

1961—2017年中巴经济走廊北端帕米尔高原 极端升温过程频数与强度气候变化特征

毛炜峰，姚俊强，陈静，李红军

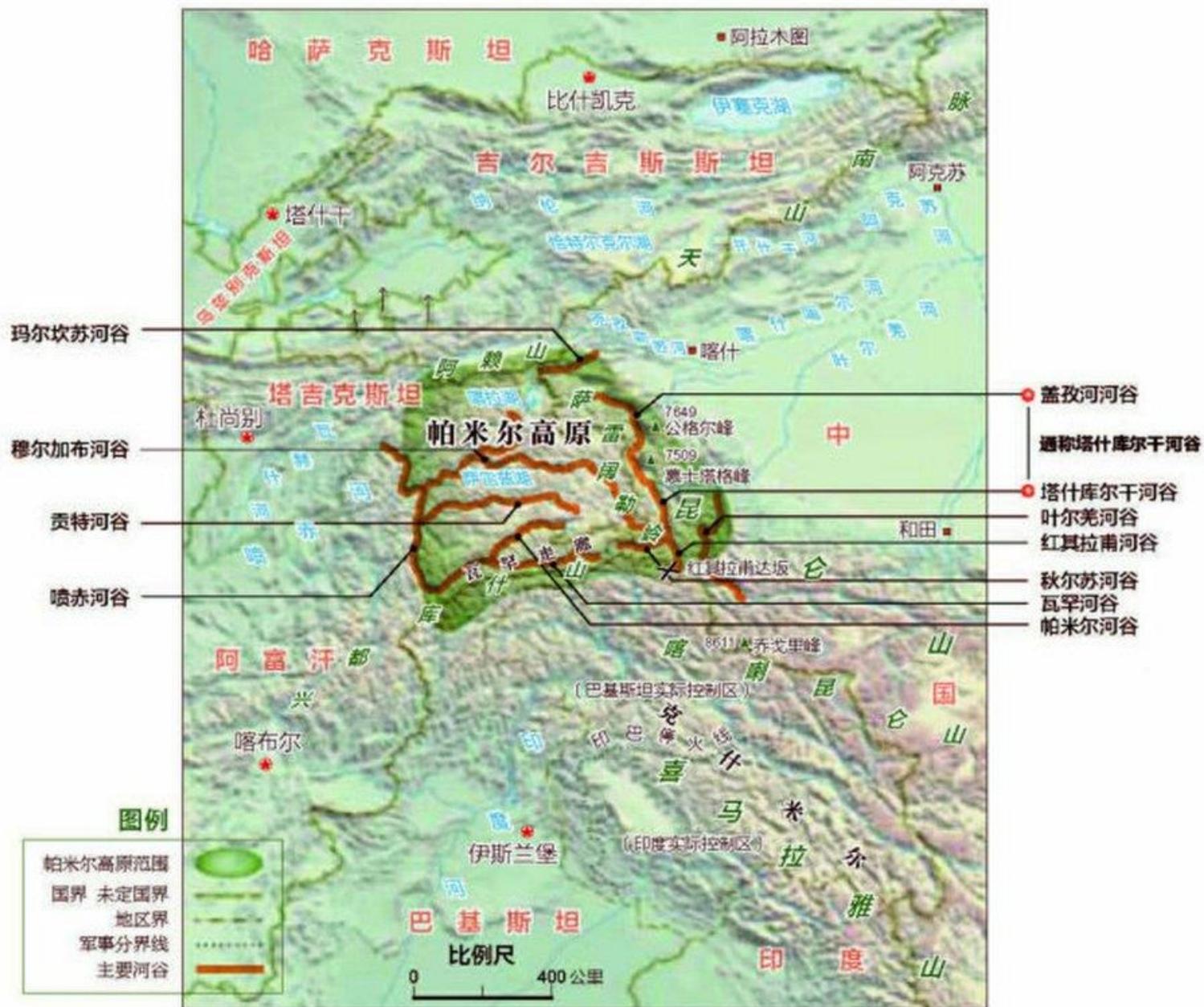
中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所

2018年8月28日 · 宁夏银川

主要内容

- 1 资料与分析方法
- 2 极端升温过程的基本气候特征
- 3 极端升温过程的气候变化特征
- 4 结论

帕米尔高原的位置范围图



Rotterdam
鹿特丹
杜伊斯堡
Duisburg

莫尔兹比港
Moresby

1 资料与分析方法

1.1 资料

测站：塔什库尔干、吐尔尕特、乌恰

要素：日最高气温

时段：1961年1月1日—2017年12月31日



中巴经济走廊北端帕米尔高原中国区域测站地理参数表

站名	气象测站编号 (WMO统一)	纬度 (N)	经度 (E)	海拔高度 (m)
塔什库尔干	51804	37° 47'	75° 14'	3093.7
吐尔尕特	51701	40° 31'	75° 24'	3507.2
乌恰	51705	39° 43'	75° 15'	2177.5

1 资料与分析方法

1.2 升温过程定义

单次升温过程基本概念

概念	定义
升温日	测站日最高气温较前一天上升，即当天的 $\Delta T_{24} > 0.0^{\circ}\text{C}$ ，则定义为一个气温上升日，简称为升温日
初日、及终日	测站24h变温 ΔT_{24} 由 $\leq 0.0^{\circ}\text{C}$ 转为 $> 0.0^{\circ}\text{C}$ 的第一天定义为升温过程初日，持续到 ΔT_{24} 再次出现 $\leq 0.0^{\circ}\text{C}$ 的前一天，称为升温过程终日，从过程初日到终日称为一次升温过程
持续日数	过程初终日之间（含初、终日）的天数称为升温过程持续日数
升温幅度	升温过程终日与过程初日的前一天之间的日最高气温差定义为过程升温幅度
最大24 h升温幅度	过程中所有 ΔT_{24} 中的上升幅度最大者称之为过程最大24h升温
最大48 h升温幅度	过程中所有 ΔT_{48} 中的上升幅度最大者称之为过程最大48h升温，如果升温过程持续不足2d，则过程最大48h升温不统计
最大72 h升温幅度	过程中所有 ΔT_{72} 中的上升幅度最大者称之为过程最大72h升温，如果升温过程持续不到3d，那么过程最大72h升温不统计
最高气温	过程终日的日最高气温值
日最高气温距平最大偏高幅度	过程中所有日最高气温与同日多年平均值之差的极大值

