

近百年来关中平原旱涝振荡多尺度分析^{*}

毛明策

(陕西省气候中心, 西安 710014)

摘要:结合西安旱涝等级和关中平原洪涝记录,利用经验模态分解方法(EMD),对西安标准 SPI 降水指数进行分析,研究了 1926 - 2008 年西安标准化降水指数值(SPI)对于关中平原旱涝事件的敏感性。结果表明:西安 SPI 序列所反映的近百年来旱涝事件与洪涝记录、旱涝等级间相互印证很好,西安 SPI 指数对关中平原的旱涝年很敏感。西安 SPI 振荡呈现出多时间尺度特征,主要变化为 3 ~ 5 a 和年代际的振荡。3 ~ 5 a 体现关中平原的洪涝灾害平均特征,旱涝经历了“剧烈 - 和缓 - 剧烈”的变化,当前正在波幅较强时期,旱涝变率增大。SPI 呈现了“低 - 高 - 低”的年代际变化,体现了关中平原经历了“旱 - 涝 - 旱”交替变化,当前正处于较为干旱的时期,具有变湿的趋势,但不显著。

关键词:关中平原;旱涝振荡;标准化降水指数;经验模态分解

中图分类号:P426.616

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)03-0040-04

The Multiple Scale Analysis of Wet and Drought Oscillation in Guanzhong Plain during Last Hundred Years

MAO Ming-ce

(Shaanxi Climate Center, Xi'an 710014, China)

Abstract: The sensitivity of standard precipitation index (SPI) of Xi'an to wet and drought events in Guanzhong plain is studied, combining with the index of wet and drought and flood disasters in the Guanzhong plain from 1926 to 2008, and the SPI of Xi'an is analyzed by empirical mode decomposition (EMD). The results show: in the last hundred years, wet and drought events described by SPI of Xi'an and flood records and wet and drought index match well, which indicates that the SPI is pretty sensitive to the wet and drought events in Guanzhong plain; the oscillation of SPI has multiple scale, major variations are 3 ~ 5 a and inter-decadal scale. The scale of 3 ~ 5 a indicates the normal state of flood, and shows the alternation of wet and drought suffers severe-moderate-severe procedure, and now is strong position, this means the alternation is unstable. The variations of inter-decadal scale show low-high-low circle, suggesting an alternation of drought-wet-drought, and indicates now is drought period, but there is a wet trend without pass the statistics test.

Key words: Guanzhong plain; wet and drought oscillation; standard precipitation index; empirical mode decomposition

关中地区位于陕西省中部,南依秦岭,北界黄土高原,西起宝鸡峡,东到潼关,总面积 39 064.5 km²,是我国重要的农业生产区。为了提高区域粮食安全水平,陕西省计划未来 10 a 把关中平原和汉中盆地建设成为陕西省旱涝保收、高产稳产的粮食生产核心区。而关中处于季风边缘气候敏感区,年降水量

变率大,干旱与洪涝发生频繁,是影响农业生产能力的主要气候因素。

旱涝事件受多种因素的共同影响,旱涝指数普遍具有非线性、非稳态和非平衡特征,这给旱涝气候诊断和预测带来了极大不便,以往在对干旱指数或者等级资料进行的特征分析中,常常假设旱涝事件

^{*} 收稿日期:2009-11-01

基金项目:渭河流域气象预警中心重点项目(2009-Z1);陕西省气象局研究型业务基金科研项目(2009M-20)

作者简介:毛明策(1977-),男,陕西西安人,工程师,主要研究气候预测和应用气象。E-mail:easeurmind@qq.com

的时间序列是线性的和平稳的,从而可以应用各种方法来分析其波动周期特征。

经验模态分解方法(Empirical mode decomposition, EMD)是由 Huang 等^[1]提出的一种分析非线性非稳态信号的方法,能够对信号逐级进行曲线线性化、平稳化处理,并且是直观、基于经验和自适应的。EMD 的关键部分为经验模态分解,它可以将复杂的数据序列分解成有限的几个本征模态函数(intrinsic mode functions, IMF)。由于分解是基于数据时间尺度的自身特征,它可以应用于非线性非稳态过程^[1]。EMD 分解已经在气候^[2]、气候变化^[3]、生态^[4]等方面得到广泛应用。

