

朱瑞杰, 窦辉, 王瑾, 等. 咸阳市近 60 年冬季气温变化趋势及突变分析[J]. 陕西气象, 2021(4): 33-38.

文章编号: 1006-4354(2021)04-0033-06

# 咸阳市近 60 年冬季气温变化趋势及突变分析

朱瑞杰<sup>1</sup>, 窦辉<sup>2</sup>, 王瑾<sup>1</sup>, 赵翔<sup>3</sup>, 房立顺<sup>1</sup>

(1. 咸阳市气象局, 陕西咸阳 712000; 2. 武功县气象局, 陕西武功 712200;

3. 秦都区气象局, 陕西咸阳 712000)

**摘要:** 利用咸阳市 12 个国家气象观测站 1960—2019 年冬季(12 月至翌年 2 月)平均气温、平均最高气温、平均最低气温等资料, 采用一元线性趋势、累积距平、Mann-Kendall 趋势和检验等分析方法, 对咸阳市近 60 年的冬季气温变化特征进行分析。结果表明: 近 60 年来咸阳市冬季平均气温、平均最高最低气温、极端最高最低气温和年均气温存在明显的上升趋势, 其线性趋势率分别为 0.348、0.371、0.331、0.257、0.297、0.232 °C/10 a; 冬季气温增温趋势与年均气温趋势具有一致性, 线性趋势率大于年气温, 尤其是冬季最低气温的线性趋势率最大; 冬季各月以 2 月线性趋势率最大, 为 0.50 °C/10 a, 表明 2 月气温的升高对冬季变暖贡献较大; 冬季平均、平均最低最高、极端最低最高气温的突变时间分别在 1985、1985、1995、1970 和 2000 年, 冬季气温突变比年气温突变发生早, 以极端最低气温发生突变最早; 冬季以 20 世纪 90 年代中后期为界, 由冷冬为主转为暖冬为主, 咸阳冬季气温与西北地区冬季气温变化趋势具有一致性。空间分布上, 咸阳冬季平均气温呈北低南高分布, 而线性趋势率大致呈北高南低分布, 最大为淳化, 最小为武功, 北部五县比南部七县气温突变发生时间早, 线性增温速率大, 气温变化波动较大。

**关键词:** 咸阳市; Mann-Kendall 检验; 变化趋势; 突变分析

**中图分类号:** P467

**文献标识码:** A

咸阳地处汾渭平原西部, 由东南向西北呈阶梯形, 南部七县区(市)属渭河、泾河平原, 北部五县属黄土高原丘陵沟壑区。冬季寒冷、夏季炎热, 冷暖空气交替频繁, 冰雹、大风、暴雨等多种灾害频发, 成灾比例高, 是气象灾害频发区, 也是气候脆弱区。近年来随着经济社会的发展和人类活动的增加, 极端气候事件频发, 对工农业生产及人类活动造成一定影响。在全球气候变暖的大背景下, 中国气候同样存在着变暖趋势, 其中冬季增温最明显<sup>[1]</sup>, IPCC 第 5 次报告指出, 从多视角进一步证实和支持了关于近百年全球气候变暖毋庸置疑的结论, 1951—2012 年, 全球平均地表温度的升温速率为 0.12 °C/10 a<sup>[2]</sup>, 西北地区冬季气温自 1960 年以来为不断升高, 1980 年以后出现冬季偏暖加剧的趋势<sup>[3]</sup>。陕西确实存在着区域性的

冬暖现象, 且各区出现异常冬暖的年份不尽相同, 陕北北部与陕北南部出现异常冬暖年的次数最多, 其次为关中东部<sup>[4]</sup>。咸阳市区近 50 年气温呈显著升高趋势<sup>[5]</sup>。本文选取 1960—2019 年咸阳地面观测站冬季气温资料, 采用线性趋势、5 年滑动平均、Mann-Kendall 趋势检验等分析方法, 对近 60 年来咸阳冬季平均气温, 最高、最低气温, 极端最高、最低气温变化特征进行分析, 探讨其历史演变趋势及年代变化特征, 为进一步揭示咸阳冬季的气候特征提供科学依据。

