

榆林市 1951—2012 年气温变化特征

胡亚飞¹, 包光^{1,2}, 王红桃¹

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: 榆林位于我国北方农牧交错带中部, 生态环境脆弱, 是全球变化响应的敏感地区。基于榆林市气象站 1951—2012 年历年逐日气温数据, 运用线性回归分析、滑动平均、小波分析和 M-K 非参数检验的方法分析了该地区气温变化的特征和突变现象。结果表明: 榆林市 1951—2012 年平均气温有增温趋势, 线性倾向率为 $0.27^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。四季均在增温, 其线性倾向率分别为 $0.26^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.07^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.21^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.56^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, 冬季增温最为明显, 增加了 2.8°C 。年平均气温存在准 3—7 a 和 25—28 a 的周期变化, 并在 1994 年前后发生突变。春季、秋季、冬季平均气温与年平均气温一致, 增温趋势明显, 而夏季相对较晚。

关键词: 气温; 小波分析; 突变分析; 榆林市

Analysis on air temperature variation trend in Yulin from 1951 to 2012

HU Yafei¹, BAO Guang^{1,2}, WANG Hongtao¹

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 Yulin is located in the middle of the patterns in northern China, with a fragile ecological environment, is a sensitive area of global change responses. **Materials and methods** Based on meteorological stations in Yulin, 1951—2012 calendar year daily air temperature data, using linear regression analysis, moving average, wavelet analysis, and Mann-Kendall to analyze the characteristics of temperature changes in the region and mutation phenomena. **Results** The results show that the average temperature was increasing during 1951—2012, and the linear tendency rate was $0.27^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$. The annual average temperature has revealed the 3 to 7 and 25 to 28 quasi-periodic variation in the past 60 years, and the abrupt change has occurred in 1994. In temperature, the four seasons in linear trend rate were $0.26^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,

收稿日期: 2016-10-28; 录用日期: 2016-12-24

Received Date: 2016-10-28; Accepted Date: 2016-12-24

基金项目: 陕西省青年科技新星计划项目 (2016KJXX-41); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目 (2014JQ5192); 国家自然科学基金项目 (41301101); 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金项目 (SKLLQG1505, SKLLQG1302)

Foundation Item: Young Scientist Project of Shaanxi Province (2016KJXX-41); Natural Science Basic Research Plan in Shaanxi Province of China (2014JQ5192); National Natural Science Foundation of China (41301101); Project of State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology (SKLLQG1505, SKLLQG1302)

通信作者: 包光, E-mail: baoguang23@163.com

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

引用格式: 胡亚飞, 包光, 王红桃, 等. 2017. 榆林市 1951—2012 年气温变化特征 [J]. 地球环境学报, 8(2): 127—136.

Citation: Hu Y F, Bao G, Wang H T, et al. 2017. Analysis on air temperature variation trend in Yulin from 1951 to 2012 [J]. *Journal of Earth Environment*, 8(2): 127—136.

$0.07^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, $0.21^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, $0.56^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$. Spring, autumn, winter mean temperature and annual average temperature, warming trend is obvious, but relatively late in summer. **Discussion** Due to the geographical position of Yulin, prone to drought, fragile ecological environment, in addition to the temperature affected by the atmospheric circulation, El Niño and La Niña and other natural factors, but also the existence of man-made factors. **Conclusions** In general, from the beginning of twenty-first century, a downward trend in the basis of temperature in the city of Yulin will maintain the high temperature, The annual average temperature has revealed the 3 to 7 and 25 to 28 quasi-periodic variation, and the abrupt change has occurred in 1994. The four seasons are in increasing temperature, the most obvious increase in winter temperature, increase of 2.8°C . **Recommendations and perspectives** Analysis on the characteristics of temperature variation in Yulin, not only provides a theoretical basis for the development of agriculture and animal husbandry industry in the region, provide a theoretical basis for understanding the Maowusu Desert and its surrounding areas of environmental change, desertification and climate change science. In order to have a deep understanding of the forecast of the future temperature change and the response of the ecological environment in the region.

Key words: temperature; wavelet analysis; abrupt change; Yulin

工业革命以来,随着城市化、工业化的快速发展,加之人类的不合理活动,促使气候变化尤其是气温变化受到广泛关注。IPCC 第五次评估报告 (AR5) 指出:1880—2012 年全球平均地表温度升高了 0.85°C (IPCC, 2013)。许多学者对我国近百年的气温做了研究,西北地区年和季节均有增温趋势,20 世纪 80 年代到 20 世纪 90 年代为增暖期,主要表现在冬季较为明显 (任国玉等, 2005; 王劲松等, 2008; 晏利斌, 2015)。而气候变化也随之产生了一些生态和环境问题,如水土流失,沙漠化严重等。榆林市位于中国西北农牧交错带中部,生态环境脆弱,也是全球变化响应的敏感地区。气温作为气候要素重要的影响因子,对气候波动、生态变化和农业生产有着非常重要的影响 (王遵娅等, 2004)。目前对榆林地区气候学术论文较多,但大多集中在区域水资源和旱、涝灾害分析等方面,对榆林市气候的研究大都截止在 20 世纪末,对近十几年的气温变化研究不足 (李琰等, 2011; 方兰和延军平, 2012; 杨强等, 2012)。王晓冬和延军平 (2002) 分析了陕甘宁老区近 30 年气候变化,发现榆林地区有显著的变暖趋势。本文选取 1951—2012 年的日平均气温数据,系统地分析榆林市近 60 年来气温的变化趋势,以期对该地区未来气温变化趋势的预测和生态环境的响应有深刻的认识。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

