

景雅雅, 邵天杰, 赵景波. 2017. 1955—2016年甘肃定西地区极端气温变化特征[J]. 气象与减灾研究, 40(4):265-275.

Jing Yaya, Shao Tianjie, Zhao Jingbo. 2017. Study on variations of extreme temperature in Dingxi area of Gansu province during 1955 - 2016[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 40(4):265-275.

## 1955—2016年甘肃定西地区极端气温变化特征

景雅雅<sup>1</sup>, 邵天杰<sup>1,2,3</sup>, 赵景波<sup>1,2</sup>

1. 陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 陕西 西安 710062
2. 陕西师范大学 地理学国家级实验教学示范中心, 陕西 西安 710062
3. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 陕西 西安 710075

**摘要:** 利用甘肃省定西地区岷县、临洮和华家岭3个站点的气温数据,应用线性趋势拟合等方法,基于10个气温指数,研究了1955—2016年定西地区极端气温变化趋势和特征。结果表明,霜冻日数、结冰日数、冷日日数和冷夜日数4个指数呈下降趋势,而极端最高气温、极端最低气温、夏日日数、热夜日数、冷日日数和冷夜日数6个指数均呈上升趋势。气温变化的第一主周期为30 a,第二主周期为17 a。夏日日数、热夜日数、暖日日数和暖夜日数的变化在气温总体变化中起主要作用。极端最低气温与霜冻日数、冷日日数、冷夜日数显著相关,极端最高气温与夏日日数、暖日日数、暖夜日数显著相关,暖夜日数与霜冻日数也具有较高的相关性。气温指数突变大多发生在1993—1999年。

**关键词:** 极端气温,变化趋势,变化周期,突变

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1007-9033(2017)04-0265-11

doi: 10.12013/qxyjzj2017-040

## Study on Variations of Extreme Temperature in Dingxi Area of Gansu Province during 1955—2016

Jing Yaya<sup>1</sup>, Shao Tianjie<sup>1,2,3</sup>, Zhao Jingbo<sup>1,2</sup>

1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China
2. National Experimental Teaching Demonstration Center of Geography, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China
3. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China

**Abstract:** Based on the daily temperature data from 1955 to 2016 in Minxian, Lintao and Huajialing of Dingxi area and 10 temperature indexes, the variation trend and characteristics of temperature in Dingxi was discussed using linear fitting and some other methods. The results showed that: 1) 4 indexes including frosting days, freezing days, cold days and cold night days presented downward trends, while the days of extreme highest (lowest) temperature, summer day, hot night, warm day and warm night showed upward trends. 2) The temperature variation had a first cycle of 30 a and a second cycle of 17 a. 3) The days of summer day, hot night, warm day and warm night played important roles in overall climate variation of Dingxi district. 4) The extreme lowest (highest) temperature was significant related to the days of frosting (summer) day, cold (warm) day and night. The days of frosting day and warm night also showed significant correlation. 5) A sudden change of the temperature indexes almost occurred during 1993 - 1999.

收稿日期: 2017-06-02; 修订日期: 2017-09-14.

基金项目: 国家自然科学基金国际合作项重大项目(编号: 41210002); 中国科学院黄土与第四纪地质国家重点实验室项目(编号: SKLLQG1428); 陕西自然科学基金(编号: 2016JQ4004); 中国博士后科学基金(编号: 2016M592742).

作者简介: 景雅雅, 硕士生, 主要从事自然地理与生态环境研究, E-mail: 2539670501@qq.com.

邵天杰(通信作者), 博士, 副教授, 主要从事环境科学研究, E-mail: tjshao2010@126.com.

**Key words:** extreme air temperature; variation trend; variation cycle; mutation analysis

## 0 引言

全球气候变暖已成为客观事实(丁裕国,2006;王鹤龄等,2011;Zhang et al,2014;Wu et al,2015;Li et al,2016)。许多学者就中国多个地区的气候变化进行了深入研究,如汪宝龙等(2012)研究发现,甘肃省1960—2009年极端气温呈现持续增长的趋势,且存在显著的空间差异,高温日数在河西走廊东段和甘肃东部地区呈现增加趋势,而中部地区变化较前者不明显,低温日数呈显著减少的趋势,在河西走廊东段和甘肃东南部及东部地区表现最为突出。李红英等(2015)研究了河西走廊近60 a极端气温变化特点和趋势,发现不同季节极端最高气温和极端最低气温均不断升高。夏范燕等(2014)研究发现,滇西北地区近50 a气温变化总体呈上升趋势,暖冬现象在近几年更加明显。高妍和冯起(2014)研究发现,1957—2012年祁连山讨赖河流域极端气温和极端降水指数上升趋势明显。孙润和尚军林(2015)研究发现,定西地区近47 a平均气温变化呈现上升趋势,北部气温增速最大,西南部次之,西北部最小,在空间上呈由西南部向北部递增。相较于其他地区,定西地区升温慢、降温快,四季气温变化均呈增加趋势,且冬季增温趋势最明显;降水整体呈波动减少的趋势,其中东北部地区减少速率最大,西南部地区最小。因此,定西地区西南部是极端天气事件发生最显著的地区,同时极端气温突变年份和降水突变年份一致,都出现在20世纪末。区域环境不同,相应的气候变化也存在时间和空间上的差异,但总体上气候是持续变暖的(刘吉峰等,2006)。那么定西地区1955—2016年气候变化趋势与全国的气候变暖是否一致?是否具有自己的变化特点?文中基于定西地区气温数据,进一步分析研究定西地区极端气温变化特点与规律,为科学利用极端气温变化提供依据。

## 1 研究区域概况

定西地区位于甘肃省中部,介于 $103^{\circ}52'—105^{\circ}13'E$ , $34^{\circ}26'—35^{\circ}35'N$ 。全区面积 $1.96 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。定西地区处于黄土高原、甘南高原和陇南山地三地交汇地带,属于黄土高原丘陵沟壑区。其平均海拔为2 080 m,地势西南高、东北低。该区属于南温带半湿润、中温带半干旱气候,年平均温度为 $5.7—$

$7.7^{\circ}\text{C}$ ,年平均降雨量为350—600 mm。降雨主要集中在7—9月,且暴雨多,蒸发量超过1 400 mm,气候干旱且降雨不均,极端天气频发,是生态环境脆弱区。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料

文中所用气象资料主要来自中国气象科学数据共享服务网,选取1955—2016年定西地区岷县、临洮和华家岭3个站点的日平均气温、日最高气温和日最低气温等观测资料作为研究数据。采用标准正态均一性检验法对数据进行了均一性检验,且通过了信度0.05的显著性检验。首先将3个站点数据平均得到定西地区日气温数据,再进行极端气温指数的计算和变化规律分析。文中将春、夏、秋、冬四季分别划定为3—5月、6—8月、9—11月、12月至翌年2月。

