

中国北方夏半年最长连续无降水日数的变化特征^{*1}

刘莉红¹ 翟盘茂² 郑祖光¹

LIU Lihong¹ ZHAI Panmao² ZHENG Zuguang¹

1. 中国气象局培训中心,北京,100081

2. 中国气象局国家气候中心,北京,100081

1. *China Meteorological Administration Training Center, Beijing 100081, China*

2. *National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China*

2007-08-08 收稿,2007-09-20 改回.

Liu Lihong, Zhai Panmao, Zheng Zuguang. 2008. Variations in longest consecutive dry days in warm half year over Northern China. *Acta Meteorologica Sinica*, 66(3):474-477

Abstract Daily precipitation data in northern China are selected to construct the time series of the longest consecutive dry days in warm half year (April-September) in northern China. The empirical mode decomposition (EMD) method is used to obtain intrinsic mode functions (IMFs), by which variations of the original series are analyzed on various time scales. By use of wavelet analysis and M-K method, sudden jump points of the series are detected. Results show that the drought variation was characterized by 3-4-year and 8-10-year oscillation patterns during the recent 50 years, and mainly composed of IMF1, IMF2 and IMF3. There was an increasing trend of the longest consecutive dry days in warm half year in the northern China. The longest consecutive dry days increased significantly in 1960 and 1994 in the northern China, which are close related with the occurrences of drought phenomena.

Key words Warm half year, Longest consecutive dry days, Empirical mode decomposition, Wavelet transform, Sudden jump point analysis

摘 要 利用 1951—2004 年中国北方各气象台站夏半年逐日降水资料,建立最长连续无降水日数时间序列,采用经验模态分解(EMD)求出该序列的本征模态函数(IMF),分析原序列内在的多尺度振荡变化。用小波分析原序列的突变。结果表明,连续无降水日数的变化主要是由 IMF1、IMF2 和 IMF3 这 3 个本征模态构成,3—4 a、8—10 a 尺度的振荡对整个变化起主要作用。近 50 年来,最长连续无降水日数呈线性增加趋势;显著增加的年份在 1960 年和 1994 年前后,与干旱现象的发生有紧密的联系。

关键词 夏半年,最长连续无降水日数,经验模态分解,小波变换,突变分析

中图法分类号 P467

1 引 言

在全球变暖的背景下,各种灾害性天气气候事件频繁发生,其中干旱灾害越来越受到研究者关注(王志伟等,2003;Zou Xukai, et al, 2005;马柱国等,2003;张强等,2006;翟盘茂等,2003)。一个地区在长期无降水或降水异常偏少的气候背景下,由于降

水与蒸散收支不平衡极易造成水分异常短缺的干旱现象(张强等,2006)。干旱气候的形成,终究是降水偏少和长时间无降水的结果。即使降水量较多,但如果过于集中,而无降水日数增加,同样会导致干旱。以往研究干旱问题多采用降水量和温度来构造干旱指数。有关研究认为,连续无降水日数(dry spell)可以用作表征干旱的指标之一(Frich, et al,

* 资助课题:国家重点基础研究发展规划项目“北方干旱化与人类适应”第三课题“北方干旱化进程中的阶段性转折及其可预测性研究”(2006C-B400503)与国家自然科学基金项目(40575038)。

作者简介:刘莉红,主要从事气候诊断研究。E-mail:liulh@cma.gov.cn

2002);同时,中国北方降水主要在夏半年,而夏半年是农作物的生长季,生长季内的连续无降水日数的变化情况,对于农作物的生长非常重要。据此,本文从夏半年最长连续无降水日数的角度探讨以下问题:第一,中国北方地区夏半年最长连续无降水日数的多年变化,是由哪些时间尺度的振荡变化构成的;其中,哪些尺度的振荡对整个气候变化起主要作用。这个问题在过去对连续无降水日数的研究中讨论得较少。第二,在连续无降水日数的多年变化过程中,有哪些显著增加的突变年份,它们与干旱有何联系。

2 方法和资料

针对以上两个问题,本文首先分别建立近 50 年来北方地区夏半年最长连续无降水日数的时间序列;然后采用经验模态分解(EMD)方法,求出原序列的本征模态函数(IMF)分量,据此分析原序列的不同时间尺度的振荡模态结构;采用小波分析和 M-K 方法寻找序列的突变点,讨论最长连续无降水日数的显著增加与干旱的联系。

所用资料是 32°N 以北中国北方地区各站 1951—2004 年(共 54 a)的夏半年(4—9 月)逐日降水量资料。定义无降水日为 24 h 内降水量观测记录小于 0.1 mm;最长连续无降水日数为每个夏半年中无降水日数连续出现最长的天数,建立各站的夏半年最长连续无降水日数的序列。长度 $N=54$ 。

