

文章编号: 2096-1618(2020)03-0313-10

成都市龙泉驿区近 37 a 气候变化特征研究

霍雅姝¹, 肖天贵¹, 毛世杰², 高楷祥², 张媛²

(1. 成都信息工程学院大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 成都市龙泉驿气象局, 四川 成都 610100)

摘要:针对研究成都市龙泉驿区的气候变化特征,以龙泉驿区地面气象站观测数据为基础,选用气温和降水 2 个主要气象要素指标,采用 Morlet 小波分析、Mann-Kendall 检验和线性倾向估计等方法,对 1980–2016 年龙泉驿区气候变化特征进行研究。结果表明:(1)龙泉驿区呈现雨热同期的气候特征。(2)年平均气温主要呈增长趋势,在 1986 年后有明显的降温趋势,高温年份为 2006 年、2007 年、2013 年、2014 年、2015 年;低温年份为 1984 年、1989 年、1996 年、1988 年、1992 年。从 1997–2016 年的龙泉驿区平均气温基本都高于平均值,而在 1997 年前的平均气温都普遍低于平均值。(3)年平均气温具有准 5 a 的显著主周期且较稳定,此外,还具有准 9 a 和 17 ~ 18a 的次周期。(4)龙泉驿区年降水量有明显的减少趋势,且在 1996–1998 年发生突变,减少趋势显著,有准 3 a 主周期和准 10 a、准 22 a 的次周期,年和各季降水量的准周期变化在所研究的时域中分布较均匀,周期震荡显著。

关键词:大气科学;气候变化;龙泉驿区;线性倾向估计;Mann-Kendal 检验;小波变换

中图分类号:P467

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2020.03.012

0 引言

近几年来,自然灾害造成中国每年的损失中旱涝占很大比重。四川是生态资源大省,加强生态文化建设和环境保护,关系到国家的生态环境、巴山蜀水的风光秀丽和四川的久远发展^[1-2]。而龙泉驿区作为国家级经济开发,是国务院批准的成都现代化特大中心城市的东部副中心^[3-4],基于近几年对龙泉驿区的规划,政府提出建设美丽宜居公园城市,开展城市公园建设。由于龙泉驿区人口稠密、经济发达,在成都市域的经济总量中占比高、权重重大,排名靠前。因此对自然灾害的影响非常敏感,自然灾害发生将对龙泉社会经济的发展产生重要影响。由于地质灾害往往是气象灾害和天气变化的次生灾害,防范和减轻灾害的重要基础是对天气变化尤其是气候变化特征的认识,因此对龙泉驿区气候变化特征研究有非常重要的意义^[5]。

龙泉驿区地处四川盆地成都平原与盆中丘陵地理分界线的龙泉山中段,属四川盆地中亚热带湿润气候区,气候温和,空气潮湿。春季易现倒春寒,且降水少,偶有冰雹与阵性大风;夏季降水较多,易成洪涝;秋季多阴雨;冬季多雾,积雪稀有,日照少^[6]。

目前,很多学者对四川盆地的气候变化都进行了研究,并取得了一些成果。陈鹏等^[7-8]对四川盆地东部地区夏季气温和降水变化分析研究时发现,气温和

降水分别具有准 3 a 和准 10 a 的周期振荡。杨福安等^[9-10]认为四川盆地 20 世纪 80 年代气候变化与大气背景变暖趋势相反,处于持续寒冷期,为同纬度气温变化低谷区。王春学等^[11-13]研究西南地区气候变化特征时发现,1961–2000 年四川盆地年降水量呈减少趋势,局部区域气温变化与全球气候变暖存在非同步性。任国玉等^[14-15]发现,自 1956 年来,四川盆地中西部地区年降水量总体呈减少趋势。陈超等^[16-17]研究表明,近 50 a 来四川盆地年降水量总体呈减少趋势,年际间振荡较大,20 世纪 60 年代和 80 年代以降水量偏多为主,其余年代以降水量偏少为主,1990 年后降水量显著下降。但有关龙泉驿区的气候变化研究甚少,为此以龙泉驿区作为研究区域,利用其 37 a 的气象资料对龙泉驿区进行生态环境以及气候环境的相关研究。

1 资料与方法

1.1 资料

选取 1980–2016 年龙泉驿区地面气象观测站逐日平均气温、逐日平均降水量等资料。

利用测站的资料计算出龙泉驿区气温和降水的月、季数据和年数据,年平均值为当年 12 个月值的算术平均,龙泉驿区的平均气温和降水量为测站的算术平均值^[18]。

收稿日期:2019-09-10

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2015BAC03B05)、四川省科学计划资助项目(2019YJ0360)

1.2 方法

1.2.1 线性倾向估计

对气象要素资料序列进行趋势分析时,一般都是将一维时间序列做线性倾向估计^[19]。用 x_i 表示样本量为 n 的某一变量,用 t_i 表示 x_i 所对应的时间,建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归:

$$\hat{x}_i = a + bt_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

其中: a 为回归常数, b 为回归系数。回归系数 b 的正负表示变量 x 的趋势倾向。当 $b > 0$ 时,随时间 t 增加, x 呈上升趋势;而当 $b < 0$ 时,随时间 t 增加, x 呈下降趋势。 b 值表示上升或下降的速率,即反映上升或下降的倾向度^[20]。

1.2.2 Mann-Kendall 检验法

Mann-Kendall 检验法是一种非参数统计检验方法,能确定突变开始的时间,并指出突变区域^[21-23]。

对于时间序列 x ,有 n 个样本量,构造一个序列:

$$s_k = \sum_{i=1}^k r_i, \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

其中:

$$r_i = \begin{cases} +1, & x_i > x_j \\ 0, & x_i \leq x_j \end{cases}, \quad j = 1, 2, \dots, i$$

假定时间序列随机,定义统计量:

$$UF_k = \frac{[s_k - E(s_k)]}{\sqrt{Var(s_k)}}, \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

其中: $UF_1 = 0$,而 $E(s_k)$ 、 $Var(s_k)$ 是累计数 s_k 的均值和方差。若 x_1, x_2, \dots, x_n 相同连续分布且彼此独立时,有:

$$\begin{cases} E(s_k) = \frac{n(n-1)}{4} \\ Var(s_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \end{cases} \quad (4)$$

若 $|UF_k| > U_\alpha$ (α : 显著性水平; U_α : 正态分布表),序列存在明显的趋势变化。按时间序列的逆序 x_n, x_{n-1}, \dots, x_1 重复上述过程,使 $UB_k = -UF_k$ ($k = n, n-1, \dots, 1$), $UB_1 = 0$ ^[24-26]。在统计量曲线图中,若 $UF_k > 0$ 或 $UB_k > 0$,则表明序列呈上升趋势;若 $UF_k < 0$ 或 $UB_k < 0$,则表明呈下降趋势。当曲线 UF 超过信度曲线时,若 UF 、 UB 两条曲线相交的点位于信度曲线之间,这点便是突变点的开始^[27-29]。

