

1960—2012 年中国天山山区极端气温的变化特征

赵培培, 张明军, 王圣杰, 周盼盼, 刘雪梅, 王杰

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要:根据 1960—2012 年天山山区海拔 1 500 m 以上的 8 个气象站点逐日最高、最低气温资料,利用线性倾向估计法、Morlet 小波分析、主成分分析法和相关分析等方法研究了该地区 9 个极端气温指标的时间变化趋势和空间分布规律。结果表明:(1)冷昼日数、冷夜日数、冰冻日数、霜冻日数、冷持续日数分别以 $-0.70, -2.36, -1.00, -5.14, -1.12$ d/10 a 的趋势减小,而暖昼日数、暖夜日数、生物生长季分别以 $0.87, 2.70, 4.03$ d/10 a 的趋势增加,气温日较差的年际倾向率为 -0.34 d/10 a;(2)暖昼(夜)日数的变暖幅度大于冷昼(夜)日数;(3)从空间分布来看,极端气温增加或减少的趋势表现出明显空间差异;(4)天山山区近 53 a 来各极端气温指数都在一定的时间序列中存在不同的周期变化,周期变化明显;(5)因子分析的结果表明,除了气温日较差外,各极端气温指数之间均呈现出很好的相关性。

关键词:极端气温; 时空分布; 变化趋势; 天山山区

中图分类号:K903

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)06-0190-08

Changes of Extreme Temperature Events in the Chinese Tianshan Mountains During the Period from 1960 to 2012

ZHAO Peipei, ZHANG Mingjun, WANG Shengjie, ZHOU Panpan, LIU Xuemei, WANG Jie

(College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract:Based on daily maximum and minimum temperature at 8 meteorological stations above 1 500 m in the Chinese Tianshan Mountains observed by the China Meteorological Administration from 1960 to 2012, the spatial and temporal variation characteristics of extreme temperature events were analyzed by the methods of linear regression, Mann-Kendall, Morlet wavelet, factor analysis and correlation analysis. Nine indices of extreme temperature were studied. The results are as follows. (1) The occurrence of cold days, cold nights, ice days, frost days and extreme cold days have significantly decreased by $-0.70, -2.36, -1.00, -5.14, -1.12$ days/decade, respectively. Meanwhile, the occurrence of warm days, warm nights and growing season length show significant increase at rates of $0.87, 2.70, 4.03$ days/decade, respectively; the tendency rate of diurnal temperature range is -0.34 days/decade, respectively. (2) The warming trend of warm night is significantly larger than cold night, and the warming trend of warm (cold) night days are obviously larger than the warm (cold) days. (3) From the point of spatial distribution, the increase or decrease trend of extreme temperature shows obvious difference. (4) Each extreme temperature index in Tianshan Mountain from 53 a shows significantly different periodicity change in certain time series. (5) The factor analysis demonstrates that the extreme temperature indices are closely correlated with each other except diurnal temperature range.

Keywords:extreme temperature; spatial and temporal distribution; variation tendency; Chinese Tianshan Mountains

从百年尺度来看,全球变暖已经成为不争的事实,而伴随着升温趋势,极端气温事件频发,这种极端事件的加剧给自然环境和社会生活带来了比平均气温升高更为严重的影响,也引起了国内外学者的广泛关

注^[1-4]。在 IPCC 第五次评估报告的模拟结果显示,未来极端天气气候事件的发生概率可能将进一步增加,人类需要更多的应对措施来规避潜在的不利影响^[5]。

基于地面观测资料,学者们对全球与区域尺度的

极端气温事件开展了不少评估^[6-10]。例如, Alexander 等^[6]研究全球陆地区域极端气温、降水指数发现,近 50 a 全球超过 70% 的地区冷夜明显减少,暖夜明显增多。这种趋势在亚洲^[7]、欧洲^[8]、非洲^[9]、美洲^[10]等其他区域也得到了广泛的证实,Choi 等^[7]分析研究亚太地区的极端气温事件也得到了类似的结论。国内,在 2000 年严中伟等^[11]探讨了 1951—1997 年中国极端气候变化格局,指出了极端气候独特的研究价值,从此拉开了国内极端天气气候事件研究的序幕。此后,仅就全国范围而言,有一批学者先后通过观测计算和数值模拟对极端气温的时空变化特征进行了一系列的分析^[12-15]。其基本的结论就是,在近 50 a 内极端冷指数整体呈下降趋势,极端暖指数整体呈上升趋势,极端最低气温要比极端最高气温升温趋势显著,这种趋势与全球变暖趋势一致。随着全国气象资料共享服务的进一步开放,一大批学者开始基于地面观测资料和国际上推荐的气候指数对不同区域的极端气温事件开展分析,使得对于不同区域的升温幅度有了更多的认识^[16-24]。然而,不同区域对全球变暖的响应是存在差异的,特别是在高海拔区域,平均气温和极端气温的变化往往会表现出复杂的特征^[25-28]。

中国境内的天山山脉横亘于新疆维吾尔自治区中部,西起中国与吉尔吉斯斯坦边界,东至哈密市以东星星峡戈壁,全长约 1 700 km,占整个天山山系总长度的 2/3 以上,宽度一般为 250~350 km,山脊平均海拔高度为 4 000 m,最高峰托木尔峰,海拔 7 435.3 m^[29]。新疆地处亚洲内陆干旱区,天山山区作为重要的“湿

