

安徽省近 56 年气候要素时空演变特征

任秀真^{1,2}, 徐光来^{1,2}, 刘永婷^{1,2}, 杨先成^{1,2}

(1. 安徽师范大学 地理与旅游学院, 安徽 芜湖 241002; 2. 安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室, 安徽 芜湖 241002)

摘 要: 基于安徽省 17 个气象站及周边 9 个气象站逐日平均气温和降水量数据, 利用气候倾向率、Mann-Kendall 检验、滑动 T 检验、交叉小波等方法分析了 1960—2015 年安徽省气候要素时空演变特征, 并探讨其与 ENSO 之间的关系。结果表明: (1) 年平均气温上升明显, 春季变化幅度最大为 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$, 上升幅度最大月份分别为 2 月、4 月、5 月、10 月份; 年平均降水量略有增加, 冬季和 8 月份降水增加达到显著性水平, 其他季节、月份和年降水变化未达到显著性水平。 (2) 中部江南丘陵地区气温高于淮北平原区和江南地区; 江南地区为降水高值区, 降水量随纬度增加而减少, 冬季和夏季各地区变化趋势明显。 (3) 1994 年年平均气温突变, 突变后显著升高 0.8°C ; 除夏季外其余季节均发生突变, 春季平均气温变化最明显, 突变后显著升高 1.1°C ; 降水量在春秋两季发生突变, 夏冬两季均无突变。 (4) 气温、降水量与 ENSO 有 3~5 a 的显著周期, 主要集中于 20 世纪 60、80、90 年代, 年降水量周期比年均温周期在时间上相对滞后。

关键词: 气候变化; ENSO; 时空变化; 安徽省

中图分类号: P467

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)05-0287-08

Characteristics of Spatiotemporal Variation of Climate in Anhui Province in Recent 56 Years

REN Xiuzhen^{1,2}, XU Guanglai^{1,2}, LIU Yongting^{1,2}, YANG Xiancheng^{1,2}

(1. School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241002, China;

2. Anhui Key Laboratory of Natural Disaster Process and Prevention, Wuhu, Anhui 241002, China)

Abstract: Based on historical data (1960—2015) on daily temperature and precipitation obtained from 17 meteorological stations in Anhui Province and 9 meteorological stations around Anhui Province, we made a comprehensive investigation of the change characteristics of the climate using climate tendency method, Mann-Kendall test method, moving t-test and cross wavelet method, and the relationship between the ENSO and climate factors was discussed. The results showed that, firstly, annual average temperature rose obviously, maximum variation was $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ in spring; precipitation increased slightly, but the seasonal variation was larger, especially in summer and winter; in spring, summer, autumn and winter, the rise of the annual temperature was significant, the large rise of monthly temperature occurred in May, June, October and February, respectively, while the precipitation change occurred in April, August, September and January, respectively; secondly, the temperature in the central region was higher than that in the south and the north, and the low temperature zone was found in the Huangshan area; the temperature changes in all areas in spring were significant, and the summer changes were not obvious; the precipitation decreased with the increase of latitude, and the Huangshan Mountain area was the region with the high precipitation; and the trend of winter and summer was obvious in different regions; thirdly, abrupt change of average annual temperature occurred in 1994, significant rise in temperature was 0.8°C after abrupt change; the abrupt changes occurred in the three seasons except the summer, the average spring temperature change was most obvious and significantly increased by 1.1°C after abrupt change. The abrupt change of precipitation occurred in the spring and autumn period, no abrupt changes were found in the summer and winter; finally, the temperature, precipitation and ENSO cycle had a significant cycle of 3~5 years, mainly concentrated in the 1960s, 1980s and 1990s, and the annual precipita-

tion cycle relatively lagged compared with the average annual temperature cycle.

Keywords: climate change; ENSO; temporal and spatial variation; Anhui Province

据 IPCC 第五次评估可知,全球地表平均气温在 1880—2012 年升高 0.85°C ^[1];近百年来,中国平均气温升高 $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ^[2-3],气候变暖已成事实。同时中国极端降水事件呈增加趋势^[4],且降水量时空变化存在一定的地域性差异^[5]。气温与降水不仅是主要的气候因子,也是旱涝的直接表征量^[6],因此研究气温与降水时空变化对于识别全球背景下的区域气候特征具有重要意义。

近年来,关于气候变化问题,国内很多学者在不同区域做了大量的研究工作。阿多等^[7]、王文静等^[8]、姜永见等^[9]、李高伟等^[10]以较大范围为研究区,利用因子分析、气候趋势分析、气候突变分析、气候周期分析等方法探索华北平原、华南地区、青藏高原、黄河三角洲等地区年及四季气候要素特征,揭示了中国北方地区平均气温的升高速率明显高于全国平均气温的升高水平,而自 20 世纪中期以来,降水量表现为东部减少,西部增加,中部变化不明显的特征。此外,也有不少学者以省级行政区为研究区探讨气候变化特征,如燕玉超等^[11-12]研究得出 1960—2013 年河南省和山东省气温均呈上升趋势,降水量均呈微弱的减少趋势;杜华明等^[13]得出四川省近 52 a 气候呈现暖干化趋势;龚强等^[14]得出辽宁省年平均、最高和最低气温均升高,年降水量整体上呈现减少的态势。

然而,以上研究多是对气候要素年际变化或四季变化特征进行研究,对多个气候要素多时间尺度(年、季、月)研究相对较少。同时,中国地区气候变化受 ENSO(El Niño/La Niña-Southern Oscillation)影响较大^[15-16],而针对安徽省气候要素与 ENSO 关系的研究还相对缺乏。由于气候多变、地形复杂,气候变化对安徽省农业生产影响日趋严峻^[17]。因此,探讨安徽省气候变化时空特征,并进一步探讨气温和降水量的趋势变化与 ENSO 的关系十分必要。

