

近60年宝鸡市主城区极端天气变化特征分析

许小明¹, 徐玉霞¹, 雷雯²

(1. 宝鸡文理学院 陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室, 陕西 宝鸡 721013;

2. 宝鸡市气象局, 陕西 宝鸡 721006)

摘要: 全球气候变暖背景下研究极端天气发生规律对了解地区气候变化特征与提高区域防灾减灾能力具有重要的现实意义。以宝鸡市主城区1953-2013年逐日气温和降水资料为基础,运用线性倾向估计法、距平分析、异常度分析和Morlet小波分析等统计学方法研究其变化特征,并探讨了区域气候变化与极端天气事件的相关关系。结果表明:近60年宝鸡市主城区极端气温指标中极端最高气温、夏季日数和热夜日数均呈现出上升的趋势,极端最低气温、冰冻日数、霜冻日数表征为下降的趋势;近60年宝鸡市主城区年降水量与年极端最高降水量总体上呈减少的趋势;热夜日数存在11~14 a和26~28 a 2个时间尺度的周期变化,与太阳活动周期关系密切;霜冻日数存在阶段性变化周期。区域气候变暖、气候变率与极端天气事件的发生频率具有较高的相关性,但并不存在必然的联系。总体来看,近60年宝鸡市主城区气候向暖干化趋势发展,但也不能忽视极端强降水事件、低温霜冻等灾害的发生,相关部门应提高警惕以最大程度降低灾损。

关键词: 极端天气; 气温; 降水; 变化特征; 小波分析; Pearson相关分析; 宝鸡市主城区

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)01-0067-08

Characteristics of extreme weather change in the main urban areas of Baoji City nearly 60 years

XU Xiaoming¹, XU Yuxia¹, LEI Wen²

(1. Shaanxi Key Laboratory of Disasters Monitoring & Mechanism Simulation, Baoji University of Arts and

Sciences, Baoji 721013, China; 2. Baoji Meteorological Bureau, Baoji 721006, China)

Abstract: Under the background of global warming, it is of great significance to study the regularity of extreme weather in order to understand the characteristics of regional climate change and improve the ability of disaster prevention and mitigation. Based on the daily temperature and precipitation data from 1953 to 2013 in Baoji main urban area, the variation characteristics were analyzed by means of linear tendency estimation, distance-leveling analysis, anomaly analysis and Morlet wavelet analysis, and the correlation between regional climate change and extreme weather events was discussed. The results showed that: The trend of extreme maximum temperature, the number of Summer days and the number of hot nights of the extreme temperature index was increasing in the main urban areas of Baoji City in the past 60 years. Extreme minimum temperature, frozen days and days of frost were characterized by declining trend. The annual precipitation and annual extreme precipitation in the main urban areas were decreasing generally of Baoji City in the past 60 years. Days of hot nights had a periodic change of two time scales of 11-14 a and 26-28 a, which was closely related to solar activity cycle. Days of frost had a periodic changing cycle. There was a high correlation between regional climate warming and climate change rate and occurrence frequency of extreme weather events, but there was no inevitable connection. On the whole, the climate has been warming and drying in the main urban areas of Baoji City in the past 60

收稿日期: 2017-08-24; 修回日期: 2017-09-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071359); 陕西省重点实验室项目(16JS005); 陕西省社会科学基金项目(2015D057); 宝鸡文理学院重点项目(ZK16014); 陕西省重点学科自然地理学项目

作者简介: 许小明(1990-), 男, 山西广灵人, 硕士研究生, 研究方向为自然地理与区域防灾减灾研究。

通讯作者: 徐玉霞(1978-), 女, 陕西榆林人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事自然地理与区域防灾减灾研究及教学工作。

years, but the occurrence of extreme heavy precipitation events, low-temperature frost and other disasters should not be ignored. Therefore, relevant departments should be vigilant to minimize disaster damage.

Key words: extreme weather; temperature; precipitation; change characteristics; wavelet analysis; Pearson correlation analysis; main urban area of Baoji City

IPCC (2007)第四次评估报告指出,近百年来全球地表平均气温上升了 0.74°C ,近50年的线性增暖趋势表现为平均每10年升高 0.13°C ,升温较过去明显加快^[1]。其中1850年以来最暖的12个年份中有11个出现在1995-2006年。继IPCC (2007)第四次评估,经过6年的调查和观测,IPCC (2013)第五次评估报告再次确认了这一事实^[2]。近年来,地区极端气候变化特征、气候变化与极端天气事件二者之间的联系机制引起了广泛关注。Beniston等^[3]用3种标准来定义极端天气事件,以反映其基本发生特征。David等^[4]将极端气候事件归为两类,分别为基于简单的气候统计学而每年均会发生的事件以及直接由事件发生与否来决定但某个给定的地区并不是每年都会发生的事件。潘晓华^[5]、翟盘茂等^[6]对近50年中国极端气温和降水事件变化规律的研究表明,极端气候事件发生的频率越来越高,气候变化并不是简单的表征为平均要素的变化,也表现为极端气候事件在时空分布和强度上的变化。周雅清等^[7]、曹玲等^[8]、李进虎等^[9]以及其他学者^[10-12]利用统计学方法分别对中国大陆、河西走廊、青海海南地区、锡林河流域等不同尺度区域极端天气气候事件的变化特征进行了分析。近年来,一些学者对宝鸡市气候变化特征已有所关注^[13-17],但针对宝鸡市主城区的极端天气变化的研究较少。本文依据世界气象组织(WMO)划定的极端天气指数标准,并参照已有研究成果,选取了6个极端气温指标,结合研究区降水数据,分析了近60年宝鸡市主城区极端天气变化特征及其与区域气候之间的关系,以期为该区工农业发展及防灾减灾提供一定的参考依据。