### 2.2 方法

根据WMO定义的极端气候指数,文中选定了10个极端气温指数作为研究指数(表1)。这些指数可分为三种类型,第一类为年内日最高气温和日最低气温的极值,简称极值指数,包括年内日最高气温的极大和极小值与日最低气温的极大和极小值;第二类基于原始观测数据与固定阈值的指数,简称绝对指数,包含霜冻、夏日、热夜和结冰日数;第三类是基于百分比阈值的相对指数,简称相对指数,包括冷日、冷夜、暖日、暖夜日数(申红艳等,2012)。文中还选取了气温年较差作为其他指数。

采用线性趋势拟合法等分析气温变化的趋势和特点,采用主成分分析法、Morlet复数小波分析法、M-K突变检验法等分析极端气温周期性和突变性。

## 3 极端气温变化趋势分析

各极端气温指数和各季节气温变化趋势分析结果(表2)显示,1955—2016年定西地区平均气温、平均最高气温和平均最低气温都呈快速上升趋势,这与全球气候变暖的总体趋势相符。其中,平均气温的变化倾向率最大,平均最低气温变化倾向率高于平均最高气温,表明低温比高温上升更明显。绝对指数中霜冻日数和结冰日数呈下降趋势,而夏日和热夜日数则呈上升趋势,霜冻日数平均值最大,约占全年日数的44%,表明定西地区夏季的高温日数在

表1 极端气温指数的定义

Table 1 Definition of extreme temperature indexes

指数类别	指数名称	定义	单位
极值指数	最高气温	每年的日最高气温的最高值	℃
	最低气温	每年的日最低气温的最低值	℃
绝对指数	霜冻日数	每年的日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 的天数	d
	夏日日数	每年的日最高气温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的天数	d
	热夜日数	每年的日最低气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数	d
	结冰日数	每年的日最高气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 的天数	d
	冷夜日数	日最低气温小于基期的第10个百分位值的天数	d
相对指数	冷日日数	日最高气温小于基期的第10个百分位值的天数	d
	暖夜日数	日最低气温大于基期的第90个百分位值的天数	d
	暖日日数	日最高气温大于基期的第90个百分位值的天数	d
其他指数	气温年较差	每年的日最高气温和最低气温差	℃

增加,而秋、冬季的霜冻日数和结冰日数在减少。相对指数中的冷夜日数和冷日日数呈下降趋势,暖夜日数和暖日日数呈上升趋势,其中暖夜日数变化倾向率最大,并且其平均值也最大,说明白天和夜间的高温日数增多。定西地区四季气温的倾向率均表现出上升趋势,说明气温呈上升趋势,其中冬季的变化倾向率最大,春季变化速率最小,春季与夏季的变化倾向率相差较小。因此,定西地区极端天气发生可能性较大,暖冬现象明显,这与孙润和尚军林(2015)的研究结果一致。

表2 1955—2016年定西地区极端气温指数的倾向率和平均值分析

Table 2 Analysis of trend rate and average value of extreme temperature in Dingxi during 1955–2016

气温指数	倾向率	平均值
极端最高气温	0.33 ℃/(10 a)	28.22 ℃
极端最低气温	0.42 ℃/(10 a)	-18.88 ℃
平均气温	1.95 ℃/(10 a)	5.69 ℃
春季气温	1.56 ℃/(10 a)	6.53 ℃
夏季气温	1.61 ℃/(10 a)	15.72 ℃
秋季气温	2.07 ℃/(10 a)	5.93 ℃
冬季气温	2.54 ℃/(10 a)	-5.65 ℃
霜冻日数	-2.83 d/(10 a)	162.15 d
夏日日数	3.70 d/(10 a)	19.53 d
热夜日数	3.56 d/(10 a)	62.61 d
结冰日数	-1.88 d/(10 a)	37.52 d
冷夜日数	-5.21 d/(10 a)	30.66 d
冷日日数	-1.52 d/(10 a)	30.19 d
暖夜日数	7.98 d/(10 a)	52.33 d
暖日日数	4.74 d/(10 a)	48.24 d

### 3.1 极端气温指数

图1给出了极值指数和气温年较差的年际和年代际变化。分析发现,1955—2016年定西地区极端最低气温和极端最高气温均呈波动上升趋势,说明发生极端低温事件的可能性较高。气温年较差表现

出下降趋势,说明高温与低温差不断减小,气候变暖。极端最低气温出现3个突出低值,分别在1955、1975和1992年,温度在 $-23^{\circ}\text{C}$ 以下。极端最高气温在2015年出现突出高值,为 $35^{\circ}\text{C}$ 。气温年较差的波峰正好是极端最低气温的低值,说明极端最低气温变化较大。由年代际曲线可以看出,20世纪50—60年代,极端最低气温有所上升,除70年代和2010年以后呈小幅下降之外,其他年代都持续上升。而极端最高气温和气温年较差在21世纪之前变化相近,均随时间呈先降后升交替变化;之后,极端最高气温呈小幅上升,但气温年较差回落后呈上升趋势。

分析极端气温指数中各绝对指数的年代与年际变化(图2)可知,结冰与霜冻日数呈下降趋势,而夏日和热夜日数呈上升趋势。夏日日数在2015年出现最大值(82 d),热夜日数在2013年出现最大值(84 d),2015年的结冰日数最小(11 d),2016年的霜冻日数最小,说明这几个年份秋冬季较温暖。从年代际变化上看,夏日日数出现2次下降—上升的交替变化,从20世纪90年代至今都表现出上升趋势。热夜日数在80年代之前呈下降—上升—下降变化状态,90年代之后持续上升。霜冻日数在1955—1960年出现较大幅度下降之后基本保持不变,90年代之后快速下降。结冰日数在80年代之前与热夜日数变化一致,90年代之后持续下降,直到近5 a才回升。

图3给出了各相对指数的年代与年代际变化。分析发现,冷日日数和冷夜日数都呈波动下降,其他2个指数呈上升趋势,冷夜日数下降速率最大,而暖夜日数的上升速率最大。冷日日数在1968年出现最大值,1998年出现最小值。暖日日数和暖夜日数随时间不断增大,在20世纪90年代以后大于冷日