3 结果分析

3.1 统计特征

54 a 的统计特征表明:北方夏半年最长连续无降水日数的平均值为 22 d,最大值为 29 d,最小值为 18 d。线性趋势为 0.021,略有增多。

3.2 不同时间尺度的振荡变化

经验模态分解(EMD)是揭示一个时间序列内在的多尺度振荡的有效方法。北方夏半年最长连续无降水日数(简称无降水日数)距平序列用 EMD 方法求出其 IMF 分量和趋势项,分析 IMF 分量的特征;又用趋势项和 IMF 分量逐个累加进来,得到合成序列(图 1)。

图 1a 是原序列从高频到低频分量逐级分解的过程。其中图 $1a_1$ 是距平序列,图 $1a_2-a_7$ 是它的 6 个 IMF 分量 C_1-C_6 ,图 $1a_8$ 是趋势项 C_7 。考察各分量对于原序列的相对重要性时,一是根据各分量振幅变化的量级(图 1a 的纵坐标数值);二是参照谐波分析,用方差贡献表现各分量对原序列的重要性。

结果表明, C_1 、 C_2 和 C_3 的贡献分别为 0.655、0.187 和 0.106,比 C_4 、 C_5 和 C_6 大得多。因此,无降水日数的变化主要由前 3 个较高频的振荡所决定。其中, C_1 涨落时间尺度最短(2.5—4 a),且振幅变化最大,能量最大,对原序列变化的贡献最大。 C_2 和 C_3 分别反映无降水日数的 3—4 a 和 8—10 a 的振荡变化。无降水日数的年代际变化(20—30 a 振荡)由 C_5 反映出来,呈两峰一谷的大趋势。重要的是,从 C_2 、 C_3 和 C_5 以及趋势项在 2000 年以后的综合走向来看,处于连续无降水日数的增加期,这反映出北方大部分地区的干旱化趋势。

图 1b 清晰地表现出原序列的合成(重建)过程。随着 IMF 重要分量逐个加入,累加的结果与原序列越来越接近;将全部累加起来($C_7+\dots+C_1$),合成的结果与原序列完全重合,这说明 EMD 方法的完备性。

3.3 多尺度突变分析

基于夏半年最长连续无降水日数显著增多对干旱的发生有重要作用的观点,以下着重分析无降水日数序列中显著增多(曲线上升)的突变点。对于无降水日数距平序列分别用 Mexihat 小波、Haar 小波以及 M-K 方法进行综合分析以寻找显著增大的突变点,并做显著性检验(图 2)。

结果表明,不同时间尺度下,连续无降水日数显著增大的较稳定的突变点只有 2 个:大致在 1960 年和 1994 年(图 2 的黑点)。二者分别是 2 种不同的突变形式:1960 年前后时段内日数的数值在显著增大;而 1994 年前后 2 时段虽然日数的数值涨落幅度不是很大,但均值由低到高的转变明显(图 2a 的细实线)。

4 结论与讨论

本文建立了 54 年来中国北方夏半年最长连续无降水日数的时间序列,使用经验模态分解(EMD)和其他方法,分析了北方地区无降水日数的变化趋势、起主要作用的振荡时间尺度以及日数显著增加的年份,得到的主要结论是:无降水日数序列主要是由 IMF1、IMF2 和 IMF3 这 3 个本征模态构成,这说明,3—4 a 和 8—10 a 的振荡变化对整个序列的变化起主要作用。给出了这种变化是由哪些主要的内在振荡造成的,从而深入到序列内在的多尺度振荡结构,又从合成过程清晰地观察到原序列是怎样由多尺度振荡模态生成的。50 年来中国北方夏半年最长连续无降水日数总体上呈增加趋势;日数显著增多的突变点是在 1960 和 1994 年前后。而在这