1 资料与分析方法

1.3 升温过程综合强度指数 I_Z 计算

选出过程升温幅度、过程最大24h升温幅度和过程最大日气温距平偏高幅度3个单要素，分别计算其标准化值 I_F 、 I_{T24} 、 I_{TG} 和 I_{JP} ，再计算 I_F 、 I_{T24} 、 I_{TG} 和 I_{JP} 的等权重和，作为升温过程综合强度指数 I_Z ，公示见式（1）。

$$I_Z = I_F + I_{T24} + I_{TG} + I_{JP} \quad (1)$$

1.4 极端升温过程选取方法

以升温过程的综合强度指数 I_Z 为指标，选取强度排位前10%的过程作为极端升温过程。

2 极端升温过程的基本气候特征

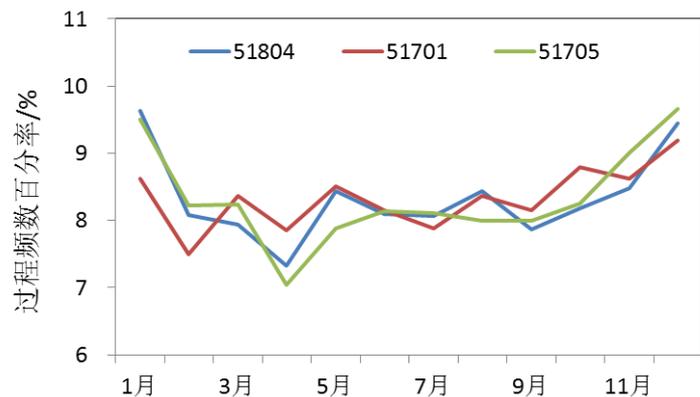
2.1 升温过程频数

1961年1月1日至2017年12月31日，塔什库尔干、吐尔尕特、乌恰分别出现了4898、5340和5288 次升温过程。

帕米尔高原3站逐月升温过程频数占年总数百分率

测站	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
51804	9.6	8.1	7.9	7.3	8.4	8.1	8.1	8.4	7.9	8.2	8.5	9.5
51701	8.6	7.5	8.4	7.8	8.5	8.1	7.9	8.4	8.1	8.8	8.6	9.2
51705	9.5	8.2	8.2	7.0	7.9	8.1	8.1	8.0	8.0	8.2	9.0	9.7

- (1) 3站逐月升温过程频数百分率差异不大;
- (2) 3站升温过程频数在12-1月多;
- (3) 3站升温过程频数在春季少、略有差异
塔什库尔干：4 月
吐尔尕特：2 月
乌 恰：4 月



帕米尔高原3站逐月升温过程频数
占年总数百分率

2 极端升温过程的基本气候特征

2.2 极端升温过程基本特征

1961—2017年，塔什库尔干、吐尔尕特和乌恰分别出现了489、534和528次极端升温过程，平均每年分别为8.6、9.4和9.3次。

塔什库尔干489次极端升温过程的综合强度指数 IZ 在3.49—13.59之间，平均为5.02。

吐尔尕特534次极端升温过程的综合强度指数 IZ 在3.63—11.64之间，平均为5.11。

乌恰528次极端升温过程的综合强度指数 IZ 在3.40—17.06之间，平均为4.96。

2 极端升温过程的基本气候特征

2.3 极端升温过程频数月分布

帕米尔高原3站逐月极端升温过程频数占年总数百分率

测站	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
51804	8.7	9.6	8.9	10.7	11.1	12.0	17.0	9.2	3.4	0.5	0.8	8.1
51701	9.0	9.2	11.0	12.2	12.6	10.0	9.2	5.5	4.0	3.9	6.1	7.2
51705	12.7	11.6	10.9	11.6	10.3	6.5	8.9	4.1	3.2	3.6	5.5	11.1

- (1) 3站逐月极端升温过程频数百分率差异大；
- (2) 3站极端升温过程频数在9-10月最少；
- (3) 极端升温过程最多月份有明显差异。

塔什库尔干：7 月

吐尔尕特：5 月

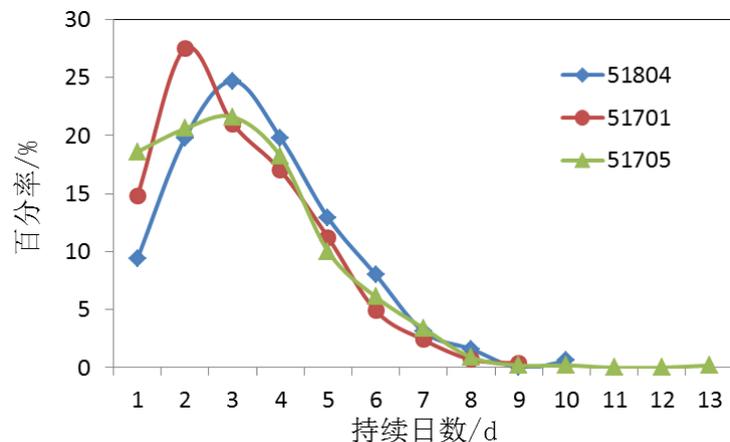
乌 恰：1 月



帕米尔高原3站逐月极端升温过程频数占年总数百分率

2 极端升温过程的基本气候特征

2.4 极端升温过程持续日数



- (1) 塔什库尔干持续2-4d的极端升温过程较多，3d最多；
- (2) 吐尔尕特持续2-4d的极端升温过程较多，2d最多；
- (3) 乌恰持续1-3d的极端升温过程较多，3d最多；
- (4) 3站持续6d以上的极端升温过程很少。

帕米尔高原3站不同持续日数对应的极端升温过程频数百分率

帕米尔高原3站逐月极端升温过程持续日数

测站	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
51804	2.56	3.05	3.35	3.82	3.89	3.83	3.85	3.90	3.59	3.09	2.57	2.41	3.56
51701	2.56	3.37	2.97	3.54	3.67	3.60	3.79	3.85	3.00	2.77	2.29	2.55	3.13
51705	2.42	2.89	3.08	3.74	3.85	3.71	3.89	4.14	3.32	3.02	2.54	2.51	3.21