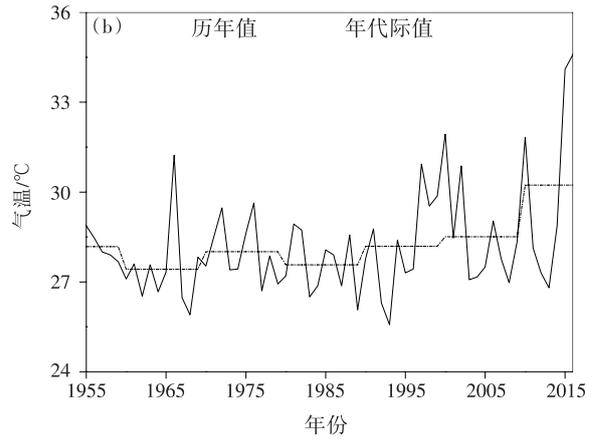
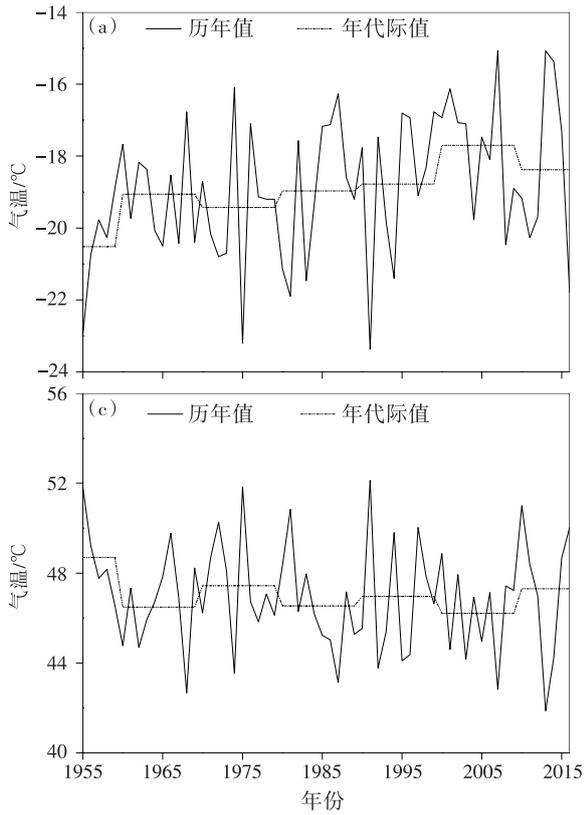


图 1 1955—2016 年定西地区极端最低气温(a)、最高气温(b)和气温年较差(c)变化趋势

Fig. 1 Variation trend of extreme lowest temperature (a), extreme highest temperature (b) and annual range of temperature (c) in Dingxi during 1955 - 2016

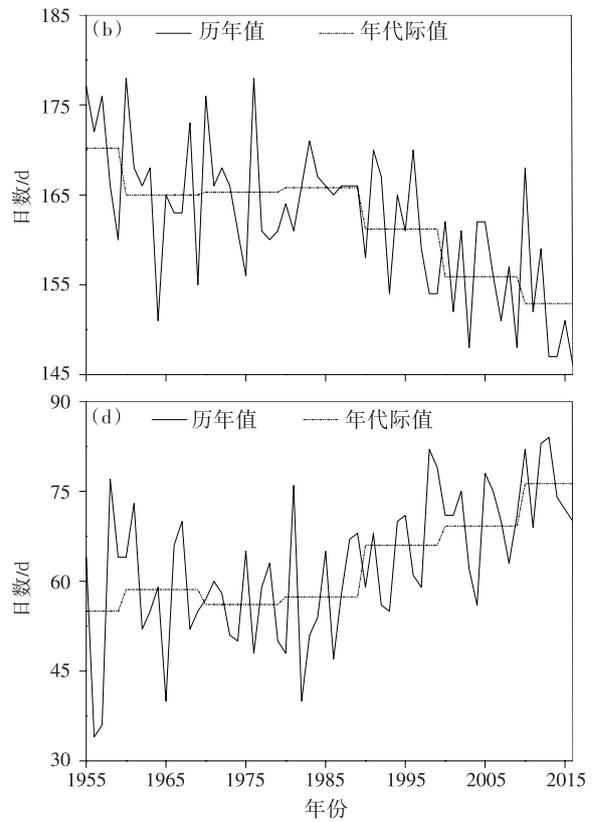
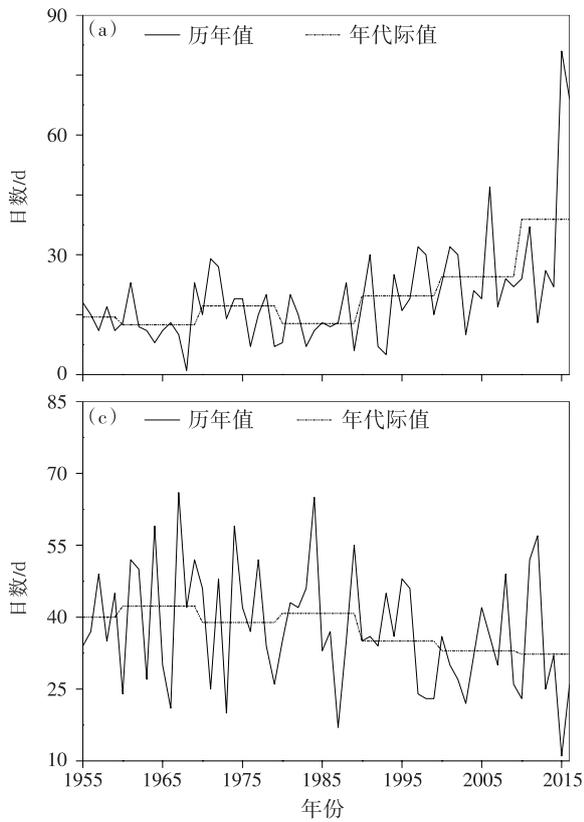


图 2 1955—2016 年定西地区夏日日数(a)、霜冻日数(b)、结冰日数(c)、热夜日数(d)变化趋势

Fig. 2 Variation trend of summer day (a), frosting day (b), freezing day (c) and hot night (d) in Dingxi during 1955 - 2016

