

不同分辨率空间上的杉木生长与太阳活动关系

王经民

(西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 利用 db10 小波函数, 对太阳活动和杉木年轮宽度的相对指数序列进行小波分析, 得到在不同分辨率上太阳活动的周期有 11 a, 6 a, 其中 11 a 周期是主周期。在逼近空间上, 观察到太阳活动处于上升阶段。杉木年轮宽度指数有 9~12 a 左右的生长周期和 5 a 的生长周期, 其中 12 a 周期是主周期。从逼近信息看, 23 a 来杉木年轮宽度指数随时间变化先降, 随后略有上升之势。

关键词: 小波分析; 太阳活动; 杉木年轮

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2004)03-0021-03

中图分类号: S791.27

Relationship Between Chinese Fir Growth and Solar Activity at Different Resolving Powers

W ANG Jing-min

(Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract The relationship between solar activity and the width of Chinese fir growth-rings has been analysed on the basis of wavelength. There are two periods, 11 years and 6 years, for solar activity, and two periods, 9~12 years, and 5~6 years, for the width of Chinese fir growth-rings in Fujian Province. The results of the study indicate a negative correlation between width of Chinese fir growth-rings and solar activity.

Keywords wavelength analysis; solar activity; Chinese fir growth-ring

太阳辐射和太阳活动对地球环境和生物有着直接而错综复杂的影响。太阳黑子与林木生长之间是否存在某种相关关系, 一直是林学界和气象学界忽视的问题。该问题的深入研究不仅可以丰富树木气象学研究的内容, 还可以为林木生长预报及水土保持林的动态管理和监测提供一种新的途径。杉树是我国南方的主要水土保持林和速生林。本文以杉木为例, 利用近年来迅速发展起来的称之为“数学显微镜”的小波分析工具, 在不同分辨率空间上观察太阳黑子与杉木年轮宽度的关系。发现在低频空间(能量聚集空间)上太阳黑子与杉木年轮宽度呈负相关, 在高频空间(周期空间和随机空间)也呈现出反周期性。

1 小波变换

经典的 Fourier 分析是一个应用十分广泛的数学工具, 它可以对信号在频域进行全局分析。由于信号的复杂性和多尺度性, 常常需要对信号进行局部的或时-频域同时分析, 近年来发展的小波变换为我们提供了有力的数学工具。小波变换可以根据需要对信号的某个时段以不同的分辨率同时对时-频域进行研究。最近刘俊萍等将气候变化和河川径流时间序列

作为信号, 利用小波分析研究二者之间的关系, 更加直观地揭示它们在不同尺度上的关系及镶嵌的复杂周期规律。

设 $J(x)$ 是平方可积函数, 且 $J(x)$ 的 Fourier 变换 $(J(k))$ 满足“容许性”条件

$$\int_R \frac{|J(k)|^2}{|k|} dk < +\infty,$$

则称

$$-\frac{1}{a} \int_R f(x) J\left(\frac{x-b}{a}\right) dx$$

$$a, b \in R, a \neq 0$$

为 $f(x)$ 的连续小波变换, 记为 $(W_J f)(a, b)$, 即

$$(W_J f)(a, b) = -\frac{1}{a} \int_R f(x) J\left(\frac{x-b}{a}\right) dx$$

式中: $J(x)$ ——小波函数或小波母函数; a ——尺度因子; b ——平移因子。

连续小波变换式也可通过内积表示为

$$(W_J f)(a, b) = [f(x), J_{a,b}(x)]$$

式中: $J_{a,b}(x) = -\frac{1}{a} J\left(\frac{x-b}{a}\right)$, $J_{a,b}(x)$ 表示 $J_{a,b}(x)$ 的复共轭。本文选取的是 db10 小波。