本文利用 1926 - 2008 年以来 82 a 西安器测降水量值,计算近百年西安标准化降水指数(Standardized precipitation index, SPI),结合历史事件记录^[5],对照关中平原洪涝史分析成果^[6],验证 SPI 对于西安乃至关中旱涝事件的敏感性,同时基于 EMD 分解,讨论近百年西安及关中旱涝的多年变化,哪些尺度的振荡对近百年旱涝事件波动起主要作用。

1 数据与方法

1.1 数据和资料

西安测候所于 1926 年建站开始观测,陕西省气象局经过对不同历史时期观测数据进行订正,得到 1926 - 2008 年以来 82 a 西安降水量月值序列,在月值序列基础上计算年降水量。

利用已有的中国近 500 年旱涝分布图^[5],整理成西安近百年旱涝等级序列(简称旱涝等级),其中旱涝分级为 1 - 涝,2 - 偏涝,3 - 正常,4 - 偏旱,5 - 旱,起止时间为 1926 - 1979 年(图 1)。关中平原洪涝灾害的历史记录(简称洪涝记录),引自邵天杰^[6]根据历史文献整理的关中平原近 200 a 来洪涝灾害研究成果。

1.2 SPI 指数计算

SPI 是表征某时段降水量出现概率多少的指标之一,该指标适合于月以上尺度相对于当地气候状况的干旱监测与评估^[7]。由于降水量的分布一般不是正态分布,而是一种偏态分布。所以在进行降水分析和干旱监测、评估中,采用 分布概率来描述降水量的变化。标准化降水指标就是在计算出某时段内降水量的 分布概率后,再进行正态标准化处理,最终用标准化降水累积频率分布来划分旱涝等级。按照 GB/ T 20481 - 2006 原理编程计算得到历年 SPI,引用袁文平^[8]对 SPI 的旱涝分类(表 1)。

1.3 EMD 方法

采用 Huang 于 1998 年提出的经验模态分解的方法^[1],从近百年西安 SPI 序列中逐级分解出 IMF 分量,通过分析这些分量揭示原序列内在的多尺度振荡变化。分离采用筛选过程:把序列中的极大值和极小值分别用样条函数连结起来,构成上下包络线,它们的均值为 m_1 。由原序列 $SPI(t)$ 与 m_1 之差得到 h_1 :经过 K 次筛选,使得 h_1 的全部极大值都为正,极小值都为负,且局部峰谷的波形关于横轴是基本对称的,这样得到 IMF₁:

$$C_1(t) = h_{1k}(t) = h_{1(k-1)}(t) - m_{1k}(t)$$

式中: C_1 ——原序列中时间尺度最短即最高频的分量(模态),然后把 C_1 从原序列中分离出来,得到剩余序列 r_1 ,再对 r_1 重复上述过程,得到第二个 IMF 分量,如此进行下去,可以逐级分离出 IMF 分量,最后剩余一个趋势项,它可以表示序列的总趋势,详细的计算方法见^[9-10]。采用镜像法延拓两端^[11],编写 EMD 程序,对数据进行分析,计算 SPI 分解结果,提取关中平原旱涝的时间特征。

对分解得到的每个 IMF 进行谱分析,提取最大周期,并进行了检验,通过 0.05 置信度检验周期列在表 2 中。

表 1 标准化降水指数(SPI)干旱等级

等级	干旱等级	SPI
1	重涝	> 2.0
2	中涝	1.5 < SPI ≤ 2.0
3	轻涝	1.0 < SPI ≤ 1.5
4	正常	- 1.0 < SPI ≤ 1.0
5	轻旱	- 1.5 < SPI ≤ - 1.0
6	中旱	- 2.0 < SPI ≤ - 1.5
7	重旱	SPI ≤ - 2.0

