

张小平¹ 周建琨¹ 张晓² 李智才² 张红雨² 田粉平¹

1960—2010年山西朔州市气候变化及其突变分析

摘要

根据朔州市6个地面气象站1960—2010年降水、气温资料,利用折线图、距平图、趋势图、滑动平均、气候变率及统计图表等,对朔州市51a来气候特征进行具体分析.结果表明:1)51a来朔州市年降水量总体呈减少趋势,气候倾向率为 $-6.21\text{ mm}/(10\text{ a})$,减少速度低于全国和山西水平,多雨年集中在20世纪60—70年代,少雨年则比较分散;四季降水量的变化趋势有所不同,夏季降水呈减少趋势,其他季节的降水呈现增加趋势,表明朔州市年降水减少主要是夏季降水减少所致;年、季降水均没有显著突变.2)51a来朔州市年平均气温以 $0.285\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ 的速率波动上升,上升速度显著高于全国和山西水平,20世纪90年代以来这种趋势尤为明显,四季平均气温均为增暖趋势,但增温幅度差异较大,冬季最为明显,增速为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,表明朔州市气候变暖是四季气温增加所致;年和季节的平均气温均存在由低向高的显著突变.3)以20世纪90年代中期为界,将朔州市气候分为冷、暖2个阶段,前为冷期,后为暖期.

关键词

气候变化;降水;气温;趋势;突变分析

中图分类号 P467

文献标志码 A

收稿日期 2012-12-29

作者简介

张小平,女,高级工程师,主要从事气候变化研究.shouwx@126.com

1 山西省朔州市气象局,朔州,036002

2 山西省气象局,太原,030002

0 引言

2007年政府间气候变化委员会(IPCC)第四次评估报告指出:近100a(1906—2005)地球表面平均温度上升了 $0.74(0.56\sim 0.92)\text{ }^{\circ}\text{C}$,自1950年以来最暖的12个年份中有11个出现在1995—2006年间^[1].全球气候增暖明显,环境恶化加剧,气象灾害在许多国家频繁发生,众多学者和专家对气候变化的程度和因素等进行了诸多方面的研究^[2-10].在全球变暖的大背景下,中国年平均气温以 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ 的倾向率上升,年降水量以 $-12.66\text{ mm}/(10\text{ a})$ 的倾向率减少^[11].近半个多世纪以来,我国北方部分地区干旱化趋势严峻^[12-13],气候变化对农业生产以及人类的生存环境产生了直接和间接的影响^[14].由于各地对气候变化的响应程度不完全一致^[15],因此,以不同地区为研究对象的气候变化研究也变得非常重要^[16].本文利用山西省朔州市6个地面气象站1960—2010年的降水、气温资料,进行了系统分析,得出一些有意义的结论.

1 资料和方法

本文选用朔州市6个县(区)地面气象站1960年1月—2010年12月逐月平均气温和降水量资料,以时间(t)为自变量,气候要素(y)为因变量,建立一元线性回归方程 $y=a+bt$,其中斜率 b (由最小二乘法^[17]计算得到)代表气候要素随时间的变化趋势,将 $b\times 10$ 称为气候变化线性倾向率^[18-19],单位为 $^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$ 或者 $\text{mm}/(10\text{ a})$.气候变化线性倾向率大于0,说明在统计时间段内,所考察的气候要素呈增长趋势,反之,呈下降趋势,气候变化线性倾向率的绝对值表征变化的幅度.采用Mann-Kendall非参数突变检验方法对朔州市降水、温度进行突变检验.

2 气温变化特征

2.1 气温的年际变化特征

1960—2010年,朔州市年平均气温总体呈波动性上升趋势(图1a),年平均气温线性变化倾向率为 $0.285\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,显著高于山西(赵桂香等^[20]研究结果 $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$)和全国(林学椿等^[11]研究结果 $0.04\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$)水平.进入20世纪90年代以来,气温上升迅速,尤其是1993年以后,气温持续升高,1998年达历史最高,年平均气

温达到 7.9 °C,最大升幅达 1.5 °C.从年平均气温 5 a 滑动平均曲线可以看出:20 世纪 90 年代中期以前,5 a 滑动平均值长期处于多年平均值以下,而 90 年代中后期以来,持续高于多年平均值.这也说明,朔州市气温为变暖趋势,且 90 年代以后持续增暖.按照 $V_t > 0$ (V_t 为年平均气温 5 a 滑动平均值与多年平均值之差) 为偏暖, $V_t < 0$ 为偏冷来划分^[20],朔州市气温以 90 年代中期为界分为冷、暖 2 个阶段,90 年代中期以前为冷期,以后为暖期.

