

# 1961—2016年汛期东天山北坡不同量级降水日数时空变化特征

苗运玲<sup>1</sup> 宫恒瑞<sup>1</sup> 张云惠<sup>2</sup> 柴岩红<sup>1</sup>

(1 新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市气象局, 乌鲁木齐 830006; 2 新疆维吾尔自治区气象局, 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年汛期(5—9月)逐日降水资料,采用线性趋势、相关系数、多项式拟合及Mann-Kendall突变方法,探讨不同量级降水日数时空演变特征及与汛期总降水量的关系。结果表明:随着降水量级升高,对应降水日数迅速减小;近56 a总降水日数、中雨日数、大雨日数和暴雨日数均呈增加趋势,其中大雨日数增加趋势最明显,对总降水日数的增加贡献最大,小雨日数呈明显的减小趋势,大雨日数在1991年发生突变,暴雨日数在1980年发生由少到多的突变,其他降水日数表现为下降趋势,但均未发生突变;从不同量级降水日数空间分布可知,除了小雨日数其他量级降水日数都是以木垒为高值中心,逐渐向东西两侧减小,最低值一般出现在伊吾和吉木萨尔;汛期随着降水量级上升,降水日数与汛期总降水量相关系数也不断增大,小雨日数与总降水量相关性最差,与大雨日数相关性最高。

**关键词:** 东天山北坡, 降水日数, 趋势

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2020.03.009

## The Different Orders Rainy Days Spatiotemporal Variation Characteristics of the East Tianshan Mountain North Slope in Rainy Season from 1961 to 2016

Miao Yunling<sup>1</sup>, Gong Hengrui<sup>1</sup>, Zhang Yunhui<sup>2</sup>, Chai Yanhong<sup>1</sup>

(1 Urumqi Meteorological Bureau, Urumqi 830006 2 Xinjiang Meteorological Bureau, Urumqi 830002)

**Abstract:** Spatiotemporal characteristics of number of precipitation days for different magnitudes and total precipitation during flood season were investigated based on daily precipitation data at 5 national surface weather stations on the north slope of east Tianshan Mountain from 1961 to 2016 (May to September). The results show that with the increase of precipitation magnitudes, the number of precipitation days decreases rapidly. The nearly 56 a total precipitation days, moderate rain days, heavy rain days and rainstorm days of all showed an increasing trend. The increase trend of the number of heavy rain days was the most obvious, which mostly caused the increase of total precipitation days. The number of light rain days showed an obvious decreasing trend. In 1991, the heavy rain days had a sudden change, and in 1980 the heavy rain days had a sudden change. The number of other precipitation days had a downward trend, but no abrupt change occurred. From the spatial distribution of the number of precipitation days of different orders of magnitude, the number of light rain days, the number of precipitation days were all based on the wooden barrier as the high value center decreased to the east and west gradually, and the lowest values were generally found in Yiwu and Jimusar. During flood season, with the increase of precipitation magnitudes, the correlation coefficient increased between the precipitation days and total precipitation. The correlation between the number of light rain days and total precipitation was the worst and the number of heavy rain days was the most obvious.

**Keywords:** north slope of east Tianshan Mountain, number of precipitation day, trend

### 0 引言

天山作为世界七大山系之一,位于欧亚大陆腹

地,是世界上最大的独立纬向山系,也是世界上距离海洋最远和全球干旱地区最大的山系。它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。近年来,对天山山区降水量空间分布及其变化已经开展了较深入的研究<sup>[1-5]</sup>。研究<sup>[3]</sup>显示,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。天山山区的降水量总体上在增加,天山中部和南部的降水量增加

收稿日期: 2019年2月22日; 修回日期: 2019年7月19日  
 第一作者: 苗运玲(1976—), Email: hmmyl65313@163.com  
 通信作者: 柴岩红(1978—), Email: 441932880@qq.com  
 资助信息: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(IDM2016001)

幅度都大于西部<sup>[4]</sup>。

不同量级降水日数能直接或间接反映出研究区域的降水特征，可以作为衡量某一区域降水是否分配均匀的指标<sup>[6-9]</sup>。本研究利用1961—2016年东天山北坡5个国家级地面气象站的降水量数据，分析东天山北坡不同量级降水日数的分布及其变化趋势，提高对东天山北坡降水量分布和变化的认知程度，以期对东天山北坡生态环境保护和恢复提供基础数据。

## 1 资料与方法

### 1.1 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，地理坐标为42°25′—45°30′N，88°30′—96°23′E，海拔高度742.9~1728.6 m（图1）。选取该区域具有代表性的5个国家级地面气象站，分别是昌吉州东部的吉木萨尔、奇台、木垒县和哈密北部的巴里坤、伊吾县，总面积约为11.22万 km<sup>2</sup>。该区域气候较为敏感，生态环境脆弱，地形地貌复杂，总体呈西低东高，北低南高，降水量较少，分布不均匀，气候干燥，昼夜温差大，属于温带大陆性干旱半干旱气候。

