

基于SPEI的晋城地区干旱气候分析

马 龙, 李毓富, 宋军芳, 任鹏娟, 原 媛, 赵慧琴

晋城市气象局, 山西 晋城

收稿日期: 2022年6月8日; 录用日期: 2022年7月6日; 发布日期: 2022年7月18日

摘 要

利用1967~2016年晋城地区5个气象观测站的月、季、年降水资料和气温资料, 计算了月尺度、季尺度和年尺度的SPEI值, 并利用小波分析法对干旱发生的周期进行分析, 结果表明: 晋城地区全市干旱发生的频率高达56%, 各站的平均干旱频率为32%; 干旱多发生在春季和夏季, 最易出现干旱的时间为每年的春末夏初, 干旱以阶段性干旱为主, 最长干旱持续时间为6个月; 从干旱的发生情况来看, 进入21世纪之后, 干旱的发生情况要明显增多。干旱发生存在两个明显特征时间尺度: 2~4 a和8~12 a, 其中以8~12 a尺度周期变化表现最明显。

关键词

晋城地区, SPEI指数, 干旱

Drought Analysis Based on SPEI in Jincheng

Long Ma, Yufu Li, Junfang Song, Pengjuan Ren, Yuan Yuan, Huiqin Zhao

Jincheng Meteorological Bureau, Jincheng Shanxi

Received: Jun. 8th, 2022; accepted: Jul. 6th, 2022; published: Jul. 18th, 2022

Abstract

Based on the monthly, seasonal, and annual precipitation data and temperature data of five meteorological stations in the Jincheng area from 1967 to 2016, the SPEI values at monthly, seasonal and annual scales were calculated, and the drought occurrence cycle was analyzed by wavelet analysis. The results show that the frequency of drought in Jincheng was up to 56%, and the average frequency of drought in all stations was 32%. The drought mainly occurred in spring and summer, and the most frequent drought occurred in late spring and early summer each year. The drought mainly occurred in stages, and the longest drought duration was 6 months. From the perspective of the occurrence of drought, the occurrence of drought will increase significantly after entering the 21st century. There are two characteristic time scales of drought occurrence: 2~4 a and 8~12 a, in which the periodic change of 8~12 a scale is the most obvious.

Keywords

Jincheng Area, SPEI, The Drought

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

干旱是一种对人类的生存环境影响极大的自然灾害, 在各类气象灾害中, 由干旱引发的灾害占到了近六成, 每年约有 100 亿公斤的粮食因干旱而损失[1]。尤其在西北和华北等地干旱愈发严重, 造成了巨大的经济损失, 因此对干旱的研究、准确地评估干旱与监测干旱, 研究干旱的发生发展及其变化趋势成为了一个重点课题。按气候来划分, 山西属于半干旱气候区, 山西最主要的气象灾害就是干旱, 干旱发生频繁、范围广、且持续时间长, 相比于洪涝等灾害来说, 灾情也较为严重[2]。在上世纪 80 年代以前, 山西省每年约有 20%~25%的耕地遭受到不同程度的旱灾, 到了 90 年代以后, 这个数字上升到了 43.7%。因此, 在山西的各类气象灾害中, 干旱导致的灾害处于第一的位置, 其他各类气象灾害造成的损失不及干旱的一半[3]。晋城地区位于山西省东南部, 同处半干旱气候区, 干旱是其主要的气象灾害之一。干旱严重制约着晋城地区的农业经济发展, 因此, 十分有必要对晋城地区进行干旱灾害研究。

在 2010 年, 经 Vicente-Serrano 等人的研究, 提出了标准化降水蒸散指数(SPEI) [4] [5], 这一指数同时考虑到了降水量和温度变化引起的蒸散量变化, 而且同时又有标准化降水指数(SPI)的诸多优点, 一经提出就被各国学者争相研究, 发现其在全球变暖的气候背景下, 用于检测和监测干旱的发生及变化效果优异, 现已被运用到了各方面的研究当中, 本文利用 SPEI 指数研究晋城地区的干旱气候的变化特征。

2. 资料与方法

2.1. 数据资料

本文选用 1967~2016 年晋城地区 5 个气象观测站的月、季、年降水资料和气温资料。文中所用到的季节按常规方法进行划分, 即: 春季为 3~5 月份, 夏季为 6~8 月份, 秋季为 9~11 月份, 冬季为 12 月到次年的 2 月份。

