

# 1961—2016 年江西省气候时空变化特征

陆 晴<sup>1,2</sup>, 闫 冰<sup>3</sup>, 赵东升<sup>4</sup>

(1.东华理工大学 测绘工程学院, 南昌 330013; 2.流域生态与地理环境监测

国家测绘地理信息局重点实验室, 南昌 330013; 3.江西省科学院能源研究所, 南昌 330096;

4.中国科学院 地理科学与资源研究所, 中国科学院 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101)

**摘 要:**利用中国气象数据网提供的江西省及周边地区 30 个气象站点的月气候数据,采用 ANUSPLIN 软件对各气象要素进行插值获得江西省空间数据,通过对 1961—2016 年江西省地区降水量、平均气温、最高气温、最高气温进行了时空变化特征分析,结果表明:近 56 年来,江西省气候变化特征以增温为主,特别是 20 世纪 80 时代之后更为显著,最低气温是平均气温增温的主要贡献者;降水量呈波动变化趋势,20 世纪 60 年代为枯水期,而 90 时代为丰水期;夏季气候变化以降水增加为主,增加速率为 20.0 mm/10 a ( $p < 0.05$ ),其他季节以增温为主;空间上,江西省北部地区增温增湿趋势更为显著;各气象要素变化特征在季节上具有一定的空间差异性,春、秋、冬季在江西省北部地区表现为显著增温趋势,夏季在江西省东北部地区增湿增温显著。

**关键词:**气候变化; 时空变化; 降水; 平均气温; 最高气温; 最低气温; 江西省

中图分类号:P467

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)05-0166-08

## Temporal and Spatial Variation Characteristics of Climate in Jiangxi Province from 1961 to 2016

LU Qing<sup>1,2</sup>, YAN Bing<sup>3</sup>, ZHAO Dongsheng<sup>4</sup>

(1.School of Geomatics, East China University of Technology, Nanchang 330013, China;

2.Key Laboratory of Watershed Ecology and Geographical Environment Monitoring, NASG, Nanchang 330013,

China; 3.Institute of Energy, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330096, China; 4.Key Laboratory of Land

Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:**Based on the monthly climate data of 30 meteorological stations in Jiangxi Province and surrounding areas provided by China Meteorological Data Network, the spatial data were obtained through interpolating the meteorological elements by the ANUSPLIN software. We analyzed the temporal and spatial variation characteristics of annual, seasonal and monthly precipitation, average temperature, maximum temperature and maximum temperature in Jiangxi Province during the period from 1961 to 2016. The results showed that the climate change characteristic of Jiangxi Province had been dominated by warming in the past 56 years, especially after the 1980s. The increasing rates of average, maximum and minimum temperature were 0.196, 1.169, 0.25°C/10 a, respectively, and minimum temperature was the main contributor to average temperature increase. Precipitation showed a fluctuating trend with the rate of 31.5 mm/decade ( $p > 0.05$ ). In the 1960s, it was a dry period, while it was a flood one in the 1990s. The increase of precipitation mainly occurred in summer with the value of 20.0 mm/decade ( $p < 0.05$ ), but average temperature did not change significantly in this season. The increase trends of minimum temperature in the four seasons were significant ( $p < 0.01$ ), especially in winter, which was 0.34°C. The maximum temperature increased significantly in spring and winter, and the increase trend in spring was larger than that of minimum temperature. From the

收稿日期:2018-12-03

修回日期:2018-12-23

资助项目:东华理工大学地质资源经济与管理研究中心项目(17GL02);江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ170476);东华理工大学博士启动项目(DHBK2017150)

第一作者:陆晴(1986—),女,江西高安人,讲师,博士,研究方向:气候变化及土地生态效应。E-mail:luqing\_0920@126.com

通信作者:赵东升(1978—),男,黑龙江肇源人,副研究员,博士,硕士生导师,研究方向:气候变化的影响及其适应。E-mail:zhaods@igsrr.ac.cn

perspective of spatial distribution characteristics, the trend of warming and humidifying in the northern part of Jiangxi Province was more significant. The variation characteristics of meteorological elements had certain spatial differences in the seasons. The warming trends in the northern part of Jiangxi Province were significant in spring, autumn and winter, and the humidification and warming in the northeastern part of Jiangxi Province were significant in summer.

**Keywords:** climate change; spatial-temporal change; precipitation; average temperature; maximum temperature; minimum temperature; Jiangxi Province

气候变化对自然生态系统、社会和经济具有重大影响,也是众多研究者乃至政治家关注的焦点问题之一。全球气候变化特征以变暖为主,1880—2012年,全球平均地表温度升高了 $0.85^{\circ}\text{C}$ ,特别是近半个世纪以来,增温速率更为显著,几乎是1880年以来升温速率的两倍<sup>[1-2]</sup>。在全球持续变暖的背景下,中国气候变化与全球变化基本一致,但有一定差别。近100年来我国平均地表温度升高了 $0.5\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ,增温幅度明显,略高于全球升温幅度均值( $0.6^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ );降水量变化趋势不明显,但年代际之间存在较大波动,自1956年以来有微弱上升趋势<sup>[3]</sup>。近50 a来我国增暖现象更为明显,年平均气温增温速率达 $0.27^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,升温近 $1.35^{\circ}\text{C}$ ,主要开始于20世纪80年代中期<sup>[4]</sup>。

