

# 抚河流域干旱时空分布特征及其与 ENSO 的相关性

朱圣男<sup>1</sup>, 刘卫林<sup>1</sup>, 万一帆<sup>1</sup>, 黄一鹏<sup>1</sup>, 吴滨<sup>1</sup>, 刘丽娜<sup>1</sup>, 杨船洋<sup>2</sup>

(1.南昌工程学院 江西省水文水资源与水环境重点实验室, 南昌 330099; 2.河海大学 水文水资源学院, 南京 210098)

**摘 要:**为了分析干旱时空分布特征,并结合 ENSO 事件探究其相关性,基于抚河流域 9 个气象站点 1960—2005 年的逐月降水资料,根据计算出的 SPI 指数,利用 M-K 趋势检验、相关性分析等方法分析了 1960—2005 年抚河流域月、四季、年干旱及空间变化特征,并研究了 ENSO 事件与该区域的关系。结果表明:流域春季有干旱化趋势,冬季有变湿态势,20 世纪 60、70 年代干旱次数多,强度大,在 1990—2005 年,流域整体上的干旱次数程度和次数有增加的趋势。空间变化上,各季节干旱高频分别集中在流域东北部:春季在崇仁地区,夏季在南丰和黎川地区,秋季在抚州和金溪地区,冬季在东乡地区。抚河流域春季 SSTA 指数与 SPI 指数的相关性最明显,秋、夏季随之减弱。ENSO 事件发生强度与抚河流域 SPI 影响因子的多项式拟合关系表明,ENSO 事件暖事件年份的降水下降非常明显,其发生干旱的可能性大于冷事件年份,即 ENSO 暖事件强度越大,研究区域有可能发生严重的干旱事件。干旱对 El Niño 事件和 La Niña 事件的响应分别在滞后 1~2 个月、3~4 个月的响应最为显著。

**关键词:**抚河流域; SPI; 干旱; ENSO 事件

**中图分类号:**P426.616; P732

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2020)06-0131-08

## Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Drought and Its Correlation with ENSO in Fuhe River Basin

ZHU Shengnan<sup>1</sup>, LIU Weilin<sup>1</sup>, WAN Yifan<sup>1</sup>, HUANG Yipeng<sup>1</sup>,

WU Bin<sup>1</sup>, LIU Lina<sup>1</sup>, YANG Chuanyang<sup>2</sup>

(1.Jiangxi Provincial Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Water Environment, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China; 2.College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In order to analyze the spatial and temporal distribution characteristics of drought and to explore its correlation with ENSO events, based on the monthly precipitation data from 1960 to 2005 in 9 meteorological stations in the Fuhe River Basin, according to the calculated SPI, the MK trend test and correlation analysis were used to analyze the characteristics of monthly, four seasons, annual droughts and spatial changes in Fuhe River Basin from 1960 to 2005, and to study the relationship between ENSO events and the region. The results showed that there was a tendency of drought in the spring in the watershed and a trend of humidification in the winter; in the 1960s and 1970s, there were many droughts with high intensity; from 1990 to 2005, the degree and frequency of droughts in the river basin as a whole increased. In terms of spatial changes, the high frequency of drought in each season concentrated in the northeast of the basin: in the Chongren in spring, Nanfeng and Lichuan in summer, Fuzhou and Jinxi in autumn, and Dongxiang in winter. The correlation between the SSTA index and the SPI index in the Fuhe River Basin in spring was the most obvious, and then decreased in autumn and summer. The polynomial fitting relationship between the intensity of the ENSO event and the SPI influencing factors of the Fuhe River Basin showed that the precipitation of the ENSO event in the warm event year was very obvious, and the possibility of drought was greater than that in

**收稿日期:**2019-11-29

**修回日期:**2019-12-28

**资助项目:**国家自然科学基金(41761058,51309130);江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ170980,GJJ161098);江西省优势科技创新团队建设项目(20171BCB24012);江西省科技厅科技计划项目(20192BAB206047);南昌工程学院研究生创新资助项目(YJSCX20180006)

**第一作者:**朱圣男(1995—),男,安徽蚌埠人,硕士研究生,研究方向为水文水资源。E-mail:shengnanzhu0719@163.com

**通信作者:**刘卫林(1978—),男,江西新余人,教授,博士,主要从事水文水资源研究。E-mail:weilin\_liu@nit.edu.cn

the cold event year, the greater the intensity of the ENSO warm event, the more likely a severe drought event will occur in the study area. The response of the drought to the El Niño and La Niña events was the most significant after lagging by 1 to 2 months and 3 to 4 months, respectively.