1 研究区概况

宝鸡市界于东经 $106^{\circ}18' \sim 108^{\circ}03'$,北纬 $33^{\circ}35' \sim 35^{\circ}06'$ 之间,地处陕西、甘肃、宁夏、四川4省(区)结合部。其中市域下辖陈仓、渭滨和金台3区,涵盖 $3\,625\text{ km}^2$ 。主城区西起福谭路,东至虢磻路,北达引渭灌渠,南抵秦岭南麓。宝鸡市主城区属典型暖温带半湿润气候,四季分明。年平均气温在 13°C 左右,年平均降水量为 $600 \sim 800\text{ mm}$,降水集中在7-9月,占全年降水总量的60%左右,是关

中盆地降水分布最多的区域。受降水年季、季节分配不均影响,干旱、暴雨洪涝、冰雹等构成了本区最主要的气象灾害形式^[18-19]。近年来,随着主城区不断外拓和人类影响程度的增强,城区下垫面及区域小气候变化波动较大,极端天气事件发生频率增加,灾损程度增强,对正常工农业生产和社会经济发展产生了较大的影响。

2 数据来源与研究方法

本文依据宝鸡市渭滨区气象测站(北纬 $34^{\circ}40'$,东经 $107^{\circ}10'$,海拔 614 m ,于1951年建站)1953-2013年近60年逐日最高气温、最低气温、日降水量实测数据,根据(WMO)划定的20种极端天气指数标准,结合宝鸡市主城区自然地理特征并参照已有研究成果^[7],选取了6项极端气温指标(表1),结合研究区降水数据,运用线性回归分析、距平分析、异常度分析等统计学方法分析了宝鸡市主城区极端气温与极端降水逐年变化特征;借助Morlet小波分析方法对热夜日数和霜冻日数周期变化特征进行了分析。最后利用Pearson相关系数法对研究区极端天气与区域气候之间的相关关系进行了分析。

3 结果与分析

3.1 极端气温逐年变化特征

3.1.1 极值指数的变化特征 图1为近60年宝鸡市主城区极端最高气温和极端最低气温年际变化情况。根据图1(a),从时间角度来看,1953-2013年宝鸡市主城区极端最高气温在总体上呈现出小幅上升的变化特征,速率为 $0.025^{\circ}\text{C}/\text{a}$ (线性拟合斜率),增幅较慢。从年际变化来看,极端最高气温在1993年以前呈现出波动下降的趋势,20世纪60-70年代中期为气候相对暖期,20世纪50年代与75-80年代为气候相对冷期,但1993年至今气温又表现出明显转暖的趋势。

近60年间极端最高气温超过 40°C 的年份有9次,其中1993年后就出现6次,与西北地区气候变暖突变时间基本一致^[16,20],且历史极值出现在2006年(41.7°C)。

1953-2013年宝鸡市主城区极端最低气温变化特征总体上呈现出下降的趋势,其速率为

0.0455℃/a,较极端最高气温变化快。从年际变化来看,极端最低气温值在 20 世纪 90 年代之前表现出波动下降的趋势,20 世纪 90 年代至今表征为波动上升

的趋势。其中近 60 年间极端最低气温低于 -10℃ 的年份有 19 次,历史极值出现在 1955 年(-16.7℃),其次为 1991 年(-16.1℃)(见图 1(b))。

表 1 极端气温指标概念界定

| 分类 | 极端指标 | 代码 | 概念界定 |
|------|----------|-------|------------------|
| 极值指数 | 极端最高气温/℃ | TXID | 日最高气温年最大值 |
| | 极端最低气温/℃ | TNID | 日最低气温年最小值 |
| 绝对指数 | 冰冻日数 | FD(a) | 年内最高气温低于 0℃ 的日数 |
| | 霜冻日数 | FD(b) | 年内最低气温低于 0℃ 的日数 |
| | 夏季日数 | SU | 年内最高气温大于 25℃ 的日数 |
| | 热夜日数 | TR | 年内最低气温大于 20℃ 的日数 |