岛”,是新疆最重要的河流发源地之一。天山山区的气候变化可影响到区域的水循环过程以及新疆农牧业的发展,因此研究天山山区气候的变化具有重要的科学及实际意义。早期的研究发现,天山山区存在明显的升温趋势^[30-32],基于 1960—2012 年天山山区及周边平原地区的 32 个气象站点的研究表明:气温呈明显的波动上升趋势,年均温倾斜率高达 0.33℃/10 a^[33]。但是,高海拔区域具有与低海拔区域不同的气候敏感性,上述研究对于高海拔山区极端气温事件仍缺乏专门的讨论。因此,有必要采用更新的资料和统一的极端气温指数对天山山区极端气温变化特征及演变规律进行全面深入的分析,以期对天山山区的气候变化有更深刻的认识并对工农业发展提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 数据来源

依据资料的连续性及其最长时段性等标准,共选取符合条件的天山山区海拔 1 500 m 以上的 8 个地面气象站 1960—2012 年的日最高气温、日最低气温资料,数据均由中国气象局国家气象信息中心(<http://www.nmic.gov.cn>)提供。

1.2 研究方法

本研究所选用的极端气温指数取自世界气象组织气候委员会(WMO-CCl)、气候变化及可预报性计划(CLIVAR)、海洋学和海洋气象学联合技术委员会(JCOMM)推荐的“气候变化检测和指标”^[34-35]气温指数列表(表 1)。

表 1 极端气温指标的定义

分类	缩写	极端气温指标	定义	单位
相对指数	TX90	暖昼日数	年日最高气温大于 1960—2012 年的第 90 个百分位数值的天数	d
	TX10	冷昼日数	年日最高气温小于 1960—2012 年的第 10 个百分位数值的天数	d
	TN90	暖夜日数	年日最低气温大于 1960—2012 年的第 90 个百分位数值的天数	d
	TN10	冷夜日数	年日最低气温小于 1960—2012 年的第 10 个百分位数值的天数	d
绝对指数	FD	霜冻日数	年内日最低温度低于 0℃ 的天数	d
	ID	冰冻日数	年内日最高温度低于 0℃ 的天数	d
其他指数	GSL	生物生长季	年内首先出现至少连续 6 日平均气温高于 5℃ 到 7 月 1 日后至少连续 6 日平均气温低于 5℃ 的总日数	d
	CSDI	冷持续日数	年内日最低气温小于 1960—2012 年的第 10 个百分位数值连续 6 d 的天数	d
	DTR	气温日较差	年内日最高气温与最低气温的差值	℃

本文将上述极端气温指数分成 3 种类型,第一类是基于相对(浮动)阈值的指数,简称相对指数,包括冷昼日数(TX10)、冷夜日数(TN10)、暖昼日数(TX90)、暖夜日数(TN90);第二类为基于原始观测数据和固定阈值的指数,简称绝对指数,包括冰冻日数(ID)、霜冻日数(FD);第三类为其他指数,包括持续指数和范围指数,其中冷持续日数(CSDI)和生物

生长季(GSL)属于持续指数,而范围指数只有气温日较差(DTR)。

用线性倾向估计法分析气候变化的趋势,并利用 t 检验法评估线性趋势的显著性。在 ArcGIS 9.3 环境下绘制出极端气温倾向率变化的空间分布图,并且运用 Morlet 小波对极端气温事件进行周期分析。此外,主成分分析和相关性分析在 SPSS 19 软件中实现。

2 结果与分析

2.1 极端气温相对指数的趋势变化

如图 1 所示,天山山区 1960—2012 年来相对指数变化明显,从时间尺度上看,冷昼日数(TX10)(图 1b)和冷昼日数(TN10)(图 1d)均表现出明显的减少趋势,其年际倾向率分别为 -0.70 和 -2.36 d/10 a,而暖昼日数(TX90)(图 1f)和暖夜日数(TN90)(图 1h)则呈明显的上升趋势,其年际倾向率分别为

0.87 , 2.70 d/10 a,表明 TN90 的上升趋势是非常明显的。各相对指数的年际之间的变化趋势不尽相同。从相对指数 10 a 滑动曲线可以看出,TX10 在 20 世纪 70 年代之前呈上升趋势,70—90 年代呈波动变化,90 年代后呈下降趋势。TN10 在 21 世纪出之前呈下降趋势,之后开始呈上升趋势。TX90 和 TN90 大约在 2006 年之前呈波动上升趋势,然后开始下降。与 TX90 相比,TN90 上升趋势明显($p < 0.0001$),并且在 2010 年达到最高值,约 23 d。

