

# 东天山北坡气温与降水时空变化特征

苗运玲<sup>1</sup>, 秦榕<sup>2</sup>, 张云惠<sup>3</sup>, 伏晓慧<sup>1</sup>

(1. 新疆乌鲁木齐市气象局, 乌鲁木齐 830006;

2. 新疆气象信息中心, 乌鲁木齐 830002; 3. 新疆气象局, 乌鲁木齐 830002)

**摘 要:**利用东天山北坡 5 个国家级地面气象站 1961—2016 年逐日气温和降水量资料,采用线性趋势分析、累积距平、滑动平均及 Mann-Kendall 突变方法,对该区域气温、降水变化特征进行了分析。结果表明:近 56 a 东天山北坡年、季、月平均气温均呈上升趋势,年增温率为 0.34℃/10 a,四季中秋季增温最显著,各月中 2 月增温最明显,空间分布上以巴里坤为低值中心逐渐向两侧增大,1993 年为气温突变年。年降水量以 13.02 mm/10 a 速率增加,四季均表现为增湿,且以夏季增湿最显著,空间分布上以木垒为大值中心逐渐向两侧减小,降水在 1992 年发生由少到多的突变。东天山北坡近 56 a 气候总体呈现明显的暖湿化变化趋势。

**关键词:**东天山; 气温; 降水; 气候变化; 突变检验

中图分类号:P467

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)03-0219-05

## Spatiotemporal Variations of Temperature and Precipitation on the North Slope of the Eastern Tianshan Mountain

MIAO Yunling<sup>1</sup>, QIN Rong<sup>2</sup>, ZHANG Yunhui<sup>3</sup>, FU Xiaohui<sup>1</sup>

(1. Urumqi Meteorological Administration, Urumqi 830006, China; 2. Xinjiang Meteorological

Information Center, Urumqi, Xijiang 830002, China; 3. Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi 830002, China)

**Abstract:** The characteristics of temperature and precipitation changes in the region were analyzed by using daily air temperature and precipitation data of five weather stations on the north slope of eastern Tianshan mountain in 1961—2016, and linear trend analysis, the cumulative departure, moving average and Mann-Kendall mutation method. The results showed that in the recent 56 years, the annual, seasonal, monthly average temperatures on north slope of eastern Tianshan were on the rise, and warming rate was 0.34℃/decade; warming is the most significant in autumn among the four seasons, and warming trend in February was the most obvious; on the spatial distribution, low values center was found in Barkol and the values increased gradually on both side. There was a mutation from low to high temperature in 1993. The annual, seasonal precipitation presented significantly increasing trend, and the annual rainfall increase rate was 13.02 mm/decade. Summer humidifying was the most significant. On the space distribution, big value center was observed in Mulei and the value reduced gradually on both sides. There was a mutation from less to more rainfall in 1992. There was a significant trend of warming and humidification on the northern slope of eastern Tianshan Mountain in nearly 56 years.

**Keywords:** eastern Tianshan Mountain; temperature; precipitation; climate change; mutation test

全球气候不断增暖将改变各地的温度场,并影响大气的运行规律,各地蒸发量和降水量的时空分布亦随之改变。IPCC 第五次评估报告指出,1880—2012 年,全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势,平均升

高 0.85℃,最近 30 a,每 10 a 的温度都高于 1850 年以后的任何一个 10 a<sup>[1]</sup>。近百年来中国的气候变化与全球候变化总趋势基本一致<sup>[2-5]</sup>。但是由于受地理条件、太阳辐射和大气环流的影响,气候变化又具有

很强的地域性、季节性和周期性等。因此,国内外众多学者针对引起气候变暖的众多气候因子从不同区域、不同角度,利用不同方法进行了大量的研究<sup>[6-9]</sup>。

