

1951—2010 年汉中市气温变化特征分析

王志杰^{1,2}, 苏 媛³

(1. 贵州大学 生命科学学院, 贵阳 550025; 2. 陕西理工学院 历史文化与旅游学院
秦岭与蜀道地理研究所, 陕西 汉中 723000; 3. 陕西理工学院 文学院, 陕西 汉中 723000)

摘 要: 气温变化特征是全球气候变化研究中的一个至关重要的问题。我国地域辽阔, 受地形及季风影响, 各地区气温变化及各季节气温变化趋势各异。采用 1951—2010 年逐日及年平均气温数据作为基础资料, 运用气候倾向率、滑动平均法、M-K 趋势检验和突变分析方法对汉中市年均气温和各季节气温的变化特征进行分析。结果表明: (1) 汉中市近 60 年来年平均气温呈上升趋势, 气温倾向率为 $0.18^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 并经历冷暖两个时期, 20 世纪 90 年代中期之前为偏冷期, 之后为偏暖期; (2) 年平均气温的年代际变化表现出“平缓上升—下降—显著上升”的趋势, 且存在明显的突变点, 突变时间为 1999 年, 突变后年平均气温比突变前高 0.9°C ; (3) 汉中市四季平均气温在 20 世纪 90 年代开始明显增温, 且高于各季节平均气温。冬春两季增温明显, 秋季次之, 夏季最小, 但增温速率均小于全国同期水平; (4) 冬春两季平均气温在近 60 年间存在明显的突变点, 突变时间分别为 1999 年和 1997 年, 但夏秋两季没有出现明显的突变。

关键词: 气温; 趋势分析; 突变分析; 汉中市

中图分类号: P423.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)01-0169-06

Characteristics of Air Temperature in Hanzhong City from 1951 to 2010

WANG Zhijie^{1, 2}, SU Yuan³

(1. College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Qinling and Intones
Geography Research Institute, School of History and Tourism, Shaanxi University of Technology, Hanzhong,
Shaanxi 723000, China; 3. School of Literature, Shaanxi University of Technology, Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

Abstract: Air temperature change is one of important issues in the research of global climate change. The trend of annual and seasonal air temperature in different regions of China is various due to the influence of terrain and monsoon. Using the daily and annual average temperature from 1951 to 2010 as the basic data with the climate trend rate, the moving average method, and the M-K trend test and mutation analysis method, we analyzed the characteristics of the annual and seasons air temperature in Hanzhong City. The results showed that: (1) the average annual air temperature of Hanzhong City in nearly 60 years had the increasing trend, and the temperature tendency rate was $0.18^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, it experienced two periods: the cold stage before the mid-1990s is and warm stage after mid-1990s; (2) the decadal variability of annual average temperature displayed the ‘gently increasing-decreasing-significantly increasing’ trend, the temperature had the obvious mutation with the mutation time in 1999, the annual average temperature after mutation was 0.9°C higher than that before mutation; (3) the average air temperature of the four seasons was obvious increasing since the 1990s, and the air temperature after 1990s was higher than the average temperatures of all seasons. The increasing rate of air temperature was greater in spring and winter than in autumn, and then in summer, however, it was less than the same period level in China; (4) the average air temperature of winter and spring in nearly 60 years had the obvious mutation with the mutation times in 1999 and 1997, respectively, however, it was not obvious mutation in summer and autumn.