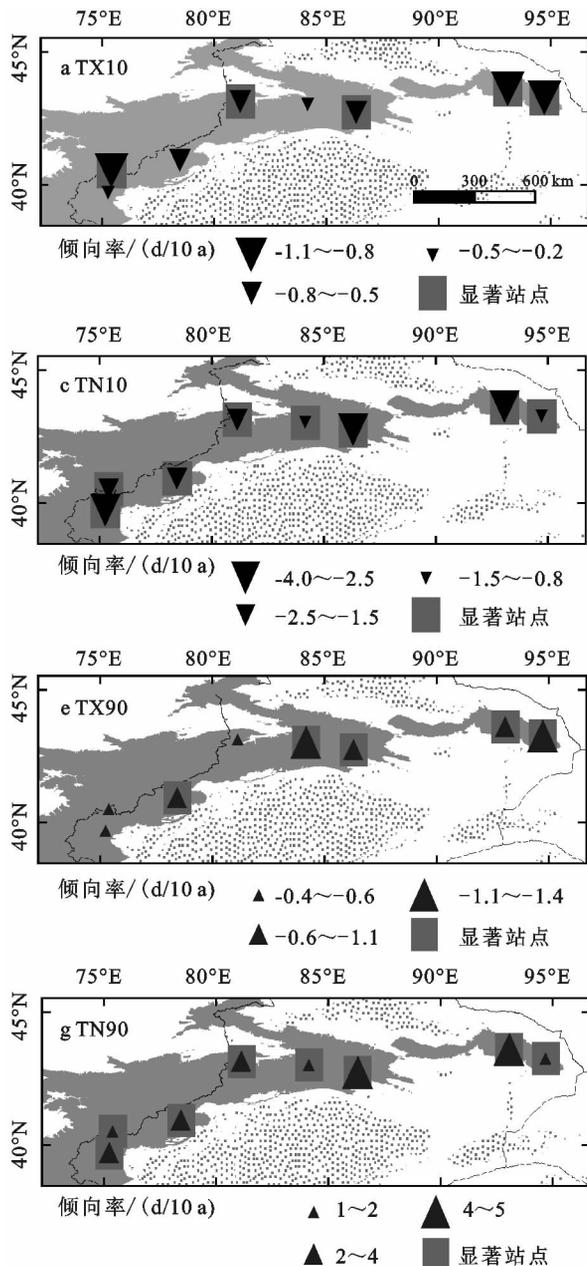


图 1 1960—2012 年天山山区极端气温相对指数的空间分布和时间变化

从空间分布来看,TX10(图 1a)各个站点都呈现下降趋势,其中在天山山区的偏东地区的巴里坤和伊吾下降趋势比较明显,62.5%的站点通过了 0.05 的显著性检验。TN10 与 TX10 空间分布相似,所有站点都表现出不同程度的下降趋势(图 1c),且都通过

了 0.05 的显著性检验,大多数位于 $-4 \sim 0$ d/10 a 的变化区间,其中乌恰下降最为明显。TX90 的空间分布与 TX10, TN10 不同(图 1e),TX90 的每个站点都表现出不同程度的上升趋势,有 62.5%的站点通过了显著性检验,且多集中于天山山区的偏东段,其中巴音布

鲁克、伊吾的增加趋势相对明显,而偏西段区域只有阿合奇通过显著性检验,TN90(图 1g)和 TX90 相似,每个站点都呈上升趋势,并且都通过了 0.05 的显著性检验,其中上升趋势最明显的是巴仑台。

2.2 极端气温绝对指数的变化

如图 2 所示,天山山区 1960—2012 年来绝对指数的变化与相对指数的变化趋势一致,冷指数呈减少趋

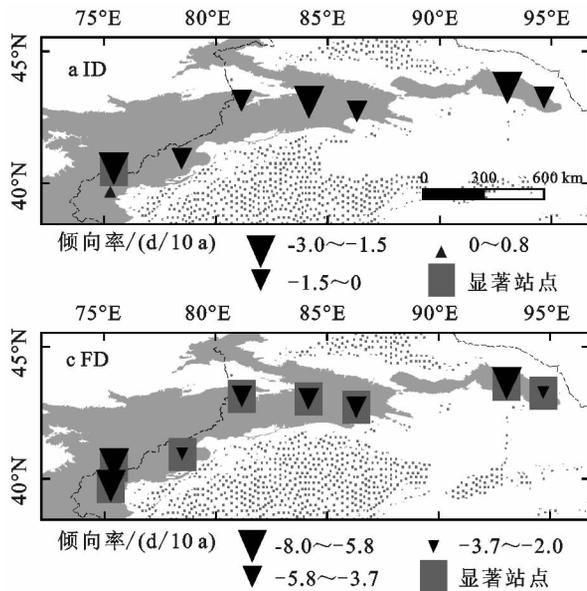


图 2 1960—2012 年天山山区极端气温绝对指数的空间分布和时间变化

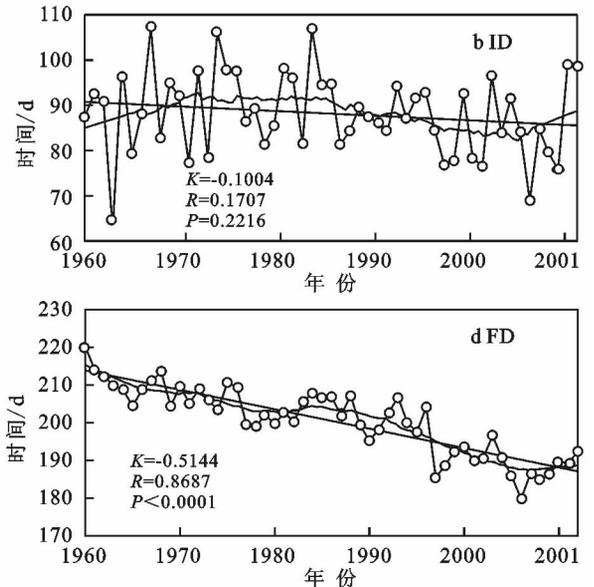
空间尺度上, ID 中,除乌恰呈微弱上升趋势外,其余站点均呈现下降趋势(图 2a),并且在整个区域中只有吐尔尕特通过了 0.05 的显著性检验;FD(图 2b)减少趋势比较明显,在 $-8 \sim -2$ d/10 a 的变化区间,并且都通过了 0.05 的显著性检验,其中巴里坤、巴仑台、吐尔尕特、乌恰减少趋势最为明显。

2.3 极端气温其他指数

如图 3 所示,天山山区 1960—2012 年来,GSL 呈上升趋势(图 3b),其年际倾向率 4.03 d/10 a;而 CSDI(图 3d)和 DTR(图 3f)呈减少趋势,其年际倾向率分别为 -1.12 和 -0.34 d/10 a,从 10 a 滑动曲线来看,GSL 在 20 世纪 60—70 年代以及 90 年代中期至 21 世纪初呈上升趋势,20 世纪 80—90 年代以及近 2000 年后呈减少趋势;DTR 在 20 世纪 60 年代至 21 世纪初呈明显的减少趋势,2005 年以后呈上升趋势;从 10 a 滑动曲线看,GSDI 与 DTR 相比,变化幅度明显。