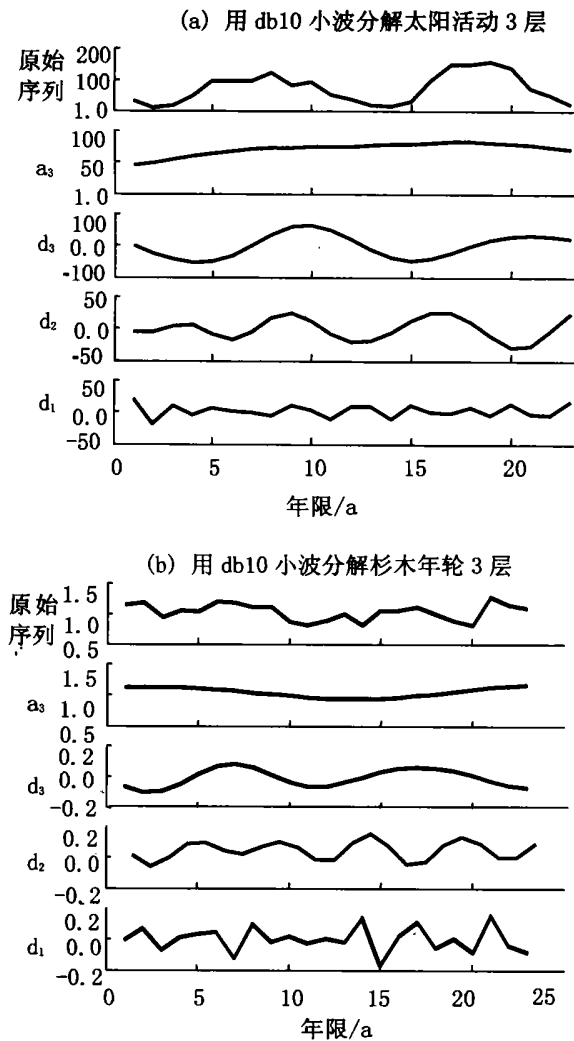


图 1 太阳活动序列与杉木年轮序列小波分解图

连续小波变换的内积表达形式可粗略地对连续小波变换作解释: 数学上的内积可表示 2 个元素的“相似”程度, 因此 $(W_J f)(a, b)$ 表示 $f(x)$ 与 $J_{a,b}(x)$ 的“相似”程度。当 $a = 2^j, b = 2^j k$ 时, 连续小波变换就变成了离散小波变换。在这里由于参数 a, b 是连续变化的, 当 $a (a > 1)$ 增大时, 小波变换表示用伸展了的 $J(x)$ 去观察 $f(x)$; 反之, 当 $a (a < 1)$ 变小时, 小波变换表示用收缩了的 $J(x)$ 去观察 $f(x)$ 的局部。当尺度因子 a 由大变小, $f(x)$ 的小波变换既反映了概貌, 也反映了细节的全部信息。从这个意义上说, 小波变换是一架“数学放大镜”, 也是“数学显微镜”。

由于记录信号的物理仪器都是有限和离散的, 因此通常采用的都是离散小波变换, 取 $a = 2^j, b = 2^j k$ 正好和计算机分辨率相吻合。事实上对信号 (或函数) $f(x)$ 作小波变换就是将 $f(x)$ 向具有不同分辨

率的子空间投影。比如, 最初记录的信号属于 V_0 空间, 那么可以将该信号分解成低频 (逼近) V_0 空间中的分量和具有 2^j 分辨率的高频 (2^j 分辨率) 空间 $W_j (j = 0, 1, 2, \dots, J-1)$ 中的分量之和:

$$V_J = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus \dots \oplus W_{J-1}$$

这里各子空间是相互正交的。小波函数就是 W_0 的基函数, 其平移构成 W_0 的正交基, 伸缩平移构成 W_j 的正交基。 W_j 就叫小波空间。本文取小波函数是 db10 小波。

$f(x)$ 在逼近空间和 2^j 分辨率细节空间上的投影分别反映了该信号在此空间上的含量成分。也就是说信号 $f(x)$ 可以看成是由逼近空间上的近似信号和各个不同 2^j 分辨率细节空间上的细节信号叠加而成的。近似 (低频) 信号反映了信号的整体发展趋势。