Keywords: air temperature; trend analysis; mutation analysis; Hanzhong City

全球气候变化或气候变化, 因其高度的政治、经济、环境意义和科学上的不确定性, 引起社会各界特别

是学术界相关领域学者的广泛关注。由于近 100 年来, 地球表面温度显著上升, 全球气候变暖以及由此引

起的地球气候系统其他圈层要素的明显变化,促使气候变化成为科学研究的热点^[1]。同时,判断当前全球温度变化的总趋势,也成为研究气候变化一个至关重要的问题^[2]。IPCC 第 4 次全球气候评估报告指出,近百年来,全球表面平均气温升高了 0.74℃,并预测 21 世纪末,全球地表平均增温 1.1~6.4℃^[3-5]。但从区域和季节上看,气温的上升速率具有明显的差异^[6]。我国由于地域辽阔,受地形及季风影响,各地区气温变化及各季节气温变化趋势各异^[7]。研究发现:1951—2004 年,在全国范围内的年平均地面气温,除四川盆地和云贵高原北部有较小的下降趋势外,其他地区一般呈上升趋势^[8-9]。张晶晶等^[2]的研究也发现:1951—2000 年,我国大陆 35°N 以北地区,年平均气温变暖趋势显著大于 35°N 以南,35°N 以北地区冬季的变暖速率显著大于夏季和年平均气温的升温速率。不同地区和季节的气温变化差异对于农业生产、气候资源的开发利用以及生态环境等均会产生不同的影响。因此,在全球气候变暖^[10-11]的大背景下,研究某一地区气温变化的特征与趋势,对于了解该地区气候变化特征,进行气候因子变化的讨论,做好短期气候和气候灾害预测,合理开发利用气候资源,改善农业生产环境等方面具有重要意义^[12-14]。

汉中市地处陕西西南部,北依秦岭,南屏巴山,属暖温带和亚热带气候的过渡带,四季分明,温暖湿润^[15]。汉中盆地是陕西省水稻和油菜的主产区,素有陕南“粮仓”之称。气候变化引起的气温、日照和降雨等因素的变化,将对农作物的生长产生影响。同时,汉中属于我国国家级重点生态功能区,也是南水北调中线水源涵养区,因此,研究该区气候变化特征,可对该区城市规划、生态环境建设与保护、农业生产以及气象灾害的防灾减灾等提供重要的参考依据。已有学者对汉中市的气温、日照和降雨等气候变化特征进行过研究,但已有研究大都集中在年均气温、降水和日照特征以及旱涝灾害等极端气象灾害的分析方面^[16-18],而对于汉中市年均气温和各季节气温的变化特征未有深入的分析。基于此,本文以汉中市为研究对象,采用 1951—2010 年近 60 年逐日气温作为基础资料,运用气候倾向率、滑动平均法、M-K 趋势检验和突变分析等方法对汉中市年均气温和各季节气温的变化特征进行分析,以期探明近 60 年来汉中市气温的年变化和季节变化规律与趋势。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

汉中市(33°02′—33°22′N, 106°51′—107°10′E)位于陕西省西南部,地处秦巴山区西段,北靠秦岭、南倚米仓山(即大巴山西段),中为汉江上游谷地平坝(即汉

中盆地)。全市辖汉台区、南郑、城固、洋县、西乡、勉县、宁强、略阳、镇巴、留坝、佛坪 11 个县区,土地面积约 2.7 万 km²。地势南北高,中间低,形成了“两山夹一川”的地貌骨架。气候类型属内陆东亚季风气候,由于盆地地形影响,自汉江谷地到秦岭山地,气候垂直差异明显。随着海拔高度的不同,分为 3 种不同的气候类型:海拔 800 m 以下的北亚热带气候、海拔 800~1 250 m 的暖温带湿润气候、海拔 1 250 m 以上的中温带湿润气候。多年平均气温 14.3℃,年最高平均气温 19.2℃,年极端最高气温 38℃(1953 年 8 月 18 日);年平均最低温度 10.6℃,年极端最低气温 -10.1℃(1957 年 1 月 14 日)。多年平均降水量为 700~1 700 mm,年平均风速为 1~2.5 m/s^[19]。

1.2 数据来源

本文利用中国气象科学数据共享服务网提供的汉中市 1951—2010 年逐日气温作为基础资料,因 1968 年 5—8 月气象数据缺测,为保证数据序列的一致性和完整性,在研究中不包括 1968 年气温资料,运用 1951—2010 年(除 1968 年外)的 59 a 数据进行气温变化特征分析。季节的划分按:春季为 3—5 月,夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月,冬季为 12—次年 2 月。

1.3 分析方法

采用气候倾向率、滑动平均法、M-K 趋势检验和突变分析方法^[20]进行汉中市年均气温和各季节气温的变化特征分析。

(1) 气候倾向率。用 x_i 表示样本量为 n 的某一气候变量,用 t_i 表示 x_i 所对应的时间,建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归:

$$x_i = a + bt_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, n) \quad (1)$$

式中: a ——回归常数; b ——回归系数。 a 和 b 用最小二乘法进行估计。回归系数 b 表示气候变量 x 的趋势倾向,当 $b > 0$ 时,说明随时间 t 的增加, x 呈上升趋势;当 $b < 0$ 时,说明随时间 t 的增加, x 呈下降趋势。 b 值的大小反映了上升或下降的速率, $b \times 10$ 即为气候倾向率,单位为 °C/10 a。