本文选取安徽省 1960—2015 年 17 个气象站及周边 9 个气象站逐日平均气温和降水量数据及 1960—2015 年逐月 ENSO 数据,对其气温及降水量时空特征进行综合分析,并进一步探讨气温、降水量与 ENSO 的关系。本文研究成果以期对安徽省气候变暖、水资源管理、农业生产等社会生产实践提供参考。

1 研究区概况

安徽省位于我国东部,东经 $114^{\circ}54'\sim 119^{\circ}37'$,北纬 $29^{\circ}41'\sim 34^{\circ}38'$,跨新安江、淮河、长江三大流域。存在

多种地貌类型,山地、丘陵和平原南北相间分布,各气象站点海拔高度具有差异,其中海拔最高的黄山站 1 840.4 m,最低的安庆站仅 19.8 m(图 1)。安徽省具有淮北平原、江淮地区(江淮丘陵)和江南地区(皖南山区)三大自然区域。是亚热带与暖温带的过渡地带,冬夏两季分别盛行偏北风和偏南风,而夏季气温较高,天气变化剧烈,自然灾害发生频繁。年平均气温 15.49°C ,年平均降水量 1 195.6 mm,降水量具有山区多于平原和丘陵、南多于北的特点。安徽省作为重要粮食产区,气温和降水对其影响较大^[17]。

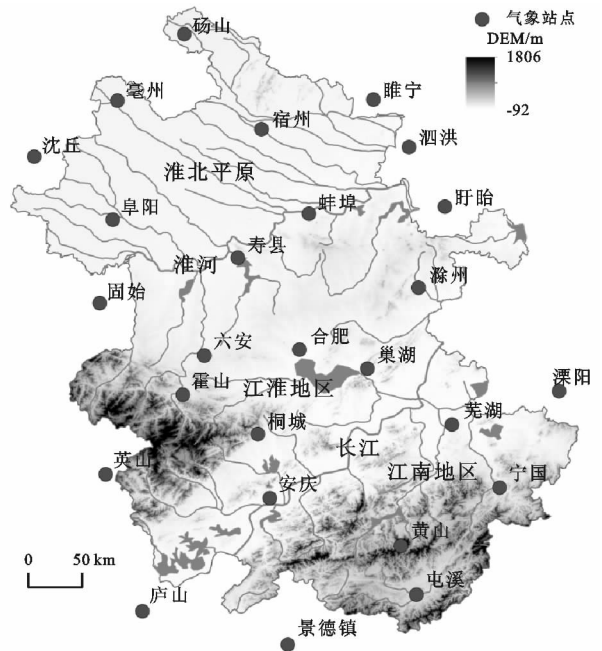


图 1 研究区及气象站点分布

2 数据及方法

2.1 数据来源与处理

气象数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>),主要包括 1960—2015 年安徽省 17 个气象站点和安徽省周边 9 个气象站点逐日平均气温及降水量数据。该数据在发布前就进行了时间序列一致性检验,在数据预处理过程中进行了一定的质量控制,对少数缺测年份数据采用相邻站点线性回归的方式进行插补,使所选取的气象站点数据均具有较好的时间序列连续性。本文探讨气候要素与多变量 ENSO 指数(MEI, Multivariate ENSO Index)的关系。逐月 MEI 指数数据来源于美国国家环境预报中心(NCPE)与美国国家大气研究中心(NCAR),数据时段同气象数据相同(1960—2015 年),MEI 包含丰富的信息及能

很好的对海气耦合系统本质进行反映^[18]。

文中年、季、月气温、降水为各站点的平均值,采用普通克里金插值法对年和四季平均气温、降水进行空间插值,并分析各气象站点气温、降水 Mann-Kendall(M-K)变化趋势。文中四季时段为春季(3—5月)、夏季(6—8月)、秋季(9—11月)、冬季(12月—次年2月)^[19]。

2.2 研究方法

2.2.1 气候倾向率 利用一元线性回归法计算安徽省年、季、月平均气温与降水量的气候倾向率,分析安徽省气候要素时间演变特征。一元线性回归方程计算公式为:

$$y=kt+b \quad t=1,2,3,\dots,n \quad (1)$$

式中: y 表示样本量是 n 的某一气候要素(气温或降水量); t 表示与 y 对应的年序; k 表示回归系数,用 k 的10倍(即 $10k$)来表示气候要素的气候倾向率。

2.2.2 MK检验 采用 Mann-Kendall(MK)趋势检验对安徽省及周边26个气象站点1960—2015年年及四季平均气温和降水量序列趋势变化进行检验。MK趋势检验是一种计算方法简单的非参数统计检验方法,是现阶段比较常用的变化趋势诊断方法,其计算方法详见参考文献^[20]。选定0.001,0.01,0.05,0.1的显著性水平作为气候要素变化趋势判定标准,其MK统计量(Z)的绝对值分别对应3.29,2.58,1.96,1.645。

Mann-Kendall(MK)突变检验用于分析安徽省年及四季平均气温、降水量突变现象,并结合滑动T检验来确定气温和降水的突变点。MK是一种非参数突变检验方法,在检验过程中,正序列曲线UF超过95%的显著性检验值临界线的情况下,如果UF和反序列UB曲线仅存在一个明显的交点,同时该交点位于两临界线内,说明此交点为突变点,且在统计意义上显著,其计算步骤及原理详见参考文献^[20]。若交点位于临界线之外,或者存在多个明显的交点,则不确定其是否为突变点,则依据滑动T检验,其计算步骤见参考文献^[20]。

