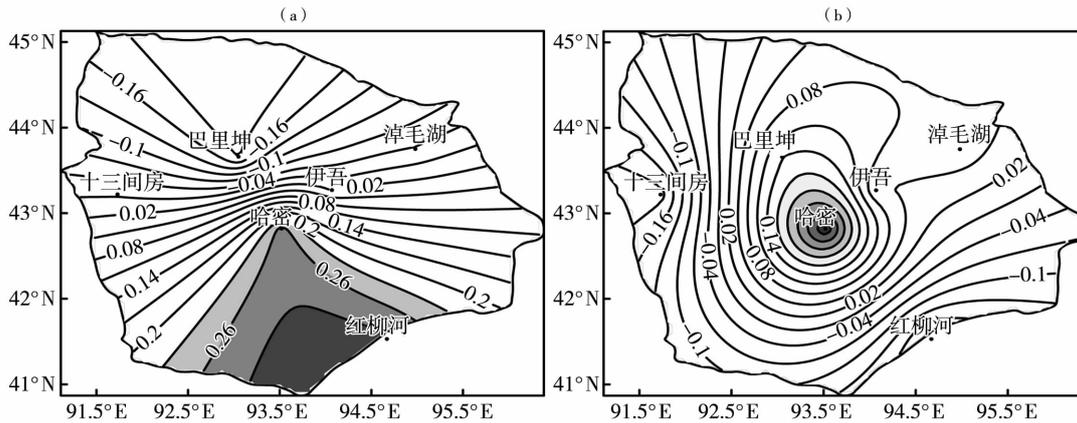


图8 1961—2016年东疆地区汛期PCD(a)和PCP(b)与汛期降水量的相关系数空间分布
 (阴影部分通过0.05显著性检验)

Fig. 8 The spatial distribution of correlation coefficients between PCD (a) , PCP (b) and precipitation in flood season in the east of Xinjiang from 1961 to 2016
 (The shaded passed the significance test at 0.05 level)

分站汛期PCP与汛期降水量呈正相关(红柳河、十三间房除外),正相关系数自中间向四周逐渐减小,其中天山南部哈密相关系数(0.314)最高,且通过0.05显著性检验,表明东疆地区中部汛期降水偏多时,PCP推迟的可能性大。

为了进一步研究东疆地区汛期降水的年际变化,筛选汛期降水距平大于等于20%的年份作为多水年,距平小于等于-20%为少水年。由表3可知,

多水年大部分集中出现在1990年代以后(占多水年的75.0%),严重偏多年前5名的降水距平百分率在44.62%~84.08%之间,分别是1984、1995、2003、2012和2015年;严重偏少年前5名距平百分率为-54.67%~-39.01%,分别是1963、1985、2001、2006和2009年。由上可知,严重偏多年和偏少年中均有3a出现在21世纪以后,这可能与全球气候变暖有一定的关系,还有待于进一步探讨。

表3 1961—2016年东疆地区汛期降水多水年和少水年

Tab. 3 The years with more and less rainfall in flood season in the east of Xinjiang during 1961 - 2016

多水年	少水年
1973、1983、1984、1988、1990、1992、1993、1995、1998、1999、2003、2007、2012、2014、2015、2016	1962、1963、1965、1974、1977、1982、1985、1997、2001、2002、2004、2006、2009

注:划线年份是多水年和少水年的前5名。

采用合成分析法将多水年和少水年的汛期PCD和PCP进行合成。东疆地区汛期多水年平均PCD在0.26~0.64,少水年在0.30~0.69,较多水年偏大。汛期多水年和少水年PCD的空间分布存在异同(图略)。相同的是,最小值均出现在天山北麓巴里坤,这与该站汛期降水量与汛期PCD呈负相关是一致的,说明巴里坤在汛期多水年和少水年降水集中程度比其他5站偏弱;不同的是,汛期多水年PCD自南向北递减,这与汛期PCD空间分布基本一致,高值中心出现在东南部的红柳河,而少水年则是两高夹一低的形势,高值中心出现在东北部的淖毛湖。