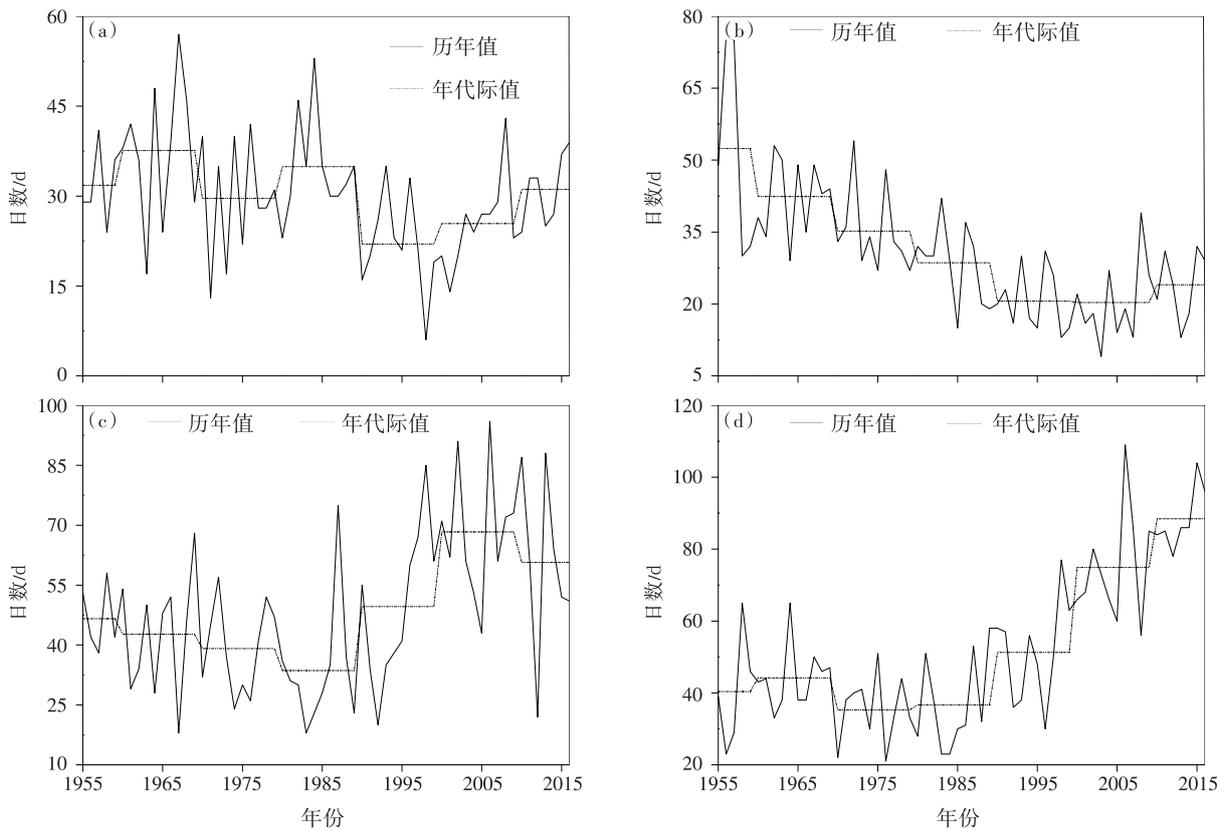


图3 1955—2016年定西地区冷日日数(a)、冷夜日数(b)、暖日日数(c)和暖夜日数(d)变化趋势

Fig. 3 Variation trend of cold day (a), cold night (b), warm day (c) and warm night (d) in Dingxi during 1955–2016

日数和冷夜日数,说明定西地区的气温不断升高。冷日日数年代际变化表现出2次小幅上升后大幅下降,最后呈持续小幅回升的特点。冷夜日数年代际变化则是先阶梯式下降,到90年代之后基本保持平衡,近几年出现小幅回升趋势。暖日日数的年代际变化以80年代为转折点,之前持续下降,之后大幅上升,近5a小幅回落。暖夜日数年代际变化呈先上升后下降变化,80年代小幅上升,之后快速上升。

### 3.2 极端气温指数距平

极端气温指数各年代际距平计算结果显示,1955—2016年定西地区极端最低气温、极端最高气温和夏日日数、热夜日数、暖夜日数、暖日日数的距平都呈波动上升趋势,其他5个气温指数的距平则呈波动下降趋势,但差异较大。其中,除极端最高气温外的其他呈现上升趋势的4个气温指数和结冰日数的距平均以20世纪80年代为界,之前距平为负值,之后则为正值,说明80年代之后气温逐渐升高。极端最高气温的距平变化幅度较小。霜冻日数和冷夜日数的距平呈现持续下降趋势,冷夜日数的距平

在近5a距平出现小幅回升。冷日日数的距平在70年代之前和80年代距平为正,其他年代距平为负,表明80年代之后气温处于偏暖阶段。

图4给出了定西地区极端气温累积距平变化。分析发现,气温年较差的累积距平一直为正值,1983年达到最大(17.01℃),2007年最小(1.20℃)。极端最低气温和极端最高气温的累积距平都为负值,其中极端最高气温的累积距平在1995年出现明显波谷,呈先下降后上升的趋势;极端最低气温在1984和1995年出现波谷,极端最低气温与极端最高气温的距平差值较大,说明极端最低气温变化更明显。总之,1995年之前为波动降温阶段,之后为波动升温阶段。

绝对指数中夏天日数和热夜日数的累积距平均为负值,都以1993年最小值为界,之前主要呈现下降趋势,之后则呈现上升趋势。霜冻日数和结冰日数的累积距平基本为正值,变化趋势相似且以1996年为界,之前呈上升趋势,之后呈下降趋势。由此可知,1996年可能为一个气温突变年份。

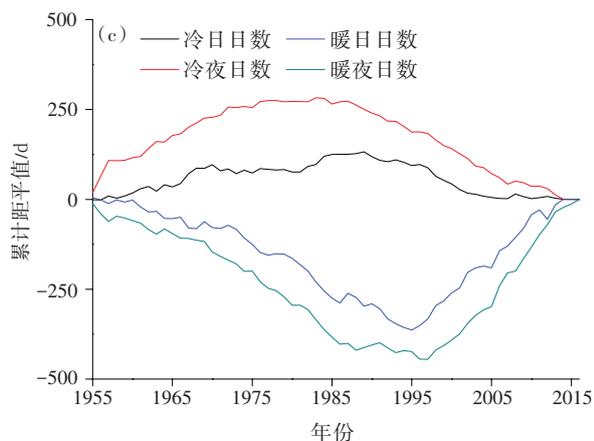
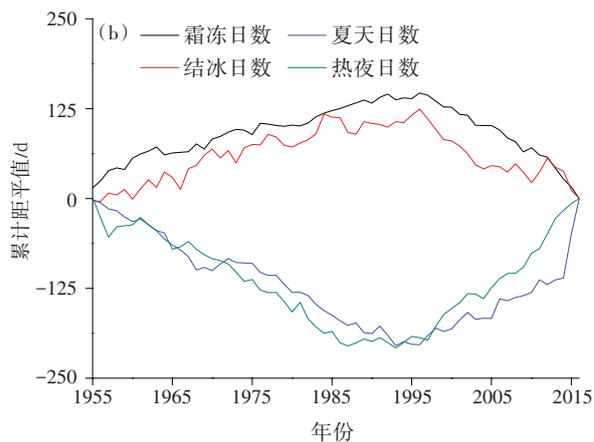
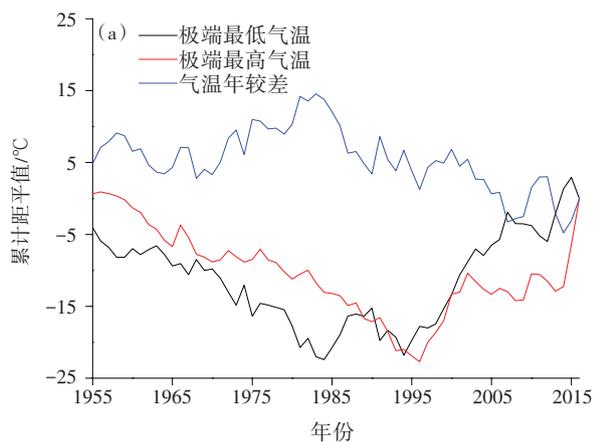