1.2.3 Morlet 小波分析

利用 Morlet 小波分析方法可以对函数或信号序列进行多尺度细化分析,通过对小波系数的分析,可以研究不同气象要素的尺度随时间的演变情况^[30]。

Morlet 小波为复数小波,其小波变换的实部可以

表示各种特征时间尺度信号在不同时间上的位相和分布两方面的信息。不同时间尺度下的小波系数,能够反映系统在该时间尺度下变化特征;正的小波系数对应于偏多期,负的小波系数对应于偏少期^[31-33],小波系数绝对值越大,表明该时间尺度变化越明显。

2 结果与分析

2.1 区域气候特征

龙泉驿区气候特征如图 1 所示,年平均气温为 16.78 °C,明显高于成都市历年平均气温 12.1 °C,说明处在全市平均气温较高的区域内。气温月变化呈单峰型分布,5-9 月气温较高,各月间气温差异较小;10-4 月气温较低,各月间气温差异较大。龙泉驿区最热月平均温度为 25.71 °C,最冷月平均温度为 5.94 °C。7 月均为最热月,1 月均为最冷月,与中国大部分地区情况一致。

龙泉驿区的降水具有显著的季节性差异,与温度相类似,全年降水量主要集中在 5-9 月,占全年总降水量的 81%,尤其在 7-8 月降水量最多,11 月至次年 3 月降水量显著减少。龙泉驿区降水最多月平均降水量为 204.22 mm,龙泉驿区降水最少月平均降水量为 6.12 mm,降水量最多月为 8 月,最少为 12 月。总体上来说,龙泉驿区 5-9 月气温较高,降水较多,11-次年 4 月气温较低,降水较少,呈现了雨热同期的气候特征。

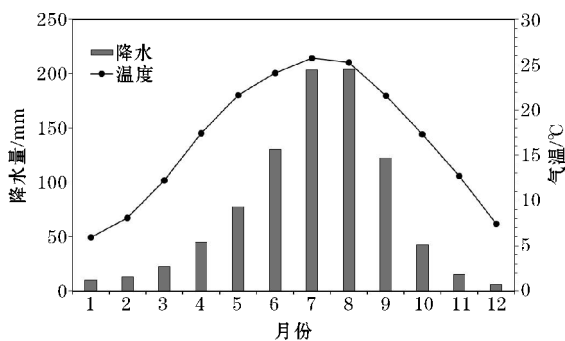


图 1 龙泉驿区气候特征图

龙泉驿区降水量的季节变化特征也比较显著,春、夏、秋、冬四季年平均温度值分别为 17.09 °C、24.98 °C、17.21 °C、7.14 °C,平均降水量分别为 146.45 mm、543.19 mm、243.21 mm、28.44 mm,占全年的降水比重为 15.24%、56.5%、25.3%、2.9%,可见龙泉驿区夏季温度最高且夏季降水占全年的 50% 以上。

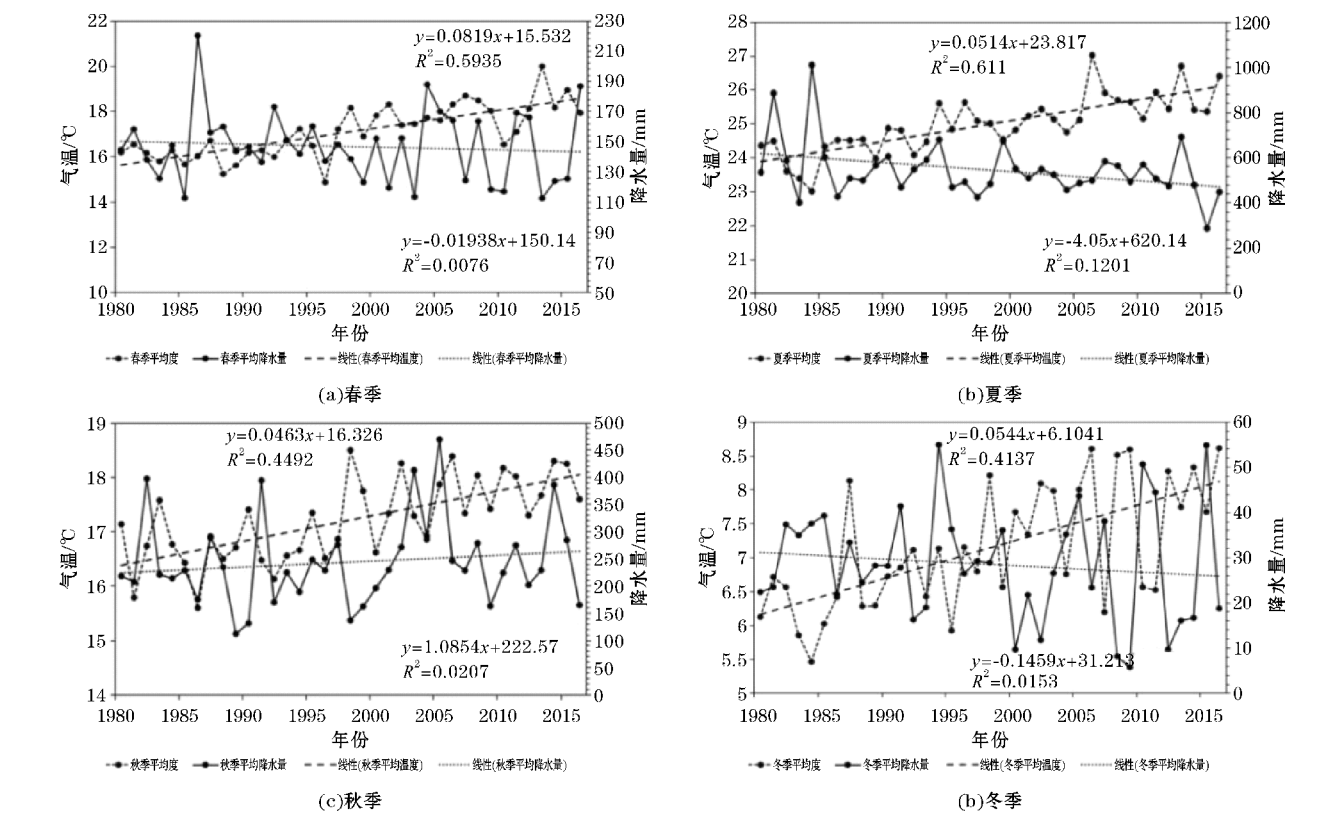


图2 龙泉驿区季节气候特征

图2给出了1980–2016年龙泉驿区春夏秋冬不同季节气候特征图。图2(a)显示,龙泉驿地区春季平均温度主要呈升高趋势,在2013年达到最高值19.98℃,春季降水主要呈下降趋势,在1986年降水量呈最大值220.1 mm,春季降水量变化区间为112.2~220.1 mm;图2(b)显示,龙泉驿地区夏季平均温度主要呈升高趋势,2006年夏季温度达到近37 a最高,为27.0℃,1982年夏季温度最低,为23.59℃。夏季降水虽呈整体下降趋势分布,降水量存在很明显的286~1008 mm的跨度分布区间,在1984年达到最大值1008.1 mm,但降水量主要集中在夏季(6–8月);图2(c)显示,龙泉驿地区秋季平均温度主要呈升高趋势,在1998年达到秋季温度最高值18.49℃,秋季降水量呈微弱上升趋势,变化区间为111~468 mm。图2(d)显示,龙泉驿地区冬季温度无明显差异变化,温度区间呈5.46℃~8.41℃,而冬季降水分布型与夏季型类似,但降水量仅为夏季降水的1/20,降水量最大为54.9 mm,最小为5.7 mm。