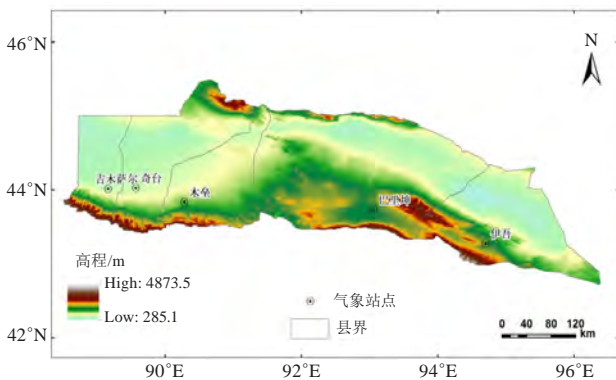


图1 东天山北坡地形及气象站点分布示意图

Fig. 1 Spatial distribution of meteorological stations on the north slope of east Tianshan Mountain

### 1.2 数据来源

数据来源于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，使用东天山北坡5个国家级地面气象站1961—2016年逐日降水数据资料。5—9月是东天山北坡主要降水量季节，其降水量占年降水量的60%~80%，因此把5—9月看成该研究区域的汛期。根据2003版《地面气象观测规范》<sup>[10]</sup>规定，天气现象日界时间以北京时间20时为界，即当日20时至次日20时出现的降水作为一个降水日数，若某次降水跨日（或月）则按出现2个降水日数计算。

### 1.3 分析方法及雨量分级处理

本文所使用的分析方法主要包括线性趋势、相关系数和多项式拟合等方法。采用Mann-Kendall（简称M-K）方法对降水时间序列进行突变分析，为了检验气象要素突变是否达到标准，对突变点进行信噪比S/N检验，信噪比公示如下：

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

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。

由于新疆区域的特殊性，降水量分级标准相对中国内陆大部分地区有所不同，新疆降水评分标准将降水量分为5个量级：微雨（0.0 mm）、小雨（0.1~6.0 mm）、中雨（6.1~12.0 mm）、大雨（12.1~24.0 mm）、暴雨（≥24.1 mm）。本文只统计日降水量≥0.1 mm的降水事件，并将日降水量≥0.1 mm的降水称为有效降水。各量级降水日数即为该量级的降水日数，将4个有效降水的降水日数之和称为总降水日数。

## 2 结果与分析

### 2.1 汛期不同量级降水日数基本特征

1961—2016年东天山北坡经济带汛期总降水日数为167 d。结合表1分析可知，该区域不同量级降水日数具有以下特征：（1）随着降水量级的上升，对应降水日数迅速减小。小雨日数所占比重最大，占总降水日数79.04%，对总降水日数贡献最大；其次是中雨日数为11.98%，其余降水日数均低于10%。（2）从不同量级降水日数气候倾向率可以看出，小雨日数变化趋势不明显；其他降水日数均呈增加趋势，大雨日数增加最明显，中雨日数的增加是导致汛期总降水日数增加的主要原因；其次是暴雨日数，二者均通过0.01显著性检验。（3）从总降水日数与不同量级降水日数相关系数可知，除了暴雨日数与总降水日数相关系数较小且没有通过0.05显著性检验外，其余降水日数均通过0.01显著性检验，其中与小雨日数相关性最好，达到0.92，表明小雨日数对总降水日数贡献最大，暴雨日数贡献最小。（4）年际分布差异大。各量级不同降水日数最多年份大多集中出现在1984—1988年，暴雨日数出现在1998年；最少降水日数出现年份比较分散，其中没有暴雨出现的年份主要集中在20世纪80年代中期以前。（5）年际变化大。总降水日数最多达226 d，最少仅有114 d。

表1 1961—2016年东天山北坡汛期不同量级降水日数统计

Table 1 The number of precipitation days for different magnitudes during flood season on the north slope of east Tianshan Mountain from 1961 to 2016

雨日类型	雨日/d	所占比例/%	气候倾向率/(d/10 a)	相关系数	最多/(d/年份)	最少/(d/年份)
小雨日数	132	79.04	-1.69	0.92**	193/1988	95/2006
中雨日数	20	11.98	0.33	0.59**	37/1987	9/1962、1974
大雨日数	12	7.19	1.27**	0.48**	22/1984	3/1982
暴雨日数	3	1.8	0.58**	0.26	11/1998	0/1962、1975、1977、1979、1985
总降水日数	167		0.45		226/1988	114/2001

