

李兴涛,韩莹,田亮,等. 咸阳市区近 50 年气候变化特征分析[J]. 陕西气象,2016(6):13-17.

文章编号:1006-4354(2016)06-0013-05

# 咸阳市区近 50 年气候变化特征分析

李兴涛<sup>1</sup>,韩 莹<sup>2</sup>,田 亮<sup>2</sup>,方永侠<sup>3</sup>,尹盟毅<sup>4</sup>

(1. 渭城区气象局,陕西咸阳 712000;2. 陕西省气候中心,西安 710014;  
3. 咸阳市气象局,陕西咸阳 712000;4. 兴平市气象局,陕西兴平 713100)

**摘 要:**利用陕西省咸阳市秦都国家基本气象站 1965—2014 年逐日气温、降水、日照资料,用常规统计方法、Man-Kendall 非参数检验法、Morlet 小波分析等方法对咸阳市区近 50 年的气候变化趋势、突变特征、周期特征进行分析。结果表明:近 50 年来咸阳市区气候变化趋势为气温显著升高、降水略微减少、光照显著减少,极端高温、强降水天气增多增强,极端低温天气逐渐减少。气温气候倾向率为 0.17 ℃/10 a,气温升高突变年为 1997 年,气温变化主要存在 6、12、32 a 冷暖交替的振荡周期;冬季明显缩短,春季增长,夏季、秋季长度基本无变化。降水变化不明显,突变特征不显著,主要存在 6、11、29 a 干湿交替的振荡周期。日照气候倾向率为-59.06 h/10 a,突变年为 1980 年,日照变化主要存在 7、13、25 a 高低交替的振荡周期。2014 年后一段时期为干暖期。

**关键词:**气候变化;Man-Kendall 非参数检验法;小波分析;咸阳市区

**中图分类号:**P467 **文献标识码:**A

近年来,在全球气候变暖的大背景下,各类极端天气气候事件频发,气象灾害造成的损失和影响不断加重,气候变化引起了社会各界和各级政府的普遍关注和重视。为此,国内不少气象工作者对当地的降水、热量资源、旱涝气候演变等气候特征进行了研究<sup>[1-9]</sup>。咸阳市区位于关中平原腹地,地处暖温带,属大陆性季风气候,四季分明,雨热同季,气候温和。本文对咸

阳市区近 50 年来的气候变化趋势、突变特征和振荡周期等进行分析研究,对进一步做好气候预测、气候资源开发利用和防灾减灾具有积极意义。

## 1 资料和方法

所用资料为陕西省咸阳市秦都国家基本气象站 1965—2014 年逐日气温、降水、日照资料,采用线性回归、Man-Kendall 非参数检验法(简称 M-

**收稿日期:**2016-05-23

**作者简介:**李兴涛(1980—),女,汉族,云南宜良人,学士,工程师,从事气象服务工作。

**基金项目:**陕西省气象局科技创新基金计划项目(2014M-4)

## 参考文献:

[1] 侯建忠,李明娟,赵兵科,等. 陕西早春一次罕见暴雨过程的环流演变及水汽输送分析[J]. 热带气象学报,2009,25(2):251-256.

[2] 刘菊菊,滕杰,许东蓓,等. 河西走廊东部一次罕见的春季暴雨成因分析[J]. 干旱气象,2015,33(4):652-658.

[3] 郭大梅,李萍云,胡浩,等. 一次春季暴雨与盛夏暴雨物理量对比分析[J]. 陕西气象,2014(6):8-10.

[4] 康岚,顾清源,蒲吉光. 一次低能大暴雨成因分析[J]. 气象科技,2002,30(5):284-287.

[5] 刘瑞芳,李萍云,陈小婷,等. 一次中尺度对流复合体致洪暴雨成因分析[J]. 成都信息工程学院学报,2012,27(3):306-313.

[6] 范俊红,王欣璞,孟凯,等. 一次 MCC 的云图特征及成因分析[J]. 高原气象,2009,28(6):1388-1398.

