

# Evolution Characteristics of Drought in the Region of Henan Province in Recent 54 Years Based on SPI

Yazhao Bu

Yunnan Normal University, Kunming Yunnan  
Email: 2597374413@qq.com

Received: Oct. 23<sup>rd</sup>, 2018; accepted: Nov. 6<sup>th</sup>, 2018; published: Nov. 13<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

Drought is in a long enough period of time, serious shortage of rainfall, resulting in soil due to evaporation and moisture loss, a decrease in streamflows, undermining the normal growth of crops and human activities of disastrous weather phenomenon. Based on 1961-2014 of monthly mean temperature and precipitation data, using the standardized precipitation index (SPI) quantitative analysis of the drought in central Henan Province, monthly scale, seasonal scale, scale for the first half of the year and annual scales on the frequency of occurrence are analyzed, which reveals the time evolution characteristics of the drought and the causes of drought occurrence. The results show that SPI value can better reflect the spatial and temporal characteristics of drought in the region of Henan Province. With the increase of time scale, the fluctuation range of SPI value decreases, and the frequency of drought decreases. In the past 54 years, drought occurred in half a year, season and month scale, the frequency of drought is on the rise, and the distribution between regions is not uniform; seasonal scale in autumn season drought occurred the most serious. During the inter annual changes of drought, the drought occurred in 2013, 1986-1988 and 1968 in the middle of Henan Province. The contribution of the Eurasian atmospheric circulation anomalies, the El Nino phenomenon and the rise of temperature to the occurrence of drought can not be ignored.

## Keywords

Standard Precipitation Index (SPI), Drought, Middle Henan Province

---

# 基于SPI指数的近54年豫中地区干旱时空演变特征

布亚召

云南师范大学, 云南 昆明

Email: 2597374413@qq.com

收稿日期: 2018年10月23日; 录用日期: 2018年11月6日; 发布日期: 2018年11月13日

## 摘要

基于1961~2014年逐月平均气温和降水数据,应用标准化降水指数(SPI)和Mann-Kendall突变检验,定量分析了豫中地区月尺度、季节尺度、半年尺度和年尺度上的干旱发生频率,揭示了该地区干旱发生的时间演变特征及干旱发生的原因。结果表明,SPI值能够较好地反映豫中地区干旱的时空特征:随着时间尺度的增大,SPI值波动幅度减小,干旱发生频率降低。近54年豫中地区历年、半年、季节及月尺度均有干旱发生,干旱发生频率总体呈上升趋势,且各地区之间分布不均匀;季节尺度中以秋季干旱发生最为严重。在干旱发生的年际变化方面,豫中地区在1968年、1986~1988年和2013年发生了大范围的持续严重干旱。欧亚大气环流异常稳定、厄尔尼诺现象和气温的升高对于干旱发生的贡献不可忽视。

## 关键词

标准化降水指数(SPI), 干旱, 豫中

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

旱灾是我国当前最主要的气象灾害,近年来气候暖干化渐趋明显,极端气候事件日益多发,旱灾的发生频率呈现出显著的增加趋势。IPCC 第四、五次评估报告指出[1] [2],近百年全球地表温度上升 $0.56^{\circ}\text{C}\sim 0.92^{\circ}\text{C}$ ,气候变暖直接或间接的导致极端气象灾害发生的频率增多和强度增大,对农业生态系统的影响意义重大。因此,对于干旱的时间变化特征和空间变化特征的量化研究,以及对其形成机制的阐述,对农业生态系统稳健发展和气象灾害科学预警等方面有着重要的意义。

近年来,学者们对于干旱评价指标做了大量研究,陆续提出了多种干旱指数[3] [4]。最为常见的主要有帕默尔干旱指数[5]、标准化降水指数[6] [7]、综合气象干旱指数[8]、相对湿润指数[9]、Z指数[10]等。其中,就标准化降水指数而言,具有以下优点:资料容易获得,且计算过程简便;具体干旱机理在指标中不予涉及,对于干旱情况的演变具有敏感的反应,并且能够很好地反映出干旱持续时间和相应的强度[11]。国内学者如吴燕锋[14]刘晓静[15]相继运用标准化降水指数分别对北疆和辽宁的干旱时空演变规律进行了探讨。国外学者 J.F.D. Oliveira-Júnior [16]运用 SPI 指数对里约热内卢-巴西北部 and 西北部地区干旱严重程度及其与气候变异性模式进行研究。