(2) 滑动平均法。滑动平均法是一种平滑和滤波的数据处理方法,通过平均方式,消除统计序列中的随机波动,用平均值来显示时间序列的变化趋势,数学表达式如下:

$$\hat{y}_t = \frac{1}{2k+1} \sum_{i=t-k}^t x_{t+1} \quad (2)$$

式中: \hat{y}_t —— t 点滑动平均值; x_{t+1} ——时间序列; k ——单侧滑动时距(点数)。本文采用 10 年趋势滑动平均来显示气温变化趋势。

(3) M-K 趋势检验与突变分析。Mann-Kendall 法(M-K 法)是一种非参数统计检验方法,可以明确

突变开始的时间,是一种常用的突变检测方法。计算方法如下:

对于具有 n 个样本的时间序列 x ,构造一个秩序列:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k=1,2,3,\cdots,n) \tag{3}$$

其中:当 $x_i > x_j$ 时, $r_i = 1$, 否则, $r_i = 0, j=1,2,3,\cdots, i$ 。在时间序列随机独立的假定下,定义统计量:

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{\text{var}(S_k)}} \quad (k=1,2,3,\cdots,n) \tag{4}$$

式中: $UF_1 = 0; E(S_k), \text{var}(S_k)$ ——累计数 S_k 的均值和方差; UF_i 为标准正态分布,是按时间序列 x 顺序 x_1, x_2, \cdots, x_n 计算出的统计量序列,给定显著性水平 α ,若 $|UF_i| > U\alpha$,则表明序列存在明显的趋势变化。

2 结果与分析

2.1 汉中市年均气温变化特征

2.1.1 年均气温的年际变化 从 1951—2010 年汉中市年均气温年际变化趋势可以看出(图 1):近 60 年来汉中市年均气温呈升高趋势,气温倾向率为 $0.18^\circ\text{C}/10\text{ a}$,低于中国近 50 年(1954—2004 年)的增温速率 $0.25^\circ\text{C}/10\text{ a}$ ^[6]。从 10 年滑动平均曲线可以看出,20 世纪 50—70 年代中期气温变化相对平稳,70 年代中期—80 年代中期气温呈明显下降趋势,而在 80 年代中期以后,气温持续上升。90 年代中期以前,10 年滑动平均值长期处于多年平均值以下,在 90 年代中期以后,持续高于多年平均值,且高于平均值的幅度逐渐增大,21 世纪初达到极值。按年平均气温的 10 年滑动平均值小于多年平均气温为偏冷期,反之为偏暖期来划分,汉中市年平均气温经历了冷暖两个时期,以 20 世纪 90 年代中期为界,前期为偏冷期,后期为偏暖期。其中,最低年均气温出现在 1976 年,为 13.64°C ,最高年均气温出现在 2006 年,为 15.74°C 。

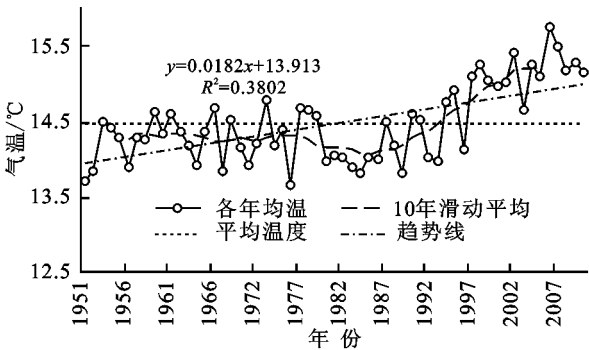


图 1 1951—2010 年汉中市年平均气温年际变化趋势

2.1.2 年均气温的年代际变化 汉中市年平均气温表现出明显的年代际变化特征(图 2),从 20 世纪 50 年代—21 世纪初,年平均气温每 10 年变化分别为 $0.11, 0.01, -0.29, 0.60, 0.57^\circ\text{C}$ 。20 世纪 50—70

年代的 30 年间,年均气温略有升高,但整体相对平稳,80 年代年均气温处于最低值,为 14.02°C ,而在 80 年代以后,年均气温持续上升。年均气温的年代际变化特征表现出“平缓上升—下降—显著上升”的趋势,80 年代为低温期。