空间变化上,GSL 总体呈现上升趋势(图 3a),上升幅度最大的是吐尔尕特,可达 8.20 d/10 a,87.5% 的站点通过了 0.05 的显著性检验;GSDI(图 3c)中,有 87.5% 的站点处于下降趋势,50% 的站点通过了 0.05 的显著性检验,只有巴音布鲁克则呈微弱的上升趋势,上升幅度为 0.07 d/10 a;图 3e 是 DTR 的空间分布图,每个站点都呈下降趋势,在 $0 \sim 0.8$ d/10 a

势,但变化程度有所不同。冰冻日数(ID)(图 2b)和霜冻日数(FD)(图 2d)的年际倾向率分别为 -1.00 和 -5.14 d/10 a,从 10 a 滑动曲线来看,ID 在整个时间序列中波动变化幅度不大,其中 20 世纪 70 年代以前呈增加趋势,70 年代至 90 年代无明显波动变化,90 年代后呈减小趋势,2005 年后又呈增加趋势。FD 下降趋势显著。



的变化区间内,变化幅度小,75% 的站点通过了 0.05 的显著性检验。

2.4 极端气温的周期分析

2.4.1 天山山区极端气温相对指数周期变化 天山山区各极端气温指数周期变化分析采用 Morlet 小波变换法,图中小波系数零值表示极端气温指数天数变化的突变点,正值表示各极端气温指数的天数增加,负值表示各极端气温指数的天数减少。Morlet 小波变换的小波系数和小波方差图(图 4)表明天山山区不同指数在不同时间尺度上振荡周期略有不同。TX10(图 4a)存在 4 a,13 a 和 20 a 左右的振荡周期,4 a 左右的周期主要在 1987 年之前,13 a 和 20 a 左右的周期一直明显,其中 13 a 左右的周期振荡非常显著,在 13 a 时间尺度上,天山山区 TX10 经历了“少—多—少—多—少—多—少—多—少—多—少—多”的交替变化,含有 6 个低值区和 6 个高值区,从图 4b 的小波方差图上可以更清楚的看出,气温序列的主周期,在尺度为 4 a,13.5 a 的时候各出现了 1 个很明显的峰值,在 20 a 的时候出现 1 个不明显的峰值。结合 TN10 的小波系数图(图 4c)和小波方差图(图 4d),可以看出 TN10 存在 4 a,13.5 a 的振荡周期,13.5 a 是其第一主周期。TX90 的变化趋势与 TX10 相似, TN90 的变化趋势与 TN10 相似,所以 TX90 和 TN90 的周期变化在此就不再赘述。