**Keywords:** Fuhe River Basin; SPI; drought; ENSO events

干旱是普遍发生的一种气象灾害,是指因区域水分收支或供求不平衡而形成的水分短缺现象,是造成严重损失的气象灾害之一<sup>[1]</sup>。IPCC 报告<sup>[2]</sup>指出:未来随着全球地表气温升高明显,而导致进一步变暖,使旱灾等极端气候事件呈增加趋势。作为江西省商品粮基地之一的赣抚平原,干旱减小其粮食产量将直接影响全省的粮食安全问题。鄱阳湖流域干旱事件发生频率不断增加,1992—1993 年、1996—1997 年经历了罕见的干旱。随着全球气候变化,极端天气事件更是频繁发生,流域的干旱程度不断加剧,严重地影响当地居民的生产生活及生态安全。因此研究 1960—2005 年河流域干旱变化的规律,为流域干旱预警、江西省粮食安全、经济社会发展提供指导。目前广泛使用的干旱指数有帕默尔干旱指数(PDSI)、Z 指数、综合气象干旱指数(CI)等<sup>[3]</sup>。本文使用标准化降水指数(Standard Precipitation Index, SPI)计算抚河流域干旱情况,标准化降水指数(SPI)由 McKEE 等在评估美国科罗拉多干旱状况时提出的,它是表征某时段降雨量出现概率多少的指标之一<sup>[4]</sup>。该指数具有不同时间尺度、计算简便快捷<sup>[5]</sup>,适用于旱涝监测评估,能够较为准确地反映干旱趋势<sup>[6]</sup>。洪兴骏等<sup>[7]</sup>以 SPI 指数为工具,验证了 SPI 指数在鄱阳湖流域干旱评估的适用性;赵茹欣等<sup>[8]</sup>基于 SPI 指数对黑龙江省 1959—2014 年的气象数据进行干旱分析,研究表明 SPI 指数计算结果与实际干旱事件有一定的吻合性。

已有学者意识到全球海洋温度的变化或者大尺度气候因子[如受厄尔尼诺—南方涛动(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)、北大西洋涛动(North Atlantic Oscillation, NAO)、太平洋涛动(Pacific Decadal Oscillation, PDO)等]在年际尺度上对干旱形成的作用可能有重要影响<sup>[9-10]</sup>。厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)是海洋和大气相互作用后失去平衡而产生的一种气候现象,往往会改变大气环流,导致全球气候发生异常,这是全球气候变化的强烈信号<sup>[11]</sup>。但鲜有学者将 SPI 指数与厄尔尼诺/南方涛动(ENSO)相结合应用在鄱阳湖流域,也缺乏对大尺度气候因子与鄱阳湖流域干湿关系的系统认识。本文将 SPI 指数应用在抚河流域,探讨抚河流域气象干旱与 ENSO 的相关关系,以期更好地服务于江西省的干旱监测、水资源管理和农业生产。

## 1 研究区概况

抚河流域位于江西省东部,地处 115°36′—117°10′E, 26°30′—28°50′N,是鄱阳湖流域第二大河流,流域面积 16 493 km<sup>2</sup>。主河源出于赣、闽边界武夷山西麓广昌县,抚河上游段为盱江,主要包括南丰、广昌等地区;南城至廖家湾为中游;抚河下游在抚州市以下河段。流域内地形东南高,西北低。研究区域属亚热带湿润季风气候,气候温和、雨量充沛,多年平均年降水量 1 732 mm,降水时空分配不均,东南部降水量多于西北部,多年平均气温 17.8℃,多年平均年水面蒸发量 894 mm<sup>[12]</sup>。抚河流域沿线分布着重要的城镇,经济相对发达,居民生活、工农业生产、生态环境用水量较大。廖坊灌区、金临渠灌区和赣抚平原灌区等这些灌区涉及的农田多,缺水造成的影响大。抚河流域已多次发生干旱缺水问题,流域水量供需矛盾突出,旱灾导致的粮食减产,已成为区域经济发展的重要影响因素。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据来源

本文选用抚河流域 9 个雨量站点(图 1)1960—2005 年月平均降水数据,数据来自气象数据共享网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)和江西省气象局。本文分别以月、季、6 个月和年为时间尺度计算 SPI,季节的定义为:3—5 月(春季),6—8 月(夏季),9—11 月(秋季)和 12—次年 2 月(冬季)<sup>[13]</sup>。同时选用了热带太平洋表面温度距平(SSTA)作为表征厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)的指标,该数据来自美国地球系统研究实验室(NOAA-ESRL)提供的 Niño 3.4 区的 1960—2005 年逐月 SSTA 值<sup>[14]</sup>。

### 2.2 研究方法

2.2.1 SPI 计算 通常认为在一段时间内某一区域降水量若比多年平均值较少,或低于一定程度,则可认为在这段时间该地出现了干旱事件。不同时间和地点降水量变化量很大,其分布是偏态分布,不可以直接用降水量计算。所以, SPI 的原理是利用  $\Gamma$  分布概率描述降水量的变化情况,再通过查阅标准正态分布的变量值,即求得 SPI 值<sup>[15]</sup>,根据干旱等级标准<sup>[16]</sup>,将干旱等级划分为 5 类。见表 1。

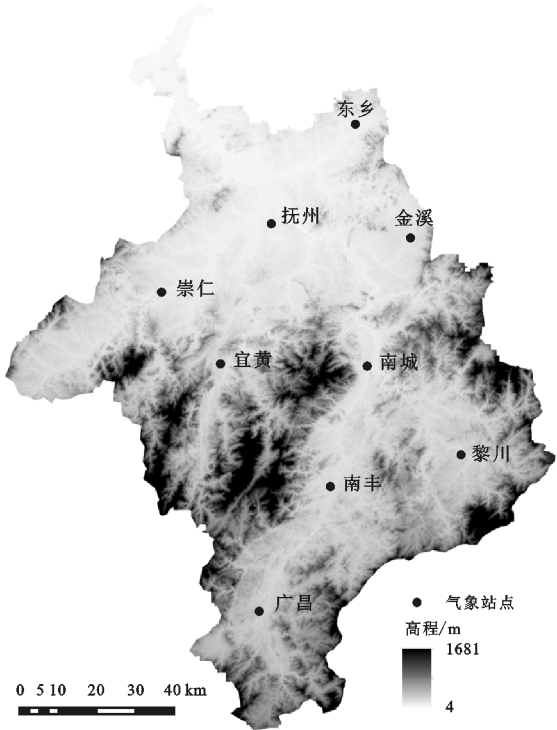


图 1 抚河流域气象站点分布

2.2.2 Mann-Kendall 趋势检验法 Mann-Kendall 趋势检验是一种被国际气象组织(WMO)推荐用来进行时间序列分析的非参数检验方法,在水文、气象等非正态分布的数据中有很大的适用性,具有计算方便的特点,推理过程可参考相关文献<sup>[17]</sup>。