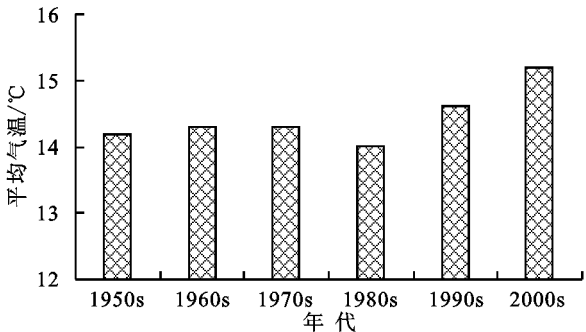


图 2 汉中市不同年代年均气温变化趋势

2.1.3 年均气温的突变分析 运用 M-K 法检验汉中市年平均气温的突变趋势,分析结果可以看出(图 3):20 世纪 50—80 年代的 30 余年间,汉中市年均气温呈波动性变化,并没有表现出明显的增加或减小趋势;20 世纪 80—90 年代,汉中市年均气温呈明显下降趋势,1989 年达到最低值,平均气温为 13.81°C ,之后,从 20 世纪 90 年代开始,年均气温开始持续回升,特别是 21 世纪以来,年均气温上升趋势达到显著水平($\alpha = 0.05$),UF 曲线值明显超过临界值(显著性水平 $\alpha = 0.05$ 时的显著性临界值 $\mu_\alpha = 1.96$)。根据 UF 和 UB 两条曲线在临界值之间的交点位置,可以确定年均气温的突变时间从 1999 年开始。突变前年平均气温 14.28°C ,突变后的年平均气温为 15.18°C ,较突变前上升了 0.9°C 。这与刘阳等^[15]对 1960—2009 年汉中市年平均气温突变监测发现的汉中市年均气温在 1997 年发生突变的研究结果略有不同,这可能与气温数据时间序列有关,但总体规律基本一致,即在 20 世纪 90 年代后期,汉中市年平均气温发生突变,并持续增温暖。

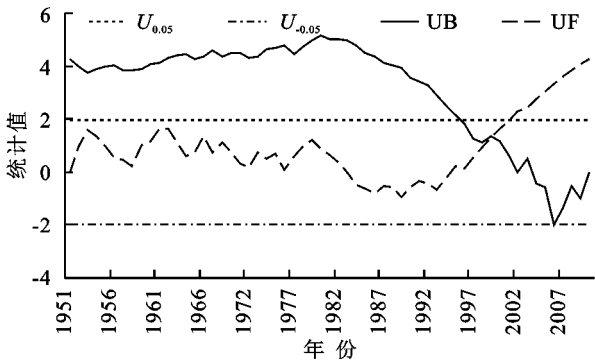


图 3 1951—2010 年汉中市年平均气温突变分析

2.2 汉中市各季节气温变化特征

2.2.1 各季气温的年代际变化 由图 4 可知,春季气温的年代际变化在 20 世纪 90 年代之前基本平稳,而在 20 世纪 90 年代略有增加,较之 20 世纪 80 年代

增加约 0.3°C ，之后春季气温持续增加，21 世纪汉中春季气温增至 16.10°C ，较 20 世纪 90 年代增加 1.4°C (图 4A)。夏季气温的年代际变化呈现震荡趋势，20 世纪 50—70 年代，夏季气温的年代际均值先增后减，但变化幅度不大，在 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 左右，20 世纪 80 年代出现低值，约为 23.94°C ，之后夏季气温的年代

际均值呈持续上升趋势，至 21 世纪达到 25.18°C (图 4B)。秋季气温在 20 世纪 90 年代之前基本平稳，之后持续增温 (图 4C)。冬季气温的年代际变化与春秋两季相似，即 20 世纪 90 年代之后开始持续增温 (图 4D)。总体上，汉中市四季气温的年代际变化均表现出自 20 世纪 90 年代开始持续增加的趋势。

