

新疆塔城地区年降水与汛期降水时空变化特征及相关分析

井立红¹, 高婧^{2*}, 马忠萍¹, 王金辉³, 杨霞⁴, 井立军²

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新疆克孜勒苏柯尔克孜自治州, 新疆 克州

⁴新疆气象局科技服务中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年2月22日; 录用日期: 2023年3月24日; 发布日期: 2023年3月31日

摘要

利用近62年(1960~2021年)新疆塔城地区7个气象观测站年降水、汛期(5~9月)降水资料, 分别讨论了气候统计特征、时空变化特征, 并对其相关性进行分析, 结果表明: 1) 近62a塔城地区年均降水为234.8 mm, 汛期平均降水为120.1 mm, 空间分布表现为自北向南逐渐减少, 但站点间空间分布差异较大。2) 年降水极值为406.5 mm, 汛期降水极值为208.2 mm, 均出现于2016年, 汛期降水多的年份, 年降水也多。3) 年降水、汛期降水年际波动较大, 均以偏少为主基调, 回归分析表明, 年降水以7.49 mm/10a的速率不显著增多(未通过显著性水平检验), 7站年降水均表现为增多趋势, 其中裕民、乌苏、沙湾分别以12.03 mm/10a、9.51 mm/10a、7.12 mm/10a的速率显著增多(通过了0.05的显著性水平检验), 区域中仅南部以8.32 mm/10a的速率显著增多(通过了0.05的显著性水平检验), 盆地及中部呈不显著增多趋势; 汛期降水以0.12 mm/10a的速率不显著增多, 各站均表现为不显著增多趋势, 区域中中部增速最大, 其次为塔城盆地, 最小为南部。4) 年降水、汛期降水标准差分别为53.7、32.9, 各站点空间分布差异较大, 区域中盆地年降水、汛期降水标准差最大, 南部次之, 中部最小。5) 年降水、汛期降水变率分别为0.16、0.23, 区域中中部年降水变率最大, 南部次之, 盆地最小, 中部及南部汛期降水变率最大, 盆地最小。6) 塔城地区年降水、汛期降水、各站点及三个区域降水均表现为中等变异性。7) 年降水经历了“多-少-多-多-多-多”的交替演变, 汛期降水经历了“多-少-多-多-少-多”的交替演变, 均以21世纪初年最多, 1970年代最少, 各站年降水, 汛期降水年代际分布差异较大。8) 年降水序列在1960年代中末期、1980年代末、1990年代末至2000年代初发生过明显的由多到少和由少到多的突变, 突变点为1996年; 汛期降水序列在1970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, 1993年为突变点。9) 塔城地区、各站及区域年降水与汛期降水均为显著正相关(通过了0.01的显著性水平检验), 即年降水量多的年份, 汛期降水也多。

关键词

年降水, 汛期降水, 演变特征, 相关分析, 塔城地区

*通讯作者。

Temporal and Spatial Variation Characteristics and Correlation Analysis of Annual Precipitation and Flood Season Precipitation in Tacheng Region of Xinjiang

Lihong Jing¹, Jing Gao^{2*}, Zhongping Ma¹, Jinhui Wang³, Xian Yang⁴, Lijun Jing²

¹Tacheng Meteorological Bureau of Xinjiang, Tacheng Xinjiang

²Shawan Meteorological Bureau, Shawan Xinjiang

³Kizilsu Kirgiz Autonomous Prefecture of Xinjiang, Kezhou Xinjiang

⁴Science and Technology Service Center, Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi Xinjiang

Received: Feb. 22nd, 2023; accepted: Mar. 24th, 2023; published: Mar. 31st, 2023

Abstract

Based on the annual precipitation data and precipitation data in flood season (May-September) of seven meteorological stations in Tacheng region of Xinjiang Province in recent 62 years (1960~2021), the statistical characteristics and spatial-temporal variation characteristics of climate were discussed, and the correlation between them was analyzed. The results showed that: 1) The average annual precipitation in Tacheng area was 234.8 mm in recent 62a, and the average precipitation in flood season was 120.1 mm. The spatial distribution showed a gradual decrease from north to south, but the spatial distribution was different among the stations. 2) The maximum annual precipitation is 406.5 mm, and the maximum precipitation in flood season is 208.2 mm, both of which occur in 2016. The years with more precipitation in flood season also have more annual precipitation. 3) The inter-annual fluctuation of annual precipitation and flood season precipitation was large, and the main theme was less. The regression analysis showed that the annual precipitation did not increase significantly at the rate of 7.49 mm/10a (failed to pass the significance level test), and the annual precipitation of the seven stations showed an increasing trend. Among them, Yumin, Wusu and Shawan increased significantly at the rate of 12.03 mm/10a, 9.51 mm/10a and 7.12 mm/10a respectively (passed the significance level test of 0.05), and only the southern part of the region increased significantly at the rate of 8.32 mm/10a (passed the significance level test of 0.05). The basin and the middle part showed no significant increasing trend. The precipitation in flood season did not increase significantly at the rate of 0.12 mm/10a, and all stations showed no significant increasing trend. In the region, the central part of the precipitation increased the most, followed by Tacheng Basin, and the southern part was the least. 4) The standard deviations of annual precipitation and flood season precipitation are 53.7 and 32.9, respectively. The spatial distribution of each station is different. The standard deviations of annual precipitation and flood season precipitation in the central basin are the largest, followed by the southern part and the central part. 5) The annual precipitation variability and the precipitation variability in flood season are 0.16 and 0.23, respectively. The annual precipitation variability is the largest in the central part of the region, followed by the southern part, and the lowest in the basin. 6) The annual precipitation, flood season precipitation, precipitation at each station and the three regions showed moderate variability in Tacheng region. 7) The annual precipitation experienced an alternate evolution of “much-less-much-much-much-much-much-much-much-much-much”, and the precipitation in flood season experienced an alternate evolution of “much-less-much-much-less-much”, with the highest annual precipitation in the early 21st century and the lowest in