2.2.3 干旱评价指标计算 文中利用干旱频率来分析抚河流域干旱特征,干旱频率( $P_i$ )是指某站点在

时间序列内的发生干旱频率的程度,计算公式如下:

$$P_i = \frac{n}{N} \times 100\% \tag{1}$$

式中: $N$  为某站点有气象数据资料的年数; $n$  为该站点发生干旱的总年数。

表 1 干旱等级划分

级别	SPI 值	干旱类型
1	$SPI > -0.5$	无旱
2	$-1 < SPI \leq -0.5$	轻度干旱
3	$-1.5 < SPI \leq -1.0$	中度干旱
4	$-2.0 < SPI \leq -1.5$	重度干旱
5	$SPI < -2.0$	极度干旱

3 结果与分析

3.1 抚河流域多尺度干旱特征

从图 2 可以看出,不同时间尺度的  $SPI_1$ ,  $SPI_3$ ,  $SPI_6$  和  $SPI_{12}$  值随时间变化的波动存在着明显的差异变化,时间尺度越小,突变越显著,  $SPI$  值也会发生较大的变化。1960—2005 年,  $SPI$  值在 1 个月时间尺度在 1960 年、1973 年、1999 年和 2001 年发生了重度干旱,其他时间流域内旱涝事件交替发生。  $SPI$  值在 3 个月、6 个月、12 个月时间尺度下,旱情变化不明显,  $SPI_3$  在 1963 年、1971 年发生大旱,其他时间干旱时有发生,主要以轻旱为主,进入 21 世纪以后,由  $SPI$  变化曲线可以看出在不同时间尺度都呈现干湿交替变化。

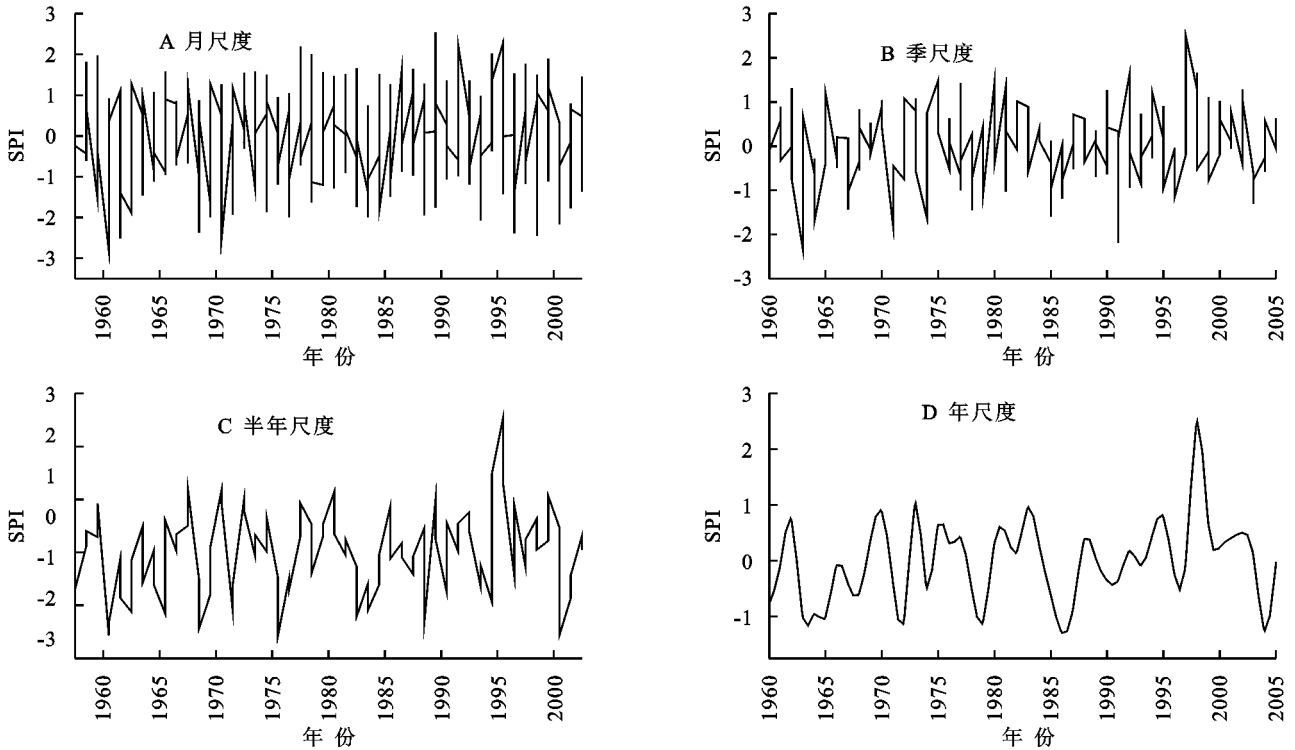
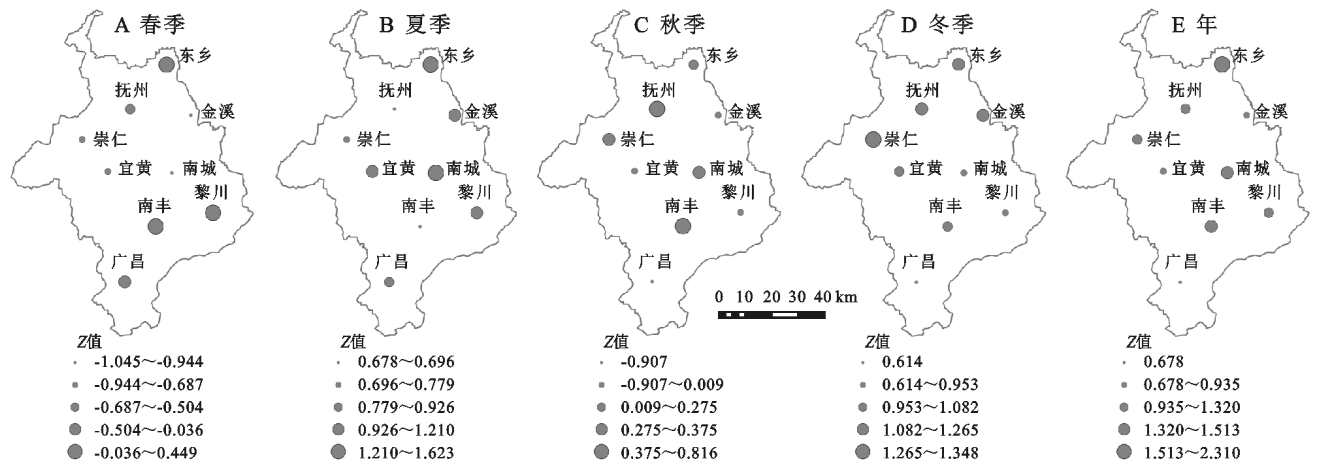