2.2.3 交叉小波变换 交叉小波变换是将传统小波作为基础,发展的一种能有效分析时间序列之间关系的时频分析技术,反映时、频域上的位相结构与细部特征^[21],并用红色噪音标准谱其进行显著性检验^[22]。本文基于 MATLAB R 2012 软件,探究 ENSO 与安徽省气温和降水量在时间变化上的相关关系。

交叉小波变换图中各要素含义如下:能量密度的相对变化用颜色深浅表明,区内黑色粗实线区域为通过显著性水平0.05条件下的红噪音检验;黑色细实线所包括的区域为有效谱值区;相位差使用不同箭头表示,→表

示两要素变化相位一致,←表示两要素变化位相相反,↑表示 ENSO 变化超前气温和降水3个月,↓表示 ENSO 变化落后气温和降水变化3个月^[23]。

3 结果与分析

3.1 气候要素时间变化特征

近56a安徽省年及春、秋、冬三季平均气温上升显著(表1)。年均气温为15.2℃,以0.2℃/10a的幅度显著上升($p<0.001$),略低于全国变暖趋势0.25℃/10a^[24],高于全球近50a的变暖趋势0.13℃/10a^[25],这与刘永婷等^[26]研究结果基本一致。四季气温均呈上升趋势,其变化幅度顺序为春季>冬季>秋季>夏季,除夏季变化幅度不显著外,春、冬、秋季变化幅度都通过99.9%的置信度检验。逐月气温变化方面(表1),趋势变化除8月份(−0.07℃/10a)外,其余月份均呈增加趋势,最大增加幅度为2月份(0.47℃/10a),最小增加幅度为7月份(0.05℃/10a),且除夏季的3个月份、秋季的11月份和冬季的12月份没有通过显著性检验外,其余月份气温变化趋势均通过显著性检验,其中春季的5月份、秋季的10月份和冬季的2月份更是通过了0.001的显著性检验。

近56a安徽省冬季降水量增加明显(表1)。安徽省多年平均降水量1196.9mm,年均降水量以9.95mm/10a的幅度上升,上升趋势未达到显著性水平,这与曾婷等^[27]研究结果基本一致。冬季降水以7.5mm/10a的幅度增加,趋势明显($p<0.05$)。春季、夏季和秋季降水量变化均不显著($p>0.05$)。逐月降水变化方面(表1),夏季的3个月份、秋季的11月份和冬季的3个月份呈增加趋势,最大增加幅度在6月份(8.75mm/10a),最小在11月份(0.86mm/10a);而在春季的3个月份、秋季的9月份和10月份呈减少趋势,最大减小幅度在4月份(−4.97mm/10a),最小在3月份(0.36mm/10a)。且降水量变化除8月份通过0.05的显著性检验以外,其余月份均未通过显著性检验。

3.2 气候要素空间变化特征

1960—2015年安徽省年及四季气温区域性分异显著,总体上都呈现江淮地区气温要高于淮北平原和江南地区的特点(图2)。年、秋季和冬季除桐城站以外其余各地区气温均呈显著上升,通过0.001显著性检验的站点数量多少顺序为年>冬季>秋季。气温在年和春季的变化空间分布较为一致,春季各站点气温变化均呈上升趋势且均通过显著性检验,在砀山、霍山、巢湖、桐城等地区气温变化趋势春季均高于年,

安徽省内其余地区年和春季均通过 0.001 的显著性检验。秋季气温空间分布基本上从西北至东南地区呈现出低—高—低的格局,而冬季江淮地区呈现西高东低的格局。夏季气温变化趋势复杂,除少部分安徽省北部地区站点及黄山地区通过显著性检验呈上升或下降趋势外,南部及中部大部分地区站点呈不显著上升趋势,沿淮地区呈不显著下降趋势。安徽省近 56 a 来各地区年温差为 9.4℃,各地区四季平均温差为 9.8℃,温差最大在夏季为 10.9℃,最小在冬季为 7.8℃。可见,在安徽省内,年及四季气温高值出现在江淮地区,最低气温除冬季出现在北部地区以外,其余季节最低气温均出现在南部的黄山地区。

表 1 安徽省 1960—2015 年平均气温和降水量变化倾向率

| 季节 | 平均气温 | | 平均降水量 | | | |
|------|--------------------|--------|-----------|---------------------|-------|-----------|
| | 线性倾向率/ (℃/10 a) | P 值 | 置信度/ % | 线性倾向率/ (mm/10 a) | p 值 | 置信度/ % |
| 年均 | 0.20 | <0.001 | 99.9 | 9.95 | 0.47 | <90 |
| 春季 | 0.30 | <0.001 | 99.9 | -9.70 | 0.12 | <90 |
| 3 月 | 0.35 | 0.002 | 95 | -0.36 | >0.1 | <90 |
| 4 月 | 0.27 | 0.004 | 95 | -4.97 | >0.1 | <90 |
| 5 月 | 0.27 | 0.001 | 99.9 | -4.40 | >0.1 | <90 |
| 夏季 | 0.02 | 0.69 | <90 | 19.40 | 0.06 | 90 |
| 6 月 | 0.09 | >0.1 | <90 | 8.75 | >0.1 | <90 |
| 7 月 | 0.05 | >0.1 | <90 | 1.96 | >0.1 | <90 |
| 8 月 | -0.07 | >0.1 | <90 | 8.68 | 0.05 | 95 |
| 秋季 | 0.19 | <0.001 | 99.9 | -6.60 | 0.24 | <90 |
| 9 月 | 0.14 | >0.1 | <90 | -4.50 | >0.1 | <90 |
| 10 月 | 0.28 | <0.001 | 99.9 | -2.95 | >0.1 | <90 |
| 11 月 | 0.02 | >0.1 | <90 | 0.86 | >0.1 | <90 |
| 冬季 | 0.29 | <0.001 | 99.9 | 7.50 | 0.035 | 95 |
| 12 月 | 0.15 | >0.1 | <90 | 1.01 | >0.1 | <90 |
| 1 月 | 0.23 | 0.003 | 95 | 2.97 | >0.1 | <90 |
| 2 月 | 0.47 | <0.001 | 99.9 | 2.90 | >0.1 | <90 |