the 1970s. 8) The annual precipitation series had obvious abrupt changes from more to less and from less to more in the mid-late 1960s, the late 1980s, the late 1990s to the early 2000s, and the abrupt change point was 1996. The flood season precipitation series had obvious abrupt changes from more to less and from less to more in the mid-1970s and early 21st century, and 1993 was the abrupt point. 9) The annual precipitation of Tacheng region, stations and regions is positively correlated with the precipitation in flood season (passing the significance level test of 0.01), that is, the years with more annual precipitation will also have more precipitation in flood season.

Keywords

Annual Precipitation, Flood Season Precipitation, Evolution Characteristics, Correlation Analysis, Tacheng Area

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

大气降水是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，作为地表径流的来源及地下水的主要补给来源，其多少直接影响着水资源的数量和地域分布，同时降水的年际和长期变化对农业生产、社会经济生活有着重要影响，此外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[1] [2]。

近年来，国内外众多学者对不同地区降水的时空变化特征、长期变化趋势、极端降水个例等开展了大量研究，得出很多有价值的结论。史玉光、袁玉江、薛燕、毛炜峰等[3] [4] [5] [6]对近 40a~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]。受全球变暖的影响，新疆出现了夏季洪涝、春季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[8] [9] [10]。

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积雪[11]、日照[12]、雷暴[13]、大风[14]、冻土[15]、高温[16]、干旱[17]、冷季降水[18]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年降水与汛期降水时空变化特征及其相关关系的研究仍处于空白阶段，本文利用 1960~2021 年塔城地区年降水及汛期(5~9 月)降水量资料，运用数理统计方法，对其气候统计特征、演变特征及其相关关系进行分析研究，以期能适应、减缓和应对气候变化，评估气候事件提供理论依据、实践参考和技术支撑。

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资料记录完整、连续、空间分布均匀的 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 62 年(1960~2021 年)逐年、汛期

(5~9月), 未经过任何查补延长处理的降水量实况资料。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1991~2020年; 在年际分布中以降水距平作为降水多寡的标准, 正距平表示降水多, 负距平表示降水少。

2.2. 方法

运用最小二乘法原理, 采用一元线性回归方程对近62a塔城地区7站年降水及汛期降水时间序列进行线性拟合, 以此来描述年降水及汛期降水的变化, 即令 $y(t) = a + bt$, 其中 t 为时间序列, $b \cdot 10a$ 定义为年降水及汛期降水的变化速率, $b > 0$ 表示年降水及汛期降水序列呈增多趋势, $b < 0$ 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62a塔城地区、7站及三个区域年降水及汛期降水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; 计算研究区域内的气候趋势系数, 即求取 n 个时刻(年)的要素序列与自然数列 $1, 2, 3, \dots, n$ 的相关系数, 其中 n 为年数, X_i 为第 i 年的降水要素值, \bar{X} 为其样本平均值, $t = (n+1)/2$, R 为正(负)时表示该要素在所计算的 n 年内有线性增(减)的趋势, 同时将 R 取绝对值后与各临界相关系数 R_a 比较, 如果 $|R| \geq R_a$, 则认为该要素的趋势在显著性水平 α 下是显著的; 为反映研究区域内年降水及汛期降水的稳定性程度及其变异程度, 分别计算了塔城地区、7站、三个区域年降水及汛期降水的变率(s)和变差系数(CV%); 使用M-K检验分析了塔城地区及三个区域年降水及汛期降水的突变, 并确定突变时间; 使用相关分析方法, 分析了年降水与汛期降水的相关关系。

3. 结果与分析

3.1. 塔城地区年降水与汛期降水的气候统计特征

3.1.1. 时空分布特征

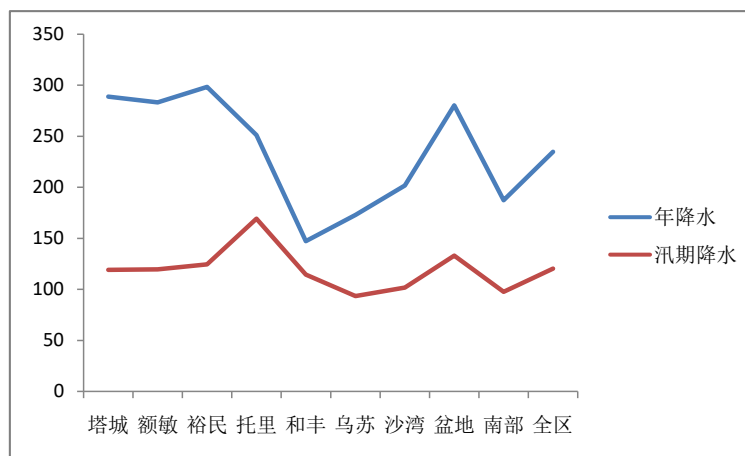


Figure 1. Spatial distribution of annual precipitation and precipitation in flood season in Tacheng region

图 1. 塔城地区年降水与汛期降水分布

利用塔城地区7站年降水、汛期降水量资料, 采用克里格插值方法, 绘制了近62a塔城地区年降水、汛期降水量空间分布图。由图1可知, 近62a塔城地区年均降水为234.8 mm, 空间分布具有明显的区域小气候特征, 总体表现为: 自北向南逐渐减少, 7站年降水量的多年平均值在147.2~298.4 mm, 其