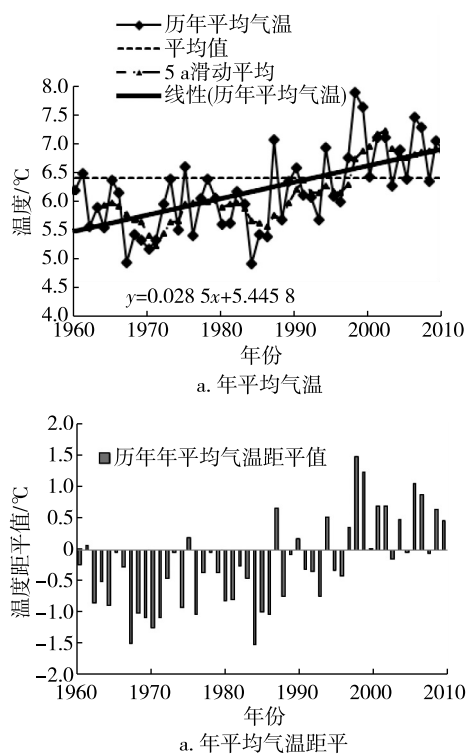


图 1 朔州市历年平均气温及距平变化曲线

Fig. 1 Variation and anomaly of annual average temperature in Shuozhou

图 1b 给出了年平均气温距平变化特征.本文定义年平均气温距平 ≥ 1 °C 为偏暖年,年平均气温距平 ≤ -1 °C 为偏冷年.以这个标准得到了 9 个偏冷年,分别是 1967、1968、1969、1970、1971、1976、1984、1985 和 1986 年,3 个偏暖年,分别是 1998、1999 和 2006 年.可以看出,偏冷年集中在 20 世纪 80 年代以前,偏暖年集中在 90 年代以后.从图 1b 还可以看出,1993 年以前,负距平出现频次远远多于正距平,而 1993 年以后,正距平出现频次则远多于负距平,也表明朔州市气温在 90 年代中期发生了由冷到暖的转变,与前面的分析结果一致.

2.2 气温的季节变化特征

从季平均气温变化曲线(图略)来看,春、夏、秋、冬季均为增暖的趋势,尤其是冬季增暖幅度最大,其平均气温序列变化线性倾向率春季、夏季、秋季、冬季分别为 0.27、0.15、0.2、0.5 °C/(10 a).说明年平均气温的升高,主要是四季气温共同升高的缘故,冬季气温的显著升高对朔州气候变暖的贡献尤其突出.

2.3 气温的年代际变化特征

从年代对比分析(表 1)可见,年和冬季平均气温变化趋势一致,都经历了“升温—降温—升温—升温”的变化过程,其他季节则是“降温—升温”的变化,只是极低值出现的年代略有差异,但共同特征都是进入 20 世纪 90 年代以后气温呈持续升高趋势,21 世纪与 20 世纪 60 年代相比,冬季平均气温升高最多为 2.0 °C,暖冬现象突出,夏季平均气温升高最少为 0.5 °C,其他季节为 0.6~1.1 °C.由此可见,朔州市四季共同升温导致了年平均气温急剧变暖,表明该区域是对全球变暖的正响应区域,且增温幅度远大于全国同期的平均水平,是一个对全球变化非常敏感的区域.

表 1 朔州市 1960—2010 年年代际平均气温

Table 1 Annual and seasonal temperatures in Shuozhou in different decades °C

年代	年	春季	夏季	秋季	冬季
1960—1969	5.8	7.5	20.0	6.1	-10.4
1970—1979	5.9	7.4	19.7	6.0	-9.7
1980—1989	5.8	7.5	19.6	6.0	-9.9
1990—1999	6.6	8.0	20.1	6.7	-8.3
2000—2010	6.8	8.6	20.5	6.7	-8.4

2.4 气温的突变分析^[21]

2.4.1 年平均气温的突变分析

由朔州市年平均气温 Mann-Kendall 曲线(图 2)可见,20 世纪 70 年代末至 21 世纪, $UF > 0$, 表明这一时期年平均气温呈升高趋势.在 ± 1.96 临界线之间正向序列(UF)和反向序列(UB)曲线在 1993 年出现了一个交点,且 UF 在 1998 年以后逐渐超过显著性水平线,这说明朔州市年平均气温在 1993 年发生了由低向高的突变,并通过了显著水平为 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验.