## 1 资料与方法

气温资料来自中国气象局气象信息中心, 咸阳地区 12 个国家气象站点的年平均气温、月平均气温, 常年冬季气候值统计时段为 1981—2010 年, 时间序列是 1960—2019 年冬季(12 月至翌年

收稿日期: 2020-09-15

作者简介: 朱瑞杰(1991—), 男, 陕西咸阳人, 学士, 工程师, 从事短期气候预测、气候变化研究、气象服务工作。

2月)。北五县为彬县、旬邑、长武、淳化、永寿,南七县为秦渭区、泾阳、三原、乾县、礼泉、武功、兴平。采用一元线性趋势分析、累积距平分析方法对冬季温度特征进行分析。用 Mann-Kendall (简称 M-K) 方法对气温发生突变年进行判断和检验。暖冬、冷冬等级采用《暖冬等级》(GB/T 21983—2020)、《冷冬等级》(GB/T 33675—2017) 中的单站暖(冷)冬等级划分指标<sup>[6-7]</sup>, 区域范围内暖冬站数与站点总数之比 $\geq 50\%$ , 定义为区域暖冬, 在区域暖冬年, 区域内强暖冬站数与站点总数之比 $\geq 25\%$ , 定义为区域强暖冬, 反之定义为区域弱暖冬。

## 2 结果与分析

### 2.1 冬季平均气温特征

2.1.1 时间变化特征 由图 1 可知, 1960—2019 年咸阳冬季平均气温变化范围为  $-3.51 \sim 1.76^\circ\text{C}$ , 年平均气温变化范围为  $10.75 \sim 13.39^\circ\text{C}$ , 均呈现出波动上升的趋势, 但冬季平均气温变化的波动明显大于年平均气温。通过线性拟合, 近 60 年咸阳冬季平均气温、年均气温的线性趋势率分别为  $0.348$ 、 $0.232^\circ\text{C}/10\text{a}$ , 拟合方程均通过  $\alpha=0.05$  的显著性检验。陕西省冬季平均气温、年均气温呈现出显著上升的趋势, 其线性趋势率分别为  $0.328$ 、 $0.203^\circ\text{C}/10\text{a}$ <sup>[8]</sup>。由此可见, 咸阳冬季平均气温的变化趋势与全省的变化趋势相似, 增温幅度高于全省。

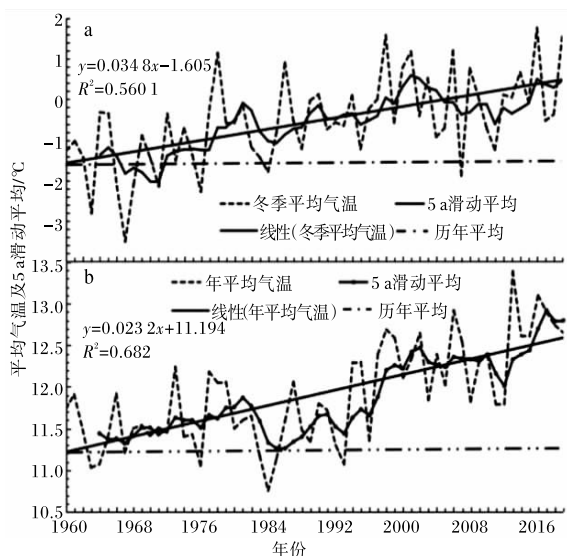


图 1 1960—2019 年咸阳市冬季平均气温变化(a) 及年平均气温变化(b)