K 方法)和 Morlet 小波变换方法进行趋势分析、突变检验和周期变化分析<sup>[10]</sup>。

2 分析与结果

2.1 气温年际变化特征

2.1.1 平均气温 咸阳市区近 50 年的平均气温为 13.1 ℃,最低为 12.0 ℃(1984 年),最高为 14.5 ℃(2013 年)。从多年变化趋势(图 1a)来看,年平均气温总体呈上升趋势,气候倾向率为 0.17 ℃/10 a。利用 M-K 方法对年平均气温的趋势变化进行检验,表 1 中统计量值  $S>0$ ,  $Z>2.32$ ,通过了置信度 99% 的显著性检验,说明咸阳市区增温显著,与回归分析结果一致。M-K 方法突变检验显示(图 1b),咸阳市区年平均气温 1967—1996 年为相对偏低阶段,其中 1980—1993 年偏低明显,1997 年发生突变,自 1998 年以后呈逐年上升趋势,2007 年后  $U_F$  曲线超过了通过了 0.01 ( $U=2.58$ ) 显著性水平的信度线,为显著增温。

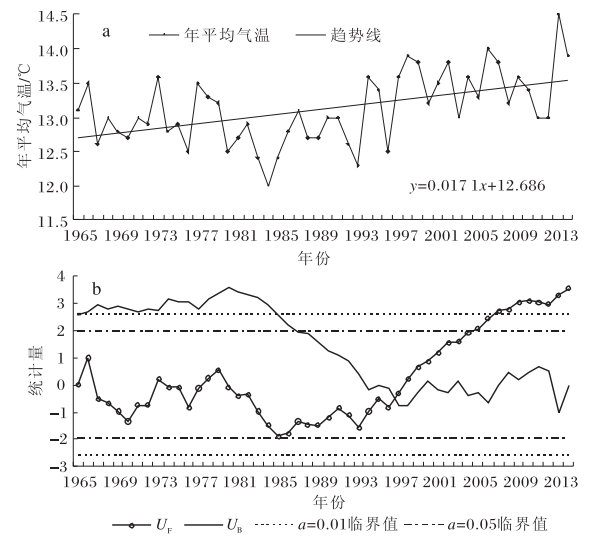


图 1 1965—2014 年咸阳市区年平均气温变化趋势(a)和突变特征的 M-K 检验(b)

表 1 1965—2014 年咸阳市区气温、降水、日照年际变化趋势的 M-K 检验

统计量	年平均气温	年平均最高气温	年平均最低气温	年降水量	年日照时数
S	366	380	301	-15	-391
Z	3.05*	3.17*	2.51*	-0.12	-3.26*

注: \* 表示通过置信度 99% 的显著性检验。

对咸阳市区近 50 年的年平均气温距平序列进行 Morlet 小波变换(图 2)后发现,气温存在 3~8、5~15、8~23、23~32 a 四类尺度的振荡周期。通过小波方差确定不同尺度波动能量和气温变化的主周期,第一主周期到第四主周期的时间尺度依次为 6、12、32、17 a。分析主周期小波系数趋势变化(图略),在 6 a 的时间尺度上,存在着平均变化周期为 4 a 左右的 12 个冷暖交替期;在 12 a 的时间尺度上,存在着 8 a 左右的 6 个冷暖交替期;在 32 a 的时间尺度上,存在 22 a 左右的 2 个冷暖交替期。不同时间尺度在 2013 年以后均为继续升高的趋势,由此可以预计 2014 年后一个时期咸阳市区气温为偏暖期。

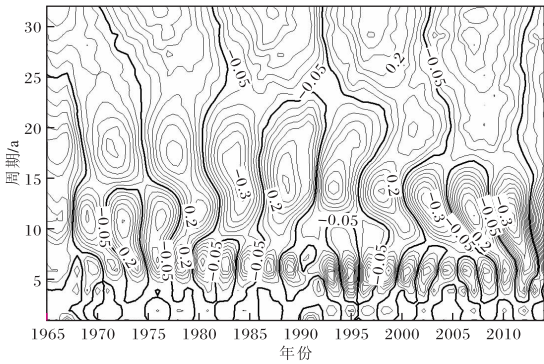


图 2 1965—2014 年咸阳市区年平均气温的小波分析

2.1.2 最高气温 咸阳市区近 50 年的平均最高气温为 18.9 ℃,总体呈上升趋势(图略),气候倾向率为 0.25 ℃/10 a。通过 M-K 检验分析(表 1),年平均最高气温上升趋势明显,通过了置信度 99% 的显著性检验。M-K 突变检验得出(图略),1967—1970、1975—1977、1981—1994 年为偏低阶段,1971—1973、1979—1980、1997 年以后为偏高阶段,1997 年为突变年。自 2007 年以后  $U_F$  曲线超过 0.01 显著性水平的信度线,表明增温趋势显著。

