辽宁省旱涝灾害与太阳黑子活动的相关性

韩晓敏，延军平，李敏敏，吴梦初

（陕西师范大学 旅游与环境学院，陕西 西安 710062）

摘　要：应用辽宁省 1956—2011 年 22 个气象台站的逐月降水资料，通过 Z 指数确定了该地区的旱涝等级及发生年份；采用频率分析法分析了太阳黑子极值年附近的旱涝特征；运用 Morlet 小波分析技术，对辽宁省近 56 a 来降水 Z 指数与太阳黑子的小波系数变化进行了分析。结果表明：（1）该地区近 56 a 中旱涝发生频率基本相等，旱涝情况整体趋势为由涝转旱，尤其是进入 21 世纪后，旱灾发生次数明显增多，呈现干旱化现象。（2）各年太阳黑子数与该地区的 Z 指数整体上呈负相关关系；该地区在太阳黑子峰值年或峰值年附近易出现旱年，在太阳黑子谷值年或谷值年附近易出现涝年。（3）太阳黑子与 Z 指数在 7～11 a 有较好的对应关系，太阳黑子的活跃期对应降水偏少期，太阳黑子的低谷期对应降水丰沛期，说明太阳黑子的变化对辽宁省降水有较大的影响，未来几年处于太阳黑子的活跃期附近，为降水偏少期。

关键词：旱涝灾害；太阳黑子；小波分析；辽宁省

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2014)03-0231-05　　**中图分类号**：P468.0，S421

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.03.046

Correlation Between Drought and Flood Disasters and Sunspot Activities in Liaoning Province

HAN Xiao-min, YAN Jun-ping, LI Min-min, WU Meng-chu

(*College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*)

Abstract: Applying the monthly precipitation data of 22 stations in Liaoning Province from 1956 to 2011, the grads and years of droughts and floods were determined by Z index. Characteristics of droughts and floods nearby the sunspot extreme years were analyzed by frequency analysis method. Morlet wavelet analysis was made to analyze the changes of the Z index and sunspot. Results show that: (1) The frequency of droughts and floods was the same in the province in the past 56 years. The overall trend was from flood to dry, especially when entering in the 21 century. The drought frequency increased significantly, showing a drought phenomenon. (2) The sunspot number and the drought and flood phenomenon in Liaoning Province showed a negative relationship. The area appeared to be a drought year in sunspot peak and a flood year in sunspot valley. (3) There was a relationship between the drought and flood cycle and sunspot cycle in 7～11 years, and the change of sunspot number influenced the droughts and floods in Liaoning Province. In the next few years, sunspots will be near the active period and precipitation will decrease correspondingly.

Keywords: drought and flood; sunspot number; wavelet analysis; Liaoning Province

近年来在全球气候变暖的大背景下，极端气候事件频发。据统计，平均每年气象灾害造成的直接经济损失高达全国 GDP 的 3%～6%，旱涝为对中国农业生产影响最严重的自然灾害[1]。马建勇等[2]通过对影响辽宁省粮食作物产量因素的研究发现，旱涝占主导地位。造成旱涝灾害的原因是多方面的，其中太阳活动这个因素越来越受到学术界的重视，太阳黑子活动对地球气候、水文的变化会有一定的调制作用，这种作用有时间和区域特性[3]。区域特性表现为地球上不同区域的雨量在同一时期里与太阳黑子数的峰谷变化有不同的关系。赵娟等[4]应用小波分析，研究了太阳黑子活动与北京地区降水的关系，认为太阳黑子活动与北京地区年降水量密切相关；董立峰等[5]研究黄河三角洲旱涝灾害与太阳黑子的关系时发现黄

收稿日期：2013-07-05　　**修回日期**：2013-08-09

资助项目：国家自然科学基金项目“部分重大自然灾害的时空对称性：结构、机理与适应对策”(41171090)

作者简介：韩晓敏(1988—)，女(汉族)，山西省长治市人，硕士研究生，研究方向为全球气候变化与灾害防治。E-mail：hanxiaominsnnu@163.com。

通信作者：延军平(1956—)，男(汉族)，陕西省绥德县人，博士，教授，博士生导师，主要从事区域自然灾害和区域开发研究。E-mail：yanjp@snnu.edu.cn。

河三角洲在太阳黑子谷年附近易发生洪涝灾害，而在太阳黑子峰年附近则易发生旱灾；赵小娟等[6]对秦岭南北旱涝灾害诱灾因子的研究发现关中陕南地区旱涝指数与太阳黑子呈正相关，大致上呈 11 a 周期左右。