中裕民最多(298.4 mm), 其次为塔城(288.8 mm), 其后依次为额敏、托里、沙湾、乌苏, 最少为和丰, 仅 147.2 mm; 区域中盆地最多(280.4 mm), 南部次之(187.4 mm), 中部最少。

近 62a 塔城地区汛期平均降水为 120.4 mm, 其空间分布表现为: 自北向南降水减少, 7 站汛期降水多年平均值在 93.5~169.4 mm, 最大值位于托里(169.4 mm), 其次为裕民(124.7 mm), 其后依次为额敏、塔城、和丰、沙湾, 最少为乌苏(93.5 mm); 区域中盆地最多(133.2 mm), 中部次之(114.6 mm), 南部最少(97.7 mm), 这与年均降水量的空间分布一致。

时空分布表明, 塔城地区年均降水、汛期平均降水空间分布均表现为, 自北向南降水逐渐减少, 但站点空间分布差异较大。

3.1.2. 极值、极差、极比

Table 1. Annual precipitation and extreme value, range and extreme ratio of precipitation in flood season at each station in Tacheng area

表 1. 塔城地区各站年降水及汛期降水极值、极差、极比

	塔城	裕民	额敏	托里	和丰	乌苏	沙湾	全区	
年降水	降水极值	470.3	552.9	441.2	457.1	285.4	338.1	337.3	406.5
	时间	2010	2016	2016	2016	2007	2010	1987	2016
	极差	317.0	411.2	291.9	364.2	215.9	253.4	235.0	270.0
	极比	3.1	3.9	3.0	4.9	4.1	4.0	3.3	3.0
	日最大降水量	64.6	41.4	44.4	54.8	61.5	44.1	42.1	65.5
	出现时间	2015-9-21	2016-11-12	1965-5-31	2011-6-29	2007-7-17	1998-5-19	2016-4-30	1965-5-28
汛期降水	降水极值	268.7	249.6	234.0	311.4	257.0	212.3	194.4	208.2
	时间	2013	2016	1992	2016	2007	1999	1999	2016
	极差	236.0	212.6	195.1	256.3	208.7	183.7	157.6	154.1
	极比	8.2	6.7	6.0	5.7	5.3	7.4	5.3	3.9
	日最大降水量	64.6	35.5	44.4	54.8	61.5	44.1	36.0	64.6
	出现时间	2015-9-21	1979-6-11	1996-5-28	2011-6-29	2007-7-17	1998-5-19	1987-6-9	2015-9-21

从表 1 可以看出, 近 62a 塔城地区年降水极值为 406.5 mm, 出现于 2016 年, 7 站极值在 285.4~552.9 mm, 最大值 552.9 mm (裕民, 2016 年), 其次为 470.3 mm (塔城, 2010 年), 其后依次为 457.1 mm (托里, 2016 年)、441.2 mm (额敏, 2016 年)、338.1 mm (乌苏, 2010 年)、337.3 mm (沙湾, 1987 年), 最少为 285.4 mm (和丰, 2007 年), 从极值出现时间来看, 除沙湾外, 其余 6 站均出现于 2007 年~2016 年; 年降水极差为 270.0 mm, 极比为 3.0 mm, 7 站极差在 215.9~411.2 mm, 其中裕民最大, 托里次之, 其后依次为塔城、额敏、乌苏、沙湾, 和丰极差最小; 7 站极比在 3.0~4.9 mm, 其中托里最大, 和丰次之, 其后依次为乌苏、裕民、塔城、沙湾, 最小为塔城; 7 站日最大降水为 64.6 mm (塔城, 2016 年 9 月 21 日), 次大值为 61.5 mm (和丰, 2007 年 7 月 17 日), 其后依次为 54.8 mm (托里, 2011 年 6 月 29 日)、44.4 mm (额敏, 1965 年 5 月 28 日)、44.1 mm (乌苏, 1998 年 5 月 19 日)、42.1 mm (沙湾, 2016 年 4 月 30 日), 最小为 41.4 mm (裕民, 2016 年 11 月 12 日), 除裕民、沙湾外, 有 5 站日最大降水出现在汛期。

近 62a 塔城 7 站汛期降水极值为 208.2 mm, 出现于 2016 年, 7 站极值在 194.4~311.4 mm, 最大值 311.4 mm (托里, 2016 年), 其次为 268.7 mm (塔城, 2013 年), 其后依次为 257.0 mm (和丰, 2007 年)、

249.6 mm (裕民, 2016 年)、234.0 mm (额敏, 1992 年)、212.3 mm (乌苏, 1999 年), 最小值 194.4 mm (沙湾, 1999 年), 从极值出现时间来看, 仅托里、乌苏、沙湾出现于 1990 年代, 其余各站出现于 2007~2016 年, 与年降水极值出现时间基本一致; 塔城地区汛期降水极差为 154.1 mm, 极比为 3.9 mm, 7 站极差在 183.7~256.3 mm, 其中托里最大, 塔城次之, 其后依次为裕民、和丰、额敏、乌苏, 沙湾最小; 7 站极比在 5.3~8.2 mm, 其中塔城最大, 乌苏次之, 其后依次为裕民、额敏、托里, 和丰及沙湾最小; 7 站汛期日最大降水为 64.6 mm (塔城, 2016 年 9 月 21 日), 次大值为 61.5 mm (和丰, 2007 年 7 月 17 日), 其后依次为 54.8 mm (托里, 2011 年 6 月 29 日)、44.4 mm (额敏, 1965 年 5 月 28 日)、44.1 mm (乌苏, 1998 年 5 月 19 日)、36.0 mm (沙湾, 1987 年 6 月 9 日), 最小为 35.5 mm (裕民, 1979 年 6 月 11 日)。