咸阳市区近 50 年的日极端最高气温出现在 6—8 月,以 6、7 月居多,日最高气温  $\geq 35$  ℃ 的年平均高温日数为 17.6 d,极端值为 42.0 ℃(1966 年 6 月 21 日)。20 世纪 70 年代中期到 80 年代末,高温天气出现次数较少,1984 年仅出现 1 d,最高气温为 35.4 ℃。自 1997 年后,极端高温天气增多增强,年平均高温日数增至 19.5 d,1997 年 48 d,为 50 年来最多,2002 年也达 33 d;年极

端最高气温始终维持在 38℃ 以上,1998、2005、2006、2014 年均突破 40℃ (图略)。

2.1.3 最低气温 咸阳市区近 50 年的平均最低气温为 8.3℃,总体呈上升趋势(图略),气候倾向率为 0.11℃/10 a。从表 1 可知,年平均最低气温上升趋势明显,通过了置信度 99% 的显著性检验。M-K 突变检验得出(图略),1969—1972、1984—1987、1992—1996 年为偏低阶段,1965—1967、1973—1983、1988—1991、1997 年以后为偏高阶段,突变发生在 1997 年,之后呈逐年上升趋势,自 2009 年后, $U_F$  曲线超过 0.01 显著性水平的信度线,增温显著。

咸阳市区近 50 年的日极端最低气温出现在

11—2 月,以 1 月居多,日最低气温 $\leq 0^{\circ}\text{C}$  的年平均低温日数为 99.7 d。20 世纪 60 年代末至 90 年代初,低温天气出现的频次和强度较高,1969 年出现 115 d,1985 年出现 116 d;1969、1977、1991 年极端最低气温为 50 年第一、第二、第三低值,1969 年 2 月 5 日极端最低气温达 $-19.7^{\circ}\text{C}$ 。1998 年后,低温天气逐渐减少,年平均低温日数减至 94.7 d,2006 年出现 84 d,2007 年出现 83 d,为 50 年来最少(图略)。

2.1.4 四季分布特征 利用近 50 年的逐日平均气温资料,依据气象行业国家标准 QX/T 152—2012《气候季节划分》统计得出咸阳市区的四季起止日期和长度,结果见表 2。

表 2 咸阳市区四季起止日期及长度

季节	春季	夏季	秋季	冬季
起止日期	03-27—05-31	06-01—09-02	09-03—10-31	11-01—03-26
长度/d	66	94	59	146

注:连续 5 d 滑动平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$  入春, $\geq 22^{\circ}\text{C}$  入夏, $< 22^{\circ}\text{C}$  入秋, $< 10^{\circ}\text{C}$  入冬。

从表 2 可知,气象学上的四季划分与 24 节气四季起始日期存在明显差异,入春比立春时间晚近 2 个月,入夏比立夏晚近 1 个月,入秋比立秋晚约 1 个月,入冬与立冬时间基本吻合。咸阳市区冬季最长,约 5 个月;夏季次之,3 个多月;春秋季较短,都在 2 个月左右。

对四季长度的年际变化趋势进行分析(图略),冬季长度气候倾向率为 $-3.29\text{ d}/10\text{ a}$ ,春季为 $2.22$

$\text{d}/10\text{ a}$ ,说明冬季缩短,春季增长,夏季、秋季长度基本无变化。将每年各季的开始时间与常年四季平均的开始时间比较(图 3),近 50 年来入春时间正常的有 23 a;2013 年入春特早,比常年提前 21 d;1996 年入春特晚,比常年推迟 19 d。入夏时间正常的有 27 a;2007 年入夏特早,比常年提前 18 d;1987 年入夏特晚,比常年推迟 22 d。入秋时间正常的有 24 a;2003 年入秋特早,比常年提前 24 d;