基于上述因素,本文依据豫中地区 1961~2014 年的气象资料,使用标准化降水指数,分析豫中地区近 54 年干旱的时空演变特征,以便为应对全球干暖化趋势下的干旱预测预报和防旱减灾工程提供参考依据。

## 2. 研究区概况

豫中位于河南省中部,面积 15,323.2 平方公里,气候条件属于温带大陆性季风气候。主要地区包括河南省会郑州市以及许昌市、漯河市。该区域经济发达,交通便利。郑州的气候类型属于北温带大陆性

季风气候, 气温冷暖适中, 一年四季分明, 冬长春短。许昌是一座平原城市, 属北温带季风气候, 年平均气温 14.3℃, 平均降水量 640.9 毫米。四季分明并各具特色, 一年中 7 月最热, 平均气温 27.3℃, 1 月最冷, 平均气温 0.2℃。漯河市位于暖温带南部边缘, 属于暖湿性季风气候。冬季寒冷干燥, 夏季高温多雨。一年之中, 年日照时数 2181 小时, 全年无霜期为 216~225 天, 降雨量平均为 786 毫米。光照充足, 热量丰富, 降水适中, 气候温暖。本文主要以郑州市和许昌市(漯河市站点气候资料未被录入统计使用)两个站点提供的资料为依据进行研究。

### 3. 资料来源与研究方法

#### 3.1. 资料来源

本文使用郑州、许昌两个地区 1961~2014 年的地面观测站实测气象资料。所有数据都源于河南省气象局。本文的研究尺度分为四个, 分别是月尺度、季节尺度、半年尺度以及年尺度, 其中月尺度采用每年 1~12 月数据; 季节尺度中, 除了 1961 年的是以 2 月为春季以外, 其余年份以 3~5 月作为春季, 6~8 月作为夏季, 9~11 作为秋季, 上一年的 12 月至次年 2 月作为冬季; 半年尺度是以每年的 6 月为夏半年, 12 月为冬半年; 年尺度是以每年 12 月数据为准。

#### 3.2. 研究方法

##### 3.2.1. SPI 指数

Mckee 于 1993 年提出, 由于不同时间、不同地区降水量变化幅度很大, 直接用降水量很难在不同时空尺度上相互比较, 而且降水分布是一种偏态分布, 不是正态分布, 所以在降水分析中, 采用  $r$  分布概率来描述降水量的变化, 然后再经正态标准化求得 SPI 值。其计算步骤如下[6]:

1) 假设某时段降水量为随机变量  $x$ , 则其  $r$  分布的概率密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-x/\beta}, x > 0 \quad (1)$$

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^\infty x^{\gamma-1} e^{-x} dx \quad (2)$$

其中,  $\beta > 0$ ,  $\gamma > 0$  分别为尺度和形状参数,  $\beta$  和  $\gamma$  可用极大似然估计方法求得:

$$\hat{\gamma} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A} \quad (3)$$

$$\hat{\beta} = \bar{x} / \hat{\gamma} \quad (4)$$

其中

$$A = \lg \bar{x} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg x_i \quad (5)$$

式中  $x_i$  为降水量资料样本,  $\bar{x}$  为降水量多年平均值。

确定概率密度函数中的参数后, 对于某一年的降水量  $x_0$ , 可求出随机变量  $x$  小于  $x_0$  事件的概率为:

$$P(x < x_0) = \int_0^\infty f(x) dx \quad (6)$$

利用数值积分可以计算用(1)式代入(6)式后的事件概率近似估计值。

2) 降水量为 0 时的事件概率由下式估计:

$$P(x = 0) = m/n \quad (7)$$

式中  $m$  为降水量为 0 的样本数,  $n$  为总样本数。

3) 对  $r$  分布概率进行正态标准化处理, 即将(6)、(7)式求得的概率值代入标准化正态分布函数, 即:

$$P(x < x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-z^2/2} dx \quad (8)$$