2.2 气温年和季变化特征

2.2.1 气温线性倾向估计

用线性倾向估计研究气候变化趋势,相关系数 r 进行显著性检验。表1为近54 a来龙泉驿区年和四季平均气温倾向值 b 和相关系数 r 。

表1 龙泉驿区年和四季平均气温线性倾向估计值

	年	春季	夏季	秋季	冬季
倾向值(b)	0.057	0.081	0.054	0.046	0.054
相关系数(r)	0.853 *	0.771 *	0.776 *	0.670 *	0.643 *

注: * 通过0.05 信度。

从倾向值 b 来看,年和四季平均气温均为正值,说明年和四季平均气温随着时间的升高均呈上升趋势,其中,春季气温随时间的升高最为明显。年平均气温以0.57℃/10 a的倾向率上升,增暖速度大于四川省0.116℃/10 a的增长率^[34];春季为0.81℃/10 a,夏季为0.54℃/10 a,秋季为0.46℃/10 a,冬季为0.54℃/10 a。因此,对年平均气温增温贡献最大的是春季,其次是夏季,冬季,最后是秋季。

从相关系数 r 值来考虑,以上都能通过0.05显著性检验。由此可见,年平均气温与四季平均气温的线性增加趋势十分显著。

2.2.2 气温突变性检验分析

为研究龙泉驿区温度的变化趋势,计算了近37 a龙泉驿区温度距平百分比,由图3可见,如果用温度距平百分率大于5%或小于-5%作为标准来划分高温低温年^[35],可以发现龙泉驿区高温年份为2006年、2007年、2013年、2014年、2015年,温度分别为17.76℃、17.74℃、18.22℃、21.98℃、17.79℃。低温年份为1984年、1989年、1996年、1988年、1992

年, 温度分别为 15.52℃、15.64℃、15.73℃、15.75℃、15.76℃。且 1997–2016 龙泉驿区平均气温基本都高于平均值, 而 1997 年之前年份的平均气温都普遍低于平均值。

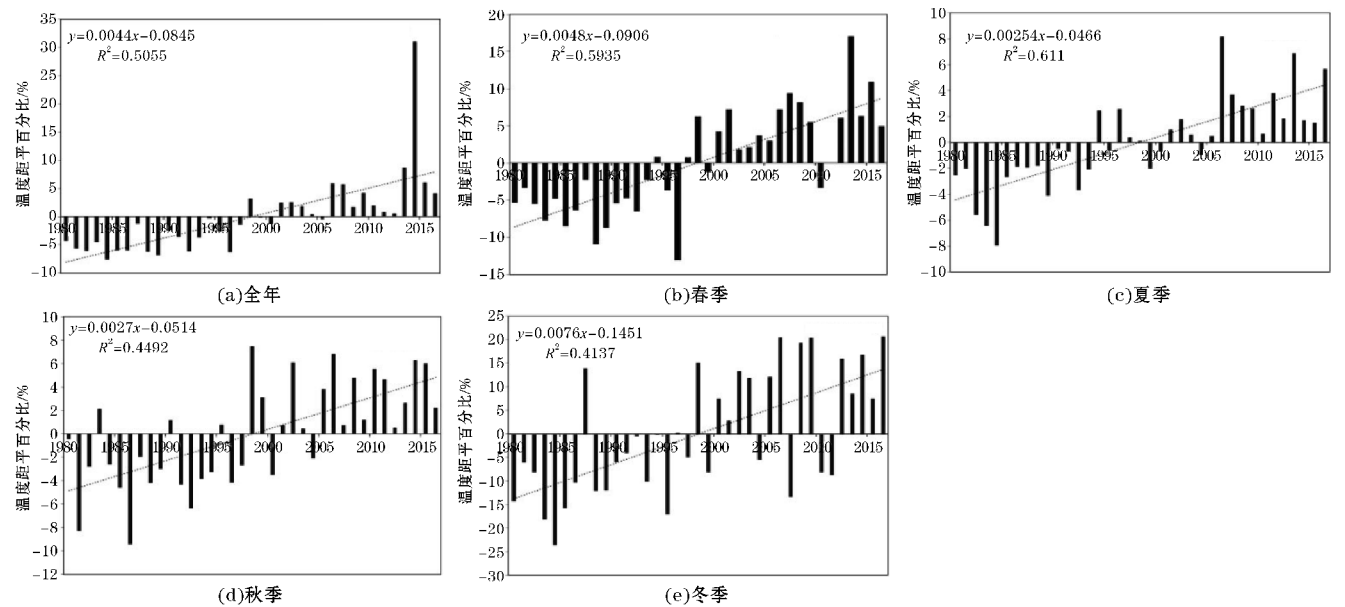


图 3 1980–2016 年龙泉驿区温度距平百分比

为进一步研究龙泉驿区温度距平百分比, 计算了春、夏、秋、冬四季温度距平百分比。由图 3 可发现四季与平均温度距平趋势类似, 均成上升阶段, 四季均在 1998 年附近有个上升节点, 在 1998 年前四季的温度距平百分比基本为负值, 说明 20 世纪 80 年代及 90 年代前中期温度基本都在平均值以下, 在 1998 年到现在, 温度基本高于平均值以上, 这与年平均温度的距平百分比是相类似的。龙泉驿区的春季高温年份为 2006 年、2007 年、2008 年、2013 年、2015 年, 低温年份为 1983 年、1985 年、1988 年、1989 年、1997 年。夏季高温年份为 2006 年、2013 年, 低温年份为 1983 年、1984 年。秋季高温年份为 2006 年、2014 年、2015 年, 低温年份为 1981 年、1986 年、1992 年。冬季高温年份为 2012 年、2014 年, 低温年份为 1984 年、1985 年和 1995 年。

由四季高低温年也可看出, 与龙泉驿区高低温年均重合年份, 低温年份普遍在 20 世纪 80 年代, 高温年份普遍在近几年左右。

用 M-K 法研究确定龙泉驿区气温突变时间和上升或下降趋势显著时段。利用 M-K 法计算得出的龙泉驿区平均气温统计量曲线(图略)。近 37 a, 气温没有很明显的突变时间段, 但从 1993 年后, UF 基本都处于正值, 2000–2015 年超过 0.05 信度线的上边界, 这与彭玉萍等^[36]的研究结果即 35°N 以南和 100°E 以东地区自 20 世纪 50 年代以来存在一个以四川盆地为中心的变冷带, 90 年代有变暖趋势是相符合的。