区域气候及其变化对人类生产、生活影响更为直接,因此对区域气候变化及其影响的研究更受关注<sup>[5-6]</sup>。青藏高原作为地球的“第三极”,其升温速率更为显著,近50 a来升温幅度达 $0.37^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ <sup>[7]</sup>,明显高于全球平均水平;青藏高原气温整体呈波动上升趋势,但是存在突变特征,自1995年来升温幅度略有降低,增长速率为 $0.29^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ <sup>[8]</sup>。此外,北方地方增温现象更甚于南方<sup>[9]</sup>,而西南地区从20世纪50年代至70 a呈现降温现象<sup>[10]</sup>,近30 a来转变为增温特征,增温幅度仅为 $0.18^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,2008年后才出现显著增温现象<sup>[11]</sup>。在我国降水波动变化趋势背景下,我国区域降水表现为以长江为界的南涝北旱分布特征,西北部地区降水总体呈增加趋势<sup>[12]</sup>,特别是自20世纪80年代至今<sup>[6,10]</sup>。与其他地区相比,我国干旱半干旱地区在未来表现为气温上升和降水增多最为明显的地区之一<sup>[13]</sup>。

在全球变暖趋势下,我国各地区气温和降水变化趋势在地理区域上呈现出一定的差异性,因此,观察各地气候变化情况具有一定的必要性。已有研究表明,对江西省的气候特征分析多为对气象站点的分析<sup>[14-15]</sup>,空间动态变化研究相对缺乏。为了分析江西省降水和气温在近期的时空变化规律,本文采用ANUSPLIN插值软件获得江西省气候因子在空间

上的差异特征,应用中国气象科学数据共享服务网提供的近56 a来江西省及周边部分站点的降水、气温数据分析江西省降水量、平均气温、最高气温和最低气温的年、季节时空分布特征,以期为江西省气候变化状况提供数据基础,为生态环境、植被变化研究提供科学依据及数据支撑。

## 1 数据来源和研究方法

### 1.1 研究区概况

江西省地处长江中下游南岸,东临浙江、福建,西接湖南,北毗湖北、安徽,南连广东,范围为 $24^{\circ}29'14''\sim 30^{\circ}04'41''\text{N}$ , $113^{\circ}34'36''\sim 118^{\circ}28'58''\text{E}$ ,总面积约 $16.70\text{万 km}^2$ 。根据图1中高程分布情况可以看出,江西省地形呈东、南、西三面环山态势,形成以北部鄱阳湖为中心的盆地。该省地处亚热带季风气候区,雨水充沛,气候温和,日照充足,属于温暖带多雨气候。气温从北到南呈逐渐增加趋势,平原高于山区,冬冷、春寒、夏热、秋干。该地区雨、热资源丰富,是我国粮食的主产区。

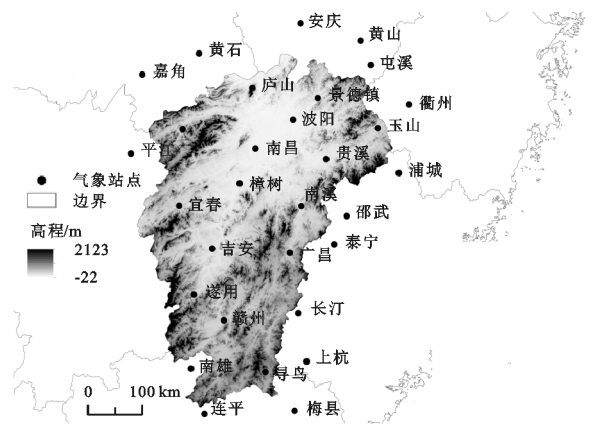


图1 研究区位置和气象站点分布

### 1.2 数据来源

本文的基础气象数据为中国气象数据网(<http://data.cma.cn/site/index.html>)提供的气象数据。本文选取了江西省内及周边的30个气象站点,剔除了江西省内3个数据缺失时段较长的站点数据(具体站点分布见图1)。气象数据为月值数据,时间序列为1961—2016年,包括降水量、平均气温、平均最

高气温和平均最低气温。

### 1.3 研究方法

1.3.1 ANUSPLIN 插值 本研究应用 ANUSPLIN 4.3 插值软件进行空间插值,得到分辨率为 $0.083\ 33^{\circ}\times 0.083\ 33^{\circ}$ 的江西省空间气象数据。ANUSPLIN 是由澳大利亚科学家 Hutchinson 基于薄盘样条理论开发的插值软件<sup>[16]</sup>,是针对气候要素数据曲面拟合的专用软件并得到了广泛应用<sup>[17-20]</sup>。ANUSPLIN 系统编程使用 FORTRAN 语言,包括 8 个程序模块,本研究主要应用了 SPLINA 和 LAPGRD 两个模块。在进行降水和温度插值的过程中,均以经度、纬度作为自变量,而温度插值过程中以海拔作为协变量,降水插值未使用协变量。在降水插值过程中进行了开平方转换,以保证降水不为负值。

1.3.2 分析方法 采用一元线性回归方法分析各气象要素的时空变化速率及不同季节变化趋势。通过分析每个格点的各气象要素变化趋势可以获得其变化速率的空间分布,从而得知研究区内各气象要素在不同区域的变化情况。计算公式如下:

$$\text{Slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times \text{VAR}_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n \text{VAR}_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中: $n$  为年数; $\text{VAR}_i$  为某年的栅格气象要素值或某一区域均值; $\text{Slope}$  为栅格气象要素或某一区域气象要素均值多年变化速率。 $\text{Slope}>0$  说明气象要素在该时间段内呈增加趋势,反之则是减少。