对(8)式进行近似求解可得:

$$Z = S \frac{t - (c_2 t + c_1)t + c_0}{((d_3 t + d_2)t + d_1)t + 1.0} \quad (9)$$

其中  $t = \sqrt{\ln \frac{1}{P^2}}$ ,  $P$  为(6)式或(7)式求得的概率, 并当  $P > 0.5$  时,  $P = 1.0 - P$ ,  $S = 1$ ; 当  $P \leq 0.5$  时,  $S = -1$ 。

$$c_0 = 2.515517, \quad c_1 = 0.802853, \quad c_2 = 0.010328, \\ d_1 = 1.432788, \quad d_2 = 0.189269, \quad d_3 = 0.001308.$$

由(9)式求得的  $Z$  值也就是此标准化降水指数 SPI。

### 3.2.2. 干旱评价指标

为研究豫中地区 1961~2014 年干旱的时空分布特征, 本文运用干旱发生频率和干旱强度两个指标来进行探讨。具体计算过程如下所示[7]:

1) 干旱频率( $P_i$ ): 根据某站点干旱发生年数计算相应的干旱发生频率, 计算公式为:

$$P_i = n/N \times 100\% \quad (10)$$

其中, 下标  $i$  为某站点,  $N$  为研究对象总年数,  $n$  为该站发生干旱的总年数。为方便研究比较, 本文把轻旱(含轻旱以上)发生的年份均记为干旱; 中旱(含中旱以上)发生的年份记为中旱; 重旱(含重旱以上)发生的年份算为重旱; 特旱发生的年份算为特旱。

2) 干旱强度( $S_{ij}$ ): 用来评价干旱的严重程度, 某个气象站某时段内的干旱强度可通过 SPI 值反应, 计算公式:

$$S_{ij} = \left| \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m SPI_i \right| \quad (11)$$

其中,  $i$  为某站点,  $j$  为某年份,  $m$  为研究区域内发生干旱的站数,  $S_{ij}$  为发生干旱时 SPI 的绝对值。具体干旱情况可参考下表(表 1):

**Table 1.** Drought grading of standardized rainfall index [7]

**表 1.** 标准化降水指数干旱分级[7]

序号	SPI 值	等级
1	$-0.5 < SPI$	正常
2	$-1.0 < SPI \leq -0.5$	轻旱
3	$-1.5 < SPI \leq -1.0$	中旱
4	$-2.0 < SPI \leq -1.5$	重旱
5	$SPI \leq -2.0$	特旱

## 4. 结果与分析

### 4.1. 不同时间尺度 SPI 值表征的干旱特征

通过对数据的分析和处理, 结果表明豫中地区在不同的时间尺度(本文以月尺度, 季节尺度, 半年尺

度, 年尺度为标准)下其 SPI 值的波动周期和波动规律存在着明显差异(如下图 1 所示)。月尺度 SPI (简称 SPI-1)值波动幅度最为明显, 可以反映出短期降水量变化对干旱的影响程度。季节尺度 SPI (简称 SPI-3)值波动幅度较月尺度 SPI 值波动幅度平缓, 较好的反映出干湿季变化的干旱的影响, 其中, 1976~1977 年、1997~1998 年波动幅度最大; 半年尺度 SPI (简称 SPI-6)值波动周期较季节尺度稍长, 其中, 1967~1968 年和 1990~1991 年波动幅度较大; 年尺度 SPI (简称 SPI-12)值波动幅度最为稳定, 可反映出干旱的年际变化特征, 1966~1968 年、1986~1988、2013 年 SPI 值波动幅度最大。整体而言, 时间尺度越小, 波动幅度越大, 时间尺度越大, SPI 值波动幅度呈现出逐渐减小的趋势, 即 SPI 值的波动幅度随时间尺度的增大而减小。各尺度 SPI 值波动状况反映出豫中各个地区气候干湿变化规律。每个月温度和水分变化状况对 SPI-1 有影响, 因此 SPI-1 的波动变化状况反映出土壤含水量情况, 可因地制宜, 因时制宜的对农作物进行排灌。受长时间尺度(季节尺度、半年尺度、年尺度)的温度和水分变化影响的是 SPI-3、SPI-6、SPI-12, 因此它们能够较好的反映土壤下层含水量, 而土壤深层含水量的多少对农作物生长的调节作用有直接影响。