图 2 抚河流域 1960—2005 年不同时间尺度 SPI 分布

3.2 抚河流域干旱空间变化特征

为了进一步分析抚河流域干旱变化趋势的空间特征,运用了 M-K 趋势检验方法对 1960—2005 年抚河流域各气象站季节尺度和年尺度 SPI 的变化趋势进行计算和统计,分析并绘制了 Z 值空间分布图(图 3)。可以得到:四季干旱趋势存在较大差异,春季大致呈现出南升北降的规律,南部地区呈湿润化趋势,

北部呈干旱化态势,其中金溪、南城干旱化明显,夏季抚河流域呈微弱湿润化趋势,仅金溪、宜黄 Z 值略微下降。秋季的变化趋势与春季整体相同,整体呈湿润化态势冬季南丰、南城湿润化趋势显著( $p<0.05$ ),崇仁和广昌有变干趋势,其他地区干湿交替,整体变化不大,年尺度上,仅有东乡呈显著性湿润( $p<0.05$ ),其他地区则轻微湿润。



注:Z 值越大,灰色圆圈越大,形状大小表示通过了不同的显著性检验。

图 3 抚河流域 1960—2005 年四季和年的干旱指数变化趋势

3.3 抚河流域干旱空间分布特征

3.3.1 干旱频率分布 季尺度上,春旱主要分布在抚河流域西北和东南地区(图 4A),干旱频率最大值出现在崇仁,达 30.4%以上。夏季干旱发生频率更高,各地区之间相差较大(图 4B),干旱频率发生最大值为南丰与黎川,分别为 37.0%,34.8%,金溪、南城和广昌发生频率最低,均为 26.09%,其他地区为 28.26%~30.43%。秋季干旱主要发生在抚河流域东北部(图 4C),生频率最大为抚州和金溪,均为 32.61%。冬旱(图 4D)发生频率约为 30.67%,发生频率最大和最小,东乡和南丰,分别为 32.61%,28.26%。

从图 4E 可以看出,年尺度干旱(SPI12)发生频率为29.95%,地区的差异较小,发生频率最小的为宜黄,频率为 28.44%,最大为南丰、南城和崇仁,发生频率为 30.61%,上述地区以外基本都在 30%;月尺度干旱发生频率最大的为广昌,频率为 34.79%,东乡为所有地区频率最小,为 21.74%,其他地区为 23.91%~32.61%(图 4F)。

3.3.2 抚河流域中旱及以上干旱频率分布 春季中旱及其以上干旱发生频率最低的为抚州,仅 6.52%,发生频率最高的为宜黄,达 13.04%,其他地区干旱频率稳定在 8.70%~10.87%,各地区差异显著(图 4G)。夏季中旱以及以上干旱各地区差异相比春季

小,发生频率最大的地区为南丰,达 17.39%,夏季平均发生频率为 13.53%,金溪、崇仁和东乡发生频率最小,为 10.87%,主要集中在抚河流域东北部(图 4H)。秋季中度及以上干旱发生频率最高的为宜黄,达 19.57%,最低为南丰,发生频率仅为 8.70%。其他地区发生频率为 10.87%~15.22%(图 4I)。冬季中旱以上发生频率最高的地区为南丰和黎川,为 13.04%,最低为金溪和广昌,为 6.52%。地区差异明显(图 4J)。

年尺度上,中度及以上干旱发生频率最高值为 15.22%,发生在南丰,最小发生在宜黄,发生频率为 6.52%,其他地区稳定在 8.70%~13.04%,地区差异明显(图 4K);月尺度上,发生中度及以上干频率最大和最小的地区为宜黄和南丰,分别为 19.60%,8.60%,月尺度下的平均发生频率为 11.92%,地区差异较大(图 4L)。

