

天水市过去 116 年气温变化趋势及突变分析

刘娜^{1,2}, 胡亚飞¹, 包光^{1,2}

1. 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 宝鸡文理学院 地理与环境学院, 宝鸡 721013

2. 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, 西安 710061

摘要: 天水位于青藏高原东北部的副热带北部边缘, 受大陆性季风气候的影响, 生态环境脆弱, 是研究全球变化区域响应的理想之地。基于天水市 1901—2016 年的月平均气温资料, 运用一元线性回归、5 年滑动平均和 Mann-Kendall 非参数检验等方法分析了过去 116 年来天水市气温在不同尺度上的变化特征及突变节点。结果表明: 天水市 1901—2016 年气温总体呈上升趋势, 气候倾向率为 $0.058^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。各季节均表现出增温趋势, 春季、夏季、秋季和冬季的线性倾向率分别为 $0.084^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.019^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.022^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.102^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。最冷月份 1 月及最热月份 7 月同样表现出增温趋势, 线性倾向率依次为 $0.085^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.038^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。年平均气温在 1923 年和 1993 年发生了两次突变。春季和秋季突变年与年平均气温基本一致, 夏季气温突变存在超前和滞后现象, 冬季突变时间为 1978 年。最冷月份 1 月平均气温在 1977 年发生突变, 最热月份 7 月平均气温突变年份集中在 2000 年之后。总体而言, 天水市过去一百多年来, 气温呈上升趋势与全球变暖大背景一致。

关键词: 气温; 特征分析; 突变分析; 天水市

Features of temperature variations in Tianshui during the past 116 years

LIU Na^{1,2}, HU Yafei¹, BAO Guang^{1,2}

1. Shaanxi Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Simulation, School of Geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China

2. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710061, China

Abstract: Background, aim, and scope The change of regional environment is related to the well-being of human beings. The study of regional response characteristics of global change could help reveal the background and laws of variations in the climatic elements at the regional scale. Tianshui is located on the northern edge of the subtropical zone in the northeastern part of the Qinghai-Tibet Plateau. It is an ideal place to study the regional temperature response of global warming. Due to the continental monsoon climate, Tianshui has a fragile ecological environment. Therefore, the

收稿日期: 2018-07-13; 录用日期: 2018-10-22; 网络出版: 2018-11-02

Received Date: 2018-07-13; Accepted Date: 2018-10-22; Online first: 2018-11-02

基金项目: 陕西省教育厅重点实验室科研计划项目 (17JS005); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目 (2018JQ4022, 2019JM-208); 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目 (SKLLQG1801); 陕西省普通高校第二批青年杰出人才支持计划

Foundation Item: Shaanxi Key Laboratory of Disaster Monitoring and Mechanism Modeling (17JS005); Natural Science Basic Research Plan in Shaanxi Province of China (2018JQ4022, 2019JM-208); Project of State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology (SKLLQG1801); Second Outstanding Young Talents of Shaanxi Universities

通信作者: 包光, E-mail: baoguang23@163.com

Corresponding Author: BAO Guang, E-mail: baoguang23@163.com

引用格式: 刘娜, 胡亚飞, 包光. 2019. 天水市过去 116 年气温变化趋势及突变分析 [J]. 地球环境学报, 10(3): 239–247.

Citation: Liu N, Hu Y F, Bao G. 2019. Features of temperature variations in Tianshui during the past 116 years [J]. Journal of Earth Environment, 10(3): 239–247.

characteristics of temperature changes in the northwestern monsoon region obtained from this study have certain regional representation and indicative significance. **Materials and methods** Based on the monthly average temperature data of Tianshui from 1901 to 2016, using the linear regression, 5-year moving average and Mann-Kendall non-parametric test, the variation characteristics of Tianshui temperature on different scales during the past 116 years were analyzed. **Results** The annual average temperature in Tianshui was generally rising from 1901 to 2016, with a tendency rate $0.058^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$. The four seasons showed warming trends and the increasing rates in spring, summer, autumn and winter were $0.084^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, $0.019^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, $0.022^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, $0.102^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$. The trend of warming occurred in the coldest month (January) and the hottest month (July), and the linear tendency rates were $0.085^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ and $0.038^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$. The abrupt years of annual average temperature occurred in 1923 and 1993. The similar abrupt years appeared in both spring and autumn average temperature. The summer temperature mutations were advanced and lagged, and the winter temperature mutation year occurred in 1978. For the coldest month in January, the average temperature was abruptly changed in 1977, and that of the hottest month in July was concentrated in the 2000s period. **Discussion** Global climate change has a wide-ranging impact on the natural environment and human society. The influence of rising temperature is one of the main manifestations. The analysis of temperature variation characteristics on the regional scale could help to cope with the adverse effects of climate change and enhance adaptability. **Conclusions** The temperature of annual, seasonal and monthly scales of the Tianshui region generally showed an upward trend from 1901 to 2016, and there were significant mutation signals, which were consistent with the background of global warming. **Recommendations and perspectives** The variations of climate elements are closely related to the coordinated development of regional natural environment and human society. Temperature as an important climatic factor, it is necessary to reveal its long-term features that will help to reduce the risk of climate disasters and enhance regional defense against the background of global warming.