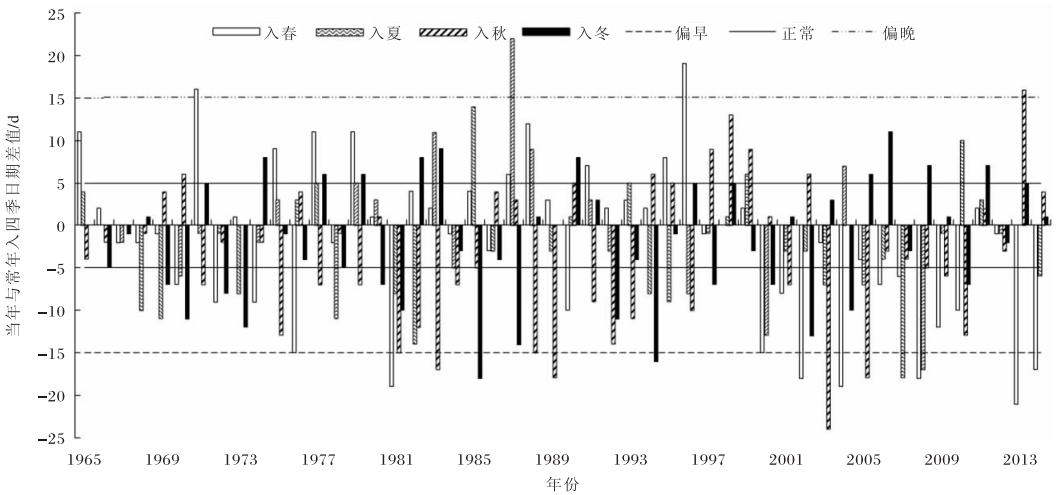


图 3 1965—2014 年咸阳市区四季早晚年际变化

2014 年入秋特晚,比常年推迟 16 d。入冬时间正常的有 25 a;1985 年入冬特早,比常年提前 18 d;2006 年入冬偏晚,比常年推迟 11 d。入春、入夏最早年和入秋、入冬最晚年均出现在 2006 年以后。

## 2.2 降水年际变化特征

咸阳市区近 50 年平均降水量为 512.5 mm,从图 4 可以看出,降水量的年际变化较大,但回归趋势线与 50 年的平均值基本重合,总体变化趋势不明显;通过 M-K 趋势检验可知(表 1),年降水量呈略微减少趋势,变化趋势不显著。通过 M-K 突变检验(图略), $U_F$  曲线和  $U_B$  曲线交点较多,突变显著性水平不足 0.1,表明降水没有发生突变。

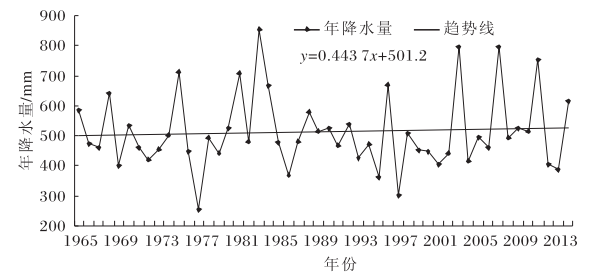


图 4 1965—2014 年咸阳市区年降水量变化趋势

以日降水量 $\geq 0.1$  mm 记为一个降水日,咸阳市区近 50 年的年平均降水日为 87.8 d;最大日降水量集中出现在 5—10 月,以 7—9 月居多,7 月最多,年平均暴雨日为 0.4 d。由图 5 可以看出,1980 年以前暴雨出现较少,仅 1972 年有 1 d。自 1998 年后,暴雨出现的频率和强度明显增加,年平均暴雨日增加到 0.8 d,1998、2003、2007 年暴雨日为 2 d,2011 年为 4 d;2007 年 8 月 9 日最大日降水量达 158.5 mm,为 50 年之最。