榆林市位于陕西省的最北部,黄土高原和毛

乌素沙地交界处,是黄土高原与内蒙古高原的过渡区。地理坐标:北纬 $36^{\circ}57'$ — $39^{\circ}35'$,东经 $107^{\circ}28'$ — $111^{\circ}15'$ 。属于典型的温带半干旱大陆性季风气候,年平均气温为 8.23°C ,气温四季明显,春温大于秋温,春季升温快而不稳定,秋季降温迅速,冬季受北方冷气团控制气温低、气压高、天气晴朗。

1.2 资料与方法

选用榆林市气象局提供的榆林气象站 1951—2012 年逐日地面气温的观测资料。文中季节的划分采用通用的气象标准:以 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月一次年的 2 月为冬季。

本文利用一元线性回归分析方法和 5 a 滑动平均法对榆林市 1951—2012 年间年 (季及单月) 平均气温进行了趋势分析,并采用复值 Morlet 小波分析 (魏凤英, 2007) 对气温的周期进行了研究。最后采用 Mann-Kendall 非参数检验法对气温进行了突变分析 (显著性水平取 $\alpha=0.05$) (王体健和万静, 2008)。

2 结果与分析

2.1 气温的年代际变化及距平分析

由图 1 和图 2 可知,从 20 世纪 50 年代中期至 20 世纪 90 年代中期,多数年份的年平均气温在平均值以下。但是在 20 世纪 90 年代后期却呈逐渐上升趋势,1951—2012 年平

均气温为 8.23°C , 其中 1956 年平均气温最低 5.88°C , 而 2006 年平均气温最高 10.35°C 。

总体来说榆林市 1951—2012 年平均气温增温比较明显。

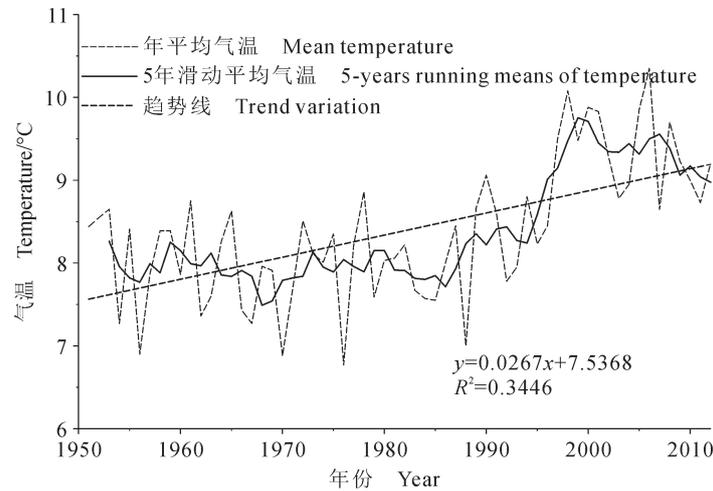


图1 榆林市 1951—2012 年平均气温趋势

Fig.1 Variation of annual mean temperature in Yulin during 1951—2012

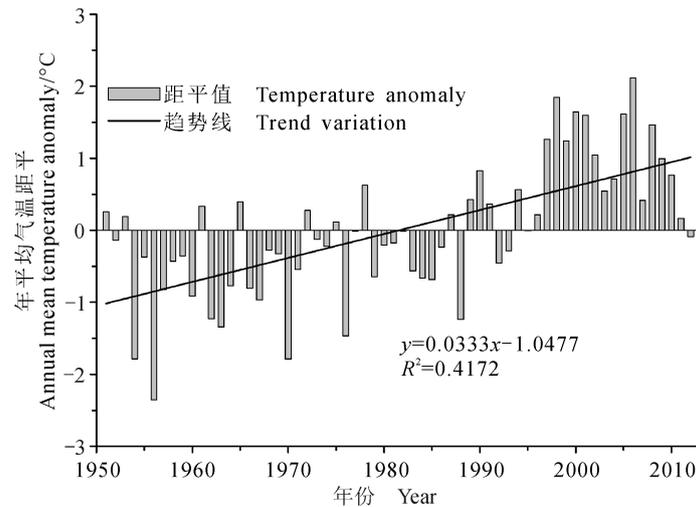


图2 年平均气温距平图

Fig.2 Changes of temperature anomaly

(1) 当年份与年平均气温的线性相关系数通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验, 一元线性回归 $y=0.02691x-44.943$ 有意义, 回归系数大于 0, 则说明榆林市气温整体呈上升趋势, 线性倾向率为 $0.27^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。

(2) 5 a 滑动平均曲线反映年平均气温的多年尺度变化, 图 1 结果显示: 从 20 世纪 50 年代到 20 世纪 80 年代气温变化波动比较平稳, 处于

相对稳定时期; 而从 20 世纪 90 年代开始气温显著上升, 近 20 年来气温平均升高 0.89°C , 上升幅度 $0.49^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。

(3) 表 1 和图 2 表明: 20 世纪 60 年代、20 世纪 70 年代、20 世纪 80 年代的平均气温非常接近 (7.9°C), 比近 60 年的平均气温低 0.33°C , 出现负距平; 但是自 20 世纪 90 年代后期, 气温距平值呈现上升趋势。其中 21 世纪初期增加最为明显, 约

增加 1.22℃；其中 1956 年是近 60 年来最冷的一年，平均气温为 5.88℃，比常年平均气温低了 2.35℃，2006 年为最暖的一年，平均气温为 10.35℃。

