

样条函数拟合在年轮气候学分析 中的可适用性*

吴祥定 湛绪志

(中国科学院地理研究所)

在树木年轮气候学分析中,应消除树木生长受遗传因子控制的缓慢生长趋势,进行生长量订正,使得年轮宽度序列转变成表征局地气候变化的指数序列^[1]。目前,最为广泛采用的是带尾的指数函数拟合方法,这在我国许多典型取样环境的年轮分析中,亦被证实是十分有效的^[2,3]。随着树木年轮取样的多样化,对非典型取样环境的样本,则必须采用较复杂的、多种函数形式进行订正,样条函数为其中之一。样条函数方法的应用现仍有争议,尤其是它的可适用性尚待更多资料论证。本文根据我国年轮样本的若干实例,指出在树木生长趋势较为复杂,当指数函数和多项式函数拟合效果较差的情况下,可选用50%频率响应的磨光样条函数进行拟合订正。

1. 方法与资料

按照经典年轮气候学理论,取样应在典型的取样环境中进行,那里制约树木生长的环境因子单一,如高寒的森林上限,干旱、半干旱区的林缘等。然而,近年来轮气候学研究的重大进展之一,是论证了在许多不属于上述典型取样环境中的树木生长,亦可以通过新的分析途径,从年轮变异中获得必要的气候变化信息。样条函数拟合方法正是这类途径之一。

在典型取样环境中,制约因子单一,通常用指数函数等简单的函数形式拟合进行生长量订正即可。而在非典型取样环境中,或是制约因子较为复杂,或是小环境有过较大变动,使一个地点树木的群体或部分,在生长过程中产生非气候影响的低频振荡。传统的指数函数等订正方法已难以消除这类影响,可尝试使用样条函数方法^[4]。

在年轮气候学分析中,多采用磨光样条算法^[5]。样条的尺度参数通常取序列长度的 $\frac{1}{2}$ 到 $\frac{1}{3}$ ^[6]。实际计算中,多采用拉格朗日乘子 P 来选择样条的参数。每个 P 值对应于一个样条形式,它的对数值在 $+\infty$ 与 $-\infty$ 范围内。与尺度参数相应的 P 值对数大体是在 $+2.0$ 至 -10.0 之间。

样条函数的频率(f)响应函数可由傅里叶变换计算出来,如下式所示:

$$u(f) = 1 - \frac{1}{1 + \frac{P(\cos 2\pi f + 2)}{6(\cos 2\pi f - 1)^2}}$$

在指定为50%频率响应的样条, P 值应为:

$$P = \frac{6(\cos 2\pi f - 1)^2}{\cos 2\pi f + 2}$$

本文所采用的样条函数,均以此取定 P 值进行拟合计算。

取自河南省孟津县境内靠近黄河的刘秀坟($34^{\circ}52'N$, $112^{\circ}29'E$)一组样本,正是生长于非典型取样环境中,树种均为侧柏。样本数计21个,多数在500年以上。该地点年轮序列以 MEV 为代号,在对进行分析的同时,辅以若干典型环境的样本作对比,论述用样条函数作拟合订正的可适用性。

* 本文于1989年4月10日收到,1989年7月27日收到修改稿。本文是国家自然科学基金资助项目。

2. 分 析 结 果

确定一个年轮宽度序列作生长量订正的曲线拟合形式通常分二个步骤进行:一是给出原序列每隔 10 年一组的 20 年宽度平均值变化,粗略地判断生长基本趋势;二是经过初次订正后,再衡量它与主序列变化趋势的差异,作适当调整。习惯上还常采用拟合后的平均偏差量(σ)作为判别依据之一。

所有 MEN 样本的 21 个年轮宽度序列,按生长趋势特性,大体可分为如下三类:

(1) 适合指数函数拟合的序列。

根据最初判断的生长趋势,有 9 个年轮宽度序列较符合指数曲线变化,它们多数是年代较长的,均在 500 年以上。在采用指数函数拟合的同时,也用多项式和样条函数方法进行拟合。以 σ 值大小作比较,并与主序列的基本变化型相对照,可以发现其中 6 个序列很适合指数函数拟合。若采用其它方法,则往往加大偏差量,甚至明显丢失部分气候变化信息。

(2) 适合多项式拟合的序列

尽管在不适合指数订正的序列中,几乎所有的都可以尝试作多项式拟合,但经过比较,仅 6 个序列适合。

(3) 适合样条函数拟合的序列

除上述有 12 个序列适合指数或多项式拟合外,其余 9 个序列均被证实采用样条函数拟合效果较好。这些序列中的绝大部分已显然不符合指数变化型,或是偏差量过大(超过 1.0),或是根本无法拟合出负指数曲线来,在计算机程序中就不再执行。因为,它们的拟合效果主要是与多项式拟合进行比较。

其中一些序列的基本生长趋势近于直线,如 105a, 106a, 107b, 109a 和 110b。若用多项式拟合,结果多为二阶多项式,拟合后 σ 值多与样条拟合后的值相近(参见表 1)。然而,与主序列变化趋势比较以后,可以发现样条拟合的效果更好些,对于低频气候变化趋势有较多的保留。

