

文章编号: 2096-1618(2020)02-0179-09

# 成都平原气候变化特征

张禄英, 毛文书, 庞波

(成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225)

**摘要:**为了能更充分地了解成都平原气候变化特征,实现环境、经济和社会可持续发展,利用小波分析、M-K 检验等方法对成都平原 12 个观测站点 1961–2016 年共 56 年的日最高温度、最低温度、降水、平均温度进行了特征分析。研究表明:成都平原近 56 年平均温度时间变化趋势是在波动中先降温而后上升并仍处于上升的趋势,平均温度升高中受最高温度升高的影响大;空间上有向东及东南气温略高的趋势。成都平原的年际降水主要呈现下降趋势,年际间相对波动比较大。成都平原的年降水主要受夏季降水的影响,随着夏季降水的逐渐减少,春秋两季的降水量占年降水量的比重增大,未来年降水量可能是较为平缓的趋势。年平均温度及年平均降水存在不同显著的年代际和年际周期变化。

**关键词:**大气科学;气候变化;降水;气温;成都平原

**中图分类号:**P461+.3

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcu.2020.02.009

## 0 引言

近两百年,随着三次科技革命的兴起,人类社会工业化城市化迅猛发展,引起了一系列的环境问题,环境问题不仅对人类社会经济和可持续发展起着重大影响,还上升到道德和伦理维度。IPCC“气候变化 1995”提出了一个被广泛引用的估计,即到 2100 年全球变暖将使平均温度上升 $1\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,最佳估计值为 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,水平上升 $0.13 \sim 0.94\text{ m}$ 。IPCC 2018《特别报道:全球变暖 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 》<sup>[1]</sup>显示,人类活动导致的全球变暖大约达到了 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,气温可能会在 2030 年到 2052 年某个时间点达到高出该基线(工业化前水平) $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的程度,或者,在更极端的情况下,全球气温可能会升高 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。气候变化带给我们的影响不容小觑。人们也成立了 WCRP(世界气候研究计划)和 IPCC(政府间气候变化专门委员会)等各种组织机构研究全球气候变化。虽然气候研究在中国起步比较晚,但是近世纪以来,越来越多的气候学家对亚洲大陆的气候变化做了研究。在对中国过去气候变化的研究中,施雅风等<sup>[2]</sup>从冰芯研究中得出中国西部近 2000 年的气候变化:1920 年后温度呈上升趋势,1510–1920 年为一小冰期具有强烈的冷暖波动,970–1500 年降水较少属于干旱期,温度适中,280–960 年也属于干旱期,温度较低,270 年以前温度较高且较为湿润。虽然过去的气候研究很重要,但是近代以来的气候变化研究更有意义,有不少人

对此也做了很充分细致的研究分析。其中陈隆勋等<sup>[3]</sup>利用温度和降水等资料对中国 1920–2000 年的气候进行研究,得出自 20 世纪 20 年代以来,中国地区出现了两个暖区时期(20 世纪 40 年代和 90 年代出现了 2 个暖期)和一个相对冷期(50–60 年代)。北方地区为明显暖区,冷区主要在 $35\text{ }^{\circ}\text{N}$ 以南和 $100\text{ }^{\circ}\text{E}$ 以东以四川盆地为中心的地区,90 年代有变暖趋势,其温暖温度基本达到 40 年代暖期温度。对于中国的降水量分析则得出 20 年代为最少的年份,其中又以 1929 年降水量为最少,降水量到了 50 年代达到一个小高峰,而后又缓慢减少,之后的年代降水量在数量上变化不大,另外在 80 年代及以后多雨带由华北南移到长江中下游。文中还对人类活动影响气候变化有一定的描述。张先恭等<sup>[4]</sup>通过对 1980 年以前降水和温度资料研究了中国的温度和降水等级变化,得出了相同的结论。陈超等<sup>[5]</sup>利用四川盆地 1961–2007 年的气象资料得出,四川盆地在温度上主要呈上升趋势,升温显著开始于 1995 年左右,滞后于全国温度的跃变。冬半年的平均温度升高对年平均温度的升高做出了最大贡献。四川盆地的降水量变化趋势比较直观,主要是下降趋势,降水变化的转折点发生在 1990 年,从那之后降水量明显下降。还有很多很多的学者对中国的区域气候变化做了一定的研究,比如伍红雨等<sup>[6]</sup>、陈忠等<sup>[7]</sup>、常军等<sup>[8]</sup>。现在气候变化已经不仅仅是气候问题,它与我们的生活息息相关,影响范围不仅仅是人类生活,很多学者研究了气候变化与渔业<sup>[9]</sup>、农业生态<sup>[10]</sup>、水安全<sup>[11–12]</sup>、雾霾<sup>[13]</sup>等的关系,以便更好地应对气候变化带来的各种影响。

虽然越来越多的学者对中国气候做出研究,但是由于测站搬迁、建站晚等原因造成缺少长期实地观测资料,有许多研究结果还需要更正补充。加之中国地域广阔,地理复杂,人们对气候的影响程度不一,在全球升温这个大背景下区域变化有各自的敏感性,气候变化在时间和空间上有着很强的区域性。对中国各区域气候变化准确评估的事实、原因以及影响,在长期气候变化影响的背景下可增强国家适应的能力,推延或避开气候变化对国家生态安全所产生的威胁,实现环境、经济和社会可持续性发展。

成都平原又名川西平原,别称为“川西坝”。成都平原的范围在四川盆地西部,龙泉山在其东南侧,龙门山在其西北侧。成都平原四季分明,日照少,主要受暖湿亚热带太平洋东南季风影响。气候潮湿温润,多雾天气。多年平均气温为16.1℃。降水量比较丰富。成都平原四周被高原山地环绕,区域气候性较强,对成都平原区域气候特征的研究有利于气候的研究,有利于实现成都平原环境、经济和社会可持续性发展。