2.2 各季节平均气温的分析

由表 1 可知，榆林市近 60 年各个季节多年平均气温分别为 10.12℃、22.20℃、8.44℃、-6.99℃，各季平均气温的变化趋势见图 3 a—d，从中看出，榆林市四季的气温呈现上升趋势，但是不同季节平均气温变化与气温倾向率均不相同。四季平均气温线性趋势拟合冬季最好 ($R^2=0.336$)，春季次之 ($R^2=0.25$)，均通过 95% 的置信度检

验，秋季年份与平均气温的线性相关系数通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验，回归方程有意义。夏季线性相关不明显，则不具有研究价值。近 60 年，以冬季增温最为明显 ($0.556^\circ\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$)，其次为春季 ($0.257^\circ\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$)，秋季 ($0.205^\circ\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$)，夏季增温幅度最小 ($0.07^\circ\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$)。由表 1 可知，20 世纪 90 年代起季节平均气温均高于多年均值。2000—2009 年冬季平均气温为 -4.75°C ，比常年均值要高 2.24℃，处于一个暖冬时期；2004 年春季平均气温高达 11.8℃，比常年偏高 1.68℃，是近 60 年来春季最暖的一年。

表 1 气温的年代变化 (单位: °C)
Tab.1 Decadal change of temperature (unit: °C)

年份 Year	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	全年 Annual
1951—1959	9.61	22.15	8.22	-7.60	8.10
1960—1969	9.90	22.01	8.02	-8.38	7.9
1970—1979	9.60	22.00	7.92	-8.01	7.90
1980—1989	9.88	21.62	7.9	-7.32	7.92
1990—1999	10.37	22.46	8.59	-6.26	8.79
2000—2009	11.12	22.29	9.13	-4.75	9.45
2010—2012	10.35	22.88	9.3	-6.64	8.97
平均 Mean	10.12	22.20	8.44	-6.99	8.23

以上这些变化说明，近 60 年榆林市春、秋、冬季增温大于年增温，这是由于不同季节气温变化不同所导致。榆林市暖冬的趋势越来越明显，且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。

2.3 最冷月 (1 月)、最热月 (7 月) 的平均气温分析

近 60 年来，榆林市 1 月平均气温为 -9.38°C ，其中最高气温为 -4°C (2002 年)、最低气温为 -14.38°C (1993 年)，相差 10.4℃；7 月平均气温为 23.47°C ，最高为 25.92°C 、最低为 21.25°C ，相差 4.67℃。图 4 为榆林市 1951—2012 年 1 月和 7 月平均气温变化趋势图，1 月平均气温呈现上升趋势，气温倾向率为 $0.33^\circ\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ，小于冬季升温率 ($0.556^\circ\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$)，近 60 年来约上升了 1.5℃。从 5 年滑动平均曲线可以看出，图 4b 和图 3c 中 7 月平均气温变化趋势和历年夏季平均气温变化趋势相似。

表 2 反映了 1 月和 7 月气温年代际变化特

征。1 月份平均气温总体上呈现逐年上升趋势，尤其是在 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，最低气温呈现“降—升—降”的趋势，其中 2000—2009 年的平均最低气温为 -4°C ，是近 60 年来 1 月各年代的最高平均气温，比历年平均气温高了 5.38℃；从上文可知 7 月各年代平均气温的变化趋势和夏季趋同，随着全球气温进入暖干时期，20 世纪 80 年代为气温的转折点 (袁新田, 2015)，平均气温先降低后升高，由 20 世纪 50 年代的 25.92°C 降到 20 世纪 80 年代的 23.54°C ，再上升到 21 世纪初的 25.71°C ，其中 20 世纪 50 年代最高气温为各年代最大，比 7 月常年平均气温高 2.45℃。结合图 4 和表 2 中的标准差，可以看出夏季 7 月份气温变化比较大，而 1 月份气温相对稳定。