Key words: temperature; characteristic analysis; mutation analysis; Tianshui

气候变化的不利影响严重威胁自然生态体系和社会经济体系（徐丽娜，2011），因此成为国际社会关注的全球性热点问题（秦大河等，2007）。政府间气候变化专门委员会第五次评估报告表明，从 1880 年至 2012 年，全球平均地表温度升高了 0.85°C （秦大河等，2014）。近年来，区域尺度的气候要素变化受到普遍关注，如任国玉等（2014）研究表明中国 1951—2002 年全国年平均气温增暖幅度为 1.1°C ，增温速率接近 $0.22^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ，明显高于全球或北半球同期平均增温速率，并且增暖主要发生在 20 世纪 80 年代以后。西北地区年和季节尺度均有增温趋势，其中 20 世纪 90 年代之后增温较快，冬季较为明显（任国玉等，2005；王劲松等，2008；晏利斌，2015）。马玉霞等（2013）利用甘肃省 80 个观测站日均温观测资料研究发现：近 60 年来甘肃省气温总体呈现上升趋势。窦睿音等（2015）利用 1956—2012 年甘肃省境内 28 个气象站点的日平均气温资料，分析了甘肃省不同空间尺度的气温变化特征。赵一飞等（2012）研究发现近 54 年来甘肃省河东地区气温明显升高，特别是 20 世纪 90 年代以来增幅显著。在全球变暖的背景下，气候变化对海平面升降、动植物资源，农

业生产以及人类健康均产生了极大的影响（魏柱灯等，2014）。研究特定区域的气温变化历史，揭示该区域长时段的气候变化特征，有利于区域气象气候灾害的预防与应对，指导区域气象气候资源的合理开发利用，协调区域人类活动与自然生态环境的有序发展（郭建平，2015）。天水市地处副热带北缘和青藏高原东北部（强玉柱等，2015），地形复杂，深居内陆，远离海洋，属于典型的大陆性季风气候。关中 - 天水经济区是我国西北地区重要的经济发展枢纽，位于“一带一路”——丝绸之路经济带起点，同时地处亚洲夏季风北部边缘，受气候变化影响较大，是气候敏感生态脆弱地区之一。作为关中 - 天水经济区的副中心城市，天水的气候环境变化已经严重制约区域社会经济发展和生态文明建设。查明区域主要气候因子——温度的长期变化背景及波动特征，有助于相关部门采取合理可行的措施应对全球变化的不利影响，降低气象灾害的作用程度，实现止损减灾增效的目的。因此，本文选取 1901—2016 年的月平均气温数据，分析天水市过去 100 多年来的气温变化特征，以期对本地区的气温变化趋势预测及生态环境的响应有较为深刻的认识和理解。

1 资料与方法

1.1 资料来源

数据来源于英国 Climate Research Unit 发布的 CRU TS4.01 ($0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$) 网络格点月值数据集, 北纬 34° — 35° 、东经 105° — 106° 区域平均数据, 地理位置接近天水市气象站 ($105^{\circ} 52' E$, $34^{\circ} 34' N$), 时间跨度为 1901—2016 年。本研究季节划分采用气象标准, 即 3 至 5 月为春季, 6 至 8 月为夏季, 9 至 11 月为秋季, 12 月至下一年 2 月为冬季。最冷月份和最暖月份分别选取 1 月和 7 月。

1.2 线性回归法与 Mann-Kendall 突变检验法

对年平均气温、季节平均气温, 最冷月以及最暖月平均气温分别采用一元线性回归分析, 揭示不同尺度温度的变化趋势。其中回归系数的正负值, 反映气温的上升或者下降的变化速率。利用非参数统计检验 Mann-Kendall 方法对天水市年平

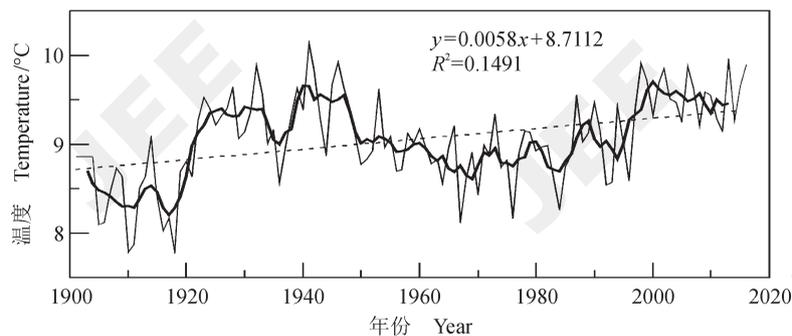
均气温、季节平均气温以及最冷月和最暖月的平均气温进行突变信息分析, 显著性水平为 $\alpha=0.05$, 上下限临界值为 ± 1.96 (魏凤英, 2007)。统计量 UF 和 UB 两序列交点出现在上下临界值之间, 则该点为突变点, 交点所对应的时间为突变发生时间 (胡亚飞等, 2017)。

2 结果与分析

2.1 气温的变化特征分析

2.1.1 气温的年际变化趋势

由图 1 可知: 1901—2016 年天水市气温倾向率为 $0.058^{\circ} C \cdot (10a)^{-1}$, 低于中国近 15 年来的增温速率 $0.23^{\circ} C \cdot (10a)^{-1}$ (王遵娅等, 2004)。经 5 年滑动平均后, 过去 116 年的年平均气温大体经历了 2 个高温阶段 (1920—1954 年和 1995—2016 年) 和 2 个低温阶段 (1901—1919 年和 1955—1994 年)。



粗线表示 5 年滑动平均。

Thick line indicates the 5-year moving average.

