

刘喆玥,韩会明,赖亮,等,2020.樟树市气象干旱特征及重现期分析[J].气象与减灾研究,43(2):117-122.

Liu Zheyue, Han Huiming, Lai Liang, et al, 2020. Analysis of meteorological drought characteristics and its recurrence period in Zhangshu[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research,43(2):117-122.

## 樟树市气象干旱特征及重现期分析

刘喆玥<sup>1</sup>, 韩会明<sup>2</sup>, 赖亮<sup>1</sup>, 杨立苑<sup>1</sup>, 徐全倩<sup>1</sup>

1. 江西省气象信息中心, 江西 南昌 330096
2. 江西省水利科学研究院, 江西 南昌 330029

**摘要:** 利用樟树市 1960—2018 年逐月降水和气温资料, 计算标准化降水蒸散指数(SPEI), 并结合游程理论和 Copula 函数分析了该地区干旱特征。结果表明: 樟树市干旱形势总体上趋于缓和, 干旱历时和干旱烈度均呈减弱趋势, 且呈现出良好的相关性; Frank-Copula 函数可作为描述该地区干旱历时和干旱烈度的二维联合分布最优函数; 在相同干旱历时和烈度下, “且”的重现期大于“或”的重现期, 樟树市历史干旱事件的干旱历时多小于 5 个月, “且”的重现期小于 10 a。

**关键词:** 干旱, 重现期, 历时, 烈度, SPEI, 樟树市

中图分类号: P426.616

文献标识码: A

文章编号: 1007-9033(2020)02-0117-06

doi: 10.12013/qxyjzyj2020-015

## Analysis of Meteorological Drought Characteristics and Its Recurrence Period in Zhangshu

Liu Zheyue<sup>1</sup>, Han Huiming<sup>2</sup>, Lai Liang<sup>1</sup>, Yang Liyuan<sup>1</sup>, Xu Quanqian<sup>1</sup>

1. Jiangxi Meteorological Information Center, Nanchang 330096, China

2. Jiangxi Provincial Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China

**Abstract:** The monthly precipitation and temperature data of Zhangshu observed from 1960 to 2018 were used to calculate the standard precipitation and evapotranspiration index (SPEI). Combining with the runs theory and copula function, the drought characteristics in this area were analyzed. The results showed that the drought situation in Zhangshu tended to ease on the whole. The duration and intensity of the drought showed a negative trend and a good correlation. The Frank-copula function can be used as an optimal function to describe the joint distribution of two variables of drought characteristics in this area. Under the same drought duration and intensity, the recurrence period of “and” was greater than that of “or”. The drought duration of historical drought events was mostly less than 5 months, and the recurrence period of “and” was less than 10 years in Zhangshu.

**Key words:** drought; recurrence period; duration; intensity; SPEI; Zhangshu

### 0 引言

干旱是我国最常见的自然灾害之一, 具有持续时间长、影响范围广且难以预测等特点(李忆平和李耀辉, 2017)。随着全球气候变化的加剧, 干旱呈现

频发、多发态势, 对社会经济发展和农业生产等方面的影响也日趋增加(韩会明等, 2019)。评估干旱的指数众多, 其中标准化降水蒸散指数(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI)(左冰洁和孙玉军, 2019)因具有标准化降水指数

收稿日期: 2020-04-12; 修订日期: 2020-05-22.

基金项目: 2018 年江西省气象局面上科研项目“江西省气溶胶、酸雨资料质控分析研究”。

作者简介: 刘喆玥, 硕士, 助理工程师, 主要从事于气象数据应用研究, E-mail: liuzheyue1993@foxmail.com.