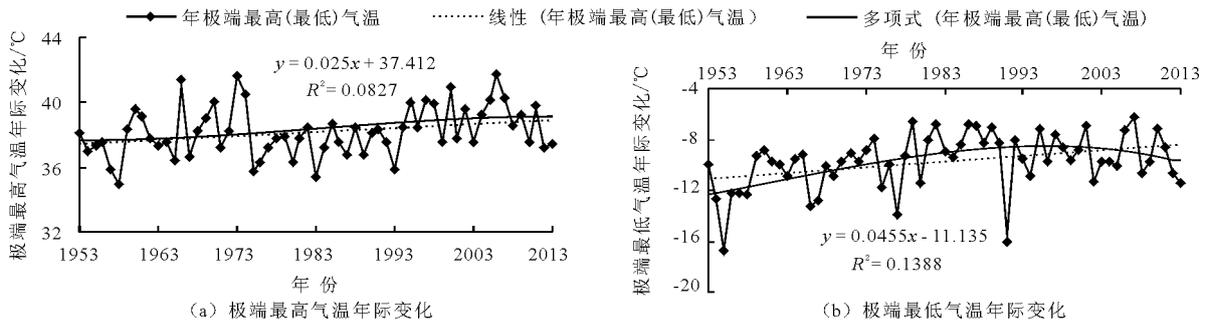


图 1 近 60 年宝鸡市主城区极端最高气温和极端最低气温年际变化

3.1.2 绝对指数的变化特征 图 2 为近 60 年宝鸡市主城区极端气温绝对指数年际变化情况。从图 2 (a)可知,1953 - 2013 年宝鸡市主城区冰冻日数年际变化总体呈现出下降的趋势,大致以 0.1409 d/a 的速率下降。从各个时段来看,20 世纪 50 年代冰冻日数表现为急剧下降的特征,20 世纪 60 - 80 年代中期冰冻日数呈现出波动持稳略有下降的态势,随着全球气候持续变暖,80 年代中期至今冰冻日数下降趋势明显,个别年份略有回升(如 2008 年)。其中冰冻日数在 1954、1977、1984 和 2008 年均超过 20 d,为明显拐点且前后冰冻日数变化差异较大。1953 - 2013 年宝鸡市主城区霜冻日数呈现出快速下降的趋势,大致下降的速率为 0.3891 d/a。20 世纪 60 - 70 年代霜冻日数呈阶梯式下降,80 - 90 年代中期表征为波动起伏但整体持稳的态势,受区域气候变暖加速影响,90 年代中期至今霜冻日数下降趋势显著,增速较快(见图 2(b)),与该时段西北地区气候增暖相对应。

依据图 2(c),1953 - 2013 年宝鸡市主城区夏季日数整体表现出缓慢上升的趋势,其上升的速率大致为 0.1788 d/a。从年际变化角度来看,20 世纪

50 - 70 年代夏季日数呈现出下降的变化趋势,说明该时段研究区气候转冷;80 年代至今表征为显著增加的趋势,表明气候较之前明显转暖。近 60 年宝鸡市主城区热夜日数随时间变化趋势见图 2(d),从时间序列变化的角度看,近 60 年间热夜日数体现为明显上升的趋势,大致以 0.3685 d/a 的速度波动上升。50 - 90 年代中期,热夜日数增速缓慢,90 年代中期至今增速加快,与极端最高气温突变增暖时间一致,其中 1994 年增幅最为明显,热夜日数为 73 d。

总体来看,近 60 年宝鸡市主城区冰冻与霜冻日数表现出下降的趋势,夏季日数和热夜日数呈现出上升的趋势,表明近 60 年间宝鸡市主城区升温明显,这与全球变暖的趋势基本一致。

3.1.3 气温异常度分析 通过参考相关文献[15]并结合宝鸡市主城区自然环境特征,得出气温异常度的划分标准见表 2。异常度 C 计算公式如下:

$$C = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \quad (1)$$

$$\text{其中: } \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

式中: $X_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为样本气温数据; n 为样本

数量。

经统计,近60年宝鸡市主城区年平均气温为13.26℃,一元多项回归分析表明研究区年平均气温以20世纪90年代为界限呈现出先下降后上升的变化特征,如图3(a)所示。

异常度分析表明,近60年宝鸡市主城区年平均气温出现异常偏高的年份有1次,出现显著偏高的年份有2次,均分布在2000年之后,极大值出现在

2006年,为14.7℃。出现显著偏低的年份有4次,分布在20世纪60年代和80年代,极小值出现在1967年,为12.04℃,最低和最高气温两者相差2.66℃。气温异常度回归结果揭示出研究区近60年气温异常度上升趋势较为明显,速率为0.0324/a。从年代际角度来看,20世纪90年代之前上升速度波动缓慢,90年代之后上升速度显著加快,如图3(b)所示。