注：\*表示通过0.05显著性水平，\*\*表示通过0.01显著性水平。

### 2.2 汛期不同量级降水日数空间分布特征

从1961—2016年东天山北坡汛期不同量级降水日数空间分布可知(图2)，总降水日数(图2a)主要是以木垒为高值中心(37.5 d)逐渐向东西两侧减小，其次是巴里坤(37.1 d)，最低值出现在海拔高度最低的吉木萨尔(30.1 d)。小雨日数(图2b)以

巴里坤(28.1 d)为大值中心逐渐向两侧减小，其次是海拔最高的伊吾(27.5 d)，最小值依然出现在吉木萨尔(24.2 d)；其他降水日数的空间分布与总降水日数相似，都是以木垒为高值中心逐渐向两侧减小，最低值出现区域不同，而是出现在哈密市东北部的伊吾县。

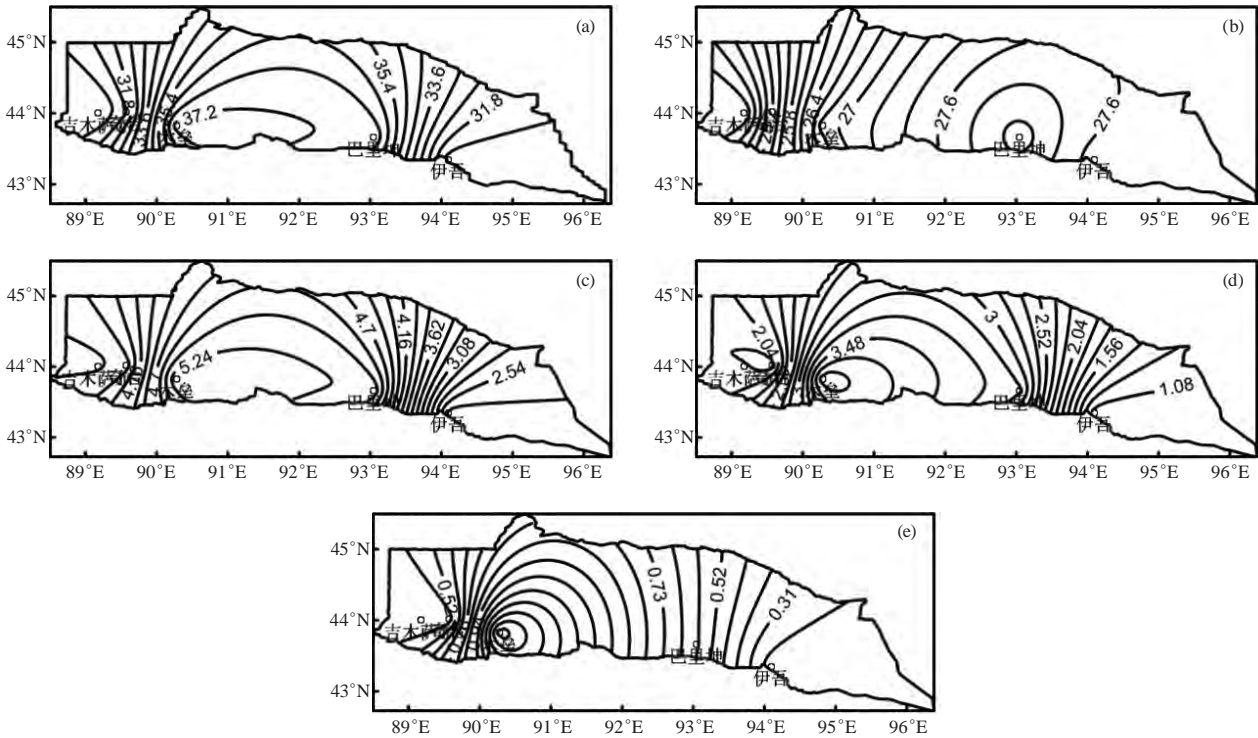


图2 1961—2016年东天山北坡汛期平均总降水日数(a)、小雨日数(b)、中雨日数(c)、大雨日数(d)和暴雨日数(e)空间分布(单位:d)

Fig. 2 Spatial distribution of average total precipitation days (a), the number of light rain days (b), the number of moderate rain days (c), the number of heavy rain days (d) and the number of rainstorm days (e) during flood season on the north slope of east Tianshan Mountain from 1961 to 2016 (Unit: d)

综上分析可知，不同量级降水日数空间分布都是以某一高值区为中心逐渐向东西两侧减小，不同的是高值区和低值区出现区域不同，高值区集中出现在木垒(小雨日数出现在巴里坤)，低值区集中出现在吉木萨尔和伊吾。从各区域不同量级降水日数所占比重可知(图略)，随着降水量级的增大，对应降水日数

