

文章编号: 1006-4354 (2006) 06-0011-04

小波分析在陕西省旱涝气候预测中的应用

高 炬¹, 王繁强², 黄祖英³

(1. 陕西省气象台, 西安 710014; 2. 陕西省气象科学研究所, 西安 710014;
3. 陕西省气候中心, 西安 710014)

摘 要: 根据榆林、西安和汉中 3 个代表性测站 534 a 的旱涝资料, 利用小波变换技术对陕西不同时间尺度旱涝周期比较和诊断, 并对陕西未来的旱涝趋势作了初步分析。结果表明, 小波分析方法在旱涝气候趋势预测中具有一定的应用前景。

关键词: 小波分析; 旱涝; 气候预测

中图分类号: P456.3

文献标识码: A

陕西省下垫面性质复杂, 地形地貌特征多样化, 区域内不同地域的降水存在明显差异。除陕南外其它地区降水量仍然不足, 而且年际波动较大, 时常出现旱涝灾害, 尤其是干旱, 使得对气候变化十分脆弱的生态环境更易于向恶化方向演变^[1], 是该地区影响最大的气候灾害之一, 往往会造成严重的经济损失。不少气象工作者对陕西省旱涝气候特征进行了研究^[2,3]。为进一步了解陕西旱涝不同时间尺度上的频谱, 并用以初步预测旱涝趋势, 利用小波分析方法对陕西 3 个代表性测站(榆林、西安和汉中)的 534 a 旱涝资料进行分

析, 得到一些有意义的结果。

1 小波分析原理和方法

小波变换适用于非平稳信号的分析, 与传统的 Fourier 变换相比, 优点在于频域和时域上同时具有良好的局部化性质, 而且由于其不同的频率成分在时域上的取样步长具有调节性, 即高频小, 低频大^[4], 因此, 对高频成分采用逐渐精细的时域或空域的取样步长, 可以聚焦到任何细节, 可称为数字显微镜^[5,6]。

用 Matlab 小波工具箱提供的小波分析程序^[7], 采用 Mexican Hat (mexh) 小波函数。用

收稿日期: 2006-07-14

作者简介: 高炬 (1949-), 男, 陕西白水人, 高工, 从事天气预报工作。

$s_u(4) = \{ \langle 525.4, 547.7, 626.5, 671.6 \rangle \}$ 一个长度为 4 的极大上升子时间序列, $s_d(4) = \{ \langle 903.2, 665, 491.2, 402.8 \rangle \}$ 一个长度为 4 的极大下降子时间序列, $|s_d(4)| = 1$ 。由于最大的上升子时间序列长度为 4, 因而得到规则: “如果年降雨量连续 4 a 是上升的, 则接下来的年降雨量是下降的” 同理, 最大的下降子时间序列长度为 4, 则得到规则 “如果年降雨量连续 4 a 是下降的, 则接下来的年降雨量是上升的”。但该规则的支持度和置信度较低, 不利于实际工作中对年降雨量的预测。规则 “如果年降雨量连续 3 a 是上升的, 则接下来的年降雨量是下降的” 的支持度

为 8.3%, 置信度为 80%; 规则 “如果年降雨量连续 3 a 是下降的, 则接下来的年降雨量是上升的” 的支持度为 14.6%, 置信度为 87.5%。由此可知, 连续 3 a 降雨量的上升或下降得出的规则的置信度高, 可以在年雨量的预报或预测中作为参考。

参考文献:

- [1] 毛国君, 段立娟, 王实, 等. 数据挖掘原理与算法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 183.
- [2] 丁裕国, 汪志红. 气象数据时间序列信号处理 [M]. 北京: 气象出版社, 1998: 55-69.
- [3] 王勇, 张新政, 高向军. 时序规则发现及其算法 [J]. 计算机应用研究, 2005 (6) .