2.4.2 季平均气温的突变分析

由图 3 可知,在春季平均气温 Mann-Kendall 曲

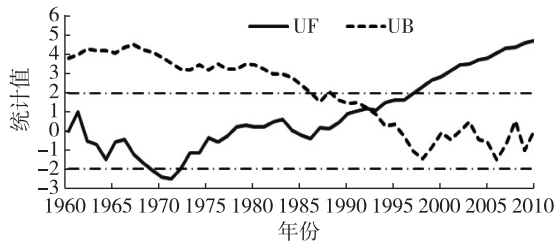


图2 朔州市年平均气温 Mann-Kendall 曲线
Fig. 2 The Mann-Kendall curves of annual average temperature in Shuozhou

线中,20 世纪 70 年代以后 $UF > 0$, 表明 70 年代以后春季平均气温呈上升趋势,UF 和 UB 曲线在 1994 年有一交叉点,该点在 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平区间,且 UF 线在 2001 年超过了显著性水平线,说明春季平均气温在 1994 年发生了由低到高的突变。

夏季平均气温 Mann-Kendall 曲线,2000 年以后 $UF > 0$, 表明 21 世纪夏季气温为上升趋势,在 ± 1.96 临界线之间 UF 和 UB 线相交于 4 处,分别是 1999、2002、2005、2007 年,但 UF 曲线并未超过显著性水平线,通过变换资料序列长度进行反复检验表明,夏季平均气温在 20 世纪 90 年代后期虽然出现了增温趋势,但未发生显著的突变现象。

秋季平均气温 Mann-Kendall 曲线,20 世纪 90

张小平,等.1960—2010 年山西朔州市气候变化及其突变分析.

年代至本世纪, $UF > 0$, 表明这一时段秋季平均气温呈升高趋势,UF 和 UB 在 ± 1.96 临界线之间相交于 3 点,分别为 1996、2000 和 2002 年,UF 曲线在 2006 年超过显著性水平线,但短时间内出现如此频繁的突变点显然是不正常的.经调整平均气温的时间序列长度进行反复检测验证,同时结合秋季平均气温序列资料进行分析,认为 1996、2000 年平均气温只是在短时间内出现了转折,但并未达到突变水平,只有 2002 年后平均气温出现了稳定且持续升高,表明朔州市秋季平均气温在 2002 年发生了突变现象。

冬季平均气温 Mann-Kendall 曲线,20 世纪 70 年代中后期到 21 世纪, $UF > 0$, 这期间朔州市冬季平均气温呈升高趋势,在 ± 1.96 临界线之间 UF 和 UB 相交于 1989 年,且 UF 曲线在 1997 年超过显著性水平线,表明朔州市冬季平均气温在 1989 年发生了突变现象。

3 降水量变化特征

3.1 降水量年际变化特征

从图 4a 可以看出,51 a 来,朔州市降水量总体呈减少趋势,其线性倾向率为 $-6.21 \text{ mm}/(10 \text{ a})$,与文献[11,20]研究结果一致,但比山西(降水线性倾向率为 $-17.3 \text{ mm}/(10 \text{ a})$)和全国(降水线性倾向率