与平均温度 M-K 检验类似, 春、夏、秋均未有很明显突变的现象(图略), UF 在 1986 年达到最低值, 随

后有明显升高趋势, 1980–1909 年, UF 值小于 0, 气温处于下降期, 与上述温度距平百分比得到的结果一致, 在 2000–2015 年 UF 值超过 0.05 信度线的上边界, 升温趋势明显。夏季平均气温在 1990–2015 年 UF 值大于 0, 升温趋势明显。秋季在 1982 年 UF 达到最低值, 随后呈升高趋势。在 2014 年附近冬季平均气温发生突变, 近 37 a 的 UF 几乎都大于 0, 气温处于不断上升阶段, 在 2013 年左右超过 0.05 显著水平线, 增温趋势显著。

线性倾向估计和 M-K 法对龙泉山南段地区年和各个季节气温变化的总趋势检验结果基本一致, 即春季气温增温显著, 年和夏季、秋季及冬季气温增温不显著。

2.2.3 气温小波分析

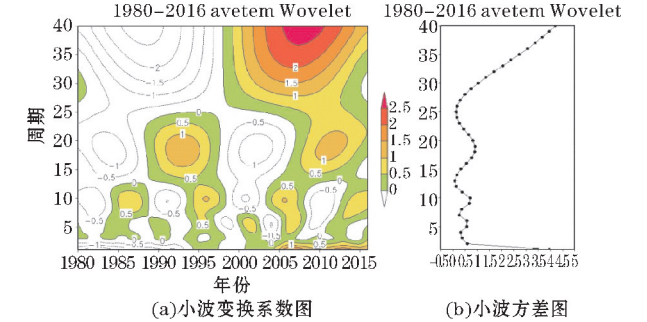


图 4 龙泉驿区 1980–2016 年年平均温度的小波变换系数图和小波方差图

Morlet 小波为复数小波, 其小波变换的实部表示不同特征时间尺度信号在不同时间上的分布和位相两方面的信息。不同时间尺度下的小波系数, 可以反映系统在该时间尺度下变化特征: 正小波系数对应于偏

多期,负的小波系数对应于偏少期,小波系数为零对应着突变点;小波系数绝对值越大,表明该时间尺度变化越显著。

分析龙泉驿区年和各季平均气温的周期变化特征。图 4 给出龙泉驿区平均气温序列 Morlet 小波变换得到的小波系数的实部等值线,横坐标为年份,纵坐标为周期,图中正小波系数表示温度处于高温周期,负小波系数表示温度处在低温周期。近 37 a 年平均气温具有准 5 a 的显著主周期且较稳定,此外,还具有准 9 a 和 17 ~ 18 a 的次周期。年平均气温在 5 a 时间尺度上经历了偏冷→偏暖约 7 个循环交替过程,准 5 a 的主周期在 1990 年代-2010 年代较为明显;年平均气温在 9 a 时间尺度上经历了偏冷→偏暖→偏冷→偏暖的循环交替过程,即 1980 年代前中期、1990 年代前中期、2000 年代中期至 2010 年代中期为偏冷期,1980 年代中后期、1995 年代中期、2005 年前中期为偏暖期,准 17 ~ 18 a 的次周期在 1980 年代、2000 年代为偏冷区,在 1990 年代、2010 年代为偏暖区,通过 2010 年以后的曲线趋势,可看出目前及未来的一段时间将处于年平均气温的偏高时期。

龙泉驿区四季平均气温也存在着周期性变化,其中春季的平均气温具有 7a 左右的震荡周期,主要表现

在 1990 年代初期到 2010 年代初期,其中有 3 个冷期和 4 个暖期。

夏季的平均变化存在着准 5a 的主周期和准 9 a、准 18 ~ 19 a 的年际周期,其中 18 ~ 19 a 尺度周期信号最明显,在讨论的时域 1980 年代初期到 2010 年中期均有表现。另外,相同时域还包括 9 a 尺度的震荡周期,其中有 4 个暖期和 4 个冷期交替出现。而 5 a 尺度的周期信号主要表现在 2000 年后期。通过与年平均气温周期变化特征的相类比,夏季与年平均气温变化特征最类似,可见在各季中,夏季对全年平均气温的周期特征贡献最大。

秋季气温周期变化较明显,具有准 3 a 的主周期,3 a 尺度的周期信号主要表现在 20 世纪 90 年代初期到 2000 年代后期;冬季气温变化的周期信号较弱,平均气温具有准 17 a 的主周期,其中有 3 个冷期和 3 个暖期交替出现,且该周期信号出现在所讨论的整个时域中。从总体上看,年平均气温和春、夏、秋、冬四季气温的年际周期各不相同,体现了各季节平均温度的周期变化的差异性,气温的准周期变化在整个时间域上分布很不均匀随着时间的推移有所改变,局部特征比较明显。