图 1 天水市 1901—2016 年平均气温趋势

Fig.1 Variation of annual mean temperature in Tianshui during 1901—2016

过去 116 年多年平均气温均值 (mean) 为 $9^{\circ} C$, 标准差 (σ) 为 $0.69^{\circ} C$ 。本文将年平均气温的值大于 (平均值 + 标准差) (即 $mean + \sigma = 9 + 0.69 = 9.69^{\circ} C$) 定义为高温年, 年平均气温的值小于 (平均值 - 标准差) (即 $mean - \sigma = 9 - 0.69 = 8.31^{\circ} C$) 定义为低温年, 介于 $(mean + \sigma)$ 和 $(mean - \sigma)$ 之间为正常年。结果表明: 在过去的百余年里共出现了 22 次高温年, 占全部年份的 18.97%; 出现了 7 次低温年, 占全部时段的 6.03%。最低年均温为 $7.71^{\circ} C$, 出现在 1918 年, 比多年平均气温低 $1.29^{\circ} C$; 最高年均温为 $10.93^{\circ} C$, 出现在 1940 年, 比多年平均气温高 $1.93^{\circ} C$ 。整体而言, 天水市 1901—2016 年平均气温呈现出上升趋势。

2.1.2 气温的季节变化特征

天水市四季平均气温的变化趋势显示 (图 2), 春夏秋冬四季平均气温的变化特点与年平均气温变化一致, 呈上升趋势, 但是不同季节平均气温变化与气温倾向率均不相同。其中以冬季增温最为显著, 气温倾向率为 $0.102^{\circ} C \cdot (10a)^{-1}$, 其次为春季 $0.084^{\circ} C \cdot (10a)^{-1}$, 秋季 $0.022^{\circ} C \cdot (10a)^{-1}$, 夏季增温幅度最小, 为 $0.019^{\circ} C \cdot (10a)^{-1}$ 。

据图 2a 可知: 1901—2016 年气温变化的波动较为明显, 整体呈上升趋势, 在过去 116 年, 天水市春季平均气温为 $9.8^{\circ} C$, 春季最高平均气温为 $11.43^{\circ} C$ (1928 年), 最低为 $7.26^{\circ} C$ (1905 年)。20 世纪 20 年代以前, 春季平均气温在平均水平线