(Standardized Precipitation Index, SPI)的多时间尺度优点(王怡璇等, 2020)和 Palmer 干旱指数(Palmer Drought Index, PDSI)考虑了降水与气温双重因素的特点(王作亮等, 2019)而被广泛应用, 尤其在全球气候变暖的情况下, 该指数的优势更加突显。Copula 函数将干旱单变量的分析向两变量或更多变量发展(刘晓云等, 2015), 从而使得对干旱的描述更全面、更切合实际情况, 其广泛应用于水文气象(顾佳帅等, 2019; 张得胜等, 2019)。

樟树市位于江西中部, 赣江中游, 界于  $115^{\circ}6'33''$ — $115^{\circ}42'23''$ E,  $27^{\circ}49'7''$ — $28^{\circ}9'15''$ N, 总面积  $1\,291\text{ km}^2$ , 地处亚热带季风气候区, 四季分明, 日照充足, 年均气温  $17.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。每年 3 月雨季开始, 3—6 月降水集中, 占全年总降水量的 50% 以上(胡菊芳等, 2007)。据统计, 1978 年 6 月下旬的旱灾造成  $2.5 \times 10^4\text{ hm}^2$  农田受灾, 2004 年 8 月开始超过 19 个乡镇遭受旱灾, 近 20 万人受影响, 农作物绝收超  $5\,700\text{ hm}^2$ (廖敏等, 2013), 干旱灾害已经成为该地区最主要的自然灾害之一(曹毅, 2018)。廖敏等(2013)和钟敏等(2013)利用历史气象灾害资料和气象数据对樟树市主要气象灾害事件进行了统计分析, 发现该地区夏秋季节久晴少雨, 干旱频发。目前, 有关樟树市干旱方面的研究较少, 且方法单一。文中基于 1960—2018 年樟树市国家气象站降水和气温资料, 计算其标准化降水蒸散指数(SPEI), 并结合游程理论与 Copula 函数, 评估该地区的干旱特征和重现期, 以期对樟树市抗旱减灾工作提供针对性的理论依据。

## 1 方法

研究数据来源于江西省气象信息中心, 选取 1960—2018 年樟树市气象站逐月降水和气温数据集, 该数据集真实可靠。研究方法: 首先计算得出樟树市 SPEI 值, 并结合游程理论提取出反映干旱特征的干旱历时和干旱烈度 2 个变量; 然后, 对比常见的概率分布函数筛选出最优边缘分布函数; 最后, 基于 Copula 函数构建干旱历时和干旱烈度的联合分布模型, 并分析二者的联合重现期。

### 1.1 标准化降水蒸散发指数

标准化降水蒸散发指数 SPEI 的计算是在 SPI 的基础上考虑了温度及降水的影响以及蒸散作用, 继承了 PDSI 对蒸发需求变化的灵敏性和 SPI 计算简单、长时间序列的属性, 是监测干旱化, 研究温度升高对干旱化影响过程的理想工具(杨绚等, 2017)。

文中以 1960—2018 年樟树市逐月平均降水和气温数据为基础, 计算降水和蒸散量差值, 然后进行标准化得到 SPEI(曲学斌等, 2019), 其干旱划分标准如表 1(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化委员会, 2017)所示。

表 1 SPEI 干旱等级划分  
Table 1 SPEI drought classification

SPEI( $I_{\text{SPEI}}$ )	干旱类型
$-0.5 < I_{\text{SPEI}}$	无旱
$-1.0 < I_{\text{SPEI}} \leq -0.5$	轻旱
$-1.5 < I_{\text{SPEI}} \leq -1.0$	中旱
$-2.0 < I_{\text{SPEI}} \leq -1.5$	重旱
$I_{\text{SPEI}} \leq -2.0$	特旱

### 1.2 游程理论

以计算的 SPEI 为基础, 通过游程理论提取出干旱历时和烈度特征, 干旱历时指一次干旱事件持续时间, 干旱烈度为此次干旱事件 SPEI 的累计值, 为便于计算, 干旱烈度取绝对值。游程理论的详细步骤可参考郭树龙等(2018)的研究, 文中所选的干旱阈值为  $R_0 = 0, R_1 = -0.5, R_2 = -1$ 。

### 1.3 边缘分布函数

为了筛选出适合樟树市干旱历时和干旱烈度的边缘分布函数, 在此以威布尔分布(wbl)、对数正态分布(logn)、伽玛分布(gam)、广义极值分布(gev)、指数分布(exp)5 种最常见的概率分布函数作为备选函数, 分别对干旱历时和干旱烈度进行拟合对比。其中函数参数由最大似然法进行估计得到, 函数的拟合效果通过 K-S 检验和 q-q 图进行检验; 干旱历时与干旱烈度二者间的相关性则通过计算 Pearson、Spearman 和 Kendall 相关系数进行度量。