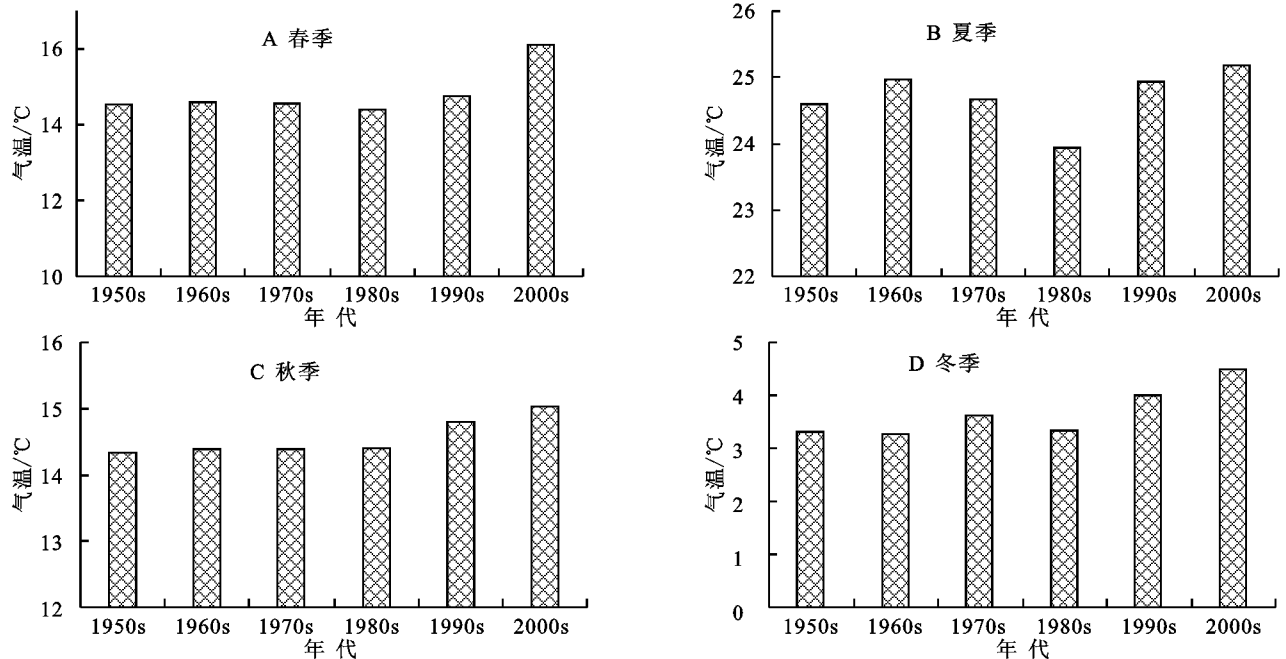


图 4 1951—2010 年汉中市各季节平均气温的年代际变化

2.2.2 各季节气温的年际变化 汉中市春季气温整体上呈上升趋势 (图 5A)，气温倾向率为 $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。从 10 年滑动平均曲线可以看出，20 世纪 90 年代以前，汉中市春季气温相对平稳，起伏不大，但整体上均低于春季平均气温 (14.83°C)，属于偏冷期，而在 90 年代以后，春季气温开始陡增，且持续增温，至 20 世纪 90 年代中期 (1995 年前后)，汉中市春季气温连续高于春季平均气温，进入偏暖期。

夏季气温总体上呈现出“V”型变化特征 (图 5B)，气温倾向率为 $0.07^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ，是四季中升温幅度最小的季节，对年气温变化的影响最小。10 年滑动平均曲线显示，20 世纪 70 年代之前气温偏暖，70—90 年代中期偏冷，且在 70—80 年代中期的 10 余年间，汉中市夏季气温表现出明显的下降趋势，并于 1983 年达到最低值，为 22.92°C ，之后夏季气温急剧变暖，到 90 年代中期开始夏季气温高于夏季平均气温，进入偏暖期，且气温有持续增长趋势，进入 21 世纪，夏季气温的增长趋势减慢，震荡波动明显。近 60 年间，汉中市 2006 年夏季气温最高，为 26.54°C 。

秋季气温呈波动上升趋势 (图 5C)，气温倾向率为 $0.16^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。10 年滑动平均曲线显示，在 20 世纪 50—70 年代，秋季气温呈波动性下降趋势，但降温