气温和降水作为研究气候变化的基本因素,其变化对该区域生态环境变迁起到决定性作用<sup>[10]</sup>。新疆地处亚欧大陆腹地,是典型的干旱区,水资源是生态环境系统的核心,而新疆水资源的补给主要靠山区每年的自然降水<sup>[11]</sup>。天山作为世界七大山系之一,横亘在新疆中部并贯穿全境,是影响新疆乃至我国中、西部地区天气气候和生态环境的重要天然屏障<sup>[12]</sup>,山区大气降水是新疆河川径流的最终来源。近年来,众多学者对新疆和天山山区气候变化特征和趋势进行了大量研究<sup>[13-20]</sup>。魏文寿等<sup>[13]</sup>利用树木年轮资料分析了天山山区 235 a 气候变化,指出进入 20 世纪 80 年代气候趋于暖湿化,并预测未来 23 a 山区以湿润为主,生态环境总体趋于好转。普宗朝等<sup>[14]</sup>指出天山山区的温度在 1976 年开始变暖,1986 年是天山山区降水量呈现明显增多的突变点。刘友存等<sup>[15]</sup>指出天山山区降水呈现“西多东少,北多南少,高山多外围少”的特征,并与部分气候指数显示出较好的相关性。以上众多研究主要针对天山山区西段和中断的气候变化,而对于天山山区重要组成部分东段研究到目前为止却很少涉及。因此,本文利用东天山北坡 5 个国家级地面气象站 1961—2016 年温度和降水资料分析气候变化规律和趋势,探讨该区域是否与天山山区气候变化一致?是否也存在暖湿化变化?同时为今后该区域生态环境建设、水资源开发利用、农牧业布局等提供科学依据和理论参考。

## 1 研究区概况

东天山北坡地处亚欧大陆腹地,准噶尔盆地东南侧,以 88°E 为界,行政区隶属于新疆昌吉州东部的吉木萨尔、奇台、木垒哈萨克自治县和哈密北部的巴里坤哈萨克自治县、伊吾,总面积约为 11.22 万 km<sup>2</sup>,地理坐标为 42°25′—45°30′N,88°30′—96°23′E,海拔高度 742.9~1 728.6 m(图 1),属于天山北坡经济带的东段。该区域气候敏感,生态环境脆弱,地形复杂,呈西低东高,北低南高,降水量少,气候干燥,昼夜温差大,属于温带大陆性干旱半干旱气候。

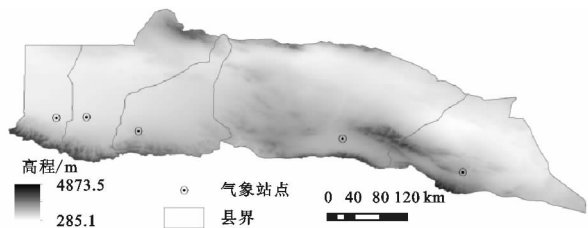


图 1 东天山北坡地形及气象站点分布

## 2 资料与方法

选取 1961 年 1 月 1 日—2016 年 12 月 31 日东天山北坡 5 个国家级地面气象站逐日平均气温和降水量资料。季节划分按照 3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、12 月至翌年 2 月为冬季。研究资料来自新疆维吾尔自治区气象信息中心,经过严格质量控制,资料真实可靠。气候平均值时段为 1981—2010 年。

使用线性趋势分析、累积距平和滑动平均等方法对研究区域气温和降水进行变化趋势分析,采用 Mann-Kendall(简称 M-K)检验方法对气候要素进行突变分析,为了检验气候要素转折是否达到突变标准,对突变点进行 t 检验和信噪比 S/N 检验,信噪比公式如下:

$$S/N = \frac{|\bar{X}_a - \bar{X}_b|}{S_a + S_b} \quad (1)$$

式中: $\bar{X}_a$ ,  $\bar{X}_b$ ,  $S_a$ ,  $S_b$  分别为转折年份前后两段要素的平均值和标准差,规定  $S/N > 1$  时,则认为该年是某气候要素的突变年,否则不是突变年。

## 3 结果与分析

### 3.1 气温年代际变化

从表 1 可知,东天山北麓年与季的年代际变化总体表现为上升趋势,即呈增暖趋势,但是各季节年代际周期变化有所不同。20 世纪 60 年代—80 年代(80 年代冬季除外)年、季气温以负距平为主,为气候偏冷期,80 年代以后以正距平为主(90 年代夏季除外,这与巴州地区夏季气温变化一致<sup>[21]</sup>),为气候偏暖期,其中冬季在 21 世纪近 16 a 变化与其他三季不同,呈先升后降的特征,即以降温为主。