### 1.4 联合重现期

Copula 函数可以连接多个边缘分布得到联合分布, 因此选用二元阿基米德 Copula 函数构建干旱历时  $D$  和干旱烈度  $S$  联合分布模型, 分析  $T_U$  和  $T_D$  情况下二者的联合重现期, 其中  $T_U$  和  $T_D$  分别表示“或” $\{D > d \cup S > s\}$  和“且” $\{D > d \cap S > s\}$  情况下的联合重现期, 公式如下:

$$T_U = \frac{N}{n(1 - F(d, s))} \quad (1)$$

$$T_D = \frac{N}{n(1 - F_D(d) - F_S(s) + F(d, s))} \quad (2)$$

式中,  $N$  为研究时段长;  $n$  为研究时段内游程理论识别出的干旱次数;  $F_D(d)$ 、 $F_S(s)$  分别为  $D$ 、 $S$  的边缘分布;  $F(d, s)$  为联合分布函数。

## 2 SPEI 年变化特征

图 1 为 1960—2018 年樟树市 SPEI 逐年变化情况。分析可知, SPEI 值以每年 0.007 增加, 表明樟树市总体趋势向湿, 20 世纪 60 年代是该地区干旱最严重的时期, 平均年 SPEI 值为 -0.53; 随后的 70 年代和 80 年代干旱程度减弱, 平均年 SPEI 值为 0 左右; 90 年代为樟树市 1960—2018 年间最湿润的时期, 平均年 SPEI 值为 0.66, 刘贵花等(2016)在研究赣江流域降水与径流变化特征时指出, 该地区降水和径流在 1991 年发生了增多趋势的突变, 从图中也可看出, 樟树市的 SPEI 值从 1991 年开始处于增加趋势, 说明降水对该地区的干湿变化起到直接影响作用; 进入到 20 世纪后, 该地区由湿转干, SPEI 值从 90 年代的 0.66 变为 -0.38, 并在 2007 年干旱指数达到历史最低为 -2.07; 到了 21 世纪 10 年代, 该地区干湿交替变化频发。

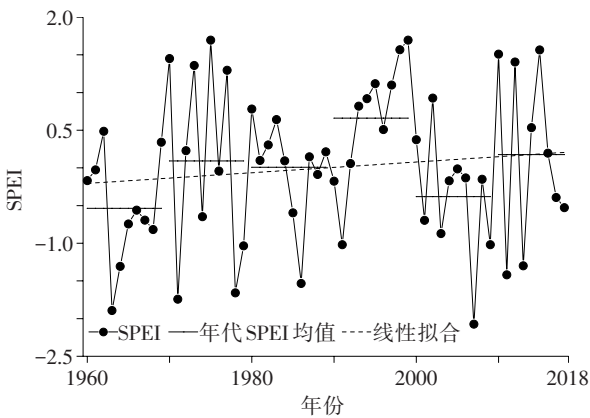


图 1 1960—2018 年樟树市 SPEI 逐年变化  
Fig. 1 Annual variation of SPEI in Zhangshu from 1960 to 2018

## 3 干旱历时和干旱烈度的特征

### 3.1 年变化

基于樟树市 SPEI, 利用游程理论提取出樟树市干旱历时和干旱烈度 2 个特征变量, 图 2 为 1960—2018 年樟树市干旱历时与干旱烈度随时间变化情况, 分析可知, 干旱历时和烈度在波动中呈下降趋势, 干旱形势趋于缓和; 樟树市干旱历时最短为 1 个月, 发生于 1972、1976、1987、2002、2006 和 2015 年, 干旱历时最长为 7 个月, 发生于 1964 年和 2007 年, 这 2 年的干旱烈度达到了 7.59 和 8.32, 干旱灾害严重; 近 60% 的年份干旱历时大于 4 个月, 表明该地区干旱主要以跨季节性干旱为主, 这种干旱主要是由于每年 6 月雨季过后, 7 月中下旬开始降水急剧减少, 气温居高不下而降水不足, 导致干旱严重。