## 2 结果与分析

### 2.1 江西省多年月均值气候要素特征

根据 ANUSPLIN 软件插值获得的月气候要素数据,获得近 56 a 来江西省区域内多年气候要素月均值(图 2)。从降水量多年月均值可以看出,江西省降水主要分布在春季(3—5 月)和夏季(6—8 月),占全年降水量的 72.9%,最大降水量出现在 6 月,达 280.8 mm。江西省气温在 7 月、8 月最高,平均气温分别为  $28.2^{\circ}\text{C}$  和  $27.6^{\circ}\text{C}$ ,最低在 1 月,为  $5.7^{\circ}\text{C}$ ;最高气温在 7 月最高,达  $33.1^{\circ}\text{C}$ ,1 月最低为  $10.1^{\circ}\text{C}$ ;最低气温在 7 月和 1 月分别为  $24.5^{\circ}\text{C}$  和  $2.7^{\circ}\text{C}$ 。

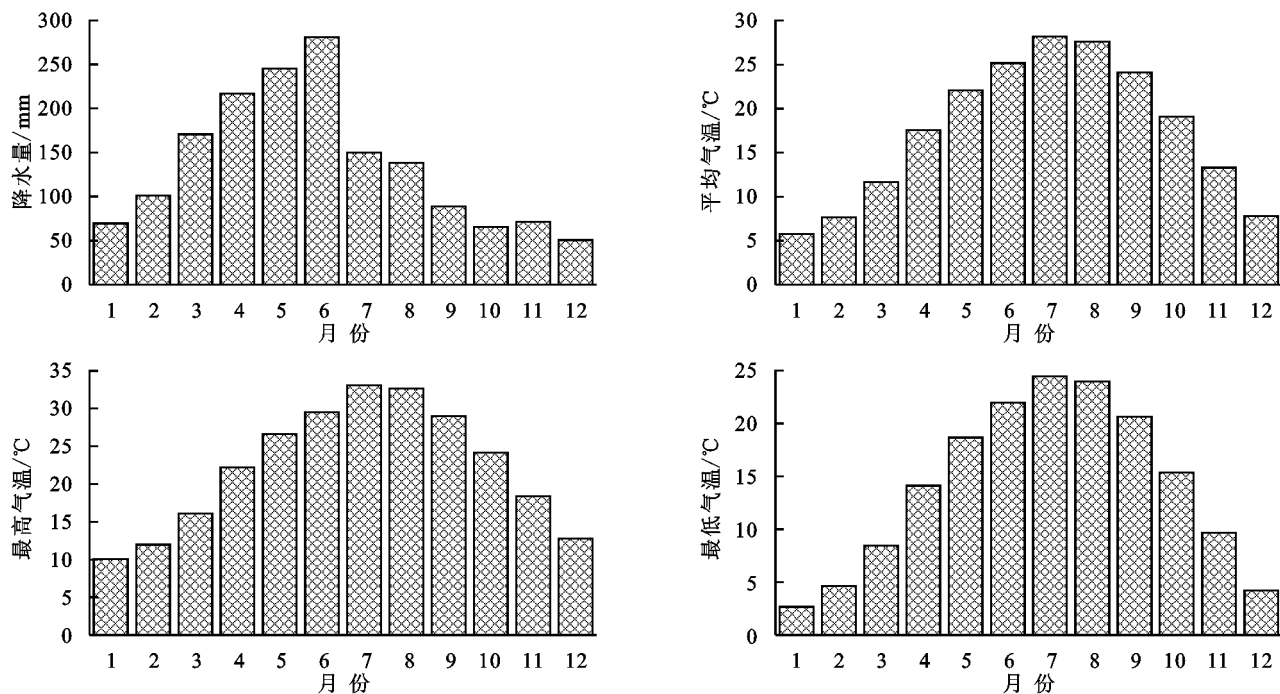


图 2 1961—2016 年江西省多年气候要素月均值

### 2.2 近 56 a 江西省气候要素时间变化特征

2.2.1 年变化特征 江西省 1961—2016 年降水量、平均气温、最高气温、最低气温年际变化如图 3 所示,江西省气温呈增加趋势,而降水则为波动态势。近 56 a 来,降水量变化速率为  $3.15\ \text{mm/a}$ ,但增加幅度不显著( $p>0.05$ );降水量年际变化幅度较大,最小值出现在 1963 年,为  $1\ 126.7\ \text{mm}$ ,最大值在 1975 年,

达  $2\ 160.9\ \text{mm}$ ;20 世纪 90 年代降水量处于较大值阶段,进入 21 世纪后减少,近几年有增加现象。

近 56 a 来,江西省气温呈显著增加趋势,特别是 1998 年后,气温距平值几乎均大于 0。多年年均温增温幅度为  $0.196^{\circ}\text{C}/10\ \text{a}$  ( $p<0.001$ ),最高气温增温幅度为  $0.169^{\circ}\text{C}/10\ \text{a}$  ( $p<0.001$ ),最低气温增温幅度更甚,达  $0.25^{\circ}\text{C}/10\ \text{a}$  ( $p<0.001$ );进入 21 世纪后,江西省气温增