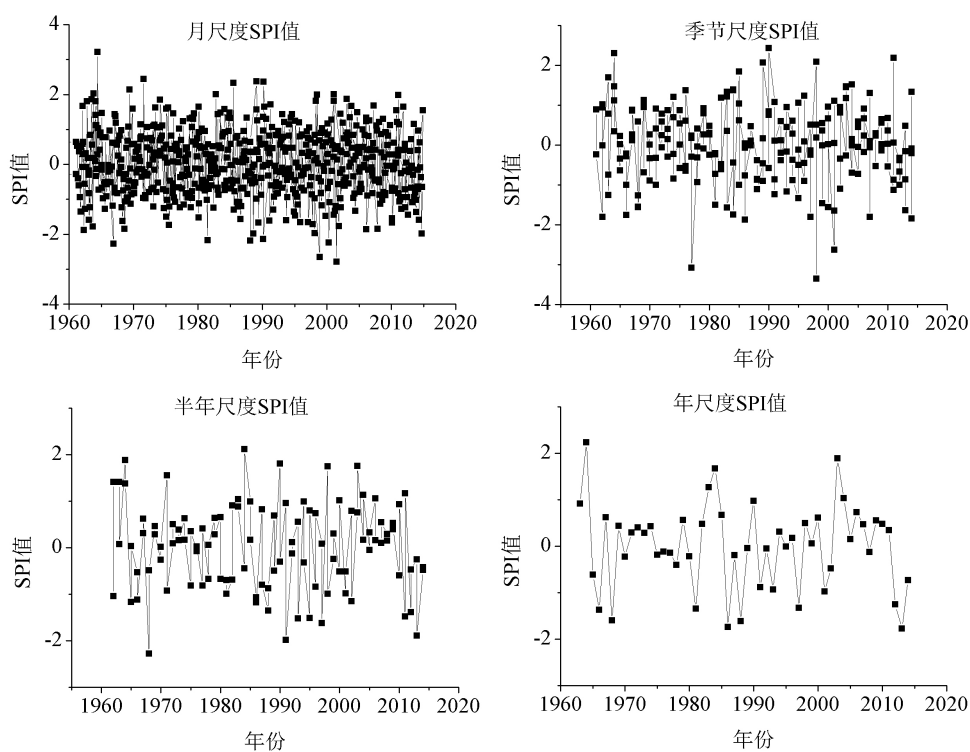


Figure 1. 1961-2014 SPI values for different time scales in center region

图 1. 1961~2014 年豫中地区不同时间尺度历年 SPI 值

1961~2014 年豫中地区不同时间尺度历年 SPI 均值如图 2 所示。其中, 年均 SPI-12 波动幅度最大, 年均 SPI-6 次之, 年均 SPI-3 变化较为平稳, 年均 SPI-1 最为稳定, 即随着时间尺度的增大年均 SPI 值波动幅度增大。SPI-12 反映出的干旱情况与豫中地区历史上发生干旱的时间具有相对一致性, 如豫中地区发生干旱的典型年份有 1966 年(中旱), 1968 年(重旱)、1986 年(重旱)、1988 年(重旱)、1997 年(中旱), 2013 年(重旱)等。