也迅速减小，其中小雨日数占总降水日数比重最大，5个县均在72%以上，其中伊吾所占比重最高，达到89%以上。因此可知，总降水日数越少的区域，小雨日数所占比重越大，反之越小；暴雨日数所占比重最小，在0.6%~3.7%，其中木垒出现暴雨日数最多，占3.7%，伊吾出现最少，仅占0.6%。

### 2.3 汛期不同量级降水日数气候趋势分布特征

由近56 a东天山北坡汛期不同量级降水日数变化趋势的空间分布(图3)可知,总降水日数和小雨日数变化趋势较一致,这与小雨日数占总降水日数比重在72%以上有绝对的关系。因此,在一定程度上,各站小雨日数的趋势变化基本可以代表总降水日数变化趋势。其中吉木萨尔和奇台呈增加趋势,其他3县呈减小趋势,不同的是总降水日数中5县均未通过0.05显著性检验,总趋势是以吉木萨尔增加最明显,达到0.72 d/10 a,且逐渐向东减小,最小值出现在伊

吾;而小雨日数中巴里坤减小最显著(-0.9 d/10 a,  $P < 0.05$ ),其他4个县均未通过检验。中雨日数趋势变化与大雨日数、暴雨日数相似,5个县均呈增加趋势,不同的是中雨日数5个县均未通过0.05显著性检验;大雨日数中,有2个县通过0.05和1个县通过0.01显著性检验,巴里坤增加最显著,达到0.48 d/10 a ( $P < 0.01$ ),伊吾增加趋势最小( $P > 0.05$ );暴雨日数中,木垒增加最明显,达到0.26 d/10 a ( $P < 0.01$ ),增加趋势最弱的是吉木萨尔( $P > 0.05$ )。

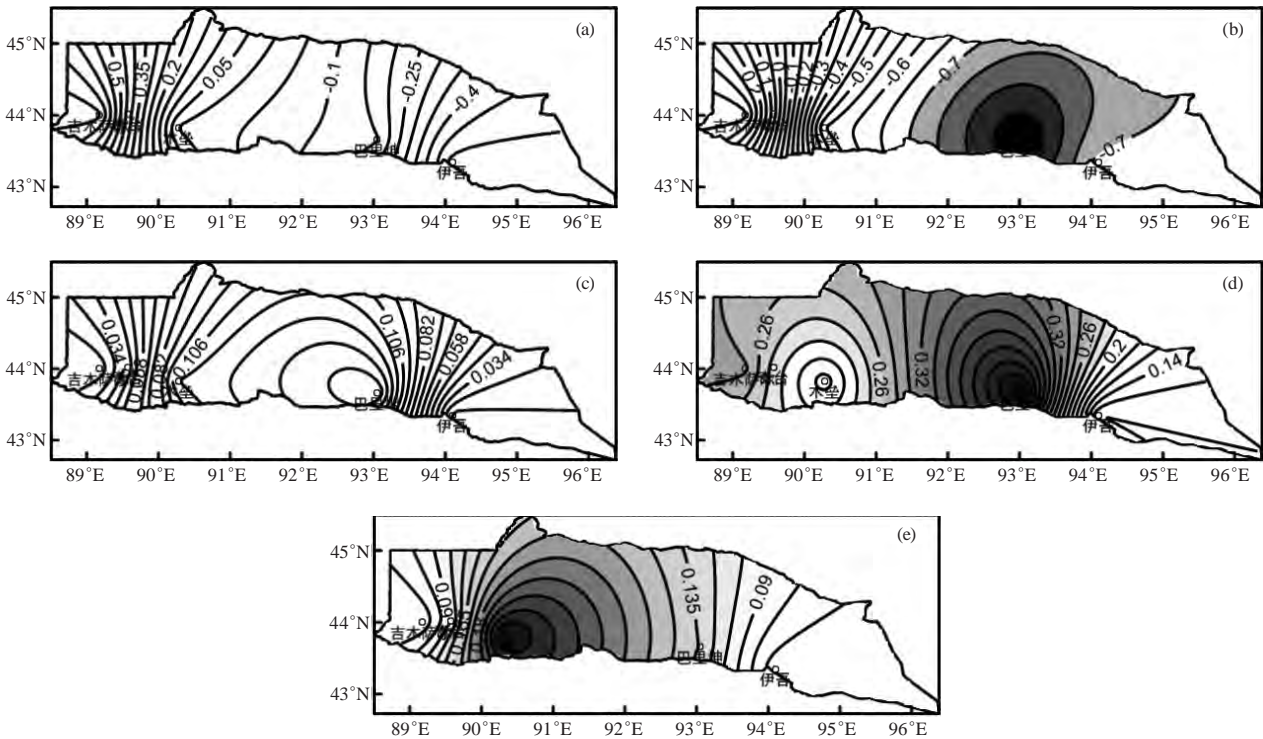


图3 1961—2016年东天山北坡汛期平均总降水日数(a)、小雨日数(b)、中雨日数(c)、大雨日数(d)和暴雨日数(e)气候变化趋势空间分布(单位:d/10 a,阴影部分通过0.05显著性检验)