## 1 资料概况与研究方法

资料选取成都平原 14 个站点 1961–2016 年的日最高温度、日最低温度、日平均温度和日降水量,其中站点包括崇州、大邑、都江堰、金堂、彭州、郫县、浦江、邛崃、双流、温江、新都、新津、简阳、龙泉驿国家站,图 1 为其空间分布图。由于数据的缺失和不规范等原因剔除了简阳和龙泉驿两个站点,选取了剩余的 12 个站点数据。对这 12 个站点 56 年的数据进行处理整合,作出时间变化趋势图可以直观了解其变化趋势,利

用 Mann-Kendall 非参数检验方法检验其置信度和序列突变点,再用滑动 T 检验再次检验可突变点,之后再利用 Morlet 小波分析方法分析成都平原 56 年的气候变化周期。以 3–5 月、6–8 月、9–11、12–2 月分别代表春、夏、秋、冬季(下同)。

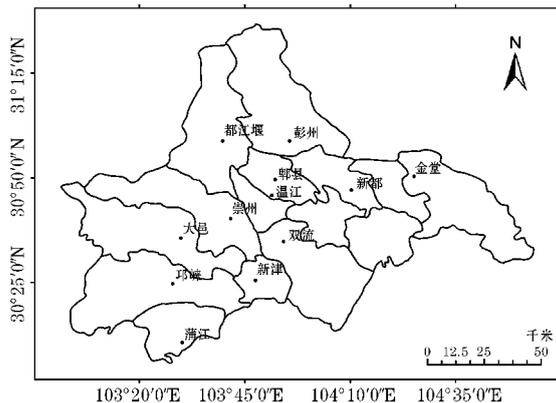


图 1 站点空间分布

## 2 温度的时空变化特征

### 2.1 温度的空间分布特征

#### 2.1.1 温度的年平均空间分布特征

图 2 为各站点多年日平均最高温度、最低温度、平均温度的空间分布图,由图 2 可以很清楚地看出:多年日平均最高温度基本在 20℃ 左右、日平均最低温度基本在 13℃ 左右、日平均温度基本在 16℃ 左右,相对全国温度均偏高。成都平原各站点数值比较接近,差值在 2℃ 之内,向东及东南有气温略高的趋势。

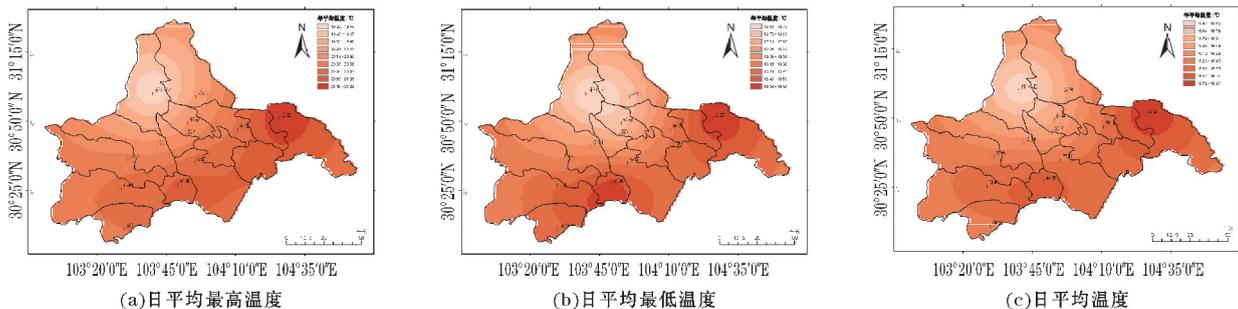


图 2 站点多年日平均温度空间分布

#### 2.1.2 温度的季节平均空间分布特征

图 3 为春季日平均最高温度、平均最低温度、平均温度的空间分布图。由图 3 可以很清楚地看到:春季日平均最高温度基本在 20℃ 左右、春季日平均最低温度基本在 13℃ 左右、春季日平均温度基本在 16℃ 左右,相对全国温度均偏高。图 4 为是夏季日平均最高温度、平均最低温度、平均温度的空间分布图。由图 4

可以很清楚地看到:夏季日平均最高温度基本在 29℃ 左右、夏季日平均最低温度基本在 21℃ 左右、夏季日平均温度基本在 24℃ 左右,相对全国温度均偏高。图 5 为秋季日平均最高温度、平均最低温度、平均温度的空间分布图。由图 5 可以很清楚地看到:秋季日平均最高温度基本在 20℃ 左右、秋季日平均最低温度基本在 14℃ 左右、秋季日平均温度基本在 17℃ 左右,相对