### 3.2 最优边缘分布

分别使用 logn、wbl、gam、exp、gev 这 5 种分布函数对樟树市干旱历时和干旱烈度进行边缘分布拟合, 采用 K-S 检验结果作为评价拟合程度的指标, 表 2 为拟合结果, 5 种分布函数只有 exp 分布未通过信度 0.05 的显著性检验, 其他 4 种分布函数均通过检验, 能较好地拟合干旱历时和干旱烈度特征。选择拟合效果最好的 wbl 分布作为樟树市干旱历时和烈度的最优边缘分布, 为了进一步检验拟合效果, 绘制樟树市干旱历时、干旱烈度数值和拟合值之间的 q-q 图(图 3), 可见图中所有的点据基本分布于  $y = x$  线附近, 说明 wbl 分布的拟合效果理想。利用 Person、Kendall、Spearman 相关性检验方法判断干旱历时与烈度之间的相依程度, 结果发现 Person 和 Spearman 都在 0.8 以上, Kendall 秩相关为 0.631,

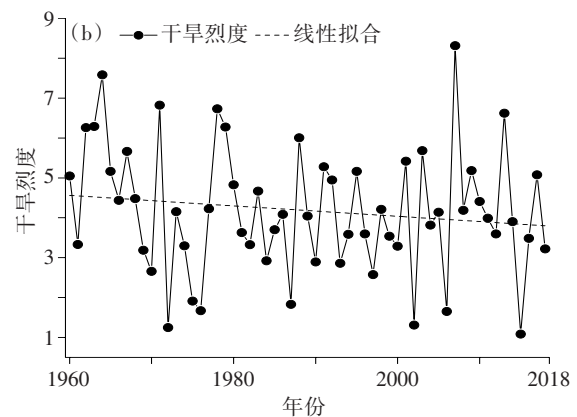
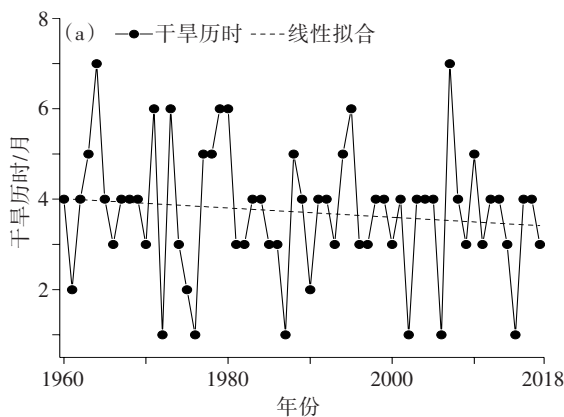


图 2 1960—2018 年樟树市干旱历时和干旱烈度逐年变化  
Fig. 2 Annual variation of drought duration and intensity from 1960 to 2018

均表明干旱特征两变量之间存在明显的相关关系,因此可建立联合分布模型。

表2 干旱历时和干旱烈度边缘分布函数 K-S 检验  
Table 2 K-S test of the marginal distribution functions for drought duration and drought intensity

边缘分布类型	干旱历时	干旱烈度
logn	0.137	0.138
wbl	0.070	0.072
gam	0.106	0.106
exp	-	-
gev	0.072	0.073

注:“-”表示未通过检验,其余均通过信度 0.05 的显著性检验。

#### 4 联合重现期

为了选取樟树市干旱历时和干旱烈度的最优

Copula 函数,通过计算平方欧氏距离( $d^2$ )并利用 AIC 信息准则法对 Frank、Gumbel、Clayton 共 3 种 Copula 函数进行拟合度效果评价(表 3),分析可知, Frank-Copula 函数的  $d^2$  和 AIC 值都是最小的,因此,可选 Frank-Copula 函数作为樟树市干旱特征两变量的联合分布函数。

图 4 为樟树市干旱历时和烈度在“或”和“且”情境下的联合重现期。分析可知,随着干旱历时和干旱烈度的增大,联合重现期也逐渐增大;相同干旱历时和烈度下,“且”的重现期大于“或”的重现期,如干旱历时和烈度均为 5 时,“或”的重现期约为 3 a,而“且”的重现期约为 6 a;樟树市历史干旱事件“或”的重现期多小于 3 a,“且”的重现期多小于 10 a。