2 结果与分析

2.1 SPI 对西安旱涝事件的敏感性

表征干旱的指数非常多样化,但对于一个具体的研究对象,应选合理的干旱指标, SPI 指数对于西安旱涝的敏感性如何,还需要与其它资料进行印证。

由图 1 可见, SPI 和旱涝等级对应的相当好,旱涝等级较偏旱时, SPI 偏小,指示出现干旱,而旱涝等级偏湿时, SPI 偏大,指标出现偏涝。但也有少数年份两者变化趋势不一致如 1934 年、1946 年、1961 年旱涝等级表明偏旱,同期 SPI > 0,表明无旱,查阅历史记载, 1934 年临潼、华县、岐山等夏秋两季出现洪涝^[12],而 1946 年降水量近 700 mm, 1961 年降水量 621 mm,与降水量均值相比,属于湿润年份。

同时,与邵天杰等洪涝灾害的研究结果对比可

以看出(图 2),旱涝等级表明 1923 - 1930 年是关中平原上近百年来少见的干旱时段,基本不发生洪涝灾害,SPI 指数创下自 1926 年来的极低值,表明了这段时期是近百年来最干旱的时期。

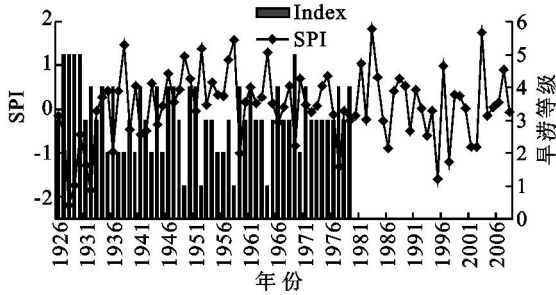


图 1 近百年西安 SPI 与旱涝等级变化动态

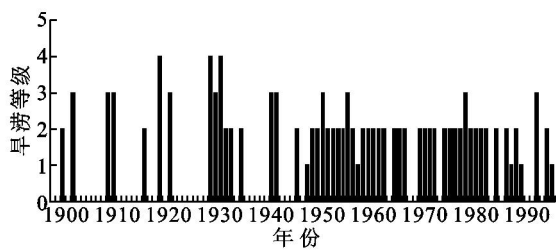


图 2 近百年关中平原旱涝特征分析

1931 - 1937 年是关中平原偏湿的时期,这个时期旱涝等级以正常到偏旱为主,SPI 指数表明部分时期处于偏湿的状态,而洪涝记录出现了一个集中暴发的特征。

1938 - 1951 年以偏旱为主,本段时期 SPI 以轻旱

- 中旱为主,旱涝等级也记录了偏旱发生,而洪涝灾害基本没发生。1944 年 3 种历史记录不能很好的印证,体现了各自对旱涝的描述能力,1944 年降水量较少,SPI 和旱涝等级都表明偏旱,关中平原却出现了洪涝,这可能与渭河流域其它区域的降水增加有关。

1952 年以后,关中进入偏湿润时段,洪涝记录表明洪涝灾害发生频繁,50 - 80 年代中期几乎每年都会发生一定级别的洪涝,SPI 也表明这一时段很少发生干旱。

1980 年后,无论是 SPI 和洪涝序列,都呈现了干旱化的趋势,对黄土高原的研究表明多数站点在半个世纪中呈现减少趋势,降水减少的突变时间大约在 1983 年^[13],同时对于西北地区东部,1990 年代干旱发生最为频繁,干旱灾害最为严重^[14]。

综上所述,西安年 SPI 指数与西安区域年旱涝等级和关中区域洪涝灾害记录匹配得很好,对西安和关中区域旱涝变化敏感,可以用来定量描述西安及关中区域旱涝变化特征。

2.2 旱涝的波动特征分析

通过 EMD 分解,西安近百年 SPI 的时间序列可分解为 9 个本征模态函数和 1 个趋势项(图 3),分解结果包括了多个时间尺度的振荡,利用最大熵谱分析,得到每个 IMF 的周期,通过 0.05 置信度检验后的周期见表 2。