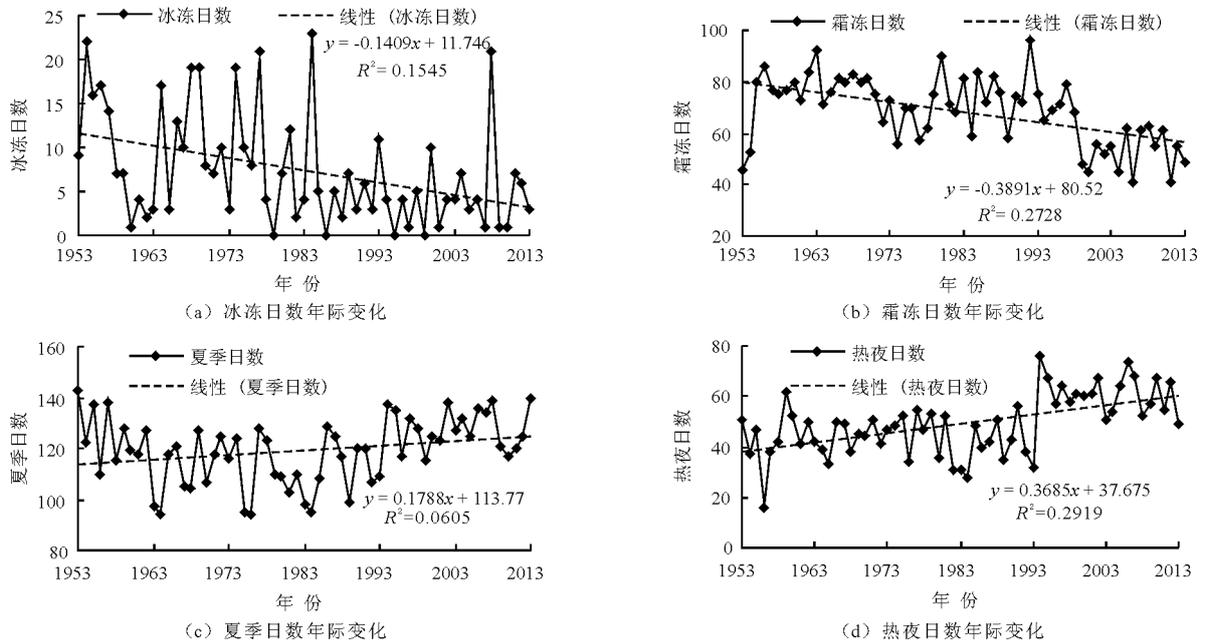


图2 近60年宝鸡市主城区极端气温绝对指数年际变化

表2 气温异常度分级标准

| | | | | | | |
|---------------|----------------------|----------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| $C \leq -2.0$ | $-2.0 < C \leq -1.5$ | $-1.5 < C \leq -1.0$ | $-1.0 < C < 1.0$ | $1.0 \leq C < 1.5$ | $1.5 \leq C < 2.0$ | $C \geq 2.0$ |
| 异常偏低 | 显著偏低 | 偏低 | 正常 | 偏高 | 显著偏高 | 异常偏高 |

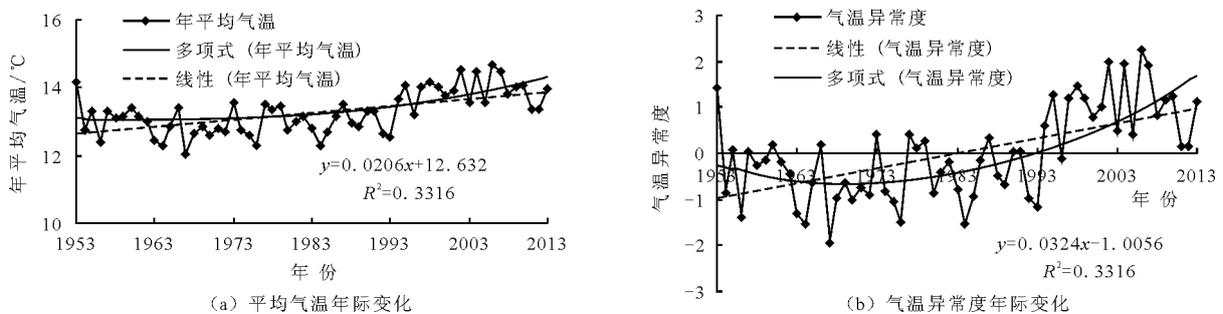


图3 近60年宝鸡市主城区年平均气温和气温异常度年际变化

3.2 近60年极端降水逐年变化特征

3.2.1 年降水量和降水距平分析 图4为近60年宝鸡市主城区年降水量和降水距平百分率年际变化情况。从图4(a)可以看出,近60年宝鸡市主城区

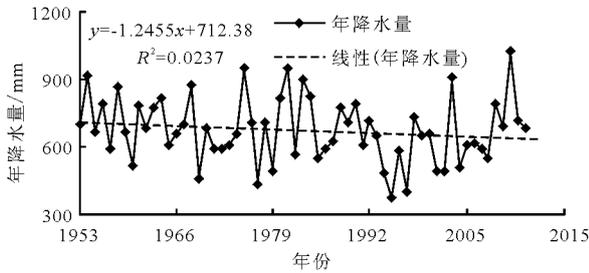
年降水量呈现出波动减少的趋势,下降速率为1.245 mm/a,略低于全国年降水量递减量1.2690 mm/a。研究区近60年年降水量为561.55 mm,年极端降水最低值为378.3 mm,出现在1995年,年极端降水最