2 太阳活动和杉木年轮指数序列的小波变换及结果分析

树木生长年轮一面受树木本身的遗传因子作用, 另一方面受外界环境条件所制约。在两方面的作用支配下, 经过其内部生理生化的复杂过程, 树木才长高, 变粗, 枝繁叶茂。树木年轮宽度在很大程度上取决于生长条件, 其中气象因素 (日辐射、气温、降水) 起着巨大的作用。这些气象因素影响地下水位高度, 土壤水分, 有害昆虫的繁衍和蔓延, 菌病的发展等等, 后者又反过来影响树木的生长量。

水文气象因素的动态变化受到具有几种周期过程特征的太阳活动的制约, 太阳活动影响大气的强度和类型, 从而也对天气和气候并通过它们对植物生长产生作用。本文用小波分析的方法分析我国南方的水土保持林种杉树的生长与太阳黑子的关系。

对福建省龙溪 120 株树龄 28 a 的杉木解析后测算其 6~28 a 的平均年轮宽度并转化成平均年轮指数。太阳活动利用相对数年平均值, 对这 2 个序列在 MATLAB6.5 上应用 db10 小波进行 3 层分解。图 1 (a) 是 23 a 的太阳活动 db10 小波 3 层分解。图 1 (b) 是 23 a 的杉木年轮宽度指数 db10 小波 3 层分解。横坐标为时间, 纵坐标为时间尺度。除原始序列外, 还有 3 个频带, 即一个低频带, 3 个高频带。低频带表示序列趋势成分, 高频 $2^j, 2^j$ 分辨率频带表示序列周期成分, 2^0 分辨率频带表示序列随机成分。

2.1 太阳活动的小波分析

从图 1(a) 看出, 在这 23 a 里太阳活动变化呈上升趋势。在 2^2 分辨率上有 11 a 周期, 2^1 分辨率上有 6 a 周期, 2^0 分辨率上的随机成分变化一般。太阳活动就是这 4 种成分的叠加。起主要作用的是低频成分。

2.2 树木年轮宽度的小波分析

从图 1(b)可以看出,在低频空间杉木年轮宽度指数的趋势大致是先降后升。在高频空间的周期成分中,有 9~12 a 的周期,5 a 左右的周期,随机成分变化相对剧烈

2.3 太阳活动对树木年轮宽度的影响

由于太阳活动影响大气的强度和类型,从而影响气候,进而影响植物生长。那么从对太阳活动与杉木年轮宽度指数的小波分析结果来看(图 2),在 2^2 分辨率上太阳活动与树木年轮指数的周期变化成对立势态,也就是说,在 2^2 分辨率空间上太阳黑子的活动抑制杉木的生长,在 2^1 分辨率空间上太阳活动与杉木年轮宽度指数的周期变化中有 2 个周期成对立,有一个周期吻合。