2.1.2 空间变化特征 1960—2019 年咸阳冬季平均气温呈北低南高分布(图 2), 各县冬季平均气温变化范围在  $-3.29 \sim 1.07^\circ\text{C}$  之间, 北部五县均为负值, 旬邑、长武最低, 在  $-3^\circ\text{C}$  以下, 南七县均为正值, 武功、兴平最高, 在  $1^\circ\text{C}$  以上。冬季平均气温的线性趋势率大致呈北高南低分布, 淳化最大为  $0.481^\circ\text{C}/10\text{a}$ , 武功最小为  $0.261^\circ\text{C}/10\text{a}$ 。从咸阳北五县和南七县两个地理单元冬季气温变化来看, 北部五县气温经过了下降 $\rightarrow$ 上升 $\rightarrow$ 下降 $\rightarrow$ 上升的过程, 气温的线性趋势率为  $0.375^\circ\text{C}/10\text{a}$ , 1980 年发生了突变, 南部七县气温经过了

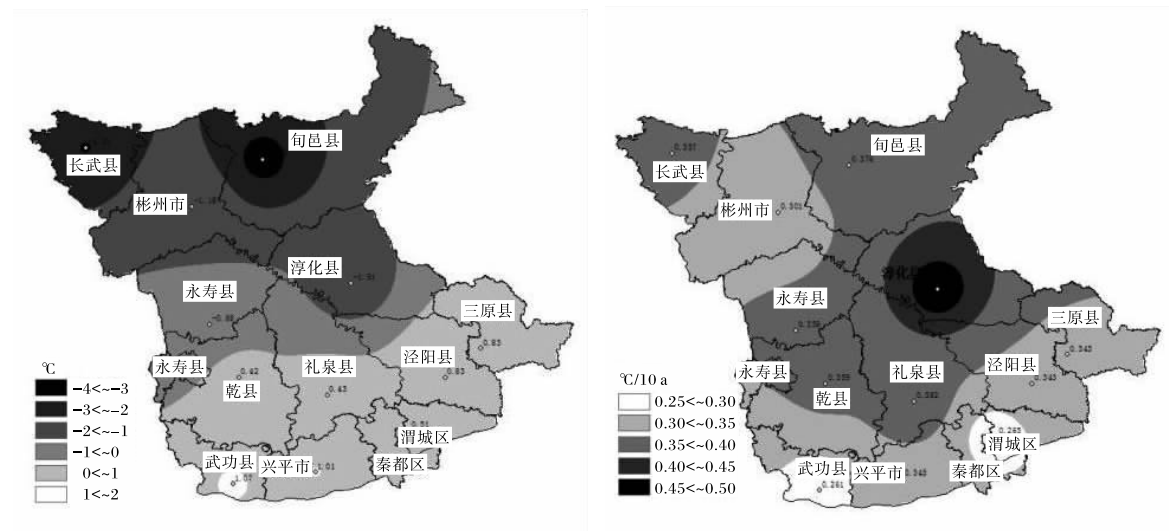


图 2 1960—2019 年咸阳市各县冬季平均气温(a)及其线性趋势率(b)

下降→上升的过程,气温的线性趋势率为  $0.326^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,1989 年发生了突变。由此可见,咸阳北部五县比南部七县气温突变发生时间早,线性趋势率也大,气温变化波动大。

## 2.2 冬季平均最低、最高气温特征

由图 3 可知,冬季平均最低气温变化范围在  $-8.33\sim-2.78^{\circ}\text{C}$  之间,最小出现在 1967 年,最大出现在 2016 年。冬季平均最高气温变化范围在  $2.02\sim8.75^{\circ}\text{C}$  之间,最小出现在 1963 年,最大值出现在 1998 年。冬季平均最低、最高气温线性趋势率分别为  $0.371$ 、 $0.331^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,拟合方程均通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验。可见,冬季平均最低气温的线性趋势率大于平均最高气温,这与宋爱红等<sup>[9]</sup>冬季平均最低气温显著升高对冬季气温的升高以及暖冬年的出现贡献最大,与孔祥伟等<sup>[10]</sup>最低气温变化速率大于最高气温,冬季增温在最低气温上表现更明显的研究结果具有一致性。