安徽省年及四季降水量空间分布在纬度上均随纬度增加而减少,同时夏季安徽省北部地区降水量由西向东逐渐增加,年和四季降水量高值区都出现在南部山区(图 3)。全年降水量变化在安徽省北部地区除寿县外其余站点均呈下降趋势,南部地区除黄山外其余地区均呈上升趋势;春季除北部地区的亳州和砀山外其余地区均呈下降趋势;夏季南部地区部分站点呈显著上升趋势,冬季南部地区全部站点和北部地区部分站点呈显著上升趋势;秋季各地区均呈下降趋势。总体而言,安徽省降水量空间分布在纬度上呈南高北低的格局,即山区降水量高于平原地区,而降水量变化在季节上存在差异,冬、夏季通过 0.01 显著性水平检验的站点数分别为 50%和 23%,年和春、秋季各地区变化趋势不显著。

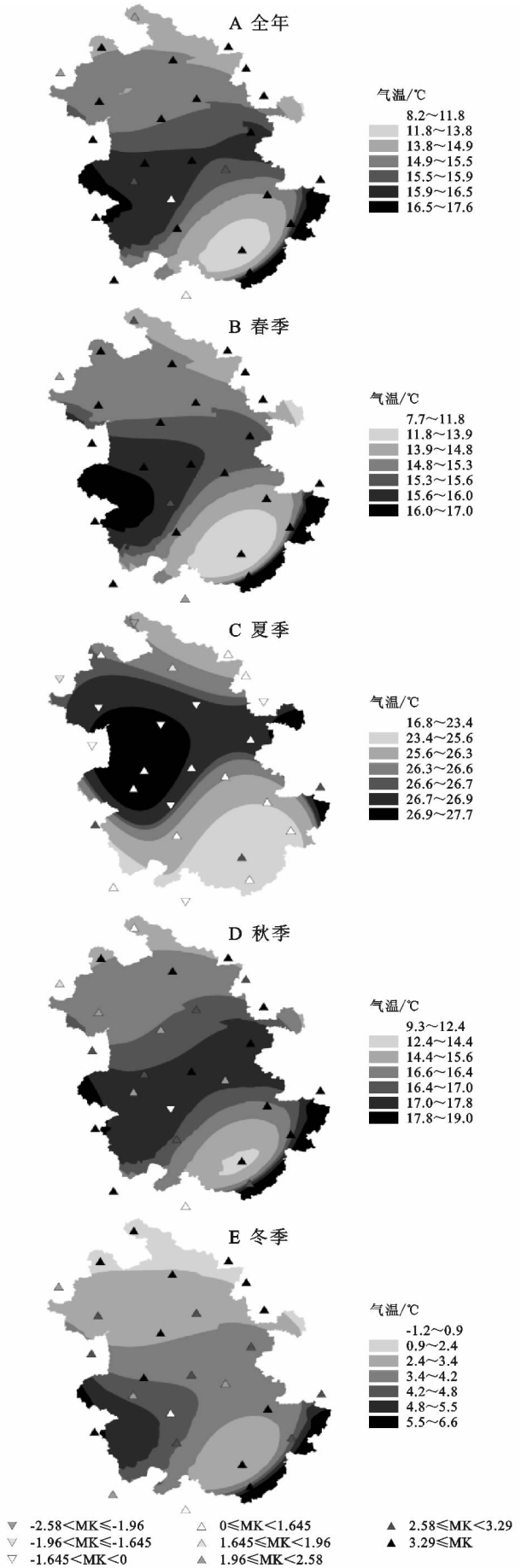


图 2 安徽省全年和四季平均气温及 MK 趋势变化空间分布

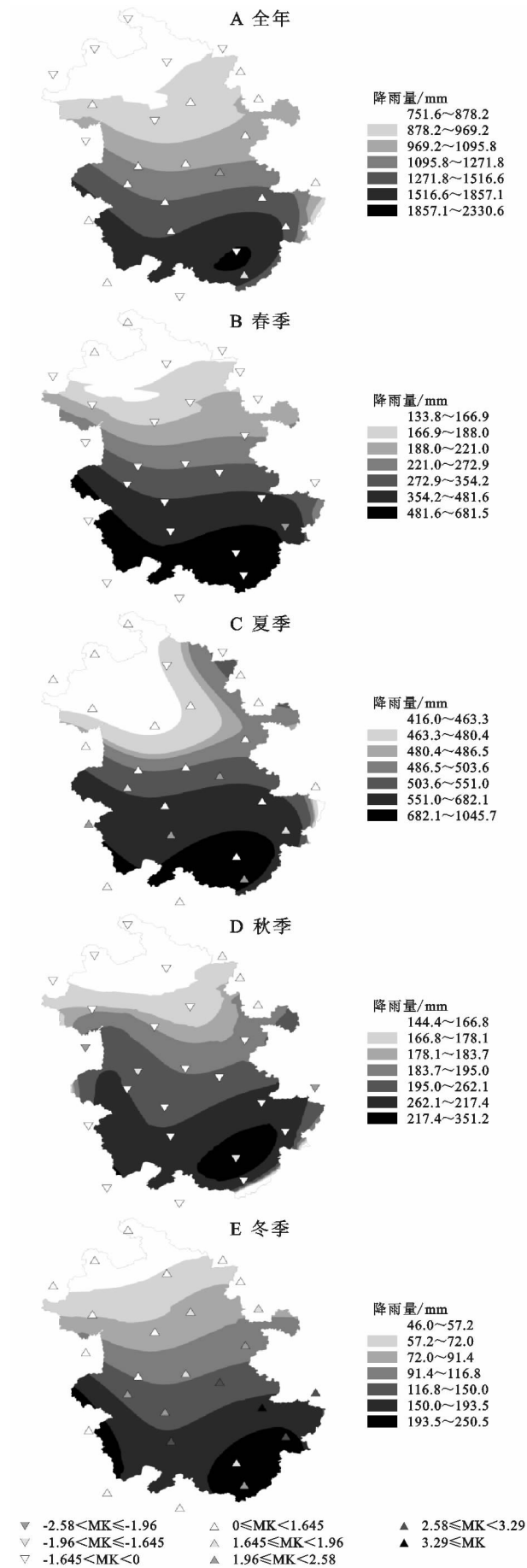


图 3 安徽省全年和四季降水量及 MK 趋势变化空间分布

3.3 气候要素突变特征

为进一步分析年和四季气温及降水量的变化趋势,利用 MK 方法对安徽省近 56 a 年均气温及降水量进行突变检验并使用滑动 T 检验进行验证(图 4)。近 56 a 安徽省气温突变点为 1994 年(图 4A),1994 年后气温明显升高,且从 2001 年开始,UF 曲线超过 95%置信度临界线,气温在突变前(14.9℃)比突变后(15.7℃)升高 0.8℃。春季气温于 1999 年发生突变,从 2004 年开始 UF 曲线超过 95%置信度临界线,气温在 1999 年突变前(14.7℃)比突变后(15.8℃)升高 1.1℃。夏季气温 UF 与 UB 序列存在多个交点,结合滑动 T 检验,夏季气温没有发生突变。秋季气温在 1996 年发生突变,从 2004 年开始 UF 曲线超过 95%置信度临界线,气温显著上升;气温在 1996 年突变前(16℃)比突变后(16.8℃)显著升高 0.8℃。冬季气温在 1988 年发生突变,从 1993 年开始 UF 曲线超过 95%置信度临界线,气温在 1993 年突变前(3.1℃)比突变后(4.0℃)升高 0.9℃。显然,安徽省近 56 a 在季节变化上,春季气温变化最明显。