趋势不明显，而在 70 年代之后，气温呈明显的震荡升高，年际间气温差异较大，最高气温出现在 1998 年，为 16.31°C ，最低气温出现在 1981 年、1992 年，分别为 13.37°C 和 13.35°C ，最高气温和最低气温相差近 3°C 。与春夏两季相似，秋季气温在 20 世纪 90 年代之后，滑动平均值高于平均气温，进入偏暖期，之前为偏冷期。

冬季气温变化趋势与年均气温的年际变化趋势相似，也呈波动上升趋势 (图 5D)，气温倾向率为 $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。10 年滑动平均曲线显示，冬季气温变化大致分为两个阶段：21 世纪 90 年代之前为偏冷期，之后则进入偏暖期，且年际间气温震荡变化明显，最低气温出现在 1967 年，为 2.05°C ，最高气温出现在 2007 年，为 5.31°C ，最高气温与最低气温相差约 3.5°C 。

总体上，汉中市近 60 年来春夏秋冬 4 个季节的气温均呈上升趋势，且冬春两季增温明显，变化速率均为 $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ，秋季次之，夏季最小。这与我国近 50 年来 (1951—2004 年) 四季平均气温的上升趋势一致，但增温速率均小于全国的平均水平^[8]。另外，从 20 世纪 90 年代开始，汉中市四季的气温均有明显的增温趋势，且高于各季节平均气温，为偏暖期。

2.2.3 各季气温的突变分析 M-K 突变分析结果

表明(图 6),汉中市春季气温整体呈上升趋势,且自 21 世纪初开始上升趋势明显,UF 曲线超过临界值,由 UF 与 UB 两条曲线在临界值的交点位置,可以确定春季气温的突变从 1999 年开始,突变前春季平均气温 14.56℃,突变后为 15.92℃,较突变前上升 1.36℃。夏季气温从 20 世纪 90 年代开始呈上升趋势,但 UF 曲线未超过临界值,说明夏季气温增温趋势不显著,且没有明显的突变点。1951—2010 年秋

季气温呈波动上升趋势,并在 21 世纪初呈显著上升趋势,且 UF 曲线超过临界值,但突变点不明显,也说明秋季气温未发生明显的突变。冬季气温在 20 世纪 70 年代之前震荡变化明显,气温忽高忽低,而在 70—90 年代,气温波动趋势趋于平缓,整体略有上升,90 年代之后冬季气温开始显著上升,UF 曲线明显超过临界值,突变时间在 1997 年,突变前冬季平均气温为 3.44℃,突变后为 4.56℃,较突变前上升 1.02℃。