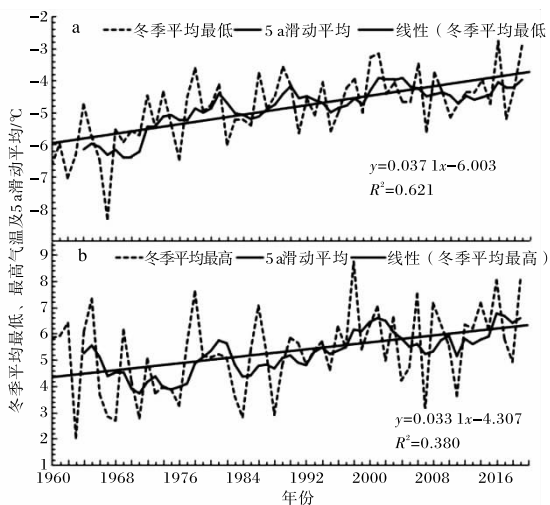


图 3 1960—2019 年咸阳市冬季平均最低(a)、最高气温变化(b)

## 2.3 冬季极端最低、最高气温特征

由图 4 可知,冬季极端最低气温变化范围为  $-15.1\sim-8.3^{\circ}\text{C}$ ,1976 年最低,2000 年最高。极端最高气温变化范围为  $16.2\sim9.1^{\circ}\text{C}$ ,1963 年和 2011 年最低,1977 年最高。极端最低、最高气温线性趋势率分别为  $0.257^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  和  $0.297^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,拟合方程均通过了  $\alpha=0.05$  的显著性检验。

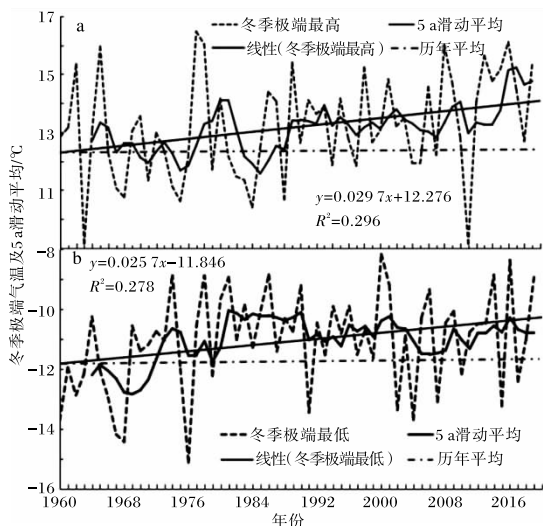


图 4 1960—2019 年咸阳市冬季极端最低(a)、极端最高气温的年际变化(b)

可见,极端最低、最高气温均呈上升趋势,其线性趋势率与平均气温基本相当,而小于平均最低、最高气温。

## 2.4 M-K 突变性检验

利用 M-K 方法对咸阳市 1960—2019 年冬季平均气温、平均最低最高气温、极端最低最高气温进行突变分析。由图 5a 可知,咸阳市冬季平均气温有明显的增暖趋势,冬季平均气温从 1989 年之后,冬季平均最低气温(图 5b)从 1986 年之后、冬季平均最高气温(图 5c)从 2013 年之后超过了  $0.05$  显著性水平临界值,且冬季平均气温、平均最低气温、平均最高气温分别在 1994、1987、2016 年超过  $0.01$  显著性水平临界值,而极端最低、最高气温未超过  $0.01$  显著性水平临界值。从图 5 中  $U_F$  曲线与  $U_B$  曲线在置信区间内的交点可得出,冬季平均气温、平均最低气温、平均最高气温发生突变的时间分别在 1985、1985、1995 年,极端最低(图 5d)、最高气温(图 5e)突变发生的时间分别为 1970、2006 年。以上分析表明,咸阳冬季气温的突变特点为冬季平均最低气温与冬季平均气温的突变时间基本一致,而冬季平均最高气温的突变时间比冬季平均气温的突变时间偏晚约  $10\text{ a}$ ,并且  $U_F$  值通过置信区间( $\alpha<0.01$ )的时间明显偏晚,数值偏小。咸阳冬季气温与西北地区冬季气温变化趋势具有一致性<sup>[9-12]</sup>,冬季平均最