近 56 a 安徽省降水量年、春季和秋季 UF 与 UB 序列存在多个交点,结合滑动 T 检验,其存在的可能突变点分别为 1969 年、1993 年和 1988 年。夏冬两季 UF 与 UB 序列亦存在多个交点,结合滑动 T 检验,夏冬两季降水量均无突变。

3.4 气候要素与 ENSO 的关系特征

安徽省年均气温、降水量与 ENSO 指数(MEI)序列进行交叉小波变换,得到 1960—2015 年安徽省气温和降水与 MEI 的连续小波谱、交叉小波能量谱和交叉小波凝聚谱(图 5)。在 95%置信度下,安徽省气温和降水连续小波谱有如下特征(图 5A—C),年均气温存在两个显著周期,分别为 4 a 左右(1976—1981 年)和 3~5 a(1992—2001 年)的显著周期。年降水量也具有两个显著周期,分别为 6 a(1975—1978 年)和 4 a 左右的周期(1993—2003 年)。ENSO 存在 3 个显著周期分别为 3 a(1972—1976 年),4 a(1985 年)和 5 a 左右的周期(1990—2000 年)。结果显示,安徽省气温、降水和 ENSO 在时、频域上均具有显著的周期变化,同时时频结构存在一定的相似性,尤其是 3~5 a 的周期均在 1992—2000 年。

气温、降水和 ENSO 的交叉小波能量谱和小波凝聚谱显示:年均温 and 年降水量交叉小波能量谱(图 5D)具有两个显著周期,分别为 2~4 a(1975—1980 年)和 3~4 a 的周期(1994—2003 年),两者高能量区分别集中在 1976—1980 年和 1996—2000 年,位相差都表明气温和降水为负相关。而小波凝聚谱(图 5G)显示:气温和降水存在 11~16 a(1978—1982 年)和 5 a(2002—2004 年)左右的共振周期。位相差表明其为显著的负相关,且降水相对滞后于气温变化。