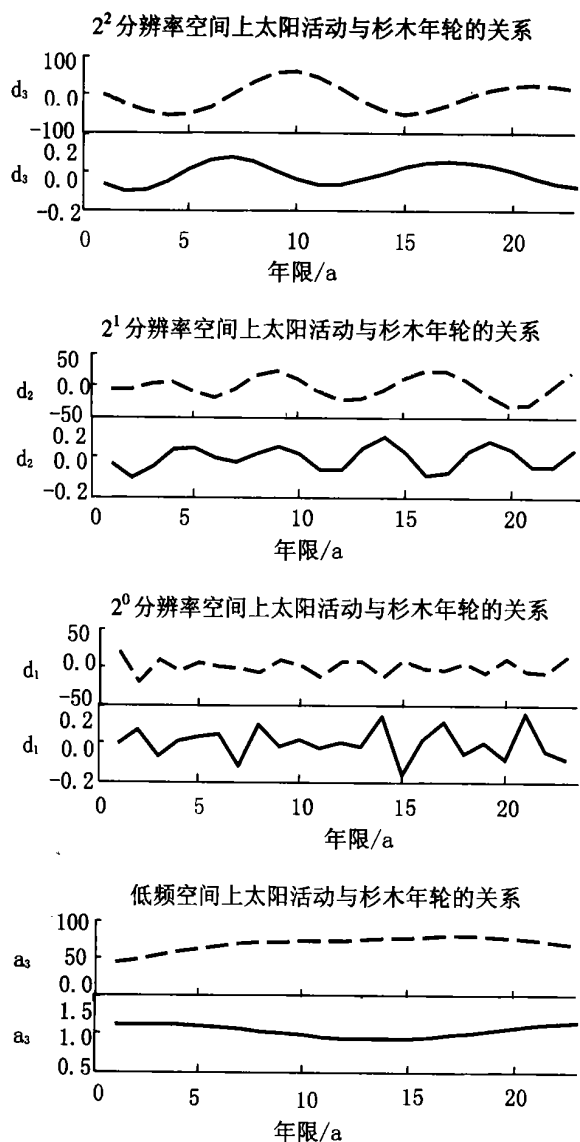


图 2 小波空间上太阳波动与杉木年轮的关系

随机成分中对立的变化也占多数。在低频空间上,太阳活动与杉木年轮指数变化趋势相反,而且低频成分对整个序列起主要作用。通过计算得到了二者在 W_2, W_1, W_0, V_0 上的相关系数分别为 0.43, -0.01, -0.53, -0.24, 对低频空间的分量进行单枝重构后,太阳活动与杉木年轮的相关系数为 -0.63。这说明福建龙溪杉木年轮宽度与太阳活动有密切的负相关关系。综合分析得到太阳活动对杉木的生长具有抑制作用。利用这种关系可对杉木生长预报,也可对水土保持林的动态管理和监测提供一种新的途径。

2.4 小波方差检验

以上分析太阳活动和杉木年轮宽度指数的周期性变化规律,在多个分辨率周期中,一般会有一个起主要作用的主周期,通过小波方差进行检验可得到主周期。小波方差的计算公式为

$$(W_1 f)(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} [(W_1 f)(a, b)]^2 db$$

小波方差 $(W_1 f)(a)$ 是一个关于时间尺度 a 的函数,它在一定程度上反映时间尺度在时频域分析中的作用大小。对太阳活动方差检验结果,太阳活动有 11 a 主周期。这只是在这 20 a 多内的表现,可能还有其它周期作用更大。对杉木年轮指数方差检验结果发现,年轮指数周期成分中 12 a 左右是主周期。

3 结 语

(1) db10 小波具有正交性、紧支性,不仅小波空间之间保持正交,且小波空间内的基保持正交,基函数在有限区间上不为零。从而系数间没有线性相关性,彼此间没有重叠信息。可提取不同层次上相互独立的低频和高频小波系数,利用这些系数可对不同时间尺度上信号进行分析与重构,研究信息演变规律。

(2) 太阳活动有 11 a 周期和 6 a 左右周期,其中 11 a 周期是主周期,在低频空间上,观察到太阳活动处于上升期。杉木生长有 9~12 a 周期和 5 a 左右的周期,其中 12 a 周期是主周期,随机信息变化较剧烈。低频空间上杉木生长曲线是下凹的。

(3) 福建龙溪杉木年轮宽度与太阳活动有密切关系,在 2^2 分辨率空间上太阳活动与杉林年轮指数的变化规律基本相对对立。在序列中起主要作用的逼近信息中,太阳活动的变化和杉木年轮指数变化呈负相关。这种负相关表现为太阳黑子对杉木生长有抑制作用。这种关系可以作为预测气候条件和树木生长量变化的基础。当然树木生长会受到诸多环境的影响,太阳黑子是其中之一。

[参考文献略]