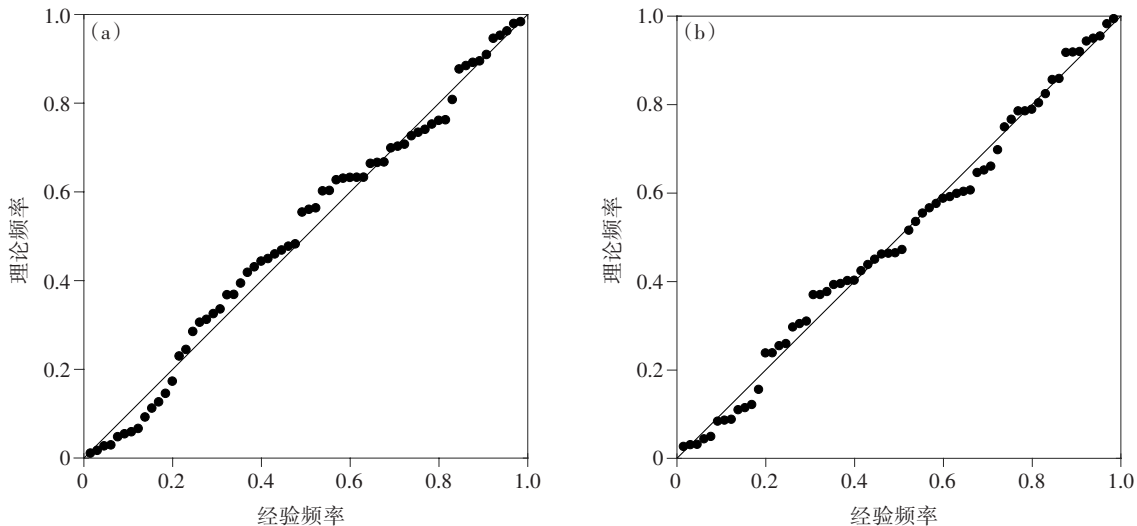


图3 樟树市干旱历时(a)、干旱烈度(b)数值与 wbl 函数最优边缘分布拟合的 q-q 图

Fig. 3 The q-q diagram of the drought duration (a) and drought intensity (b) of Zhangshu fitting to the optimal marginal distribution of the wbl function

表3 樟树市干旱历时和干旱烈度的 Copula 函数拟合度效果评价

Table 3 Copula function fitting evaluation for drought duration and intensity in Zhangshu

评优方法	Frank	Gumbel	Clayton
$d^2$	0.023	0.032	0.029
AIC 值	-218.087	-208.692	-211.776

#### 5 结论

文中基于 1960—2018 年樟树市气象站逐月降水和气温资料计算了樟树市 SPEI,利用游程理论提取了樟树市干旱历时和干旱烈度 2 个特征量,筛选出二者最优的边缘分布函数,并基于 Copula 函数构

建了干旱历时和干旱烈度联合分布模型,分析它们在“或”和“且”情境下的联合重现期,得到:

1) 1960—2018 年樟树市总体趋向偏湿,20 世纪 60 年代为最干时期,90 年代为最湿润时期;

2) 樟树市干旱历时和干旱烈度均呈减小趋势,跨季节干旱为干旱的主要形式,威布尔(wbl)分布为干旱历时和烈度的最优拟合分布。

3) Frank-Copula 函数可作为描述该地区干旱历时和干旱烈度联合分布的最优函数。相同干旱历时和干旱烈度条件下,“且”的重现期大于“或”的重现期。樟树市历史干旱事件干旱历时多小于 5 个月,樟树市历史干旱事件“或”的重现期多小于 3 a,“且”的重现期多小于 10 a。