目前，对辽宁省旱涝特征本身进行研究的文章甚多，但是对该地区旱涝变化与太阳黑子的相关性研究的文章较少。因此文中采用降水 Z 指数，频率分析，Morlet 小波分析等方法对太阳黑子活动与辽宁省旱涝灾害的关系进行了详细分析，以期为该地区人民的农业生产、生活以及为当地部门及时制定科学有效的救灾防灾措施提供理论帮助。

1 研究区概况

辽宁省位于中国东北地区的南部，地理坐标为 118°50′—125°47′E，38°43′—43°29′N。地处东北亚地区的中心部位，南临渤海、黄海，西南与河北省交界，西北与内蒙古自治区毗邻，东北与吉林省接壤，东南隔鸭绿江与朝鲜半岛相望。辽宁省地势大体为北高南低，从陆地向海洋倾斜；山地丘陵分列于东西两侧，向中部平原倾斜。地貌划分为 3 大区：东部山地丘陵区，西部山地丘陵区，中部平原。气候属于北温带大陆性季风气候，日照丰富，春秋季短，四季分明，年降水量 714.9 mm，无霜期平均为 130 d，年平均气温在 5.4～11 ℃。

2 资料来源与方法

2.1 资料来源

根据气象资料的完整度，本文选取了辽宁省 22 个站点 1956—2011 年的逐月平均降水量，资料来源于中国气象科学数据共享服务网、辽宁气象局。太阳黑子相对数年平均值取自网站 http://sidc.oma.be/index.php3。

2.2 研究方法

主要应用 Z 指数[7-8]，Morlet 连续复小波变换[9-11]，气候倾向率及其他数理统计方法进行分析。

2.2.1 降水 Z 指数 由于某一时段的降水量一般不服从正态分布，而是服从 Person Ⅲ 型分布，Z 指数能够消除降水量平均值不同的影响，对降水量进行处理而得到服从标准正态分布的序列，对旱涝程度具有良好的反应能力[12]。现假设该地区降水量服从 Person Ⅲ 型分布，对降水量 R 进行正态化处理，可将概率密度函数 Person Ⅲ 型分布转换为以 Z 为变量的标准正态分布，其转换公式为：

$$Z_i=\frac{6}{C_s}\left(\frac{C_s}{2}\varphi_i+1\right)^{1/3}-\frac{6}{C_s}+\frac{C_s}{6} \tag{1}$$

式中：C_s——偏态系数；φ_i——标准变量。C_s，φ_i 均可由降水资料序列计算求得，计算公式为：

$$C_s=\frac{\sum_{i=1}^{n}(R_i-\bar{R})^3}{n\sigma^3} \tag{2}$$

$$\varphi_i=\frac{R_i-\bar{R}}{\sigma} \tag{3}$$

式中：$\bar{R}$——降水系列的累年平均值（$\bar{R}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}R_i$）；$\sigma$——即降水系列的标准差（$\sigma=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(R_i-R)^2}$）；$R_i$——各年平均降水量。

通过对辽宁省 22 个气象站点 1956－2011 年 Z 指数进行计算，根据表 1 确定辽宁省各地的旱涝等级。发现每级的理论频率和实际频率均较为接近，表明该 Z 指数等级划分标准能够反映实际情况，可以用于研究辽宁省的旱涝气候变化特征。

表 1 Z 指数旱涝等级划分标准及辽宁省 1956－2011 年旱涝实际出现频率

旱涝等级	类型	Z 值范围	理论频率/%	实际频率/%
1	重涝	$1.645\geqslant Z$	5	5.36
2	大涝	$1.036\ 7\leqslant Z<1.64\ 5$	10	8.93
3	偏涝	$0.524\ 4<Z<1.036\ 7$	15	14.29
4	正常	$-0.524\ 4\leqslant Z\leqslant 0.524\ 4$	40	41.07
5	偏旱	$-1.036\ 7<Z<-0.524\ 4$	15	16.07
6	大旱	$-1.645\ 0<Z\leqslant -1.036\ 7$	10	10.71
7	重旱	$Z\leqslant -1.645\ 0$	5	5.36