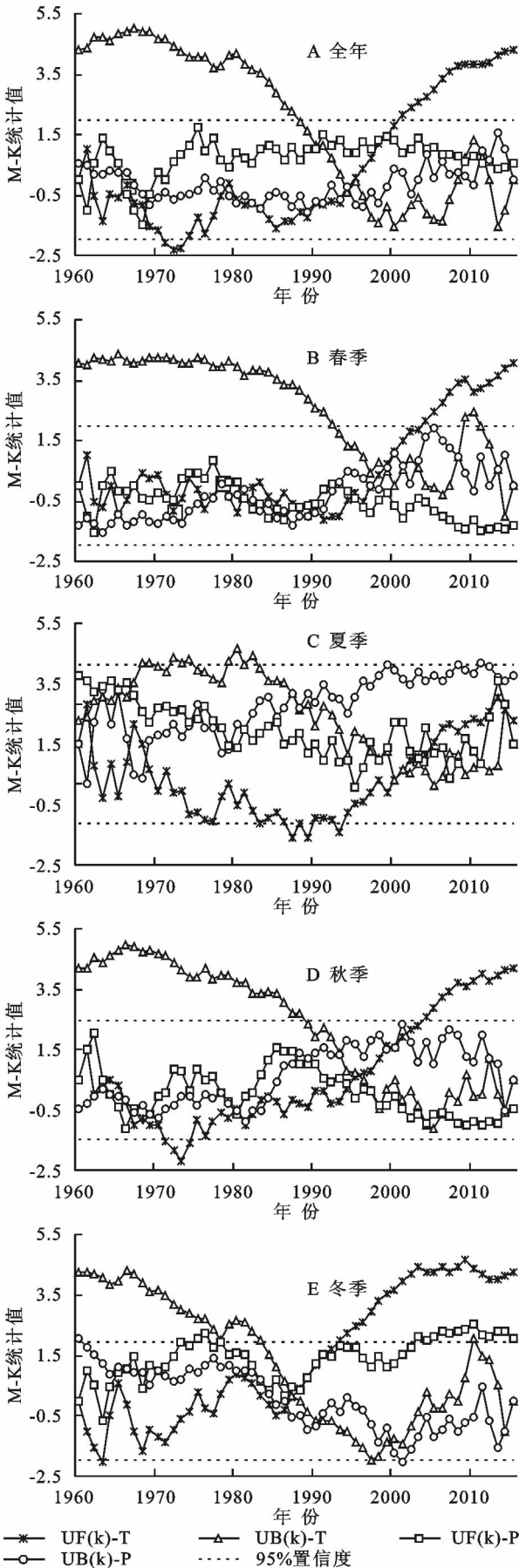


图 4 安徽省全年和四季平均气温、降水量的
Mann-Kendall 突变检验

降水量和 MEI 交叉小波能量谱(图 5E)存在 3 a (1981—1987 年), 4 a(1998—2002 年)和 6 a(1991—1998 年)左右的周期; 高能量区主要集中于 1982—1986 年、1994—1998 年和 1998—2001 年, 其位相关系为前者表现为降水量和 MEI 呈正相关, 后两者表现为负相关; 小波凝聚谱(图 5H)存在一个 16 a(1984 年)左右的共振周期, 位相差表明其为显著的负相关。

气温和 MEI 交叉小波能量谱(图 5F)存在 2 a (1973—1978 年), 2~4 a(1992—2001 年)的周期; 前者在高能量区表现气温和 MEI 存在负相关关系, 后者在高能量区表现为正相关。气温和 MEI 小波凝聚谱(图 5I)存在 6 a(1968—1976 年)和 3~4 a(1994—2005 年)的长周期, 其位相关系均为正相关。

4 讨论

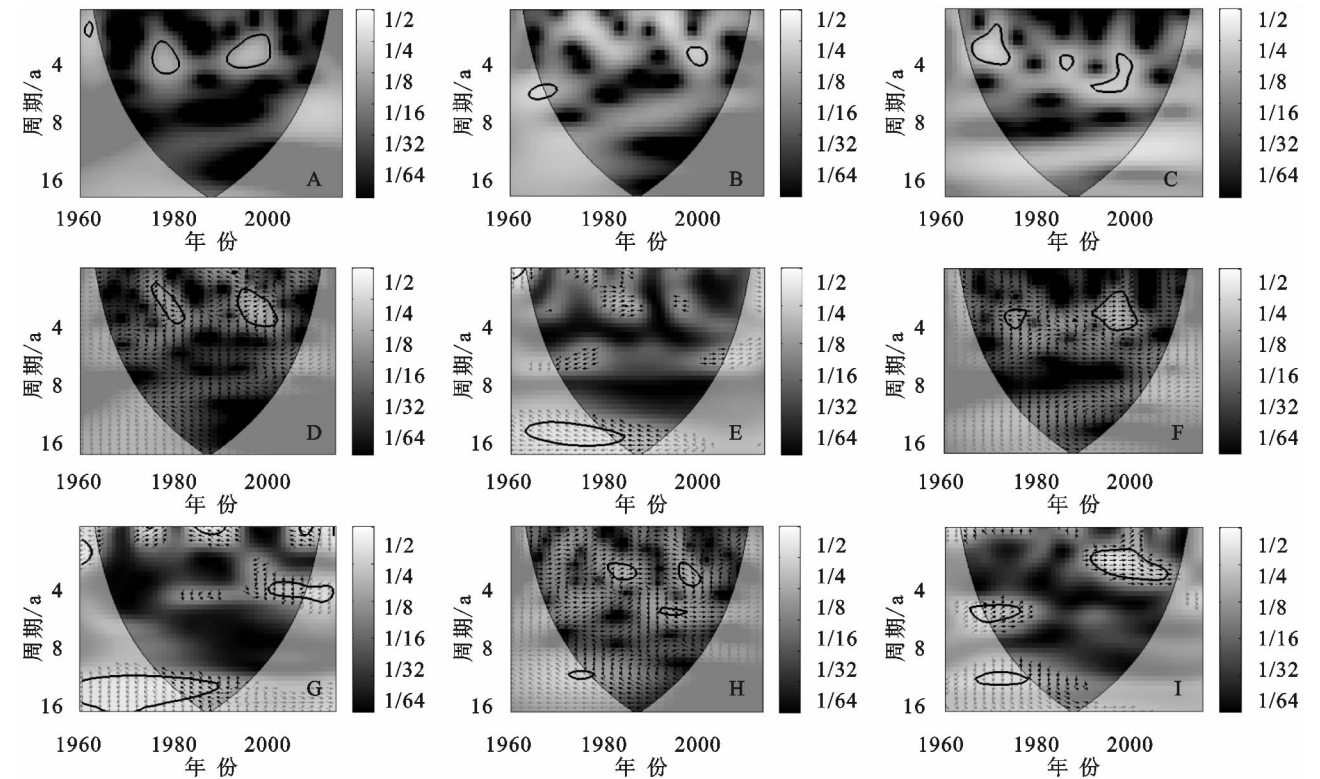
通过对安徽省年均气温及降水量变化趋势的研究, 发现安徽省年均气温呈现上升趋势(0.20℃/10 a), 与周边省份相比(表 2), 气温上升幅度大于山东省和江西省, 小于河南省和江苏省, 与浙江省和湖北省趋近。降水量增加趋势不显著(9.95 mm/10 a), 与周边省份相比(表 2), 变化趋势与河南省和山东省相反, 与浙江省、江西省和湖北省相同, 其变化幅度大于河南省和湖北省, 小于山东省、浙江省和江西省。安徽省气温变化幅度与其他相邻地区相差不大, 而降水变化幅度偏高(表 2), 同时从本文使用的气象站点数据角度出发, 说明安徽省年平均气温与周边地区平均气温变化存在一致性, 而降水量变化在安徽省与周边地区存在差异性。降水量深受地形影响, 安徽省地形相对复杂, 文中在对降水量进行空间插值时未考虑各气象站点的高程对降水量的影响, 但安徽省省内年降水量变化与纬度存在显著相关性达-0.483($p<0.05$)。