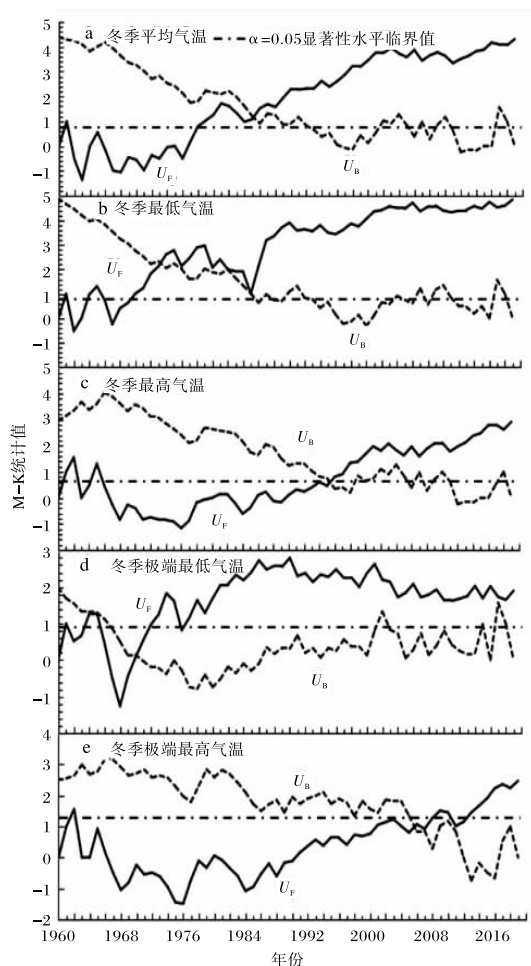


图5 1960—2019年咸阳市冬季平均气温(a)、平均最低气温(b)、平均最高气温(c)、极端最低气温(d)、极端最高气温(e)的M-K突变检验

低气温与冬季气温的变化关系密切,对冬季气温的升高以及暖冬年的出现贡献较大。

## 2.5 累积气温距平分析

累积距平分析结果(图6)显示,1960—2019年冬季平均气温、平均最低气温、平均最高气温累积距平曲线均大致呈“V”字型,说明咸阳冬季气温经历了从下降到上升的过程,冬季平均和冬季平均最低气温在1985年累积距平达到最低点,而冬季平均最高气温累积距平曲线变化波动较大,1976—1978年、1985—1987年两个时段出现下降→上升→下降→上升的过程,1995年之后,上升趋势一直在持续。累积距平分析的突变年与M-K突变检验结果基本一致。极端最低气温在1976年达到最低 $-17.2^{\circ}\text{C}$ ,之后稳定上升;极端