Fig. 3 Spatial distribution of climate change trend of average total precipitation days (a), the number of light rain days (b), the number of moderate rain days (c), the number of heavy rain days (d) and the number of rainstorm days (e) during flood season on the north slope of east Tianshan mountain from 1961 to 2016 (Unit: d/10 a, the shaded part passes a significance level of 0.05)

### 2.4 汛期不同量级降水日数年代际变化特征

为了分析东天山北坡不同量级降水日数的年代际变化趋势,利用6次多项式拟合方法对该区域不同降水日数进行序列拟合。由图4可知,近56 a东天山北坡汛期总降水日数和小雨日数变化趋势基本一致,呈单峰双谷型,峰值出现在20世纪90年代初期,谷值出现在20世纪60年代中期和21世纪前10年的末期,20世纪70—90年代以及近6年均呈增加趋势。中雨日数20世纪60—90年代初期呈增加趋势,随后逐渐减小持续到21世纪初期,然后逐渐增加。大雨日数从20世纪60

年代到21世纪初期呈微弱波动增加趋势,随后快速增加。暴雨日数呈双峰双谷型,峰值出现在20世纪60年代中期和90年代末期,谷值出现在20世纪70年代末期和21世纪前10年的末期,随后增加明显。综合分析表明,各量级降水日数均在进入21世纪前10年后呈增加趋势,预计这种增加趋势仍将持续。

### 2.5 汛期不同量级降水日数的突变分析

为了检验1961—2016年东天山北坡汛期不同量级降水日数较长时间序列变化信号,利用M-K法进行变化趋势分析的同时进行突变分析。从图5可知,总降

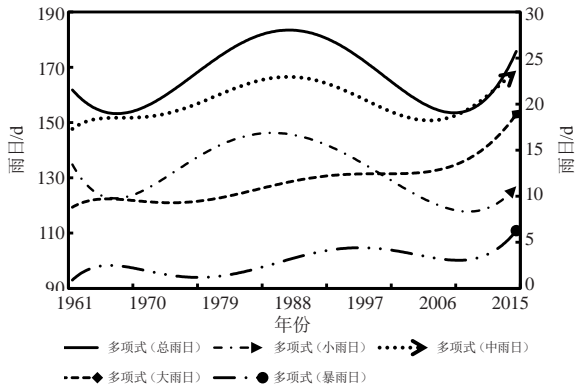


图4 1961—2016年东天山北坡汛期不同量级降水日数年代际变化趋势

Fig. 4 The trend of number of precipitation days for different magnitude during flood season on the north slope of east Tianshan Mountain from 1961 to 2016

水日数、小雨日数和中雨日数变化趋势相似，UF和UB曲线在临界线（ $\pm 1.96$ ）范围内出现多个交点，但相交的年份不同，通过信噪比检验各交点 $S/N$ 均小于1，说明三者研究期内均未发生突变；同时从UF曲线演变可知从20世纪90年代末期以后呈下降趋势，并在未来仍将持续。大雨日数在1977年之后UF曲线呈波动上升趋势，与UB曲线相交于1991年，通过信噪比检验该交点 $S/N > 1$ ，说明1991年是东天山北坡大雨日数的突变年，1998年超过临界线，表明为显著的上升趋势；暴雨日数中UF和UB曲线在1980年以前出现多个交点，利用信噪比检验所有交点只有1980年 $S/N > 1$ ，表明该年是暴雨日数的突变年，1990年超过临界线，表明从该年开始为显著上升趋势，同样这种上升趋势在未来仍将持续。