温幅度显著,仅 2000 年和 2012 年年均温和最高气温低于多年均值,而最低气温则均高于多年均值。分析近

56 a 来江西省多年年均温、最高气温和最低气温可以发现,最低气温增大是江西省气温上升的主要贡献者。

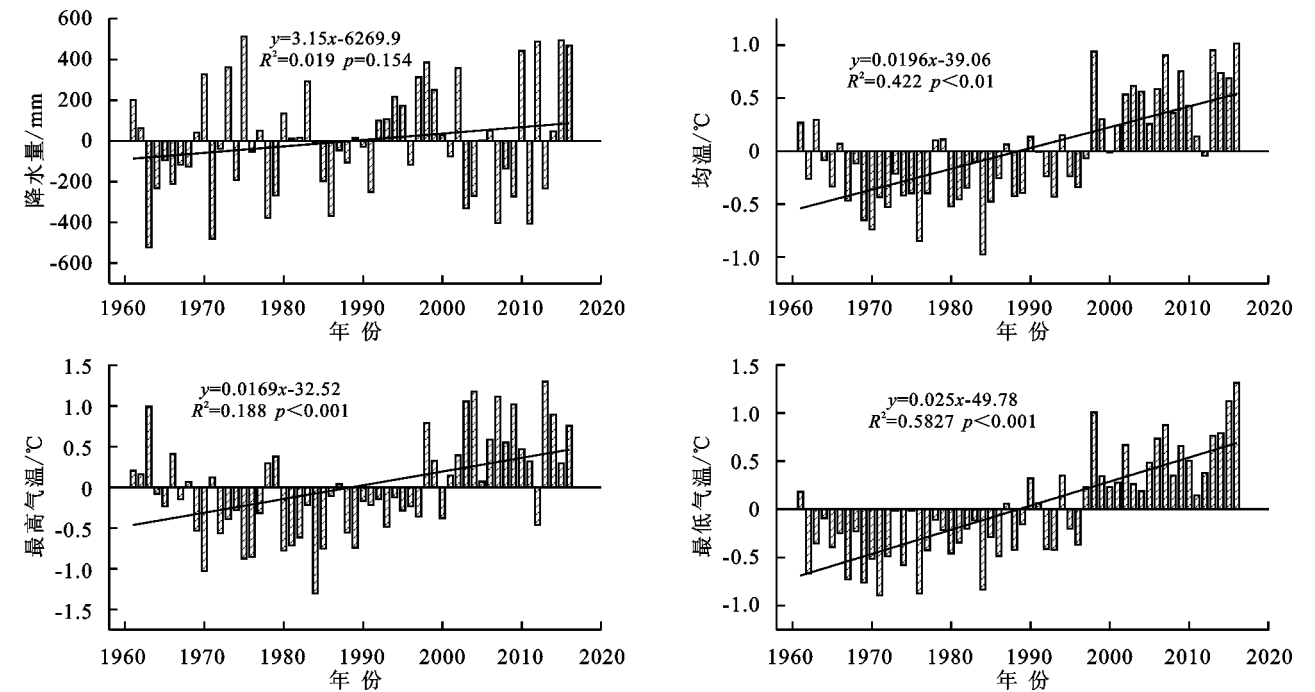


图 3 1961—2016 年江西省气候要素年际变化

2.2.2 季节变化特征 近 56 a 来,江西省季节降水量、平均气温、最高气温和最低气温的多年均值和变化情况见表 1。根据表 1 得知,江西省季节降雨量最大值出现在春季,值为 632.66 mm,秋季和冬季较少,均仅约 220 mm;根据 1961—2016 年来江西省季节降水量变化速率发现,夏季呈显著增加趋势,增加速率为 2.001 mm/a ( $p<0.05$ )。季节多年平均气温在夏季为 26.6℃,

变化不显著;春季、夏季、冬季多年平均气温均呈极显著增加趋势( $p<0.01$ ),冬季多年平均气温最低(7.05℃),但增加速率最大,为 0.026℃/a。多年最高气温在较低温季节增温显著,春季增温幅度为 0.027℃/a ( $p<0.01$ ),冬季为 0.018℃/a ( $p<0.01$ )。多年最低气温在 4 个季节均呈显著增温趋势,在春、夏、秋季增温幅度均约 0.02℃/a,而冬季达 0.034℃/a。

表 1 1961—2016 年江西省气候要素季节均值、变化速率

季节	降水量		平均气温		最高气温		最低气温	
	多年 均值/mm	变化速率/ (mm·a <sup>-1</sup> )	多年 均值/℃	变化速率/ (℃·a <sup>-1</sup> )	多年 均值/℃	变化速率/ (℃·a <sup>-1</sup> )	多年 均值/℃	变化速率/ (℃·a <sup>-1</sup> )
春季	632.66	-0.006	17.110	<u>0.023**</u>	21.672	<u>0.027**</u>	13.755	<u>0.023**</u>
夏季	568.91	<u>2.001*</u>	26.642	-0.006	31.760	0.005	23.480	<u>0.018**</u>
秋季	226.00	0.360	18.844	<u>0.020**</u>	23.864	0.018	15.222	<u>0.025**</u>
冬季	220.77	0.978	7.050	<u>0.026**</u>	11.597	<u>0.018**</u>	3.817	<u>0.034**</u>

注:下划线数据为通过 95%置信度检验;\* 为 95%置信度;\*\* 为 99%置信度。

2.3 近 56 a 江西省气候要素空间变化特征

2.3.1 年变化特征 图 4 为江西省近 56 a 来降水量、平均气温、最高气温、最低气温多年均值空间分布特征。江西省降水量分布特征为由西向东呈逐渐增加趋势,最低值出现在赣西南地区,不超过 1 500 mm,最高值在赣东北地区,近 1 840 mm;江西省大部分地区降水量多集中在 1 500~1 700 mm,约占江西省总面积的 60%。平均气温、最高气温和最低气温空间分布特征较一致,表现为较高温分布在南部地

区,而较低温则主要零星散布在江西省域内的周边地区。多年平均气温的最高值约为 20℃,最低值不超过 11℃,大部分地区平均气温集中在 16~19℃,约占江西省总面积的 83.1%;多年平均最高气温主要集中在 20~24℃,该地区面积约占江西总面积的 88%;江西省约 92%地区的多年平均最低气温分布在 12~16℃,主要分布在江西省的中部地区。