- (1) 3站极端升温过程月平均持续日数最长的均出现在8月；
- (2) 3站极端升温过程月平均持续日数最短的出现月份有差异，塔什库尔干在12月，吐尔尕特在11月，乌恰在1月。

2 极端升温过程的基本气候特征

2.5 极端升温过程综合强度

帕米尔高原3站各月份极端升温过程平均综合强度指数

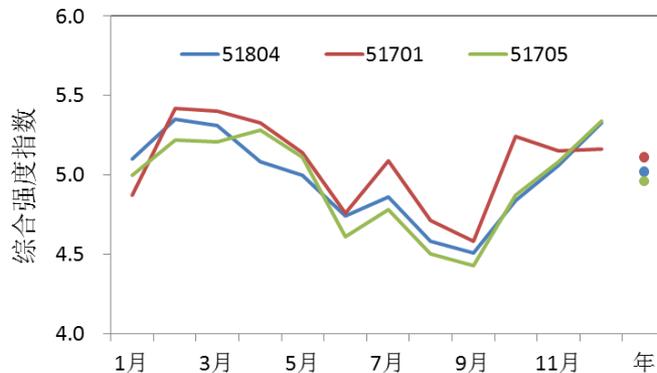
测站	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年
51804	5.10	5.35	5.31	5.08	5.00	4.74	4.86	4.58	4.51	4.84	5.06	5.33	5.02
51701	4.87	5.42	5.40	5.33	5.14	4.76	5.09	4.71	4.58	5.24	5.15	5.16	5.11
51705	5.00	5.22	5.21	5.28	5.11	4.61	4.78	4.50	4.43	4.87	5.08	5.34	4.96