高值为 1025.6 mm,出现在 2011 年,二者差值为 647.3 mm,表明宝鸡市主城区降水量的年际变幅较大。

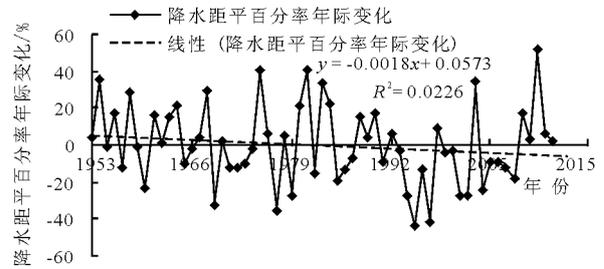
由图 4(b)可知,研究区年降水量存在周期性波动。从年际角度来看,年降水量变化大致可以划分为 4 个阶段:(1)20 世纪 50-70 年代年降水量呈现出急剧下降的趋势;(2)20 世纪 70-80 年代年降水量明显偏多且呈现上升的趋势;(3)20 世纪 80-95

年代年降水量呈现出波动急剧减少的趋势;(4)1995 年至今年降水量总体上升,增幅较大。

利用降水距平百分率(P)可以将年降水异常度划分为 5 个等级(见表 3),近 60 年出现降水偏少或者显著偏少的年份有 10 次,其中有 6 次出现在 20 世纪 90 年代至今,这反映出宝鸡市主城区 20 世纪 90 年代以后年降水量越来越少,干旱程度呈增加趋势。



(a) 降水量年际变化



(b) 降水距平百分率年际变化

图 4 近 60 年宝鸡市主城区年降水量和降水距平百分率年际变化

表 3 降水距平百分率分级表

%

| $P \leq -40$ | $-40 < P \leq -20$ | $-20 < P \leq 20$ | $20 < P < 40$ | $P \geq 40$ |
|--------------|--------------------|-------------------|---------------|-------------|
| 显著偏少 | 偏少 | 正常 | 偏多 | 显著偏多 |

3.2.2 年极端最高降水量分析 近 60 年宝鸡市主城区年极端最高降水量呈现出波动下降的趋势,减少速率为 0.0922 mm/a(见图 5)。60 年间年极端最高降水最大峰值出现在 1980 年,为 169.7 mm,最小峰值出现在 1985 年,为 24.7 mm,二者相差 145 mm,但总体上研究区年极端最高降水量波动幅度较为平稳。

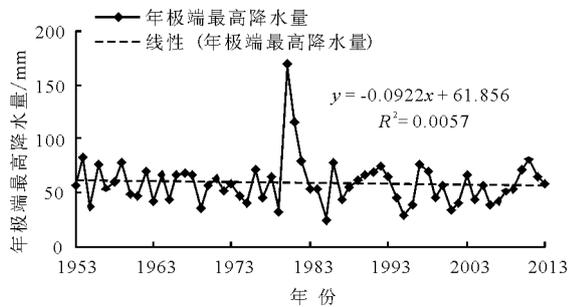


图 5 近 60 年宝鸡市主城区年极端最高降水量年际变化

3.3 热夜日数与霜冻日数的小波分析

本文仅对影响人体舒适度的热夜日数和影响农作物收成的霜冻日数进行分析。

图 6 为近 60 年宝鸡市主城区热夜日数与霜冻日数的小波分析实部图。从图 6(a)可以看出,宝鸡

市主城区近 60 年来热夜日数在不同时间尺度上的周期震荡。总体上,热夜日数存在 11~14 a 和 26~28 a 两个尺度的周期变化,周期变化范围大致为 20 世纪 50 年代初到 2013 年,两个震荡周期与太阳黑子活动规律基本对应^[21]。其中在 11~14 a 时间尺度上,热夜日数存在准 7 次的震荡,经历了高-低-高-低等 14 个循环交替,目前热夜日数正处于增多时期;26~28 a 周期震荡非常显著,热夜日数经历了高-低-高-低等 7 个循环交替,说明未来 2~3 a 热夜日数继续增多。

从图 6(b)可以看出宝鸡市主城区近 60 年来霜冻日数总体上存在 7~9 a 和 18~20 a 2 个尺度的周期变化,前者与厄尔尼诺现象 2~7 a 的发生规律存在一定关联,后者与太阳活动周期基本对应。其中在 7~9 a 时间尺度上,其周期变化主要分布在 20 世纪 70 年代末至今,霜冻日数存在准 6 次的震荡,经历了低-高-低-高等 13 个循环交替,目前霜冻日数正处于增多时期,对农业收成影响加重;18~20 a 周期变化主要分布在 20 世纪 50 年代到 80 年代,霜冻日数经历了高-低-高-低等 6 个循环交替。