表 2 安徽省及周边省份气候倾向率

| 省份 | 研究时段 | 气温变化率/ (℃/10 a) | 降水变化率/ (mm/10 a) |
|-----|-----------------------------|--------------------|---------------------|
| 河南省 | 1960—2013 年 ^[11] | 0.274 | -5.452 |
| 山东省 | 1960—2013 年 ^[12] | 0.178 | -16.218 |
| 江苏省 | 1960—2014 年 ^[28] | 0.265 | 不明显 |
| 浙江省 | 1960—2007 年 ^[29] | 0.190 | 34.430 |
| 江西省 | 1958—2009 年 ^[30] | 0.160 | 15.135 |
| 湖北省 | 1959—2009 年 ^[31] | 0.195 | 1.296 |
| 安徽省 | 1960—2012 年 ^[27] | 0.200 | 9.300 |

与以往研究不同的是, 本研究增加了对安徽省每月平均气温及降水量变化趋势的研究, 并探讨了四季平均气温及降水量变化最大贡献月份。春秋冬三季

降水量变化最大月份均在平均气温变化最大月份前一个月,而平均气温和降水量周期变化存在显著相关(图 5),说明春、秋、冬季平均气温变化可能与降水量变化有关。



注: A—C 连续小波谱; D—F 交叉小波能量谱; G—I 小波凝聚谱。

图 5 安徽省气温、降水与 ENSO 指数 (MEI) 交叉小波变换

5 结 论

(1) 时间变化上, 年均气温呈现上升趋势, 变化幅度(0.20℃/10 a, $p<0.001$) 高于全球变化幅度而低于全国变化幅度。四季气温均呈上升趋势, 其变化幅度依次为春季>冬季>秋季>夏季, 除夏季变化幅度不显著外, 春季、冬季和秋季变化幅度均通过 99.9% 的置信度检验; 1 月、2 月、3 月、4 月、5 月、9 月、10 月份气温增大达到显著性水平($p<0.05$), 其余月份气温未达到显著性水平。多年平均降水量以 9.95 mm/10 a 的幅度上升, 但未达到显著性水平($p>0.1$), 四季降水量变化趋势差异显著, 春、秋季均呈不显著下降趋势, 夏、冬季降水量呈上升趋势, 冬季上升趋势显著($p<0.05$)。除 8 月份降水量增加通过 0.05 的显著性检验外, 其余月份降水量变化均未通过显著性检验。

(2) 空间变化上, 安徽省年及四季气温均呈现江淮地区气温要高于淮北平原和江南地区的格局, 在年和春季的变化空间分布较为一致, 春季各站点气温变化均呈上升趋势且均通过显著性检验, 秋季基本上从西北至东南地区呈现出低—高一低的格局, 冬季江淮地区呈现西高东低的格局, 而夏季变化复杂, 各地区

年温差为 9.4℃, 四季平均温差为 9.8℃, 温差最大在夏季为 10.9℃, 最小在冬季为 7.8℃。年及四季降水量在纬度上均随纬度增加而减少, 同时降水量高值区均出现在南部山区, 冬、夏季各地区变化趋势明显, 年和春、秋季各地区变化趋势不显著。

(3) 突变节点上, 安徽省气温在 1994 年发生突变, 气温显著升高 0.8℃, 春夏秋冬四季除夏季外其余季节分别在 1999 年、1996 年和 1988 年发生突变, 突变后与突变前相比, 春季变化最明显显著升高 1.1℃, 秋冬两季分别显著上升 0.8℃和 0.9℃。年和春、秋季降水量均没有发生突变, 夏、冬季分别在 1979 年和 1983 年发生突变, 突变后与突变前相比, 冬季降水量变化最为明显, 显著增加 23.9 mm。

