

# 基于 SPEI 的江西省干旱特征及其对作物受灾面积的影响

刘业伟,许小华,张秀平,周信文,雷 声,韩会明

(1. 江西省水利科学院, 江西 南昌 330029; 2. 鄱阳湖流域生态水利技术创新中心, 江西 南昌 330029)

**摘要:** 基于江西省 36 个气象站点 1960~2018 年的监测资料, 利用 SPEI 指数、Mann-kendall 趋势检验法分析江西省干旱变化特征及 SPEI 指数与作物受灾面积之间的相关性。结果表明, 年干旱指数呈轻微下降趋势, 年际旱涝交替, 年度干旱主要分布在东北部、西部和东南部地区, 多为全域性和局域性干旱且 2000 年后全域性干旱更为显著; 季节性干旱多发于夏秋季, 尤其以秋旱更为严重, 春冬旱程度轻且多发于赣州南部, 但春季 2001 年后呈干旱化趋势, 夏、秋、冬季 SPEI 指数呈上升趋势, 夏旱多发于西部, 秋旱多发于东部且多为全域性或区域性干旱, 甚至出现覆盖全省的严重伏秋旱; 作物受灾面积与夏秋季 SPEI 指数有显著相关性, 且夏旱对江西省作物影响强于秋旱。研究结果可为江西省防旱抗旱提供参考。

**关键词:** SPEI 指数; 干旱特征; Mann-Kendall 检验; 作物受灾面积; 江西省

**中图分类号:** [TV11]; P426

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-7709(2023)04-0017-05

## 1 引言

江西省位于我国东南部, 面积  $16.69 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。地形以山地、丘陵为主, 属中亚热带季风气候。境内水热条件差异较大, 多年平均气温自北向南依次增高, 南北温差约  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ 。江西省是长江中下游粮食主产区和国家商品粮基地, 但受丘陵地貌、气候变化和降水时空不均等因素影响, 季节性干旱多发频发。而对于江西省干旱特征的研究, 多限于利用气象数据分析, 如谢坤等<sup>[1]</sup>基于标准化降水蒸散发指数(SPEI)分析鄱阳湖流域干湿变化和气象因子的相关性; 韩会明等<sup>[2]</sup>基于 Copula 函数分析赣江流域干旱特征, 少有联系作物受灾情况的研究。因此, 本文基于 SPEI 指数分析江西省干旱特征及其对作物受灾面积的影响, 旨在进一步厘清南方水田种植区农作物主要受旱时间, 为保障粮食安全提供借鉴。

## 2 资料与方法

### 2.1 资料来源

选取江西省境内 36 个国家气象站 1960 年 1 月~2018 年 12 月逐月降水量和平均气温数据进

行分析, 资料源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。各气象站点地理位置分布见图 1。

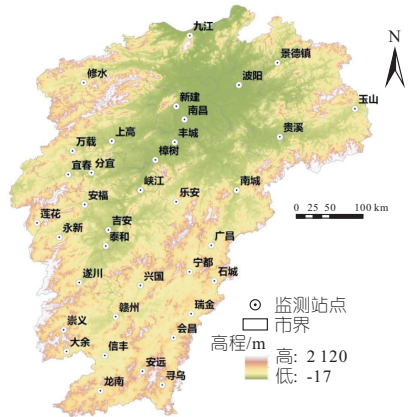


图 1 监测站点分布

Fig. 1 Distribution of monitoring sites

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 标准化降水蒸散发指数的计算

依据《气象干旱等级》(GB/T 20481-2017)<sup>[3]</sup>计算 SPEI 指数值  $S$ 。先通过 Thornthwaite 方法<sup>[4]</sup>计算逐月潜在蒸散量 PET, 进而求降水量与潜在蒸散发量的差值  $D_i$ , 经 Log-Logistic 概率密度函数拟合, 进而推求累积概率分布:

$$F(x) = [1 + (\alpha/(x - \gamma))^\beta]^{-1} \quad (1)$$

收稿日期: 2022-05-17, 修回日期: 2022-06-24

基金项目: 江西省水利科技项目(202023ZDKT10, 202022YBKT05, 202324YBKT01); 江西省技术创新引导类计划(“科技+水利”联合计划)项目(2022KSG01002)