序列 106b 变化趋势呈“U”型,而 106c, 108b 和 110a 则近似于正弦曲线型,它们均适合于样条函数拟合,所计算的 σ 值明显比多项式拟合要小(表 1)。事实上,它们不仅拟合的偏差量最小,而且尽可能多地滤去非气候因子造成的缓慢趋势变化。以 110a 为例,在树木生长后期出现年轮宽度增大趋势,如果略去这一趋势变化,可认为接近指数曲线型。而同一地点众多年轮宽度主序列,并未出现这种明显的增大趋势,在气候记录上也找不出相应升温或多雨的记录。因此,110a 序列的这种趋势可能是树木竞争或其它小环境变异引起,属于非气候因子影响,无法用指数拟合去掉,采用样条方法显然效果较好(图 1)。

表 1 NEN 样本 9 个序列不同方法拟合结果

序列编号		105 a	106 a	106 b	106 c	107 b	108 b	109 a	110 a	110 b
年代长度		462	427	260	190	436	381	399	350	408
σ 值	指数拟合				0.834				0.802	
	多项式拟合	0.760	0.762	0.660	0.764	0.718	0.719	0.757	0.696	0.759
	样条拟合	0.780	0.763	0.641	0.749	0.714	0.686	0.752	0.685	0.757

一般说来,典型环境中所取样本的生长量订正比较简单。如西藏中部林周县境内所取样本,系海拔 4320 m 森林上限附近^[7],黄河河套包头附近所取样本,系干旱的稀疏林缘,它们绝大部分年轮宽度序列可用指数曲线拟合,仅少数用直线或其它函数(表 2)。这也清楚地表明了两类不同取样环境的生态学差异。可见,样条函数为非典型环境的年轮气候学分析提供了广泛的应用前景。

3. 结 论

(1) 凡年轮宽度序列适合指数或多项式拟合的,不宜采用样条函数方法。

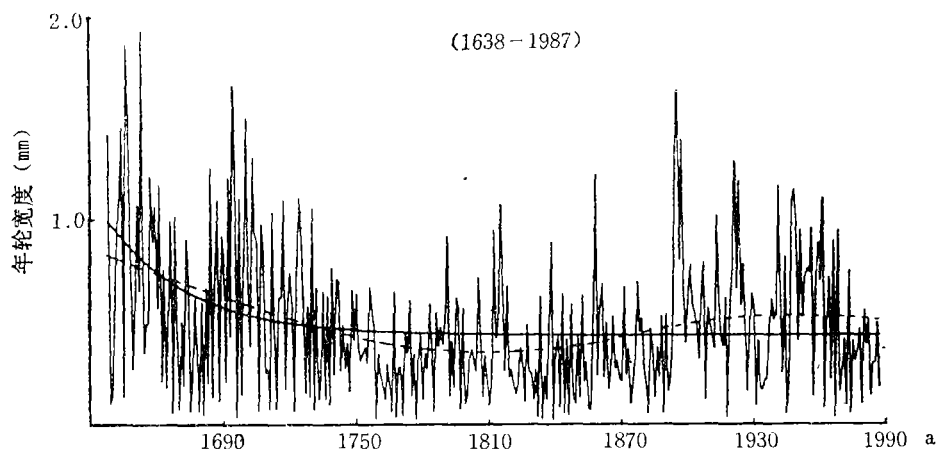


图 1 MEN 110 a 作样条函数与指数函数拟合结果的比较
(实线为指数曲线,虚线为样条曲线)

表 2 不同环境样本所作拟合方法比较

地 点		西藏中部林周县	黄河河套包头附近	黄河中游孟津县
环 境 类 型		森林上限	稀疏林缘	小片柏林
样 本 总 数		28	70	21
拟 合	指 数	24	65	6
	样 条	0	0	9
	其它函数	4	5	6

(2) 年轮宽度序列变化趋势接近“U”型和正弦曲线型,或接近直线变化时,可采用样条函数拟合,且有较好效果。

(3) 选用样条函数时,应对该地气候变化信息有尽可能多的了解,以确定是否滤去年轮序列中某些低频振荡。

(4) 非典型环境中的树木生长较为复杂,样条函数是切实有效的订正方法之一。

总之,磨光样条函数是一种可以按需要而剪裁,高度灵活的订正方法,其应用范围可以推广到任何不容易合理作出特定模式的序列。

参 考 文 献

- [1] Fritts, H. C., Tree Rings and Climate, Academic Press, London, 1976.
- [2] 吴祥定、林振耀, 西藏近代气候变化及其趋势的探讨, 科学通报, 23, 12, 746—750, 1978.
- [3] 吴祥定、林振耀, 横断山区近代气候变化的研究, 地理研究, 6, 2, 48—56, 1987.
- [4] Cook, E. D., and K. Peters, The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies, *Tree-Ring Bulletin*, 41, 45—53, 1981.
- [5] Reinsch, C. H., Smoothing by spline functions, *Numerische Mathematik*, 10, 177—183, 1967.
- [6] 吴祥定等, 树木年轮与气候变化, 气象出版社, 1990.
- [7] 吴祥定、孙力、程志刚, 若干西藏高原上树木年轮年表的建立, 科学通报, 33, 8, 616—619页, 1988.

THE APPLICABILITY OF SPLINE FUNCTION FITTING IN DENDROCLIMATOLOGICAL ANALYSIS

Wu Xiangding Zhan Xuzhi

(Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

Based on some tree-ring specimens from a site where the environment is not typical for classical sampling, the smoothing spline is adopted and its applicability is described in this paper. In fact, it is an effective approach to removing the non-climatic variance of some tree-ring width series while the growing trend appears as non-exponential pattern, such as "U" curve, sine curve and straight line, etc.