1961—2016 年江西省降水量和气温年均值均呈上升趋势,但是变化程度在区域分布上具有一定差异(图



5)。近 56 a 来,江西省各地区年降水量显示为增加趋势,但是增加趋势不显著;年降水量增加幅度较大区域主要分布江西省的东北部和中部地区,最大增加幅度为 5.43 mm/a,江西省南部年降水量增加幅度较小,最小仅为 0.79 mm/a。年平均气温、年均最高气温和最低气温变化趋势均呈极显著增加趋势( $p<0.01$ ),在空间分布上

略有差异。年平均气温较大增温幅度主要分布在江西省的东北部和中部地区,最大增温幅度为 0.028℃/a;年均最高温较大增温幅度主要分布在中部以及东北部、西南部的零星地区,最大增温幅度为 0.025℃/a;年均最低温则主要分布在江西省东北部,最大值达 0.039℃/a,中部次之,约为 0.030℃/a。

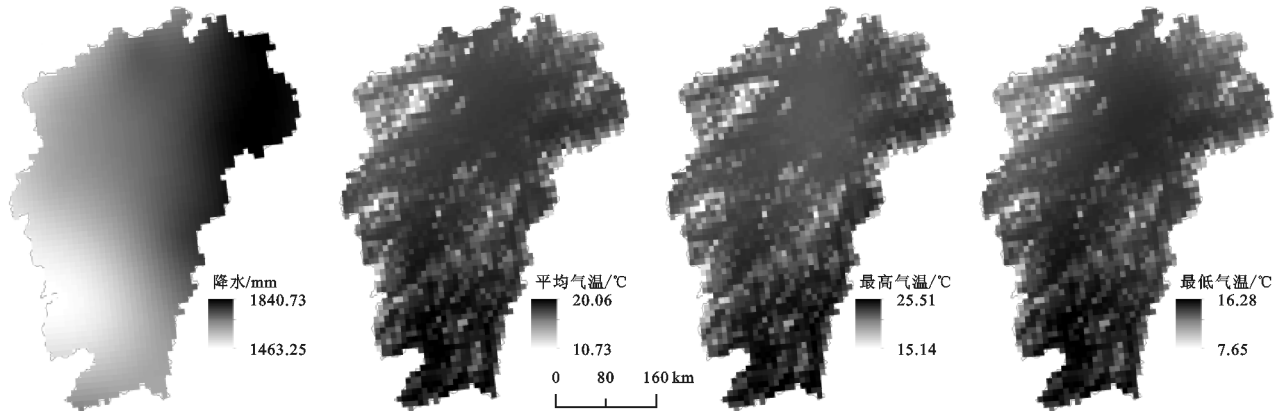


图 4 1961—2016 年江西省年气候要素均值空间分布

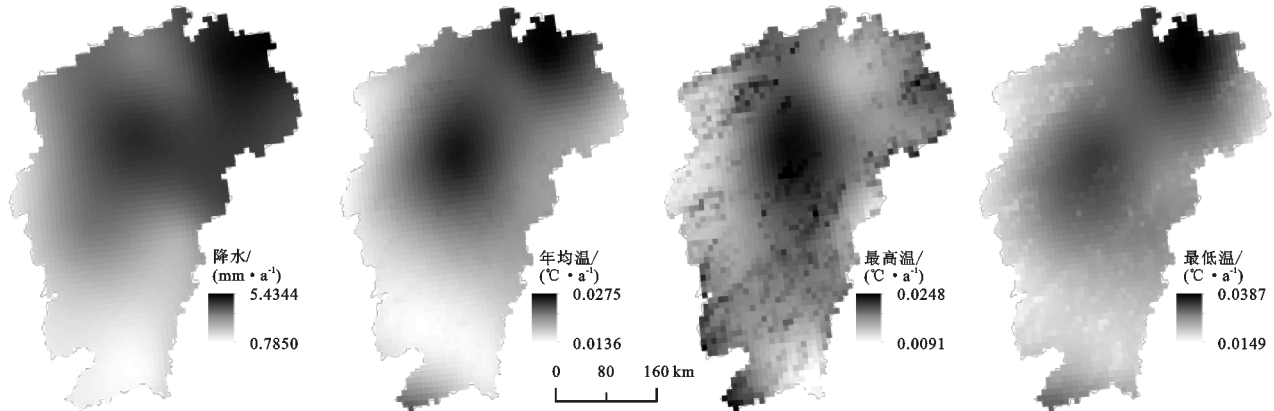


图 5 1961—2016 年江西省气候要素年均值变化趋势空间分布

2.3.2 季节变化特征 近 56 a 来,江西省降水、平均气温、最高气温和最低气温各季节多年均值如图 6 所示。不同季节降水量在空间分布上差异较大,春季,最大降水量达 723 mm,较大降水量主要分布在东部地区,空间上表现为由东到西呈逐渐减小趋势;夏季降水量略低于春季,最大值不足 700 mm,主要分布在东北部,由东北向西南逐渐减小;秋、冬季降水量较少,最大值不超过 270 mm,秋季全省地区降水量较低,较大值出现在北部和西部小部分地区,而冬季较大值则在东北部、中部地区。

从江西省季节气温空间分布来看,平均气温、最高气温和最低气温在同一季节空间分布特征较一致,夏季最高,其次为秋季和春季,冬季最低。春季,不同类型气温均表现为江西省南部较高,中北部周边零星地区较低;夏季,平均气温和最高气温除江西省边界零星地区表现为较低值外,其余地区均较高,而最低气温的较高值则出现在中北部地区;秋季,南部地区