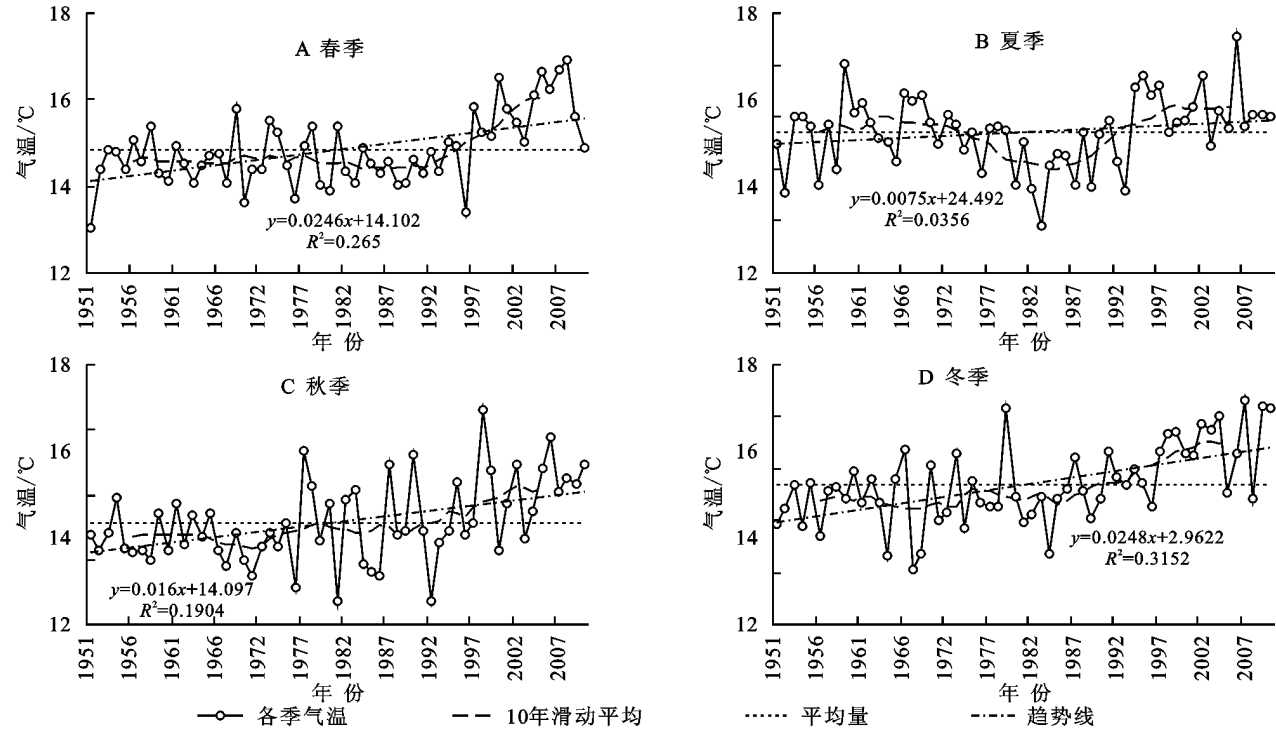


图 5 1951—2010 年汉中市各季节平均气温的年际变化趋势

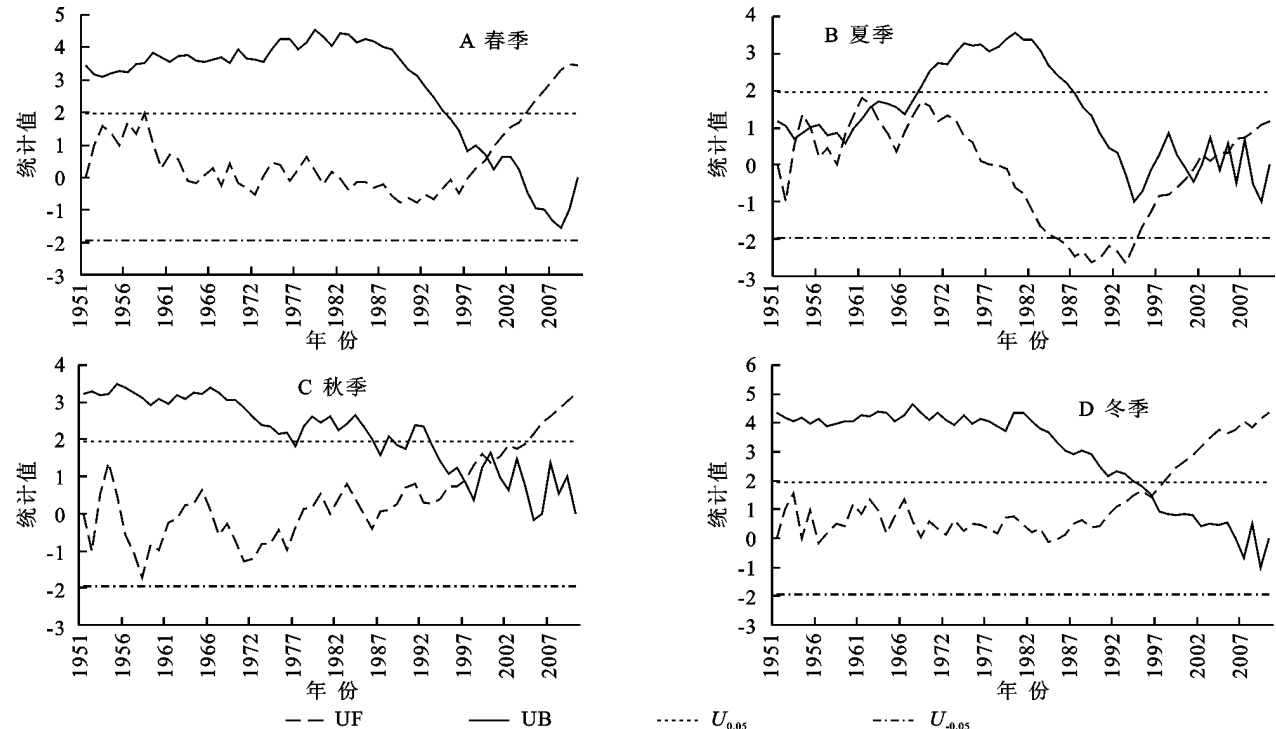


图 6 1951—2010 年汉中市各季节气温突变特征

3 结论

(1) 汉中市近 60 年来年平均气温呈上升趋势, 气温倾向率为 $0.18^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 但增温速率明显低于全国同期平均水平。年平均气温在近 60 年间经历冷暖两个时期, 分界点为 20 世纪 90 年代中期, 之前为偏冷期, 之后为偏暖期。年均最低气温出现在 1976 年, 为 13.64°C , 最高气温出现在 2006 年, 为 25.74°C 。