2.4 年平气温的小波分析

本文中用到的气温数据均为实测有限时间序列，因此，序列两端可能会出现“边界效应” (吴国曾, 2010)。为了消除或减少这种效应，需对两

端数据进行延伸。文中采用 Matlab R2013a 小波工具箱中的信号延伸功能, 对年平均气温距平两端进

行对称性扩展, 在进行完小波变换后, 去掉两端延伸的数据, 保留原数据序列时段内的小波系数。

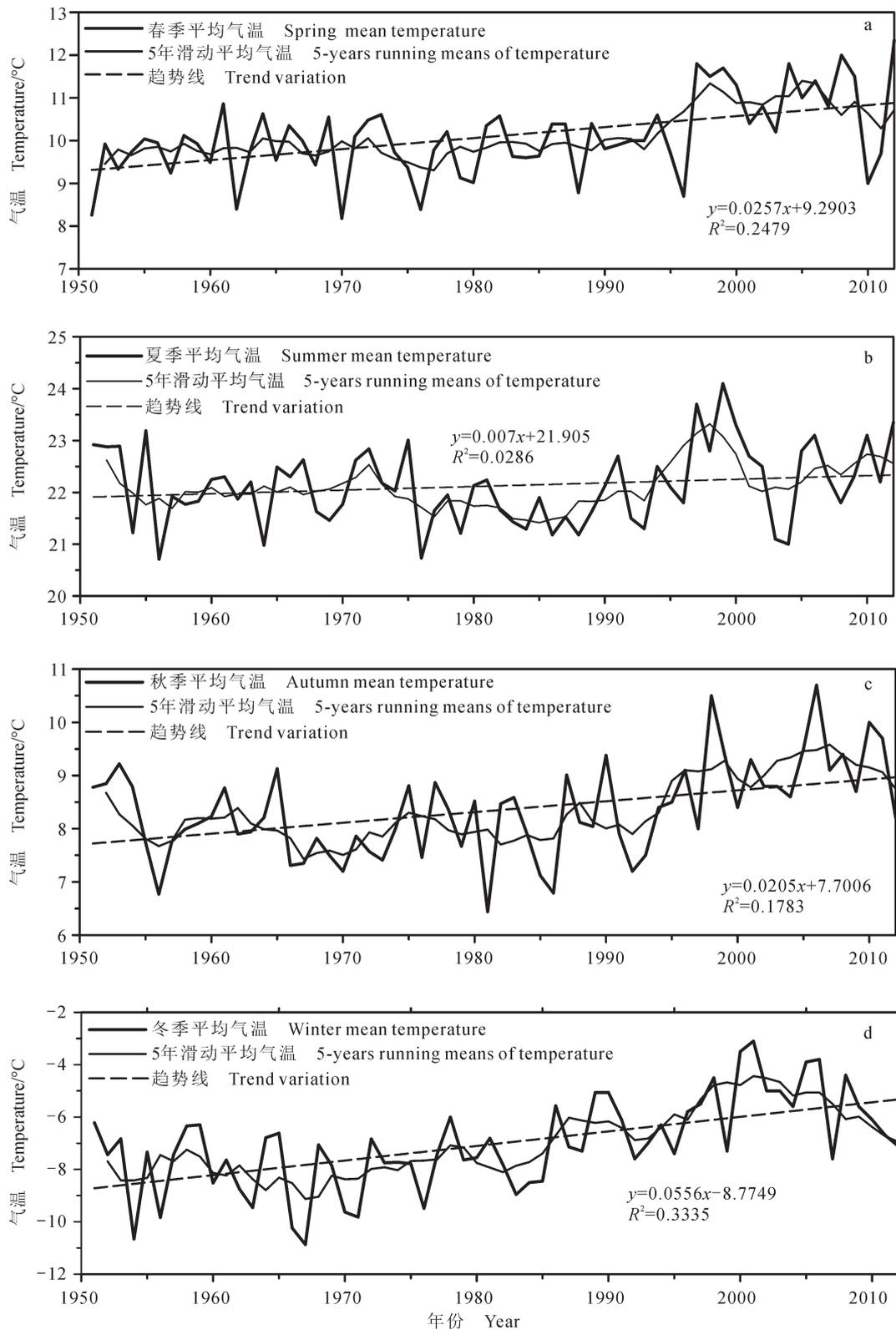


图 3 1951—2012 年榆林市平均气温季节变化趋势
 Fig.3 Seasonal variation trend of mean temperature in Yulin during 1951—2012

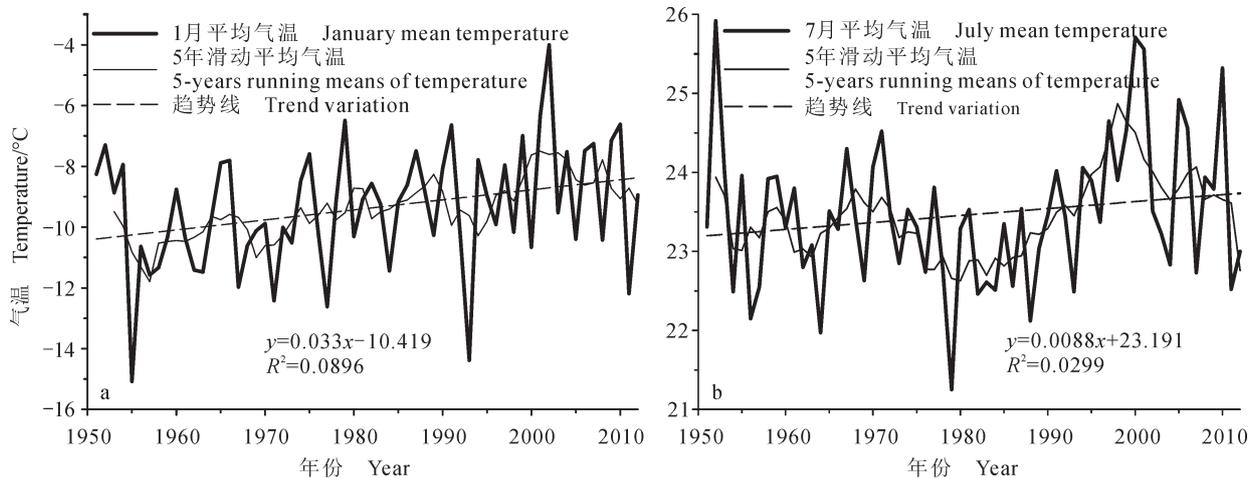


图 4 榆林市 1951—2012 年 1 月 (a) 和 7 月 (b) 平均气温变化趋势
Fig.4 Variations of mean temperature of January (a) and July (b) in Yulin during 1951—2012

表 2 榆林市 1951—2012 年 1 月和 7 月平均气温、最低及最高气温年代变化、标准差
Tab.2 January and July average temperature, minimum and maximum temperature change and standard deviation in Yulin during 1951—2012