以下波动, 20 世纪 20 年代至 40 年代春季平均气温在平均水平线以上波动, 20 世纪 50 年代至 90 年代

末, 春季平均气温在平均水平线上下波动, 进入 21 世纪之后, 春季平均气温均高于平均水平。

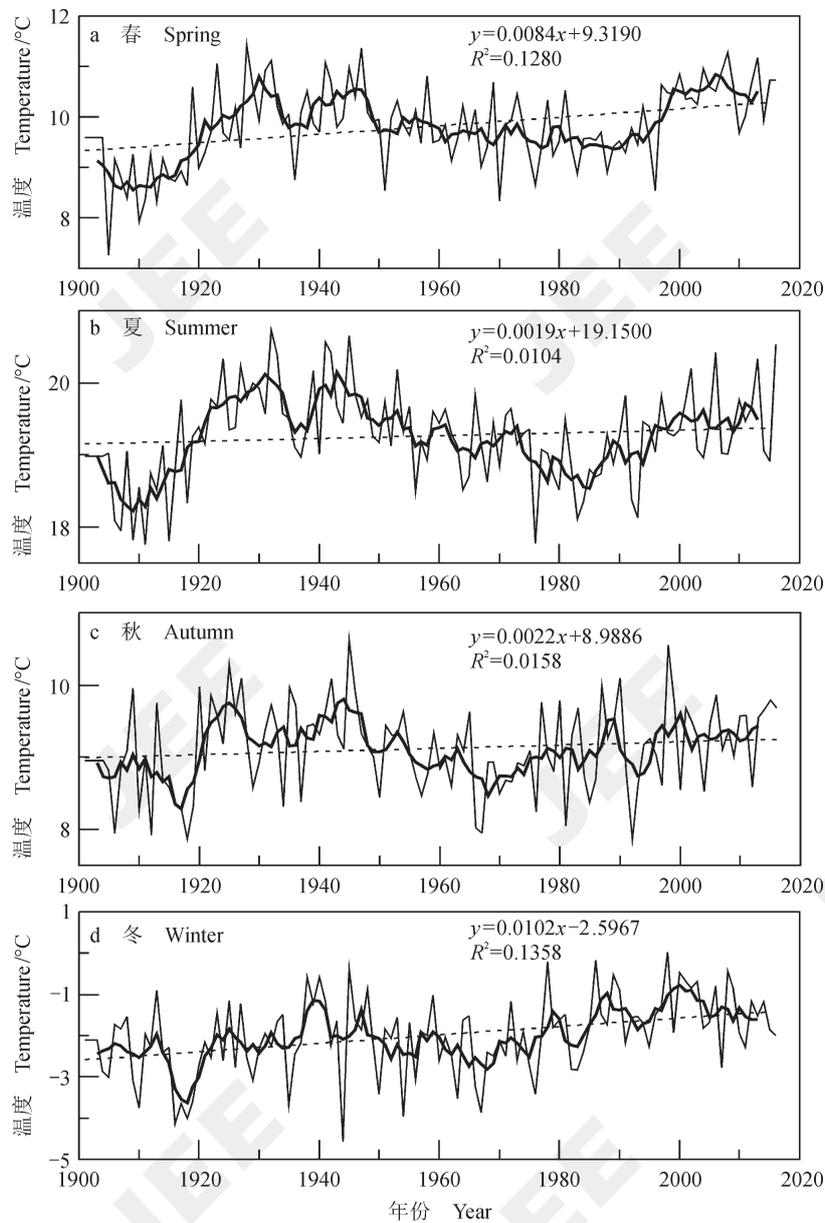


图 2 1901—2016 年天水市平均气温季节变化趋势

Fig.2 Seasonal variation trend of mean temperature in Tianshui during 1901—2016

据图 2b 可知: 在 1901—2016 年, 天水市夏季平均气温为 19.20°C。夏季最高平均气温为 20.73°C (1932 年), 最低为 17.78°C (1976 年)。通过 5 年滑动平均后可得, 20 世纪 20 年代以前, 夏季平均气温在平均水平线以下波动, 20 世纪 20 年代至 40 年代夏季平均气温在平均水平线以上波动, 20 世纪 50 年代之后, 夏季平均气温在平均水平线上下波动。

据图 2c 可知: 在 1901—2016 年, 天水市

秋季平均气温为 9.10°C, 秋季最高平均气温为 10.60°C (1945 年), 最低为 7.90°C (1992 年)。据图 2d 可得: 在 1901—2016 年, 天水市冬季平均气温为 -2.00°C, 冬季最高平均气温为 0.02°C (1998 年), 最低为 -3.76°C (1910 年)。5 年滑动平均结果显示: 秋、冬季变化趋势与春、夏季基本一致。

以上分析说明: 过去 116 年天水市春季和冬

季增温大于年增温速率,这是由于不同季节气温变化不同所导致。天水市冬季增温趋势仍在上升,与全球气候变暖明显加速的结论一致,但增温速率相对较慢。

2.1.3 最冷月(1月)和最热月(7月)气温变化特征

1901—2016年天水市最冷月1月份平均气温为 -3.40°C ,其中最高平均气温为 -0.22°C (1914年),最低平均气温为 -6.52°C (1917年),温度相差 6.74°C ;最热月7月份平均气温为 20.20°C ,

最高平均气温为 22.20°C (1914年),最低平均气温为 17.28°C (1917年),高低温差 4.92°C 。图3为天水市1901—2016年1月和7月平均气温变化趋势图,1月平均气温呈上升趋势,气温倾向率为 $0.085^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,小于冬季升温率 $0.102^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,近百年来气温上升了 1.1°C ,低于全国增温率(王遵娅等,2004)。7月平均气温呈上升趋势,但变化较小,气温倾向率为 $0.038^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。从5年滑动平均曲线可以看出:1月和7月平均气温变化趋势分别与冬季和夏季平均气温变化趋势较一致。

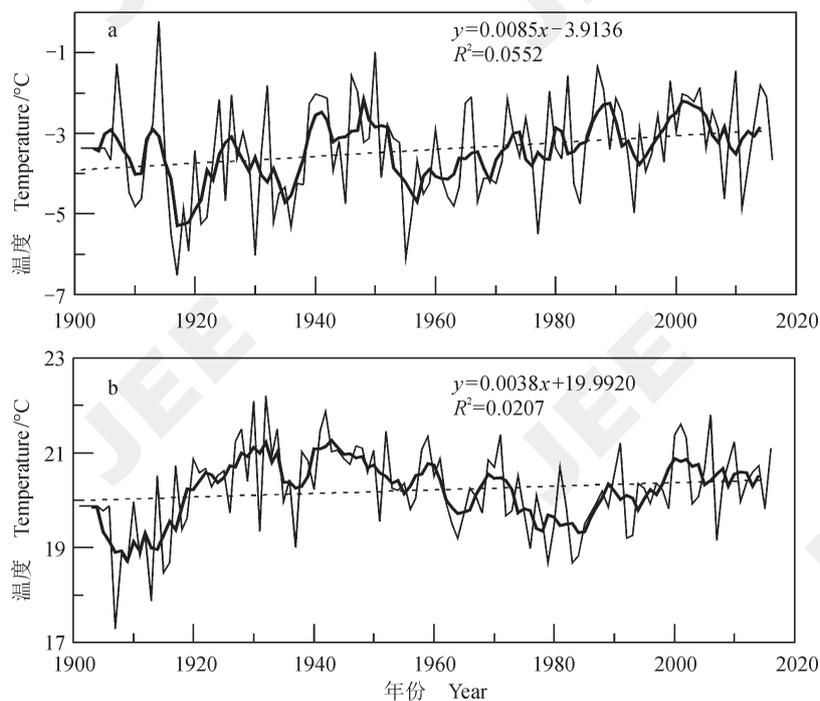


图3 天水市1901—2016年1月(a)和7月(b)平均气温变化趋势

Fig.3 Variations of mean temperature of January (a) and July (b) in Tianshui during 1901—2016