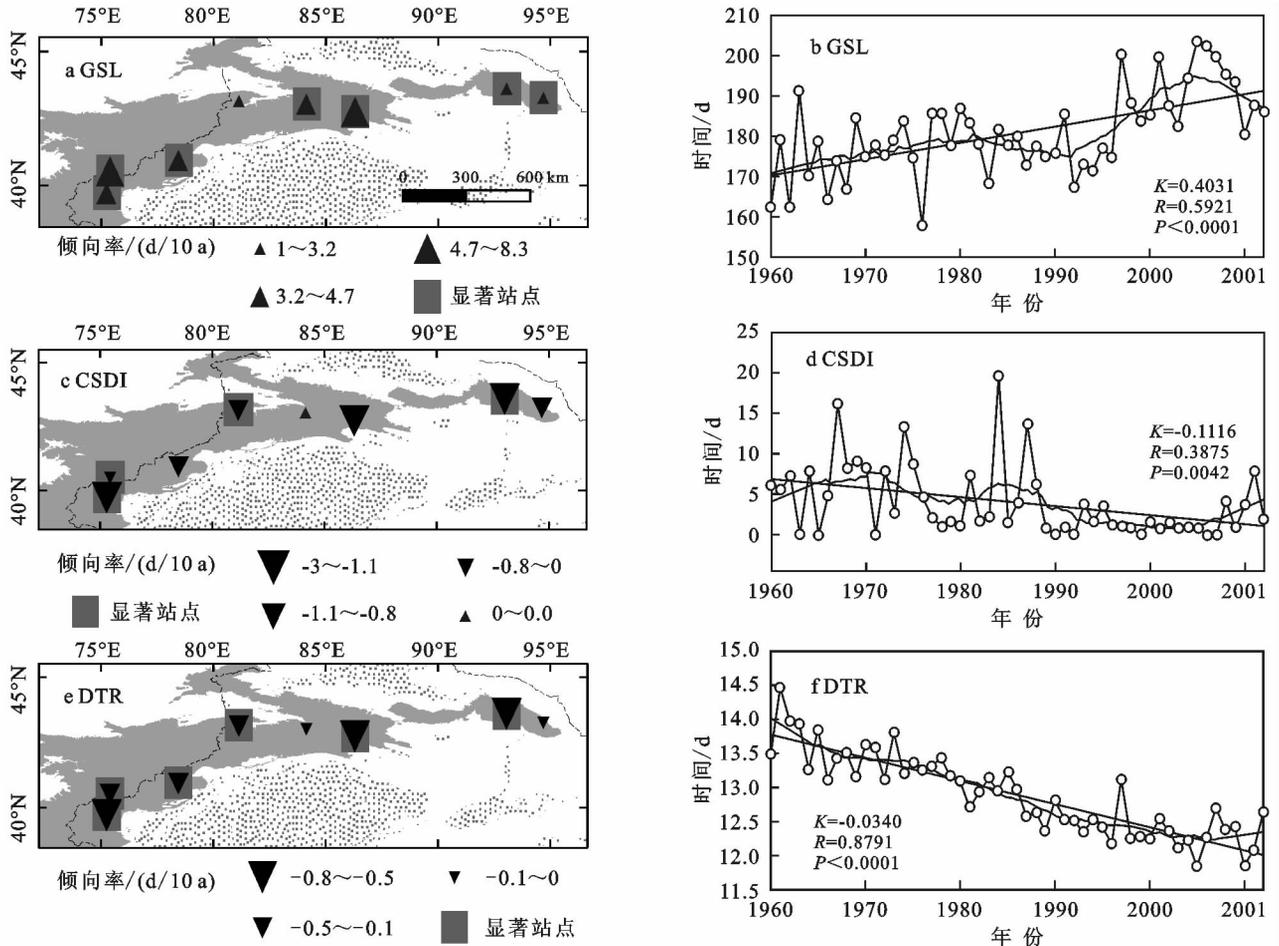


图 3 1960—2012 年天山山区极端气温其他指数的空间分布和时间变化

2.4.2 天山山区极端气温绝对指数周期变化 ID (图 5a)存在 4 a,13 a 左右的振荡周期,4 a 左右的周期在 1960—1970 年、2000 年之后尤为明显,13 a 左右的周期一直明显,从小波方差图(图 5b)上可以很明显的看出,在 4 a,13 a 各存在 1 个很明显的峰值;FD(图 5c)存在 6 a,16 a 左右的振荡周期,6 a 左右的周期一直存在,但不明显,16 a 左右的周期也一直存在,表明这一序列存在以 6 a 为主的短周期和 16 a 为主的长周期。

2.4.3 天山山区极端气温其他指数周期变化 GSL (图 6a)在 5 a,8 a,13 a 左右的振荡周期,8 a 左右的周期主要在 1980 年之前、1995 年之后,13 a 左右的周期一直很明显,从小波方差图(图 6b)上可以更清楚的看出,气温序列的主周期在 13.5 a;CSDI(图 6c)存在 5 a,13 a,20 a 左右的振荡周期,5 a 左右的周期主要在 1980—1990 年,13 a 左右的周期在 1977 年之前明显,20 a 左右的周期一直明显,1970—2000 年尤为明显。小波方差图(图 6d)显示,在 4.7 a,13.5 a,20 a 的时候各存在 1 个明显的峰值,而在 10 a,26 a 的峰值不明显;DTR(图 6e)存在 4 a,12 a,27 a 左右的振荡周期,12 a 左右的周期在 1970—1990 年之后至 90 a,2000 年之后尤为明显,27 a 左右的周期一直

明显,从小波方差图可以明显的看出,该气温序列存在 4 a 为主的短周期,12 a 和 27 a 为主的长周期。

2.5 极端气温指数的因子分析

主成分分析的结果表明,3 个主成分的累计贡献率达到 88.3%,特征值都大于 0.7,符合分析的要求(表 2)。因此提取 3 个主成分,得出主成分和因子之间的相关系数的载荷矩阵。由表 2 可以看出,第一因子占方差总贡献率的 62.2%,各极端气温指数的载荷值都比较高,以 TN10,TN90,FD 最为突出,由表 3 可以看出,除 DTR 外,各指数间的相关关系均通过了 0.05 的显著性检验。DTR 在第二因子中高载荷,占方差贡献率 17.4%,该指数反映了最高气温与最低气温的变化关系,在第三因子中占高载荷的有 CSDI,TX90,GSL,载荷值分别为 0.505,0.409,0.398。

总体来说,除了极端气温日较差之外,其他各指数之间有很好的相关性,尤其是各相对指数之间均通过了 0.01 的显著性检验,在相对指数和绝对指数中,各暖指数之间、各冷指数之间均为正相关关系,而冷指数与暖指数之间则呈负相关关系(表 3)。前文在分析各指数的时间变化特征时,得出各暖指数均表现上升趋势,冷指数均表现下降趋势的结论,表明其变化具有一致性。