3.4 ENSO 对抚河流域干旱的影响

北太平洋海温和大气环流变化异常对气候有着重要的作用,赵永平等<sup>[18]</sup>发现 ENSO 通过影响东亚季风环流和太平洋副热带高压,对东亚和中国从沿海到内陆地区都产生了影响。许多研究表明海表温度指数和干湿变化关系最大,因此分析 SSTa 和 SPI 的相关性、ENSO 事件和对抚河流域干旱的对应关系,具有现实意义。



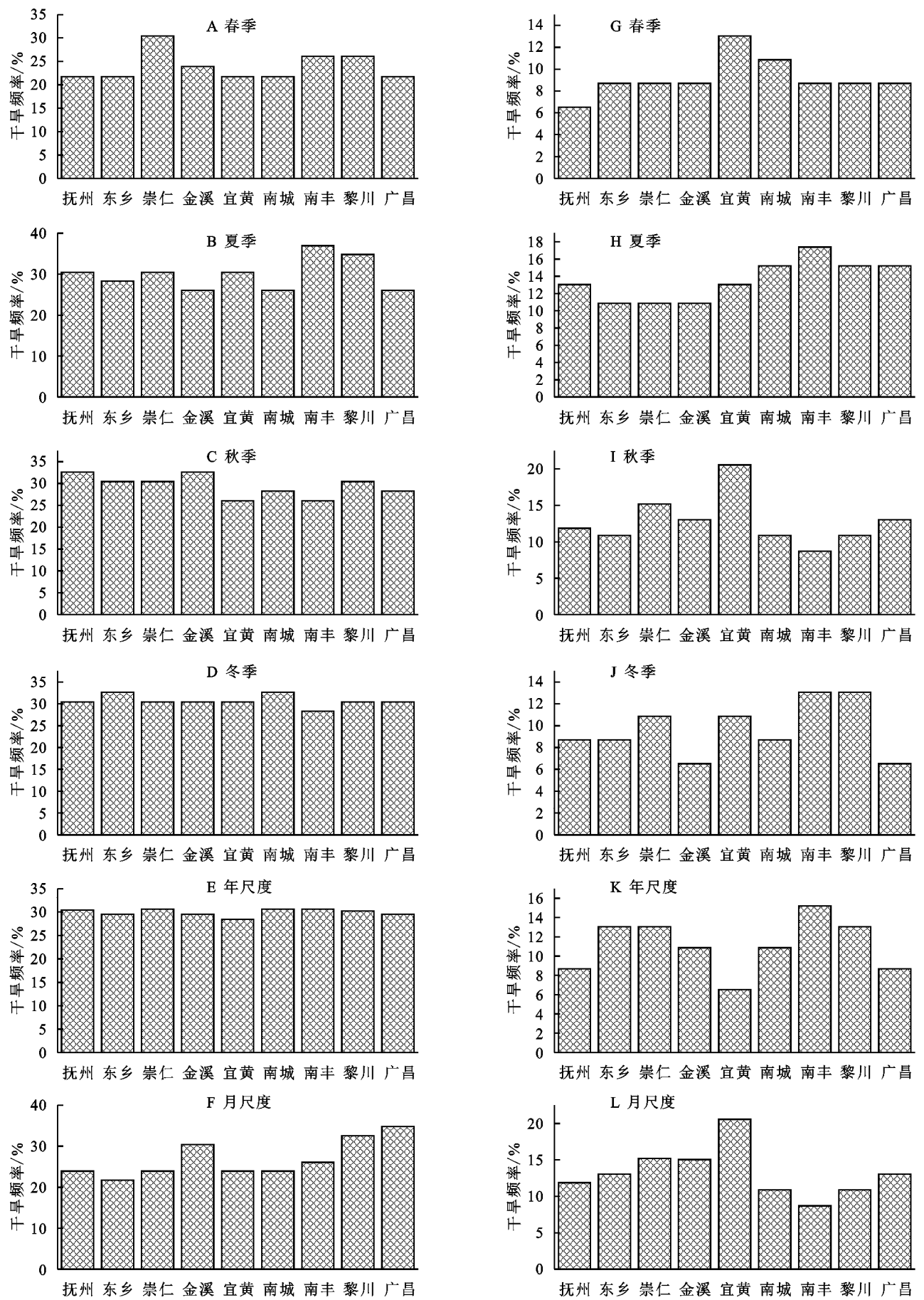


图 4 抚河流域 1960—2005 年各站点干旱(左)和中度及以上干旱(右)发生频率

3.4.1 SSTA 与 SPI 值的相关性分析 通过选用相同时间尺度的 SSTA 指数和抚河流域各站点四季 SPI 值进行皮尔森相关系数分析,由图 5 可以看出,抚河流域春季 SPI 与 SSTA 指数之间均呈正相关关系(图 5A),其中东乡、广昌正相关关系显著( $p < 0.05$ ),相关系数分别为 0.303,0.361,除上述地区外,研究区内其他站点均未通过显著性水平检验,流域内东南部的春季 SPI 与 SSTA 指数之间相关性显著。抚河流域夏季 SPI 与 SSTA 指数除南丰和广昌呈正相关外,其他地区均呈负相关关系,且整体相关性小,所有站点均为通过显著性水平检验(图 5B)。秋季