(4) 周期波动上, 安徽省气温、降水和 ENSO (MEI) 具有 3~5 a 的显著周期, 其时频分布上具有一定程度的相似性, 主要集中在 20 世纪 60、80、90 年代, 年降水量周期较年均温周期在时间上相对滞后。气温、降水和 ENSO 的关系表现为局部相关, 这说明安徽省的气温和降水的变化不仅受全球气候变化大背景的影响, 现阶段人类活动日益活跃, 它也可能正在深刻影响气候因子的变化。

参考文献:

- [1] Stocker F, Qin D, Plattner G K, et al. Climate change 2013; The physical science basis. Contribution of working group i to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[J]. Computational Geometry, 2013, 18(2): 95-123.
- [2] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告 (I): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.
- [3] 王澄海, 李健, 许晓光. 中国近 50 年气温变化准 3 年周期的普遍性及气温未来的可能变化趋势[J]. 高原气象, 2012, 31(1): 126-136.
- [4] 张勇, 许吟隆, 董文杰, 等. 中国未来极端降水事件的变化: 基于气候变化预估结果的分析[J]. 自然灾害学报, 2006(S): 28-34.
- [5] 任国玉, 柳艳菊, 孙秀宝, 等. 中国大陆降水时空变异规律: III. 趋势变化原因[J]. 水科学进展, 2016, 27(3): 327-348.
- [6] 杨志勇, 袁喆, 马静, 等. 近 50 年来淮河流域的旱涝演变特征[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(4): 032-40.
- [7] 阿多, 熊凯, 赵文吉, 等. 1960—2013 年华北平原气候变化时空特征及其对太阳活动和大气环境变化的响应[J]. 地理科学, 2016, 36(10): 1555-1564.
- [8] 王文静, 延军平, 刘永林, 等. 华南地区气候变化与旱涝灾害响应关系[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2016, 2016(2): 81-89.
- [9] 姜永见, 李世杰, 沈德福, 等. 青藏高原近 40 年来气候变化特征及湖泊环境响应[J]. 地理科学, 2012, 32(12): 1503-1512.
- [10] 李高伟, 韩美, 张东启. 1961—2013 年黄河三角洲气候变化趋势研究[J]. 人民黄河, 2017, 39(1): 30-37.
- [11] 燕玉超, 张福平, 刘筱, 等. 河南省气候变化特征及其对旱涝的影响[J]. 中国沙漠, 2016, 36(3): 777-786.
- [12] 燕玉超, 张福平, 刘筱, 等. 山东省近 54 年的气候变化特征及旱涝灾害响应分析[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(5): 245-252.
- [13] 杜华明, 延军. 平四川省气候变化特征与旱涝区域响应[J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2491-2500.
- [14] 龚强, 汪宏宇, 张运福, 等. 辽宁省气候变化及其对极端天气气候的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(6): 1525-1531.
- [15] 李凌霄, 赵景波. 1951 年以来 ENSO 事件对中国西北不同气候区的影响[J]. 地域研究与开发, 2016, 35(4): 166-171.
- [16] 许武成, 马劲松, 王文. 关于 ENSO 事件及其对中国气候影响研究的综述[J]. 气象科学, 2005, 25(2): 212-220.
- [17] 许信旺, 孙满英, 方宇媛, 等. 安徽省气候变化对水稻生产的影响及应对[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(9): 1755-1763.
- [18] 朱麟. ENSO 事件对红水河龙滩站径流的影响分析[J]. 水力发电, 2017, 43(4): 74-78.
- [19] 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.
- [20] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 55-56.
- [21] 刘友存, 刘志方, 郝永红, 等. 基于交叉小波的天山乌鲁木齐河出山径流多尺度特征研究[J]. 冰川冻土, 2013, 35(6): 1564-1572.
- [22] Hudgins L. Bivariate wavelet analysis of asia monsoon and enso[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 1996, 13(3): 299-312.
- [23] 张洪波, 俞奇骏, 陈克宇, 等. 基于小波变换的径流周期与 ENSO 事件响应关系研究[J]. 华北水利水电大学学报: 自然科学版, 2016, 37(4): 59-66.
- [24] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701-716.
- [25] 史佳良, 王秀茹, 李淑芳, 等. 近 50 年来河南省气温和降水时空变化特征分析[J]. 水土保持研究, 2017, 24(3): 151-156.
- [26] 刘永婷, 徐光来, 尹周祥, 等. 全球变化背景下安徽近 55 a 气温时空变化特征[J]. 自然资源学报, 2017, 32(4): 680-691.
- [27] 曾婷, 杨东, 郭佩佩, 等. 1960—2012 年安徽省降水和气温变化特征及其与 ENSO 的相关性分析[J]. 热带地理, 2014, 34(6): 783-793.
- [28] 傅帅, 陈舒慧, 张小泉, 等. 江苏省 1960—2014 年降水及气温变化特征[J]. 环保科技, 2017, 23(2): 26-33.
- [29] 毛敏娟, 陈葆德, 樊高峰, 等. 浙江省气候变化事实研究[J]. 热带气象学报, 2012, 28(2): 271-276.
- [30] 吴茜, 徐莉莉, 蔡道明, 等. 近 52 年来江西省气候变化特征研究[J]. 华中师范大学学报: 自然科学版, 2010, 44(4): 686-690.
- [31] 毕旭. 湖北省气温和降水的变化特征及其与地理因子的相关性分析[D]. 武汉: 华中师范大学, 2013.
- [32] Lassen K. Length of the solar cycle: an indicator of solar activity closely associated with climate[J]. Science, 1991, 254(5032): 698-700.
- [33] 李茜, 魏凤英, 李栋梁. 近千年东亚夏季风演变[J]. 古地理学报, 2012, 14(2): 253-260.