年降水量与汛期降水极值均出现在 2016 年, 日最大降水量极值多出现在汛期, 表明汛期降水对年降水量贡献较大。

3.1.3. 年际变化

近 62a 塔城地区年降水年际间动大, 其中 35 年为负距平, 27 年为正距平, 即年降水整体以偏少为主基调。根据距平变化将其划分为四个阶段, 第一个阶段(1960~1972 年): 期间正负距平交替出现, 但整体以负距平为主, 最长连续负距平 5 年(1961~1965 年), 最大正距平 72.8 mm, 最大负距平 77.8 mm, 年变化比较剧烈; 第二个阶段(1973~1986 年): 期间仅 1979 年为正距平, 其余 13 年均为负距平, 并以 1979 年为界, 在其以前连续出现 6 年负距平(1973~1978 年), 其以后连续出现 7 年负距平(1980~1986 年), 最大负距平 98.3 mm, 最大正距平仅 6.1, 降水整体偏少且波动幅度较大; 第三个阶段(1987~2004 年): 期间正负距平交替出现, 负距平 7 年, 正距平 11 年, 整体以正距平为主, 最长连续正距平 4 年(2001~2004 年), 最大正距平 90.5 mm, 最大负距平 96.2 mm, 年变化较第一、二阶段剧烈; 第四个阶段(2005~2021 年): 期间正负距平交替出现, 正距平 10 年, 负距平 7 年, 整体以正距平为主, 最长连续正距平 5 年(2015~2019 年), 最大正距平 171.7 mm, 最大负距平 57.9 mm, 变化最为剧烈。

近 62a 塔城地区汛期降水年际波动较大, 其中 34 年为负距平, 28 年为正距平, 即汛期降水整体仍以偏少为主基调。根据距平变化将其划分为三个阶段, 第一个阶段(1960~1973 年): 期间正负距平交替出现, 但整体以负距平为主, 最长连续正负距平均 2 年, 最大正距平 62.7 mm, 最大负距平 51.0 mm, 年变化比较剧烈; 第二个阶段(1974~1991 年): 期间仅出现 3 年正距平, 其余 15 年为负距平, 最长连续负距平达 9 年, 最大正距平为 72.1 mm, 最大负距平 66.0 mm, 降水整体偏少且波动幅度较大; 第三个阶段(1992~2021 年): 期间负距平出现 13 年, 正距平 17 年, 虽然正负距平交替出现, 但整体以正距平为主, 最长连续正距平 5 年, 最大正距平 88.1 mm, 最大负距平 51.8 mm, 年变化较第一、二阶段剧烈。

3.2. 塔城地区年降水及汛期降水时空变化特征

3.2.1. 线性变化

Table 2. Spatial distribution of linear tendency rate of annual precipitation and precipitation in flood season in Tacheng area
表 2. 塔城地区年降水与汛期降水线性倾向率

	塔城	裕民	额敏	托里	和丰	乌苏	沙湾	盆地	南部	全区
年降水线性倾向率	5.88-	12.03*	4.53-	7.33-	5.98-	9.51*	7.12-	7.44-	8.32*	7.49-
汛期降水线性倾向率	1.22-	2.34-	1.01-	3.49-	3.41-	2.30-	1.40-	2.02-	1.85-	2.17-

注: *通过 0.05 的显著性水平检验, -未通过 0.05 的显著性水平检验。

由表 2 可知, 近 62a 塔城地区年降水呈不显著增多趋势, 线性倾向率为 7.49 mm/10a (未通过显著性水平检验); 7 站年降水线性倾向率在 4.53~12.03 mm/10a 之间, 均表现为增多趋势, 其中裕民、乌苏、沙湾呈显著增多趋势(通过了 0.05 的显著性水平检验), 分别以 12.03 mm/10a、9.51 mm/10a、7.12 mm/10a 的速率显著增多, 托里、和丰、塔城、额敏表现为不显著增多趋势(未通过显著性水平检验), 分别以 7.33 mm/10a、5.98 mm/10a、5.88 mm/10a、4.53 mm/10a 的速率不显著增多; 区域中仅南部以 8.32 mm/10a 的速率显著增多(通过了 0.05 的显著性水平检验), 盆地及中部呈不显著增多趋势, 倾向率分别为 7.44 mm/10a、5.98 mm/10a。

近 62a 塔城地区汛期降水呈不显著增多趋势, 线性倾向率为 0.12 mm/10a (未通过显著性水平检验); 各站汛期降水线性倾向率在 1.01~0.49 mm/10a 之间, 均表现为增多趋势, 但均未通过显著性水平检验, 其中托里增速最大, 以 3.49 mm/10a 的速率增多, 其后为和丰、额敏、乌苏、沙湾、塔城, 分别以 3.41 mm/10a、2.34 mm/10a、2.30 mm/10a、1.40 mm/10a、1.22 mm/10a 的速率增多, 裕民增速最小(1.01 mm/10a); 区域中以中部增速最大, 其次为塔城盆地, 以 2.02 mm/10a 的速率增多, 最小为南部, 以 1.85 mm/10a 的速率增多。

3.2.2. 气候趋势系数

Table 3. Climatic trend coefficients of annual precipitation and precipitation in flood season in Tacheng region