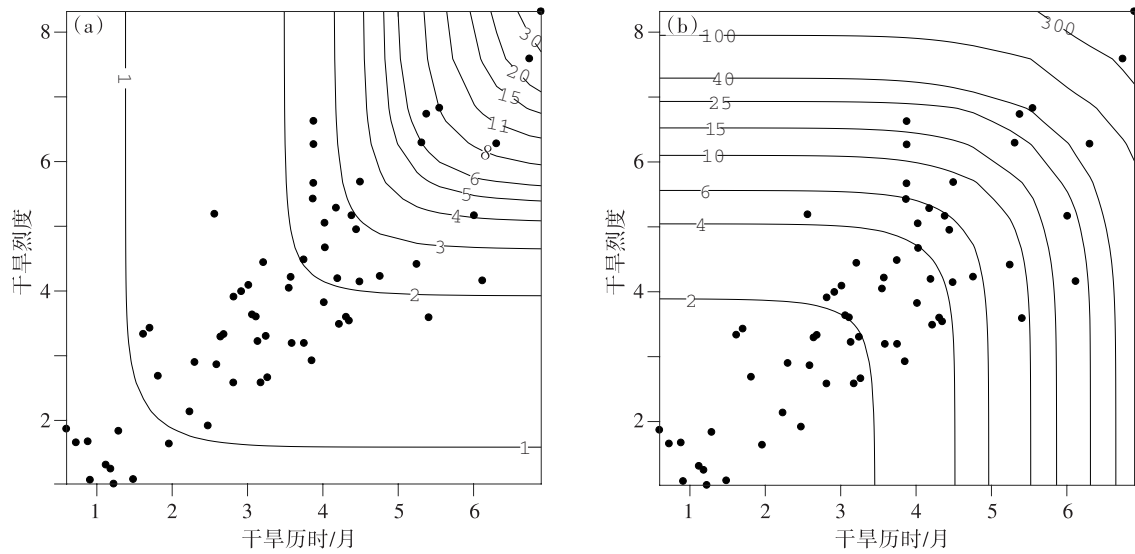


图4 干旱历时和干旱烈度在“或”(a)和“且”(b)情境下的联合重现期(单位:a;黑色点为历史干旱事件)

Fig. 4 Joint recurrence period of drought duration and drought intensity for the “or” (a) and “and” (b) conditions (unit: year; the black dots represent historical drought events)

## 参考文献 (References)

- 曹毅, 2018. 气候特点概述[J]. 气象与减灾研究, 41(3). Cao Y, 2018. Overview of climate features[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 41(3). (in Chinese)
- 郭树龙, 温季, 姜新, 2018. 基于 SPEI 的 1960—2015 年江汉平原旱涝规律分析及预测[J]. 灌溉排水学报, 37(9):108-115. Guo S L, Wen J, Jiang X, 2018. Analysis and prediction of drought and flood law in Jianghan plain from 1960 to 2015 based on SPEI[J]. J Irrigation Drainage, 37(9): 108-115.
- 韩会明, 刘喆玥, 刘成林, 等, 2019. 1960—2018 年吉安地区干旱特征分析与短期预测[J]. 灌溉排水学报, 38(11):85-92. Han H M, Liu Z Y, Liu C L, et al, 2019. Analysis of drought characteristics and short-term prediction in Ji'an area during 1960 - 2018[J]. J Irrigation Drainage, 38(11):85-92.
- 胡菊芳, 张超美, 彭静, 2007. 江西省主要气象灾害年代际变化特征分析[J]. 气象与减灾研究, 30(4):37-42. Hu J F, Zhang C M, Peng J, 2007. Analysis of the interdecadal characteristics of major meteorological disasters in Jiangxi province[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 30 (4):37-42. (in Chinese)
- 李雁, 2019. 内蒙古典型草原区域 Palmer 气象干旱指数适用性分析[J]. 气象科学, 39(5):626-634. Li Y, 2019. Applicability analysis of palmer meteorological resuscitation index in inner Mongolia typical grassland[J]. Chinese J Atmos Sci, 39(5): 626-634. (in Chinese)
- 廖敏, 龚乃弘, 钱焕荣, 2013. 江西省樟树市气象灾害特征分析[J]. 气象水文海洋仪器, 30(2):55-57. Liao M, Gon R H, Qian H R, 2013. Analysis of the characteristics of meteorological disasters in Zhangshu city, Jiangxi province[J]. Meteorol Hydrol Mar Instrum, 30(2):55-57.
- 李忆平, 李耀辉, 2017. 气象干旱指数在中国的适应性研究进展[J].