气温较高,但是西北部平均气温较低;冬季,南部地区气温明显高于中北部。

从降水量多年季节变化特征来看,除夏季外,其余季节降水量变化幅度不显著。夏季降水量在江西省东北部变化最为显著,最大增加速率达 4.67 mm/a ( $p<0.05$ ),变化显著区域占江西省总面积的 26.8%。平均气温在春季和冬季增温速率更为显著,春季最大增温幅度达 0.036℃/a ( $p<0.05$ ),较大增温幅度地区主要分布在中部和北部地区,南部地区变化较为微弱;冬季在全省区域表现为显著增温趋势,较大增温区域主要分布在东北部和中部小部分地区;夏季增温幅度最小,呈显著增温区域仅占江西省总面积的 45.9%,主要分布在东北部和西南部、南部地区。最高气温呈显著增温趋势的区域明显小于平均气温和最低气温,春季和秋季增温较为显著,呈显著增温趋势的区域分别占全省总面积的 85.8%和 78.8%,春季主要分布在中北部,秋季分布在除东部和西部之外的地区;夏

季在南部增温最为显著,而冬季则主要在东部偏上地区和中部。最低气温在各季节增温最为显著,特别是冬季,最大增温幅度达  $0.051^{\circ}\text{C}/\text{a}$  ( $p<0.01$ ),分布在江西