作者简介: 刘业伟(1991-), 男, 硕士、高级工程师, 研究方向为防洪抗旱减灾技术, E-mail: 1036908872@qq.com

通讯作者: 许小华(1978-), 男, 硕士、正高级工程师, 研究方向为防汛抗旱及水利信息化, E-mail: 76964225@qq.com

式中,  $\alpha, \beta, \gamma$  均为参数, 可采用线性矩的方法拟合获得。

再对累积密度函数标准化处理, 即:

$$P = 1 - F(x) \quad (2)$$

式中,  $P$  为累积概率, 当  $P \leq 0.5$  时,  $D_i$  的概率加权矩  $w$  为:

$$w = \sqrt{-2 \ln P} \quad (3)$$

当  $P > 0.5$  时,  $P$  取  $1 - P$ ,  $S$  添负号。

然后将序列标准化正态分布转化后得:

$$S = w - \frac{c_0 + c_1 w + c_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3} \quad (4)$$

其中  $c_0 = 2.515 517; c_1 = 0.802 853; c_2 = 0.010 328$

$d_1 = 1.432 788; d_2 = 0.189 269; d_3 = 0.001 308$

利用 SPEI-3、SPEI-12 分别表示季节尺度和年尺度干旱, 其中 SPEI-3 的 5、8、11、次年 2 月分别代表春、夏、秋、冬四季干旱, 12 个月时间尺度的 SPEI-12 表征年干旱。

### 2.2.2 干旱等级的划分标准

依据《气象干旱等级》(GB/T 20481-2017)<sup>[3]</sup>, 划分干旱等级, 见表 1。

表 1  $S_{SPEI}$  干旱等级划分标准

Tab. 1 Classification criteria of SPEI drought grades

等级	S	类型	等级	S	类型
0	-0.5~0.5	正常	3	-1.99~-1.5	重度干旱
1	-0.99~-0.5	轻旱	4	$\leq -2$	特旱
2	-1.49~-1	中度干旱			

### 2.2.3 干旱评价指标

干旱频率和干旱站次比常用于分析地区干旱特征<sup>[5]</sup>, 以此为指标分析江西省干旱变化特征, 计算公式为:

$$F_d = M_d / M \quad (5)$$

式中,  $F_d$  为干旱频率, 某站点发生干旱的年份数占有监测年份的比值;  $M_d$  为该站发生干旱的总年数;  $M$  为某站有降水资料的年数(取  $M=59$ )。

考虑干旱的渐进性和累积效应, 统计站点干旱频率时, 将轻度及以上干旱统计为轻度干旱发生频率, 中度及以上干旱统计为中度干旱发生频率, 重度及以上干旱统计为重度干旱发生频率。

干旱站次比是指区域内发生干旱的监测站点占有监测站点的比例, 其计算公式为:

$$P_j = S_d / S_z \quad (6)$$

式中,  $P_j$  为干旱站次比;  $S_d$  为发生干旱的站数;  $S_z$  为区域总监测站数,  $S_z = 36; j$  代表不同年份。

其中,  $P_j \geq 50\%$  为全域性干旱;  $50\% > P_j \geq 33\%$  为区域性干旱;  $33\% > P_j \geq 25\%$  为部分区域性干旱;  $25\% > P_j \geq 10\%$  为局域性干旱;  $P_j <$