2.2. 研究方法

本文利用 SPEI 指数对晋城地区的干旱进行计算, 然后进行 Mann-Kendall 突变检验, 最后利用小波分析法对其进行分析。SPEI 指数的计算方法采用中华人民共和国国家标准(GB/T 20481-2017), 其干旱等级划分标准如下(见表 1):

Table 1. Drought classification corresponding to SPEI

表 1. SPEI 指数对应的干旱等级划分

等级	类型	SPEI
1	无旱	$-0.5 < \text{SPEI}$
2	轻旱	$-1.0 < \text{SPEI} \leq -0.5$

Continued

3	中旱	$-1.5 < \text{SPEI} \leq -1.0$
4	重旱	$-2.0 < \text{SPEI} \leq -1.5$
5	特旱	$\text{SPEI} \leq -2.0$

3. 结果与分析

3.1. 晋城地区的干旱年际变化特征

晋城地区的平均 SPEI 指数值的年际变化(见图 1)所示,平均 SPEI 值是五个气象观测站年值的平均值,可以代表晋城地区的 SPEI 整体变化趋势。从中分析可知,晋城地区基于 SPEI 分析得出的干旱,主要始于上世纪 90 年代左右,在此后的三十年间,干旱发生频率增加,从 1967 年至 2016 年,晋城地区的年平均 SPEI 指数以 0.083/10 a 的速度下降,干旱呈现出增强的趋势。为了更好的分析晋城地区干旱的变化规律,并对未来干旱事件的发展趋势做出预测,对晋城地区的干旱进行了突变检验和周期性分析。

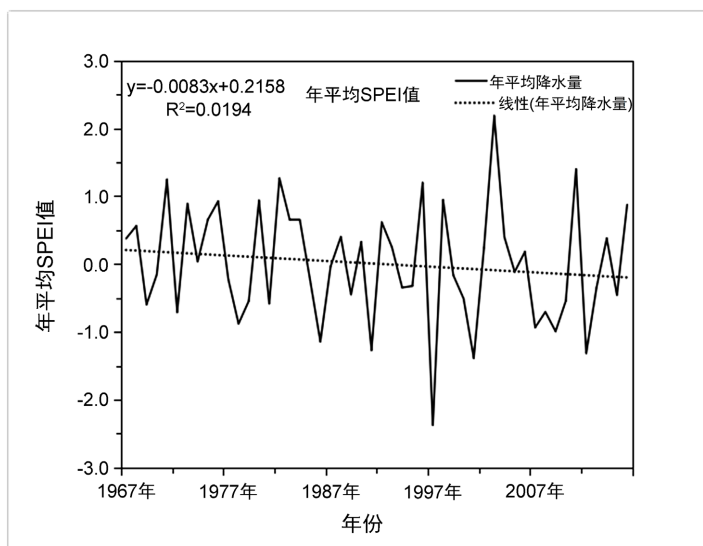


Figure 1. Interannual variation curve of average SPEI in Jincheng from 1967 to 2016
图 1. 晋城地区 1967~2016 年平均 SPEI 指数年际变化曲线

利用 M-K 检验法对晋城地区 1967~2016 年平均 SPEI 值进行突变统计分析(见图 2),显著性水平 $\alpha = 0.05$ (临界值 $U_{0.05} = \pm 1.96$)。从图中可以看出,UF 曲线波动较大,在 2000 年以前,UF 线基本都大于 0,说明晋城地区在 2000 年以前,SPEI 值呈现出上升趋势,干旱呈减轻趋势;2000~2002 年,UF 线小于 0,说明在此期间 SPEI 呈减少趋势,晋城地区干旱加重;2002~2007 年,UF 线大于 0,晋城地区干旱有所缓解;2007 年之后,UF 线小于 0,SPEI 值呈现下降趋势,说明 2007 年之后晋城地区干旱情况持续加重。根据 UF 和 UB 两条曲线交点的位置可见,UF 和 UB 线在 2007 年、2009 年、2012 年和 2015 年相交,说明 SPEI 值在有交点的年份有波动,但都是在显著性水平 $\alpha = 0.05$ (临界值 $U_{0.05} = \pm 1.96$)的临界线内,变化趋势不显著,不存在突变现象。