(图 5C)以东乡—抚州—宜黄—广昌为分界线,分成东西两部分,分界线以东相关性均大于以西地区,所有地区均呈现正相关关系,但相关性水平不高,均未通过显著性水平检验,相关系数最高的两个地区为金溪、黎川,分别为 0.249,0.231。冬季 SPI 与 SSTA 指数之间整体呈正相关(图 5D),显著性水平整体较低,最高地区为宜黄,相关系数为 0.135。同夏、秋季一样,冬季所有地区也均未通过显著性水平检验,四季平均相关系数为 0.259,−0.066,0.186,0.095,总体而言,抚河流域春季 SPI 与 SSTA 指数相关性最为显著,秋季次之,夏季的相关性最弱。

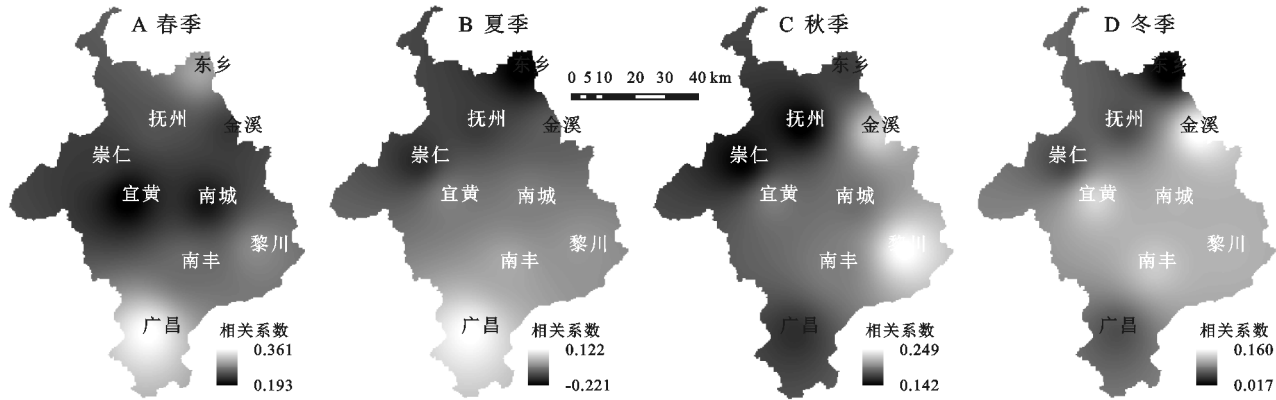


图 5 SSTA 值与四季 SPI 的相关性分析

3.4.2 ENSO 冷暖事件 由于 ENSO 事件通对中国境内的气候产生不同程度的影响,因此,对 1960—2005 年 ENSO 暖冷事件对抚河流域月尺度 SPI 值进行统计<sup>[19]</sup>(表 2),ENSO 冷暖事件对应月份来源于 NOAA-ESRL 提供的相关资料,SPI 值为历年月份的每月均值。研究表明:在 ENSO 暖、冷事件发生时,

对应 SPI 的月均值为 0.177,−0.161;冷暖事件发生时,SPI 月均值为−0.008,ENSO 非冷暖事件时,SPI 月均值为 0.080。由于 SPI 数值越大,越“湿润”,反之“干旱”<sup>[20]</sup>。ENSO 冷暖事件时,SPI 月均值小于非 ENSO 冷暖事件时的 SPI 月均值,说明 ENSO 冷暖事件变化对抚河流域干旱有一定影响。

表 2 1960—2005 年 ENSO 冷暖事件及对应抚河流域标准化降水指数(SPI)

ENSO	起止时间(年-月)	历时/月	SPI	ENSO	起止时间(年-月)	历时/月	SPI
暖事件	1963-07—1964-03	9	−0.11	冷事件	1964-05—1965-01	9	0.88
	1965-06—1966-04	11	0.31		1967-12—1968-04	5	0.37
	1968-11—1969-06	8	0.27		1970-07—1972-01	19	0.26
	1969-08—1970-01	6	0.28		1973-06—1974-07	14	0.25
	1972-05—1973-03	11	0.38		1974-10—1976-03	18	0.42
	1976-09—1977-02	6	0.21		1984-10—1985-06	9	0.28
	1977-09—1978-01	5	−0.43		1988-05—1989-05	13	0.01
	1979-10—1980-02	5	−0.65		1995-08—1996-03	8	0.26
	1982-04—1983-06	15	0.37		1998-07—2001-02	32	0.09
	1986-09—1988-02	18	0.04		2005-12—2006-04	5	0.19
	1991-06—1992-07	14	0.15				
	1994-10—1995-03	6	0.29				
	1997-05—1998-05	13	0.82				
	2002-06—2003-02	9	0.71				
	2004-07—2005-04	10	0.01				

3.4.3 ENSO 事件强度与 SPI 影响因子关系分析

李小燕等将 ENSO 暖冷事件强度的等级主要划分为极强和强、中等、弱和极弱 3 个等级,其中未受 ENSO 事件影响年份的强度用 0 表示<sup>[21]</sup>, ENSO 暖冷事件强度分别用 3, 2, 1 和 -3, -2, -1 表示<sup>[22]</sup>。据此对 1960—2005 年来 ENSO 发生强度进行统计,将抚河流域 1960—2005 年降水量距平和 ENSO 发生强度进行 6 次多项式拟合,得到了两者的变化趋势<sup>[23]</sup>(图 7),从图中可以看出, ENSO 事件对抚河流域降水的影响较大,在 1960—2005 年期间,随着 ENSO 事件强度的变化,降水量也随之变化,大体有相同的趋势变化。 ENSO 暖事件年份发生干旱的可能性大于冷事件年份。