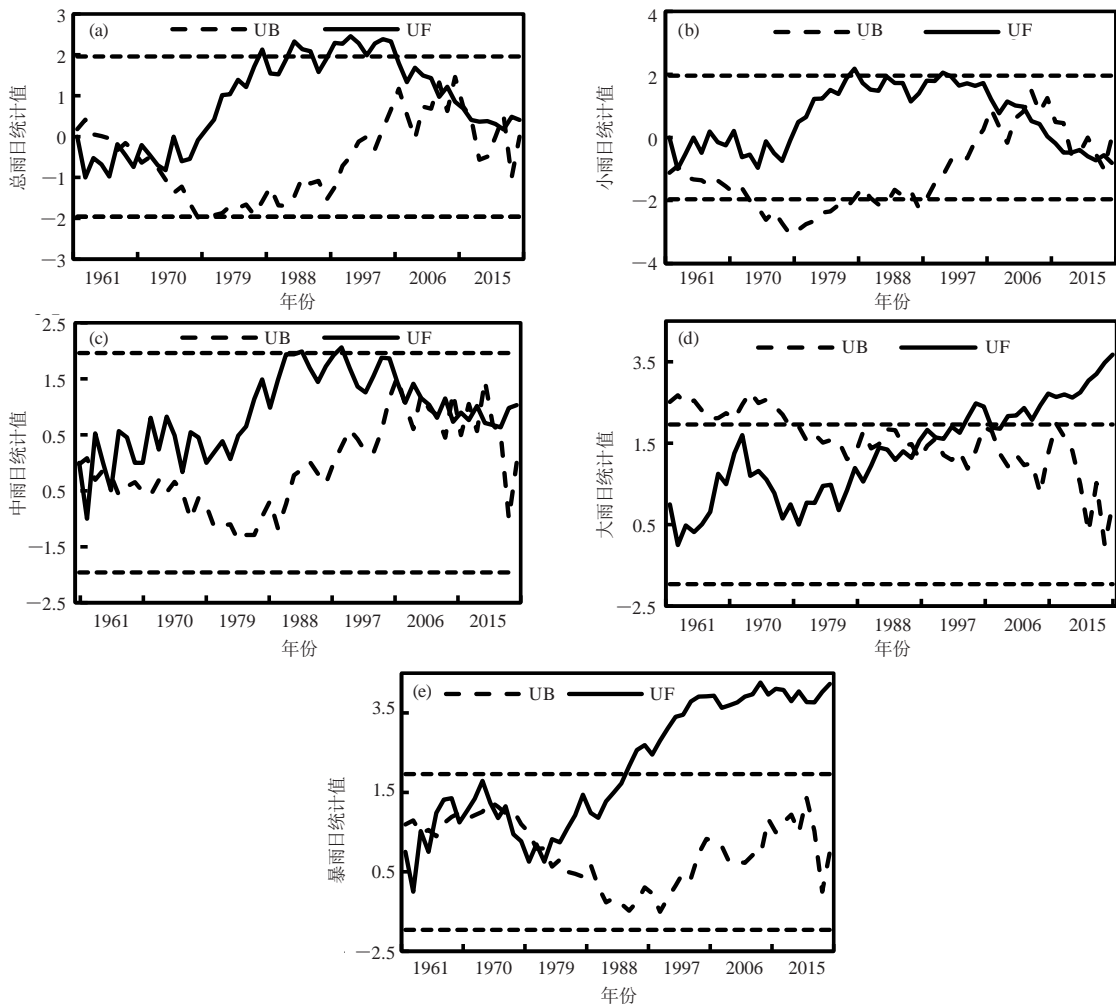


图5 1961—2016年东天山北坡汛期总降水日数 (a)、小雨日数 (b)、中雨日数 (c)、大雨日数 (d) 和暴雨日数 (e) 突变分析

Fig. 5 The analysis of abrupt change points of total precipitation days (a), the number of light rain days (b), the number of moderate rain days (c), the number of heavy rain days (d) and the number of rainstorm days (e) during flood season on north slope of east Tianshan Mountain from 1961 to 2016

## 2.6 汛期不同量级降水日数与总降水量的关系

从近56 a东天山北坡汛期总降水量的空间分布可知(图略),总雨量与总降水日数、中雨日数、大雨日数和暴雨日数空间分布比较一致,均以木垒为大值中心,逐渐向东西两侧减小,低值区位于伊吾。汛期总降水量线性趋势变化(图略)与总降水日数、中雨日数、大雨日数和暴雨日数变化较一致,为明显的增加趋势,达到45.06 mm/10 a;从气候倾向率的空间分布可知(图略)与中雨日数、大雨日数相似,均表现为增加趋势,增加最明显的是巴里坤,伊吾增加最小;不同的是通过显著性检验范围和站点不同,总降水量有3个县通过0.01显著性检验。汛期总降水量与不同量级降水日数的相关系数全部通过0.01显著性检验(表略),与小雨日数相关性最差,仅为0.36,而与其他降水日数相关系数均在0.65以上,说明中、大、

暴雨日数与汛期总降水量关系较密切,其中与大雨日数相关系数最好,高达0.84,其次是暴雨为0.74。

从不同量级降水日数与汛期总降水量相关系数空间分布可知(图6),总降水量与总降水日数相关性密切,5个县均通过0.01显著性检验,相关系数最高出现在吉木萨尔,为0.68;与小雨日数相关性相对较差,只有3个县通过0.01显著性检验,相关性最好的为伊吾,达到0.42;与小雨日数相比,中雨日数与总雨量相关性有所提高,1个县通过0.05显著性检验,4个县通过0.01显著性检验,相关性最好的仍出现在伊吾,升至0.64;而大雨日数、暴雨日数与总雨量相关性更高,5个县均通过0.01显著性检验,大雨日数相关性最好出现在巴里坤,为0.71;暴雨日数为0.70,出现在木垒。因此在汛期随着降水量级升高,降水日数与汛期总降水量的相关系数也不断增大,小雨日数与总雨量相关性相对较差,与大雨日数相关性最好。