对于周期性的分析,采用了小波分析法,小波分析可以很好地研究与时间序列相关的问题,能够反映出时间序列中存在的周期性,充分反映出被分析数据在不同时间尺度下的周期变化,在气候趋势诊断分析方面以及多尺度分析方面都有很好的效果,分析 1967~2016 年这 50 年的晋城地区 SPEI 值的 Morlet 小波分

析的结果(见图 3)。图中横坐标是时间序列, 纵坐标是以年为单位的周期。由图中分析可见, 近 50 年来晋城地区的 SPEI 值存在两个明显特征时间尺度: 2~4 a 和 8~12 a。其中以 8~12 a 尺度周期变化表现最显著, 贯穿于整个研究时段中, 其周期性表现较强, 且中心强度较大, 正负中心值分别达到±1 以上。在 8 a 尺度的周期变化上, 表现最明显的时段为 1967~1970 年的 SPEI 值偏大期、1971~1973 年的 SPEI 值偏小期、1974~1977 年的 SPEI 值偏大期、1978~1981 年的 SPEI 值偏小期、1982~1985 年的 SPEI 值偏大期、1986~1989 年的 SPEI 值偏小期、1990~1996 年的 SPEI 值偏大期、1997~2002 年的 SPEI 值偏小期、2003~2006 年的 SPEI 值偏大期、2007~2009 年的 SPEI 值偏小期、2010~2012 年的 SPEI 值偏大期及 2013 年之后的偏大期。

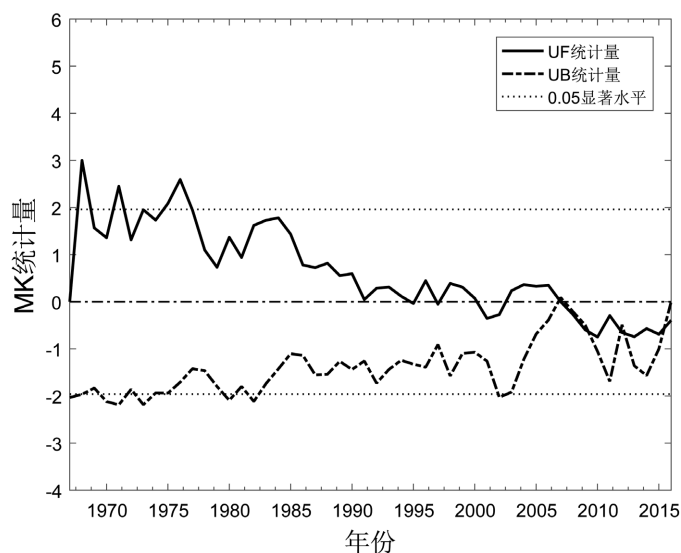


Figure 2. M-K mutation test of average SPEI in Jincheng
图 2. 晋城地区平均 SPEI 指数 M-K 突变检验

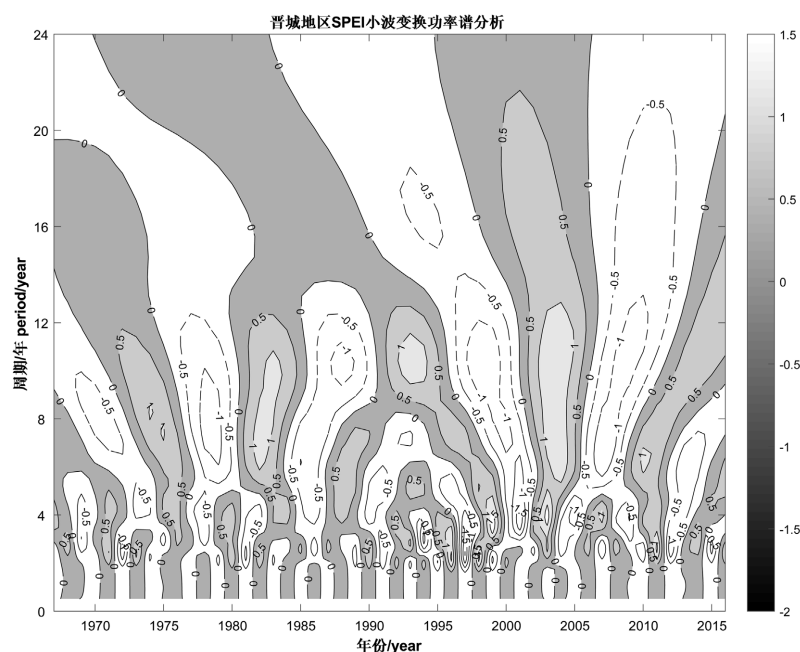


Figure 3. Power spectrum analysis of SPEI wavelet transform in Jincheng
图 3. 晋城地区 SPEI 指数小波变换功率谱分析