2.2.2 Morlet 连续复小波变换 时间序列的周期演变是自然和社会中常见的现象，年内、年际降雨和温度的变化都表现出明显的周期性。在气候诊断中，广泛使用的傅里叶变换可以显示出气候序列变化不同尺度的相对贡献；小波变换不仅可以给出气候序列变化的尺度，还可以显现出变化的时间位置。目前，小波分析已广泛应用于气象和气候序列的时频结构分析中，研究成果显著。本文选用 Morlet 连续复小波变换对辽宁省 1956—2011 年的 Z 指数时间序列进行周期性分析，其形式为：

$$\varphi(x)=\mathrm{e}^{-x^2/2}\cdot\mathrm{e}^{\mathrm{i}w_0x} \tag{4}$$

式中：$\varphi(x)$——基本小波或母小波；x——时间；w_0——常数。小波系数实部反映了给定时间和尺度下，相对于其他时间和尺度信号的强弱和位相两方面的信息。

3　结果与分析

3.1　旱涝频次分布

根据表 1 中旱涝等级标准,将辽宁省 1956—2011 年的旱涝指数进行分级(图 1)。由图 1 可知,该地区旱涝情况整体趋势为由涝转旱。由年降水量 5 a 滑动平均值可以看出,20 世纪 50—60 年代末期,该地区以雨涝为主;70—80 年代初期正常年份居多; 80—90 年代后期旱涝交替出现,且旱灾多于涝灾;进入 21 世纪后,旱灾发生次数显著增多,呈现干旱化现象。

由表 2 可知,辽宁省在近 56 a 来共发生旱灾 18 次,涝灾 16 次,两者发生次数几乎相等。统计其各级发生年份,发现该地区发生重旱、重涝各 3 次,分别占 56 a 中的 5.36%;大旱 6 次,所占比例为 10.71%;大涝 5 次,占 8.93%;偏旱 9 次,所占比例为 16.07%;偏涝 8 次,占 14.29%。

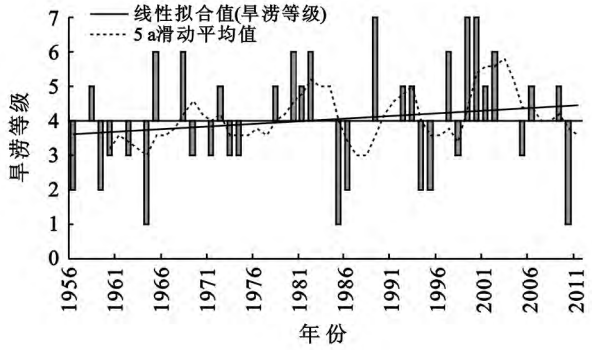


图 1　辽宁省 1956－2011 年旱涝指数等级变化

表 2　1956－2011 年辽宁省旱涝年份分布

干旱等级	发生年份								
重涝	1964	1985	2010						
大涝	1956	1959	1986	1994	1995				
偏涝	1960	1962	1969	1971	1973	1974	1998	2005	
偏旱	1958	1972	1978	1981	1992	1993	2001	2006	2009
大旱	1965	1968	1980	1982	1997	2002			
重旱	1989	1999	2000						

3.2　太阳黑子相对数与辽宁省旱涝灾害的关系

3.2.1　太阳黑子相对数的变化特征　根据国际上的规定,以 1755 年作为第一个太阳黑子周的开始,依次排列。1956—2011 年 56 a 间共经历了从 1954 年开始的第 19,20,21,22,23 个太阳黑子活动周并且正在经历第 24 个周期[13]。其中共出现 5 个 M 年(根据瓦尔德迈尔对太阳黑子周期的描述用 M 和 m 分别表示各个周期中太阳黑子数的极大值年和极小值年的年份),分别是 1957,1968,1979,1989 和 2000 年; 5 个 m 年,即 1964,1976,1986,1996 和 2008 年(图 2)。太阳黑子的谷值年和峰值年,也是太阳辐射的一种异常变化,在其数量上主要有 11,22,90,180 a 的变化周期[14]。