全国温度均偏高。图 6 为冬季日平均最高温度、平均最低温度、平均温度的空间分布图。由图 6 可以很清楚地看到:冬季日平均最高温度基本在 10 °C 左右、冬

季日平均最低温度基本在 4 °C 左右、冬季日平均温度基本在 7 °C 左右,相对全国温度均偏高。

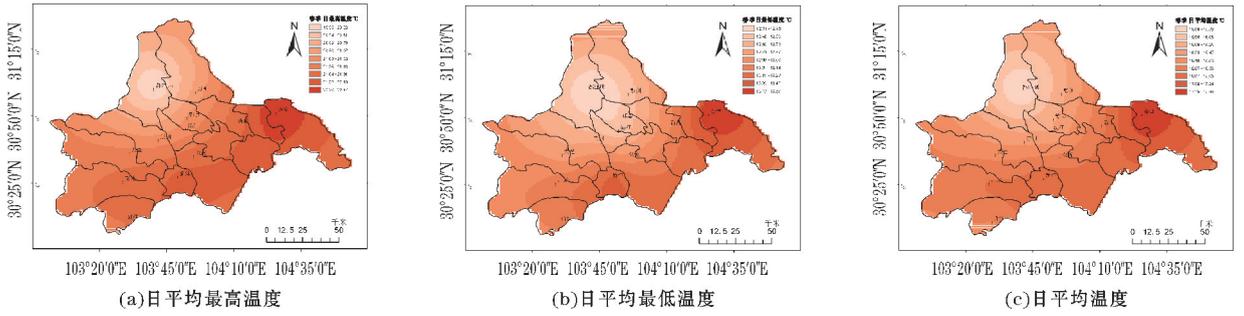


图 3 春季日平均温度的空间分布

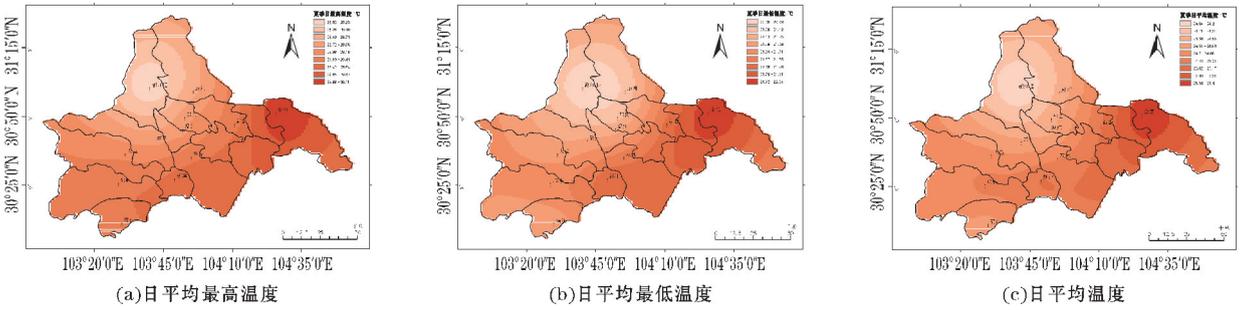


图 4 夏季日平均温度的空间分布

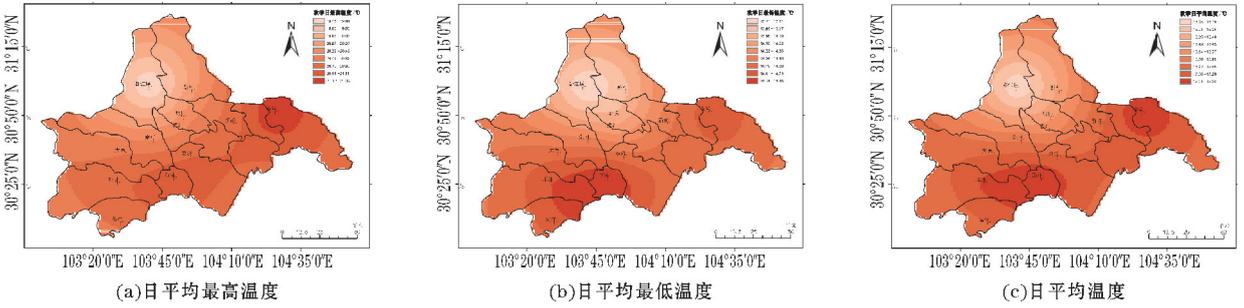


图 5 秋季日平均温度的空间分布

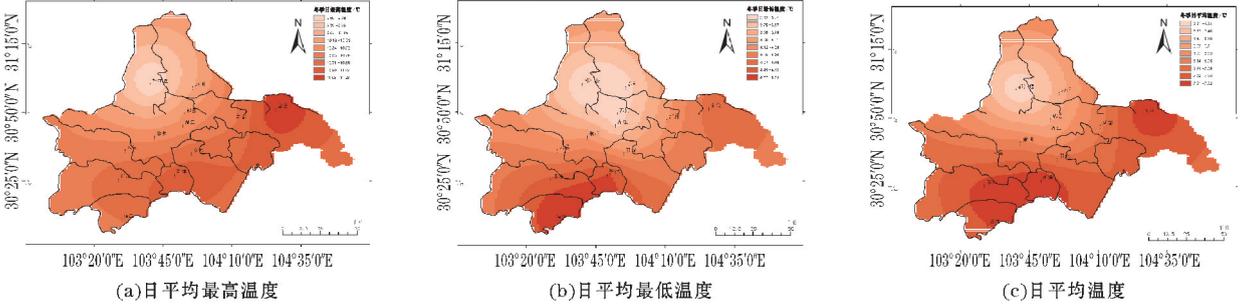


图 6 冬季日平均温度的空间分布

因为选中区域范围比较小、地势相同,受同一气候影响等原因,各站点温度差值较小,但仍可看出温度有由西北向东南递增的趋势。

### 2.2 温度的时间变化特征

#### 2.2.1 温度的年际变化特征

表 1 是成都平原温度距平(为 10 年平均与多年平

均差值),从表 1 可以看出多年平均最高温度、日最低温度、日平均温度都是先下降而后上升的趋势。20 世纪 80 年代为温度最低的 10 年。

图 7 是年平均日最高温度、日最低温度、日平均温度的年际变化和 M-K 检验图。第一组为年平均日最高温度图,图中显示年平均日最高温度中的最大值出

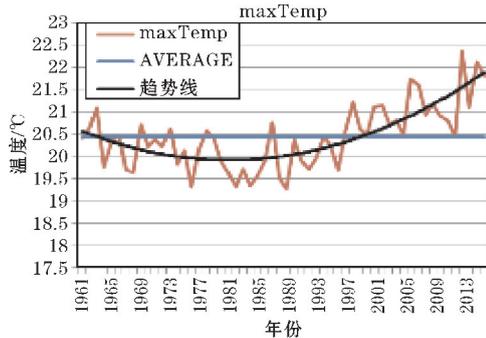
表1 成都平原温度距平

单位:℃

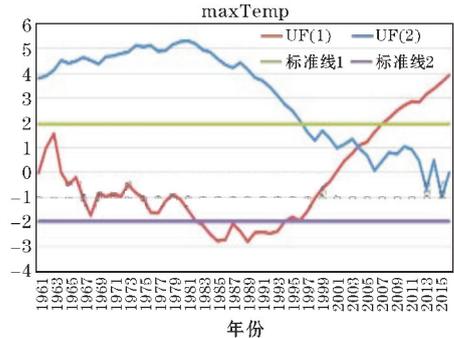
	60年代	70年代	80年代	90年代	00年代	2010年-
$T_{max}$	-0.12	-0.24	-0.74	-0.16	0.59	0.94
$T_{min}$	-0.22	-0.23	-0.47	0.01	0.48	0.58
$T_{avg}$	-0.07	-0.22	-0.59	-0.08	0.46	0.67