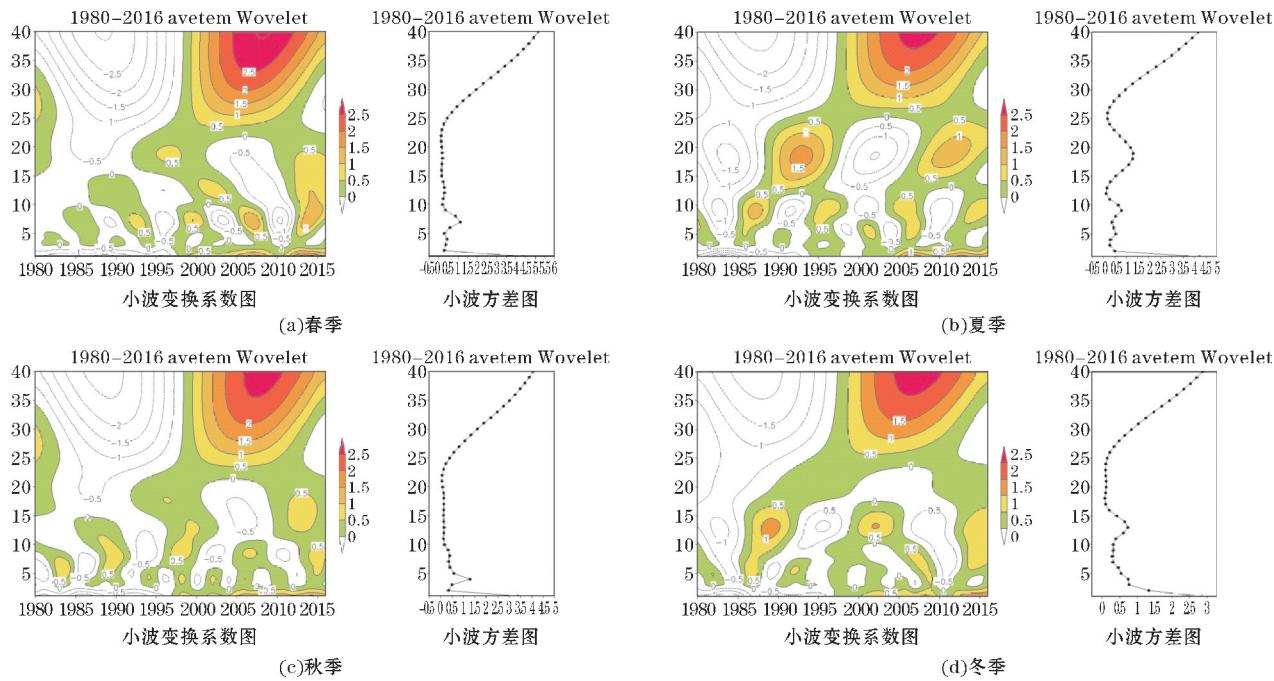


图 5 龙泉驿区 1980-2016 年四季平均温度的小波变换系数图和小波方差图

2.3 降水量年和季变化

2.3.1 降水线性倾向估计

如表 2 所示,除秋季以外,其余春、夏、冬季和年降水量均为负值,这与自 1960 年代以来四川盆地降水量总体上呈下降趋势相一致^[37]。其中年降水量以

57 mm/10 a 的倾向率下降,减少速度大于四川盆地 31.6 mm/10 a 的减少率^[38],说明龙泉驿区处在四川盆地平均气温下降明显的区域内;秋季以 10.86 mm/10 a 的倾向率上升,春季、夏季和冬季分别以 1.99 mm/10 a、58.9 mm/10 a 和 1.46 mm/10 a 的倾向率降低。因此,对年降水量的减少贡献较大的是夏季。

由相关系数 r 值可知,年和夏季的降水趋势通过0.05显著性检验,而其余3季的降水趋势均未能通过0.05显著性检验。

表 2 龙泉驿区年和四季降水量的线性倾向估计值

	年	春季	夏季	秋季	冬季
倾向值(b)	-5.70	-0.199	-5.89	1.086	-0.146
相关系数(r)	0.365 *	0.087	-0.408 *	0.144 *	0.124

注: * 通过 0.05 信度。

与温度类似,为研究龙泉驿区降水的变化趋势,计算了近37 a龙泉驿区降水距平百分比,由图 6 可见,近37 a年来,龙泉驿区夏季降水量总体呈下降趋势,平均降水量为536.5 mm,如果划分多、少雨年,用降水距平百分率大于50%或小于-50%作为标准来表示的话^[39],可以发现多雨年份有1981年、1984年,降水量分别为1008.1 mm、883.8 mm,少雨年份有2006年、2015年,降水量分别为247 mm、286.1 mm。多雨年主

要集中在1980年代,从1997–2016年的夏季平均降水量基本都低于平均值,而1997年前年份的夏季降水量都普遍高于平均值,与温度相类似。

为进一步研究龙泉驿区降水距平百分比,计算了四季的降水距平百分比,由图 6 可见,除秋季以外,春、夏、冬3季与年平均降水距平百分比趋势类似,均成下降趋势。龙泉驿区的春季多雨年份为1986年,没有特别明显的少雨年份,相比较而言为1985年雨量较少。夏季多余年份为1981年、1984年,少雨年份为2015年。秋季多雨年份为1983年、1991年、2003年、2005年,少雨年份为1989年、1990年。冬季多雨年份为1994年、2010年、2015年,少雨年份为2001年、2003年和2009年。

由四季雨年也可看出,与龙泉驿区雨年均有重合年份,多雨年份普遍在20世纪80年代,少雨年份普遍在近几年左右。

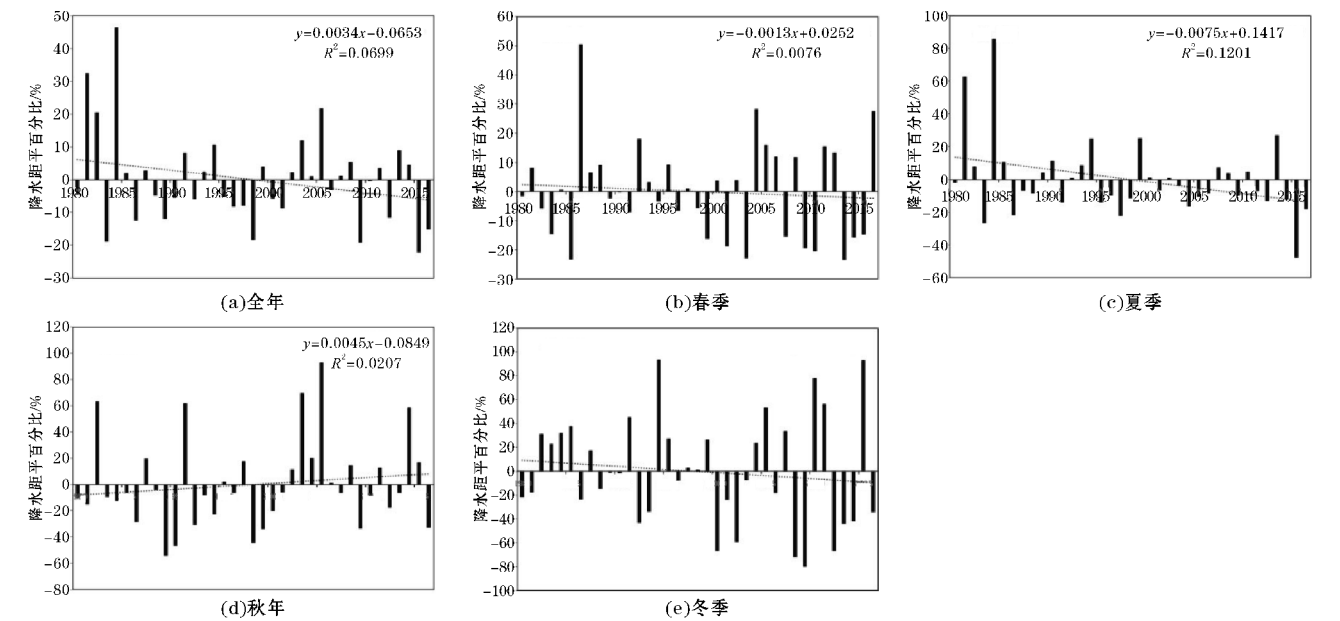


图 6 1980–2016 年龙泉驿区降水量距平百分比

2.3.2 降水量突变性检验分析

从图 7 中可以看出,近37 a,龙泉驿区年降水量在1982年之前降水量先增后减,平稳波动,1982年后 UF 值小于0,降水的整体处在下降的趋势,直到1996减少的趋势达到0.05显著性水平, UF 和 UB 的交点位置出现在0.05的显著性水平临界线之间,其中1996年、1997年、1998年是突变点,分别在1997–1999年和2003年后 UF 值超过0.05信度线的下边界,减少趋势显著。

春季降水量在37 a期间 UF 基本小于0,在1995年前降水量持呈减少趋势,在1998年后, UF 值呈上升趋势,在2006年、2007年附近有突变,降水量在2013