图4 1955—2016年定西地区极端气温指数累积距平变化  
Fig. 4 Cumulative anomalies of extreme temperature of Dingxi during 1955 - 2016

相对指数中冷日日数和冷夜日数的累积距平变化相似,并且均为正值;而暖日与暖夜的累积距平变化相似,两者均为负值。相较于冷日日数,冷夜日数累积距平变化更为明显。暖日日数与暖夜日数累积距平变化大致以1995年为界,之前持续下降,但之后开始大幅上升,说明暖日日数与暖夜日数从1995

年开始增加。

#### 4 极端气温变化特征分析

##### 4.1 极端气温指数变化周期

应用 Morlet 小波分析法,对极端气温指数周期特征的检测结果(图5—7)显示,1955—2016年定西

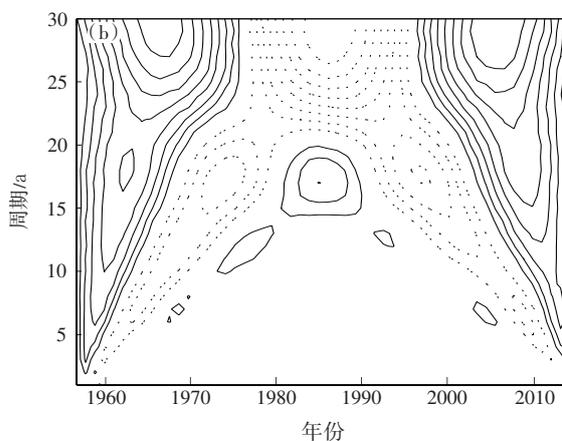
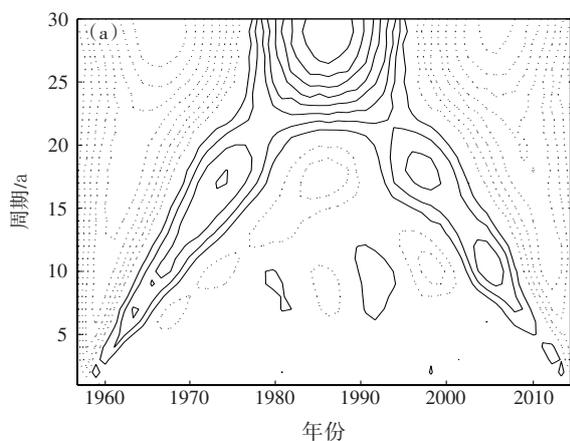


图5 1955—2016年定西地区极端最低气温指数(a)和极端最高气温指数(b)小波分析

Fig. 5 Wavelet analysis of extreme lowest (a), highest (b) temperature indexes of Dingxi during 1955 - 2016

地区气温变化存在 30 a 的第 1 主周期和 17 a 第 2 主周期,后者具有明显的对称性。

分析极端最高气温和极端最低气温的周期变化(图 5)可知,两者均呈现对称性,并且出现互补的情况,后者出现负值的时期正好是前者出现正值的时期,前者周期变化比后者变化更为复杂。极端最低气温的变化主周期为 10 a 和 17 a,17 a 周期经过了 5 个高一低循环,而 10 a 周期变化不太明显,可能还存在 30 a 的周期,直到 2016 年其等值线并未完全闭合,说明未来几年定西地区的极端最低气温可能会下降。6、12、17 和 30 a 为极端最高气温的周期变化。30 a 周期成为极端最高气温和极端最低气温的主控周期,呈现高一低一高的交替变化,17 a 左右的周期同样经历了 5 个高一低循环,但 6 a 周期在 1968—2000 年出现间断。

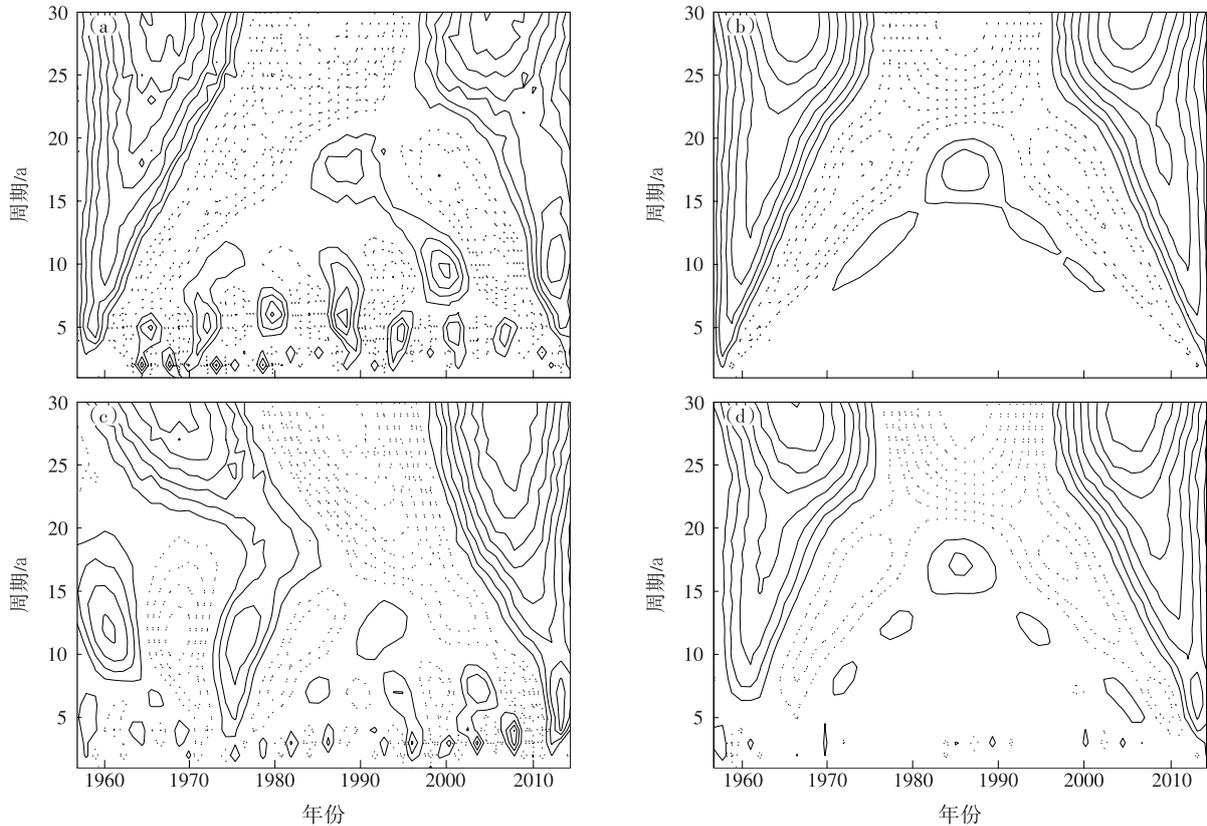


图 6 1955—2016 年定西地区结冰日数(a)、霜冻日数(b)、夏日日数(c)和热夜日数(d)小波分析

Fig. 6 Wavelet analysis of freezing days (a), frosting days (b), summer days (c) and hot night days (d) in Dingxi during 1955—2016