10% 无明显干旱发生。

### 2.2.4 Mann-Kendall 检验法

采用 Mann-Kendall 检验法<sup>[6]</sup> 分析 SPEI 指数趋势突变情况。

## 3 结果分析

### 3.1 SPEI 指数变化特征

#### 3.1.1 SPEI-12 指数变化特征

从江西省年平均 SPEI-12 指数来看, 近 59 年中有 18 年发生过干旱(含轻旱、中旱、重旱和特旱), 占比 30.5%。SPEI-12 指数总体呈上升趋势(图 2), 变化率为 0.39/10a, 且 SPEI-12 指数波动震荡明显, 下降—上升—下降趋势交替出现, 并于 1963 年出现最小值 -2.12(特旱), 1971、2003、2007、2011 年次之, 发生重度干旱。同时, 利用 Mann-Kendall 检验法分析突变情况, 发现除 1963~1968 年外,  $UF$  均大于零, 即这些年份 SPEI-12 指数呈增加趋势, 突变点位于 1962、1969、2007、2009 年附近, 与重度干旱、特旱发生年份较为接近。总的来说, 近 59 年江西省总体呈湿润化趋势, 但年际旱涝交替, 仍有可能出现重特大干旱。

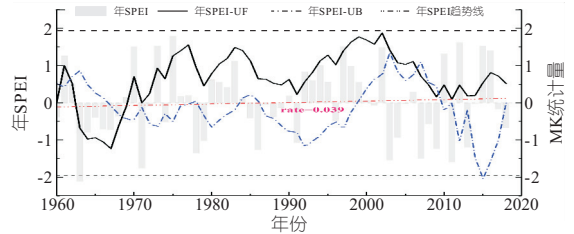


图 2 江西省 1960~2018 年 SPEI-12 变化趋势

Fig. 2 Trend of SPEI-12 in Jiangxi Province from 1960 to 2018

#### 3.1.2 SPEI-3 指数变化特征

利用 SPEI-3 指数分析近 59 年江西省季节性干旱特征, 得出近 59 年江西省四季 SPEI 指数变化趋势图(图 3)。由图 3 可知, 春季均未发生过干旱, SPEI 指数呈轻微下降趋势, 变化率为 -0.03/10a, 期间  $UF$  和  $UB$  线多次相交, 2001 年后  $UF$  均小于零, 即春季趋于干旱化。夏季共 24 年发生过干旱, 占比 40.7%, 1991、2003 年发生了重旱, 夏季 SPEI 指数与 SPEI-12 指数走势接近, 总体呈轻微上升趋势, 变化率为 0.065/10a, 期间下降—上升—下降趋势交替出现, 1995 年后  $UF$  均大于零, 即 1995 年后夏季趋于湿润化且于 2002 年达到 0.05 显著水平。秋季共 44 年发生过干旱, 占比 74.6%, 其中轻度、中度、重度干旱分别占 20.3%、45.8%、8.5%, 秋季 SPEI 指数总体变化趋势最小, 变化率为 0.004/10a, 期间  $UF$

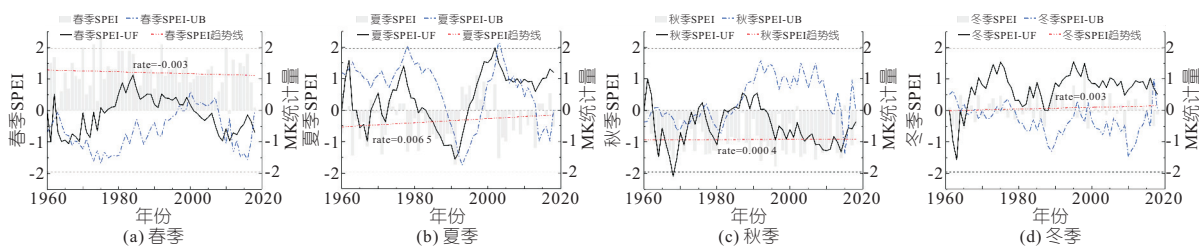


图 3 江西省 1960~2018 年 SPEI-3 指数变化趋势

Fig. 3 Trend of SPEI-3 index in Jiangxi Province from 1960 to 2018

和 UB 线多次相交,1963 年开始 SPEI 指数呈减小趋势,并于 1968 年超过 0.05 显著水平,1992 年后 UF 均小于零,即 1992 年后秋季趋于干旱化。冬季有 5 年发生过干旱且均为轻旱,分布在 1963、1965、1987、1999、2009 年,占比 8.6%,冬季 SPEI 指数呈轻微上升趋势,变化率为 0.03/10a,突变点位于 1964、1966、2016 年附近。