表 1 1961—2016 年东天山北坡年与四季平均气温年代际距平

时间	年	春季	夏季	秋季	冬季
1961—1970 年	-0.61	-0.12	-0.45	-0.98	-1.07
1971—1980 年	-0.54	-1.01	-0.44	-0.22	-0.70
1981—1990 年	-0.19	-0.36	-0.38	-0.37	0.17
1991—2000 年	0.29	0.11	-0.07	0.13	0.78
2001—2016 年	0.81	0.98	0.73	0.94	0.40

### 3.2 气温年际变化

1961—2016 年东天山北坡年平均气温为 4.84℃,最高出现在 2013 年,为 6.34℃,最低出现在 1984 年,仅为 2.65℃,极差达到 3.69℃。从图 2 可知,近 56 a 东天山北坡年平均气温在波动中逐渐上升趋势,这与北半球和全球近百年来的温度增暖趋势相吻合<sup>[22]</sup>,增温率为 0.34℃/10 a(通过 0.01 的显著性检验),

明显高于全国的<sup>[23]</sup>  $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,略高于新疆<sup>[24]</sup>的 $0.32^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和天山北麓<sup>[16]</sup>的 $0.30^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。从11 a滑动平均变化可知,年平均气温呈上升趋势,虽有小的波动变化,但变幅不大。从20世纪60年代—90年代中期仅有10 a偏高于历年平均值,气温属于相对偏低期,从1997年开始气温持续上升,气温属于相对偏高区。

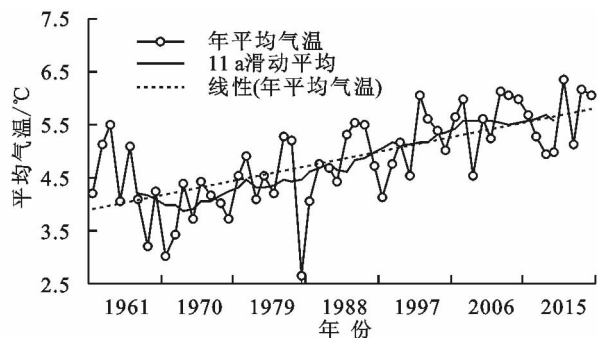


图2 1961—2016年东天山北坡年平均气温变化趋势

### 3.3 气温季节、月变化

东天山北坡四季气温变化与年变化较一致,均呈增温趋势,增温率依次为:秋季( $0.39^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )>冬季( $0.37^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )>春季( $0.33^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )>夏季( $0.28^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ),均通过0.01的显著性检验,这与新疆<sup>[24]</sup>的研究结果相似,而与全国<sup>[23]</sup>(冬季>春季>秋季>夏季)和天山北麓<sup>[16]</sup>(冬季>秋季>春季>夏季)变化不太一致。东天山北坡秋季是四季中增温最明显的,对年气温的上升贡献最大,其次是冬、春季,夏季贡献最小。

东天山北坡月平均气温年内总体表现为单峰型变化趋势,即先增后减,1月是气温偏低期,为 $-14.63^{\circ}\text{C}$ ,然后逐渐上升,7月达到峰值,为气温偏高期,达到 $21.21^{\circ}\text{C}$ ,以后逐渐下降。从时间序列变化上可知,各月平均气温均表现为上升趋势(通过0.01的显著性检验),其中2月增温速率最明显,气候倾向率为

$0.55^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,该月对冬季气温上升起到主导作用;5月增温速率相对较弱,为 $0.12^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

### 3.4 气温突变检验

为了研究东天山北坡在较长时间序列内变化信号,利用M-K法( $U_{\alpha} = \pm 2.56$ )进行突变检验分析。从图3可知,东天山北坡UF曲线总体呈上升趋势,其中1961—1963年呈上升趋势,1964—1971年呈波动下降趋势,1971年以后呈显著的上升趋势,与UB曲线相交于1993年,利用t检验方法,检验结果通过显著性( $p < 0.001$ )检验,即1993年是东天山北坡气温变暖的突变年,与文献<sup>[16]</sup>结论接近(1996年)。不同季节突变时间差异较大,春季出现在2004年,夏季1997年,秋季1989年,冬季1981年,均通过t检验( $p < 0.001$ )和信噪比( $S/N > 1$ )检验。