年后又有下降趋势在,在1995–2004年超过0.05信度线的下边界,减少趋势显著。

夏季降水量在37 a UF 值也基本上小于0,整体上是减少趋势;1994年、2000年、2005–2009年发生突变,在2003年后超过0.05信度线的下边界,减少趋势显著。秋季降水量在2000年前整体上处于先减后增趋势,呈波动阶段;在2000后, UF 值大于0,呈较平稳趋势,在2014年左右有突变,突变后减少趋势明显。冬季降水量在1998–2013年,有多次突变,且在2013年最后一次突变后减少趋势明显,达到了0.05信度线下边界。线性倾向估计和M-K法对龙泉驿区年和各个季节降水量的总趋势检验结果基本一致。

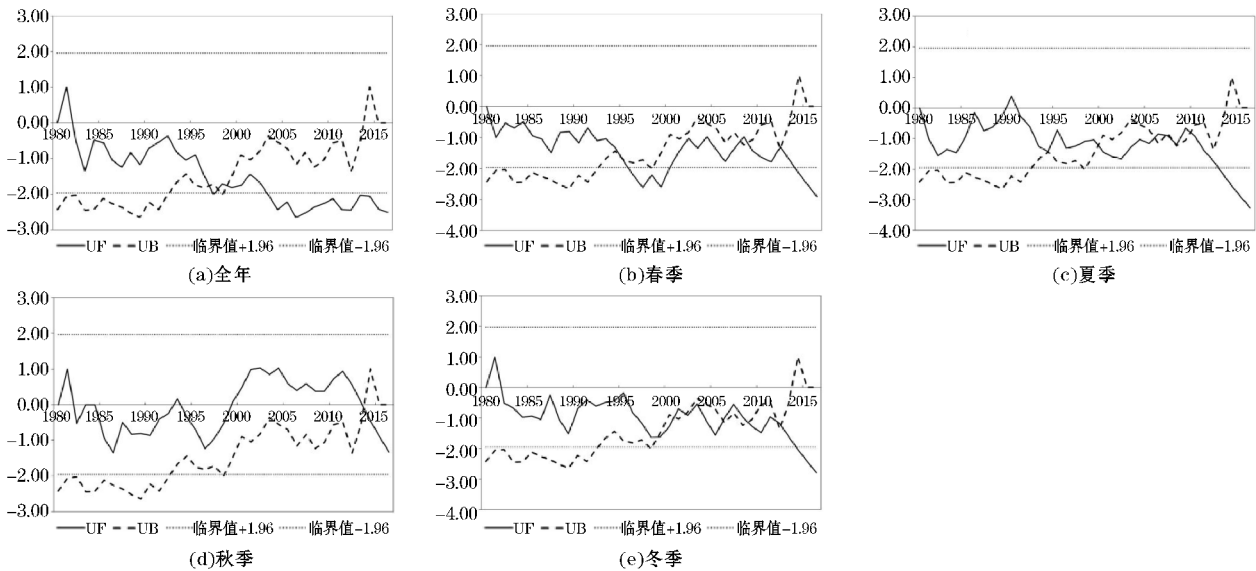


图 7 1980-2016 年龙泉驿区降水量 M-K 统计量曲线

2.3.3 降水量小波分析

图 8 是龙泉驿区 1980-2016 年年降水量的 Morlet 小波分析图,显示了 37 a 龙泉驿地区年降水量在不同年时间尺度上的周期振荡。图 8(a)可见,龙泉驿区年降水量存在明显的准 3 a 和准 9 a 特征时间尺度,基本上对应着图 8(a)中体现出的年际和年代际的波动变化特征尺度。图 8(a)显示,年降水量在 3a 时间尺度上同样经历了偏多→偏少……约 10 个循环交替过程,准 10 a 的主周期在 1980-2000 年代期较明显。准 22 a 的次周期在 1980-2010 年更加显著,可见年降水量的周期变化趋于复杂;年降水量在 20a 时间尺度上经历了偏多→偏少→偏多→偏少的循环交替过程。在 6~11 a 的特征时间尺度上,1980-1984 年、1991-1996 年、2003-2008 年、2012-2015 年为多降水期,1985-1990 年、1997-2002 年、2008-2011 年为少降水期,降水量变化的近年代际周期性特征比较明显。对于 5 a 以下的年际尺度,也显示出降水丰沛期和稀少期的循环交替,1990 年中期以前其周期振荡主要是 2~3 a,1990 年代中期以后 3~4 a 的特征尺度振荡比较明显。另外,2007-2010 年,存在有 3 a 左右、9 a 左右周期叠加,出现丰水周期现象,2010-2012 年则出现降水稀少现象。

由图 9 可以看出,近 37 a 春季降水呈明显的周期性变化,春季平均降水量变化存在 7a 左右的振荡周期,主要体现在 1980-2000 年,其中有 3 个少雨期和 2 个多雨期;时域中 15 a 左右的振荡周期信号出现在讨论的整个时域中。

夏季平均降水量变化具有准 3 a 的显著主周期和准 9~10 a、准 13 a、准 22 a 的次周期。其中 3 a 左右尺度周期信号明显,在讨论的时域中 1980-1995 年均有表现;另外在该时域内还表现 9~10 a 尺度的振荡周期,其中有 3 个多雨期和 2 个少雨期交替出现;而准 13 a、22 a 尺度的周期信号出现在讨论的整个时域中。从龙泉驿区夏季降水的小波系数图(图 9)可以看出,夏季降水量在 1996 年、1997 年、1998 年发生了 3 次转折,在长周期上存在 22 a 左右的周期变化,在短周期上存在 9~10 a 的周期变化。

秋季平均降水量变化的周期信号在 10 a 左右最为明显,该尺度信号出现在讨论的整个时域中,其中有个 4 个多雨期和 3 个少雨期交替出现。

冬季平均降水量变化具有准 5 a 的主周期和准 10 a 的次周期,其中 5a 左右的尺度周期信号明显,在讨论的时域中 1980-1995 年均有体现,而 10 a 左右的尺度周期信号出现在所讨论的整个时域中。

各季降水量都具有大尺度的长周期。在长周期中,又嵌套有小尺度的短周期,即具有较好的自相似结构,表明降水量的气候变化存在着一定的规律性。四季的降水量都具有准 5~6 a 的年际周期和准 10~12a 年代际周期,且年际变化和年代际变化都有很强的信号。同年降水量准 19~20 a 的年代际周期相近,夏季和秋季降水量分别具有准 20~22 a 的年代际周期。与年和夏、秋季不同,春季降水量具有准 17 a 的年代际变