表 3. 塔城地区年降水与汛期降水气候趋势系数

	塔城	裕民	额敏	托里	和丰	乌苏	沙湾	盆地	南部	全区
年降水趋势系数	0.14 ⁻	0.28 [*]	0.12 ⁻	0.20 ⁻	0.23 ⁻	0.32 [*]	0.23 ⁻	0.21 ⁻	0.28 [*]	0.26 [*]
汛期降水趋势系数	0.05 ⁻	0.04 ⁻	0.10 ⁻	0.12 ⁻	0.14 ⁻	0.12 ⁻	0.07 ⁻	0.09 ⁻	0.09 ⁻	0.12 ⁻

注: ^{*}通过 0.05 的显著性水平检验; ⁻未通过 0.05 的显著性水平检验。

由表 3 可知, 近 62a 塔城地区年降水呈显著增多趋势(通过了 0.05 的显著性水平检验), 气候趋势系数为 0.26; 7 站年降水气候趋势系数在 0.12~0.32 之间, 均表现为增多趋势, 其中乌苏、裕民呈显著增多趋势(通过了 0.05 的显著性水平检验), 气候趋势系数分别为 0.32、0.28, 其余各站均表现为不显著增多趋势(未通过显著性水平检验); 区域中仅南部呈显著增多趋势(通过了 0.05 的显著性水平检验), 气候趋势系数为 0.28, 中部及盆地均呈不显著增多趋势(未通过 0.05 的显著性水平检验), 气候趋势系数分别为 0.23、0.21。

近 62a 塔城地区汛期降水呈不显著增多趋势(未通过显著性水平检验), 气候趋势系数为 0.12; 7 站汛期降水气候趋势系数在 0.04~0.14 之间, 均表现为不显著增多趋势(未通过显著性水平检验); 三个区域汛期降水均表现为不显著增多趋势(未通过显著性水平检验)。

分析表明, 塔城地区年降水、汛期降水气候趋势系数均为正值, 即均表现为增多趋势, 且年降水气候趋势系数均高于汛期降水气候趋势系数。

3.2.3. 标准差时空分布

标准差越大, 表明降水的稳定性越差, 通常发生洪涝灾害的可能性越大。由图 2 可知, 近 62a 塔城地区年降水标准差为 53.7, 7 站年降水标准差在 55.4~79.0 之间, 最大的是裕民, 表明裕民年降水的稳定性最差, 发生洪涝灾害的可能性最大, 塔城次之, 其后依次为托里、额敏、沙湾、乌苏, 最小为和丰, 表明和丰年降水稳定性相对较好; 区域中盆地年降水标准差最大, 南部次之, 中部最小。

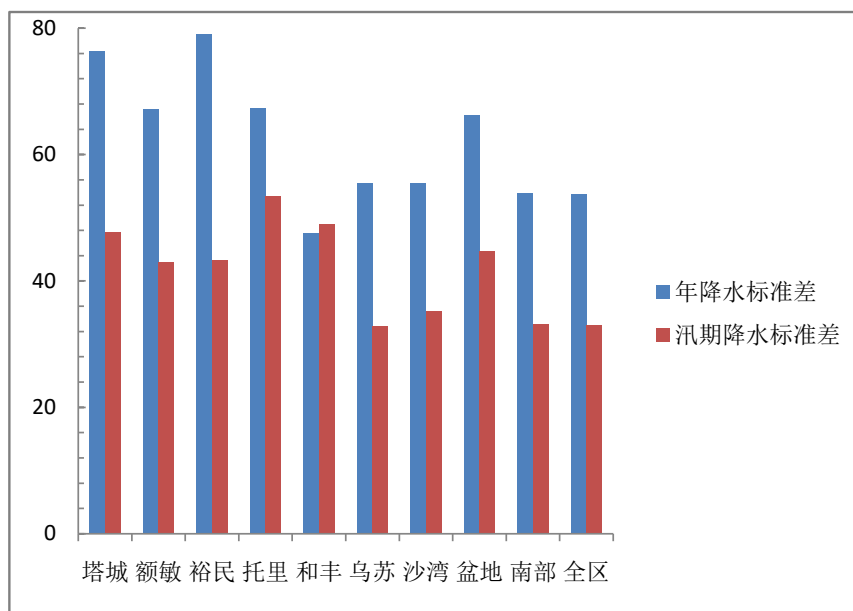


Figure 2. Spatial distribution of standard deviations of annual precipitation and flood season precipitation in Tacheng region

图 2. 塔城地区年降水与汛期降水标准差

近 62a 塔城地区汛期降水标准差为 32.9, 7 站汛期降水标准差在 32.8~47.7 之间, 最大的是托里, 表明托里汛期降水的稳定性最差, 发生洪涝灾害的可能性最大, 和丰次之, 其后依次为塔城、裕民、额敏、沙湾, 最小为乌苏, 表明乌苏汛期降水稳定性相对较好; 区域中盆地汛期降水标准差最大, 南部次之, 中部最小。

3.2.4. 降水变率

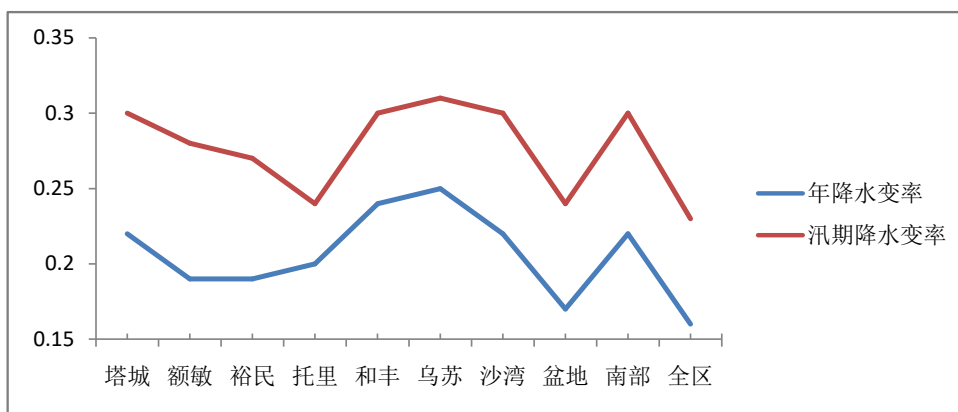


Figure 3. Spatial distribution of annual precipitation and precipitation variability in flood season in Tacheng region