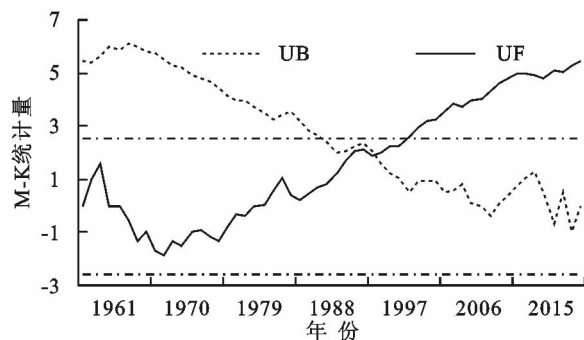


图3 1961—2016年东天山北坡平均温度突变分析

### 3.5 气温的空间分布

由图4A可知,东天山北坡年平均气温的空间分布总体上是以巴里坤为低值中心逐渐向两侧增大,即随着海拔高度的降低温度逐渐升高,高值中心位于西部的吉木萨尔。从研究区气候倾向率变化可知,各站点均呈上升趋势,其空间分布(图4B)与年平均气温分布几乎相反,是以巴里坤为大值中心逐渐向两侧减小,在奇台形成一个低值中心,其中吉木萨尔和伊吾增温率相同,均为 $0.25^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。

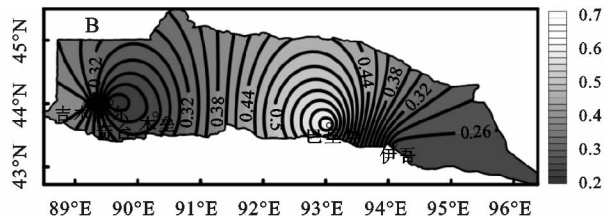
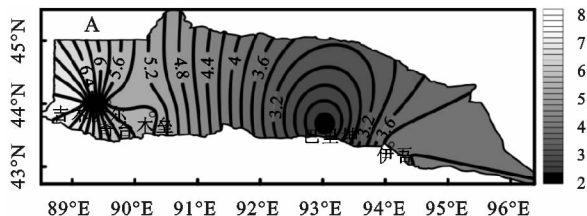


图4 1961—2016年东天山北坡平均气温

### 3.6 降水年代际变化

东天山北坡年、春、秋年代际降水量与气温变化一致均呈上升态势,即呈增温趋势,夏季降水量在20世纪70年代明显少于其他年代,仅有73.80 mm,而在21世纪近16 a也呈下降趋势,而冬季经历“增—减—增”的变化趋势。从表2可见,在20世纪60年

代—80年代年与四季降水量(秋季80年代除外)总体为负距平,之后以正距平为主(冬季90年代除外),说明在90年代以前年与各季降水量处于相对偏少期(偏枯期),之后处于相对偏多期(偏丰期)。

### 3.7 降水年际变化

近56 a东天山北坡年平均降水量为206.96

mm,最大出现在 2015 年,达到 334.28 mm,最小在 1962 年,仅有 111.36 mm,极差达到 222.92 mm。从图 5 可知,年降水量呈显著增加趋势,倾向率达到了 13.02 mm/10 a(通过 0.01 的显著性检验),低于天山北麓<sup>[16]</sup>的 15.67 mm/10 a,明显高于新疆<sup>[24]</sup>的 8.23 mm/10 a。从 11 a 滑动平均可知,年降水量在波动中呈缓慢上升趋势,其中 20 世纪 60 年代到 80 年代中后期降水处于偏枯期,1987 年以后降水明显增多,处于偏丰期。

表 2 1961—2016 年东天山北坡年与四季降水量年代际距平

时间	全年	春季	夏季	秋季	冬季
1961—1970	-24.05	-9.22	-3.80	-4.73	-6.33
1971—1980	-22.72	-1.59	-18.26	-2.70	-0.92
1981—1990	-1.95	-1.01	-2.28	3.69	-2.38
1991—2000	18.92	1.57	16.56	1.25	-0.48
2001—2016	18.62	5.89	4.84	1.55	6.11