- (1) 3站极端升温过程强度在9月最弱；
- (2) 极端升温过程强度最强月份有差异。

塔什库尔干：2 月

吐尔尕特：2 月

乌 恰：12月



2 极端升温过程的基本气候特征

2.6 帕米尔高原各站综合强度最强的极端升温过程

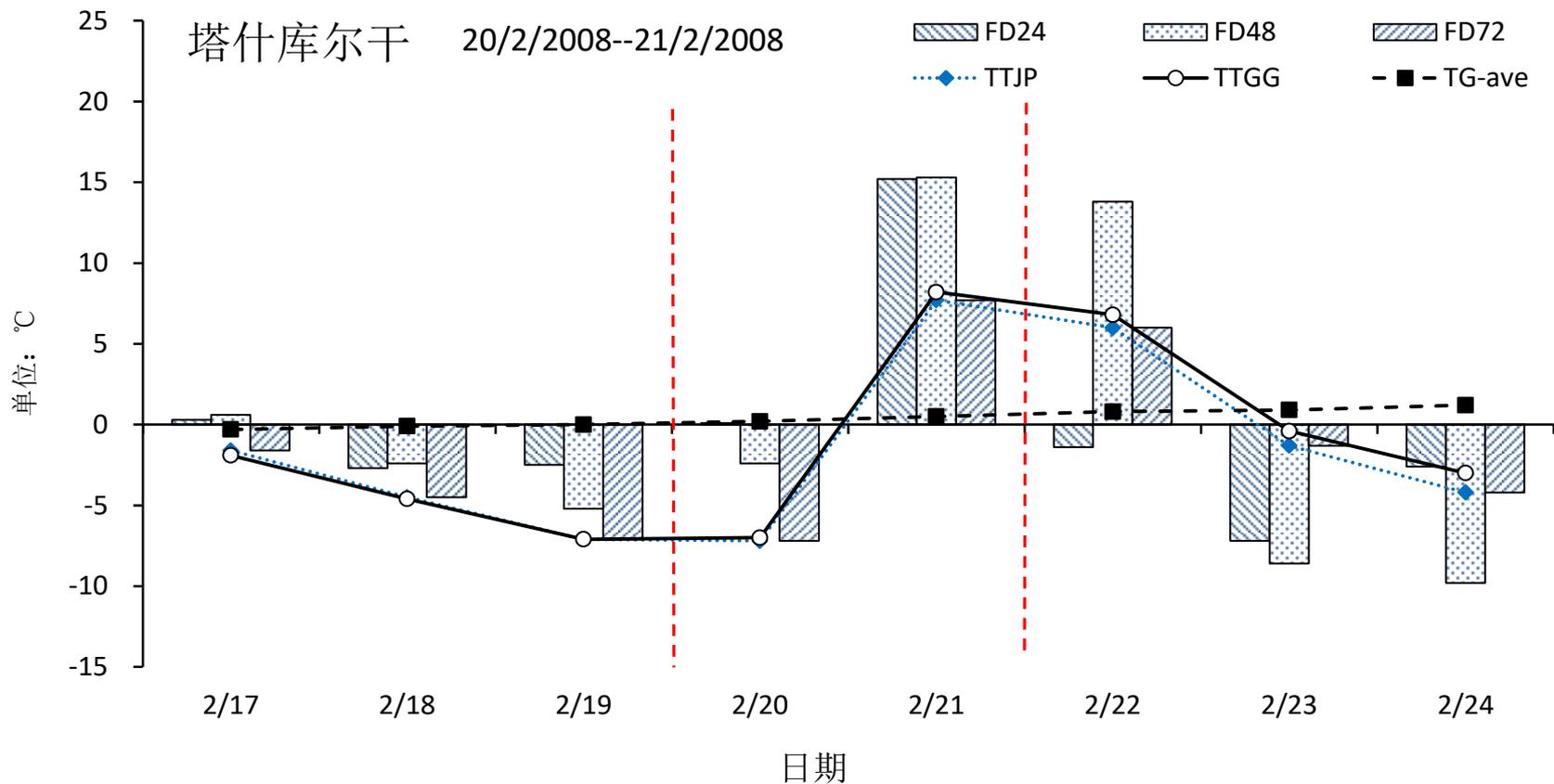
塔什库尔干综合强度排序前10位的极端升温过程

排序	IZ	开始日期			结束日期			持续日数/d	FD /°C	TG /°C	JP /°C	FD24 /°C	FD48 /°C	FD72 /°C
		年	月	日	年	月	日							
1	13.59	2008	2	20	2008	2	21	2	15.3	8.2	7.7	15.2	15.3	
2	12.51	2006	1	27	2006	1	28	2	18.6	3.1	6.6	12.9	18.6	
3	10.79	2016	12	27	2016	12	29	3	14.8	8.9	12.5	8.7	13.1	14.8
4	10.51	2008	12	23	2008	12	24	2	16.3	3.3	7.0	10.8	16.3	
5	10.07	1969	2	8	1969	2	10	3	17.7	2.7	4.4	10.6	16.2	17.7
6	9.97	1995	1	26	1995	1	26	1	12.5	2.8	6.3	12.5		
7	9.88	2004	3	6	2004	3	8	3	12.0	17.6	12.9	7.3	11.3	12.0
8	9.27	1992	2	25	1992	2	27	3	18.0	3.6	1.8	10.2	13.7	18.0
9	9.02	1974	2	27	1974	3	2	4	16.5	7.5	4.3	8.9	10.6	15.6
10	8.90	2005	3	12	2005	3	13	2	10.2	18.8	12.4	6.8	10.2	

说明：FD表示过程升温幅度；TG表示过程中极端最高气温；JP表示过程中日最高气温距平偏高幅度最大值；FD24、FD48和FD72分别表示过程中最大24h、48h和72h升温幅度。

2 极端升温过程的基本气候特征

2.6 帕米尔高原各站综合强度最强的极端升温过程



1961-2017年塔什库尔干综合强度最大的一次升温过程

(2008年2月20—21日, 综合强度指数IZ为13.59, 持续2d, 过程升温15.3°C, 最大24h升温15.2°C, 过程最高气温为8.2°C, 最大日气温距平7.7°C。)