图 3. 塔城地区年降水与汛期降水变率

降水的变率(S)是反映一地降水稳定性的指标(公式见下式), 一般说来, 平均降水量大的地方降水变率小。我国年降水变率多在 0.1~0.3 之间, 江南地区年变率最小为 0.1~0.15 [15]。邓子凤[19]统计了新疆 44 个站的降水变率, 结果有 43% 的站降水变率在 0.3~0.5 之间。

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}}$$

由图 3 可知, 近 62a 塔城地区年降水变率为 0.16, 与我国年降水变率相当, 低于新疆大部分站点的降水变率, 表明年降水较为稳定; 7 站年降水变率在 0.19~0.25 之间, 乌苏最大, 和丰次之, 其后依次为塔城、沙湾、托里, 裕民和额敏最小, 降水相对最稳定; 区域中中部最大, 南部次之, 盆地最小, 表明年降水量越大的地方降水变率越小。

近 62a 塔城地区汛期降水变率为 0.23, 较稳定; 7 站汛期降水变率在 0.24~0.31 之间, 乌苏最大, 和丰次之、沙湾和塔城, 其后依次为额敏、裕民, 最小为托里; 区域中中部及南部汛期降水变率最大, 盆地最小, 表明汛期降水量越大的地方降水变率越小。

3.2.5. 降水变异系数

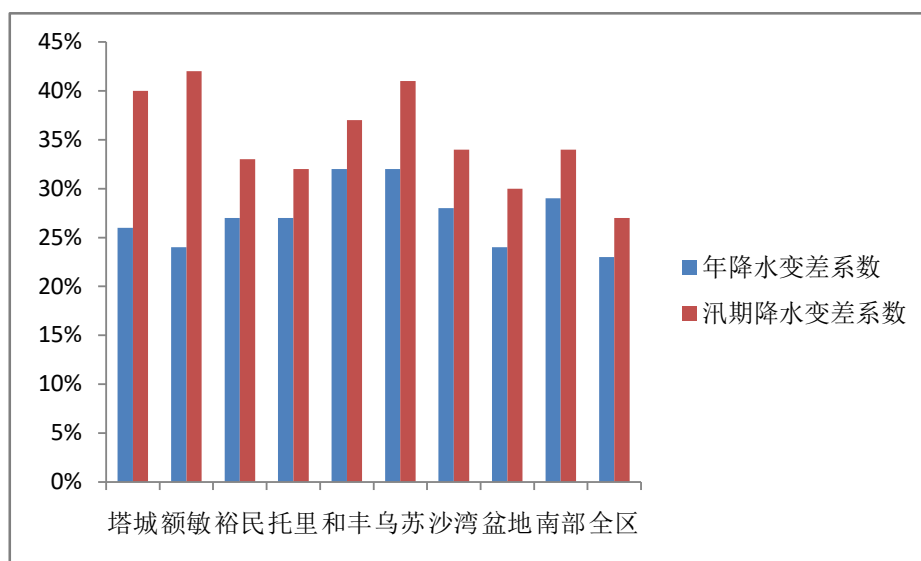


Figure 4. Spatial distribution of variation coefficients of annual precipitation and precipitation in flood season in Tacheng region

图 4. 塔城地区年降水与汛期降水变差系数

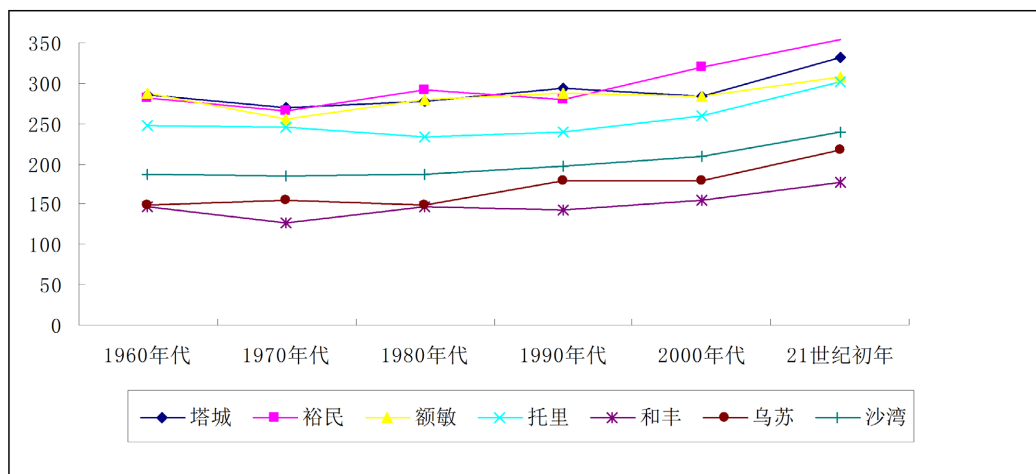
统计学中通常用变差系数(CV%)的大小确定其变异程度, 当 $CV\% \leq 10\%$ 时为弱变异性, 当 $10\% < CV\% < 100\%$ 时为中等变异性, 当 $CV\% \geq 100\%$ 时为强变异性。