3.4 极端天气与区域气候变化的相关分析

目前,全球气候变暖已成为公认的事实,对大气

环流结构及气候异常事件的发生产生了影响。因此,区域气温增高和极端天气事件二者之间的相关性引起了广泛的重视。

本文利用 Pearson 相关分析法对宝鸡市主城区 1953 - 2013 年年降水量、年平均气温和同期极端气温指数进行了分析,见表 4。

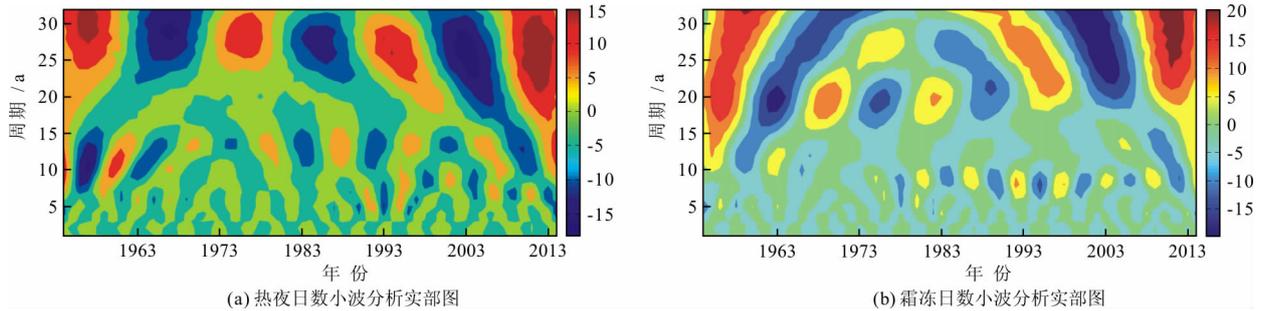


图 6 近 60 年宝鸡市主城区热夜日数与霜冻日数的小波分析实部图

表 4 Pearson 相关分析

| | 年降水量 | 极端高温 | 极端低温 | 冰冻日数 | 霜冻日数 | 夏季日数 | 热夜日数 | 年平均气温 |
|-------|------|----------|--------|----------|---------|----------|----------|----------|
| 年降水量 | 1 | -0.346** | -0.130 | 0.211 | 0.008 | -0.495** | -0.387** | -0.412** |
| 极端高温 | | 1 | 0.253* | -0.149 | -0.276* | 0.394** | 0.515** | 0.509** |
| 极端低温 | | | 1 | -0.481** | -0.125 | -0.085 | 0.125 | 0.209 |
| 冰冻日数 | | | | 1 | -0.012 | -0.112 | -0.385** | -0.411** |
| 霜冻日数 | | | | | 1 | -0.403** | -0.449** | -0.583** |
| 夏季日数 | | | | | | 1 | 0.550** | 0.743** |
| 热夜日数 | | | | | | | 1 | 0.727** |
| 年平均气温 | | | | | | | | 1 |

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

由表 4 可知,宝鸡市年平均气温与绝大部分极端天气事件之间呈现出高度的相关性。其中与 TX-ID、TNID、SU、TR 呈正相关,其中 TXID、SU、TR 达到 0.01 的置信度标准。与 FD(a)、FD(b)呈负相关,均达到 0.01 的置信度标准。表明极端高温日数、夏季日数和热夜日数增加、冰冻和霜冻日数减少均能够有效提高本区的平均气温。此外,极端高温日数的增加明显导致了夏季日数和热夜日数的上升,这与宝鸡市主城区当前现状基本吻合。区域气候增暖是多种因子彼此作用联动的结果,极端天气事件的发生和变化在一定程度上能够影响地区气候的变化特征^[12]。宝鸡市主城区年降水量与 TXID、TNID、SU、TR 呈负相关,其中 TXID、SU、TR 均达到 0.01 的置信度标准。与 FD(a)、FD(b)呈正相关,但未通过 0.05 的显著性检验。年平均气温与年降水量呈高度负相关,表明研究区气候趋向暖干化特征,与赵红岩等^[22]的研究结果基本一致。此外,某些极端气温指标之间也表现出高相关性特征,如 TXID 与

SU、TR 呈高度正相关,与 FD(b)呈较高负相关。TNID 与 FD(a)、FD(a)与 TR、FD(b)与 SU 和 TR 呈高度负相关,SU 与 TR 呈高度正相关。