3.8 降水季节、月变化

东天山北坡各季降水量与年降水量变化相同(图略),呈增加趋势,但增湿强度不同。倾向率依次为:夏季(5.26 mm/10 a>春季(3.28 mm/10 a>冬季(2.66 mm/10 a>秋季(1.82 mm/10 a,通过 0.01 的

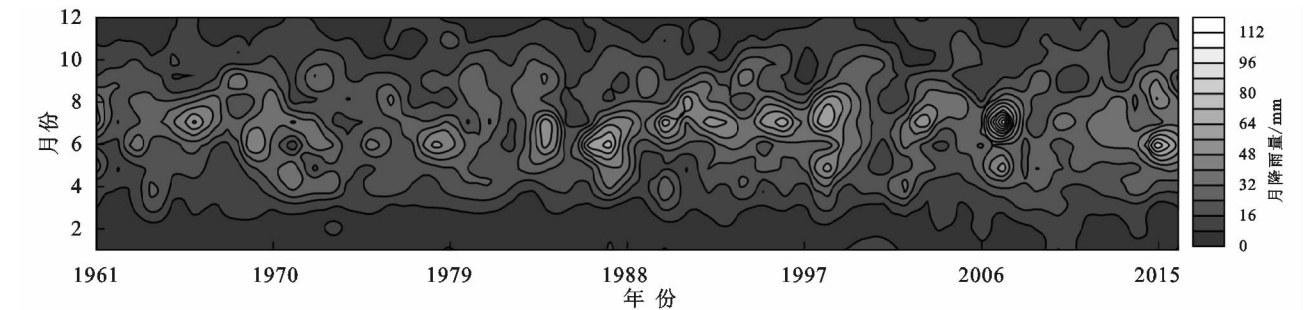


图 6 1961—2016 年东天山北坡降水量月变化

3.9 降水量突变检验

利用 M-K 法( $U_a = \pm 2.56$ )对东天山北坡 1961—2016 年降水量进行突变分析。从图 7 可知,UF 曲线总体呈上升趋势,20 世纪 60 年代到 80 年代变化幅度比较大,呈明显峰谷变化,80 年代中期以后呈持续上升趋势,与 UB 相交于 1990 年、1992 年,采用 t 检验和信噪比进行突变检验,1992 年通过显著性( $p < 0.001$ )和信噪比( $S/N = 1.91$ )检验,即该年是东天山北坡降水量明显增多的突变年,明显晚于新疆<sup>[24]</sup>(1963 年、1975 年、1978 年、1980 年)和天山北麓<sup>[16]</sup>(1983 年)。同样对四季进行了突变分析(图略),夏季发生在 1990 年,秋季在 1978 年,冬季在 1997 年,通过 t 检验( $p < 0.001$ )和信噪比( $S/N > 1$ )检验,春季没有出现明显的突变现象。