现在2013年,温度为22.36℃,最低温度出现在1989年,温度为19.25℃。由图中趋势线可以看出最高温度先有小幅度的下降,然后保持一个相对稳定的温度,在1983年达到相对低值后缓慢曲线上升,与M-K检验图所展示的基本符合,其中M-K检验图还显示最高温度在2003年后有一温度突变,升温明显。第二组是年平均日最低温度的年际变化和M-K检验图。图中最高温度出现在2015年,温度为14.29℃,最低温度出现在1984年,温度为12.41℃。趋势线显示的是先小幅度下降,在1980年到相对低值然后缓慢上升,持续上升。M-K检验图显示的也是先缓慢下降后上升,

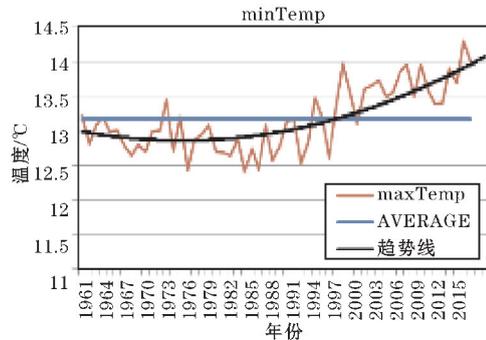
在2003年时出现突变,温度上升,在2012年后上升更为明显。第三组为年平均日平均温度的年际变化和M-K检验图。图中最高温度出现在2015年,温度为17.63℃,最低温度出现在1976年,温度为15.33℃。由趋势线可以看到平均温度的时间变化也是先缓慢下降后上升,M-K检验图显示在2003年出现突变,温度上升明显,这与韩翠华等<sup>[14]</sup>分析中国温度变化得出的结论一致。最高温度的增值比最低温度的增值多,升温率高,说明白天升温幅度大于夜间的升温幅度,在平均温度的上升中,最高温度的贡献率大。这与陈超等<sup>[5]</sup>的结论相悖,存在地形影响的可能性。



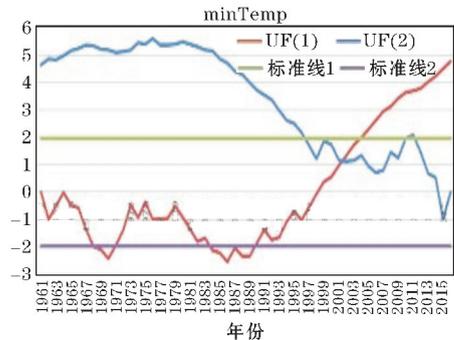
(a)年平均日最高温度年际变化



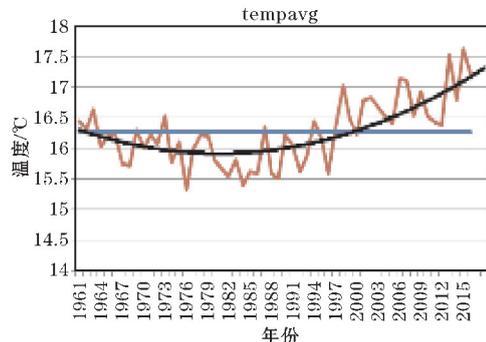
(b)年平均日最高温度M-K检验



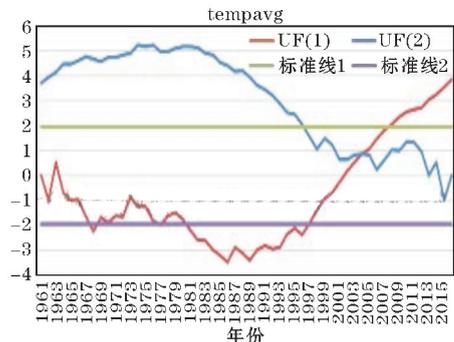
(c)年平均日最低温度年际变化



(d)年平均日最低温度M-K检验



(e)年平均日平均温度年际变化



(f)年平均日平均温度M-K检验

图7 年平均日最高温度、日最低温度、日平均温度的年际变化和M-K检验

### 2.2.2 温度的季节变化特征

图 8 为日最高温度的季节平均变化图,由图 8 可以很直观地看到春、冬两季温度比较平稳,秋季温度变化幅度相对较大一些,在数值变化中上升趋势明显,夏

季温度数值波动幅度较大,在 1983 年出现了一个温度最低值,然后有相对上升的趋势,结合最高温度的年际变化,可以得出最高温度中夏季温度对其影响较大。

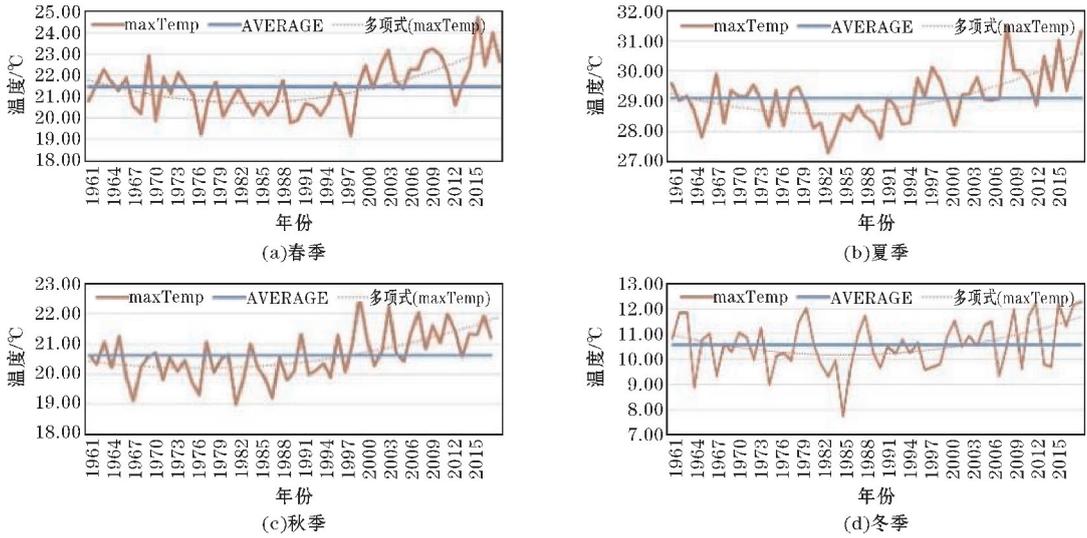


图 8 日最高温度的季节平均变化

图 9 是日最低温度的季节平均变化图,其中春、秋两季温度波动不大,基本在平均温度左右浮动,夏、冬两季温度起伏较大,夏季存在 2 °C 的差值,冬季存在 3.38 °C 的