综上所述,江西省近 59 年 SPEI-12 指数总体呈上升趋势,春季 SPEI 指数呈减小趋势,夏、秋、冬季 SPEI 指数呈上升趋势,夏、秋季干旱发生年数最多,分别为 40.7%、74.6%,且秋季发生中度以上干旱占比超 50%,具体见表 2。

表 2 1960~2018 年江西省干旱情况统计

Tab. 2 Statistics of drought in Jiangxi Province

from 1960 to 2018

%

等级	年度	春季	夏季	秋季	冬季
不旱	69.5	100.0	59.3	25.4	91.4
轻旱	11.9	0.0	25.4	20.3	8.6
中旱	10.2	0.0	11.9	45.8	0.0
重旱	6.8	0.0	3.4	8.5	0.0
特旱	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0

### 3.2 干旱频率空间分布特征

#### 3.2.1 年干旱频率空间分布特征

基于 SPEI-12 指数计算各监测站点的干旱频率,江西省 1960~2018 年不同等级干旱频率空间分布见图 4。由图 4 可知,江西省近 59 年的干旱频率处于 25.42%~38.98% 之间,高发区分布在江西省的东北部、西部和东南部地区,广昌站干旱频率最高为 38.98%,其次为南昌、宜春、玉山站为 37.3%,最低为峡江站为 25.42%,见图 4(a)。中度干旱发生频率在 11.87%~22.03% 之间,高发区分布在抚州市、上饶市、赣州市、萍乡市等地,安远、莲花、玉山、崇义、永新、乐安、南城、大余、瑞金 9 个站点中度干旱发生率超 20%,鄱阳站发生率最低为 11.87%,见图 4(b)。重度干旱发生频率在 3.40%~10.17% 之间,高发区分布在江西省中部和东南部地区,乐安、安福、上高站发生频率最高为 10.17%,安远、永新站发生频率最低为 3.4%,见图 4(c)。特旱发生频率均不超过

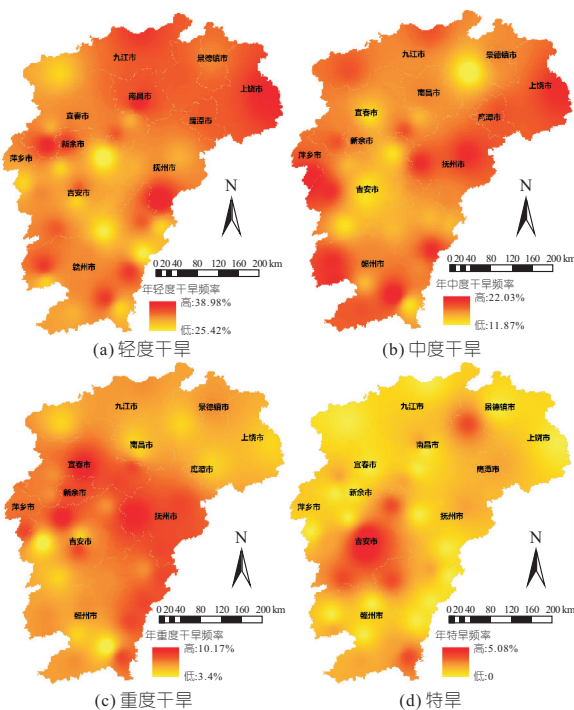


图 4 江西省 1960~2018 年不同等级干旱频率分布

Fig. 4 Drought frequency distribution of different grades in Jiangxi Province from 1960 to 2018