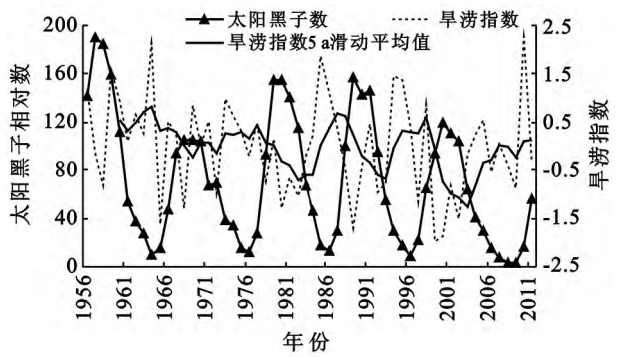


图 2　辽宁省 1956－2011 年旱涝指数与太阳黑子的相关关系

3.2.2　太阳黑子活动与辽宁省旱涝相关性分析　从近 56 a 来太阳黑子活动与辽宁省 Z 指数的相关性分析可以看出:(1) 整体上各年太阳黑子数与该地区的 Z 指数呈反相关关系,太阳黑子相对数越大,Z 指数越小,即发生干旱的可能性越大;反之,太阳黑子数越小,Z 指数越大,发生洪涝的的可能性越大。(2) 20 世纪 50 年代中期到 60 年代中期辽宁省旱涝指数与太阳黑子数呈明显的负相关关系,60 年代后期到 70 年代中期二者关系不太明显,70 年代后期到 90 年代初期又呈现负相关,1991—1993 年二者呈现正相关关系,之后又呈现负相关。2009 年为太阳黑子的谷值年,到 2011 年旱涝指数达到最大,出现了 2 a 的滞后现象。

3.2.3　太阳黑子极值年附近的旱涝特征　为了便于统计分析,对太阳黑子极小值年和极大值年附近的旱涝指数进行了统计(表 3)。辽宁省在太阳黑子数极小值年前后的 15 a 中,共有 4 a 出现涝灾(2 次重涝、2 次大涝),3 a 出现旱灾(1 次偏旱、2 次大旱),涝灾占 15 a 中的 26.7%,旱灾占 20%,涝灾多于旱灾,旱涝灾害年份与正常年份基本相当;在太阳黑子数极大值年前后的 15 a 中,共有 8 a 出现旱灾(3 次重旱、2 次大旱、3 次偏旱),2 a 出现涝灾(1 次偏涝、1 次大涝),旱灾占 15 a 中的 53.3%,涝灾占 13.3%,旱灾远远多于涝灾。可见,太阳黑子数极小值年前后出现涝灾的频率较大;太阳黑子极大值年前后出现旱灾的频率较大。

表 3 辽宁省太阳黑子极值年附近的特征

旱涝级别	极小值年 m 附近					极大值年 M 附近					
	$m-1$	m	$m+1$	小计	所占比例/%	所占比例/%	$M-1$	M	$M+1$	小计	
重涝	1	1	0	2	26.7	0	0	0	0	13.3	
大涝	1	1	0	2	—	1	0	0	1	—	
偏涝	0	0	0	0	—	0	0	1	1	—	
正常	3	3	2	8	53.3	2	2	1	5	33.3	
偏旱	0	0	1	1	20	1	0	2	3	53.4	
大旱	0	0	2	2	—	0	1	1	2	—	
重旱	0	0	0	0	—	1	2	0	3	—	
合计	5	5	5	15	100	5	5	5	15	100	

注：M 和 m 分别表示各个周期中太阳黑子数的极大值年和极小值年的年份。

进一步分析太阳黑子数极值与旱涝等级（旱涝等级越大，其所在年份越旱）的相关性发现（图 3），太阳黑子数极值与旱涝等级呈正相关，太阳黑子数越大，旱涝等级越高，干旱程度越大；太阳黑子数越小，旱涝等级越低，雨涝程度越大。在太阳黑子 5 个峰值年中，1968，1989，2000 年当年，该地区旱涝等级为 6，7，即达到重旱与大旱的程度，1957，1979 年太阳黑子达到峰值年时，旱涝等级在 1958，1980 年才达到波动曲线的峰值，即在峰值附近下降段出现，有 1 a 左右的滞后性；在太阳黑子 5 个谷值年中，除 2008 年（太阳黑子达到谷值年，旱涝等级在 2010 年达到谷值）以外，其余各年旱涝等级均在太阳黑子谷值年之前 1～3 a 达到谷值，即在谷值附近下降段出现。

综上所述，该地区在太阳黑子峰值年或峰值年附近易出现旱年，在太阳黑子谷值年或谷值年附近易出现涝年，这与李可军等[15]的研究结果一致。在黑子峰值年份，中纬度雨量较少，旱年居多。2009 年进入太阳黑子第 24 周，目前正处于峰值附近阶段，发生旱年的概率较大。因此，辽宁省应该做好抗旱准备，及时启动干旱预警紧急方案，开展抗旱工作；必要时进行人工增雨，尽可能减少干旱带来的损失。