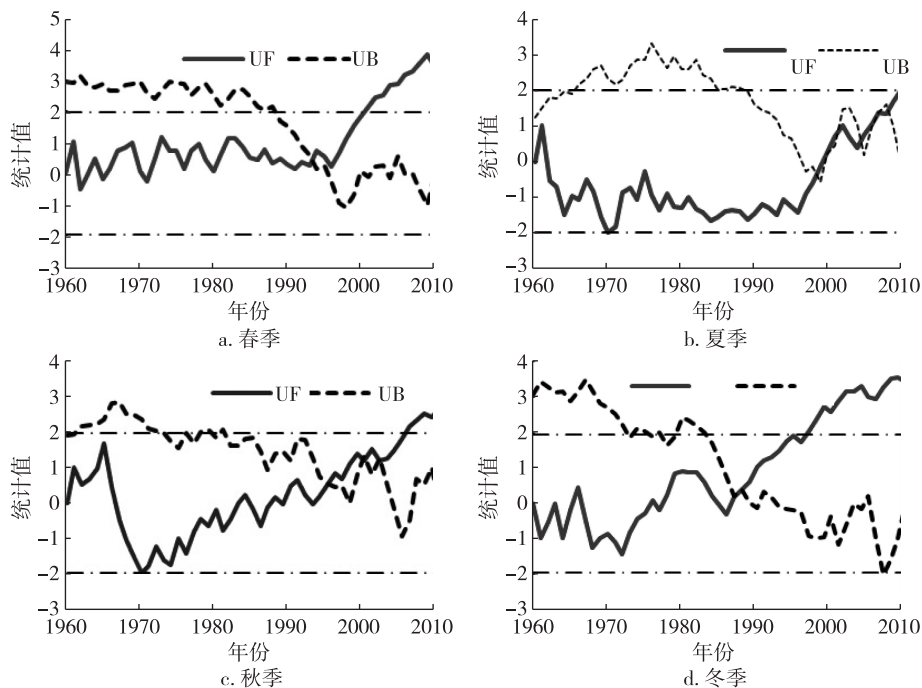


图3 朔州市四季平均气温 Mann-Kendall 曲线

Fig. 3 The Mann-Kendall curves of seasonal average temperature in Shuozhou

为-12.66 mm/(10 a)减少缓慢。朔州市年降水量多年平均值为392.5 mm,年降水量变化特征比较明显:1960—1979年降水量的年度变化较为剧烈,偏多、偏少年份较多,旱涝交替出现,有资料记录以来的最大值(1964年降水量最大,为640.9 mm)和最小值(1965年最少,仅为218.2 mm)都出现在这一阶段,其最大最小变幅达422.7 mm,为多年平均值的108%。1980—2010年降水量的年度变化较为平缓,31 a中有27 a的降水量接近正常。

图4b给出了降水量距平变化特征。本文定义降水量距平 ≥ 100 mm为多雨年,降水量距平 ≤ -100 mm为少雨年。以这个标准得到了7个多雨年,分别是1961、1964、1967、1969、1973、1976和1995年,5个少雨年,分别是1962、1965、1972、1986和1993年。可以看出:多雨年集中在20世纪60年代,其次是70年代,80年代至今仅有1个多雨年;少雨年比较分散,20世纪60年代有2个少雨年,70、80和90年代各有1个少雨年。

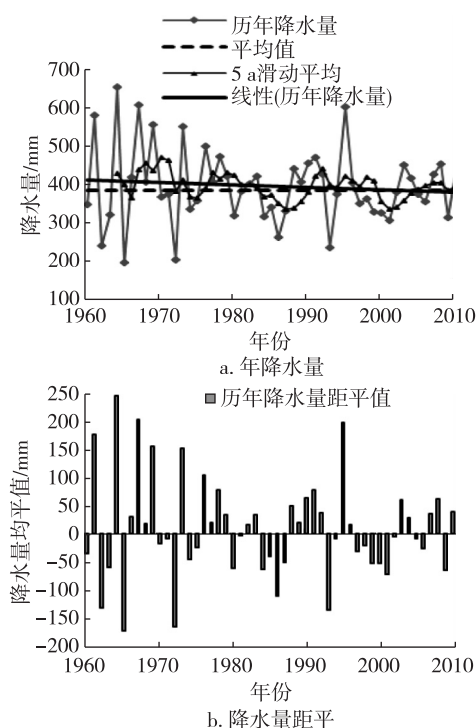


图4 1960—2010年朔州市历年降水量及距平变化曲线

Fig. 4 Variation (a) and anomaly (b) of annual precipitation in Shuozhou from 1960 to 2010

由年代对比分析可知(表2),20世纪60年代年降水量最多为436.5 mm,进入70年代后,年降水呈持续减少趋势,80年代最少,降水量仅为371.6 mm,比60年代减少了64.9 mm(减少16.5%),比平均值低

20.9 mm,90年代有所增加,接近70年代水平,比平均值偏多14.9 mm,21世纪初降水量呈现减少趋势,接近多年平均值,比20世纪60年代少44.5 mm,减少11.3%。