东疆地区汛期多水年平均PCP出现在31.39~39.24候,少水年在30.69~37.51候,多水年较少水年偏晚,这与东疆地区大部分站汛期降水量与PCP呈正相关一致。然而,多水年和少水年PCP的空间分布明显不同(图略)。多水年PCP自西北向东南递增,高值中心在天山南部的哈密市,低值中心是西部的十三间房;少水年PCP的空间分布与PCD基本一致,高值中心在东南部的红柳河,低值中心位于天山北麓的巴里坤。

4 结 论

(1)近56 a东疆地区汛期降水量整体呈显著增加趋势,且具有明显的阶段性变化特征;空间上表现出由南部平原向北部山区增加的特征,且变率由大到小依次为巴里坤、伊吾、红柳河、十三间房、哈密、淖毛湖。

(2)近56 a东疆地区汛期PCD平均值为0.35,呈逐年减小趋势,减小率为 $-0.02 \cdot (10 \text{ a})^{-1}$;汛期PCP平均值为35.0候,呈逐年推迟趋势,以 $0.45 \text{ 候} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 的速率推迟。

(3)东疆地区汛期PCD自南部平原向北部山区逐渐减小,与汛期降水量的空间分布完全相反,表明汛期降水量越大则降水程度越不集中,反之越集中。汛期PCP的空间分布与PCD明显不同,基本呈东北—西南向的带状分布,且汛期降水集中期自西北向东南逐渐增加,其中位于东南部的红柳河汛期PCP出现较晚,出现在36.7候,而位于天山北麓巴里坤汛期PCP出现最早,出现在34.5候。

(4)通过Morlet小波分析发现,近56 a东疆地区汛期PCD在整个时段内存在6 a左右短周期和13 a、28 a左右的长周期变化,其中28 a左右的长周期变化具有全域性,呈现出“集中—分散”交替出现的稳定变化特征;汛期PCP存在13 a和33 a左右的

显著长周期变化,其中33 a左右的周期变化具有全域性,经历“提前—推迟”交替出现的规律变化。

(5)M-K突变分析表明,近56 a东疆地区汛期PCD在1996年发生突变,表现为下降趋势,表明汛期降水集中程度逐渐减弱。

(6)相关合成分析表明,东疆地区汛期少水年PCD较多水年偏大,多水年PCD在空间上自北向南递增,而少水年是两高夹一低的形势;多水年PCP较少水年偏晚,多水年PCP自西北向东南递增,而少水年PCP的空间分布与PCD相一致。

参考文献:

- [1] 任志艳, 延军平, 王鹏涛. 1960—2012年内蒙古降水集中度和降水集中期时空变化[J]. 中国沙漠, 2016, 36(3): 760—766.
- [2] 王钊, 彭艳, 魏娜. 近52 a秦岭南北极温度变化及其与区域增暖的关系[J]. 干旱气象, 2016, 34(2): 269—275.
- [3] 刘吉峰, 丁裕国, 江志红. 全球变暖加剧对极端气候概率影响的初步探讨[J]. 高原气象, 2007, 26(4): 837—842.
- [4] 赵丽, 韩雪云, 杨青. 近50 a西北干旱区极端降水的时空变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(1): 19—26.
- [5] 王纪军, 裴铁璠, 顾万龙, 等. 降水年内分配不均匀性指标[J]. 生态学杂志, 2007, 26(9): 1364—1368.
- [6] 史培军, 孙劭, 汪明, 等. 中国气候变化区划(1961—2010年)[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(10): 2294—2306.
- [7] 秦莉, 史玉光, 喻树龙, 等. 天山北坡三屯河流域树轮重建的146 a降水变化[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(5): 23—28.
- [8] 吕延珍, 邓少格, 胡轶佳, 等. 利用年际增量法对西北东部汛期降水的定量预测研究[J]. 干旱气象, 2015, 33(3): 386—394.
- [9] 翟盘茂, 王萃萃, 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.
- [10] 钱维宏, 符娇兰, 张玮玮, 等. 近40年中国平均气候与极值气候变化的概述[J]. 地球科学进展, 2007, 22(7): 673—684.
- [11] 陈海山, 范苏丹, 张新华. 中国近50 a极端降水事件变化特征的季节性差异[J]. 大气科学学报, 2009, 32(6): 744—751.
- [12] 王雯燕, 王丽, 李国平, 等. 陕西省汛期极端降水时空演变特征[J]. 干旱气象, 2016, 34(6): 952—957.
- [13] 胡娅敏, 翟盘茂, 陈阳. “75·8”持续性强降水事件及其大尺度水汽输送特征[J]. 气象与环境科学, 2015, 38(3): 13—18.
- [14] 袁梦, 马力. 渠江流域汛期强降水时空分布特征[J]. 高原山地气象研究, 2014, 34(1): 15—21.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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]. 地球物理学报, 2004, 47(4): 622—630.
- [18] 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.
- [19] 王翼, 赵春雨, 姜德君. 东北地区冬季降雪的集中度和集中期变化特征[J]. 地理学报, 2010, 65(9): 1069—1078.
- [20] 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): 277-287.
- [21] 纳丽, 李欣, 朱晓炜, 等. 宁夏近 50 a 降水集中度和集中中期特征分析[J]. 干旱区地理, 2012, 35(5): 724-731.
- [22] 刘琳, 陈静. 新疆 1961—2011 年极端降水事件年内非均匀性特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2013, 7(1): 53-59.
- [23] 屠月青, 孔海江. 新疆哈密大降水的大气环流特征分型[J]. 干旱气象, 2014, 32(4): 642-648.
- [24] 冯瑶, 慕彩芸, 阿斯亚. 东疆地区近 46 年气候变化趋势分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(3): 55-57.
- [25] 白松竹, 陈真, 庄晓翠, 等. 阿勒泰地区冬季降雪的集中度和集中中期变化特征[J]. 干旱气象, 2014, 32(1): 99-107.
- [26] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 63-66.
- [27] 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中期特征分析[J]. 干旱区研究, 2016, 33(4): 758-765.
- [28] 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.

Spatial and Temporal Variation Characteristics of PCD and PCP in Eastern Xinjiang in Flood Season

MIAO Yunling¹, ZHANG Yunhui², ZHUO Shixin², ZHANG Zhigao³

(1. *Urumqi Meteorological Bureau of Xinjiang, Urumqi 830006, China;*

2. *Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi 830002, China;*

3. *School of Resources Environment and Tourism, Anyang Normal College, Anyang 455000, He'nan, China)*

Abstract: Based on the daily precipitation data in flood season (from May to September) at 6 weather stations in eastern Xinjiang from 1961 to 2016, the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation concentration degree (PCD) and precipitation concentration period (PCP) in flood season were analyzed by using the methods of linear trend analysis, correlation analysis, Mann-Kendall test, Morlet wavelet analysis, etc. The results show that the average value of PCD in flood season was 0.35 in the east of Xinjiang, and PCD had a weak decreasing trend with a rate of -0.02 per 10-year in the past 56 years, which indicated that the rainfall in flood season tended to be uniform. The average value of PCP in flood season was 35.0 pentad, and the increasing trend of PCP was significant with a rate of 0.45 pentad per 10-year during 1961-2016, which indicated that the time of rainfall in flood season delayed. In space, PCD and PCP in flood season were uneven, and their distribution situations had great difference, but PCD and PCP in plain in south part of eastern Xinjiang were bigger, while they were smaller in mountain area of north part of eastern Xinjiang, the minimum values of them occurred in Balikun of northern Tianshan Mountain. There was 13-year period of PCD and PCP in eastern Xinjiang in flood season during 1961-2016. The mutation of PCD occurred in 1996, and it presented decreasing trend, which indicated that PCD generally decreased and the rainfall tended to be uniform. The result of correlation and composite analysis showed that PCD was bigger and PCP was earlier in less rainfall years compared with them in more rainfall years.

Key words: flood season; rainfall; PCD; PCP; spatial and temporal distributions