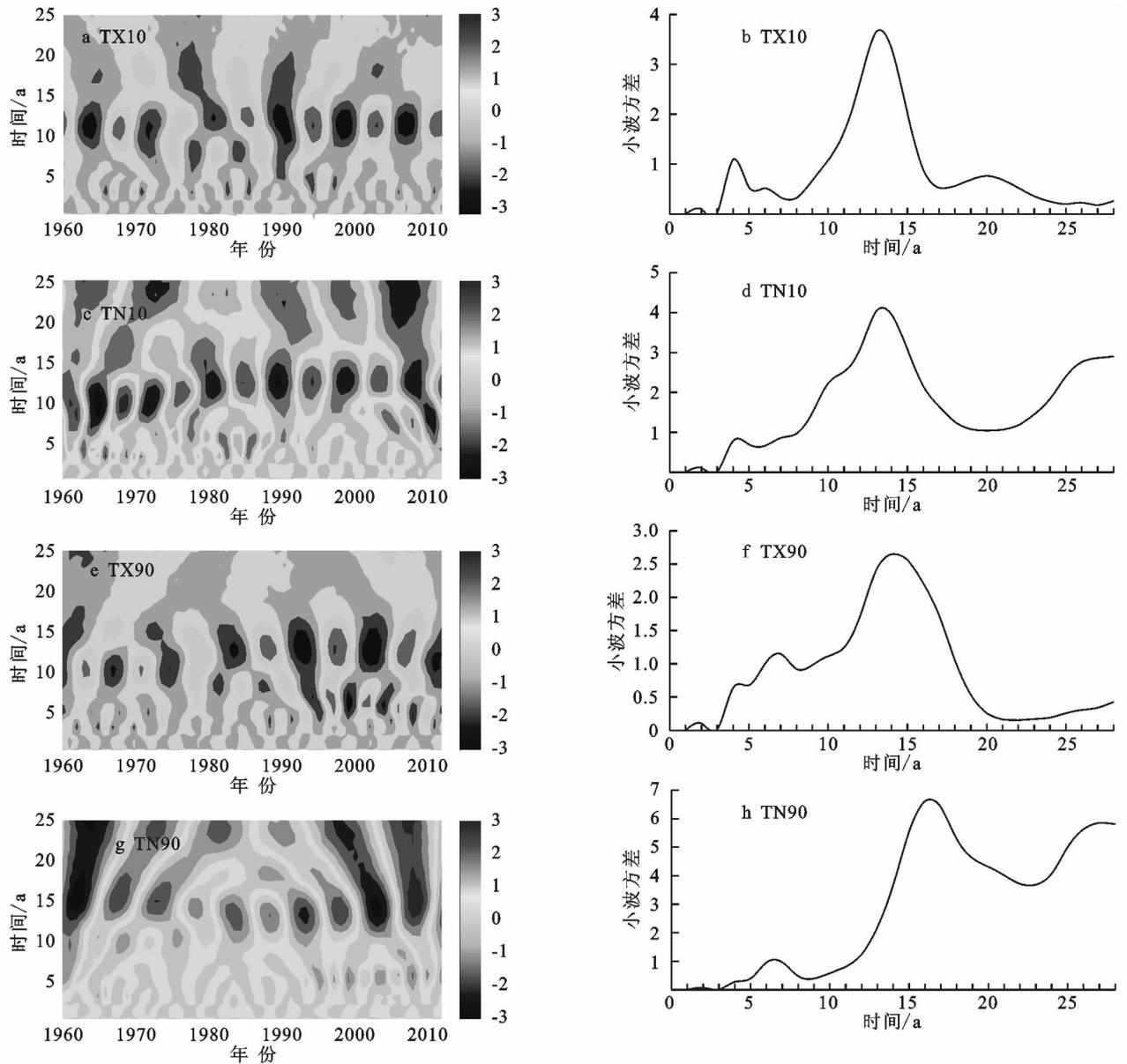


图 4 1960—2012 年中国天山山区极端气温相对指数的小波分析和小波方差

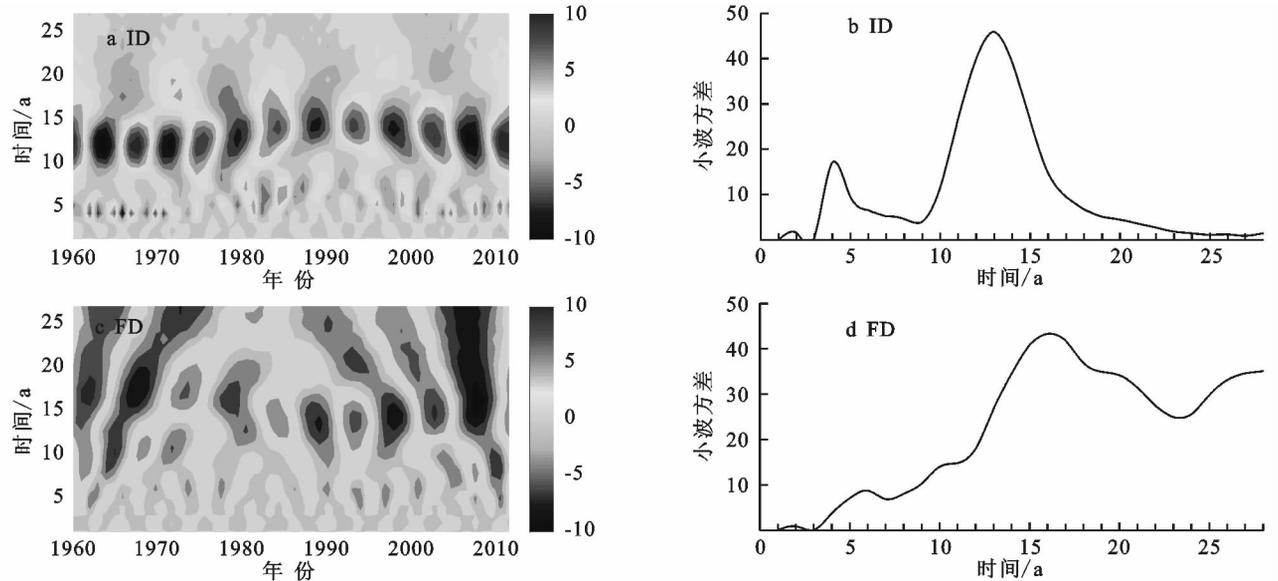


图 5 1960—2012 年中国天山山区极端气温绝对指数的小波分析和小波方差

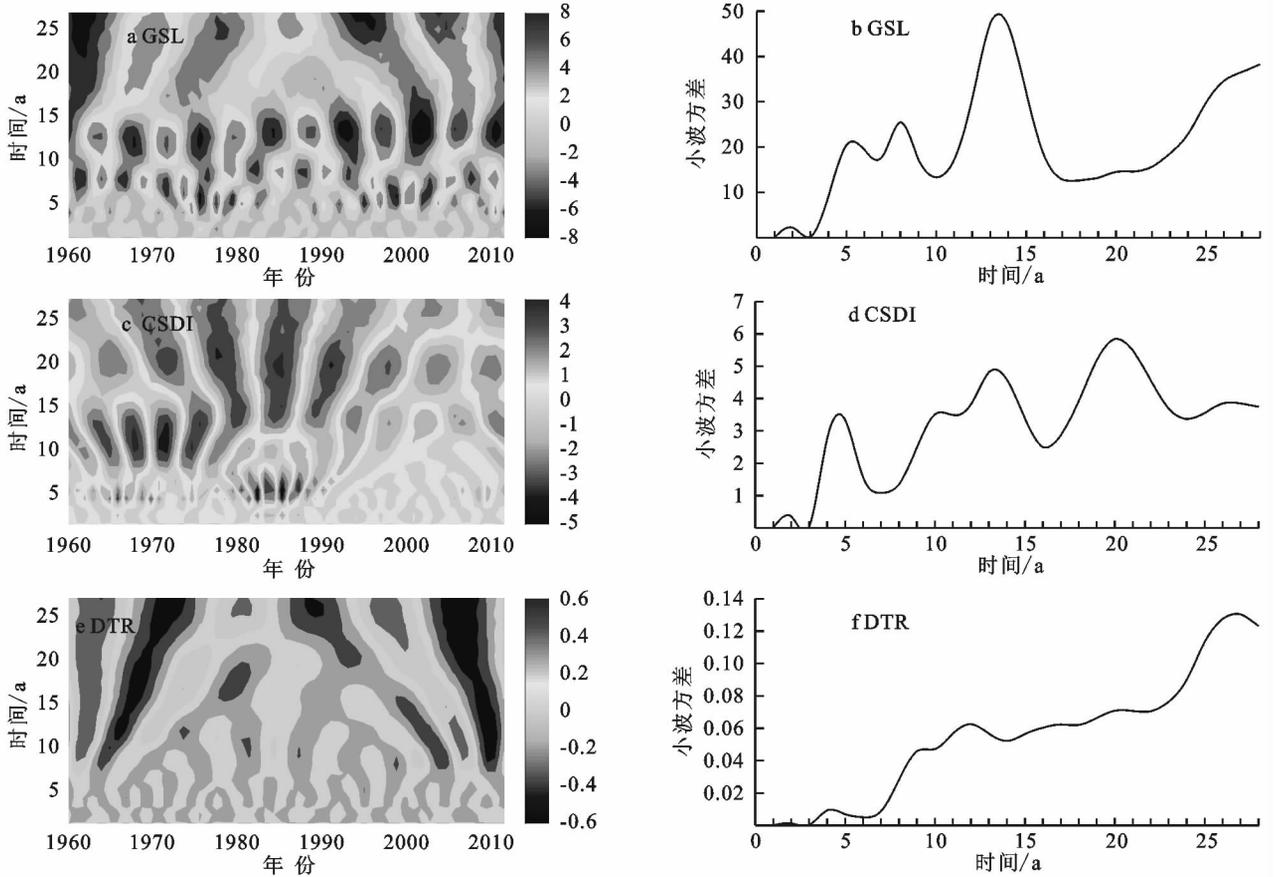


图 6 1960—2012 年中国天山山区极端气温其他指数的小波分析和小波方差

表 2 1960—2012 年天山山区极端气温指数的因子分析

主成分	TX10	TN10	TX90	TN90	ID	FD	CSDI	GSL	DTR	贡献率/%
1	0.779	0.936	-0.81	-0.901	0.637	0.906	0.7	-0.765	0.588	62.2
2	0.495	-0.102	-0.194	0.295	0.614	-0.342	0.407	0.177	-0.7	17.4
3	0.02	0.276	0.409	0.13	-0.015	-0.061	0.505	0.398	0.326	8.7

表 3 1960—2012 年天山山区极端气温指数相关关系矩阵

参数	TX10	TN10	TX90	TN90	ID	FD	CSDI	GSL	DTR
TX10	1.00								
TN10	0.705**	1.00							
TX90	-0.624**	-0.610**	1.00						
TN90	-0.507**	-0.804**	0.789**	1.00					
ID	0.684**	0.522**	-0.685**	-0.446**	1.00				
FD	0.579**	0.863**	-0.658**	-0.904**	0.318*	1.00			