小波分析确定了时间序列中显著的周期,特别是时间序列末端的显著周期后,利用其周期的持续性,可以进行线性外推,初步预测不同周期时间序列的变化趋势。

2 资料

采用中国气象局整理的中国古气候基础数据集的 534 a 旱涝等级资料,其中 1961—2003 年为根据定义自行整理的等级资料,用 5 个等级表示各地旱涝情况,即 1 级为涝、2 级为偏涝、3 级为正常、4 级为偏旱、5 级为旱,时间间隔为 1 a。

3 相关分析

陕西省自南向北跨越了秦岭、黄土高原及其北部沙漠地区,地域之间气候特点差异较大,秦岭以南为湿润和半湿润气候区,关中平原为半湿润和半干旱气候区,黄土高原及其北部沙漠地区则为干旱气候区。首先对西安、汉中、安康、渭南、延安、榆林、宝鸡 7 站的旱涝等级进行两两相关分析,发现相同地域之间各站的相关系数均达到 0.84 以上,通过置信度 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,而不同地域之间的差别较大,如榆林和汉中的相关系数只有 0.31。所以,选汉中代表秦岭以南地区,西安代表关中平原地区,榆林代表黄土高原及其北部地区。

4 对陕西旱涝周期的小波分析

4.1 旱涝变化趋势

由图 1 可见,3 个地区 534 a 呈旱涝交替变化,存在着明显的阶段性,但也存在较大的差异。榆林的旱涝趋势曲线主体在正常值以上,说明 534 a 来陕北以旱为主;汉中相反,趋势线在正常值以下,秦岭以南地区以涝为主;西安的旱涝趋势曲线在正常值以上的部分少于榆林,在正常值以下的部分少于汉中,这说明关中平原地区旱涝交替较陕北、陕南频繁。其次,从图中趋势线可以看出,榆林由偏旱向正常方向发展,西安由偏旱向正常偏涝方向发展,汉中则由偏涝向正常方向发展。这种变化对干旱气候区的北部地区来说是有利的,对陕西的农业生产和生态建设有着重要的指示意义。

4.2 榆林的旱涝周期分析

从原序列中几乎看不到什么规律,经过小波

变换之后,可以较清楚地看到旱涝等级的时间序列中蕴含着不同尺度的振荡。随着伸缩因子 a 的增大(或减小)不同尺度的振荡被分离开来,大的 a 值对应着大尺度的振荡,小的 a 值对应着小尺度的振荡。榆林旱涝等级中包含着几种不同时间尺度的振荡,其中 38 a 左右的振荡最强,其次是 7~8 a 和 4~5 a,23~24 a 和 2~3 a 的振荡较弱。