5.08%,高发区主要分布在吉安市中南部,吉安、泰和站点频率最高为 5.08%,寻乌、兴国、峡江、遂川、南城、樟树等 15 个站点也发生过 1~2 年不等的特旱事件,见图 4(d)。

#### 3.2.2 季节性干旱频率空间分布特征

以 SPEI-3 为基础,分析江西省 1960~2018 年春、夏、秋、冬四季的干旱频率空间分布特征,见图 5。江西省近 59 年春季干旱发生频率总体偏低,多发于赣州南部地区,安远站最高为 5.08%,见图 5(a)。夏季干旱发生频率在 28.81%~64.38% 之间,高发区主要分布于吉安、萍乡、宜春、赣州中部和九江东北部等地,泰和站频率最高为 64.38%,吉安、九江、遂川、赣州、莲花、峡江、鄱阳、永新、安福、上高 10 个站点夏旱频率也超 50%,寻乌站最低为 28.81%,见图 5(b)。秋季干旱多发频发,干旱频率在 61.03%~84.75% 之间,高发区分布在江西省中东部、赣州东南部和江

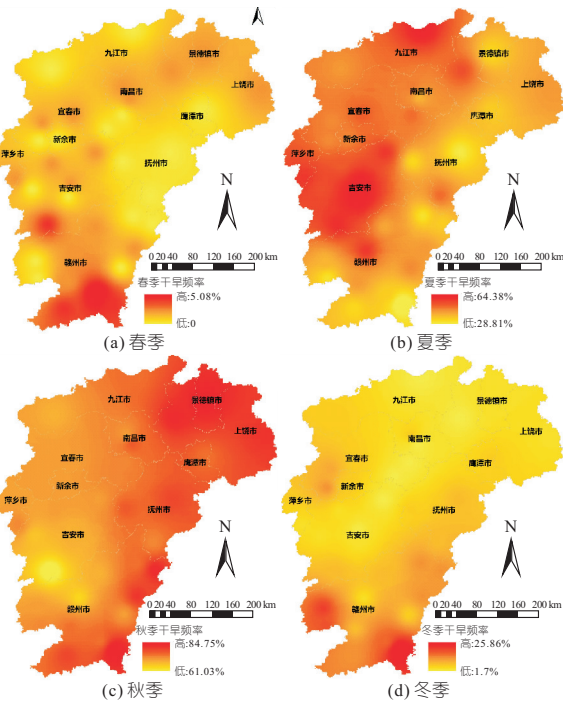


图 5 江西省 1960~2018 年季节性干旱频率空间分布  
Fig. 5 Spatial distribution of seasonal drought frequency in Jiangxi Province from 1960 to 2018

西省东北部,寻乌、景德镇、鄱阳、石城 4 个站点秋旱发生率超 80%,遂川站最低,但也在 60%以上,见图 5(c)。冬季干旱发生频率相对偏低,干旱频率在 1.70%~25.86%之间,且仅有赣州南部和西部地区冬旱频率相对较高,寻乌站最高为 25.86%,其次为崇义站(17.24%)和大余站(15.52%),其他站点均低于 15%,见图 5(d)。

总体而言,江西省近 59 年夏、秋季干旱多发频发,春、冬季干旱发生频次相对较低,且季节性干旱空间分布差异显著,春旱和冬旱发生区域相对较小,均多发于赣州南部地区;夏旱和秋旱不仅发生频次高且覆盖范围广,夏旱多发于江西省西部,冬旱集中于江西省东部,且秋旱覆盖范围及发生频次均高于夏旱。

### 3.3 干旱站次比变化特征

#### 3.3.1 年干旱站次比变化特征

在年尺度上,江西省近 59 年共有 18 年发生全域性干旱,占比 30.5%,其中 1963、1971 年干旱站次比为 1,且 2000 年以后发生全域性干旱年数占比达 44.4%;区域性干旱、部分区域性干旱和局域性干旱发生年份占比分别为 10.2%、5.1%、23.7%,其余 18 年无明显干旱发生,见表 3。由表 3 可知,江西省近 59 年区域性干旱间隔时间段发生,全域性干旱和局域性干旱经常发生,进入 21 世纪后发生全域性干旱的频次呈增高趋势且干旱覆盖范围总体高于 20 世纪。