CSDI	0.746**	0.729**	-0.446**	-0.432**	0.601**	0.473**	1.00		
GSL	-0.575**	-0.645**	0.614**	0.686**	-0.283*	-0.793**	-0.325*	1.00	
DTR	0.063	0.707**	-0.247	-0.724**	0.039	0.712**	0.250	-0.385**	1.00

注: ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关, * 在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

3 结论

本文采用 9 个极端气温指标来研究天山山区 1960—2012 年极端气温事件的时空变化特征, 主要得出以下几个结论:

(1) 时间尺度上, 极端冷指数的线性变化均呈下降趋势, 而极端暖指数的线性变化均呈现上升趋势, 具体来说 TX10, TN10, ID, FD, CSDI, DTR 以 -0.702 , -2.361 , -1.004 , -5.144 , -1.116 , -0.340 d/10 a

的趋势减小, 而 TX90, TN90, GSL 分别以 0.866 , 2.698 , 4.031 d/10 a 的趋势增加, 与全球的变暖趋势一致, 另外, DTR 的年际倾向率为 -0.340 d/10 a。

(2) 从空间分布来看, 各站点的暖指数(暖昼日数、暖夜日数)都有明显的上升趋势, 冷指数(冷昼日数、冷夜日数)则表现出明显的下降趋势, 并且绝大多数的站点通过了 0.05 的显著性检验。另外在整个天山山区中, 极端冷指数的平均值大于极端暖指数的平均值。