如图 3 所示, 针对豫东地区 1961~2014 年平均 SPI-12 值, 利用 Mann-Kendall 突变检验(简称 M-K 检验)所得结果。从图中可以看出,  $u_f$  值先上升再下降再波动上升再下降, 且大部分  $u_f$  值都小于零。总体来看, 近 54 年来, 豫中地区  $u_f$  值整体上在波动中呈现出上升趋势。通过观察图可知,  $u_f$  值在 20 世纪 60

年代中后期突变降低，20 世纪 80 年代则呈现出在波动起伏中突变上升的趋势，突变点分别是 1969 年、1985 年、1993 年和 2012 年。

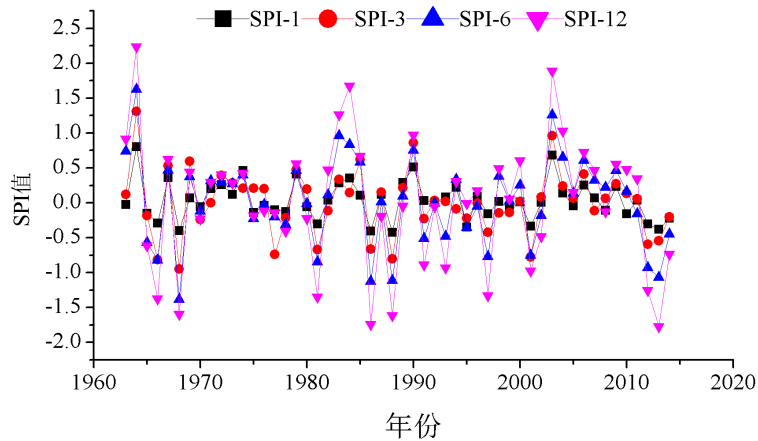


Figure 2. 1961-2014 SPI mean for different time scales in center region  
图 2. 1961~2014 年豫中地区不同时间尺度历年 SPI 均值

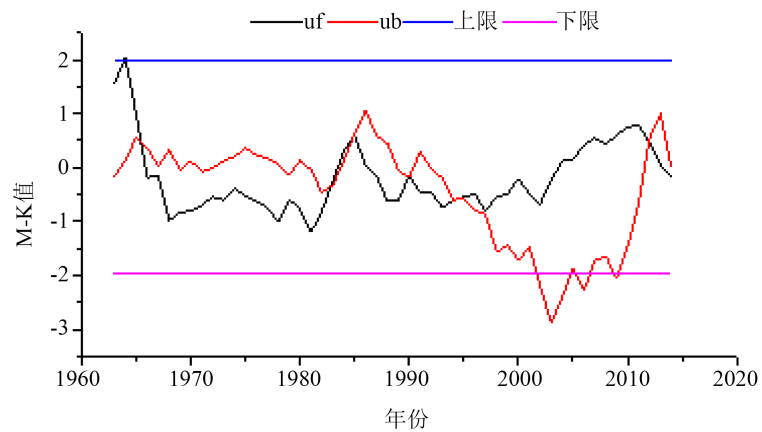


Figure 3. M-K test of average SPI-12 sequence in center area in 1961-2014  
图 3. 1961~2014 年豫中地区平均 SPI-12 序列 M-K 检验

#### 4.2. 豫中地区干旱空间分布特征

Table 2. Frequency of monthly drought occurrence in center area  
表 2. 豫中地区月尺度干旱发生频率

	郑州	许昌
无旱	68.21%	70.68%
轻旱	16.20%	16.51%
中旱	10.34%	7.25%
重旱	3.70%	3.40%
特旱	1.23%	2.16%

如表 2 所示，豫中地区月尺度干旱发生频率，许昌轻旱和特旱发生频率高于郑州，郑州中旱和重旱发生频率高于许昌，说明月尺度下，豫中区域内许昌轻旱和特旱更为严重，郑州中旱和重旱更为频发。