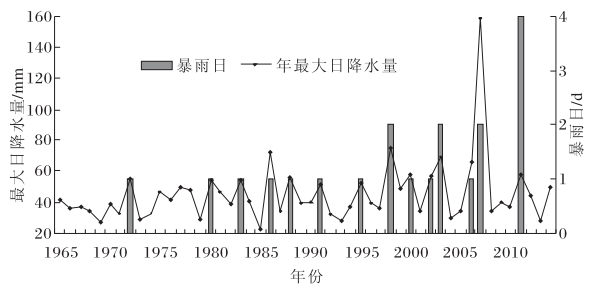


图 5 1965—2014 年咸阳市区年最大日降水量和暴雨日年际变化

对咸阳市区近 50 年的年降水量距平系列进行 morlet 小波变换(图 6),年降水量存在 3~8 a、8~15 a、8~23 a、23~32 a 四类时间尺度的振荡周期。降水的第一到第四主要周期依次为 29、11、6、19 a。对主周期小波系数趋势分析(图略),在 6 a 时间尺度上,存在着平均变化周期为 4 a 左右的 11 个干湿交替期;在 11 a 时间尺度上,存在 7 a 左右的 6 个干湿交替期;在 29 a 时间尺度上,存在 20 a 左右的 2 个干湿交替期。在 11 a 和 29 a 时间尺度上 2012 年以后降水均为减少趋势,由此预测,2014 年后一个时期咸阳市区降水为偏干期。

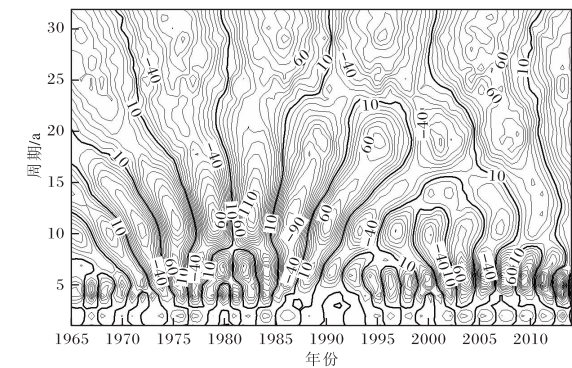


图 6 1965—2014 年咸阳市区年降水量的小波分析

## 2.3 日照时数年际变化特征

咸阳市区近 50 年年平均日照时数为 2 071.1 h,年平均日照百分率为 47%。年日照时数最多为 2 376.3 h(1966 年),最少 1 655.4 h(2009 年)。年日照时数总体呈减少趋势,气候倾向率为 -59.06 h/10 a(图 7)。利用 M-K 方法对日照趋势变化和突变情况进行检验(表 1),日照减少明显,通过了置信度 99% 的显著性检验。从 1967 年开始,日照呈逐年下降趋势,1980 年发生突变。20 世纪 90 年代初期和 2003 年以后减少趋势十分显著, $U_F$  曲线超过了 0.01 显著性水平的信度线(图略)。

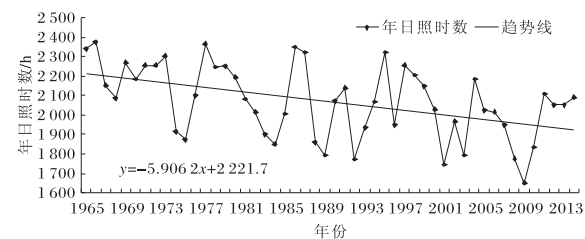


图 7 1965—2014 年咸阳市区日照时数年际变化趋势



对咸阳市区近 50 年的年日照时数距平系列进行 morlet 小波变换(图 8),日照存在 4~10 a、7~18 a、18~32 a 三类时间尺度的振荡周期。第一到第三主周期依次是 13、25、7 a。分析主周期小波系数趋势变化(图略),在 7 a 时间尺度上,存在平均变化周期为 4 a 左右的 8 个高低交替时期;在 13 a 时间尺度上,存在 8 a 左右的 5 个高低交替时期;在 25 a 时间尺度上,存在 17 a 左右的 3 个高低交替时期。从 13 a 和 25 a 时间尺度上看,在 2013 年后日照时数均为增加趋势,由此预测,2014 年后一个时期咸阳市区的日照为相对偏多期。