2 极端升温过程的基本气候特征

2.6 帕米尔高原各站综合强度最强的极端升温过程

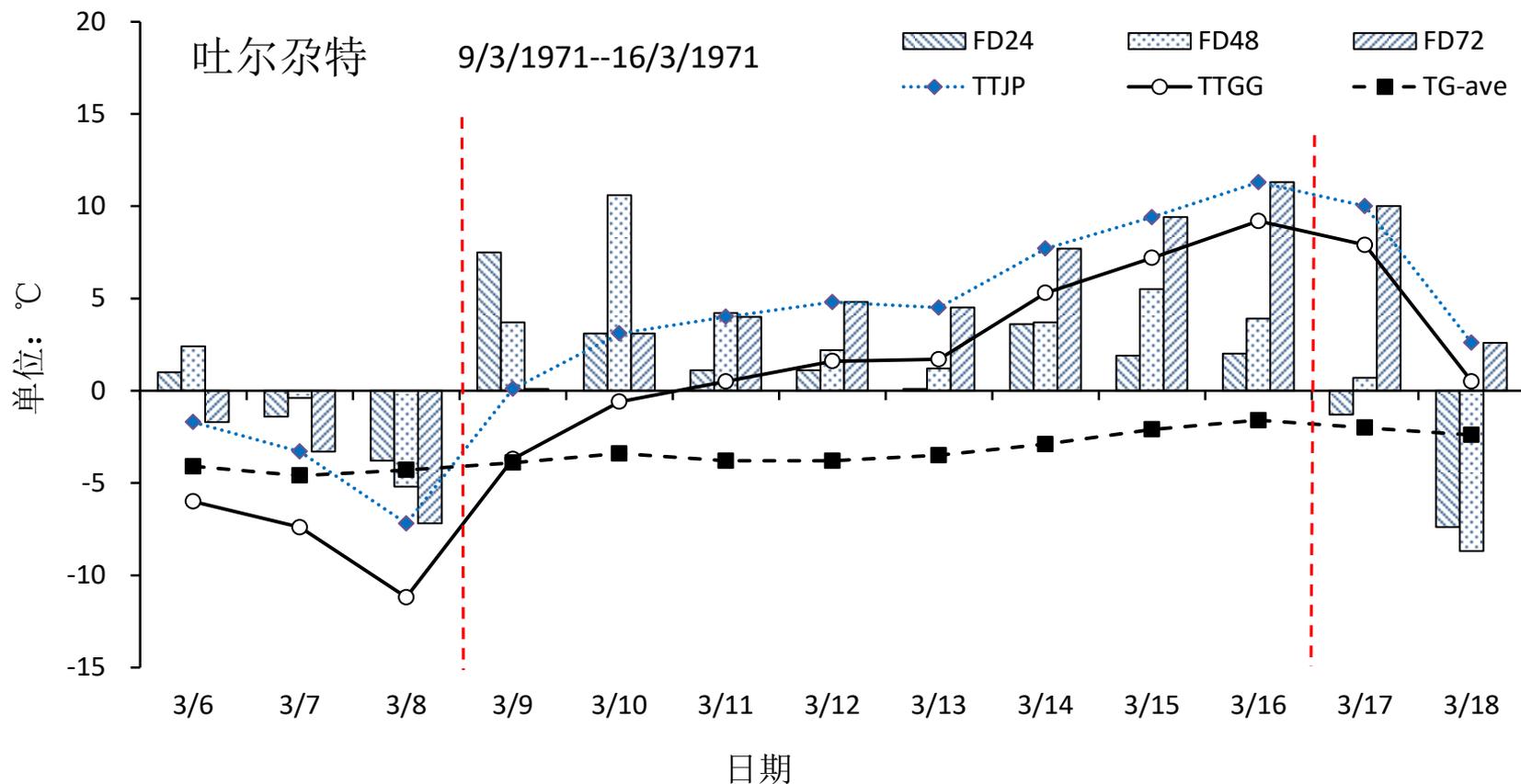
吐尔尕特综合强度排序前10位的极端升温过程

排序	IZ	开始日期			结束日期			持续日数/d	FD /°C	TG /°C	JP /°C	FD24 /°C	FD48 /°C	FD72 /°C
		年	月	日	年	月	日							
1	11.44	1971	3	9	1971	3	16	8	20.4	9.2	11.3	7.5	10.6	11.7
2	10.58	2006	2	17	2006	2	18	2	15.2	0.2	7.3	13.5	15.2	
3	9.90	1987	1	22	1987	1	25	4	19.6	0.4	8.9	8.5	16.3	19.2
4	9.83	1974	3	17	1974	3	20	4	15.7	10.2	12.2	6.7	10.1	12.3
5	9.41	1969	4	5	1969	4	6	2	11.4	10.9	10.4	9.5	11.4	
6	9.06	2009	3	11	2009	3	12	2	13.3	5.7	8.9	9.7	13.3	
7	8.97	1987	12	4	1987	12	8	5	15.7	2.5	8.1	9.2	11.1	11.8
8	8.70	1980	2	10	1980	2	13	4	15.7	3.3	10.2	7.3	9.7	11.9
9	8.70	1982	10	28	1982	10	30	3	16.9	1.5	0.6	12.5	14.7	16.9
10	8.59	1969	11	29	1969	11	29	1	12.9	0.0	4.5	12.9		

说明：FD表示过程升温幅度；TG表示过程中极端最高气温；JP表示过程中日最高气温距平偏高幅度最大值；FD24、FD48和FD72分别表示过程中最大24h、48h和72h升温幅度。

2 极端升温过程的基本气候特征

2.6 帕米尔高原各站综合强度最强的极端升温过程



1961-2017年吐尔尕特综合强度最大的一次升温过程

(1971年3月9—16日, 综合强度指数IZ为11.44, 持续8d, 过程升温20.4°C, 最大24h升温7.5°C, 过程最高气温为9.2°C, 最大日气温距平11.3°C。)