表1反映了1月和7月平均气温的年代际变化特征。1月份平均气温在年代际尺度上呈现“降—升—降—升”的趋势,特别是20世纪80年代以来,逐年代1月平均气温均高于历年1月平均气温。7月份平均气温在年代际尺度上呈现“升—降—升”的趋势,随着全球气温不断升高,进入21世纪之后高于历年7月平均气温。结合图3和表1中的标准差,可以看出1月平均气温变化较大,与前述冬季增温率最高相吻合,而7月平均气温相对较稳定,与夏季增温幅度最低有较好的对应关系。

2.2 气温的突变分析

2.2.1 年平均气温的突变分析

由Mann-Kendall突变检验可知(图4),在1926年后UF值均大于0,其中1926—1968年和2000年至今均达到了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平,说明两个时段该地区气候变暖。UF线和UB线在图中有3个交点,分别出现在20世纪20年代初、40年代末和90年代中期,其中2个交点处于置信线之间,可以判断出天水市过去116年年平均气温在1923年和1993年发生了两次统计意义上的突变。

表 1 天水市 1901—2016 年 1 月和 7 月平均气温年代际变化
Tab.1 January and July average temperature change in Tianshui during 1901—2016

年份 Year	温度变化 Temperature variation/°C	
	1 月 January	7 月 July
1901—1910	-3.4	19.4
1911—1920	-4.1	19.4
1921—1930	-3.9	20.8
1931—1940	-3.7	20.5
1941—1950	-2.7	21.1
1951—1960	-4.0	20.5
1961—1970	-3.9	20.1
1971—1980	-3.3	19.8
1981—1990	-2.9	19.8
1991—2000	-3.2	20.2
2001—2016	-2.8	20.6
平均值 Mean	-3.4	20.2
标准差 Standard deviation	1.2	0.9

2.2.2 四季平均气温的突变分析

对天水市过去 116 年各季节平均气温进行 Mann-Kendall 突变检验 (图 5)。由图 5a 可知: 春季平均气温在 20 世纪 20 年代至 70 年代及 21 世纪第一个十年的 UF 值大于 1.96, 说明春季平均气温在这两个阶段显著上升; UF 线和 UB 线在 1921 年和 1994 年相交, 交点处于 ± 1.96 的置信度内, 则在 1921 年和 1994 年为突变点, 春季平均气温开始上升。

由图 5b 可知: 夏季平均气温在 20 世纪 20 年代至 20 世纪 70 年代初期的 UF 值大于 1.96, 说明夏季平均气温在此阶段上升; UF 线和 UB 线在 20 世纪第一个十年及 21 世纪第一个十年相交于置信度内, 说明 20 世纪第一个十年及 21 世纪第一个十年夏季平均气温出现突变, 且突变时间为 1913 年和 2014 年, 与年平均气温相比, 夏季平均气温两个突变点分别提前了 10 年和推后了 10 年。

由图 5c 可知: 秋季平均气温在 20 世纪 40 年代至 20 世纪 50 年代初期的 UF 值大于 1.96, 说明秋季平均气温在此阶段显著上升; UF 和 UB 线在 20 世纪 20 年代及 21 世纪第一个十年相交于置信度内, 说明 20 世纪 20 年代及 21 世纪第一个十年秋季天水市气温出现突变, 且突变时间为 1921 年和 2014 年。

由图 5d 可知: 冬季平均气温在 20 世纪 90 年代开始, UF 值大于 1.96, 说明冬季平均气温在此

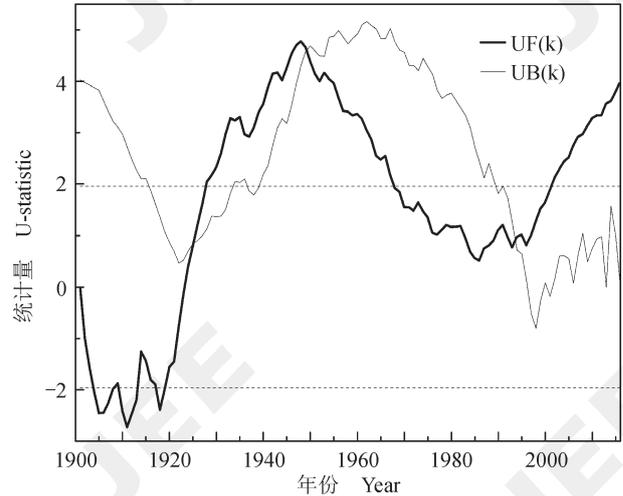


图 4 天水市年平均气温的 Mann-Kendall 检测曲线

Fig.4 Mann-Kendall statistical analysis curve of the annual mean temperature in Tianshui during 1901—2016

阶段显著上升; UF 线和 UB 线在 20 世纪 70 年代末相交于置信度内, 说明 20 世纪 70 年代末冬季平均气温出现突变, 且突变时间为 1978 年。