根据 SPEI 指数计算晋城地区各个县市、各个时段的干旱频率[6]，进而可以分析晋城地区不同区域发生干旱的频繁程度。经计算得出(见表 2)，晋城地区几个站点基于 SPEI 指数的干旱频率在 30%~34%之间，平均为 32%，其中发生中旱的干旱频率为 10.4%，发生重旱的干旱频率为 4%，发生特旱的干旱频率为 2.8%。

Table 2. Drought frequency of counties (cities) in Jincheng (Unit: %)

表 2. 晋城地区各县(市)干旱发生频率(单位: %)

站名	轻旱次数 (干旱频率)	中旱次数 (干旱频率)	重旱次数 (干旱频率)	特旱次数 (干旱频率)	总计次数 (干旱频率)
晋城	7 (14%)	6 (12%)	3 (6%)	1 (2%)	17 (34%)
阳城	6 (12%)	5 (10%)	2 (4%)	2 (4%)	15 (30%)
高平	9 (18%)	6 (12%)	1 (2%)	1 (2%)	17 (34%)
沁水	7 (14%)	4 (8%)	2 (4%)	2 (4%)	15 (30%)
陵川	7 (14%)	5 (10%)	2 (4%)	1 (2%)	15 (30%)

3.2. 晋城地区干旱的月季分布特征

从季节变化特征来看，1967~2016 年这 50 年间，晋城地区 5 个县市在各个季节均有干旱发生，其中，夏季干旱发生频率最高为 45.2%，春旱次之，发生频率为 44.0%，秋季和冬季干旱发生则相对较少。因此，晋城地区最容易发生干旱的季节是春季和夏季。统计了近 50 年来晋城地区 4~10 月干旱频率(见图 4)，可知：从月度干旱情况来看，1967~2016 年这 50 年间，晋城地区的干旱主要发生在 4~10 月，其中在 5 月份和 6 月份干旱频率分别达到了 72.8%和 78.4%，干旱发生情况严重。上述统计结果表明：晋城地区干旱发生频率高，最易出现干旱的时间为每年的春末夏初。

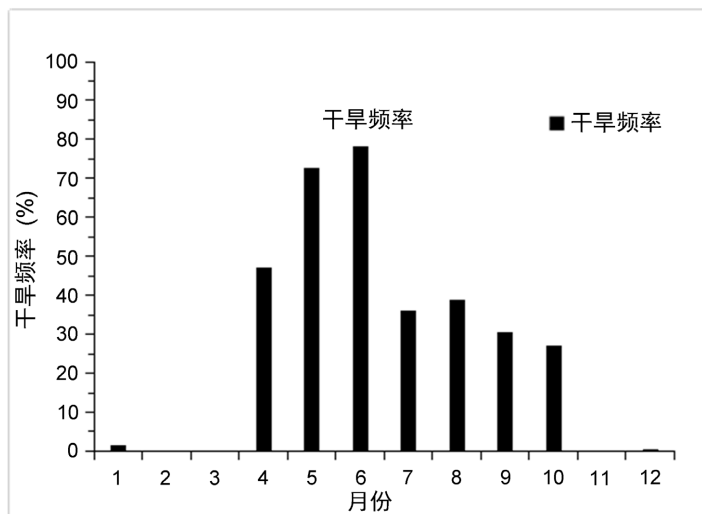


Figure 4. Annual variation chart of drought frequency in Jincheng

图 4. 晋城地区干旱频率年内变化图

分析晋城地区四季的 SPEI 指数小波变换功率谱(见图 5)，分析可以看出：

晋城地区春季 SPEI 值存在 2 个特征时间尺度，分别为 4 a 和 6 a，这两个时间尺度的周期震荡在整个研究时段都比较稳定。在 50 年间，每 4 年发生一次轻度的干湿交替，每 6 年发生一次程度较重的干湿交