表 2 西安 1926 - 2008 年来 SPI 的 EMD 分析

项目	IMF ₁	IMF ₂	IMF ₃	IMF ₄	IMF ₅	IMF ₆	IMF ₇	IMF ₈	IMF ₉	IMF ₁₀
相关系数	0.65	0.23	0.20	0.16	0.31	0.21	0.25	0.17	0.43	0.31
周期/a	3	5	28	11	17	-	-	-	83	-
方差贡献率/%	63.91	15.92	3.35	1.88	2.22	2.67	1.69	1.78	11.95	2.35

通过 EMD 分解可以得到西安近百年来 SPI 的波动特征。在图 3 上,每个 IMF 分量呈现出围绕零均值线的,局部极大值和极小值基本对称的振荡形式。它们的均值都为零,不随时间变化,因而是平稳的;振幅和频率的变化比较小,波形比原序列规整简单,非平衡性减弱了。图 3 纵坐标值表征振幅或能量(振幅的平方),从图 3 上可以看出,原序列的变化主要是由 IMF₁、IMF₂ 和 IMF₉ 三个本征模态构成的,分别反映了 3 a、5 a 和年代际的变化。对其方差贡献率的计算表明 IMF₁、IMF₂ 和 IMF₉ 三者贡献了原始波动 91.78 % 的方差,是原序列主要的波动。

IMF₁、IMF₂ 表示序列涨落时间短(约 3 ~ 5 a),是高频分量,对应了关中平原洪涝发生的平均值。对关中平原近 200 年来的洪涝灾害进行统计分析,发现关中平原共发生洪涝灾害 81 次,平均每 2.53 年发生一次^[6]。但实际上,关中平原的洪涝灾害在

不同年代有不同发生频率,因此仅用平均值来表征关中平原的洪涝特征是不够的。但是 IMF₁ 也有比平均值更有意义的特征,即 IMF₁ 表现出振幅是两端较高,中间较低,表明了近百年西安 SPI 或者旱涝经历了变化剧烈 - 和缓 - 剧烈的时期,当前正在一个波动较为强烈的时期,旱涝变率增加,年景不稳定。

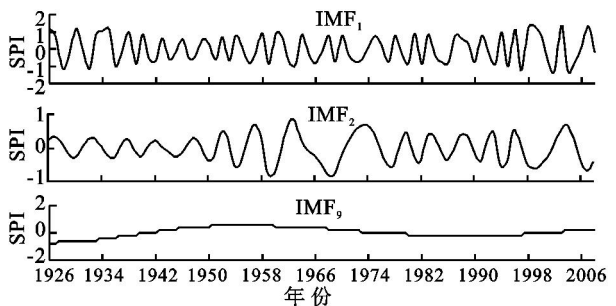


图 3 西安 1926—2008 年 SPI 的 EMD 分析

IMF₉ 表现了年代际振荡,在 1926 - 2008 年中,呈现了低 - 高 - 低的年代际变化,把近百年来西安 SPI 的变化和关中平原旱涝特征的大体走势表现很清楚。结合关中平原近百年来洪涝记录,西安 SPI 的 IMF₉ 分量波动特征表明:近百年来西安经历了旱 - 涝 - 旱的波动特征,当前正处于较为干旱的时期,并有转向湿润的趋势。

3 结 论

(1) 近百年来西安 SPI 序列所反映的旱涝事件与洪涝记录、旱涝等级间相互印证很好,表明西安 SPI 指数对关中平原的旱涝年很敏感。西安历史上出现了三个重要的旱涝时期,其中 20 世纪 20 年代是关中平原上近百年来最干旱的时期,20 世纪 30 年代偏湿,30 - 40 年代偏旱,50 - 80 年代偏湿。80 年代以后,呈现了干旱化的趋势,1990 年代干旱发生最为频繁,干旱灾害最为严重。