差值,其中夏季是在波动中有轻微的温度减小而后上升趋势,冬季的温度波动起伏比较大,没有明显的上升或下降趋势,可得出最低温度中夏季对其影响较大。

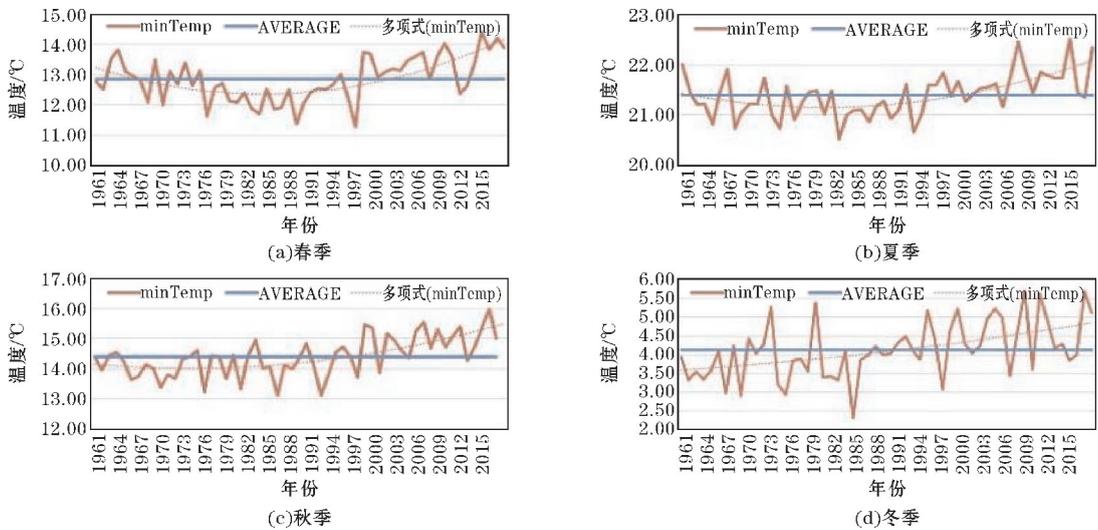


图 9 日最低温度的季节平均变化

图 10 为日平均温度的季节变化图。数值基本围绕平均值,夏、秋、冬季在数值上波动较大,其中秋季可以看到有一个轻微的上升趋势,夏、冬两季的数值有轻微的先变小而后变大而后持续变大的趋势,结合日平均温度的年际变化图可以得出夏季、冬季对其影响较大。

析周期图和小波方差图如图 11 ~ 13 所示,白亮区表示正值中心,黑色区表示负值中心(下同)。图中清晰地展现了小波变换系数实部的波动变化,具体反映了温度在此区域偏高和偏低交替变化的特性。

### 2.2.3 温度的周期变化特征

图 11 为年平均日最高温度的小波周期图和小波方差图,小波周期图显示,3 年、8 年左右的尺度波动十分明显,正负位相交替出现。小波方差图中存在 4 个

年平均日最高温度、最低温度、平均温度的小波分

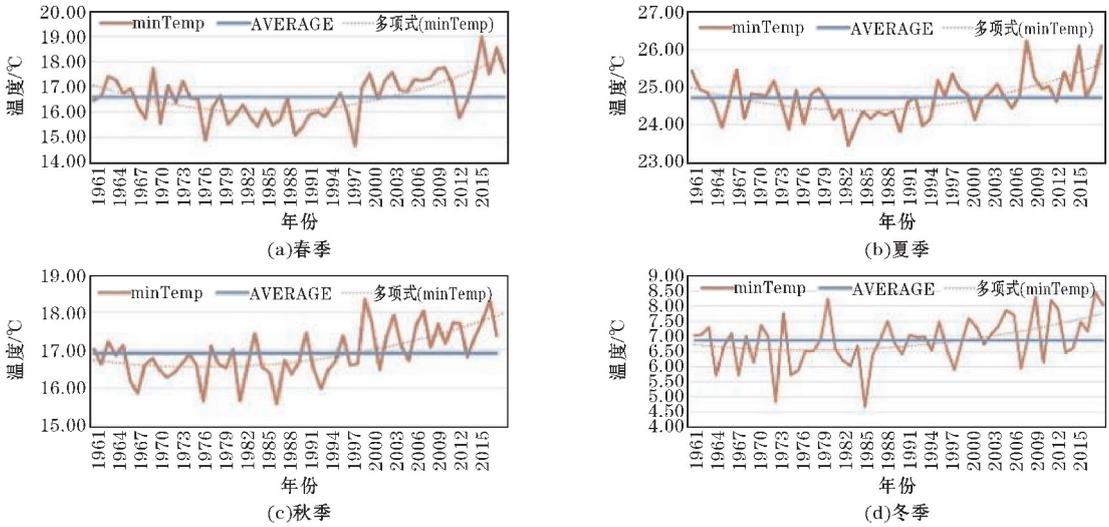


图10 日平均温度的季节平均变化

较为明显的峰值,8年左右(时间尺度)的周期震荡最强,为年平均温度变化的第一主周期;3年为第二主周期;13年和19年分别为第三和第四主周期。上述4个周期的波动控制着年平均最高温度在整个时间域内的变化特征。