年份 Year	1 月 January		7 月 July	
	平均气温 Mean temperature /°C	最低气温 Minimum temperature /°C	平均气温 Mean temperature /°C	最高气温 Maximum temperature /°C
1951—1959	-10.15	-7.38	23.59	25.92
1960—1969	-10.01	-7.81	23.21	24.30
1970—1979	-9.74	-6.49	23.23	24.52
1980—1989	-9.30	-7.50	22.90	23.54
1990—1999	-9.12	-6.64	23.78	24.65
2000—2009	-8.08	-4.00	24.08	25.71
2010—2012	-9.25	-6.61	23.62	25.32
多年平均 Annual mean	-9.38		23.47	
标准差 Standard deviation	0.91		1.97	

由图 5 可以看出榆林市气温变化存在多时间尺度特征 (卢爱刚和王瑛, 2012), 总体上, 气温变化存在 3—7 a 和 25—29 a 2 个尺度的周期变化。其中 25—29 a 尺度上出现了 2 次高一低气温交替变换, 同时, 可以看出 25—29 a 尺度周期变化范围大致为 20 世纪 60 年代到 20 世纪 90 年代; 而在 3—7 a 尺度上存在准 12 次的震荡, 并且 3—7 a 尺度周期变化相对比较稳定。

小波方差能反映出信号波动的能量随尺度年

份的分布 (卢爱刚和王瑛, 2012)。图 6 年平均气温的小波方差图存在 4 个较为明显的波峰, 分别对应 6 a、12 a、18 a 和 28 a 的时间尺度。其中, 最大峰值为 28 a 的时间尺度, 说明 28 a 左右周期震荡强烈, 对小波方差贡献大, 为榆林市平均气温变化的第 1 主周期; 而第 4 峰值为 6 a 的时间尺度, 其能量震荡较弱, 对小波方差贡献小。从而说明了以上 4 个周期的波动控制着榆林市年平均气温在 63 年时间段的主要变化特征。

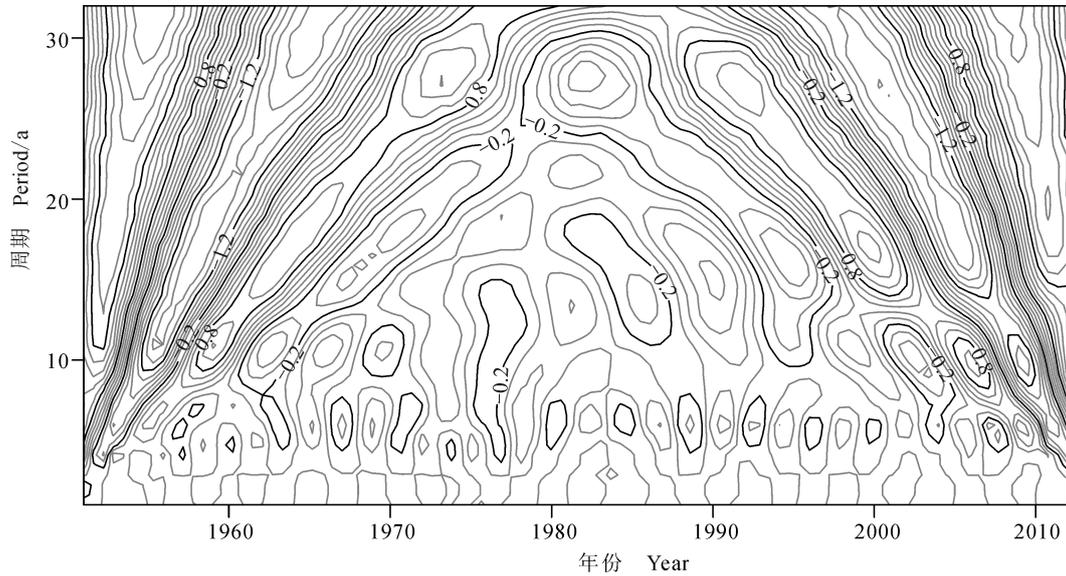


图5 Morlet小波变换系数实部等值线图

Fig.5 Contour map of the real part of Morlet wavelet transform coefficients

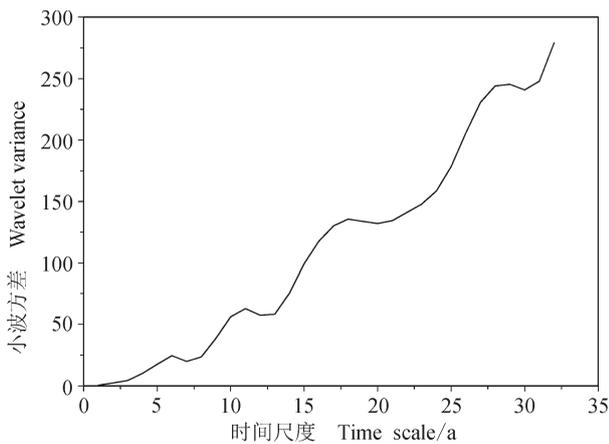


图6 年平均气温距平序列小波方差

Fig.6 Annual mean temperature anomaly sequence wavelet variance

2.5 气温变化的突变性分析

2.5.1 年平均气温的突变分析

采用 Mann-Kendall 检验方法绘制了榆林市年平均气温时间序列的 M-K 统计量曲线显著性水平 $\alpha=0.05$ (上下限临界值 $Z=\pm 1.96$) (图 7)。当 UF 值大于 0 时, 该序列呈现上升趋势。当 UF 值小于 0 时, 该序列呈现下降趋势; 而通过计算得出 $Z=4.92>2.56>1.96$, 也表明榆林市气温呈现显著上升的趋势。由 Mann-Kendall 的突变分析方法可知: 若 UF 和 UB 两曲线出现交点, 且交点在上下限临界值之间, 则该点对应的的时间就是突变开