3.10 降水量空间分布

从东天山北坡年降水量空间分布(图 8A)可知,

显著性检验,与天山北麓<sup>[16]</sup>变化一致,与新疆<sup>[24]</sup>(夏季>冬季>秋季>春季)变化不一致。

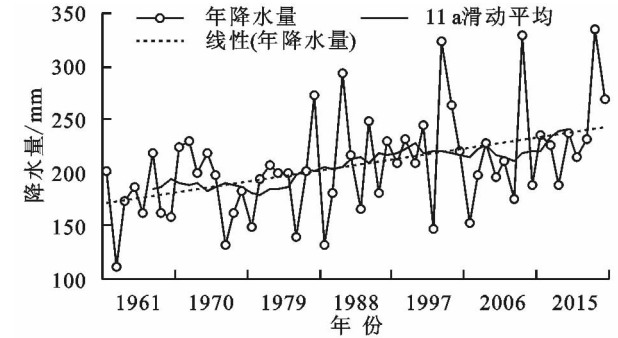


图 5 1961—2016 年东天山北坡降水量变化趋势

从图 6 可知,东天山北坡月降水量变化总体呈倒“V”型分布,即呈先增后减态势,1 月、2 月变化不大,月降水量在 4.6 mm 左右,从 2 月开始逐渐增大,7 月达到峰值,为 35.59 mm,然后逐渐减少。降水集中出现在夏季,占年降水量 44.48%,几乎占到一半。从各月气候倾向率变化可知,除了 9 月(-0.35 mm/10 a)外,其他各月均表现为增加趋势(通过 0.01 的显著性检验),5 月增湿最明显,为 2.18 mm/10 a,该月对春季降水量的增加贡献最大。

是以木垒为高值中心逐渐向两侧减小,低值出现在伊吾,为 101.43 mm,仅为木垒年降水量的 1/3。从降水倾向率变化可知,研究区各站点均呈增加趋势,空间分布(图 8B)与年降水量分布一致,以木垒为大值中心逐渐向两侧减小,增加最小的是伊吾,仅为 6.19 mm/10 a,说明降水量越大其降水增幅相对较大,反之相对较小。

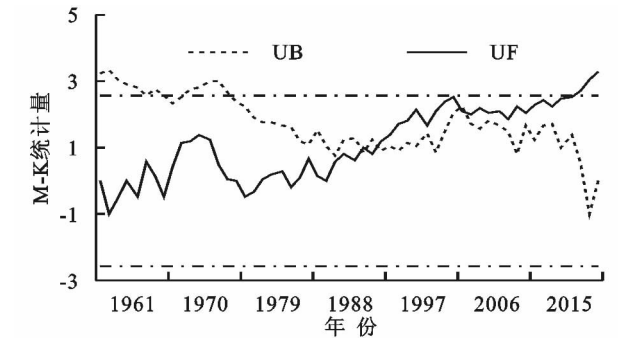


图 7 1961—2016 年东天山北坡降水量突变

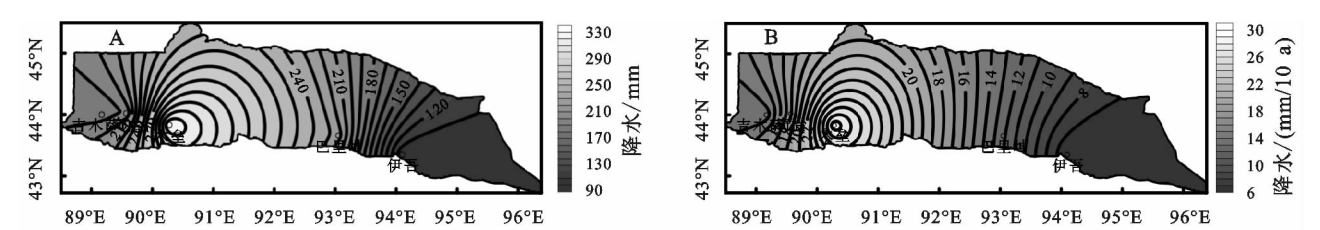


图 8 1961—2016 年东天山北坡平均降水与气候倾向率空间分布

5 结论与讨论

(1) 近 56 a 东天山北麓年平均气温为 4.84℃,呈明显的增暖趋势,以 0.34℃/10 a 速率上升,明显高于全国,而略高于新疆和天山北麓。其中在 20 世纪 60—80 年代以负距平为主,为气候偏冷期,80 年代以后以正距平为主,为气候偏暖期。年降水量为 206.96 mm,呈显著的增加趋势,增湿率达到 13.02 mm/10 a,低于天山北麓而明显高于新疆。其中 60—80 年代以负距平为主,降水处于相对偏少期,之后以正距平为主,降水处于相对偏多期。由此可以可知,近 56 a 东天山北坡的气候呈增暖增湿变化趋势。气温、降水量在四季和月变化中,总体呈增暖增湿趋势(降水除了 9 月),但变化速率各有不同。

(2) 利用 M-K 法对东天山北坡气温和降水进行突变分析,发现气温在 1993 年发生突变,明显晚于新疆而略早于天山北麓;降水量发生突变在 1992 年,明显晚于新疆和天山北麓。对不同季节,发生突变时间各有不同。