2.2.3 最冷月 (1 月) 和最热月 (7 月) 平均气温的突变分析

对天水市 1901—2016 年最冷月 (1 月) 和最暖月 (7 月) 平均气温进行 Mann-Kendall 突变检验 (图 6)。从图 6a 可看出: 天水市 1 月平均气温在 2000 年之后的 UF 值开始大于 1.96, 说明天水市最冷月平均气温在此阶段开始显著上升; UF 线和 UB 线相交在 1977 年, 交点处于 ± 1.96 的置信度内, 说明 1 月平均气温在 1977 年开始突变上升。从图 6b 可看出: 7 月从 1920 年开始, UF 值大于 0, 说明天水市 7 月的气温于 1920 年开始上升, 在 1928—1975 年, UF 值大于 1.96, 说明 7 月平均气温在此阶段变暖。UF 线和 UB 线相交频繁, 交点处于 ± 1.96 的置信度内, 说明天水市月平均气温发生多次突变, 在 1917 年、1997 年、2003 年、2006 年、2012 年和 2014 年均发生统计突变。有研究表明, 关中 - 天水经济区 1960—2014 年器测时段气候要素突变特征自 20 世纪 90 年代以来, 温度幅度增大, 且在此时段发生强烈的变化 (何佳等, 2016)。本文 7 月的突变在 2000 年之后较多, 在一定程度上响应了区域性的温度变化特点, 但受分析时段的差异影响, 具体原因有待深入分析。

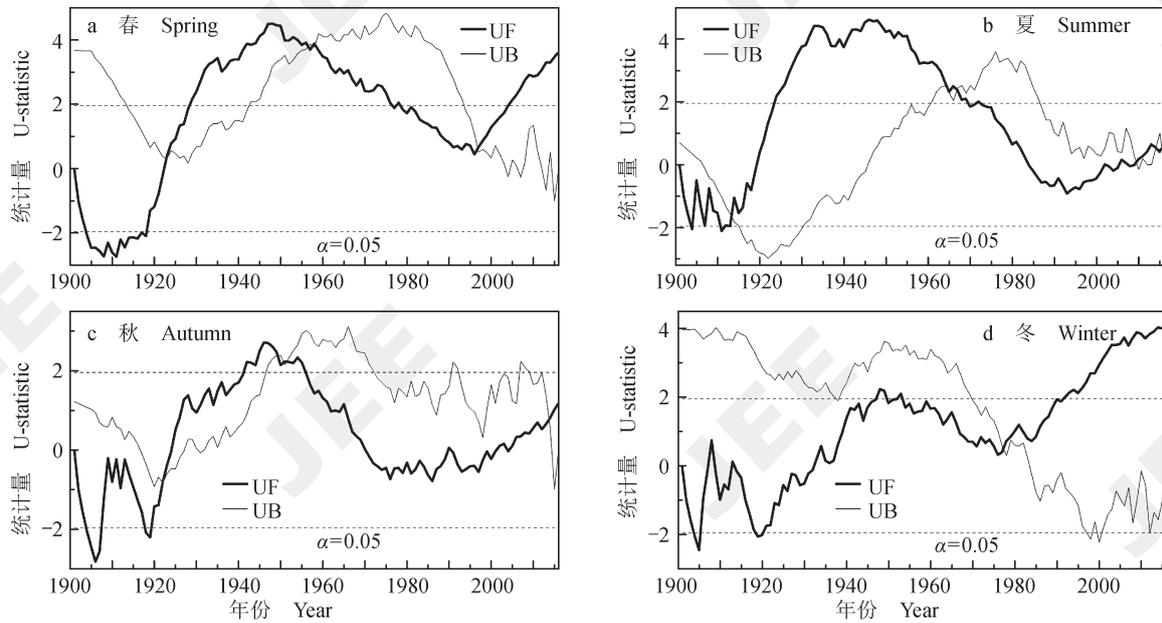


图5 天水市各季节平均气温的Mann-Kendall检测曲线

Fig.5 Mann-Kendall statistical analysis curve of the seasonal mean temperature in Tianshui during 1901—2016

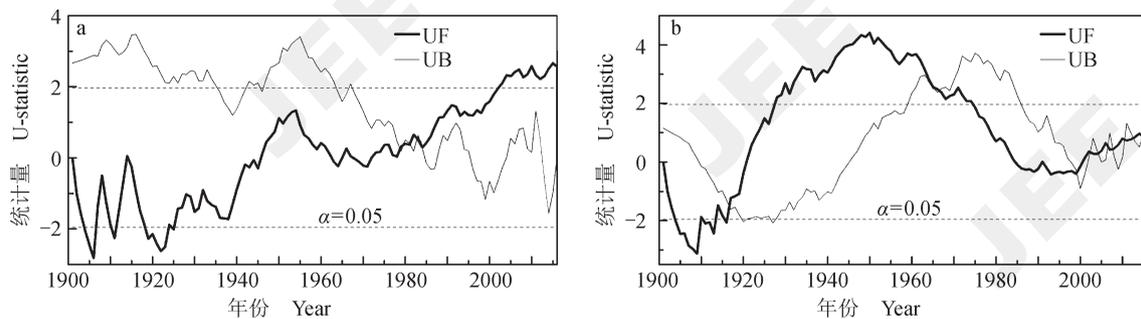


图6 天水市最冷月1月(a)和最暖月7月(b)平均气温的Mann-Kendall检测曲线

Fig.6 Mann-Kendall statistical analysis curves of January (a) and July (b) in Tianshui during 1901—2016