表2 朔州市1960—2010年年际平均降水量

Table 2 Annual and seasonal precipitations in Shuozhou in different decades mm

年代	年	春季	夏季	秋季	冬季
1960—1969	436.5	65.9	270.7	93.4	6.5
1970—1979	405.5	44.4	268.6	83.3	9.2
1980—1989	371.6	59.0	244.4	62.2	6.6
1990—1999	407.4	72.9	251.3	78.1	5.1
2000—2010	392.0	64.1	229.6	93.5	9.5

3.2 降水的季节变化特征

朔州市四季降水量(图略)除夏季呈减少趋势外,其他各季均呈增加趋势,且以春季增加最为明显,其降水量序列变化线性倾向率春季、夏季、秋季、冬季分别为2.05、-8.54、0.9和0.2 mm/(10 a)。说明朔州市年降水量减少主要是由夏季降水量减少造成的。

从表2可知各季的年代际变化情况:年降水量的变化与夏季降水量变化一致,都经历了“减少—减少—增加—减少”的变化过程,春季降水量的变化特征是“减少—增加—增加—减少”,秋季降水量经历了“减少—减少—增加—增加”的变化过程,冬季降水量变化特征与春季正好相反,经历了“增加—减少—减少—增加”的变化过程。虽然四季的年代际变化规律都不一样,但年降水量与夏季降水量的变化趋势是一致的,进一步证明了前面的观点,即朔州市年降水量减少主要是由夏季降水量减少造成的。

3.3 降水量的突变分析

对朔州市年和四季降水量 Mann-Kendall 曲线(图略)分析发现,UF 值在0附近波动,在 ± 1.96 临界线之间,年、春、夏、冬季正向序列(UF)和反向序列(UB)曲线出现了多个交点,但UF曲线并未超过信度线,秋季UF和UB线未出现交点,结合同期降水量变化曲线分析表明,朔州市年和四季降水量虽有减少趋势,均未发生较显著的突变现象。所以在全国或全省降水发生突变的同时,局部地区不一定发生降水的突变,也表明不同地区对气候变化响应不同。

4 讨论和结论

1) 1960—2010年,朔州市年平均气温总体呈现波动上升趋势,其增长率为 $0.285\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,显著高于山西和全国水平.20世纪90年代以来,气温上升迅速,最大升幅达 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,偏冷年集中在20世纪80年代以前,偏暖年集中在20世纪90年代以后.四季平均气温均为增暖趋势,但各季增温幅度差异较大,冬季平均气温的线性倾向率最大,达到 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/(10\text{ a})$,增温最为明显,表明朔州市年平均气温升高主要是四季气温升高所致,而冬季气温明显升高对朔州市气候变暖贡献尤为显著.

2) 1960—2010年,朔州市年降水量总体呈减少趋势,减少速度为 $-6.21\text{ mm}/(10\text{ a})$,显著低于山西和全国水平,20世纪70年代末以前旱涝交替出现,80年代初以后降水趋于平稳,多在正常范围,多雨年集中在60年代,其次是70年代,少雨年则比较分散.四季降水量的变化是:春、秋、冬季的降水呈现增加的趋势,夏季降水为减少趋势,减少速率为 $-8.54\text{ mm}/(10\text{ a})$,表明朔州市年降水量减少主要是由夏季降水量减少造成.

3) 1996年以前,年平均气温负距平出现频次远远多于正距平,1997年以后,年平均气温负距平出现频次远少于正距平的频次,以90年代中期为界,将朔州市气候分为冷、暖2个阶段,前为冷期,后为暖期.

4) 对降水、气温进行突变分析,结果朔州市的年、四季降水都未有明显突变现象.年和四季的平均气温都呈现出由低向高的突变,但发生突变的时间先后不同,表明气候变暖越来越显著.所以气候突变与不在不同的地区会有不同的体现,即使发生突变,时间也不同步,这可能是不同地区各自的气候变化特征所造成的,值得进一步的对比和研究.