分析各相对指数的变化周期(图 7)可知,冷日和冷夜日数的周期变化相对复杂,冷日、冷夜、暖日和暖夜日数均呈高一低的交替变化。暖日日数存在 8、19 和 30 a 变化周期,8 a 左右为第 2 主周期,经过了 8 个高一低变化过程;30 a 为第 1 主周期,经过了

分析各绝对指数的变化周期(图 6)可知,结冰日数和夏日日数的周期变化较复杂。1995—2016 年结冰日数主要存在 5、10、18 和 30 a 的周期,18、30 a 为第 1、2 主周期,分别经过了 4 个和 3 个高一低交替变化。夏日日数具有 2、13 和 30 a 变化周期,2 a 的周期特征随时间变化较大,13 a 周期经过了 7 个高一低交替变化,30 a 周期经历了高一低一高一低一高的变化过程。热夜日数具有 3、7、12、17 和 30 a 变化周期,而 3、7 和 12 a 的变化周期不明显,30、17 a 为第 1、2 主周期,分别经过了 3 个和 5 个高一低交替变化。17、30 a 周期是霜冻日数的主要变化特征,分别经过了 5 个和 3 个高一低交替变化。霜冻日数和结冰日数的 30 a 主周期等值线在 2016 年还未完全闭合,说明在未来几年内,霜冻日数和结冰日数将继续减少。

3 个高一低变化过程;19 a 的周期变化不太明显。暖夜日数存在 3、6、11 和 30 a 变化周期,11、30 a 分别为第 1、2 主周期,分别经过了 6 个和 3 个高一低交替变化。冷日日数的周期变化较其他相对指数更为复杂,有 2、8—10、17 和 30 a 的变化周期,30、17 a

周期分别经过了 2 个和 5 个高一低变化过程,等值线在 2016 年还未完全闭合,说明未来几年定西地区的冷日日数可能会减少;2、8—10 a 的周期比较复杂。冷夜日数存在 3、10、18 和 30 a 的变化周期,

10、30 a 周期分别经过了 8 个和 3 个高一低交替变化,3 a 周期较复杂,18 a 左右的周期经过了 5 个高一低交替变化过程。

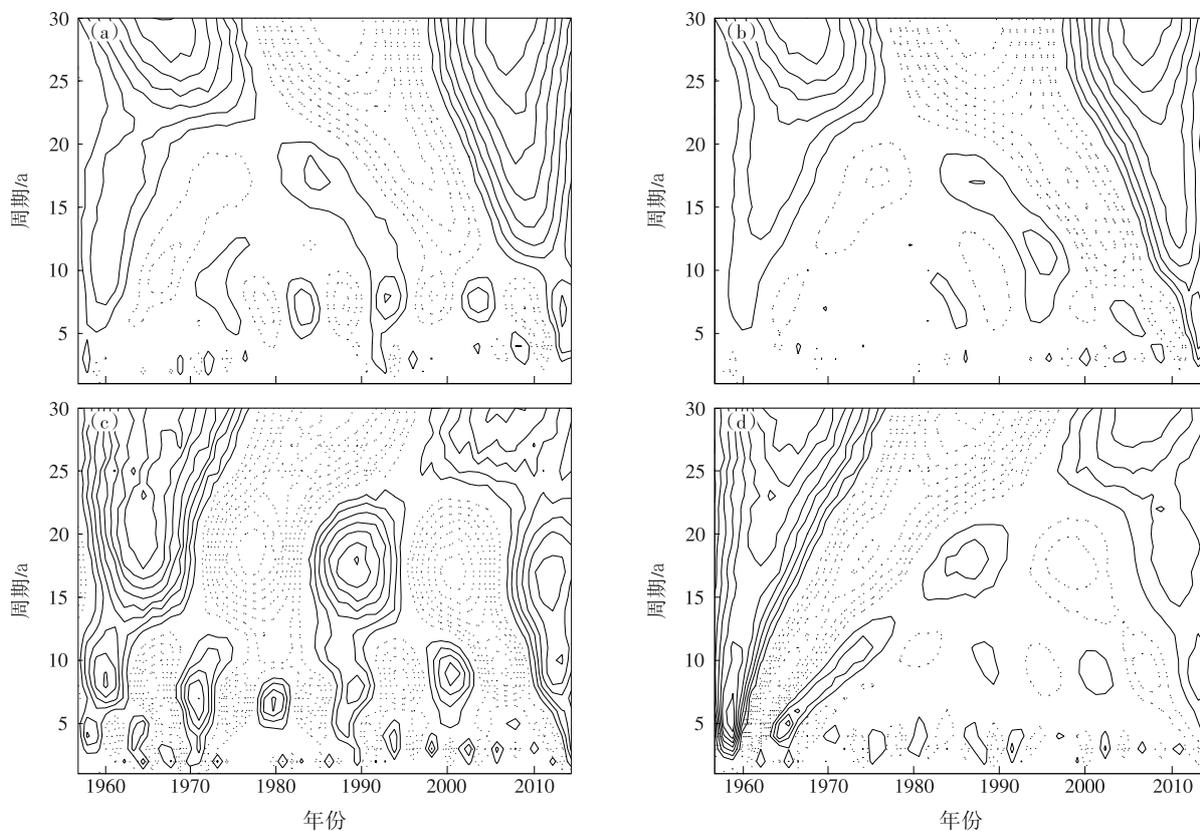


图7 1955—2016年定西地区极端气温指数中暖日日数(a)、暖夜日数(b)、冷日日数(c)和冷夜日数(d)小波分析  
Fig. 7 Waveley analysis of warm days (a), warm night days (b), cold days (c) and cold night days (d) in Dingxi during 1955—2016

#### 4.2 极端气温突变

基于 M-K 突变分析的极端气温变化趋势突变情况检验结果(图 8)表明,1955—2016 年定西地区极端最低气温和极端最高气温均随时间变化呈先降后增的趋势,这与累计距平的分析结果相对应。极端最低气温的  $UF$  和  $UB$  曲线在置信区间内相交于 1957、1967 和 1984 年。结合累计距平(图 4),排除其余两者干扰点,确定 1984 年为极端最低气温的突变点( $P < 0.01$ )。极端最高气温的  $UF$  和  $UB$  曲线在置信区间内相交于 1993、2003、2007、2011 和 2015 年,说明 21 世纪以来气温变化很大,可能会发生灾害事件。结合累计距平(图 4),确定 1993 年为极端最高气温的突变点( $P < 0.01$ )。