2 极端升温过程的基本气候特征

2.6 帕米尔高原各站综合强度最强的极端升温过程

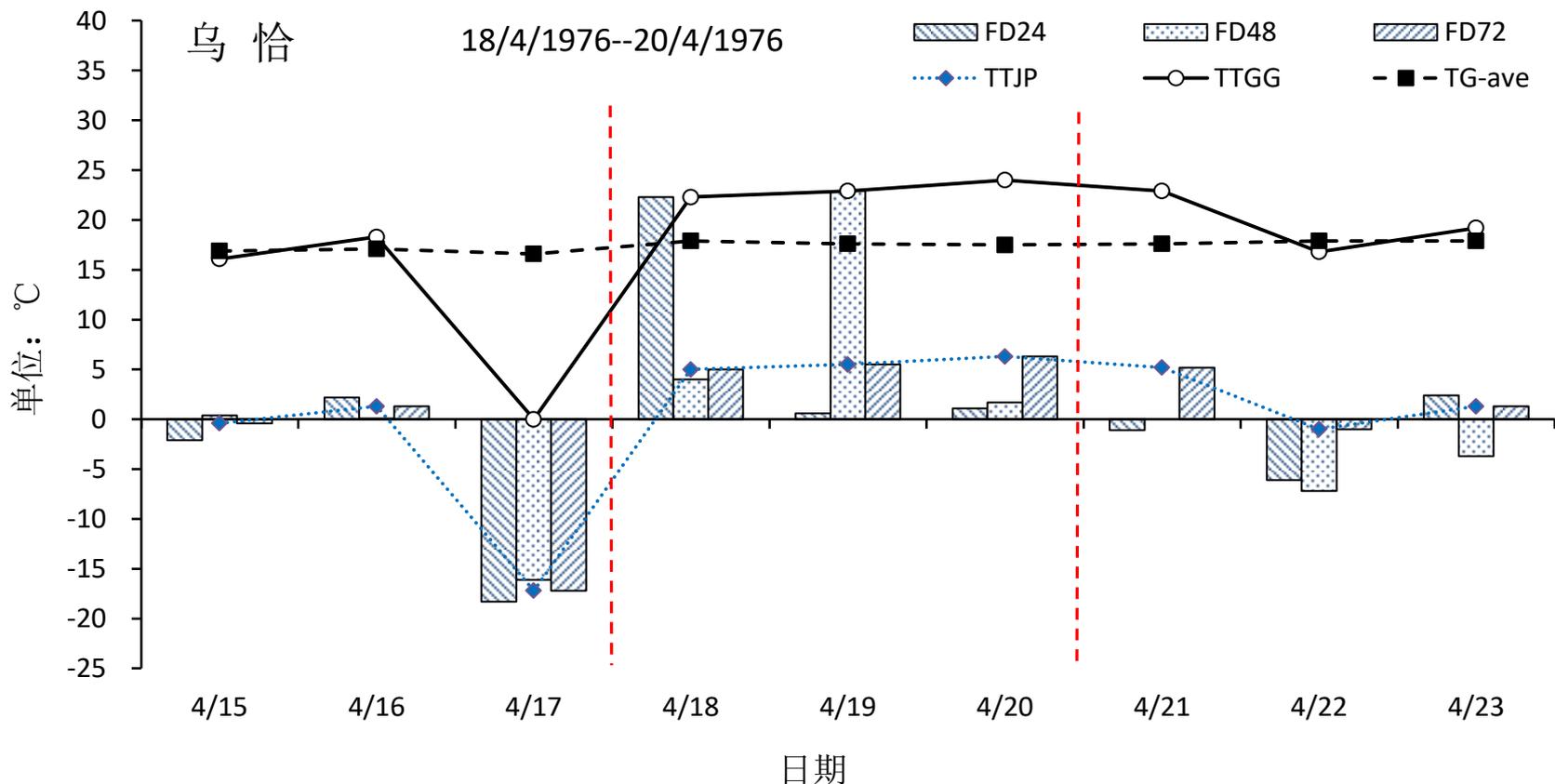
乌恰综合强度排序前10位的极端升温过程

排序	IZ	开始日期			结束日期			持续日数/d	FD /°C	TG /°C	JP /°C	FD24 /°C	FD48 /°C	FD72 /°C
		年	月	日	年	月	日							
1	17.06	1976	4	18	1976	4	20	3	24.0	24.0	6.3	22.3	22.9	24.0
2	12.75	1966	1	28	1966	1	28	1	16.0	13.3	14.1	16.0		
3	10.28	1969	4	5	1969	4	7	3	17.6	22.4	9.2	10.7	14.2	17.6
4	9.86	1966	12	1	1966	12	3	3	17.7	11.5	7.7	12.9	16.3	17.7
5	9.79	2004	3	4	2004	3	8	5	17.1	20.6	14.1	7.5	8.4	9.9
6	9.36	1988	11	11	1988	11	14	4	15.5	19.2	11.2	9.6	13.1	14.2
7	9.33	1977	4	27	1977	4	30	4	16.8	21.5	2.8	13.1	13.5	13.8
8	9.32	1988	2	2	1988	2	4	3	15.1	18.1	17.9	6.1	11.9	15.1
9	9.29	1993	12	23	1993	12	25	3	14.5	10.6	9.8	12.7	14.2	14.5
10	9.28	1996	4	13	1996	4	16	4	20.0	24.5	7.5	7.6	13.6	18.2

说明：FD表示过程升温幅度；TG表示过程中极端最高气温；JP表示过程中日最高气温距平偏高幅度最大值；FD24、FD48和FD72分别表示过程中最大24h、48h和72h升温幅度。

2 极端升温过程的基本气候特征

2.6 帕米尔高原各站综合强度最强的极端升温过程



1961-2017年乌恰综合强度最大的一次升温过程

(1976年4月18—20日, 综合强度指数IZ为16.23, 持续3d, 过程升温24.0°C, 最大24h升温22.3°C, 过程最高气温为24.0°C, 最大日气温距平6.3°C。)

2 极端升温过程的基本气候特征

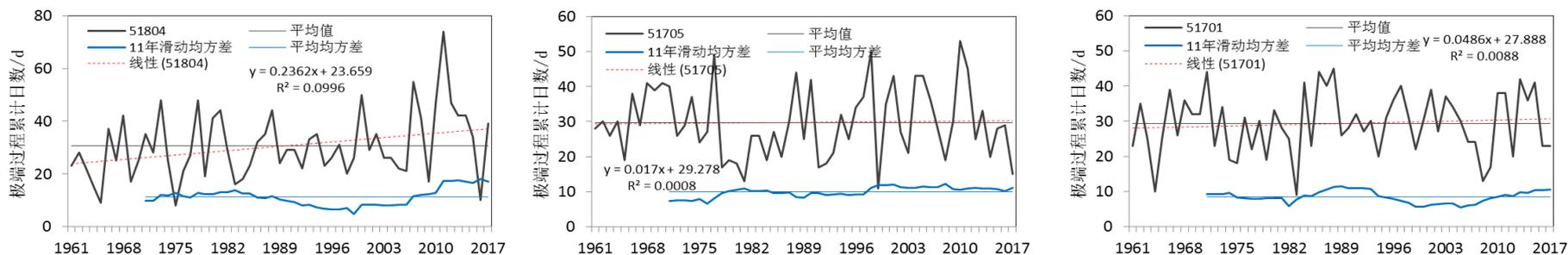
2.7 帕米尔高原3站单要素强度最强的极端升温过程

帕米尔高原3站单要素强度表征的最强极端升温过程

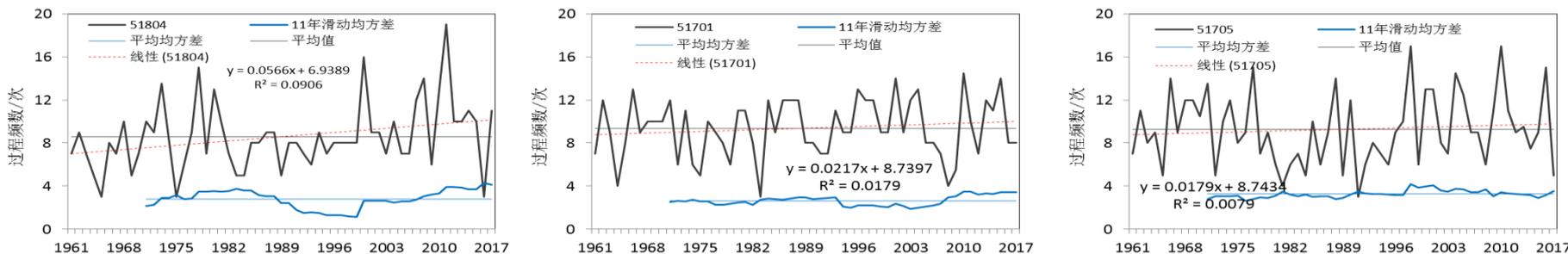
单要素强度	塔什库尔干（51804）			吐尔尕特（51701）			乌恰（51705）		
	平均值 /°C	最大值 /°C	出现日期	平均值 /°C	最大值 /°C	出现日期	平均值 /°C	最大值 /°C	出现日期
过程升温幅度 FUDU	8.9	18.6	2006年 1月27-28日	9.6	20.4	1971年 3月9-16日	10.7	24.0	1976年 4月18-20日
最大24h升温幅度 FD24	4.9	15.2	2008年 2月20-21日	5.8	13.7	2012年 2月18-18日	6.5	22.3	1976年 4月18-20日
最大48h升温幅度 FD48	6.8	18.6	2006年 1月27-28日	7.7	16.3	1987年 1月22-25日	8.4	22.9	1976年 4月18-20日
最大72h升温幅度 FD72	8.0	18.0	1992年 2月25-27日	8.9	19.2	1987年 1月22-25日	9.9	24.0	1976年 4月18-20日
过程最高温度 TTGG	17.8	32.5	1997年 7月15-17日	8.7	23.8	1983年 7月28-30日	18.3	34.6	1982年 7月30日-8月2日
过程最大距平幅度 TTJP	5.0	14.3	1993年 1月30日-2月8日	5.8	12.9	1988年 2月1-4日	6.2	17.9	1988年 2月2-4日