整体而言，郑州发生干旱的频率略高于许昌。这与短时间尺度的温度和降水变化状况相关性较大。

**Table 3.** Frequency of drought occurrence at seasonal scale in center area

**表 3.** 豫中地区季节尺度干旱发生频率

	郑州				许昌			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
无旱	75.93%	72.22%	66.67%	74.07%	66.67%	66.67%	66.67%	70.37%
轻旱	9.26%	11.11%	16.67%	11.11%	12.96%	14.81%	22.22%	14.81%
中旱	7.41%	7.41%	9.26%	7.41%	18.52%	11.11%	3.70%	9.26%
重旱	3.70%	5.56%	3.70%	5.56%	0%	7.41%	5.56%	3.70%
特旱	3.70%	1.85%	3.70%	1.85%	1.85%	0%	1.85%	1.85%

如表 3 所示，豫中地区季节尺度干旱发生频率，整体而言，豫中地区发生秋旱最为严重，夏旱次之。其中郑州秋旱最严重，夏旱次之，许昌春夏秋皆旱。发生秋旱时，郑州特旱、中旱频率高，许昌重旱、轻旱频率高。

**Table 4.** Frequency of drought occurrence in half-scale in center area

**表 4.** 豫中地区半年尺度干旱发生频率

	郑州(冬半年)		许昌(冬半年)	
	(冬半年)	(夏半年)	(冬半年)	(夏半年)
无旱	68.52%	68.52%	68.52%	70.37%
轻旱	16.67%	12.96%	11.11%	9.26%
中旱	7.41%	14.81%	12.96%	18.52%
重旱	1.85%	1.85%	5.56%	0%
特旱	5.56%	1.85%	1.85%	1.85%

如表 4 所示，豫中地区半年尺度干旱发生频率，郑州冬半年轻旱发生频次最多，重旱最少，夏半年中旱发生频次最多。许昌夏半年发生于旱频率大于冬半年，其中，夏半年与冬半年发生中旱频率最高。

**Table 5.** Frequency of annual drought occurrence in center area

**表 5.** 豫中地区年尺度干旱发生频率

	郑州	许昌
无旱	75.93%	70.37%
轻旱	5.56%	12.96%
中旱	7.41%	5.56%
重旱	9.26%	9.26%
特旱	1.85%	1.85%

如表 5 所示，豫中地区年尺度干旱发生频率，年尺度下，许昌干旱发生频率大于郑州，许昌轻旱发生频率最高，重旱次之，特旱最少，郑州重旱发生频率最高，中旱次之，特旱最少。整体来说，豫中区域内部干旱程度有北向南递增。

## 5. 结论

通过对豫中地区各个站点不同时间尺度 SPI 值的分析和干旱发生频率的空间特征研究，现得出以下

结论:

1) SPI 值变化趋势: SPI 值的波动幅度随时间尺度的增大呈逐渐减小的趋势。即月尺度波动幅度最大, 年尺度波动幅度最小。年均 SPI 值波动幅度随时间尺度的增大而呈递增的趋势。

2) 干旱发生的时间分布特征: 就月尺度而言, SPI 值变化幅度最大; 季节尺度 SPI 值波动幅度较月尺度 SPI 值波动幅度平缓, 较好的反映出干湿季变化的干旱的影响, 其中, 1976~1977 年、1997~1998 年波动幅度最大; 半年尺度 SPI 值波动周期较季节尺度稍长, 其中, 1967~1968 年和 1990~1991 年波动幅度较大; 年尺度 SPI 值波动幅度最为稳定, 可反映出干旱的年际变化特征, 1966~1968 年、1986~1988、2013 年 SPI 值波动幅度最大。

3) 干旱发生的空间分布特征: 豫中地区与豫北相比, 干旱发生强度要小; 与豫南相比, 干旱发生强度要大, 整体而言, 豫中干旱发生强度频率较其他区域要小, 相对不易发生干旱。区域内部, 许昌干旱发生强度大于郑州, 即由北向南干旱发生强度呈递增趋势。