省北部地区;春季除在南部部分地区增温较微弱外,其他区域增温较为显著;夏季较大增温幅度主要分布在北部和中部地区,秋季则主要分布在北部地区。

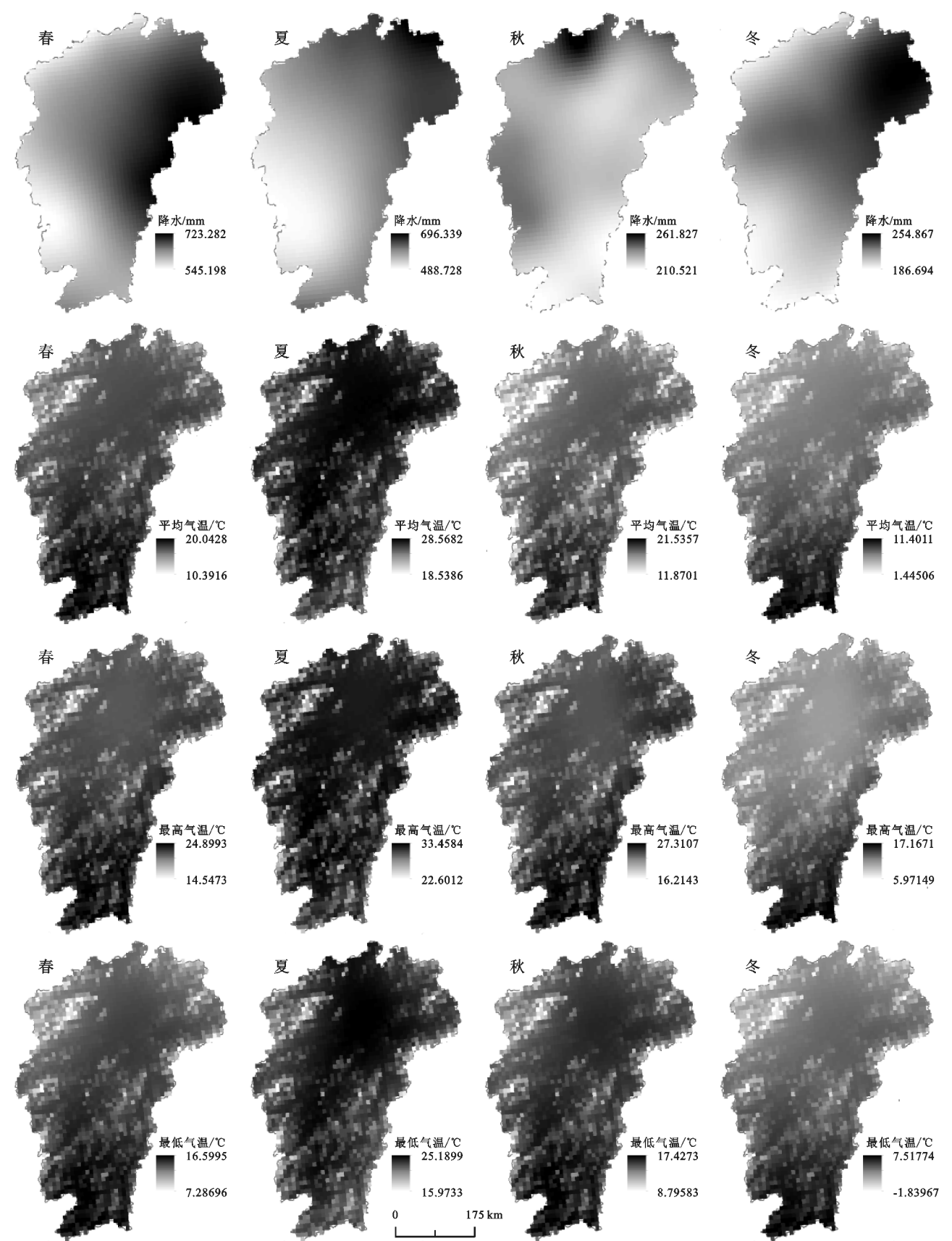


图 6 1961—2016 年江西省季节气候要素均值空间分布

### 3 讨论

在全球变暖背景下,江西省近 56 a 来的气候变化特征主要以增温为主,降水变化趋势不显著。江西省的变暖特征主要以最低气温上升为主要贡献源,年最低气温上升幅度为  $0.25^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 低于全国的变化速率  $0.37^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  [4]。鲁向晖等 [15] 研究表明,1961—2012 年多年平均气温、最高气温、最低气温的增温速率分别为  $0.16$ ,  $0.12$ ,  $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 各气温因子增温速率均低于本研究结果的  $0.196$ ,  $0.169$ ,  $0.250^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 结果之间的差异主要是因为研究时段的不同,本研究的时段更长,到 2016 年,从图 3 气温变化趋势可知,自 2013 年来气温较高,特别是最低气温。丁一汇等 [33] 研究指出,20 世纪主要出现了两个增暖时期,分别为 20—40 年代和 80 年代中后期,本研究结果与这一研究结论相符,据图 3 可发现,80 年代开始江西省气温呈逐渐增加趋势。对比全国各区域气温变化特征,江西省气温上升速率较低,明显低于东北、华北、西北地区 [9]。过去 56 a 间,江西省增温现象主要发生在冬季和春季,秋季较弱,夏季气温呈不显著降温趋势,这一研究结果与中国乃至全球的季节变化趋势较为一致 [3, 21]。

自 1961 年来,江西省年降水量增加速率为  $31.5\text{ mm}/10\text{ a}$ , 呈波动变化上升趋势,虽然增加幅度未达显著水平,但是其波动增加量处于全国较大增幅区域,明显高于中部及西部地区 [9]。其中 20 世纪 90 年代出现了降水大幅增加现象,这一结果与王遵娅等 [10] 的研究成果较一致。江西省降水量的增加主要发生在夏季,增加速率为  $20.01\text{ mm}/10\text{ a}$  ( $p < 0.01$ ),冬季次之,秋季较弱,春季表现为弱微减小趋势。在全球气候变暖背景下,我国极端气候事件的发生频率和强度具有一定变化。近年来,全国平均暴雨和极端强降水事件发生频率和强度都有所增加,特别是长江中下游和东南地区 [22],江西省夏季降水量的显著增加与该地区的洪涝灾害频率和强度增大相一致。冬季降水增加趋势为  $9.78\text{ mm}/10\text{ a}$ , 增加幅度大于秋季和春季,可能归因于冬季降水强度的增强 [23-24]。冬季降水增加可能会导致极端气候灾害事件的发生,比如 2008 年的南方冰冻雨雪天气,对人们的交通、人身安全、农业以及经济造成了一定的损失。

鄱阳湖是我国最大的淡水湖,位于江西省的北部地区,属于亚热带季风气候区,湖边地区多为平原,鄱阳湖作为以野生白鹤为主的国家级自然保护区以及江西省的重要农业生产基地 [25-26],厘清该地区的气候变化特征能够为生态保护和农业发展起到重要支撑作用。从空间分布特征来看,江西省南部地区气温较高,鄱阳湖地区的气温高于周边海拔较高地区,但是降水量较大值主要分布在江西省东北部地区。鄱阳湖地区降水、气温的

多年变化速率均呈增加趋势,且增加速率较周边地区大,降水增加速率约为  $50\text{ mm}/10\text{ a}$ , 平均气温、最高气温、最低气温增温速率分别约为  $2.75$ ,  $2.48$ ,  $3.87^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 均高于丁明军等 [27] 的研究结果,主要原因是本研究的研究时段较长,而且是通过整个江西省及周边的国家气象站点进行 ANUSPLIN 插值的结果。从季节空间分布特征可知,鄱阳湖地区秋季多年降水均值及增加速率均高于其他地区,而在夏季则表现为较低温及较小增温速率。

本研究虽然采用 ANUSPLIN 软件插值方法获得了近 56 a 来江西省的时空变化特征,但是未分析在该时段内不同年代际降水、气温的变化规律,忽略了江西省气候变化的波动情况,这将在接下来的研究进一步进行阐明。除此之外,本文仅分析了气候变化的区域规律,并未考虑气候变化特征的成因机制,特别是江西省处于季风气候区,水系发达,在某种程度上对气候变化起到一定调节作用。在全球气候变化背景下,极端事件频发 [28],极端气温、降水在多年均值中被忽略,且江西省属于干旱洪涝灾害高发区 [29],为了深刻体现气候在年度尺度上的变化趋势,则应考虑各类极端气候对其贡献大小,以揭示气象灾害与环境风险之间的关系,为极端事件的预防及处理提供理论依据。

### 4 结论

(1) 江西省多年年降水量均值呈波动增加趋势,增加速率为  $31.5\text{ mm}/10\text{ a}$ , 20 世纪 60 年代为枯水期,而 90 时代为丰水期;全年降水量约 72.9% 集中在春季和夏季,夏季降水量增加最为显著,增加速率达  $20.0\text{ mm}/10\text{ a}$ , 冬季次之,春季变化较为微弱。

(2) 江西省气温呈显著增加趋势,特别是最低气温,年最低气温均值增温速率为  $0.250^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 年平均气温、最高气温分别为  $0.196$ ,  $0.169^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ; 20 世纪 70 年代处于气温较低值区域,80 时代之后转为以增温为主导;最低气温在四季均呈显著增温趋势,特别是冬季,达  $0.34^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ;最高气温仅在春季和冬季增温趋势显著,春季增温幅度较大,高于最低气温,而冬季则幅度较小,仅为  $0.18^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ;平均气温除夏季变化较小外,其余 3 个季节均为显著增温趋势。

(3) 年降水量在空间上表现为由西向东呈增加趋势,变化区间范围为  $1\ 463\sim 1\ 840\text{ mm}$ , 约 60% 区域的年降水量集中在  $1\ 500\sim 1\ 700\text{ mm}$ ;降水量在季节上具有一定的空间差异,特别是秋季;年降水量变化趋势不显著,增加速率较大区域主要分布在江西省的东北部和中部地区,最大值为  $54.3\text{ mm}/10\text{ a}$ , 最小值仅为  $7.9\text{ mm}/10\text{ a}$ , 在江西省南部地区;夏季降水量在江西省东北部变化最为显著,最大增大速率达  $4.67\text{ mm}/\text{a}$  ( $p < 0.05$ ),其他季节变化趋势不明显。