(3) 从气温的空间分布可以看出是以巴里坤为低值中心逐渐向两边增大,即随着海拔高度的降低温度逐渐升高,增温率的空间分布与其几乎相反;降水量空间分布与增湿率相同,是以木垒为高值中心,逐渐向两侧减小,说明降水量越大其降水增幅相对较大,反之相对较小。

本文对研究区域逐日平均气温和降水量进行了详细分析,表明该区域存在气温升高、降水增多的变化趋势,即呈暖湿化方向发展,这与新疆、天山山区气候变化是一致的,但由于选用的气象站点稀少,数据时间长度有限,对于研究结果又一定的局限性;此外由于研究区气候属于干旱半干旱,生态环境比较脆弱,气温的升高会导致山区融雪性洪水的发生、蒸发量增大的现象,极端降水的增多会形成洪灾、山体滑坡、泥石流等灾害。因此,在今后的研究中应该加入区域自动站、水文站资料,利用更多方法,对各类气候因子进行全面深入的研究,为当地未来气候预测、生态环境变化、水资源利用提供一定的科学依据。

参考文献:

[1] 沈永平,王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013,35(5):1068-1076.

[2] 王绍武,龚道溢. 对气候变暖问题争议的分析[J]. 地理研究,2001,20(2):153-160.

[3] 邸择雷,乌云娜,宋彦涛,等. 1958—2016 年呼伦贝尔草原新巴尔虎右旗气温和降水变化特征[J]. 中国沙漠, 2017,37(5):1006-1015.

[4] 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.

[5] 陈隆勋. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制[J]. 气象学报,2004,62(5):634-646.

[6] 任国玉,封国林,严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):337-353.

[7] Wang H, Fan K, Sun J, et al. A review of seasonal climate prediction research in China[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2015,32(2):149-168.

[8] 韩翠华,郝志新,郑景云. 1951—2010 年中国气温变化分区及其区域特征[J]. 地理科学进展,2013,32(6):887-896.

[9] 叶柏生,李眾,杨大庆,等. 我国过去 50 a 来降水变化趋势及其对水资源的影响[J]. 冰川冻土,2004,26(5):587-594.

[10] 武胜利,刘强吉. 近 50 a 新疆巴州地区气温与降水时空变化特征[J]. 干旱气象,2016,34(4):610-616.

[11] 任国玉,袁玉江,柳艳菊,等. 我国西北干燥区降水变化规律[J]. 干旱区研究,2016,33(1):1-19.

[12] 张正勇,刘琳,唐湘玲. 近 50 年我国天山山区降水变化区域差异及突变特征[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(7):85-90.

[13] 魏文寿,袁玉江,俞树龙,等. 中国天山山区 235 a 气候变化及降水趋势预测[J]. 中国沙漠,2008,28(5):803-808.

[14] 普宗朝,张山清,李景林,等. 近 36 年新疆天山山区气候暖湿变化及其特征分析[J]. 干旱区地理,2008,31(3):409-415.

[15] 刘友存,焦克勤,赵奎,等. 中国天山地区降水对全球气候变化的响应[J]. 冰川冻土,2017,39(4):748-759.

[16] 李成,王让会,黄进. 天山北麓近 50 年气温和降水的变化特征[J]. 水土保持研究,2013,20(6):117-124.