参考文献

References

- [1] 戴晓苏. IPCC 第一工作组第四次评估报告的基本结论[J]. 气象软科学, 2008(1): 150-155
DAI Xiaosu. Basic conclusions in the fourth assessment report of the IPCC working group I[J]. Meteorology Soft Sciences, 2008(1): 150-155
- [2] 杨丁, 方凤满, 任健美. 山西省近 50 年气候变化特征分析[J]. 资源开发与市场, 2008, 24(1): 59-62
YANG Ding, FANG Fengman, REN Jianmei. Climate change analysis in Shanxi province for nearly 50 years [J]. Resources Development & Market, 2008, 24(1): 59-62
- [3] 徐兴波, 韩庆红, 任晓峰, 等. 1951—2008 年吉林市气候
- 变化特征[J]. 气象科技, 2011, 39(5): 575-581
XU Xingbo, HAN Qinghong, REN Xiaofeng, et al. Trends of climate change in Jilin from 1951 to 2008[J]. Meteorological Science and Technology, 2011, 39(5): 575-581
- [4] 程建刚, 解明恩. 近 50 年云南区域气候变化特征分析[J]. 地理科学进展, 2008, 27(5): 19-26
CHENG Jiangan, XIE Mingen. The analysis of regional climate change features over Yunnan in recent 50 years [J]. Progress in Geography, 2008, 27(5): 19-26
- [5] 龚强, 汪宏宇, 张运福, 等. 气候变化背景下辽宁省气候资源变化特征分析[J]. 资源科学, 2010, 32(4): 671-678
GONG Qiang, WANG Hongyu, ZHANG Yunfu, et al. Analysis of changes in climate resources in Liaoning province in the context of global climate change[J]. Resources Science, 2010, 32(4): 671-678
- [6] 陈超, 庞艳梅, 潘学标. 近半个世纪以来四川盆地气温和降水的变化特征[J]. 中国农业气象, 2010, 31(增刊 1): 27-31
CHEN Chao, PANG Yanmei, PAN Xuebiao. Analysis of variation characteristics of air temperature and precipitation in Sichuan Basin in recent half century[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2010, 31(sup1): 27-31
- [7] 江志红, 张霞, 王冀. IPCC-AR4 模式对中国 21 世纪气候变化的情景预估[J]. 地理研究, 2008, 27(4): 787-799
JIANG Zhihong, ZHANG Xia, WANG Ji. Projection of climate change in China in the 21st century by IPCC-AR4 models [J]. Geographical Research, 2008, 27(4): 787-799
- [8] 汤剑平, 陈星, 赵鸣, 等. IPCC A2 情景下中国区域气候变化的数值模拟[J]. 气象学报, 2008, 66(1): 13-25
TANG Jianping, CHEN Xing, ZHAO Ming, et al. Numerical simulation of regional climate change under IPCC A2 scenario in China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2008, 66(1): 13-25
- [9] 李爽, 王羊, 李双成. 中国近 30 年气候要素时空变化特征[J]. 地理研究, 2009, 28(6): 1593-1605
LI Shuang, WANG Yang, LI Shuangcheng. Spatio-temporal patterns of climatic change in China in recent 30 years [J]. Geographical Research, 2009, 28(6): 1593-1605
- [10] 卢爱刚, 王瑛. 延安市近 60 年气温与降水趋势突变分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(1): 60-62
LU Aigang, WANG Ying. Analysis on temperature and precipitation variations in Yan'an city in the recent 60 years[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(1): 60-62
- [11] 林学椿, 于淑秋. 近 40 年我国气候趋势[J]. 气象, 1990, 16(10): 16-21
LIN Xuechun, YU Shuqiu. Climatic trend in China for the last 40 years[J]. Meteorological Monthly, 1990, 16(10): 16-21
- [12] 王志伟, 翟盘茂. 中国北方近 50 年干旱变化特征[J]. 地理学报, 2003, 58(增刊 1): 61-68
WANG Zhiwei, ZHAI Panmao. Climate change in drought over Northern China during 1950—2000 [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(sup1): 61-68
- [13] 翟盘茂, 邹旭恺. 1951—2003 年中国气温和降水变化及其对干旱的影响[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1