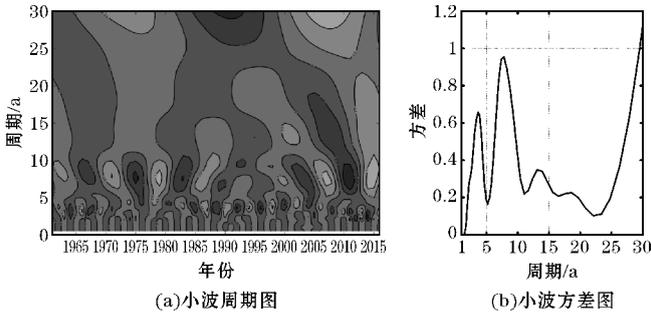


图11 年平均日最高温度小波分析

图12为年平均日最低温度小波分析图,4年、9年左右的尺度波动十分明显,小波方差图中存在4个较为明显的峰值,它们依次从小到大对应着4年、8年、13年和18年的时间尺度。

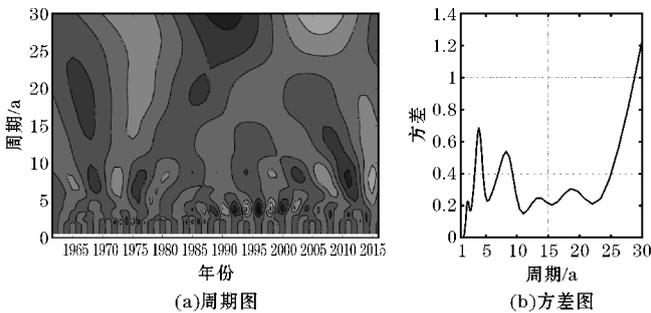


图12 年平均日最低温度小波分析

图13为年平均日平均温度小波分析图,4年、8年左右的尺度波动十分明显,正负位相交替出现。小波方差图中存在4个较为明显的峰值,它们依次从小到大

大对应着4年、8年、13年和18年的时间尺度。

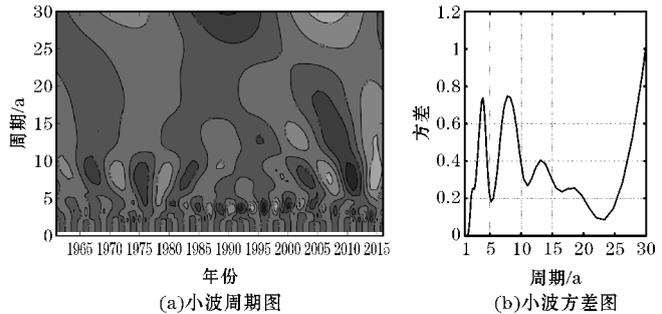


图13 年平均日平均温度小波分析

### 3 降水的时空变化特征

#### 3.1 降水的空间分布特征

##### 3.1.1 降水的年平均空间分布特征

图14是降水的年平均空间分布图,由图14可以看到这几个站点的平均降水量数值,整体降水比较均匀。降水量呈西北-东南方向递减,这与成都平原上河流的分布有比较大的关系。分析区域范围相对比较小,站点所属气候影响类型相同,各站点年降水量之间差值较小,差值在380 mm内。

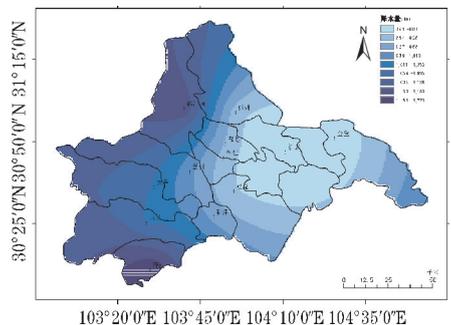


图14 降水的年平均空间分布

### 3.1.2 降水的季节平均空间分布特征

图 15 为季节降水量空间分布图,从图 15 可以很清楚地看到:春夏秋冬四季降水空间分布大致一样,由

西北向东南方向递减的一个分布,都江堰站数值较大主要与成都平原河流分布有关。总体上春夏秋冬四季的空间分布各站点数值相差不大。

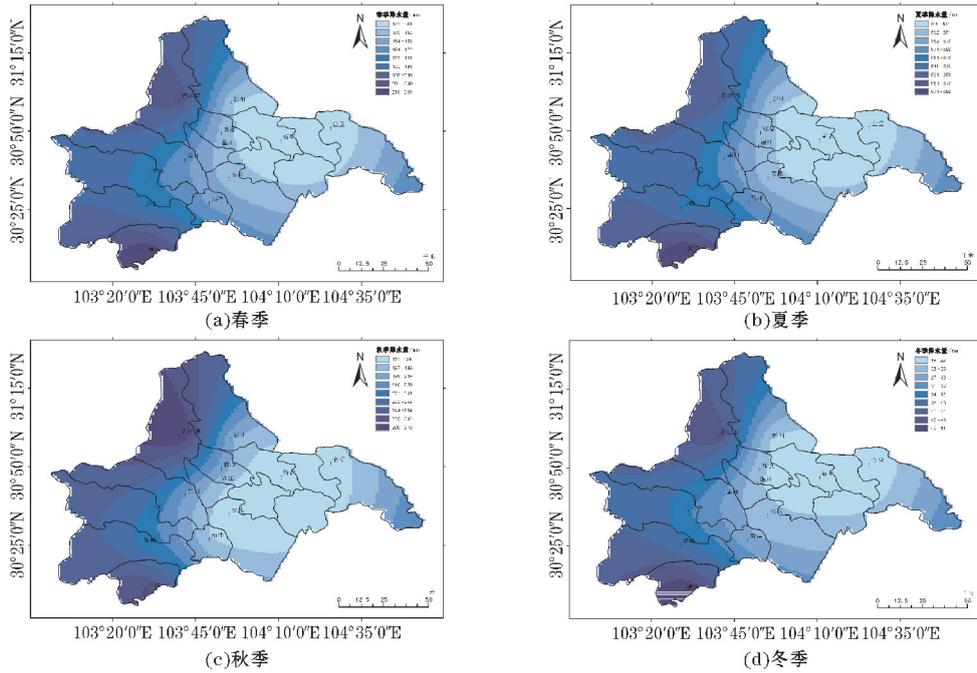


图 15 季节降水量空间分布

## 3.2 降水的时间变化特征

### 3.2.1 降水的年际变化特征

表 2 是各年代平均降水量距平,由表 2 年平均降水量距平变化可以很明显的看出年降水量是一个逐渐减少的趋势,从 20 世纪 60 年代开始一直到 90 年代,多年降水量距平的数值由稍微高于多年平均值近 76 mm 到