表 3 1960~2018 年江西省不同干旱类型占比

Tab. 3 Proportion of different drought types in Jiangxi Province from 1960 to 2018

干旱类型	年度干旱	春旱	夏旱	秋旱	冬旱
全域性干旱	30.5	0.0	44.1	74.6	3.4
区域性干旱	10.2	0.0	15.2	6.8	8.5
部分区域性干旱	5.1	1.7	6.8	0.0	0.0
局域性干旱	23.7	3.4	23.7	15.3	1.7
无明显干旱	30.5	94.9	10.2	3.4	86.4

#### 3.3.2 季节干旱站次比变化特征

从季节性变化来看,江西省近 59 年夏、秋、冬季干旱站次比呈下降趋势,其中夏季下降趋势最为显著(变化率为-0.025/10a),而春季的站次比呈微弱上升趋势。春季 1963、2018 年发生了局域性干旱,2011 年发生部分区域性干旱,其余年份均未发生明显干旱;冬季仅 1963、2009 年发生全域性干旱,发生区域性、局域性干旱年数占比分别为 8.5%、1.7%。因此,春、冬季干旱覆盖范围总体较小且冬旱影响范围略大于春旱,这与所得春、冬旱发生区域相对较小,均多发于赣州南部地区的结论相一致。

江西省近 59 年夏季有 26 年(占 44.1%)发生全域性干旱、9 年(占 15.2%)发生区域性干旱、4 年(占 6.8%)部分区域性干旱、14 年(占 23.7%)局域性干旱、6 年(占 10.2%)无明显干旱发生。可见,夏季干旱影响范围较大,全域性干旱几乎每隔 1~2 年就会发生。秋季有 44 年(占 74.6%)发生全域性干旱,其中有 18 年全省所有监测站点均发生干旱;发生区域性干旱和局域性干旱年数占比分别为 6.8%、15.3%,仅 2012、2015 年无明显秋旱发生。因此,秋季发生全域性或区域性干旱年份占比高达 81.4%,尤其干旱影响覆盖全省的年份占比高达 30.5%,秋旱覆盖范围明显大于夏旱。

#### 3.4 与作物受灾面积相关性分析

作物因旱受灾后,受水利工程调度、抗旱机井灌溉等外界因素影响,作物成灾和绝收面积与受灾面积存在一定差异。因此,本文选择作物因旱受灾面积表征作物因干旱受灾情况,利用 SPSS 软件 Pearson 相关性分析功能,计算 SPEI-12、SPEI-3 指数与作物因旱受灾面积的相关系数,结果见表 4。其中,作物受灾面积源于历年《中国水旱灾害公报》及《江西省水旱灾害公报 2015》。由表 4 可知,作物因旱受灾面积与 SPEI-12 及夏季 SPEI 指数有较强的相关性,均通过 0.01 水平的显著性检验;其与秋季 SPEI 指数也有显著的相

表 4 SPEI 指数与作物因旱受灾面积相关系数

Tab. 4 Correlation coefficient between SPEI index and drought-affected area of crops

指标	SPEI-12	SPEI 指数			
		春	夏	秋	冬
作物因旱受灾面积	-0.731**	-0.386	-0.725**	-0.511*	0.049

注: \*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平显著相关。

关性,通过 0.05 水平的显著性检验;但其与春、冬季 SPEI 指数相关性较弱。因此,夏秋季干旱对江西省农作物因旱受灾面积产生主导影响,尤其是夏季干旱影响最为显著,这或与江西省主要农作物水稻每年的“双抢”时间(7、8 月份)有关。根据农业生产经验,每年“双抢”期间水稻易因旱受灾,这与本文结果一致。