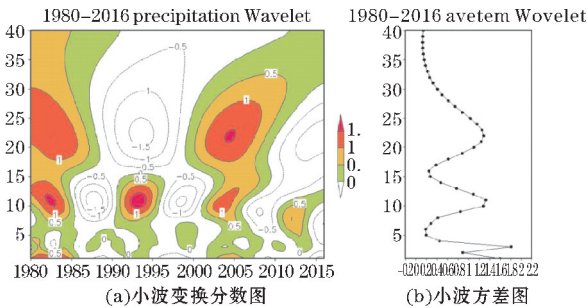


图 8 龙泉驿区 1980-2016 年年平均降水量的小波变换系数图和小波方差图

化和冬季降水量有准15 a的年代际变化,体现了冬春两季降水量周期变化的特殊性。总体上看,与气温相

比,降水量的准周期变化在所研究的时域中分布较均匀,周期震荡更显著。

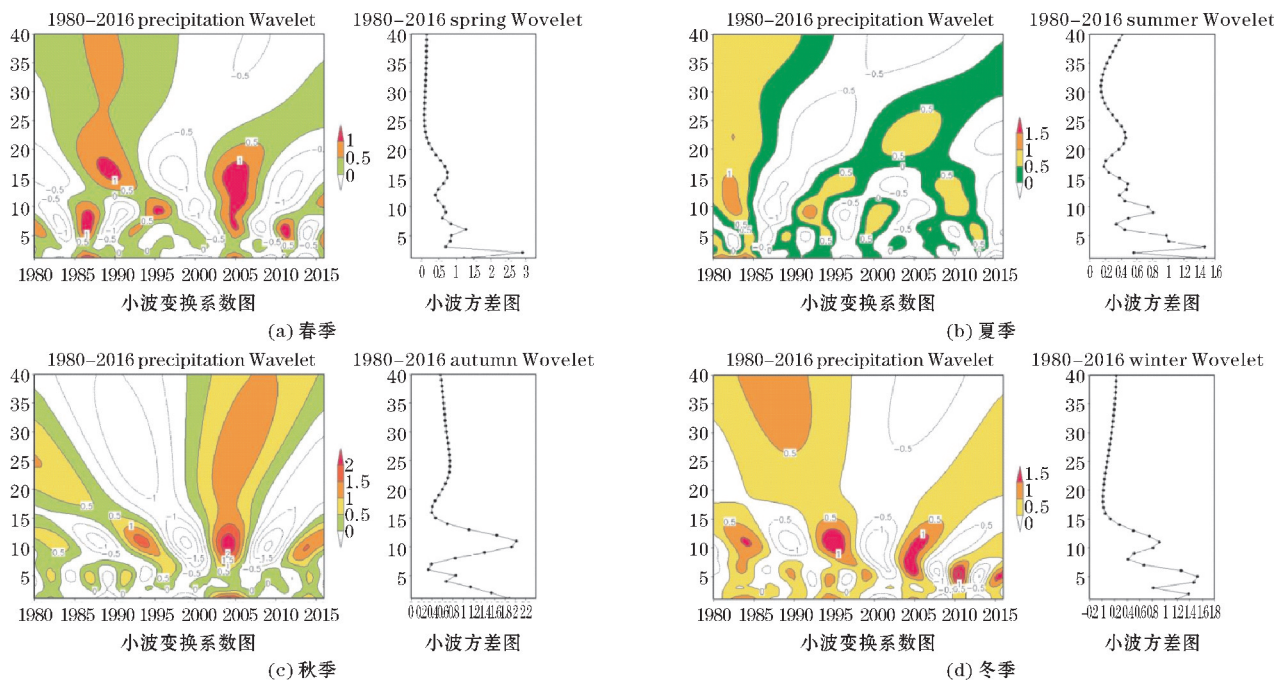


图9 龙泉驿区 1980-2016 年四季平均降水量的小波变换系数图和小波方差图

3 结束语

龙泉驿区近37 a年平均气温为16.78℃,处在全省气温较高的区域,气温月变化成单峰型分布,5-9月气温较高,10-次年4月气温较低。最热月均为7月,平均温度为25.71℃,最冷月均为1月,平均温度为5.94℃。龙泉驿区降水主要集中在5-9月,与温度相类似,占全年总降水量的81%,尤其在7-8月降水量最多,11-次年3月降水量显著减少。总体来说,龙泉驿区5-9月气温较高,降水较多,11-次年4月气温较低,降水较少,呈现了雨热同期的气候特征。

近37 a,年和春、夏、秋季及冬季平均气温随着时间的升高均呈明显上升趋势。其中,春季气温随着时间的升高最为明显,而在降水量方面,秋季的降水量随着时间的升高呈明显上升趋势,其余3季和年降水量均随时间的增加呈下降趋势。

近37 a,龙泉驿区年平均温度在1986年存在一个UF最低值,随后有增温的趋势,但从1993年后,UF基本都处于正值,2000-2015年超过0.05信度线的上边界;龙泉驿区年降水量在1982年之前降水量先增后减,平稳波动,1996年、1997年、1998年是突变点,分别在1997-1999年和2003年后UF值超过0.05信度线的下边界,减少趋势显著。

近37 a,年平均气温具有准5 a的显著主周期和准

9 a、准17~18 a的次周期。夏季与年平均气温的周期变化特征最接近,可见在各季中夏季对全年平均气温的周期特征贡献值最大。龙泉驿区年平均降水量存在明显的准3 a主周期和准10 a、准22 a的次周期,各季降水量都具有大尺度的长周期。在长周期中,又嵌套有小尺度的短周期,即具有较好的自相似结构,表明降水量的气候变化存在着一定的规律性。夏季降水量与年降水量的小波系数变化相对最接近,总体上看,与气温相比,降水量的准周期变化在所研究的时域中分布较均匀,周期震荡更显著。

龙泉驿区作为四川盆地的一小区域,近37 a的气候变化规律与整个四川气候趋势类似,平均气温在波动中主要呈上升趋势,降水量整体呈下降趋势,年际间波动较大。据IPCC第四次评估报告对中国21世纪气候变化情景的预估结果来看,未来中国气候总体呈变暖、变湿的趋势^[40],而未来气候变化可能会产生重大不利的影响,长期忽视,可能会超出自然和人类系统的适应能力。

致谢:感谢成都市龙泉驿区科技项目(2018H137)对本文的资助

参考文献:

[1] 杨洪波. 加强生态环境保护与修复建设美丽四川[J]. 环境保护, 2018, 46(11): 29-30.
[2] 裴佩. 厚植绿色本底建设美丽四川——四川全