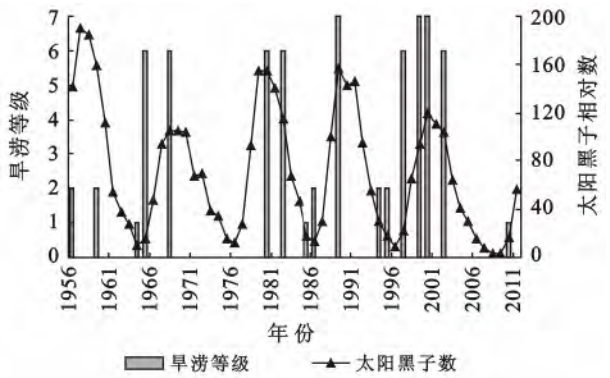


图 3 重旱、重涝，大旱、大涝与太阳黑子活动的关系

3.3 辽宁省旱涝指数的小波分析

辽宁省年降水 Z 指数与相应年份太阳黑子小波系数的对比结果如图 4 所示。

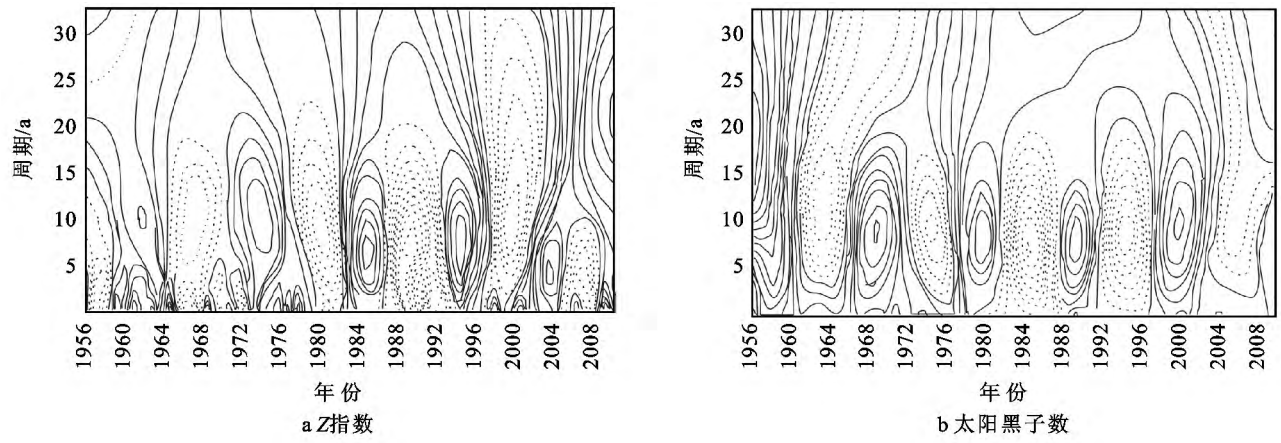


图 4 1956－2011 年辽宁省 Z 指数和太阳黑子数小波分析

注：Z 指数小波系数的实线表示涝，虚线表示旱；太阳黑子小波系数的实线表示峰值期，虚线表示低谷期。

由图 4a 可以看出，辽宁省旱涝指数存在 7～12 a，20 a 左右的准周期变化。其中在对应于 7～12 a 左右的 Z 指数演变，主要存在 5 个时间尺度的交替，它们分别是 1960—1965，1972—1977，1985—1988，

1993—1998,2005—2011 年的降雨充沛期和 1956—1960,1966—1971,1979—1984,1989—1993,1999—2004 年的降水偏少期。

由图 4b 可以看出,太阳黑子存在 8～11,17～22 a左右准周期变化。其中太阳黑子在 8～11 a 的周期交替过程中存在两个活动期:(1) 黑子活动活跃期:1956—1961,1968—1972,1978—1982,1989—1992,1999—2003 年;(2) 黑子活动低谷期:1962—1967,1973—1976,1984—1988,1994—1998 和 2005 年至今。

综合分析可得,太阳黑子与 Z 指数在 7～12 a 有较好的对应关系,太阳黑子的活跃期对应降水偏少期,太阳黑子的低谷期对应降水充沛期,说明太阳黑子的变化对辽宁地区降水有较大的影响,未来几年处于太阳黑子的活跃期附近,降水为偏少期。