- 业大学学报自然科学版,2013,37(1):11-17.
- [16] 杨灿灿,吴见,王春,等.基于HJ-1B影像的内蒙古草地叶面积指数反演[J].测绘工程,2015,24(5):29-32.
- [17] 郭然.中国草原生态系统生产力、碳储量与固碳潜力研究[D].北京:中国科学院研究生院,2006.
- [18] Yang P W, Tang W B, Zhou H J, et al. Mapping spatial and temporal variations of leaf area index for winter wheat in North China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2007,6(12):1437-1443.
- [19] Li Z Q, Guo X L. Leaf area index estimation in semi-arid mixed grassland by considering both temporal and spatial variations[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2013,7(1):1-17.
- [20] 张宇佳,袁金国,张莎.2002—2011年河北省植被LAI时空变化特征[J].南京林业大学学报:自然科学版,2015,39(1):86-92.
- [21] 柳艺博,居为民,朱高龙,等.内蒙古不同类型草地叶面积指数遥感估算[J].生态学报,2011,31(18):5159-5170.
- [22] 杨勇帅,李爱农,靳华安,等.中国西南山区GEOV1, GLASS和MODISLAI产品的对比分析[J].遥感技术与应用,2016,31(3):438-450.
- [23] 金云翔,徐斌,杨秀春,等.内蒙古锡林郭勒盟草原产草量动态遥感估算[J].中国科学:生命科学,2011,41(12):1185-1195.
- [24] 包云,李晓兵,黄玲梅,等.1961—2007年内蒙古降水时空分布[J].干旱区地理,2011,34(1):56-65.
- [25] 方秀琴,张万昌.叶面积指数(LAI)的遥感定量方法综述[J].国土资源遥感,2003,15(3):58-62.
- [26] Bernstein L S, Jin X, Gregor B, et al. Quick atmospheric correction code: Algorithm description and recent upgrades[J]. Optical Engineering, 2012,51(11):1-11.
- [27] 朱绪超,袁国富,易小波,等.基于Landsat 8 OIL影像的塔里木河下游河岸林叶面积指数反演[J].干旱区地理,2014,37(6):1248-1256.
- [28] 刘玉琴,沙晋明,余涛,等.基于宽波段和窄波段植被指数的草地LAI反演对比研究[J].遥感技术与应用,2014,29(4):587-593.
- [29] 孙小龙,刘朋涛,李平,等.近三十年来锡林郭勒草原植被NDVI指数动态分析[J].中国草地学报,2014,36(6):23-28.
- [30] 杭玉玲,包刚,包玉海,等.2000—2010年锡林郭勒草原植被覆盖时空变化格局及其气候响应[J].草地学报,2014,22(6):1194-1204.
- [31] 姜晔,毕晓丽,黄建辉,等.内蒙古锡林河流域植被退化的格局及驱动力分析[J].植物生态学报,2010,34(10):1132-1141.
- [32] 韩砚君,牛建明,张庆,等.锡林河流域近30年草原植被格局动态及驱动力分析[J].中国草地学报,2014,36(2):70-77.
- [33] 常学礼,吕世海,冯朝阳,等.地形对草甸草原植被生产力分布格局的影响[J].生态学报,2015,35(10):3339-3348.
- [34] 陈宝瑞,李海山,朱玉霞,等.呼伦贝尔草原植物群落空间格局及其环境解释[J].生态学报,2010,30(5):1265-1271.
- [35] 呼延俊奇,肖静,于博威,等.我国自然保护区功能分区研究进展[J].生态学报,2014,34(22):6391-6396.

~~~~~

(上接第223页)

- [17] 张山清,普宗朝,李新建,等.气候变化对天山北坡经济带设施农业气候适宜性的影响[J].中国农业气象,2016,37(5):495-504.
- [18] 赵玲,杨青,安沙舟.天山山区1961—2010年面雨量分布及变化特征[J].沙漠与绿洲气象,2013,7(2):20-24.
- [19] 苗运玲,李如琦,卓世新.天山北坡东段GPS反演的大气可降水量变化特征及其与降水的关系[J].干旱气象,2016,34(6):989-994.
- [20] 管延龙,王让会,李成.天山北麓1963—2010年0 cm最高与最低地表温度变化特征[J].干旱气象,2015,33(4):578-594.
- [21] 武胜利,刘强吉.近50 a新疆巴州地区气温与降水时空变化特征[J].干旱气象,2016,34(4):610-616.
- [22] 张家宝,史玉光,袁玉江,等.新疆气候变化及短期气候预测研究[M].北京:气象出版社,2002.
- [23] 任国玉,郭军,徐铭志,等.近50 a中国地面气候变化基本特征[J].气象学报,2005,63(6):942-956.
- [24] 热孜宛古丽·麦麦提依明,杨建军,刘永强,等.新疆近54年气温和降水变化特征[J].水土保持研究,2016,23(2):128-133.