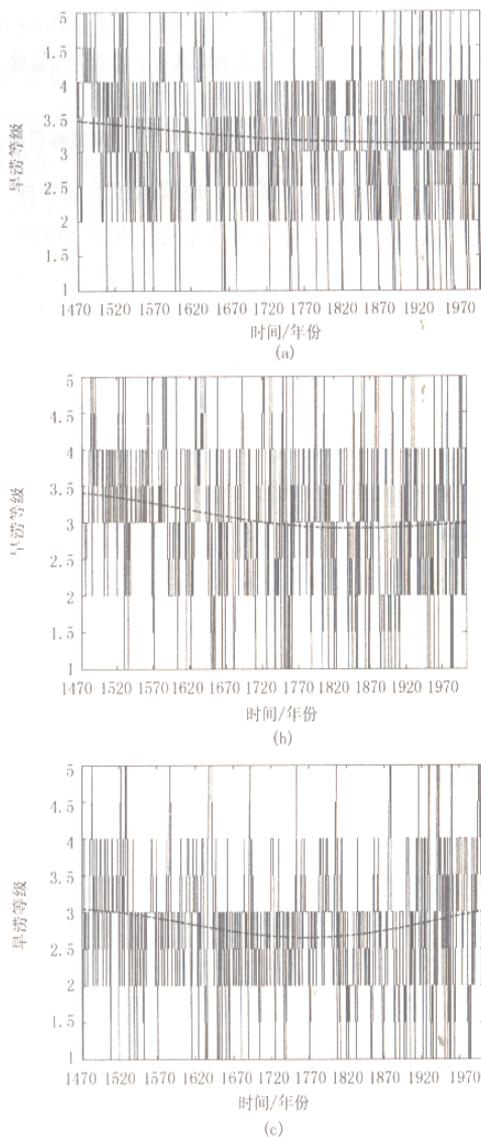


图 1 榆林 (a)、西安 (b)、汉中 (c) 旱涝等级变化曲线及旱涝演变趋势线

图 2 给出了榆林 1470—2003 年比较显著的

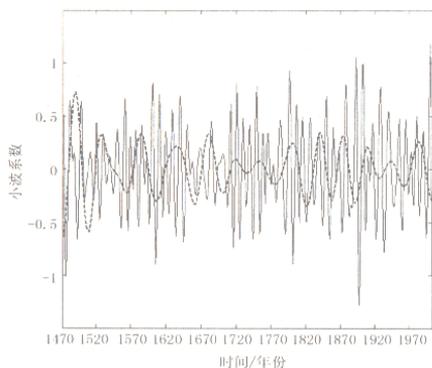


图2 榆林 38 a、7~8 a 周期的小波系数
时间序列对比图

38 a、7~8 a 周期的小波系数时间序列曲线。根据旱涝等级资料的定义,小波系数实部越小则越涝,反之越早。7~8 a 周期的小波系数曲线在整个时间段里存在 5 个振幅相对较大的区域,即 5 个旱涝显著的时段,持续时间大约在 80 a 左右,从末端趋势可看出 1980 年以后,小波系数曲线振幅变大,可认为 1980—2060 年期间榆林旱涝频度加剧,周期大致为 7~8 a。如 1994 年榆林为涝年。可以推知 7~8 a 之后即 2001 年左右榆林同样也为涝年,这与 2001、2002 年榆林出现的偏涝相吻合。榆林自 1470 年以来 38 a 周期在 1785—2003 年之间最为显著。其次是 1470—1555 年和 1623—1735 年。从图 2 中 2 个显著的周期末端趋势可以看出榆林 2000 年后以涝为主。在 38 a 周期上出现早(涝)时,都有一二个 7~8 a 周期会在这个阶段出现,可以利用低频周期的变化来对高频周期的未来趋势进行诊断。如果某高频周期的近期趋势是偏早(涝),而且某低频周期的近期趋势也是偏早(涝),那么高频周期的中期趋势必有一小涝(旱);如果某低频周期的近期趋势偏涝(旱),那么高频周期的中期趋势必有一大涝(旱),其涝(旱)的程度要强于近期涝(旱)的程度。

4.3 西安站的旱涝周期分析

从西安 534 a 旱涝等级资料 mexh 小波变换结果看,西安旱涝等级中包含着较为复杂的时间

尺度的振荡,振荡周期主要有 76 a, 48 a, 27~28 a, 24 a, 14 a, 4 a, 2~3 a, 其中 76 a 左右的振荡最强,其次是 7~8 a 和 2~3 a, 48 a、24 a、14 a 和 4 a 的振荡较弱。

图 3 给出了西安 1470—2003 年期间 76 a、7~8 a 周期的小波系数时间序列曲线。从图可看出,1970 年后,76 a 周期小波系数的振幅变大,可认为 1970—2046 年西安旱涝程度加剧,其中 1970—2008 年西安以偏旱为主,2008—2046 年以偏涝为主。7~8 a 周期的小波系数曲线在 1770 年后振幅变大,存在 3 个振幅相对较大的区域,分

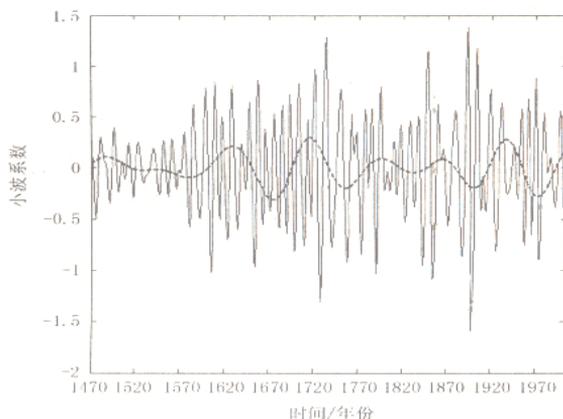


图3 西安 76 a、7~8 a 周期的小波系数
时间序列对比图

别在 1790、1890 和 1994 年前后,持续时间大约为 50 a。相邻 2 个振幅较大的时间段之间正好相差 100 a 左右,可以预计 2094 年前后旱涝加剧,周期为 7~8 a。可认为 1970—2020 年西安会有大旱和大涝的 7~8 a 周期出现。从图中 7~8 a 周期末端趋势可以推知西安在 2003—2006 年偏涝,2007—2011 年偏旱。

4.4 汉中站的旱涝周期分析

从汉中 534 a 旱涝等级资料 mexh 小波变换的结果看,汉中旱涝等级时间尺度的振荡周期主要有 38 a, 25 a, 20 a, 9~10 a, 3 a, 其中 25 a 左右的振荡最强,其次是 9~10 a、3 a, 38 a 和 20 a 的振荡较弱。