始的时间 (张涵丹等, 2015)。

从图 7 可知, 榆林市气温从 1994 年开始发生突变 (通过了显著性水平 $\alpha=0.05$ 的检验), 1951—1994 年平均气温为 7.81°C , 而 1994—2012 年平均气温为 9.19°C , 相差 1.38°C 。此后, 气温出现了明显的递增趋势。1994 年之前 UF 曲线呈现波动, 没有显著的上升和下降趋势, 但从 1994 年之后呈现上升趋势, 2000—2012 年升温超过了显著性水平界限 $\alpha=0.05$, 甚至超过了显著性水平界限 $\alpha=0.01$ (± 2.56), 更进一步说明了榆林市年平均气温显著上升。

2.5.2 各季节平均气温的突变分析

由图 8 可知, 榆林市春季 UF 值从 2000 年开始大于 1.96, 说明榆林市春季气温在 2000 年后显著上升; UF 线和 UB 线在 1994 年相交, 交点在 ± 1.96 的置信区间内, 则 2000 年榆林市春季气温突变上升。夏季 UF 线和 UB 线在 2011 年相交于置信区间内, 说明榆林市夏季气温出现突变上升。秋季 UF 值从 2000 年开始大于 0, 2005 年开始大于 1.96, 说明榆林市秋季气温在 2005 年后显著上升; UF 线和 UB 线在 20 世纪 90 年代末相交于置信区间内, 说明 20 世纪 90 年代末榆林市秋季气温出现突变, 且突变点为 1999 年。冬季 UF 值从 1987 年开始大于 0, 1997 年开始大于 1.96, 说明近 20 年榆林市冬季变暖趋势明显; UF 线和 UB 线相交于置信区间内, 突变点为 1990 年, 说明榆林

市冬季变暖的突变从 1990 年开始。春季、秋季、冬季平均气温与年平均气温突变均发生在 20 世纪

90 年代, 但是夏季平均气温上升的突变点比年平均气温突变要晚 7 年。

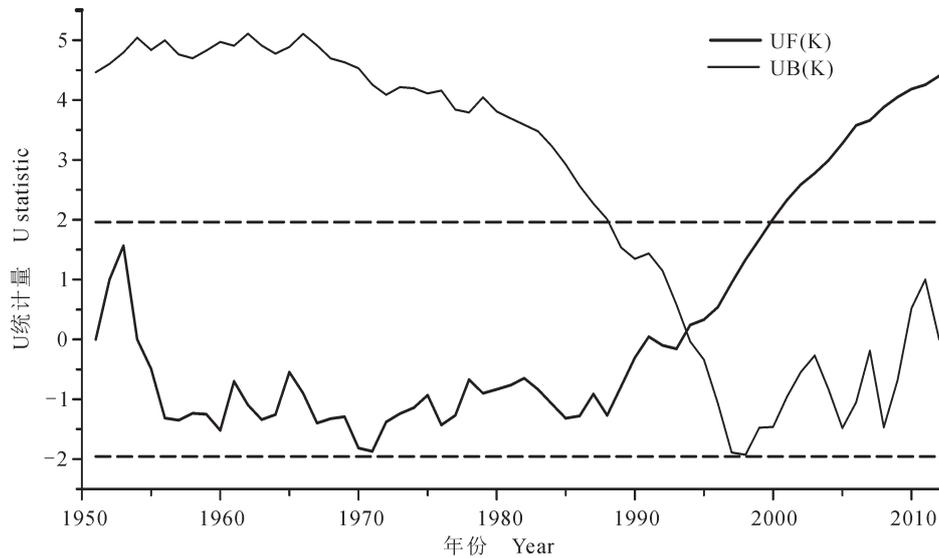


图 7 榆林市年平均气温的 Mann-Kendall 检测曲线

Fig.7 Mann-Kendall statistical analysis curve of the annual mean temperature in Yulin during 1952—2012