## 4 结论

a. 江西省 SPEI-12 呈轻微下降趋势,但年际旱涝交替,全域性和区域性干旱经常发生,进入 21 世纪后发生全域性干旱的频次呈增高趋势,仍可能出现重特大干旱;年轻度干旱分布在境内东北部、西部和东南部地区,年中度干旱多见于抚州、上饶、赣州、萍乡市等地,年重度干旱分布在境内中部和东南部地区,年特旱高发区主要分布在吉安市中南部。

b. 江西省春、冬季干旱程度轻,覆盖范围较小且多发于赣州南部地区,春季 SPEI 指数呈减小趋势且于 2001 年后趋于干旱化,夏、秋、冬季

SPEI 指数呈上升趋势,而其干旱覆盖范围均呈减小趋势;夏旱多发于全省西部,秋旱多发于全省东部且多为全域性或区域性干旱,于 1992 年后趋于干旱化,其干旱强度、覆盖范围及发生频次均高于夏旱,甚至易出现覆盖全省的严重伏秋旱。

c. 江西省作物受灾面积与 SPEI-12 之间,夏、秋季 SPEI 指数有较强的相关性,夏旱对江西省农作物因旱受灾面积影响强于秋旱,但需注意“双抢”期间干旱对作物的影响。本文基于气象要素分析干旱影响,结果可能与实际情况有所出入,如能结合水利工程调度、作物灌溉配套设施等因素综合分析,结果或更切合实际。

### 参考文献:

- [1] 谢坤,丁明军,张华敏,等. 基于 SPEI 指数的鄱阳湖流域近 60 a 干旱时空变化特征[J]. 长江流域资源与环境,2021,30(8):2015-2027.
- [2] 韩会明,刘喆玥,刘成林,等. 基于 Copula 函数的赣江流域气象干旱特征分析[J]. 水电能源科学,2020,38(8):9-13.
- [3] 中国气象局. 气象干旱等级:GB20481-2017[S]. 北京,中国标准出版社,2017.
- [4] HORNTHWAITTE C W. An approach toward a rational classification of climate[J]. Geogr. rev. 1948,38:57-94.
- [5] 刘业伟,张秀平,谢国栋,等. 基于标准化降水指数与 Z 指数的萍乡市干旱特征分析[J]. 水电能源科学,2020,38(6):8-12.
- [6] MANN HB. Non-parametric tests against trend[J]. Econometrica,1945(13):245-259.

## Drought Characteristics and Impact on Crop Affected Area in Jiangxi Province Based on SPEI

LIU Ye-wei, XU Xiao-hua, ZHANG Xiu-ping, ZHOU Xin-wen, LEI Sheng, HAN Hui-ming

(1. Jiangxi Academy of Water Sciences and Engineering, Nanchang 330029, China;

2. Jiangxi Provincial Eco-hydraulic Technology Innovation Center of Poyang Lake Basin, Nanchang 330029, China)

**Abstract:** Based on the monitoring data of 36 meteorological stations in Jiangxi Province from 1960 to 2018, the characteristics of drought change and the correlation between SPEI index and M-K trend test. The results show that the SPEI-12 index showed a slight downward trend, and drought and flood alternated from year to year. The annual drought mainly distributed in the northeast, west and southeast of Jiangxi Province, and most of the drought was global and regional, and the regional drought was more significant after 2000. The seasonal drought occurred in summer and autumn, especially in autumn. The drought degree in spring and winter was light and more frequent in the southern part of Ganzhou. However, after 2001, spring showed an aridity trend, and the SPEI index in summer, autumn and winter showed an upward trend, even easy to cover the province's serious autumn drought. Crop to the affected area and summer and autumn were significantly correlated with SPEI index and summer drought influence on Jiangxi crops than autumn drought. The results can provide reference for drought control and drought resistance in Jiangxi Province.

**Key words:** SPEI index; drought characteristics; Mann-Kendall test; affected area of crops; Jiangxi Province