3 极端升温过程的气候变化特征

3.1 极端升温过程持续日数、过程频数年际变化



1961—2017年帕米尔高原3站极端升温过程年累积持续日数变化



1961—2017年帕米尔高原3站年极端升温过程频数变化

年极端升温过程累计持续日数变化：3站均呈增多趋势；塔什库尔干的线性增多趋势通过了0.05显著性水平检验；3站近年来变率增大。

年极端升温过程频数变化：3站均呈增多趋势；塔什库尔干的线性增多趋势通过了0.05显著性水平检验；塔什库尔干、吐尔尕特近年来变率增大。

3 极端升温过程的气候变化特征

3.2 极端升温过程持续日数、过程频数年代际变化

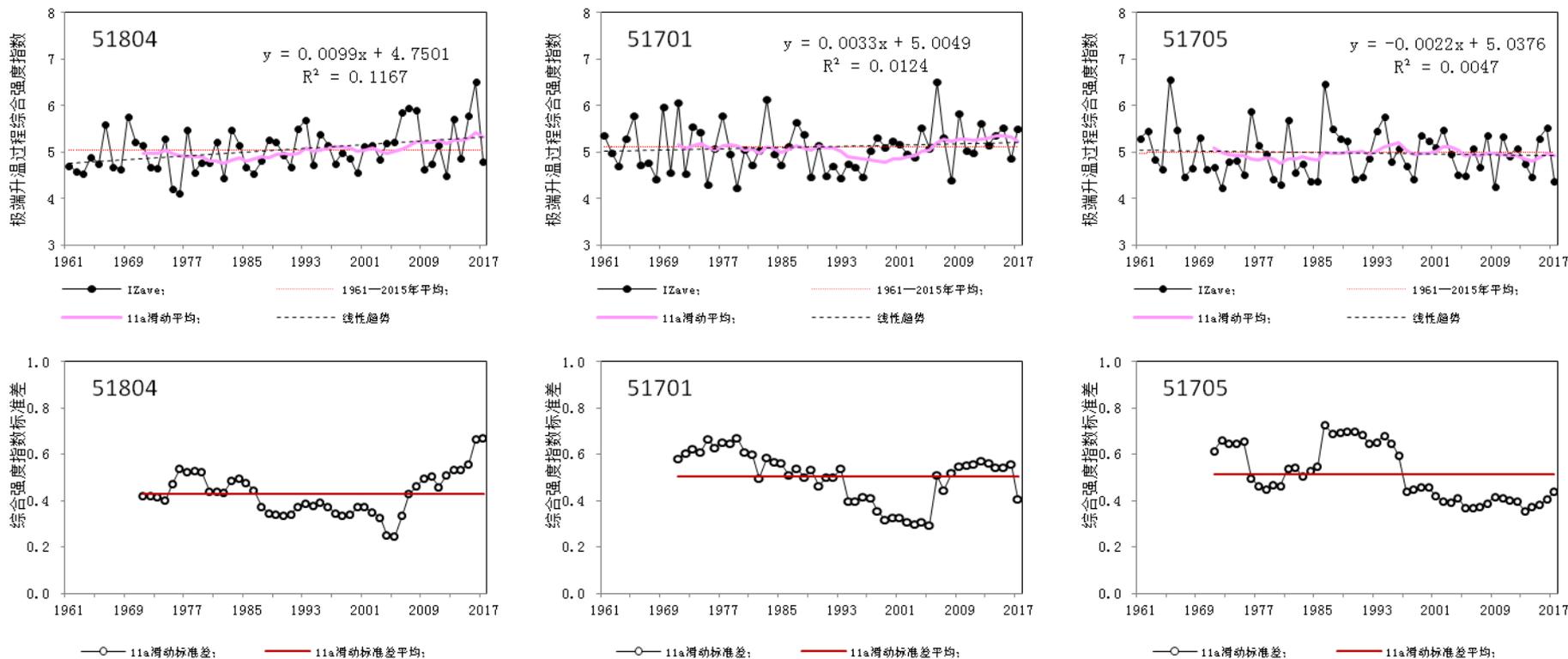
帕米尔高原3站极端升温过程持续日数、过程频数年代际变化

年代	过程持续日数/d			过程频数/次		
	51804	51701	51705	51804	51701	51705
1961-1970	3.57	3.08	3.28	6.80	9.20	9.80
1971-1980	3.19	3.25	3.04	9.40	8.40	9.40
1981-1990	3.97	3.25	3.49	7.40	9.50	7.80
1991-2000	3.47	3.05	3.29	8.50	9.80	8.50
2001-2010	3.39	2.98	3.21	9.40	9.50	10.70
2011-2017	3.89	3.19	2.95	10.57	10.00	9.43
1961-2017	3.56	3.13	3.21	8.58	9.37	9.26

近57a来，帕米尔高原3站的极端升温过程平均持续日数均表现为在上世纪80年代最长，3站平均持续日数最短的年代际不同。帕米尔高原3站的极端升温过程频数表现为21世纪以来较频繁。