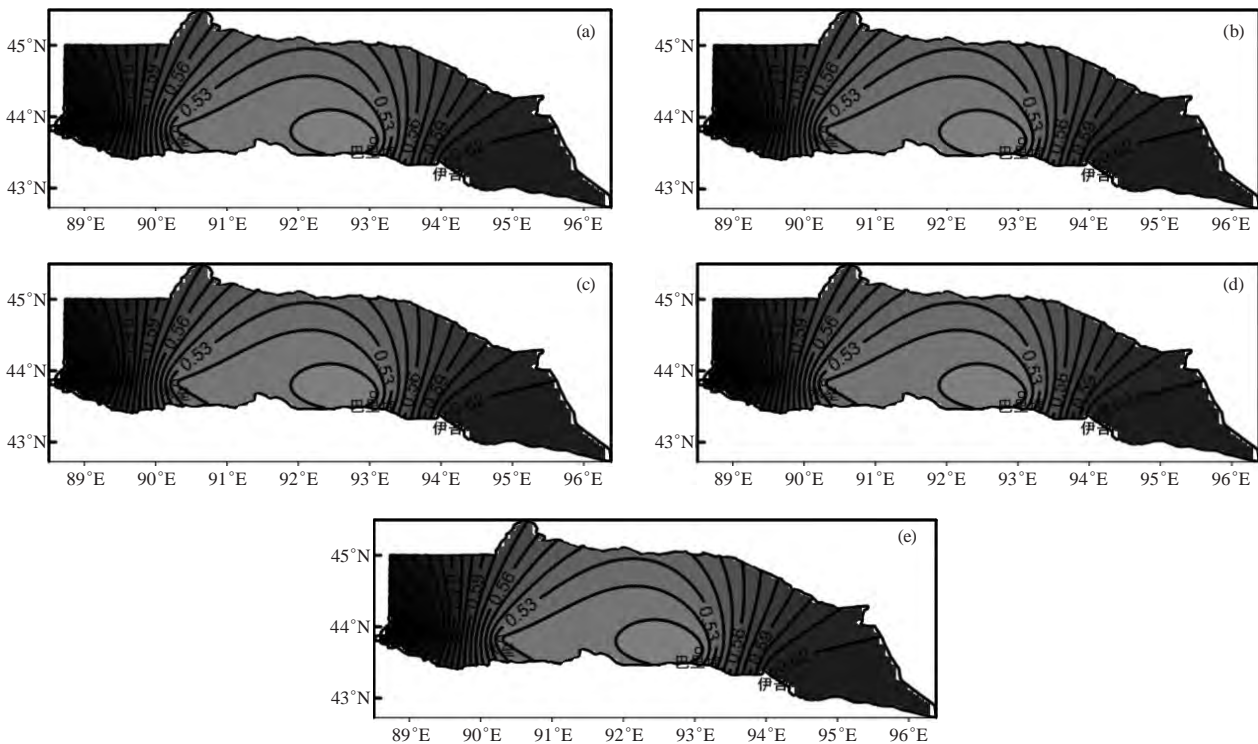


图6 1961—2016年东天山北坡汛期总降水量与总降水日数(a)、小雨日数(b)、中雨日数(c)、大雨日数(d)和暴雨日数(e)相关系数空间分布(阴影部分通过0.05显著性检验)

Fig. 6 Spatial distribution of correlation coefficient between total precipitation and total precipitation days (a), the number of light rain days (b), the number of moderate rain days (c), the number of heavy rain days (d) and the number of rainstorm days (e) during flood season on the north slope of east Tianshan Mountain from 1961 to 2016 (the shaded part passes a significance level of 0.05)

## 3 结论

1) 近56 a东天山北坡汛期总降水日数为167 d,小雨日数占总降水日数比重达79.04%,且随着降水量级的上升,对应的降水日数迅速减小,暴雨日数仅为

3 d。从气候倾向率变化可知,小雨日数呈明显下降趋势,其他降水日数呈增加趋势,其中大雨日数增加最明显,达到1.27 d/10 a,它的增加是导致汛期总降水日数增加的主要原因。

2) 从不同量级降水日数的空间分布可知, 都是以某一高值区为中心逐渐向东西两侧减小, 不同的是高值区和低值区出现区域不同, 高值区大都集中出现在木垒(小雨日数出现在巴里坤), 低值区集中出现在吉木萨尔和伊吾。具体表现为总降水日数越少的区域, 小雨日数所占比重越大, 暴雨日数所占比重越小。