## 6. 讨论

根据豫中地区近 54 年干旱时空特征分析结果, 秋旱发生最为严重, 豫中地区经济发达, 工农业耗水量大, 由于该区域位于第二、三级阶梯的过渡地带, 气候类型上属于北亚热带气候向暖温带气候的过渡地区, 致使该区域降水的时间和空间分布不均匀。又因气候变暖气温升高, 因此造成秋季干旱严重。从时间尺度来看, 豫中地区干旱发生频率逐渐增加。从空间尺度看, 区域内部, 许昌干旱发生强度大于郑州, 豫中地区许昌发生干旱的频率更高, 郑州发生干旱的频率更低, 由北向南干旱发生强度逐渐增加。近 54 年来豫中地区降水变率增大, 且气候干暖化趋势明显, 因此旱灾频发。其原因可从以下三个方面来分析。第一, 气候变暖。研究表明[12][13], 河南省近半个世纪以来, 降水波动幅度大, 气候干暖化趋势显著, 气温和降水的变化致使旱灾频发。第二, 大气环流。行星风系的季节性移动及其强度对黄河中下游地区的干旱有较大影响, 而豫中正处于该区域内部。第三, 厄尔尼诺。近几十年来, 发生厄尔尼诺现象的年份与豫中地区发生干旱的年份有紧密的联系, 如豫中地区在 1966~1968 年发生大范围持续干旱, 而 1965~1966 年也发生了厄尔尼诺事件, 这说明干旱发生的可能性在发生厄尔尼诺现象时较大。

## 致 谢

此篇文章的完成, 得益于学校提供的优秀平台和老师的指导教诲, 在此表示衷心的感谢。同时对为我提供帮助和支持的个人和群体表示由衷的感谢。

## 参考文献

- [1] IPCC (2013) Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change, 2013: The Physical Science Basis: Summary of for Policymakers.
- [2] IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers. IPCC WGI Fourth Report, Paris, 195-199.
- [3] 袁文平, 周广胜. 干旱指标的理论分析与研究展望[J]. 地球科学进展, 2004, 19(6): 982-991.
- [4] 王劲松, 郭江勇, 周跃武, 等. 干旱指标研究的进展与展望[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 60-65.
- [5] 姚玉璧, 董安祥, 王毅荣. 基于帕默尔干旱指数的中国春季区域干旱特征比较研究[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 22-29.
- [6] 张强. 华北地区干旱指数的确定及其应用[J]. 灾害学, 1998, 13(4): 34-38.
- [7] 翟禄新, 冯起. 基于 SPI 的西北地区气候干湿变化[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 847-857.
- [8] 邹旭凯, 任国玉, 张强, 等. 基于综合气象干旱指数的中国干旱变化趋势研究[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 371-378.



- [9] 马柱国. 中国北方干旱区地表湿润状况的趋势分析[J]. 气象学报, 2001, 59(6): 737-746.
- [10] 袁文平, 周广胜. 标准化降水指数与 Z 指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 523-529.
- [11] 周扬, 李宁, 吉中会, 等. 基于 SPI 指数的 1981-2010 年内蒙古地区干旱时空分布特征[J]. 自然资源学报, 2013, 28(10): 1694-1705.
- [12] 张竟竟, 郭志富, 李治国. 河南水旱灾害危险性时空特征研究[J]. 自然资源学, 2013, 28(6): 957-968.
- [13] 史本林, 朱新玉, 李宏忠, 等. 中原腹地气候变化对冬小麦产量的影响——以商丘为例[J]. 地理研究, 2012, 31(1): 14-22.
- [14] 吴燕锋. 北疆近 52 年气象干旱时空演变特征[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
- [15] 刘晓静, 温馨. 基于 SPI 指数的近 50 年辽宁省干旱时空演变规律分析[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2016, 37(2): 146-151.
- [16] Oliveira-Júnior, J.F.D., Gois, G.D., Terassi, P.M.D.B., *et al.* (2018) Drought Severity Based on the SPI Index and Its Relation to the ENSO and PDO Climatic Variability Modes in the Regions North and Northwest of the State of Rio de Janeiro-Brazil. *Atmospheric Research*, **212**, 91-105. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.022>

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-1724, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [ojs@hanspub.org](mailto:ojs@hanspub.org)