(2) 近 60 年来, 汉中市年平均气温的年代际变化特征表现出“平缓上升—下降—显著上升”的趋势, 20 世纪 80 年代为低温期, 20 世纪 90 年代和 21 世纪的头十年增温明显, 增温速率分别达到 $0.60^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $0.57^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 明显高于全国同期平均水平。另外, 近 60 年间, 汉中市年均气温存在明显的突变点, 突变时间为 1999 年, 突变后年均气温比突变前高 0.9°C 。

(3) 汉中市四季平均气温在近 60 年间均表现出自 20 世纪 90 年代开始明显增温的趋势, 且高于各季节平均气温, 为偏暖期, 但各季节气温变化存在明显的差异, 表现为: 冬春两季增温明显, 气温倾向率均为 $0.24^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 秋季次之, 夏季最小, 但增温速率均小于全国同期平均水平。另外, 冬春两季平均气温在近 60 a 间存在明显的突变点, 突变时间分别为 1999 年和 1997 年, 而夏秋两季没有出现明显的突变点。

参考文献:

- [1] 任国玉, 任玉玉, 李庆祥, 等. 全球陆地表面气温变化研究现状、问题和展望[J]. 地球科学进展, 2014, 29(8): 934-946.
- [2] 张晶晶, 陈爽, 赵昕奕. 近 50 年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变化的联系[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(4): 1-6.
- [3] 居焯, 李玉娥, 许吟隆, 等. 气候变化适应行动实施框架[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(6): 55-58.
- [4] 姜创业, 魏娜, 程肖侠, 等. 1961—2008 年陕西省年际气温和降水区域性变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 197-200.
- [5] 操信春, 吴普特, 郝仕龙, 等. 西北内陆县域气候变化及其对河川径流的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 26-29.
- [6] 韩翠华, 郝志新, 郑景云. 1951—2010 年中国气温变化分区及其区域特征[J]. 地理科学进展, 2013, 32(6): 887-896.
- [7] Luo Yunfeng, Zhou Xiuji, Li Weiliang. A numerical study of the atmospheric aerosol climate forcing in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1999, 23(1): 1-12.
- [8] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 948-952.
- [9] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-716.
- [10] Parker D E, Jones P D, Bevan A, et al. Inter decadal changes of surface temperatures since the 19th century [J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 9(9): 14373-14399.
- [11] Jones P D. Hemispheric surface air temperature variations: A reanalysis and an update to 1993[J]. Journal of Climatology, 1994, 7(11): 1794-1802.
- [12] 张卉, 郭慕萍, 赵双巧, 等. 1960—2008 年山西省气温变化特征[J]. 气象与环境学报, 2012, 27(2): 16-21.
- [13] 丁斌, 顾显跃, 缪启龙. 长江流域近 50 年来的气温变化特征[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(4): 531-536.
- [14] 王翠花, 李雄, 缪启龙. 中国近 50 a 来日最低气温变化特征研究[J]. 地理科学, 2003, 23(4): 441-447.
- [15] 刘阳, 延军平, 杜继稳. 1960—2009 年汉中市气候变化特征及未来趋势[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(3): 45-50.
- [16] 王新华, 延军平, 杨谨菲, 等. 1950—2008 年汉中市气候变暖及其经济适应[J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 557-562.
- [17] 苏俊辉, 王国栋. 汉中盆地近 45 a 气温变化特征[J]. 陕西气象, 2007(4): 19-22.
- [18] 姜雁飞, 李锐, 郝慧梅. 汉中市近 59 a 气候变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(1): 71-74.
- [19] 汉中市地方志编纂委员会. 汉中市志[M]. 北京: 中共中央党校出版社, 1994.
- [20] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007.