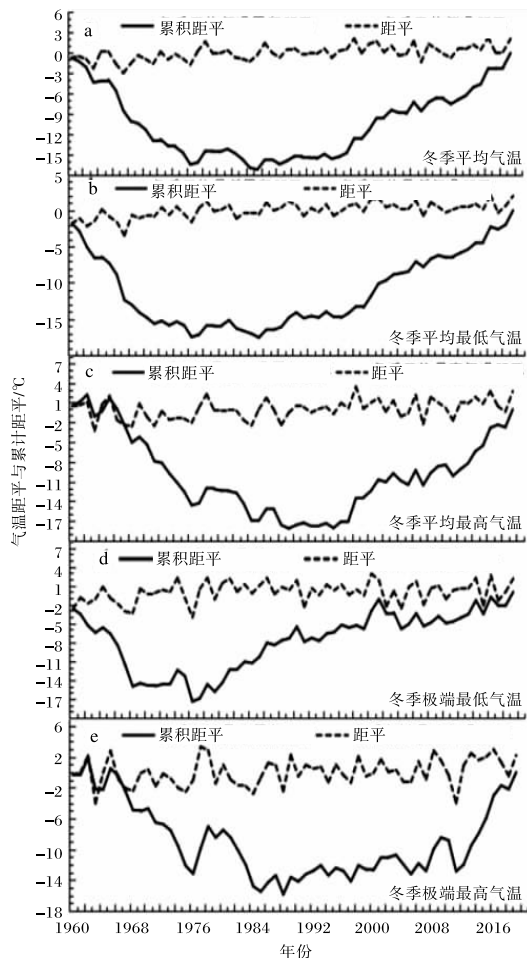


图6 1960—2019年咸阳市冬季平均气温(a)、平均最低气温(b)、平均最高气温(c)、极端最低气温(d)、极端最高气温(e)的距平和累积距平

最高气温在1988年达到最低 $-15.9^{\circ}\text{C}$ ,1988—2011年上升缓慢,波动性大,2011年后稳定上升。

## 2.6 冬季各月气温变化特征

咸阳冬季各月(12月、1月、2月)平均气温常年值分别为 $-0.63$ 、 $-2.07$ 、 $-1.09^{\circ}\text{C}$ ,即1月气温最低。各月平均气温均呈增温趋势,线性趋势率分别为 $0.29$ 、 $0.23$ 、 $0.50^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,均通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验,说明2月增温最明显,12月次之,1月最小。各月突变时间分别为1986、1977、1990年,1月气温发生突变时间较早(图略)。统计各月平均气温距平值,发现各月距平累计值均呈先下降后上升的变化趋势,最低值分别为 $-15.85$ (1985年)、 $-12.4$ (1976年)、 $-27.19$ (1989年),即12月、2月最低值均出现在20世纪

80 年代中后期,与冬季平均气温累计距平最低值出现年份相近,表明 1 月增温较早,12 月、2 月增温较晚。各月通过 0.05 显著性水平临界线的时间分别为 1997、2000、1999 年,与发生突变时间分别相隔 11、23、9 a。1 月气温发生突变的时间较早,但气温变化波动较大,升温速率小;因此,在分析冬季气温变化时应特别引起注意。

### 2.7 冷冬年、暖冬年的变化。

通过对 1960—2019 年咸阳市冬季气温求标

准差(常年冬季气候值统计时段为 1981—2010 年,为咸阳市冬季气温平均值。),得出  $\delta=0.907\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $0.43\delta$ 、 $1.29\delta$  分别为  $0.39$ 、 $1.17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对咸阳市 1960—2019 年进行冷暖冬划分(如表 1),发现咸阳市冷冬年、暖冬年以 20 世纪 90 年代为界,之前冷冬年偏多,之后暖冬年偏多,冷冬年与暖冬年比为 19:19。

20 世纪 70 至 80 年代共出现 3 次暖冬年,1976 年之前未出现过暖冬年。90 年代开始暖冬

表 1 咸阳市 1960—2019 年各年代冷暖冬年出现次数

单位:a

| 年代        | 强暖冬 | 弱暖冬 | 正常 | 弱冷冬 | 强冷冬 | 正距平 |
|-----------|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| 1960—1969 | 0   | 0   | 3  | 4   | 3   | 2   |
| 1970—1979 | 1   | 0   | 4  | 2   | 3   | 3   |
| 1980—1989 | 1   | 1   | 4  | 3   | 2   | 4   |
| 1990—1999 | 1   | 3   | 5  | 1   | 0   | 5   |
| 2000—2009 | 4   | 2   | 3  | 0   | 0   | 6   |
| 2010—2019 | 3   | 3   | 3  | 1   | 0   | 8   |
| 合计        | 10  | 9   | 22 | 11  | 8   |     |

年明显增加,共出现 16 次暖冬,其中 8 次强暖冬,8 次弱暖冬;而冷冬年变化趋势与暖冬相反,冷冬年明显减少,1990 年之后只出现 2 次。最强暖冬年为 1998、2016、2019 年; $\Delta T>2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最强冷冬年为 1963、1967 年, $\Delta T<-2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。总之,咸阳近 30 年来暖冬年逐渐增加,冷冬年逐渐减少,且 1986 年以来未出现强冷冬年,强暖冬年开始出现并趋多。