3) 通过6次多项式拟合方法对东天山北坡近56 a不同雨日进行序列拟合发现, 总降水日数和小雨日数变化趋势基本一致, 呈单峰双谷型, 其他降水日数变化不太一致, 但总的来说各量级降水日数在进入21世纪前十年后均呈增加趋势。

4) 利用近56 a东天山北坡汛期不同量级降水日数与总降水量关系可知, 随着降水量级升高, 降水日数与汛期总降水量的相关系数也不断增大。

#### 参考文献

- [1] 张明军, 李瑞雪, 贾文雄, 等. 中国天山山区潜在蒸发量的时空变化. 地理学报, 2009, 64(7): 798-806.
- [2] 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. 干旱区资源与环境, 2013, 27(7): 85-90.
- [3] 赵传成, 丁永建, 叶柏生, 等. 天山山区降水量的空间分布及其估算方法. 水科学进展, 2011, 22(3): 1932-1960.
- [4] 刘友存, 焦克勤, 赵奎, 等. 中国天山山区降水对全球气候变化的响应. 冰川冻土, 2017, 39(4): 748-759.
- [5] 韩雪云, 杨青, 姚俊强. 新疆天山山区近51年来降水变化特征. 水土保持研究, 2013, 20(2): 139-144.
- [6] 王芬, 曹杰, 李腹广, 等. 贵州不同等级降水日数气候变化特征及其与降水量的关系. 高原气象, 2015, 34(1): 145-154.
- [7] 郑腾飞, 刘显通, 万齐林, 等. 近50年广东省分级降水的时空分布特征及其变化趋势的研究. 热带气象学报, 2017, 33(2): 212-220.
- [8] 李小亚, 张勃, 汪宝龙, 等. 河西地区1960年至2011年不同级别降水日数和极端降水事件的变化特征. 资源科学, 2013, 35(1): 182-190.
- [9] 张冰, 刘宣飞, 郑广芬, 等. 宁夏夏季极端降水日数的变化规律及其成因. 大气科学学报, 2018, 41(2): 176-185.
- [10] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 2003.

## “自然指数2020: 地球和环境领域”榜单发布中国气象局荣膺机构上升之星

■ 李婧华

2020年4月30日, 自然出版集团发布了“2020年自然指数榜单”。在地球和环境领域排行榜中, 中国科学院、德国亥姆霍兹联合会和法国国家科学研究中心位列前三甲。中国气象局以137篇论文的成绩, 位列第25位, 较上一年的第67位有大幅度提升。

榜单中共有22个中国机构进入地球和环境领域排行榜前100名, 数量比上一年增加了7个。中国科学院(排名1)、南京大学(6)和中国科学院大学(13)是中国机构前三甲。其他中国机构有: 同济大学(14)、中国科技大学(17)、中国地质大学(武汉)(18)、北京大学(19)、清华大学(26)、浙江大学(36)、中山大学(40)、北京师范大学(50)、哈尔滨工业大学(54)、武汉大学(57)、香港科技大学(65)、南京信息工程大学(72)、中国地质大学(北京)(84)、南开大学(87)、中国地震局(90)、华中科技大学(94)、自然资源部(94)和兰州大学(100)。最新榜单中, 中科院连续5年蝉联第1位, 入选的中国高校共有18所高校, 政府机构共3个, 其中中国气象局的排名最高。

除中国气象局外, 多个国家/地区的气象机构进入榜单前100名。NOAA位列第8, 比上一年的第17前进了9位; NCAR位列第29, 较上一年的第30前进1位; 加拿大环境和气候变化中心位列第83, 较上一年的

第74有所下滑。中国气象局位列NOAA和NCAR之后, 是该榜单中排名第三的气象机构。

今年的自然指数年度榜单还增加了机构上升之星榜单, 该榜单跟踪2015—2019年各机构高质量产出的增长情况。在地球和环境领域, 中国成为该榜单中的主导力量, 共有62家机构入选上升之星榜单, 并且包揽了榜单前10名。根据调整后的贡献份额变化情况, 升幅最快的前十家机构上升之星分别是中国科学院、中国科学院大学、中国地质大学、同济大学、中国科技大学、南京大学、中山大学、中国气象局、武汉大学和中国地质大学(北京)。

中国气象局在地球和环境领域上升之星榜单中荣膺第8, 是这个名单里的唯一政府机构。中国气象局经调整后的贡献份额增加了22.22%, 反映出机构在过去几年中高质量的科研成果增长显著。在2020年的榜单中, 中国气象局排名第25位, 也是历年来的最佳排名。随着气候变化和空气污染成为全球研究的重中之重, 中国气象局在气候监测和模式、大气污染物形成以及气候变化对生态的影响等方面开展了广泛的研究。

(作者单位: 中国气象局气象干部培训学院)