4　讨 论

虽然总体上太阳活动对气候的影响已被学术界公认并已取得许多研究成果,但由于气候系统的复杂性,使得太阳活动对各地区气候的影响构成一幅十分复杂的图案。辽宁省的旱涝灾害与太阳黑子活动也并不完全对应,这说明旱涝变化除了受太阳黑子活动影响外还受其他因素的影响。研究表明,厄尔尼诺,拉尼娜事件是低纬度海气相互作用的强年季气候信号,是造成全球气候异常的重要因子[16]。另外,气候异常还受到多种局地因素和人类活动的影响。因此对辽宁省旱涝灾害的影响因素还有待于进一步深入研究。本文从年尺度分析了辽宁省旱涝与太阳黑子活动的相关性,辽宁省属于北温带大陆性季风气候,其降雨量集中在夏秋两季,有待于我们从季尺度进行深入分析。

5　结 论

(1) 辽宁省近 56 a 中旱涝发生频率基本相等,旱涝情况整体趋势为由涝转旱,尤其是进入 21 世纪后,旱灾发生次数显著增多,呈现干旱化现象。辽宁省在近 56 a 来共发生旱灾 18 次,占 32.14%;发生涝灾 16 次,占 25.28%,两者发生次数几乎相等。

(2) 通过分析太阳黑子数与 Z 指数的相关性发现,各年太阳黑子数与该地区的 Z 指数整体上呈反相关关系:太阳黑子相对数越大,Z 指数越小,即发生干旱的可能性越大;反之,太阳黑子数越小,Z 指数越大,发生洪涝的的可能性越大。

(3) 在太阳黑子数极大值年前后的 15 a 中,旱灾占 53.3%,涝灾占 13.3%,旱灾远远多于涝灾;太阳黑子数极小值年前后,涝灾占 26.7%,旱灾占 20%,涝灾多于旱灾。该地区在太阳黑子峰值年或峰值年附近易出现旱年,在太阳黑子谷值年或谷值年附近易出现涝年,目前正处于峰值附近阶段,发生旱年的概率较大。

(4) 经小波分析发现,太阳黑子与 Z 指数在 7～11 a 有较好的对应关系,太阳黑子的活跃期对应降水偏少期,太阳黑子的低谷期对应降水丰沛期,说明太阳黑子的变化对辽宁地区降水有较大的影响,未来几年处于太阳黑子的活跃期附近,降水为偏少期。

[参 考 文 献]

[1] 章国材.防御和减轻气象灾害:2006 年世界气象日主题[J].气象,2006,32(3):3-5.

[2] 马建勇,许吟隆,潘婕.东北地区农业气象灾害的趋势变化及其对粮食产量的影响[J].中国农业气象,2012,33(2):283-288.

[3] 王家龙,孙静兰.太阳活动及其对地球环境的影响[J].第四纪研究,2002,22(6):510-522.

[4] Zhao Juan, Han Yanben, Li Zhian. The effect of solar activity on the annual precipitation in the Beijing Area [J]. Chinese Journal of Astronomy and Astro-phsics, 2004,4(2):189-197.

[5] 董立峰.黄河三角洲旱涝灾害与太阳黑子的相关性[J].滨州学院学报,2010,26(6):37-41.

[6] 赵小娟,延军平.不同诱灾因子对秦岭南北旱涝灾害影[J].灾害学,2009,24(3):57-60.

[7] 张强,鞠笑生,李淑华.三种干旱指标的比较和新指标的确定[J].气象科技,1998,28(3):248-252.

[8] 史建国,严昌荣.气象干旱指数研究方法概述[J].中国农业气象,2007,28(S):191-195.

[9] 刘贤赵,张安定,李嘉竹.地理学数学方法[M].北京:科学出版社,2009:190-202.

[10] 韩延本,韩永刚.太阳黑子相对数变化的小波分析[J].科学通报,2001,46(24):2031-2035.

[11] 徐金梧,班晓娟.基于小波分析的某些非平稳时间序列预测方法[J].电子学报,2002,29(4):566-568

[12] 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟,等.我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J].应用气象学报,1997,8(1):26-33.

[13] 窦睿音,延军平.关中平原太阳黑子活动周期与旱涝灾害的相关性分析[J].干旱区资源与环境,2013,27(8):76-82.

[14] 董安祥,祝小妮,郭慧.太阳活动与西北地区降水[J].甘肃科学学报,1999,11(4):114-117.

[15] 李可军,向福元,李建勇.中纬度地区的洪水与太阳活动关系的研究[J].云南天文台台刊,2000,2(5):34-38.

[16] 李恩菊,赵景波.厄尔尼诺/拉尼娜事件对山东省气候的影响[J].干旱区资源与环境,2010,38(3):80-84.