3 讨论与结论

气候变化对区域农业生产和地表植被生长有很大的影响(胡安霞等,2018),同时气温升高有利于多熟作物的栽培,有利于森林生产力提高,但气候变化又使农业生产的不稳定性增加(宁惠芳等,2010),病虫害的空间分布格局也会改变。就天水地区而言,气温增高加剧水分蒸发致使暖干化趋势的不利影响在农业生产中已显现。姚晓红等(2008)研究发现20世纪90年代以来,天水地区暖干气候特征加剧,受冬季冻土层变薄、越冬作物冬眠不实、生长期缩短影响,主要作物小麦产量下降明显。春季变干变暖趋势

使得桃树物候期普遍提前,初春冻害风险提高的同时(姚小英等,2008),桃树和苹果树花芽发育、盛花期花蕾发育、开花坐果受到危害(姚晓红等,2006;万梓文等,2016)。本文对天水市1901—2016年气温变化特征进行了趋势和突变分析,并没有在其他方面进行过多探讨。然而气候变化研究涉及到人类生产生活以及自然环境的多个方面,气温变化规律仅是其中的一个方面(韩会庆等,2018)。天水市的气候变化特征还需要从多方面进行综合研究对比分析,比如加强积温、日照以及极端气温等各气候变化要素的研究,同时还应该加强不同时间尺度和空间尺度的气候变化研究,从而获得更加准确、全面的气候变化特

征, 为天水市的农作物、动植物和自然灾害等方面提供准确、合理的依据。

通过对天水市 1901—2016 年气温变化特征的分析, 初步得出以下结论:

(1) 天水市年平均气温呈现上升趋势, 气温倾向率为 $0.058^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。四季平均气温变化均呈上升趋势, 其中春季和冬季增温速率大于年增温率, 其倾向率分别为 $0.084^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 和 $0.102^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。

(2) 最冷月 1 月平均气温呈上升趋势, 气温倾向率为 $0.085^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, 小于冬季升温率 ($0.102^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$), 近百年来温度升高了 1.1°C ; 在年代际尺度上呈现出“降—升—降—升”的趋势。最热月 7 月平均气温呈上升趋势, 但变化较小, 气温倾向率为 $0.038^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, 在年代际尺度上呈现出“升—降—升”的趋势。

(3) 天水市过去 116 年年平均气温在 1923 年和 1993 年发生了两次突变。春季和秋季突变年份与年平均气温突变节点基本一致, 夏季气温突变存在约 10 年的超前和滞后, 而冬季突变时间为 1978 年。最冷月 1 月平均气温在 1977 年发生突变, 而最热月 7 月平均气温自 2000 年以后多个年份发生突变。

参考文献

窦睿音, 延军平, 王鹏涛. 2015. 全球变化背景下甘肃近半个世纪气温时空变化特征 [J]. *干旱区研究*, 32(1): 73–79. [Dou R Y, Yan J P, Wang P T. 2015. Spatiotemporal distribution of temperature in Gansu Province under global climate change during the period from 1956 to 2012 [J]. *Arid Zone Research*, 32(1): 73–79.]

郭建平. 2015. 气候变化对中国农业生产的影响研究进展 [J]. *应用气象学报*, 26(1): 1–11. [Guo J P. 2015. Advances in impacts of climate change on agricultural production in China [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 26(1): 1–11.]

韩会庆, 张娇艳, 马庚, 等. 2018. 气候变化对生态系统服务影响的研究进展 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 42(2): 184–190. [Han H Q, Zhang J Y, Ma G, et al. 2018. Advances on impact of climate change on ecosystem services [J]. *Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition)*, 42(2): 184–190.]

何佳, 薛亚永, 周旗, 等. 2016. 关中-天水经济区气候变化特征分析 [J]. *中国农学通报*, 32(18): 151–159.

[He J, Xue Y Y, Zhou Q, et al. 2016. Climate change characteristics of Guanzhong-Tianshui economic region [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 32(18): 151–159.]

胡安霞, 孙秀邦, 李龙. 2018. 宣城市 1966—2015 年气候变化趋势及突变分析 [J]. *中国农学通报*, 34(4): 113–117. [Hu An X, Sun X B, Li L. 2018. Climate change trend and mutation in Xuancheng during 1966—2015 [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 34(4): 113–117.]

胡亚飞, 包光, 王红桃. 2017. 榆林市 1951—2012 年气温变化特征 [J]. *地球环境学报*, 8(2): 127–136. [Hu Y F, Bao G, Wang H T. 2017. Analysis on air temperature variation trend in Yulin from 1951 to 2012 [J]. *Journal of Earth Environment*, 8(2): 127–136.]

马玉霞, 张军, 王式功, 等. 2013. 甘肃省 1951—2010 年气温变化分析 [J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 49(6): 794–798. [Ma Y X, Zhang J, Wang S G, et al. 2013. Analysis of temperature changes in Gansu Province from 1951 to 2010 [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 49(6): 794–798.]

宁惠芳, 林婧婧, 陈佩璇. 2010. 甘肃省气候暖干化与农业干旱灾害的联系 [J]. *干旱气象*, 28(2): 198–201. [Ning H F, Lin J J, Chen P X. 2010. Impacts of warming and drying climate on agricultural drought disaster in Gansu province [J]. *Journal of Arid Meteorology*, 28(2): 198–201.]