(3) 在整个时间列中存在着长短不同周期的振

荡。TX10, TN10, TX90, TN90, ID, FD, GSL, CSDI, DTR 变化的主周期分别为 13 a, 13.5 a, 14 a, 16.5 a, 13 a, 16 a, 13.5 a, 20 a, 27 a, 不同极端气温指数日数变化的周期集中在 4 a, 8 a, 13 a, 16 a, 25 a 左右。

(4) 主成分分析的结果将极端气温各指数划分为 3 类, 总贡献率达 88.3%, 相关分析表明了除气温日较差外, 各极端气温指数之间均有很好的相关性, 以相对指数之间的相关性最为显著。

参考文献:

- [1] 徐雨晴, 苗秋菊, 沈永平. 2008 年气候持续变暖, 极端事件频发[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(1): 56-60.
- [2] 刘德祥, 董安祥, 邓振镛. 中国西北地区气候变暖对农业的影响[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 119-125.
- [3] 张可慧. 全球气候变暖对京津冀地区极端天气气候事件的影响及防灾减灾对策[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(10): 122-125.
- [4] 陈怀亮, 张红卫, 薛昌颖. 中国极端天气事件与农业气象服务[J]. 气象与环境科学, 2010, 33(3): 67-77.
- [5] 秦大河, Stocker T, 259 名作者和 TSU(驻尼珀尔和北京). IPCC 第五次研究报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化与研究进展, 2014, 10(1): 1-6.
- [6] Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2006, 111(D5). doi:10.1029/2005JD006290.
- [7] Choi G, Collins D, Ren G, et al. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955—2007[J]. International Journal of Climatology, 2009, 29(13): 1906-1925.
- [8] Klein Tank A M G, Können G P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99[J]. Journal of Climate, 2003, 16(22): 3665-3680.
- [9] New M, Hewitson B, Stephenson D B, et al. Evidence of trends in daily climate extremes over southern and west Africa [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984—2013), 2006, 111(D14).
- [10] Aguilar E, Peterson T C, Obando P R, et al. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961—2003[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, (1984—2012), 2005, 110(D23).
- [11] 严中伟, 杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(3): 267-272.
- [12] 王冀, 江志红, 丁裕国, 等. 21 世纪中国极端气温指数变化情况预估[J]. 资源科学, 2008, 30(7): 1084-1092.
- [13] 周雅清, 任国玉. 中国大陆 1956—2008 年极端气温事件变化特征分析[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 405-417.
- [14] 刘学华, 季致建, 吴洪宝. 中国近年极端气温和降水的分布特征及年代际差异[J]. 热带气象学报, 2006, 22(6): 618-624.
- [15] 张宁. 中国极端气温和降水趋势变化研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2007.
- [16] Li Z, He Y, Theakstone W H, et al. Altitude dependency of trends of daily climate extremes in southwestern China, 1961—2008 [J]. Journal of Geographical Sciences, 2012, 22(3): 416-430.
- [17] 李玲萍, 薛新玲, 李岩瑛, 等. 1961—2005 年河西走廊东部极端气温事件变化[J]. 冰川冻土, 2010, 32(1): 43-51.
- [18] Su B D, Jiang T, Jin W B. Recent trends in observed temperature and precipitation extremes in the Yangtze River basin, China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2006, 83(1-4): 139-151.
- [19] 游庆龙, 康世昌, 闫宇平, 等. 近 45a 雅鲁藏布江流域极端气候事件趋势分析[J]. 地理学报, 2009, 64(5): 592-600.
- [20] 朱红蕊, 刘赫男. 黑龙江省 1961—2009 年极端气温事件变化特征分析[J]. 气候变化研究进展, 2011, 7(2): 110-115.
- [21] 陈晓光, Declan C, 郑广芬, 等. 1961—2004 年宁夏极端气温变化趋势分析[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(2): 73-77.
- [22] 汪宝龙, 张明军, 魏军林, 等. 1960—2009 年青海省极端气温事件的变化特征[J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 41-47.
- [23] 叶香. 重庆近 46a 极端气温和极端降水异常特征分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2008.
- [24] 姚檀栋, 刘晓东, 王宁练. 青藏高原地区的气候变化幅度问题[J]. 科学通报, 2000, 45(1): 98-106.
- [25] 袁再健, 沈彦俊, 褚英敏, 等. 海河流域近 40a 来降水和气温变化趋势及其空间分布特征[J]. 水土保持研究, 2009, 16(3): 24-26.
- [26] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 青藏高原近 30a 气候变化趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 3-11.
- [27] 杜军. 青藏高原近 40a 的气温变化[J]. 地理学报, 2001, 56(6): 682-690.
- [28] 田洪阵, 杨太保, 刘沁萍. 近 40a 来冷龙岭地区冰川退缩和气候变化的关系[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 34-38.
- [29] 胡汝骥. 中国天山自然地理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [30] 袁晴雪, 魏文寿. 中国天山山区近 40a 来的年气候变化[J]. 干旱区研究, 2006, 23(1): 115-118.
- [31] 王圣杰, 张明军, 李忠勤, 等. 近 50a 来中国天山冰川面积变化对气候的响应[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 38-46.
- [32] 魏文寿, 袁玉江, 喻树龙, 等. 中国天山山区 235a 气候变化及降水趋势预测[J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 803-808.
- [33] 张正勇, 刘琳, 唐湘玲. 1960—2010 年中国天山山区气候变化区域差异及突变特征[J]. 地理科学展, 2012, 31(11): 1475-1484.
- [34] Karl T R, Nicholls N, Ghazi A. CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: workshop summary[J]. Climatic Change, 1999, 42: 3-7.
- [35] Peterson T C. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998—2001[R]. Switzerland: WMO. Geneva, 2001.