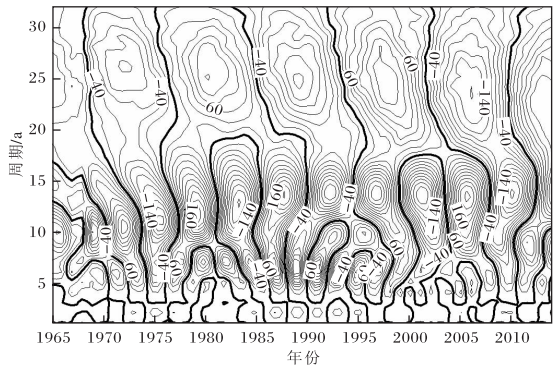


图 8 1965—2014 年咸阳市区年日照时数的小波分析

### 3 结论与讨论

(1)咸阳市区近 50 年气温呈显著升高趋势,气候倾向率平均气温为  $0.17\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,平均最高气温为  $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,平均最低气温为  $0.11\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。最高气温的升温幅度超过了平均气温和最低气温,对咸阳市区的增暖贡献最大。极端高温天气多出现在 6、7 月,自 1997 年后,高温天气发生的频率和强度明显增加;极端低温天气多出现在 1 月,自 1998 年以后,呈减少趋势。升温突变点出现在 1997 年,自 2007 年以后,最高气温和最低气温的增温趋势均十分明显,是近 50 年来最高的一段时期。气温变化主要存在 6、12、32 a 冷暖交替的振荡周期,2014 年后一个时期咸阳市区气温处于偏暖期。

(2)咸阳市区四季中冬季最长,夏季次之,春、秋季较短。50 年来季节长度的气候倾向率,冬季为  $-3.29\text{ d}/10\text{ a}$ ,明显缩短;春季为  $2.22\text{ d}/10\text{ a}$ ,

明显增长;夏季、秋季长度基本无变化。入春、入夏最早年和入秋、入冬最晚年均出现在 2006 年以后。

(3)咸阳市区近 50 年的降水变化不明显,呈略微减少趋势;极端强降水天气多出现在 7—9 月,自 1998 年以后,暴雨发生的频率和强度明显增加。降水变化主要存在 6、11、29 a 干湿交替的振荡周期,2014 年后一个时期咸阳市区降水处于偏干期。

(4)咸阳市区近 50 年的日照时数呈明显减少趋势,气候倾向率为  $-59.06\text{ h}/10\text{ a}$ 。1980 年为日照减少的突变年,20 世纪 90 年代初期和 2003 年以后是近 50 年来日照时数最少的时期。日照变化主要存在 7、13、25 a 高低交替的振荡周期,2014 年后一个时期咸阳市区日照处于相对偏多期。

### 参考文献:

- [1] 谢庄,曹鸿兴,李慧,等. 近百余年北京气候变化的小波特征[J]. 气象学报,2000,58(3):362-369.
- [2] 何云玲,鲁枝海. 近 60 年昆明市气候变化特征分析[J]. 地理科学,2012,32(9):1119-1124.
- [3] 杨再禹,龙先菊. 黔东南地区近 49 年的气候变化特征[J]. 中国农业科学,2011,32(3):338-345.
- [4] 王川,杜继稳,杜川利,等. 530 年来陕北气候变化与东部地区关系分析[J]. 西北大学学报,2004,34(2):238-241.
- [5] 刘任翔,许伟彬,李会玲. 三水近 50 a 雷暴气候特征统计分析[J]. 气象研究与应用,2010,31(1):98-101.
- [6] 张博宇,高雪娇. 榆阳区近 62 年气温突变分析[J]. 陕西气象,2014(6):25-27.
- [7] 孙润,尚军林. 定西市近 47 年气温、降水变化特征分析[J]. 陕西气象,2015(1):11-14.
- [8] 吴昊旻,杨羨敏,姜燕敏. 浙江省夏秋季降水量时空分布特征及趋势演变规律[J]. 中国农业气象,2011,32(3):326-330.
- [9] 余君,赵美艳,刘霄,等. 重庆地区降水序列的均一性检验及其对气候变化分析的影响[J]. 高原山地气象研究,2014,34(2):68-71.
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007.