和多年平均降水量持平,21 世纪初降水量低于多年平均近 102 mm,2010 年及之后的年份降水量有所增加,数值和多年平均相差不大。夏季降水有一个较为明显的减少趋势,21 世纪初为夏季降水最少的年份。秋季多年平均降水 60 年代高于常年平均近 127 mm,然后多年平均降水距平一直较小。冬季多年平均降水量距平一直比较小,对于年平均降水量的影响基本可以忽略。

表 2 平均降水量距平

单位: mm

	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	00 年代	2010 年-
年	76.65	7.3	18.25	0	-102.2	14.6
春	14.6	-18.25	51.1	-69.35	-14.6	51.1
夏	171.55	18.25	65.7	43.8	-310.2	36.5
秋	127.75	32.85	-54.75	10.95	-87.6	-18.25
冬	-3.65	-7.3	7.3	7.3	-3.65	0

图 16 是降水的年际变化、M-K 检验、滑动 5 年检验图,由图得出成都平原的降水量是一个缓慢下降的趋势,60 年代和 80 年代降水量偏多平均值,其余年份

降水量比较少,尤其是从 90 年代开始,降水量一直减少。M-K 检验图显示平均年降水,滑动检验得出年平均降水不存在突变。

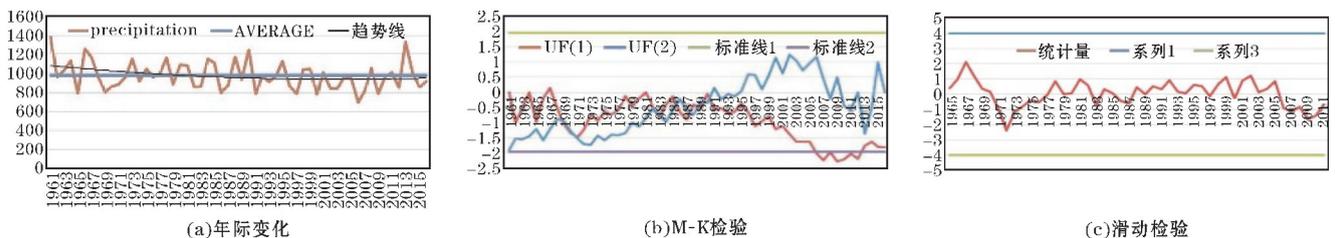


图 16 降水量年际变化、M-K 检验、滑动 5 年检验

### 3.2.2 降水的季节变化特征

图 17 是季节降水年际分布图,从数值上看,夏季降水占了全年降水的 50% 以上,冬季降水,基本在 30 mm 左右,对于全年降水的影响不大。从降水的时间变化来看,各个季节的降水浮动都比较大,春、秋、冬三季趋势较为平稳一些,夏季降水有缓慢减少的趋势,结合降水的年际变化趋势图可以很明显地看出,年际

降水变化图与夏季降水变化图的变化基本是相符合的,即年降水变化主要受夏季降水的影响,如果夏季降水丰富,那么在很大程度上该年的年降水量也是丰富的。根据夏季降水现在是一个逐渐减少的趋势,春、秋两季降水占年降水的比例逐渐增大且其降水趋势平缓,预计未来降水量会是先有缓慢的减少趋势而后趋于平稳。

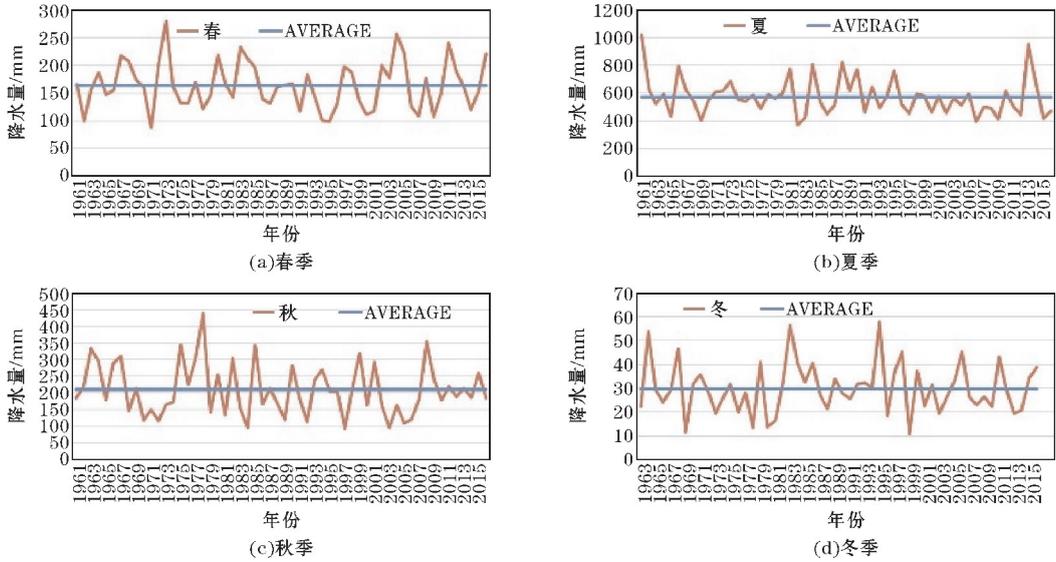


图 17 季节降水年际分布图

图 18 为月平均降水量的变化图,可以看到春、夏两季月降水量变化幅度比较大,其中 1、2、3、11、12 月份降水量没有太大的变化,4、5、7、8、9 月份降水量有明显的减少趋势,6 和 10 月降水量略有增加,7 月降水量减少趋势尤其明显,70 年代 7 月份降水为其中的最大值,达 270 mm 左右,其次是 60 年代 8 月达 260 mm 左右。