强玉柱, 姚延锋, 朱恩超, 等. 2015. 天水市日照时数的气候变化特征 [J]. *农学学报*, 5(6): 82–87. [Qiang Y Z, Yao Y F, Zhu E C, et al. 2015. Climatic variability of sunshine hours change in Tianshui [J]. *Journal of Agriculture*, 5(6): 82–87.]

秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 2007. 气候变化科学的最新认知 [J]. *气候变化研究进展*, 3(2): 63–73. [Qin D H, Chen Z L, Luo Y, et al. 2007. Updated understanding of climate change sciences [J]. *Advances in Climate Change Research*, 3(2): 63–73.]

秦大河, Stocker T, 259 名作者和 TSU (驻伯尔尼和北京). 2014. 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*, 10(1): 1–6. [Qin D H, Stocker T, 259 authors and TSU (Bern & Beijing). 2014. Highlights of the IPCC Working Group I Fifth Assessment Report [J]. *Progress Inquisition de Mutatione Climatis*, 10(1): 1–6.]

任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 2005. 中国气温变化研究

- 最新进展[J]. *气候与环境研究*, 10(4): 701–716. [Ren G Y, Chu Z Y, Zhou Y Q, et al. 2005. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 10(4): 701–716.]
- 任国玉, 任玉玉, 李庆祥, 等. 2014. 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*, 29(8): 934–946. [Ren G Y, Ren Y Y, Li Q X, et al. 2014. An overview on global land surface air temperature change [J]. *Advances in Earth Science*, 29(8): 934–946.]
- 万梓文, 许彦平, 姚晓琳, 等. 2016. 甘肃天水近30 a 气候变化对桃产量形成的影响分析[J]. *干旱区地理*, 39(4): 738–746. [Wan Z W, Xu Y P, Yao X L, et al. 2016. Impact of climate change on peach yield at Tianshui, Gansu in recent 30 years [J]. *Arid Land Geography*, 39(4): 738–746.]
- 王劲松, 费晓玲, 魏锋. 2008. 中国西北近50 a 来气温变化特征的进一步研究[J]. *中国沙漠*, 28(4): 724–732. [Wang J S, Fei X L, Wei F. 2008. Further study of temperature change in northwest China in recent 50 years [J]. *Journal of Desert Research*, 28(4): 724–732.]
- 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 2004. 近50年来中国气候变化特征的再分析[J]. *气象学报*, 62(2): 228–236. [Wang Z Y, Ding Y H, He J H, et al. 2004. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 62(2): 228–236.]
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第2版. 北京: 气象出版社: 1–296. [Wei F Y. 2007. Modern climate statistics diagnosis and prediction technology [M]. 2nd edition. Beijing: China Meteorological Press: 1–296.]
- 魏柱灯, 方修琦, 苏筠, 等. 2014. 过去2000年气候变化对中国经济与社会发展影响研究综述[J]. *地球科学进展*, 29(3): 336–343. [Wei Z D, Fang X Q, Su Y, et al. 2014. A review of climatic impacts on Chinese socio-economic development over the past 2000 years [J]. *Advances in Earth Science*, 29(3): 336–343.]
- 徐丽娜. 2011. 气候变化的危害及其应对措施分析[J]. *中国集体经济*, (22): 193–194. [Xu L N. 2011. Analysis of the hazards of climate change and its countermeasures [J]. *China Collective Economy*, (22): 193–194.]
- 晏利斌. 2015. 1961—2014年黄土高原气温和降水变化趋势[J]. *地球环境学报*, 6(5): 276–282. [Yan L B. 2015. Characteristics of temperature and precipitation on the Loess Plateau from 1961 to 2014 [J]. *Journal of Earth Environment*, 6(5): 276–282.]
- 姚晓红, 许彦平, 秘晓东. 2006. 气候变化对天水苹果生长的影响及对策研究[J]. *干旱地区农业研究*, 24(4): 129–133. [Yao X H, Xu Y P, Mi X D. 2006. Influence of climate change on apple growth and countermeasures in Tianshui City [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 24(4): 129–133.]
- 姚晓红, 许彦平, 姚晓琳, 等. 2008. 气候变化对天水主要粮食作物农业生产的影响及对策建议[J]. *现代农业科学*, 15(10): 90–91, 99. [Yao X H, Xu Y P, Yao X L, et al. 2008. The effect of climate change on agricultural production of main crops in Tianshui and its countermeasures [J]. *Modern Agricultural Sciences*, 15(10): 90–91, 99.]
- 姚小英, 张岩, 马杰, 等. 2008. 天水桃产量对气候变化的响应[J]. *中国农业气象*, 29(2): 202–204. [Yao X Y, Zhang Y, Ma J, et al. 2008. Responses of peach yields to climate change in Tianshui [J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 29(2): 202–204.]
- 赵一飞, 张勃, 汪宝龙, 等. 2012. 近54 a 来甘肃省河东地区气候时空变化特征[J]. *干旱区研究*, 29(6): 956–964. [Zhao Y F, Zhang B, Wang B L, et al. 2012. Spatiotemporal climate change in the Hedong region Gansu Province in recent 54 years [J]. *Arid Zone Research*, 29(6): 956–964.]