(4) 气温的较高值主要分布在江西省的南部,较低值则分散在鄱阳湖周边;年平均气温、年均最高气温、年均最低气温的较大增温趋势区域主要分布在江西省的北部和中部地区,最大增温速率分别为 0.28, 0.25, 0.39℃/10 a;平均气温、最高气温和最低气温在同一季节空间分布特征较一致,夏季气温在鄱阳湖地区较高,其他季节则在江西省南部地区呈现出较高温;平均气温在各季节的较大增温区域均分布在江西省的北部和中部地区;最高气温在不同季节的空间分布差异较大,春季较大增温区域主要分布在中北部地区,夏季在南部地区,秋季在西北地区,而冬季则主要在东部偏上和中部地区;最低气温在不同季节空间分布特征与平均气温较为一致,最低气温在各季节增温最为显著,特别是冬季,最大增温幅度达 0.051℃/a ( $p < 0.01$ ),分布在江西省北部地区。

#### 参考文献:

- [1] Ciais P, Sabine C, Bala G, 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[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] 秦大河, Stocker T, 259 名作者和 TSU(驻伯尔尼和北京). IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1-6.
- [3] 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): 1-5.
- [4] 周丹, 张勃, 李小亚, 等. 1961—2010 年中国大陆地面气候要素变化特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(4): 549-558.
- [5] 翟颖佳, 李耀辉, 徐影. RCPs 情景下中国北方地区干旱气候变化特征[J]. 高原气象, 2016, 35(1): 94-106.
- [6] 高继卿, 杨晓光, 董朝阳, 等. 气候变化背景下中国北方干湿区降水资源变化特征分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(12): 99-110.
- [7] 赵林, 程国栋, 俞祁浩, 等. 气候变化影响下青藏公路重点路段的冻土危害及其治理对策[J]. 自然杂志, 2010, 32(1): 9-12.
- [8] 孟梦, 牛铮, 马超, 等. 青藏高原 NDVI 变化趋势及其对气候的响应[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 360-372.
- [9] 史培军, 孙劭, 汪明, 等. 中国气候变化区划(1961—2010 年)[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 44(10): 2294-2306.
- [10] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 228-236.
- [11] Hou W J, Gao J B, Wu S H, et al. Interannual variations in growing-season NDVI and its correlation with climate variables in the southwestern karst region of China[J]. Remote Sensing, 2015, 7(9): 11105-11124.
- [12] 郭慧, 李栋梁, 林纾, 等. 近 50 多年来我国西部地区降水的时空变化特征[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1165-1175.
- [13] 赵天保, 陈亮, 马柱国. CMIP5 多模式对全球典型干旱半干旱区气候变化的模拟与预估[J]. 科学通报, 2014, 59(12): 1148-1163.
- [14] 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.
- [15] 鲁向晖, 白桦, 吕娅, 等. 江西省历史气象分析及未来气候变化预测[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 293-297.
- [16] Hutchinson M F. Anusplin version 4.3 user guide[M]. Canberra: the Australia National University, Center for Resource and Environment Studies, 2004.
- [17] 钱永兰, 吕厚荃, 张艳红. 基于 ANUSPLIN 软件的逐日气象要素插值方法应用与评估[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(2): 7-15.
- [18] 张晓东, 朱文博, 崔耀平, 等. 伏牛山地区森林植被动态变化对水热条件的响应[J]. 地理研究, 2016, 35(6): 1029-1040.
- [19] Liu Z H, McVicar T R, Li L T, et al. Interpolation for time series of meteorological variables using ANUSPLIN[J]. Journal of Northwest A&F University, 2008, 36(10): 227-234.
- [20] Yuan Q Z, Wu S H, Dai E F, et al. NPP vulnerability of the potential vegetation of China to climate change in the past and future[J]. Journal of Geographical Sciences, 2017, 27(2): 131-142.
- [21] 李爽, 王羊, 李双成. 中国近 30 年气候要素时空变化特征[J]. 地理研究, 2009, 28(6): 1593-1605.
- [22] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 337-353.
- [23] 周伟东, 史军, 穆海振. 中国东部冬季气温和降水的气候变化特征分析[J]. 资源科学, 2010, 32(6): 1088-1096.
- [24] 房巧敏, 龚道溢, 毛睿. 中国近 46 年来冬半年日降水变化特征分析[J]. 地理科学, 2007, 27(5): 711-717.
- [25] 吴海峰, 金杰峰, Batbayar N, 等. 鄱阳湖越冬白枕鹤活动区面积与水位和气温的关系[J]. 动物学杂志, 2018, 53(4): 497-506.
- [26] Xie H L, He Y F, Zou J L, et al. Spatio-temporal difference analysis of cultivated land use intensity based on emergy in the Poyang Lake Eco-economic Zone of China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(10): 1412-1430.
- [27] 丁明军, 郑林, 杨续超. 1961—2007 年鄱阳湖周边地区气温变化趋势分析[J]. 中国农业气象, 2010, 31(4): 517-521.
- [28] 翟盘茂, 刘静. 气候变暖背景下的极端天气气候事件与防灾减灾[J]. 中国工程科学, 2012, 14(9): 55-63.
- [29] 蔡哲, 章毅之, 何拥凤, 等. 江西省干旱洪涝的时空变化特征分析[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(2): 144-149.