### 3 结论

(1)1960—2019 年,咸阳市冬季平均气温、平均最低气温、平均最高气温呈显著上升趋势,其线性趋势率分别为  $0.348$ 、 $0.371$ 、 $0.331\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,高于咸阳市年平均气温的线性趋势率  $0.232\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,且高于陕西省冬季平均气温线性趋势率  $0.328\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。极端最低、最高气温的线性趋势率分别为  $0.257$ 、 $0.297\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,其线性趋势率与平均气温基本相当,而小于平均最低、最高气温。平均最低气温的线性趋势率最大,最低气温升高对冬季气候变暖贡献较大。

(2)1960—2019 年,咸阳冬季平均气温呈北低南高分布,而线性趋势率大致呈北高南低分布,线性趋势率淳化最大为  $0.481\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,武功最小为  $0.261\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。北部五县气温经过了从下降→上升→下降→上升的过程,南部七县气温经过了从下降→上升的过程;北部五县气温突变时间发生在 1980 年,南部七县气温突变时间发生在 1989 年。咸阳北部五县比南部七县气温突变发生时间早,线性趋势率也大,气温变化波动大。

(3)利用 M-K 突变检验法检验冬季平均气温、平均最低气温、平均最高气温,其突变时间分别在 1985、1985 和 1995 年,冬季平均气温与平均最低气温发生突变的时间一致,而平均最高气温发生突变的时间滞后近 10 年,极端最低、最高气温突变发生的时间分别为 1970 年和 2006 年,极端最低气温发生突变时间最早。咸阳冬季气温与西北地区冬季气温变化趋势具有一致性。

(4)冬季 12、1、2 月气温发生突变时间分别为 1986、1977、1990 年,其线性趋势率分别为  $0.292$ 、

0.232、0.50 °C/10 a;1月气温突变时间早,但线性趋势率小,2月线性趋势率最大,表明2月气温的升高对冬季变暖贡献较大。

(5)1960—2019年,暖冬年与冷冬年出现的频次比为19:19,其具有明显的阶段性变化,以20世纪90年代为界,之前以冷冬年为主,之后以暖冬年为主,呈现由冷冬年为主转暖冬年为主的变化。

#### 参考文献:

- [1] 林听,邱洪华.福建省暖冬气候特征分析[J].亚热带资源与环境学报,2014,9(2):32-38.
- [2] 秦大河,STOCKER T,259名作者和TSU(驻尼泊尔和北京).IPCC第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J].气候变化研究进展,2014,10(1):1-6.
- [3] 李耀辉.西北地区冬季气温异常特征分析[J].干旱气象,2003,21(4):13-17.
- [4] 王越,孙娴,姜创业,等.陕西省近46年异常冬暖的初步分析[J].陕西气象,2007(6):38-41.
- [5] 李兴涛,韩莹,田亮,等.咸阳市区近50年气候变化特征分析[J].陕西气象,2016(6):13-17.
- [6] 中华人民共和国国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.暖冬等级:GB/T 21983—2020[S].
- [7] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.冷冬等级:GB/T 33675—2017[S].
- [8] 易浪,任志远,崔宇,等.陕西省1961年—2011年气温和降水变化趋势及突变分析[J].华中师范大学学报(自然科学版)2014,48(4):592-600.
- [9] 宋爱红,王月兰.潍坊市暖冬气候分析[J].山东气象,2005,25(3):8-11.
- [10] 孔祥伟,陶健红.兰州近50a冬季气温变化及其可能原因分析[J].气象科学,2013,36(6):664-670.
- [11] 李栋梁,彭素琴,姚辉.我国西北地区冬季平均气温的气候特征[J].大气科学,1995,19(2):193-199.
- [12] 郭江勇,陈少勇,高蓉,等.气温变暖对西北西风带冬季气温的影响分析[J].中国沙漠,2012,30(1):175-181.