3 极端升温过程的气候变化特征

3.3 极端升温过程强度年际变化——综合IZave

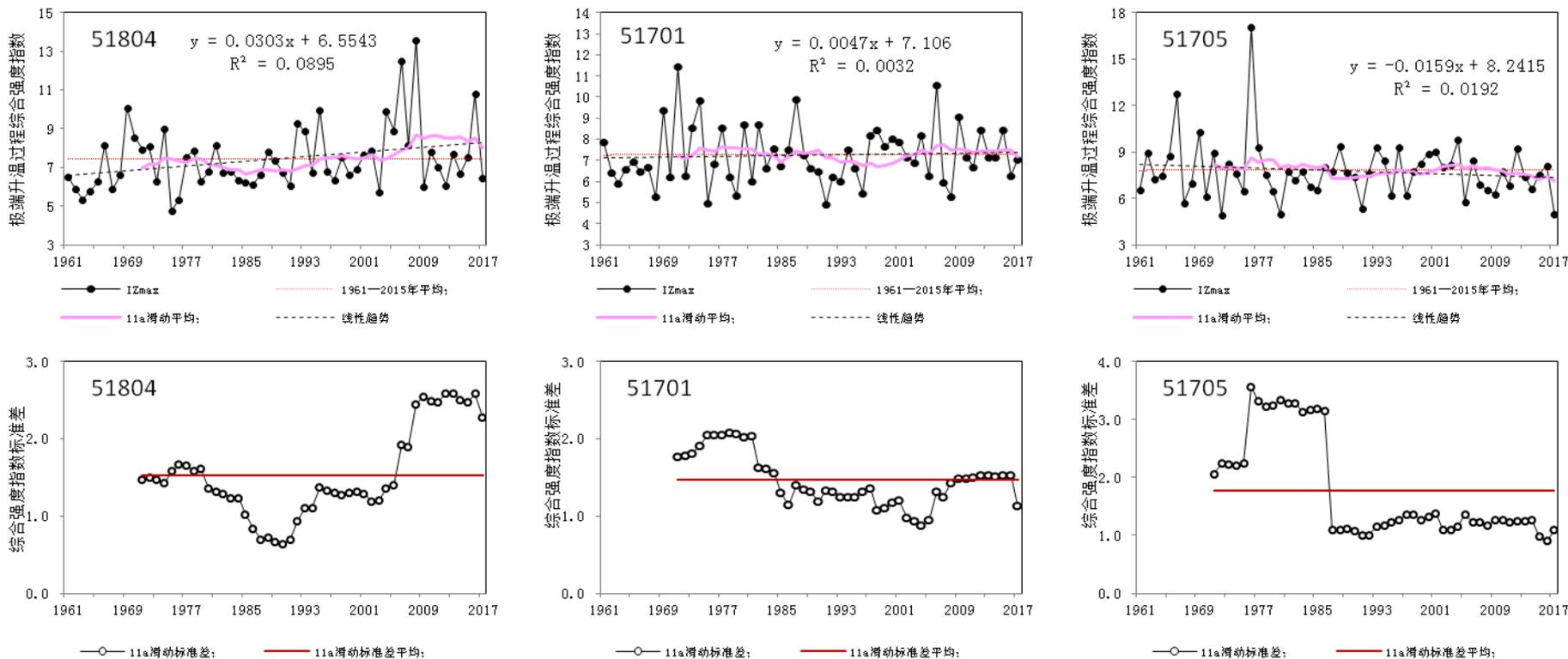


1961-2017年帕米尔高原3站年极端升温过程综合强度平均指数IZ_{ave}年际变化

以年极端升温过程平均综合强度指数 IZ_{ave} 为指标，1961-2017年，塔什库尔干的极端升温过程强度明显增强，近期年际间变率加剧；吐尔尕特强度略增强，年际间变率近期略减弱；乌恰强度略减弱，年际间变率近期减小。

3 极端升温过程的气候变化特征

3.3 极端升温过程强度年际变化——综合 IZ_{max}



1961-2017年帕米尔高原3站年最强极端升温过程强度指数 IZ_{max} 变化

以年内最强的极端升温过程综合强度指数 IZ_{max} 为指标，1961-2017年，塔什库尔干的极端升温过程强度明显增强，近期年际间变率加剧；吐尔尕特强度略增强，年际间变率近期略稳定；乌恰强度略减弱，年际间变率近期减小。

3 极端升温过程的气候变化特征

3.4 极端升温过程强度年代际变化——综合 IZ_{ave}

帕米尔高原3站各年代极端升温过程强度

年代	IZ_{ave}			IZ_{max}		
	51804	51701	51705	51804	51701	51705
1961-1970	4.94	5.06	5.13	6.92	6.78	8.09
1971-1980	4.77	5.10	4.78	7.00	7.67	8.17
1981-1990	4.98	5.14	5.07	6.89	7.35	7.62
1991-2000	5.03	4.82	5.01	7.51	6.91	7.73
2001-2010	5.26	5.27	4.93	8.81	7.45	7.67
2011-2017	5.33	5.28	4.92	7.48	7.32	7.25
1961-2017	5.04	5.10	4.97	7.43	7.24	7.78

以年平均综合强度指数 IZ_{ave} 为指标，塔什库尔干在上世纪70年代（4.77）最弱，本世纪10年代（5.33）最强；吐尔尕特在上世纪90年代（4.82）最弱，本世纪10年代（5.28）最强；乌恰在上世纪60年代（5.13）最强，70年代（4.78）最弱。

以年最强综合强度指数 IZ_{max} 为指标，3站的年代际强度变化与平均综合强度指标变化不同。塔什库尔干在上世纪80年代（6.89）最弱，本世纪00年代（8.81）最强；吐尔尕特在上世纪60年代（6.78）最弱，70年代（7.67）最强；乌恰在上世纪70年代（8.17）最强，纪10年代（7.25）最弱。

4 结论

(1) 1961—2017年，帕米尔高原的塔什库尔干、吐尔尕特和乌恰分别出现了489、534和528次极端升温过程，平均每年分别为8.6、9.4和9.3次。3站逐月极端升温过程频数百分率差异大；极端升温过程频数在9-10月最少；升温过程最多月份有明显差异，塔什库尔干7月，吐尔尕特5月，乌恰1月。

(2) 1961—2017年，塔什库尔干、吐尔尕特持续2-4d的极端升温过程较多，塔什库尔干3d最多，吐尔尕特2d最多；乌恰持续1-3d的极端升温过程较多，3d最多。3站极端升温过程月平均持续日数最长的均出现在8月。

(3) 1961—2017年，塔什库尔干489次极端升温过程的综合强度指数IZ在3.49—13.59之间，平均为5.02。吐尔尕特534次极端升温过程的综合强度指数IZ在3.63—11.64之间，平均为5.11。乌恰528次极端升温过程的综合强度指数IZ在3.40—17.06之间，平均为4.96。

4 结论

(4) 1961—2017年，帕米尔高原3站的年极端升温过程累计持续日数与年极端升温过程频数均呈增多趋势；塔什库尔干的线性增多趋势通过了0.05显著性水平检验；3站近年来变率增大。

(5) 1961—2017年，塔什库尔干的极端升温过程强度明显增强，近期年际间变率加剧；吐尔尕特强度略增强，年际间变率近期略减弱；乌恰强度略减弱，年际间变率近期减小。

区域内3站极端升温过程的相关要素变化规律有差异，差异原因是否依赖于不同尺度的地形？海拔高度、纬度、经度？

请批评指正！