3.4.4 ENSO 事件强度与抚河流域 SPI 的关系分析

由图 7B 可得,整个研究时期内抚河流域年 SPI 值得线性变化趋势不明显,从 SPI 值 5 项多项式拟合看

出,在 1960—1980 年,抚河流域发生了 4 次中旱与轻旱,干旱事件发生频率较大,在 20 世纪 80 年代以后,发生了 2 次中旱与轻旱,频率较之前减小。总体来说,1960—2005 年抚河流域 SPI 数值加大,干旱灾害发生的频率逐渐降低。

结合表 2 和图 7B,抚河流域年 SPI 值和 ENSO 事件强度的相关分析得出,两者之间呈显著负相关关系(Pearson 相关系数为 -0.083,  $\alpha = 0.05$ )。在发生 ENSO 暖事件时, SPI 值相对较大,而在 ENSO 冷事件时, SPI 值相对较小,在 1960—2005 年里,抚河流域的干旱事件主要发生在 ENSO 事件年的当年、上(下)一年,在发生的 6 个轻旱以上事件年份里均发生了 ENSO 暖事件,可见 ENSO 事件对流域干旱灾害影响显著,即 ENSO 暖事件强度越大,越有可能发生严重的干旱事件。

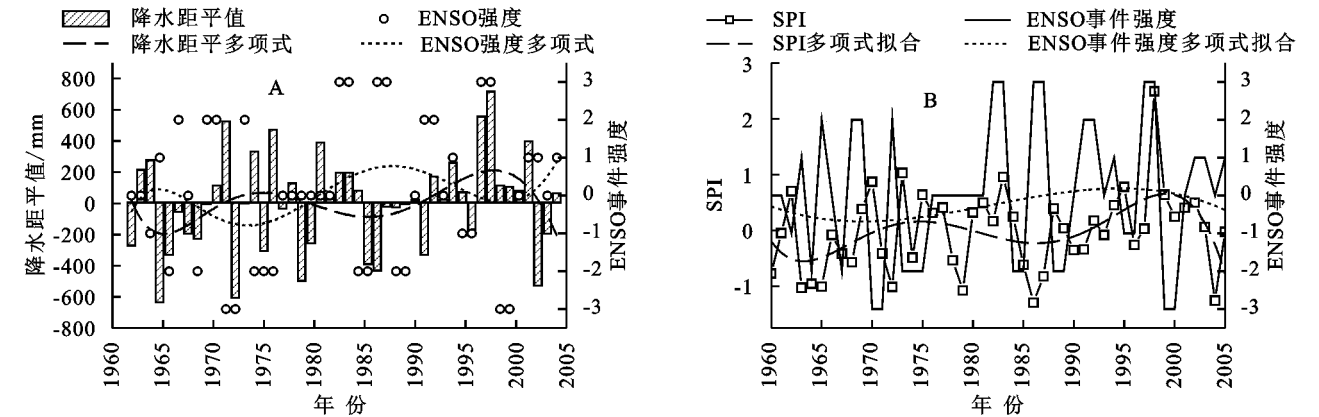


图 7 抚河流域 SPI 影响因子与 ENSO 事件发生强度多项式拟合关系、SPI 与 ENSO 事件发生强度多项式拟合关系

3.5 ENSO 事件对干旱的滞后性

相关文献表明赤道东太平洋海温异常与流域的降水异常并非同步,二者需要一定的时间相互作用和影响<sup>[24]</sup>。即 ENSO 事件对于降水的影响存在一定的滞后性<sup>[25]</sup>。由于 ENSO 事件影响流域的干旱是一个持续性的过程,需要一定的滞后时间。表 3 分 El Niño 和 La Niña 两类异常事件与之同期 SSTA 以及滞后 1~6 个月的干旱情况进行相关分析,探讨 ENSO 事件对

抚河流域干旱的滞后性影响。

由表 3 看出,在 El Niño 事件发生的同期,干旱对其的响应并不明显,而随着滞后时间的增加,干旱对 El Niño 事件的响应在滞后 1 个月的响应相关性最大,相关系数为 0.298,之后这种响应又逐渐降低;干旱对 La Niña 事件的响应在滞后 4 个月才有显著的响应,其相关系数最大,滞后也随着滞后时间的增长而逐渐减少。

表 3 ENSO 事件与抚河流域同期及滞后 1~6 个月干旱相关分析

ENSO 事件	指标	同期	滞后 1 个月	滞后 2 个月	滞后 3 个月	滞后 4 个月	滞后 5 个月	滞后 6 个月
暖事件	相关系数 R	0.250**	0.298**	0.254**	0.177*	0.132	0.130	0.091
	Person 显著性	0.002	0.000	0.002	0.032	0.113	0.119	0.273
冷事件	相关系数 R	0.114	0.079	0.067	0.147	0.227*	0.103	-0.023
	Person 显著性	0.200	0.380	0.452	0.098	0.010	0.248	0.794

注: \* 表示在 0.05 级别相关性显著, \*\* 表示在 0.01 级别相关性显著。

4 结论

(1) 1960—2005 年以来抚河流域春季呈干旱化趋势、夏季次之,冬季有变湿趋势。从年代际变化来

看,20 世纪 60—70 年代干旱持续时间长、强度大,90 年代以后干旱次数程度和次数有增加的趋势。

(2) 在空间变化上,季节干旱趋势差异更加明显,春季大致呈现出南升北降的规律,南部呈湿润化



态势,北部呈干旱化态势,夏季抚河流域呈微弱湿润化趋势,秋季的变化趋势与春季整体相同,整体呈湿润化态势,冬季南丰、南城湿润化趋势显著,崇仁和广昌有变干趋势。

(3) 各季节干旱高频分别集中在:春季在崇仁,夏季在南丰、黎川,秋季在抚州、金溪,冬季在东乡,主要都集中在流域东北部地区,年尺度干旱平均发生频率为 29.95%,最大为南丰、南城和崇仁;中旱及以上主要分布在:春季在宜黄,夏季在南丰、黎川,秋季在宜黄,冬季在南丰、黎川,中旱及以上主要发生在宜黄、南丰等地,年尺度上,中度及以上干旱发生频率最高值为 15.22%,主要发生在南丰。