- (1):16-18
 ZHAI Panmao, ZOU Xukai. Changes in temperature and precipitation and their impacts on drought in China during 1951—2003[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2005, 1(1): 16-18
- [14] 杨恒山, 张永亮, 张继星, 等. 近 45 年气候变化对哲盟作物生产潜力的影响[J]. *干旱区研究*, 1998, 15(4): 54-57
 YANG Hengshan, ZHANG Yongliang, ZHANG Jixing, et al. Impact of climatic variation in crop potential in Zhelimu League in recent 45 years[J]. *Arid Zone Research*, 1998, 15(4): 54-57
- [15] 蔡新玲, 王繁强, 吴素良. 陕北黄土高原近 42 年气候变化分析[J]. *气象科技*, 2007, 35(1): 45-48
 CAI Xinling, WANG Fanqiang, WU Suliang. Analysis of climate change in northern Shaanxi plateau in recent 42 years[J]. *Meteorological Science and Technology*, 2007, 35(1): 45-48
- [16] 谭方颖, 王建林, 宋迎波. 华北平原近 45 年气候变化特征分析[J]. *气象*, 2010, 36(5): 40-45
 TAN Fangying, WANG Jianlin, SONG Yingbo. Characteristics of climate change in the North China plain for recent 45 years[J]. *Meteorological Monthly*, 2010, 36(5): 40-45
- [17] 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. *应用气象学报*, 2000, 11(3): 322-330
 REN Guoyu, WU Hong, CHEN Zhenghong. Spatial patterns of change trend in rainfall of China[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2000, 11(3): 322-330
- [18] 陈文海, 柳艳香, 马柱国. 中国 1951—1997 年气候变化趋势的季节特征[J]. *高原气象*, 2002, 21(3): 251-257
 CHEN Wenhai, LIU Yanxiang, MA Zhuguo. The seasonal characteristics of climatic change trend in China from 1951 to 1997[J]. *Plateau Meteorology*, 2002, 21(3): 251-257
- [19] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. *大气科学*, 1992, 16(4): 482-493
 FU Congbin, WANG Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change[J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1992, 16(4): 482-493
- [20] 赵桂香, 赵彩萍, 李新生, 等. 近 47 a 来山西省气候变化分析[J]. *干旱区研究*, 2006, 23(3): 500-505
 ZHAO Guixiang, ZHAO Caiping, LI Xinsheng, et al. Analysis on climate change in Shanxi province in recent 47 years[J]. *Arid Zone Research*, 2006, 23(3): 500-505
- [21] 孙晓娟, 赵成义, 郑金丰. 阿克苏河流域近 46 年气候变化研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(3): 80-85
 SUN Xiaojuan, ZHAO Chengyi, ZHENG Jinfeng. Variation of temperature and precipitation in the Aksu River Basin in recent 46 years[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(3): 80-85

Climate change and its mutation analysis in Shuozhou of Shanxi province during 1960—2010

ZHANG Xiaoping¹ ZHOU Jiankun¹ ZHANG Xiao² LI Zhicai² ZHANG Hongyu² TIAN Fenping¹

¹ Shuozhou Meteorological Bureau of Shanxi Province, Shuozhou 036002

² Shanxi Provincial Meteorological Bureau of Shanxi Province, Taiyuan 030002

Abstract The climate change characteristics in Shuozhou of Shanxi province in recent 51 years is analyzed in detail by using the data of precipitation and temperature observed by 6 meteorological stations during 1960—2010. The climate variation and anomaly are showed and analyzed by statistic tables and methods of moving average, linear tendency, mutation analysis, etc. The results show that the precipitation in Shuozhou was generally in a decreasing trend in recent 51 years, with a linear decreasing rate of $-6.21 \text{ mm}/(10 \text{ a})$, which is lower than that in Shanxi or in the whole nation. The wet years were mostly in 1960s or 1970s, while the dry years were roughly scattered in the whole period. As for the seasonal variation, precipitation decreased in summer and increased in the other 3 seasons, indicating that the annual precipitation decreasing trend is mainly due to the decreased summer precipitation. Yet, no obvious mutation is found in annual or seasonal precipitation variation. The temperature in Shuozhou was generally in a fluctuant increasing trend in recent 51 years, with a linear increasing rate of $0.285 \text{ }^\circ\text{C}/(10 \text{ a})$, which is significantly higher than that in Shanxi or in the whole nation. The warming trend is more obvious since 1990s. The temperature is in increasing trend in all the 4 seasons with different increasing range, and temperature rises most significantly in winter with increasing rate of $0.5 \text{ }^\circ\text{C}/(10 \text{ a})$. Significant mutations are found in annual and seasonal average temperature variations. The climate in Shuozhou during 1960—2010 can be divided into two periods, namely cool period before mid-1990s, and warm period after mid-1960s.

Key words climate change; precipitation; temperature; trend; mutation analysis