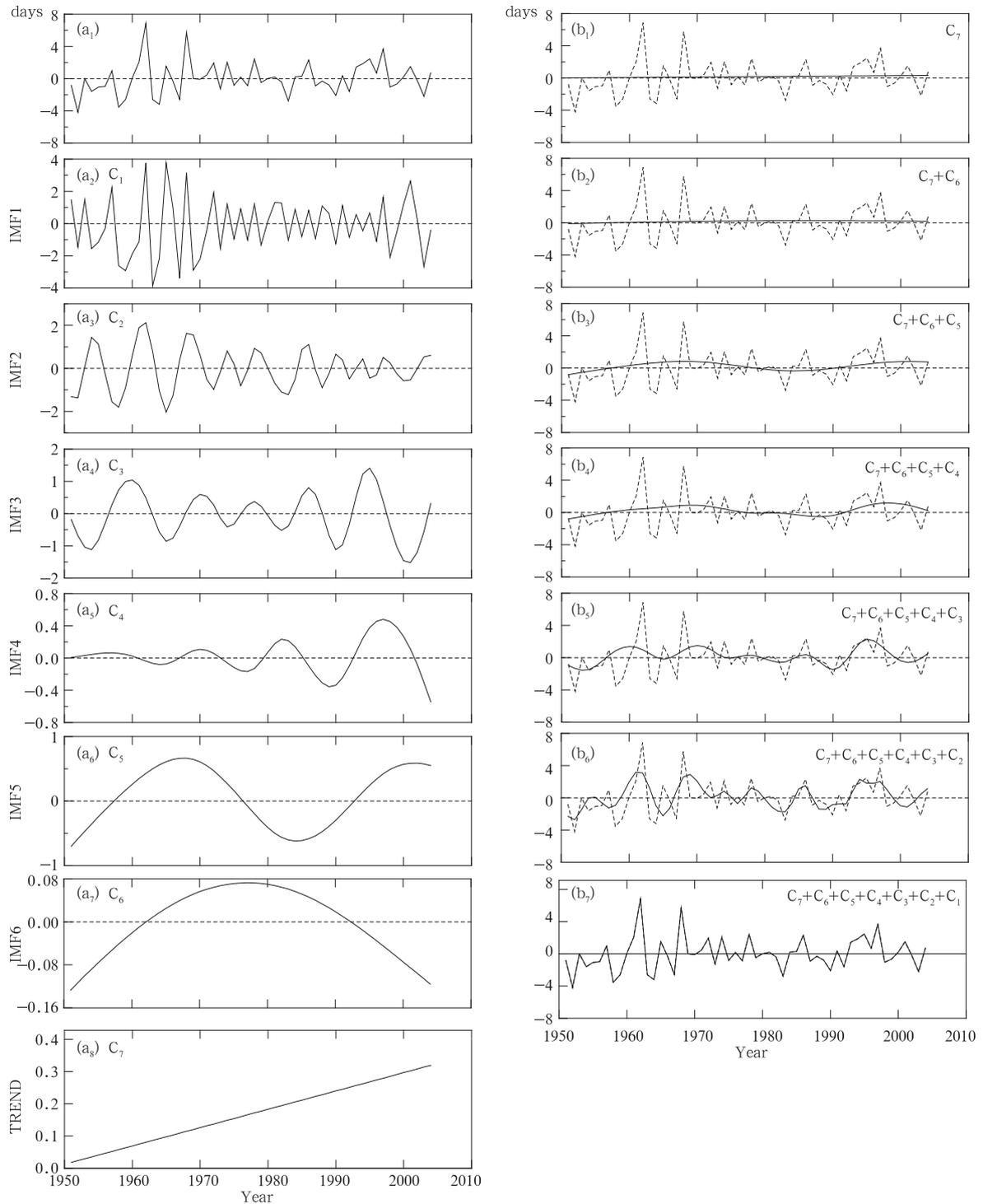


图 1 北方夏半年最长连续无降水日数的 EMD 的分解与合成

(a. 分解过程; b. 合成过程, 实线是各次合成结果, 虚线是原序列)

Fig. 1 Decomposition and reconstruction of the series of the longest consecutive dry day number anomaly in warm half year in northern China by EMD method

(The number on the ordinate represents the anomaly of the day number, and that on the abscissa year. Panels on the left side (a) show the decomposition process, and those on the right side (b) the reconstruction process. Solid lines represent the composition and dashed lines the original anomaly series)