$$CV\% = \frac{S}{\bar{X}} * 100\%$$

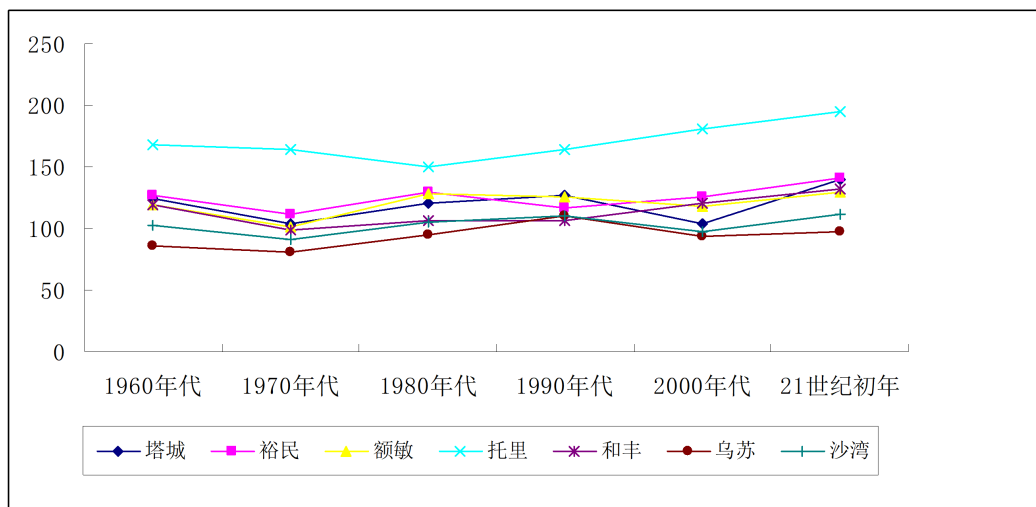
由图 4 可知, 近 62a 塔城地区年降水变差系数为 23%, 表现为中等变异性; 7 站年降水变差系数在 24%~32% 之间, 均表现为中等变异性, 其中和丰最大, 乌苏次之, 其后依次为沙湾、托里、裕民、塔城, 额敏最小; 三个区域均表现为中等变异性, 其中中部年降水变差系数最大, 南部次之, 盆地最小。

近 62a 塔城地区汛期降水变差系数为 27%, 表现为中等变异性; 7 站汛期降水变差系数在 32%~42% 之间, 均表现为中等变异性, 其中额敏最大, 乌苏次之, 其后依次为塔城、和丰、沙湾、裕民, 额敏最小; 三个区域均表现为中等变异性, 其中中部汛期降水变差系数最大, 南部次之, 盆地最小。

3.2.6. 年代际变化



(a)



(b)

Figure 5. Decadal distribution of annual precipitation and flood season precipitation in Tacheng region. (a) Annual precipitation figure; (b) Precipitation in flood season

图 5. 塔城地区年降水与汛期降水年代际分布。(a) 年降水; (b) 汛期降水

从图 5(a)、图 5(b)可以看出,近 62a 塔城地区年降水经历了“多-少-多-多-多-多”的交替演变,其中 21 世纪初年降水最多,其次为 2000 年代,其后依次为 1990 年代、1980 年代、1960 年代,1970 年代最少;各站年降水年代际分布差异较大,但均以 21 世纪初年最多,除托里以 1980 年代最少外,其余各站均以 1970 年代最少。

近 62a 塔城地区汛期降水经历了“多-少-多-多-少-多”的交替演变,以 21 世纪初年最多,其次为 1990 年代,其后依次为 1960 年代、2000 年代、1980 年代,最少为 1970 年代;各站汛期降水年代际分布各不相同,除乌苏以 1990 年代最多外,其余各站均以 21 世纪初年最多,塔城以 2000 年代最少,其余各站均以 1970 年代最少。

塔城地区年降水量距平年代际变化总体表现为“先少后多”界限分明的特点,其中 1960 年代、1970

年代、1980年代均以负距平为主，期间最长连续负距平达5年(1961~1965年)；1990年代成为分水岭，正负距平各占一半，并出现了近62a最大负距平(96.2 mm)，2000年代开始以正距平为主，降水开始偏多并延续到21世纪初年(正距平为主)，在此期间最长连续正距平达5年(2015~2019年)。整体而言，各年代年降水正负距平阶段性特征比较明显，且正负距平极差均在100 mm以上，最大极差为197.3 mm(21世纪初年)，表明各年代降水波动明显。

塔城地区汛期降水距平年代际变化呈现“先少后多”，界限分明，阶段性变化特征明显的特点，其中1960年代正负距平各占一半，并以此为界，之后1970年代、1980年代连续以负距平为主，期间最长连续负距平达9年(1974~1982年)，降水偏少，主要以干旱少雨为主；1990年代再次出现正负距平各占一半，并在此年代出现近62a汛期降水正负距平最大极差(130.0 mm)，之后2000年代、21世纪初年连续以正距平为主，最长连续正距平达5年(2001~2005年)，降水以偏多为主。