绝对指数的 4 个指数中结冰日数和霜冻日数整体呈波动下降趋势,霜冻日数的  $UF$  值在 2007 年之后超出置信区间下界,说明 2007 年之后霜冻日数大

幅减少。结冰日数的  $UF$  和  $UB$  曲线在置信区间内相交于 1955 和 2011 年,霜冻日数的相交于 1999 年。结合累计距平(图 4),确定两者突变分别发生在 1955 和 1999 年( $P < 0.01$ ),霜冻日数突变前后差值更大,减少了 14 d。夏日日数和热夜日数均呈上升趋势,且在 2005 年之后  $UF$  值超出了置信区间上界,说明 2005 年之后两者上升趋势更加明显, $UF$  和  $UB$  曲线在置信区间内分别相交于 1997 和 1994 年,说明夏日日数和热夜日数增加突变点分别为 1997 和 1994 年( $P < 0.01$ ),热夜日数突变前后差值最大。总之,冷指数和暖指数的变化趋势较为一致。

极端气温 4 个相对指数中冷日和冷夜日数均呈下降趋势,其中冷日日数在 1990 年之后下降趋势更明显,其  $UF$  和  $UB$  曲线相交于 1984 年,则冷日日数的突变发生在 1984 年( $P < 0.01$ )。冷夜日数的  $UF$  值在 1985 年后超出置信区间下界,且快速下

降,说明 1985 年以后冷夜日数减少更加明显,其突变点为 1979 年( $P < 0.01$ )。暖日和暖夜日数的变化相对一致,两者大体均呈先下降后上升趋势,暖日和暖夜日数的  $UF$  值分别在 2008 和 2002 年之后超

出置信区间上界,说明近几年上升更强烈,其突变分别发生在 1997 和 2002 年( $P < 0.01$ ),暖日日数突变前后差值最大。总体而言,冷指数下降而暖指数上升,表明定西地区气温随时间变化不断升高。

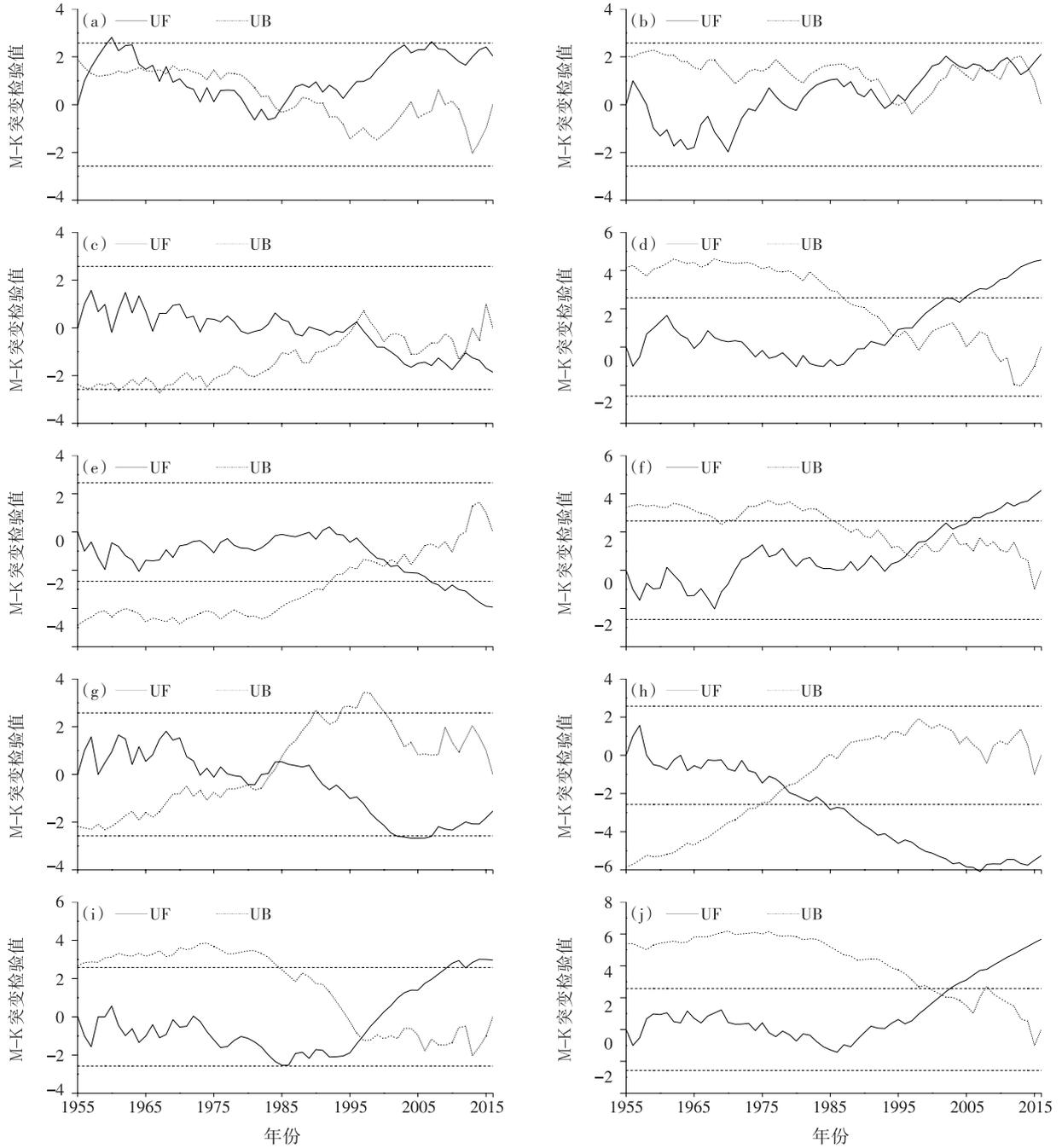


图 8 1955—2016 年定西地区极端气温指数 M-K 突变分析(a—j 依次为极端最低气温、极端最高气温,冰日、热夜、霜冻、夏日、冷日、冷夜、暖日、暖夜日数;图中上下两条虚直线分别为信度水平 0.01 的上限与下限)

Fig. 8 Mann-Kendall analysis of extreme temperature of Dingxi during 1955 - 2016 (a - j are respectively the extreme minimum temperature, the extreme maximum temperature, the number of ice days, hot nights, frosts, summer days, cold days, cold nights, warm days, warm nights; the top and bottom two imaginary lines in the figure are the upper and lower limits of the confidence at 0.01 level)