依次为降水量的第三、第四和第五主周期。控制着降水在整个时间域内的变化特征为上述 5 个周期的波动。

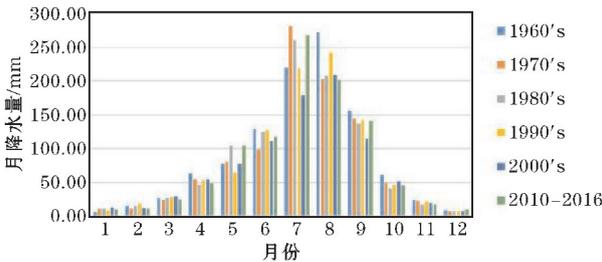


图 18 月平均降水量变化

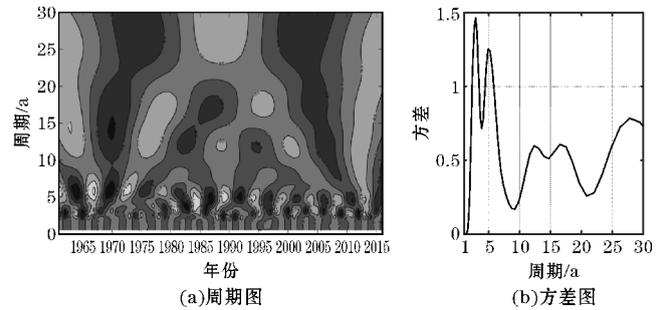


图 19 年平均降水小波分析

### 3.2.3 降水的周期变化特征

图 19 为年平均降水的小波分析周期图和小波方差图。由图 19 看到 3 年、5 年、12 年、17 年、28 年左右的尺度波动十分明显,正负位相交替出现。小波方差图(图 19b)存在 5 个较为明显的峰值,其中,3 年左右(时间尺度)为年温度变化变化的第一主周期;5 年时间尺度为第二主周期;12 年、17 年和 28 年的时间尺度

## 4 结论

利用 1961-2016 年的日最高温度、日最低温度、日平均温度和日降水量资料,分析了成都平原温度和降水的空间、时间气候变化特征,得出如下结论:

- (1) 成都平原近 56 年平均温度的变化趋势是在波动中先有降温而后上升并仍处于上升的趋势,最高温度的增幅比最低温度的增幅大,平均温度升高受最高温度升高的影响大。另外,成都平原的显著升温在

2003年后,相对于全国温度滞后。

(2)成都平原的平均温度在20世纪60年代开始小幅度下降,80年代是最冷的10年,90年代开始上升,之后的年份数值均比平均值偏高,成都平原夏季温度变化对年平均温度变化的贡献率大。

(3)成都平原的年际降水主要呈现下降的趋势,年际间相对波动比较大,60年代和80年代降水量多年偏高平均值,其余年份降水量比较少。

(4)成都平原的年降水主要受夏季降水的影响,随着夏季降水的逐渐减少,春秋两季的降水量占年降水量的比重增大,未来年降水量可能是较为平缓的趋势。

(5)年平均温度及年平均降水存在不同显著的年代际和年际周期变化。

## 参考文献:

- [1] IPCC. Global Warming of 1.5 °C : SPECIAL REPORT [ EB/OL ]. Assessment of the Intergovernmental Panel On Climate Change. IPCC, South Korea, incheon, 2018. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- [2] 施雅风、姚檀栋、杨保,近2000a古里雅冰芯10a尺度的气候变化及其与中国东部文献记录的比较[J]. 中国科学(D辑),1999,29(增刊1):79-86.
- [3] 陈隆勋,朱文琴,王文,等. 中国近45年来气候变化的研究[J],气象学报,1998,56(3):257-271.
- [4] 张先恭,李小泉. 本世纪我国温度变化的某些特

征,气象学报,1982(2):198-208.

- [5] 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.
- [6] 伍红雨,王谦谦. 贵州夏季降异常的环流特征分析[J]. 高原气象,2006,25(6):1120-1126.
- [7] 陈忠,陈华芳,王建力,等. 重庆市降水量的时空变化[J]. 西南师范大学学报(自然科学版),2003,28(4):644-649.
- [8] 常军,王永光,赵宇,等. 近50年黄河流域降水量及雨日的气候变化特征[J]. 高原气象,2014,33(1):43-54.
- [9] 方海,张衡,刘峰,等. 气候变化对世界主要渔业资源波动影响的研究进展[J]. 海洋渔业,2008(4).
- [10] 王馥棠. 气候变化对农业生态的影响[M]. 北京:气象出版社,2003.
- [11] 张建云,王国庆,杨扬,等. 气候变化对中国水安全的影响研究[J]. 气候变化研究进展,2008(5).
- [12] 任国玉. 气候变化与中国水资源[M]. 北京:气象出版社,2007.
- [13] 高歌. 1961-2005年中国霾日气候特征及变化分析[J]. 地理学报,2008(7).
- [14] 韩翠华,郝志新,郑景云,等. 1951-2010年中国温度变化分区及其区域特征[J]. 地理科学进展,2013,32(6):888-896.

## Characteristics of Climate Change in Chengdu Plain

ZHANG Lu-ying, MAO Wen-shu, PANG Bo

(College of Atmosphere Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In order to more fully understand the Chengdu plain characteristics of climate changes, realize environment, economy and society sustainable development. The wavelet analysis, M-K test and other methods are used to analyze the characteristics of a total of 56 years daily maximum temperature, minimum temperature, precipitation and average temperature of 12 observation stations in Chengdu plain from 1961 to 2016. The results show that the time variation trend of the average temperature in Chengdu plain over the past 56 years is that the temperature firstly decreased and then rised, which is still on the rise in the fluctuation. The highest temperature's rise largely influences the average temperature's rise. In space, the temperature tends to be slightly higher to the east and southeast. The interannual precipitation in Chengdu plain shows a decreasing trend, and the interannual fluctuation is relatively large. The annual precipitation of Chengdu plain is mainly affected by the summer precipitation. With the gradual decrease of summer precipitation, the proportion of precipitation in spring and autumn increases, and the trend of annual precipitation in the future may be relatively flat. The annual mean temperature and the annual mean precipitation have different significant decadal and inter-annual periodic changes.

**Keywords:** atmospheric sciences; climate change; precipitation; temperature; Chengdu plain