替, 部分年份中心值达到 ± 1.5 如 1988 年、1994 年、2000 年。

晋城地区夏季 SPEI 值存在 2 个特征时间尺度, 分别为 2~4 a 和 6~8 a, 表现比较显著的是 6~8 a 时间尺度的周期震荡, 其周期性强, 贯穿整个研究时段, 强度大, 中心正负值基本都在 ± 1 以上。说明在 50 年间, 夏季干旱波动较为稳定, 且夏季干旱发生时, 程度较重。

晋城地区秋季 SPEI 值存在 3 个特征时间尺度, 分别为 2~4 a、8~12 a 和 16 a, 其中 2~4 a 的周期性相对春季及夏季较弱, 8~12 a 和 16 a 周期性显著, 其中 8~12 a 时间尺度的干湿交替表现的较强(中心正负值基本在 ± 1 以上), 干旱表现最明显的是 1976~1983 年、1987~1992 年以及 1996~2001 年。

晋城地区冬季 SPEI 值存在 2 个特征时间尺度, 分别为 2~4 a 和 12~16 a, 其中 2~4 a 的周期性和秋季类似, 12~16 a 的周期性明显且稳定, 干旱表现为 1967~1972 年、1979~1986 年、1993~2000 年以及 2007~2013 年。

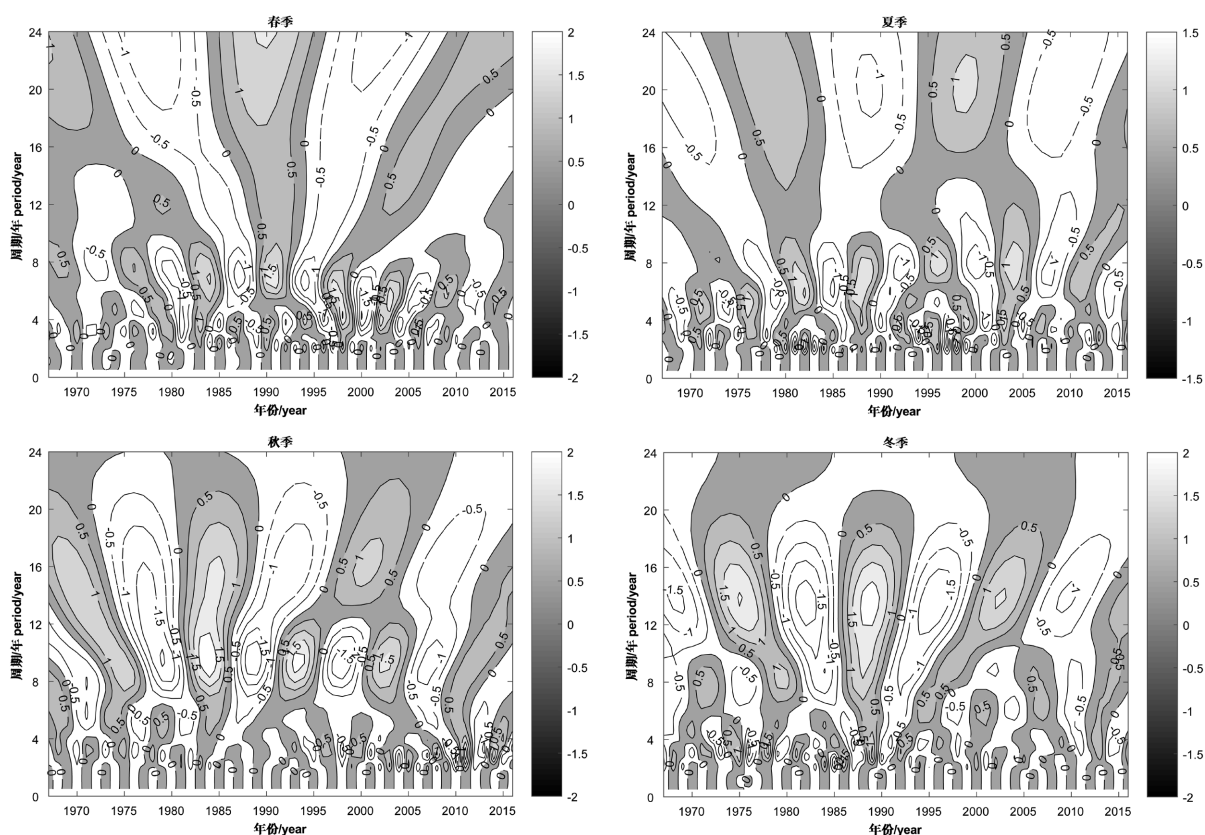


Figure 5. Power spectrum analysis of SPEI wavelet transform in Jincheng during 1967~2016