图4给出了汉中1470—2003年期间25 a、3 a周期的小波系数时间曲线。可以看出,在1470—2003年整个时间尺度上25 a周期的小波系数曲线有2个振幅较大的区间,一个在1630年前后,持续时间大约为150 a;另一个在1980年前后。9~10 a周期的小波系数曲线存在6个振幅相对较大的区域,分别在1480、1635、1725、1815、1910和1975年前后,持续时间大约为60 a。1990年以后,9~10 a周期小波系数的振幅变小,这种小振幅的波动持续10~20 a。分析9~10 a周期末端趋势可以推知汉中2000—2004年偏旱,2005—2010年偏涝。

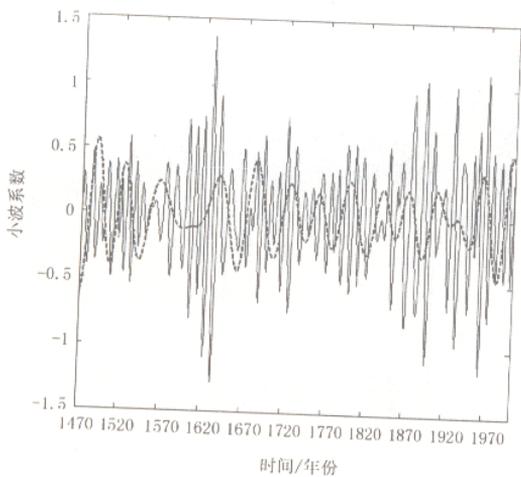


图4 汉中25 a、9~10 a周期的小波系数时间序列对比图

5 榆林、西安和汉中的旱涝周期比较

榆林主要表现为38 a、7~8 a以及4~5 a的周期,西安为76 a、7~8 a以及2~3 a的周期,而汉中为25 a、9~10 a以及3 a的周期,表明以榆林为代表的黄土高原及其以北地区、以西安为代表的关中平原地区和以汉中为代表的秦岭以南地区的旱涝变化在年际和年代际尺度上有着较大的差异。榆林和西安虽然有着相同的变化趋势以及7~8 a的周期,但它们的位相并不一致;汉中与榆林和西安的变化趋势则相反,主要表现是周期也完全不同。

6 结论与讨论

用小波分析的方法分析榆林、西安和汉中534 a旱涝资料在不同时间尺度上的旱涝周期,从而得到了关于陕西旱涝周期的一些有意义的结论:黄土高原及其以北地区的旱涝主要表现为38 a、7~8 a以及4~5 a的周期,38 a和7~8 a由显著周期线性外推可知黄土高原及其以北地区在2000年以后以偏涝为主;关中平原地区的旱涝主要表现为76 a、7~8 a以及2~3 a的周期。由7~8 a显著周期线性外推可知关中平原地区2003—2007年偏涝,2007—2011年偏旱;秦岭以南地区的旱涝主要表现为25 a、9~10 a以及3 a的周期,由9~10 a显著周期线性外推可知秦岭以南地区2000—2004年偏旱,2005—2010年偏涝。

由于不同时间尺度上的旱涝周期并不一定重合,大时间尺度的周期包含着很多中小时间尺度的周期,所以在分析其旱涝周期时要综合考虑各种不同时间尺度显著周期的相对贡献和作用。另外,还需要配合动力学气候模式才能对陕西不同地区不同时间尺度旱涝的形成机理做更深入了解和较准确的气候预测。

参考文献:

- [1] 谢金南. 中国西北干旱气候变化与预测研究[M]. 北京:气象出版社,2000:1-10.
- [2] 邓自旺,林振山,周晓兰. 西安市近50年来气候变化多时间尺度分析[J]. 高原气象,1997,16(1):82-91.
- [3] 王川,杜继稳,杜川利,等. 530年来陕北气候变化与东部地区关系分析[J]. 西北大学学报(自然科学版),2004,4:238-241.
- [4] 林振山. 气候建模、诊断和预测的研究[M]. 北京:气象出版社,1990:23-35.
- [5] 林振山,邓自旺. 子波气候诊断技术的研究[M]. 北京:气象出版社,1999:29-23.
- [6] 尤卫红. 小波分析在大气科学中的应用简介[J]. 四川气象,1998,18(4):29-32.
- [7] 胡昌华,李国华,刘涛,等. 基于Matlab的小波分析方法[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2004.