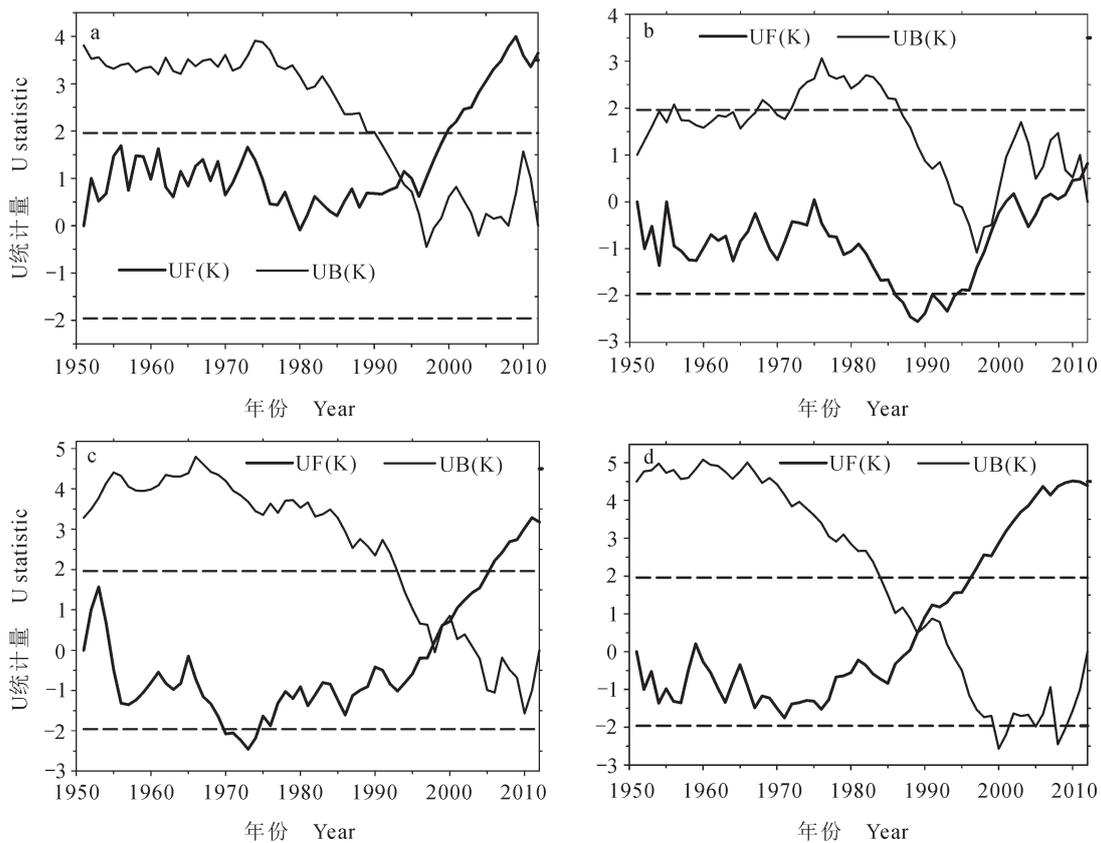


图 8 榆林市各季节平均气温的 Mann-Kendall 检测曲线

Fig.8 Mann-Kendall statistical analysis curve of the seasonal mean temperature in Yulin during 1951—2012

2.5.3 最冷月和最暖月平均气温的突变分析

从榆林市最冷月(1月)和最暖月(7月)平均气温的 Mann-Kendall 检测曲线(图9)可以看出,最冷月 UF 值从 1980 年开始大于 0,从 2000 年开始大于 1.96,说明榆林市最冷月平均气温从 2000 年开始明显上升;UF 线和 UB 线

1986 年相交于置信区间内,说明榆林市最冷月平均气温从 1986 年开始突变上升。最暖月 UF 值从 1998 年开始大于 0,说明榆林市从 21 世纪初开始增温;UF 线和 UB 线 1994 年相交于置信区间内,说明榆林市最暖月平均气温从 1994 年开始突变上升。

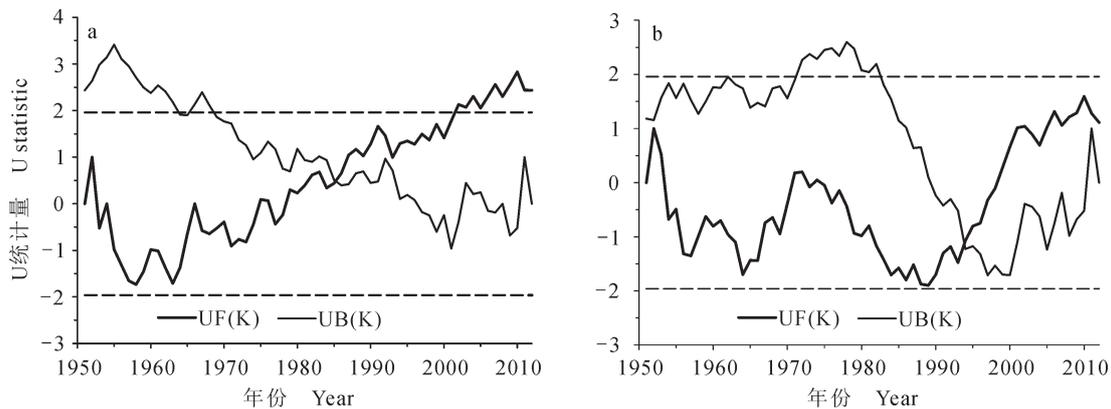


图9 榆林市最冷月(1月)和最暖月(7月)平均气温的 Mann-Kendall 检测曲线
Fig.9 Mann-Kendall statistical analysis curve of January and July in Yulin during 1952—2012

3 讨论与结论

由于榆林市所处的地理位置,易发生干旱,生态环境脆弱。在城市化、工业化和经济发展迅速的人口密集区,气候变化将增加对自然资源和环境压力(秦大河等,2007)。总的来说,从图1中可以看出,从21世纪初开始,在未来榆林市气温维持温度偏高的基础上呈下降趋势。气温除了受大气环流、厄尔尼诺和拉尼娜(李黎黎和赵景波,2012)等自然因素的影响之外,同时也存在人为因素的影响,但后者研究较少。因此,对榆林市气温特征变化的分析,不仅为该地区农牧业的发展提供了理论基础,也对科学认识毛乌素沙漠及其周边地区的环境变化、荒漠化和气候演变等提供了理论依据。

在全球变暖背景下,通过对榆林市近60年气温变化的分析,可初步得出以下结论:

(1) 榆林市年平均气温增温趋势较明显,气温倾向率为 $0.27^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。以1990年为界,后期增温显著,其中2000—2009年气温升幅最大,比多年平均气温增加 1.22°C 。

(2) 四季平均气温变化均呈上升趋势,但表现不同步,尤以冬季最为显著。冬、春、秋三季平均气温倾向率分别为 $0.556^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、