- 干旱气象, 35(5):709-723. Li Y P, Li Y H, 2017. Advances in adaptability of meteorological drought indices in China[J]. J Arid Meteor, 35(5):709-723.
- 刘贵花, 齐述华, 朱婧瑄, 等, 2016. 气候变化和人类活动对鄱阳湖流域赣江径流影响的定量分析[J]. 湖泊科学, 28(3):682-690. Liu G H, Qi S H, Zhu J X, et al, 2016. Quantitative estimation of runoff changes in Ganjiang River, Lake Poyang Basin under climate change and anthropogenic impacts[J]. J Lake Sci, 28(3):682-690.
- 刘晓云, 王劲松, 李耀辉, 等, 2015. 基于 Copula 函数的中国南方干旱风险特征研究[J]. 气象学报, 73(6): 1080-1091. Liu X Y, Wang J S, Li Y H, et al, 2015. Characteristics of drought risk in southern China based on the Copula function[J]. Acta Meteor Sinica, 73(6):1080-1091. (in Chinese)
- 曲学斌, 金林雪, 王颖, 等, 2019. 2017 年春夏呼伦贝尔草原干旱过程多种监测指数对比分析[J]. 气象科技, 47(1):163-170. Qu X B, Jin L X, Wang Y, et al, 2019. Comparative analysis of monitoring effect of various meteorological drought indexes and vegetation status index during a prairie drought[J]. Meteor Sci Technol, 47(1): 163-170.
- 王怡璇, 陈伏龙, 冯平, 等, 2020. 滦河流域多时间尺度干旱时空特征分析[J]. 高原气象, 39(2):347-356. Wang Y X, Chen F L, Feng P, et al, 2020. Temporal and spatial characteristics of drought on multiple time scales in the Luanhe River basin[J]. Plateau Meteor, 39(2):347-356. (in Chinese)
- 王作亮, 文军, 李振朝, 等, 2019. 典型干旱指数在黄河源区的适宜性评估[J]. 农业工程学报, 35(21):186-195. Wang Z L, Wen J, Li Z C, et al, 2019. Evaluation of suitability using typical drought index in source region of the Yellow River[J]. Transactions of the CSAE, 35(21):186-195.
- 杨绚, 安迪, 吕翔, 徐思远, 2017. 基于 SPEI 的 1961—2015 年淮北

- 地区干旱时空分布特征[J]. 气象与减灾研究,40(4):257-264.
- Yang X, An D, Lu X, Xu S Y, 2017. SPEI-based spatial and temporal distribution characteristics of drought in Huaibei area from 1961 to 2015[J]. Meteor Disaster Reduction Res, 40(4): 257-264. (in Chinese)
- 钟敏, 龚乃弘, 廖敏, 等, 2013. 江西省樟树市主要气象灾害风险区划分析[J]. 农业与技术, 33(4):168-169. Zhong M, Gong N H, Liao M, et al, 2013. Analysis of the major meteorological disaster risk zoning in Zhangshu city, Jiangxi province[J]. Agric Technol, 33(4):168-169.
- 张得胜, 江涛, 黎坤, 等, 2019. 基于 Copula 函数的雷州半岛气象干旱风险分析[J]. 人民珠江, 40(9):110-120. Zhang D S, Jiang T, Li K, et al, 2019. Analysis of meteorological drought risk in Leizhou peninsula based on Copula function[J]. Pearl River, 40(9):110-120.
- 左冰洁, 孙玉军, 2019. 福建省几种气象干旱指数的对比分析[J]. 气象, 45(5):685-694. Zuo B J, Sun Y J, 2019. Comparative analysis of several meteorological drought indices in Fujian [J]. Meteor Mon, 45(5):685-694.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2017. 气象干旱等级: GB/T20481-2017[S]. 北京: 中国标准出版社. AQSIQ, SAC, 2017. Grades of meteorological drought: GB/T20481-2017[S]. Beijing: Standards Press of China.