气候变率与极端天气事件的发生频率有关。本文通过计算年平均气温与 6 项极端气温指标的年代际变化特征(见表 5),进一步探讨和分析了宝鸡市主城区年代际气候变率与极端天气事件二者之间的关系。由表 5 可知,近 60 年宝鸡市主城区平均气温变化趋势分为两个阶段,其中 20 世纪 50 - 80 年代波动较小,20 世纪 90 年代至今表现出快速升温特征。极端高温、热夜日数与其上升趋势基本一致,霜冻日数与其存在一致性减少态势。从年代际变化角度看,宝鸡市主城区平均气温与极端高温、冰冻日数、霜冻日数、夏季日数、热夜日数的年代际变率存在较为一致性的减少或上升趋势,但极端低温与平均气温的年代际变化特征不一致。因此,区域气候变率和气候变暖只是影响地区极端天气事件发生的可能因子,二者之间并不存在必然的联系。

表 5 近 60 年宝鸡市主城区平均气温和极端天气指标的年代际变化特征

| 年份 | 年均气温 标准差/°C | 极端高温 标准差/°C | 极端低温 标准差/°C | 冰冻日数 标准差/d | 霜冻日数 标准差/d | 夏季日数 标准差/d | 热夜日数 标准差/d |
|-------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1953 - 1962 | 13.17(0.44) | 37.56(1.31) | -11.40(2.23) | 9.9(6.67) | 71.1(12.46) | 125.7(10.32) | 43.6(11.67) |
| 1963 - 1972 | 12.66(0.35) | 38.18(1.49) | -10.52(1.37) | 8.6(5.68) | 78.3(7.10) | 111.6(11.10) | 43.2(5.47) |
| 1973 - 1982 | 13.04(0.41) | 37.95(1.76) | -9.46(2.22) | 5.8(6.70) | 69.2(12.82) | 111.2(11.14) | 45.5(8.21) |
| 1983 - 1992 | 12.95(0.35) | 37.48(0.94) | -8.82(2.57) | 5.8(6.05) | 75.4(10.82) | 111.8(11.43) | 41.2(8.33) |
| 1993 - 2002 | 13.80(0.54) | 38.89(1.45) | -9.00(1.42) | 4.0(3.69) | 62.8(11.17) | 125.9(9.42) | 60.3(10.81) |
| 2003 - 2013 | 13.94(0.44) | 42.89(1.40) | -9.19(1.57) | 5.27(5.41) | 53.45(7.9) | 128.73(7.56) | 59.73(7.96) |

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 近 60 年宝鸡市主城区极端气温指标中, 极端最高气温、夏季日数和热夜日数均呈现出上升的趋势, 其中热夜日数上升趋势最显著, 为 3.69/10a, 极端最低气温、冰冻日数和霜冻日数表征为下降的趋势。此研究结果与近百年来全球变暖的事实基本相符。

(2) 宝鸡市主城区年降水量与年极端最高降水量总体上表现为减少的趋势, 年极端最高降水量在 1980 年达到峰值, 近年来呈波动增加的趋势。

(3) 热夜日数存在 11 ~ 14 a 和 26 ~ 28 a 2 个时间尺度的周期变化, 与太阳活动周期关系密切。霜冻日数存在 2 个阶段性变化周期, 分别为 7 ~ 9 a 和 18 ~ 20 a, 前者与厄尔尼诺现象 2 ~ 7 a 的发生规律有一定的关系, 后者与太阳活动周期基本对应。

(4) 宝鸡市主城区年平均气温与极端最高气温、极端最低气温、夏季日数和热夜日数呈正相关, 与冰冻日数和霜冻日数呈负相关。年降水量与极端最高气温、夏季日数和热夜日数呈高度负相关, 与冰冻日数和霜冻日数呈正相关。区域气候变率和气候变暖与极端天气事件的发生频率之间具有较高的相关性, 但并不存在必然的联系。

(5) 总体来看, 近 60 年宝鸡市主城区气候整体向暖干化趋势发展, 尤其以 20 世纪 90 年代之后增温最为显著。受人类活动影响, 极端强降水等灾害事件发生频率增加, 对地方工农业生产及人民的生命财产安全产生一定的威胁, 因此相关部门应该提高警惕以最大程度降低灾损。

4.2 讨论

(1) 近 60 年宝鸡市主城区极端气温变暖指标上升趋势明显, 极端冷指标趋于下降趋势, 这与汪宝龙等^[23]对西北地区近 50 年气温和降水极端事件的

研究结果基本相符。研究区气温显著升高期主要为 20 世纪 90 年代至今, 降水量总体表现为波动下降趋势, 此结果同万红莲^[15]对宝鸡地区气候变化特征的研究结果基本一致。除极端低温指标, 宝鸡市主城区年平均气温与其他 5 项极端气温指标之间具有较高的相关性, 表明气温的升高对与温度相关的极端天气事件有重要的联动影响。

(2) 近 60 年宝鸡市主城区年平均气温出现异常偏高和显著偏高的年份均分布在 2000 年之后, 极端高温日数和热夜日数明显增多, 从而导致农业生产的不稳定性增加。区域气候变率和气候变暖是影响极端天气事件发生的重要因子, 但不同尺度区域极端天气气候事件发生频率的增加是多种因素耦合作用的结果, 既包括自然因素, 也涉及人类活动的干扰。尽管人类活动很可能造成全球大部分陆地区域更多的热夜日数和更少的冰冻日数, 以及造成热浪、干旱和强降水事件的频繁发生, 但总体上人类活动对气候变化具有低信度^[24]。