$0.257^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 、 $0.205^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。其中冬季和春季在20世纪90年代后期升温较明显,而夏季则以20世纪80年代为转折点,平均气温先降低再升高。

(3) 1月平均气温呈现上升趋势,气温倾向率为 $0.33^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$,小于冬季升温率($0.556^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$),在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,最低气温呈现“降—升—降”的趋势。7月平均气温变化趋势和历年夏季平均气温变化趋势相似,呈现“降—升—降”的变化。

(4) 榆林市年平均气温存在准3—7a和25—28a的周期变化,其中25—28a为主周期;而在3—7a尺度上存在准12次的震荡,并且3—7a尺度周期变化相对比较稳定。

(5) Mann-Kendall 检验显示,榆林市1951—2012年平均气温在1994年左右发生突变,且此后气温上升明显。春季、秋季、冬季平均气温与年平均气温一致,增温趋势明显,但是夏季相对较晚;冬季对气候变暖响应最为敏感,夏季对气候变暖响应较缓慢。

参考文献

方 兰,延军平. 2012. 近50年来榆林市气候变化特征及

- 其对气候生产力的影响研究[J]. *江西农业学报*, 24(5): 148–152. [Fang L, Yan J P. 2012. Study on characteristic of climatic variation in Yulin City in recent 50 years and its impact on climate productivity [J]. *Acta Agriculture Jiangxi*, 24(5): 148–152.]
- 李黎黎, 赵景波. 2012. 厄尔尼诺 / 拉尼娜事件对陕西省榆林地区气候的影响[J]. *水土保持通报*, 4(32): 112–116. [Li L L, Zhao J B. 2012. Effects of El Niño/La Niña events on climate of Yulin Area of Shaanxi Province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 4(32): 112–116.]
- 李 琰, 刘晓琼, 赵昕奕. 2011. 陕西省榆林市气候变化特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 25(1): 157–161. [Li Y, Liu X Q, Zhao X Y. 2011. Climatic change in Yulin, Shaanxi Province [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 25(1): 157–161.]
- 卢爱刚, 王 瑛. 2012. 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*, 26(1): 60–62. [Lu A G, Wang Y. 2012. Analysis on temperature and precipitation variations of Yan'an City in the recent 60 years [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 26(1): 60–62.]
- 秦大河, 罗 勇, 陈振林, 等. 2007. 气候变化科学的最新进展: IPCC 第四次评估综合报告解析[J]. *气候变化研究进展*, 3(6): 311–314. [Qin D H, Luo Y, Chen Z L, et al. 2007. Latest advances in climate change sciences: Interpretation of the synthesis report of the IPCC fourth assessment report [J]. *Advances in Climate Change Research*, 3(6): 311–314.]
- 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*, 1(4): 701–706. [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*, 1(4): 701–706.]
- 王劲松, 费晓玲, 魏 锋. 2008. 中国西北近 50 年来气温变化特征的进一步研究[J]. *中国沙漠*, 28(4): 724–735. [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): 724–735.]
- 王体健, 万 静. 2008. 长江三角洲地区近 50 年的气温变化特征分析[J]. *暴雨灾害*, 27(2): 109–113. [Wang T J, Wan J. 2008. Air temperature variation in recent 50 years over Yangtze River Delta Region [J]. *Torrential Rain and Disasters*, 27(2): 109–113.]
- 王晓冬, 延军平. 2002. 近 30 年陕甘宁老区气候变暖空间分布比较研究[J]. *干旱区资源与环境*, 16(3): 47–50. [Wang X D, Yan J P. 2002. Space distribution of climate warming in Shaan-Gan-Ning region [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 16(3): 47–50.]
- 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 Meteorological Sinica*, 62(2): 228–236.]
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计与预测技术(第二版)[M]. 北京: 气象出版社: 1–296. [Wei F Y. 2007. Modern climate statistics and prediction technology (2nd Edition) [M]. Beijing: China Meteorological Press: 1–296.]
- 吴国曾. 2010. 实时信号小波分析中边界处理方法及应用[D]. 郑州: 郑州大学. [Wu G Z. 2010. Method and application of border processing in real-time signal wavelet analysis [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University.]
- 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.]
- 杨 强, 覃志豪, 王 涛, 等. 2012. 榆林地区 1970—2010 年气候因子变化特征分析[J]. *干旱区地理*, 35(5): 695–707. [Yang Q, Qin Z H, Wang T, et al. 2012. Characteristics of climate factor change in Yulin Region during 1970—2010 [J]. *Arid Land Geography*, 35(5): 695–707.]
- 袁新田. 2015. 合肥市 1961—2010 年最高气温、最低气温变化特征分析[J]. *井冈山大学学报*, 36(5): 48–52. [Yuan X T. 2015. Change features analysis of maximum and minimum temperature from 1961—2010 in Heifei City [J]. *Journal of Jinggangshan University (Natural Science)*, 36(5): 48–52.]
- 张涵丹, 卫 伟, 薛 蕙. 2015. 基于 R/S 分析和 Mann-Kendall 检验的定西市气温降水变化特征[J]. *水土保持研究*, 22(6): 183–189. [Zhang H D, Wei W, Xue S. 2015. Analysis on the variation of temperature and precipitation in Dingxi based on R/S and Mann-Kendall test [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 22(6): 183–189.]
- IPCC. 2013-09-30[2016-09-19]. Climate change 2013: the physical science basis [EB/OL]. <http://www.Ipcc.ch/report/ar5/wgl>.