图 5. 晋城地区 1967~2016 年四季 SPEI 指数小波变换功率谱分析

3.3. 晋城地区连续干旱的分布特征

统计了晋城地区各气象观测站 1967~2016 年连续干旱发生次数(表 3)。从中可以看出: 晋城地区干旱持续时间在空间分布上不均, 持续干旱时间达到 3 个月以上的最多的是晋城, 在 1967~2016 年这 50 年间达到了 24 次, 其次是沁水 23 次, 阳城 22 次, 高平 22 次, 次数最少的是陵川 16 次; 持续 5 个月以上的干旱, 总计发生过 12 次, 分别发生在高平 1974 年 4 月到 8 月、晋城 1986 年 4 月到 8 月、沁水 1989 年 4 月到 9 月、阳城 1990 年 6 月到 10 月、阳城 1991 年 4 月到 8 月、高平和陵川 1994 年 5 月到 9 月、阳城和沁水 1997 年 4 月到 8 月、晋城和沁水 2001 年 4 月到 8 月、阳城 2015 年 5 月到 9 月; 最长的干旱持

续时间为6个月,仅出现过一次,是1989年4~9月发生在沁水。经统计,晋城地区没有出现过连续超过7个月的干旱,说明晋城地区的干旱以阶段性干旱为主。

Table 3. The frequency of continuous drought in Jincheng from 1967 to 2016

表 3. 晋城地区各站点 1967~2016 年连续干旱发生次数

站名	连续干旱月数					
	3个月	4个月	5个月	6个月	7个月	8个月
晋城	18	4	2	0	0	0
阳城	11	7	4	0	0	0
高平	15	5	2	0	0	0
沁水	14	6	2	1	0	0
陵川	14	1	1	0	0	0

4. 结论

本文利用 SPEI 指数对晋城地区的干旱天气特征进行了分析,发现晋城地区干旱的时空分布特征有以下几个方面:

1) 干旱发生频率高:晋城地区在 1967~2016 年这 50 年之间总计有 28 年出现了不同程度的干旱,全市干旱发生的频率高达 56%,各站的平均的干旱频率为 32%。

2) 季节性强:晋城地区干旱多发生在春季和夏季,最易出现干旱的时间为每年的春末夏初(5 月份和 6 月份),干旱以阶段性干旱为主,最长干旱持续时间为 6 个月。

3) 干旱的变化趋势:晋城地区的干旱呈现出增强的趋势,年平均 SPEI 指数以 0.083/10a 的速度下降;从干旱的发生情况来看,进入 21 世纪之后,干旱的发生情况要明显增多。

4) 干旱发生的周期性:晋城地区的干旱发生存在两个明显特征时间尺度:2~4 a 和 8~12 a,其中以 8~12 a 尺度周期变化表现最明显。

参考文献

- [1] 袁文平,周广胜. 标准化降水指标与 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.
- [2] 杨世刚,杨德保,赵桂香,等. 三种干旱指数在山西省干旱分析中的比较[J]. 高原气象, 2011, 30(5): 1406-1414.
- [3] 温克刚,刘庆桐,郭慕萍,等. 中国气象灾害大典(山西卷)[M]. 北京:气象出版社, 2005.
- [4] Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., Lorenzo-Lacruz, J., et al. (2010) A Multi-Scalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, **23**, 1696-1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- [5] Vicente-Serrano, S.M., López-Moreno, J.I., Lorenzo-Lacruz, J., et al. (2011) The NAO Impact on Droughts in the Mediterranean Region. *Advances in Global Change Research*, **46**, 23-40. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1372-7_3
- [6] 尹晗. 中国西南地区干旱气候特征及 2009-2012 年干旱分析[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2013.