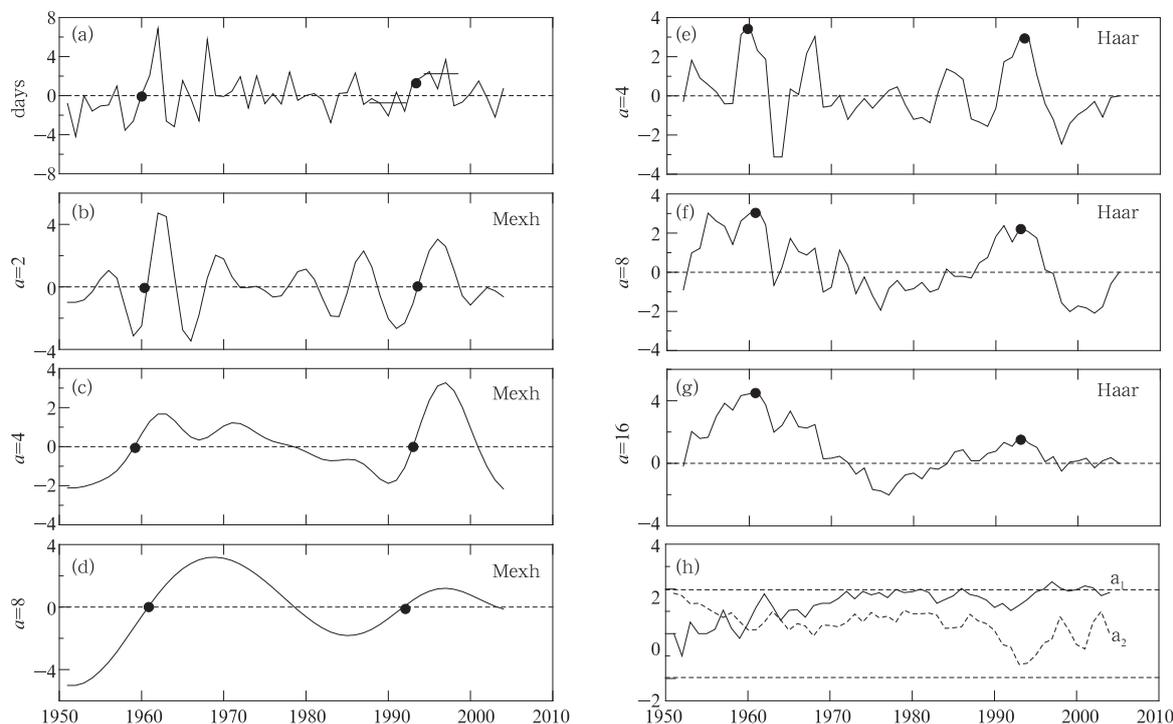


图2 北方最长连续无降水日数距平序列的突变点的综合分析

(a)距平序列,纵坐标为日数;(b)、(c)和(d)分别是 Mexhat 小波取 $a=2, 4$ 和 8 作小波变换的结果,纵坐标为小波变换系数。

(e)、(f)和(g)分别是 Haar 小波取 $a=4, 8$ 和 16 作小波变换的结果,纵坐标为小波变换系数。(h)为 M-K 方法的结果,

a_1 表示顺序统计检验曲线, a_2 表示逆序统计检验曲线,平行于横轴的两条虚线表示 5% 水平的显著性检验临界值)

Fig.2 Analysis on the jump points for the time series of the longest consecutive dry day number anomaly in northern China

((a) time series of the dry day number anomaly(the ordinate); (b), (c) and (d)/(e), (f) and (g) the results of Mexihat/Haar wavelet transform when the amplification factor= $2, 4, 8 / 4, 8, 16$, respectively(the ordinate: wavelet transform coefficient); and (h) the result of Mann-Kendall statistic test (a_1/a_2 : progressive/

retrograde series statistic test curve); two horizontal dot lines: 95% confidence limit)

两段时间里,中国北方出现了大旱。正因为连续的无降水会导致干旱的发生,所以,分析最长连续无降水日数的变化特征是有意义的。

References

- Frich P, Alexander L N, Della Marta P, et al. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Res*, 19:193-212
- Ma Zhuguo, Hua Lijuan, Ren Xiaobo. 2003. The extreme dry/wet events in Northern China during recent 100 years. *Acta Geographica Sinica*(in Chinese), 58(Suppl):69-74
- Zhang Qiang, Zou Xukai, Xiao Fengjin, et al. 2006. GB/T20481-2006, Meteorological drought grades. People's Republic of China National Standards (in Chinese). Beijing: Standards Press of China
- Wang Zhiwei, Zhai Panmao. 2003. Climate change in drought over Northern China during 1950-2000. *Acta Geographica Sinica*(in

Chinese), 58(Suppl): 61-68

Zhai Panmao, Pan Xiaohua. 2003. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century. *Acta Geographica Sinica*(in Chinese), 58(Suppl): 1-10

Zou Xukai, Zhai Panmao, Zhang Qiang. 2005. Variations in droughts over China: 1951-2003. *Geophys Res Lett*, 32: L04707, doi: 10.1029/2004GL021853

附中文参考文献

- 马柱国, 华丽娟, 任小波. 2003. 中国近代北方极端干湿事件的演变规律. *地理学报*, 58(增刊):69-74
- 王志伟, 翟盘茂. 2003. 中国北方近 50 年干旱变化特征. *地理学报*, 58(增刊):61-68
- 翟盘茂, 潘晓华. 2003. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化. *地理学报*, 58(增刊):1-10
- 张强, 邹旭恺, 肖风劲等. 2006. GB/T20481-2006, 气象干旱等级. 中华人民共和国国家标准. 北京: 中国标准出版社