(4) 抚河流域春季 SPI 与 SSTA 指数的相关性最为显著,秋季次之,夏季的相关型最弱。ENSO 事件发生强度与抚河流域 SPI 影响因子的多项式拟合关系表明,ENSO 事件暖事件年份对研究区降水下降非常明显,其发生干旱的可能性大于冷事件年份,ENSO 事件对流域干旱灾害影响显著,即 ENSO 暖事件强度越大,越有可能发生严重的干旱事件。

(5) ENSO 事件影响抚河流域的干旱是一个过程,需要一定响应时间,干旱对 El Niño 事件的响应在滞后 1~2 个月的响应最为显著,而干旱对 La Niña 事件的响应在滞后 3~4 个月才有显著的响应。

(6) 文中使用了 SPI 指数描述流域干旱现象有一定的局限性,可以结合相应的温度资料利用 SPEI 指数研究抚河流域干旱情况,ENSO 现象对抚河流域干旱的影响不容忽视,应对 ENSO 事件对于预防干旱灾害大面积发生对于流域农业生产的影响和 SSTA 指数及其他 ENSO 大尺度气候因子的相关系数的具体差异性有待于进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 王东,张勃,安美玲,等.基于 SPEI 的西南地区近 53 a 干旱时空特征分析[J].自然资源学报,2014,29(6):1003-1016.
- [2] Reinman S L. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)[J]. Reference Reviews, 2013,26(2):41-42.
- [3] 徐泽华,韩美,张广彩,等.山东降水时空分布变化及其影响因素[J].水土保持研究,2018,25(3):272-278.
- [4] 吴绍飞,张翔,王俊钗,等.基于站点降雨量最优拟合函数的 SPI 指数计算[J].干旱区地理:汉文版,2016,39(3):555-564.
- [5] 肖丽英.基于 SPI 的鄱阳湖流域多尺度旱涝变化规律的研究[J].南昌工程学院学报,2017,36(3):24-27.
- [6] Timilsena J, Piechota T, Tootle G, et al. Associations of interdecadal/interannual climate variability and long-term colorado river basin streamflow[J]. Journal of Hydrology, 2009,365(3):289-301.
- [7] 洪兴骏,郭生练,马鸿旭,等.基于 SPI 的鄱阳湖流域干旱时空演变特征及其与湖水位相关分析[J].水文,2014,34(2):25-31.
- [8] 赵茹欣,王会肖,杨会彩,等.基于标准降水指数的黑龙江省气象干旱特征分析[J].节水灌溉,2017(12):56-62,67.
- [9] Dai A. Drought under global warming: a review[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change, 2011,2(1):45-65.
- [10] Mishra A K, Singh V P. A review of drought concepts [J]. Journal of Hydrology, 2010,391(1):202-216.
- [11] 孙建奇,袁薇,高玉中.阿拉伯半岛—北太平洋型遥相关及其与亚洲夏季风的关系[J].中国科学 D 辑:地球科学,2008,38(6):750-762.
- [12] 刘卫林,刘丽娜,查思慧,等.抚河临水流域径流量变化及其对降雨的响应[J].南昌工程学院学报,2017,36(6):24-30.
- [13] 曾钦文,殷美祥,曾思亮,等.近 57 a 河源地区降水变化特征及其与 ENSO 事件的关系[J].广东水利水电,2018(3):38-42.
- [14] 刘卫林,刘丽娜.修河流域洪水变化特征及其对气候变化的响应[J].水土保持研究,2018,25(5):316-322.
- [15] 罗剑锋,陈敏,李煜,等.两类 ENSO 事件对长江中下游地区季节降水的影响[J].南水北调与水利科技,2018,16(4):82-89.
- [16] 中国气象科学研究院,国家气象中心,中国气象局预测减灾司.气象干旱等级 GB/T20481—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [17] 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.
- [18] 赵永平,陈永利.一百多年来 ENSO 事件分类和 ENSO 循环研究[J].海洋湖沼通报,1998(3):7-12.
- [19] 孙秋慧,徐国宾,马超,等.基于 SPI 干旱指数的海口市干旱变化特征研究[J].南水北调与水利科技,2018,16(4):58-65.
- [20] 徐泽华,韩美.山东省降雨侵蚀力与气候指数关系研究[J].生态与农村环境学报,2018,34(10):18-27.
- [21] 李晓燕,翟盘茂,任福民.气候标准值改变对 ENSO 事件划分的影响[J].热带气象学报,2005,21(1):72-78.
- [22] 钮智旺.南海表层水温的长周期变化及其与埃尔尼诺的耦合关系[D].山东青岛:中国海洋大学,2005.
- [23] 李崇银.关于 ENSO 本质的进一步研究[J].气候与环境研究,2002,7(2):160-174.
- [24] 信忠保,谢志仁.宁夏气候变化对 ENSO 事件的响应[J].干旱区地理,2005,28(2):239-243.
- [25] 李芬,张建新,郝智文,等.山西降水与 ENSO 的相关性研究[J].地理学报,2015,70(3):420-430.