## 5 对极端气温变化指数作用分析

1955—2016年定西地区极端气温指数主成分分析结果(表略)表明,前5个主成分指数的累积方差总值为87.41%,达到主成分分析的要求。其中前3个主成分的特征值均大于1。各指数的共同度均大于0.8,表明这5个主成分可以充分解释10个极端气温指数。第1个主成分方差的贡献率最大,为43.82%,其中载荷系数较大的指数为热夜日数、夏日日数、暖日日数和暖夜日数,载荷系数均为正值且都大于0.7,表明这4个暖指数对定西地区气温变化起主要作用;第2个主成分方差的贡献率为16.08%,其中极端最高气温、霜冻日数和结冰日数的载荷系数较大;第3个主成分中气温指数载荷系数较高的是极端最低气温和结冰日数,载荷系数分别为-0.68和0.55;最后2个主成分方差贡献率较小,分别为8.39%和6.96%,其中极端最低气温和冷日日数是第4个主成分中载荷系数较高的指数;第5个主成分中载荷系数均小于0.4。

极端气温指数之间相关系数的计算结果表明,极值指数与绝对指数之间大多为负相关。从单个气温指数来看,极端最低气温与霜冻日数、冷日日数、冷夜日数两两显著相关,通过了信度0.01的显著性检验,说明极端最低气温的变化与其他3个指数的变化相关。极端最高气温与夏日日数、暖日日数、暖夜日数也存在显著相关。值得指出的是,暖夜日数与霜冻日数具有较高的相关性,这可能与当地的地形和天气有关。

## 6 结 论

利用极端气温资料,采用10个指数对1955—2016年定西地区极端气温的变化趋势、周期和突变分析,得到如下结论:

1) 极端最低、极端最高气温、夏日日数、热夜日数、暖日日数和暖夜日数6个气温指数均呈上升趋势,而结冰日数、霜冻日数、冷日日数、冷夜日数和气温年较差呈下降趋势。其中,结冰日数变率最小,暖夜日数和冷夜日数变率较大,说明发生极端气温事件的概率增大。

2) 冷夜日数的递增率大于冷日日数,而暖夜日数的递减率大于暖日日数,说明定西地区的白昼和夜晚气温变化不对称,并且白昼气温上升速率大于夜晚气温下降速率。

3) 气温变化以30a左右为第1主周期,其中极

端最高气温、极端最低气温,霜冻日数、热夜日数和冷日日数的变化周期最为明显。

4) 夏日日数、热夜日数、暖日日数和暖夜日数4个暖指数对定西地区气温变化起主要作用。

5) 极端最低气温与霜冻日数、冷日日数、冷夜日数显著相关,极端最高气温与夏日日数、暖日日数、暖夜日数显著相关,暖夜日数与霜冻日数也具有较高的相关性。

6) 极端最低气温和极端最高气温在1985和1993年发生突变;结冰日数和霜冻日数下降的突变点分别是1995和1999年;夏日日数突变发生在1997年;冷日日数、冷夜日数、暖日日数和暖夜日数的突变点分别为1970、1979、1997和2002年。因此,20世纪90年代是大部分气温指数发生突变的时期。

## 参考文献(References)

- 丁裕国. 2006. 探讨灾害规律的理论基础——极端气候事件概率[J]. 气象与减灾研究,29(1):44-50. Ding Y G. 2006. Theoretical basis for discussing disaster disciplinarian; The probability of extreme climate event[J]. Meteor Disaster Reduction Res,29(1):44-50. (in Chinese)
- 高妍,冯起. 2014. 祁连山讨赖河流域1957—2012年极端气候变化[J]. 中国沙漠,34(3):814-826. Gao Y, Fen Q. 2014. The variation of climate extremes in the Taolaihe river basin in the Qilian mountains of China during 1957-2012[J]. J Desert Res,34(3):814-826. (in Chinese)
- 李红英,高振荣,王胜. 2015. 近60a河西走廊极端气温的变化特征分析[J]. 干旱区地理,38(1):1-9. Li H Y, Gao Z R, Wang S. 2015. Extreme temperature variation of Hexi Corridor in recent 60 years[J]. Arid Land Geo,38(1):1-9. (in Chinese)
- Li K M, Li Z Q, Wang C Y. 2016. Shrinkage of Mt. Bogda glaciers of Eastern Tian Shan in central Asia during 1962-2006[J]. J Earth Sci,27(1):139-150.
- 刘吉峰,李世杰,丁裕国. 2006. 近几十年我国极端气温变化特征分区方法探讨[J]. 山地学报,24(3):291-297. Liu J F, Li S J, Ding Y G. 2006. The discussion of the characteristic zoning method of extreme temperature in China in recent decades[J]. J Mountain Sci,24(3):291-297. (in Chinese)
- 申红艳,马明亮,王冀. 2012. 青海省极端气温事件的气候变化特征研究[J]. 冰川冻土,34(6):1371-1379. Shen H Y, Ma M L, Wang Y. 2012. Variation characteristics of extreme air temperature events in Qinghai province[J]. J Glaciol Geocryol,34(6):1371-1379. (in Chinese)
- 孙润,尚军林. 2015. 定西地区近47a气温、降水特征变化分析[J]. 陕西气象,(1):11-14. Sun R, Shang J L. 2015. Temperature and rainfall characteristics change analysis of Dingxi in recent 47 years[J]. J Shaanxi Meteor,(1):11-14. (in Chinese)
- 汪宝龙,张明军,魏军林. 2012. 1960—2009年甘肃省极端气温的变

- 化[J]. 干旱区研究,29(4):674-680. Wang B L, Zhang M J, Wei J L. 2012. Study on change of extreme temperatures in Gansu province during the period of 1960 - 2009[J]. *Arid Zone Res*,29(4):674-680. (in Chinese)
- 王鹤龄,王润元,张强. 2011. 气候变暖对甘肃省不同气候类型区主要作物需水量的影响[J]. *中国生态农业学报*,19(4):866-871. Wang H L, Wang R Y, Zhang Q. 2011. Impact of warming climate on crop water requirement in Gansu province[J]. *Chinese J Eco-Agric*,19(4):866-871. (in Chinese)
- Wu G X, Duan A M, Liu Y M. 2015. Tibetan Plateau climate dynamics: recent research progress and outlook[J]. *Natl Sci Rev*, 2(1):100-116.
- 夏范燕,吴巩固,李丽. 2014. 近50年内滇西北极端气候变化[J]. *云南师范大学学报(自然科学版)*,34(3):64-69. Xia F Y, Wu G S, Li L. 2014. The extreme climate change of Northwest Yunnan in recent 50 year[J]. *J Yunnan Normal University (Nat Sci Edi)*,34(3):64-69. (in Chinese)
- Zhang Y Q, Cai Y X, Beach R H. 2014. Modeling climate change impacts on the US agricultural exports[J]. *J Integrative Agric*, 13(4):666-676.