(2) 经过 EMD 分解,西安 SPI 振荡呈现出多时间尺度特征,主要变化为 3 ~ 5 a 和年代际的振荡。其中 3 ~ 5 a 为 SPI 的高频变化,体现了关中平原的洪涝灾害平均特征,平均特征的波幅变化表明了近百年来关中平原 SPI 或者旱涝经历了剧烈 - 和缓 - 剧烈的变化,当前正在一个波幅较为强烈的时期,旱涝变率增加,年景不稳定。

(3) IMF₉ 则体现了 SPI 年代际变化的低频特征,呈现了“低 - 高 - 低”的年代际变化,表明近百年来西安经历了“旱 - 涝 - 旱”的波动特征,把近百年来 SPI 的变化和关中平原旱涝特征的大体走势表现得很清楚,当前正处于较为干旱的时期。但近年来,西安 SPI 维持在 0 以上,出现了偏湿的趋势,这与近年来关于西北地区气候变化的研究有相似之处。进入 21 世纪以来,随着以新疆为代表的西北地区出现了向暖湿转变的气候特征^[15]。对西北地区东部降水和蒸发量的研究表明:整个西北地区及其西风带气候区、高原气候区年干湿特征呈较为显著的变湿趋势,以西风带气候区的变湿趋势最为显著,高原气候区次之^[16],但是 IMF₉ 所表明的偏湿趋势并不显著,同时对近 40 a 中国北方降水量与蒸发量变化的研究也表明西北地区东部具有变湿的趋势,但不显著^[17]。

参考文献:

- [1] Huang N E, Long S R, Wu M L C, et al. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis [J]. The royal society, 1998, 454: 903-995.
- [2] Sole J, Turiel A, Llebot J E. Using empirical mode decomposition to correlate paleoclimatic time - series [J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2007, 7: 299-307.
- [3] 孙娴, 林振山. 经验模态分解下中国气温变化趋势的区域特征 [J]. 地理学报, 2007, 62(11): 1132-1141.
- [4] 陈成忠, 林振山. 中国人均生态足迹与生物承载力变化的 EMD 分析及情景预测 [J]. 生态学报, 2007, 27(12): 2925.
- [5] 中央气象局气象科学研究院. 中国近五百年旱涝分布图集 [M]. 北京: 地图出版社, 1981.
- [6] 邵天杰, 赵景波. 关中平原近 200 年来洪涝灾害研究 [J]. 干旱区研究, 2008, 25(1): 41-46.
- [7] GB/ T 20481-2006. 中华人民共和国国家标准: 气象旱涝等级 [S].
- [8] 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.
- [9] 刘莉红, 郑祖光, 据建华. 基于 EMD 方法的我车年气温和东部年降水量序列的振荡模态分析 [J]. 高原气象, 2008, 27(5): 1060-1065.
- [10] 张真真, 林振山, 杜建丽, 等. 基于 EMD 北海道地区 50 年降水及南方涛动的分析 [J]. 安徽农业科学, 2008, 36(24): 10562-10564.
- [11] 胡维平, 莫家玲, 龚英姬, 等. 经验模态分解中多种边界处理方法的比较研究 [J]. 电子与信息学报, 2007, 29(6): 1394-1398.
- [12] 陕西省历史自然灾害简要纪实编委会. 陕西历史自然灾害简要纪实 [M]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [13] 卢爱刚. 半世纪以来黄土高原降水的时空变化 [J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 957-959.
- [14] 邓振镛, 张强, 尹宪志, 等. 干旱灾害对干旱气候变化的响应 [J]. 冰川冻土, 2007, 29(11): 14-119.
- [15] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨 [J]. 第四纪研究, 2003, 23(21): 53-162.
- [16] 王鹏祥, 何金海, 郑有飞. 中国西北地区近 44 a 气候干湿转型研究 [C] // 中国气象学会 2006 年年会“气候变化及其机理和模拟”分会论文集, 2006.
- [17] 杨建平, 丁永建, 陈仁升, 等. 近 40 a 中国北方降水量与蒸发量变化 [J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(2): 6-11.