(3) 过去针对宝鸡市气候变化的研究仅考虑了一种或两种极端气候事件, 本文选取了多个指标并探讨了区域气候变化与极端天气事件的相关关系。但文中所选的极端气候指标主要侧重极端气温方面, 较少涉及极端降水指标, 在今后的研究中尽可能完善指标选取, 进而分析年平均气温、年降水量与降水有关的极端气候指标之间的关系。因此, 掌握地区较长时间尺度的气候变化规律, 并加深全球变暖和极端天气事件之间关系的研究以及尝试对未来极端气候变化的预测, 能够在很大程度上增强当地对极端天气事件预报和预防工作的效能, 从而提高政府部门与民众的防灾减灾意识以降低实际灾损。

参考文献:

- [1] IPCC Report. Climate Change 2007: Impacts, adaptation, and vulnerability [M]. New York: Cambridge University Press, 2007.

- [2] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis [EB/OL]. [2013-09-30]. <http://www.Ipcc.ch/Report/ar5/wgl/>.
- [3] BENISTON M, STEPHENSON D B, CHRISTENSEN O B, et al. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections[J]. *Climatic Change*, 2007, 81(1):71-95.
- [4] EASTERLING D R, HORTON B, JONES P D, et al. Maximum and minimum temperature trends for the Globe[J]. *Science*, 1997, 277(5324):364-367.
- [5] 潘晓华. 近五十年中国极端温度和降水事件变化规律的研究[D]. 北京:中国气象科学研究院,2002.
- [6] 翟盘茂,潘晓华. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化[J]. *地理学报*,2003,58(s1):1-10.
- [7] 周雅清,任国玉. 中国大陆1956-2008年极端气温事件变化特征分析[J]. *气象与环境研究*,2010,15(4):405-417.
- [8] 曹玲,李岩瑛,刘明春,等. 1958-2006年河西走廊极端天气气候事件变化特征[J]. *干旱区研究*,2009,26(5):649-655.
- [9] 李进虎,丁生祥,郭连云. 青海海南地区近50年极端天气气候事件的变化特征[J]. *中国农学通报*,2014,30(33):230-236.
- [10] 姜荣,陈亮,象伟宁. 上海市极端高温天气变化特征[J]. *气象与环境学报*,2016,32(1):66-74.
- [11] 刘雅星. 2010年河南省主要极端天气气候事件的变化特征分析[C] //中国气象学会,第28届中国气象学会年会——S4应对气候变化,发展低碳经济,北京:中国气象学会,2011.
- [12] 郝祥云,朱仲元,宋小园,等. 近50a锡林河流域极端天气事件及其与气候变化的联系[J]. *干旱区资源与环境*,2017,31(7):114-120.
- [13] 刘引鸽,韩景卫,屈康庆. 宝鸡市干旱气候特征分析[J]. *宝鸡文理学院学报*,2000,20(2):154-156.
- [14] 宋佃星,马莉. 宝鸡市气候变化及其对小麦产量的影响[J]. *中国农学通报*,2016,32(19):147-151.
- [15] 万红莲. 全球气候变化下宝鸡地区的响应[J]. *干旱区资源与环境*,2009,23(8):66-70.
- [16] 袁瑛,李建军. 宝鸡市近55年气候变换特点[J]. *科技信息*,2009(27):359-360.
- [17] 李建芳. 近50年宝鸡市气候变化初探[C] //中国气象学会,新世纪气象科技创新与大气科学发展——中国气象学会2003年年会“气候系统与气候变化”分会论文集,北京:中国气象学会,2003.
- [18] 蔡新玲,雷向杰,王娜,等. 陕西省气象灾害灾情特征及年景评估[J]. *陕西气象*,2011(4):17-20.
- [19] 万红莲,宋海龙,朱婵婵,等. 陕西地区1368-2013年冰雹灾害时空分布特征研究[J]. *干旱区资源与环境*,2017,31(2):123-127.
- [20] 李栋梁,魏丽,蔡英,等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. *冰川冻土*,2003,25(2):135-142.
- [21] 徐振涛,蒋窈窕. 中国古代太阳黑子研究与现代应用[M]. 南京:南京大学出版社,1990.
- [22] 赵红岩,王有恒,王兴,等. 1961-2008年中国西北东部旱涝异常分布及干旱变化特征[J]. *干旱区地理*,2012,35(4):552-558.
- [23] 汪宝龙,张明军,魏军林,等. 西北地区近50a气温和降水极端事件的变化特征[J]. *自然资源学报*,2012,27(10):1720-1733.
- [24] 赵宗慈,罗勇,黄建斌. 极端天气与气候事件受到全球变暖影响吗? [J]. *气候变化研究进展*,2014,10(5):388-390.