- 面加强生态环境保护亮点回眸[J]. 四川党的建设,2018(11):12-14.
- [3] 龙泉驿区专家献策管家服务“一企一策”扎实开展涉气企业提标改造[N]. 成都日报,2018-09-06(005).
- [4] 龙泉驿青山绿水构筑公园城市生态底色[N]. 成都日报,2018-11-15(005).
- [5] 潘兴扬,周森葭. 成都龙泉驿:花果香飘第一县[J]. 当代县域经济,2015(6):48-51.
- [6] 成都市龙泉驿区地方志编纂委员会. 成都市龙泉驿区志(1989-2005)[C]. 成都:方志出版社,2013:58.
- [7] 陈鹏,刘德,李强,等. 2009年夏季四川盆地两次暴雨过程对比分析[J]. 暴雨灾害,2014,33(2):112-120.
- [8] 李永华,徐海明,刘德. 2006年夏季西南地区东部特大干旱及其大气环流异常[J]. 气象学报,2009,67(1):122-132.
- [9] 杨福安,徐渝江,陈效孟. 四川近五十年降水、旱涝特征分析及未来十年趋势预测[J]. 四川气象,1994(2):28-31.
- [10] 杨福安. 近六十余年四川省气温异常的初步分析[J]. 四川气象,1993(2):28-35.
- [11] 王春学,马振峰,邓彪,等. 基于MTM-SVD方法的西南地区降水季节内振荡特征分析[J]. 高原气象,2015,34(1):59-69.
- [12] 孙昭莹,杨小波,马振峰. 近50年西南地区秋雨监测指标的建立及成因分析[J]. 气象科技,2013,41(5):883-888.
- [13] 罗玉,陈超,马振峰,等. 四川盆地夏季区域性极端降水事件特征及其成因[J]. 西南大学学报(自然科学版),2019,41(5):128-138.
- [14] 任国玉,战云健,任玉玉,等. 中国大陆降水时空变异规律——I. 气候学特征[J]. 水科学进展,2015,26(3):299-310.
- [15] 唐国利,任国玉,周江兴. 西南地区城市热岛强度变化对地面气温序列影响[J]. 应用气象学报,2008,19(6):722-730.
- [16] 陈超,庞艳梅,张玉芳. 近50年来四川盆地气候变化特征研究[J]. 西南大学学报(自然科学版),2010,32(9):115-120.
- [17] 赵静,陈超,周斌. 1960-2010年四川最高、最低气温的非对称性变化特征[J]. 高原山地气象研究,2012,32(3):42-45.
- [18] 金巍,任国玉,曲岩,等. 1971-2010年东北三省平均地面风速变化[J]. 干旱区研究,2012,29(4):648-653.
- [19] 王琪森,武竹青,王刚,等. 山东省南四湖流域年径流变化特征及趋势分析[J]. 人民珠江,2017,38(7):49-54.
- [20] 张秀珍,张文煜,宋嘉尧,等. 潍坊市近45年气候特征分析[J]. 山东气象,2008(1):14-17.
- [21] 张雪芹,孙杨,毛炜峰,等. 中国干旱区气温变化对全球变暖的区域响应[J]. 干旱区研究,2010,27(4):592-599.
- [22] 李永坤,马旭,潘兴瑶,等. 基于芒种日分析的BP模型在中长期汛期降雨量预报中的应用[J]. 南水北调与水利科技,2019,17(3):1-6.
- [23] 樊贤璐,徐国宾,邓恒,等. 1975-2015年洪泽湖水沙变化趋势及成因分析[J]. 南水北调与水利科技,2019,17(3):7-15.
- [24] 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.
- [25] Yavuz Selim G. Multiple Sen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test[J]. Journal of Hydrology,2018.
- [26] Munkhnasan Lamchin, Woo-Kyun Lee, Seong Woo Jeon, et al. Corrigendum to “Mann-Kendall Monotonic Trend Test and Correlation Analysis using Spatio-temporal Dataset: the case of Asia using vegetation greenness and climate factors” [MethodsX 5 (2018) 803 - 807][J]. MethodsX,2019,6.
- [27] 安国庆. 基于M-K检验方法的1980-2016年衡水市降水时间变化规律研究[J]. 地下水,2018,40(6):174-175.
- [28] 李亚丽. 基于地统计学和M-K检验的头屯河流域降水时空变化分析[J]. 水利科技与经济,2018,24(10):69-73.
- [29] 甄英,杨珊,何静,等. 基于M-K检验法与R/S法的宜宾市降水量分析[J]. 四川师范大学学报(自然科学版),2017,40(3):392-397.
- [30] 张秀珍,张文煜,宋嘉尧,等. 潍坊市近45年气候特征分析[J]. 山东气象,2008(1):14-17.
- [31] 秦丽,张立凤,骆凯. 近48 a台北市气温的小波分析[J]. 气象与环境科学,2010,33(2):59-62.
- [32] Michael X Cohen. A better way to define and describe Morlet wavelets for time-frequency analysis[J]. NeuroImage,2019:199.
- [33] Wang Zhiyong, Liu Zhigang, Deng Wen, et al. Op-

- tical-frequency scanning-rate calibration of external cavity diode lasers using adaptive complex-shifted Morlet wavelets. [J]. The Review of scientific instruments, 2019, 90(6).
- [34] 赵文虎, 孙卫国, 程炳岩. 近50年川渝地区的气温变化及其原因分析[J]. 高原山地气象研究, 2008, 28(3): 59-67.
- [35] 赵旋. 四川地区盛夏7月降水异常与大气环流的联系[D]. 兰州: 兰州大学, 2012.
- [36] 彭玉萍, 何金海, 陈隆勋, 等. 1981-2000年夏季青藏高原大气热源低频振荡特征及其影响[J]. 热带气象学报, 2012, 28(3): 330-338.
- [37] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近50年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956.
- [38] 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1): 27-31.
- [39] 张顺谦, 马振峰. 1961-2009年四川极端强降水变化趋势与周期性分析[J]. 自然资源学报, 2011, 26(11): 1918-1929.
- [40] 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.

Research on the Characteristics of Climate Change in Longquanyi District of Chengdu City in Recent 37 Years

HUO Yashu¹, XIAO Tianguai¹, MAO Shijie², GAO Kaixiang², ZHANG Yuan²

(1. College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225 China; 2. Chengdu Longquanyi Meteorological Bureau, Chengdu 610100 China)

Abstract: In order to study the characteristics of climate change in Longquanyi District of Chengdu City, this article uses the observation data of ground weather stations in Longquanyi District as the basis, selects two main meteorological factors as temperature and precipitation, uses Morlet wavelet analysis, Mann-Kendall test and linear tendency estimation Methods To study the climate change characteristics of Longquanyi District from 1980 to 2016. The results show that: (1) Longquanyi District presents the climatic characteristics of the same period of rain and heat. (2) The annual average temperature is mainly increasing, and there is a clear cooling trend after 1986. The high-temperature years are 2006, 2007, 2013, 2014, and 2015; the low-temperature years are 1984, 1989, and 1996, 1988, 1992. The average temperature in Longquanyi District from 1997 to 2016 was basically higher than the average, while the average temperature before 1997 was generally lower than the average. (3) The annual average temperature has a significant primary cycle of quasi 5 years and is relatively stable. In addition, it also has quasi 9 years and secondary cycles of 17-18 years. (4) The annual precipitation in Longquanyi District has a clear decreasing trend, and it has abrupt changes from 1996 to 1998. The decreasing trend is significant. There is a quasi 3-year main cycle and a quasi 10-year, quasi-22-year sub-cycle. The quasi-periodic variation of the quantity is more evenly distributed in the studied time domain, and the periodic oscillation is significant.

Keywords: atmospheric science; climate change; longquanyi district; linear trend estimation; Mann-Kendal test; wavelet transform