3.2.7. 突变分析

利用近62a塔城地区年降水、汛期降水实况资料，采用M-K突变检验方法绘制塔城地区、盆地、中部、南部突变曲线对其年降水、汛期降水序列进行分析(图略)，结果表明：塔城地区年降水序列在1960年代中末期、1980年代末、1990年代末至2000年代初发生过明显的由多到少和由少到多的突变，根据 U_{Fk} 、 U_{Bk} 曲线交点的位置，可以确定1996年为突变点；盆地年降水序列1960年代末至1970年代末、1980年代末至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 U_{Fk} 、 U_{Bk} 曲线交点的位置，可以确定1972年、1992年为突变点；中部年降水序列在1970年代末至1990年代初、1990年代末至2000年代初发生过明显的由多到少和由少到多的突变，根据 U_{Fk} 、 U_{Bk} 曲线交点的位置，可以确定2010年为突变点；南部年降水序列在1960年代中期到1970年代中期、1980年代初至1990年代末发生过明显的由多到少和由少到多的突变，根据 U_{Fk} 、 U_{Bk} 曲线交点的位置，可以确定1992年为突变点。

塔城地区汛期降水序列在1970年代中期、21世纪初年发生过一次明显的由多到少和由少到多的突变，根据 U_{Fk} 、 U_{Bk} 曲线交点的位置，可以确定1993年为突变点；盆地汛期降水序列在1990年代末期、21世纪初年、中期分别发生过明显的由多到少和由少到多的突变，根据 U_{Fk} 、 U_{Bk} 曲线交点的位置，可以确定2009年为突变点；中部汛期降水序列在1970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 U_{Fk} 、 U_{Bk} 曲线交点的位置，可以确定2014年为突变点；南部汛期降水序列在20世纪1970年代中期、1990年代末至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 U_{Fk} 、 U_{Bk} 曲线交点的位置，可以确定1989年、1992年为突变点。

4. 塔城地区年降水与汛期降水相关性分析

全区多年平均各月降水量占年降水量的百分比，是表征降水量年内分配特征的常用方法，对当地农业生产也具有指导意义[15]。统计发现，塔城地区汛期(5~9月)降水量占全年降水量的41.2%~77.9%，其中中部占比最大(77.9%)，其次为南部(52.3%)，盆地(48.2%)最少；站点而言，和丰占比最大(77.9%)，其次为托里(67.4%)，其后依次为乌苏(54.1%)、沙湾(50.5%)、额敏(42.3%)、裕民(41.8%)，最少为塔城，仅41.2%。

Table 4. Correlation analysis between annual precipitation and flood season precipitation in Tacheng area

表 4. 塔城地区年降水与汛期降水相关分析

	塔城	裕民	额敏	托里	和丰	乌苏	沙湾	盆地	南部	全区
相关系数	0.68**	0.68**	0.67**	0.91**	0.93**	0.78**	0.82**	0.73**	0.80**	0.75**

注：**通过0.01的显著性水平检验。

从表 4 可以看出,塔城地区年降水与汛期降水呈显著正相关(通过了 0.01 的显著性水平检验),相关系数为 0.75,即年降水量多的年份,汛期降水也多;各站、各区域年均降水与汛期平均降水均呈显著正相关关系(通过了 0.01 的显著性水平检验),7 站中和丰相关系数达 0.93,托里次之(0.91),之后依次为沙湾、乌苏、塔城、裕民,最小为额敏(0.67);区域中仍以中部最大,其次为南部,最小为盆地。

5. 结论

1) 塔城地区多年平均降水为 234.8 mm,汛期平均降水为 120.1 mm,汛期降水占年降水量的 41.2%~77.9%,空间分布表现为自北向南逐渐减少,但站点间空间分布差异较大;年降水极值为 406.5 mm,汛期降水极值为 208.2 mm,均出现于 2016 年,日最大降水量极值多出现在汛期,表明汛期降水对年降水量贡献较大。

2) 塔城地区年降水、汛期降水年际波动较大,且均以偏少为主基调,回归分析表明,塔城地区年降水、汛期降水均呈不显著增多趋势,7 站年降水均表现为增多趋势,其中裕民、乌苏、沙湾分别以 12.03 mm/10a、9.51 mm/10a、7.12 mm/10a 的速率显著增多(通过了 0.05 的显著性水平检验),区域中仅南部以 8.32 mm/10a 的速率显著增多(通过了 0.05 的显著性水平检验),盆地及中部呈不显著增多趋势;各站汛期降水均表现为不显著增多趋势,区域中以中部增速最大,其次为塔城盆地,最小为南部。

3) 塔城地区年降水、汛期降水标准差分别为 53.7、32.9,站点分布差异较大,区域中盆地年降水、汛期降水标准差最大,南部次之,中部最小;年降水、汛期降水变率分别为 0.16、0.23,均与我国年降水变率相当,低于新疆大部分站点的降水变率,表明降水较稳定;区域中中部年降水变率最大,南部次之,盆地最小,中部及南部汛期降水变率最大,盆地最小,表明年降水、汛期降水量大的地方降水变率越小;年降水、汛期降水各站点及三个区域变差系数,均表现为中等变异性。

4) 塔城地区年降水年际变化经历了“多-少-多-多-多-多”的交替演变,汛期降水经历了“多-少-多-多-少-多”的交替演变,均以 21 世纪初年最多,1970 年代最少,各站年降水,汛期降水年际分布差异较大。

5) 塔城地区年降水序列在 1960 年代中末期、1980 年代末、1990 年代末至 2000 年代初发生过明显的由多到少和由少到多的突变,突变点为 1996 年;汛期降水序列在 1970 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,1993 年为突变点。

6) 塔城地区、各站、各区域年均降水与汛期降水为显著正相关(通过了 0.01 的显著性水平检验),即年降水量多的年份,汛期降水也多,汛期降水多的年份,年降水也多。

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)”、“托里县夏季致洪暴雨形成机理研究(MS202217)”、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,张强. 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、影响和前景初步研究[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] 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): 31-40.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 邓子凤, 张家宝. 新疆降水概论[M]. 北京: 气象出版社, 1985: 15.