

黄河流域两类取样环境的树木年轮生长量订正分析^{*}

吴祥定 湛绪志^{**}

(中国科学院 地理研究所)
(国家计划委员会)

提 要: 黄河流域存在着两类不同的树木年轮取样环境。在典型的取样环境中, 树木生长多遵循缓慢递减的规律, 作生长量订正时, 可采用传统的树木年轮学订正方法。在非典型的取样环境中, 树木生长形式较为复杂, 可引进新的分析途径, 包括多项式函数和样条函数的应用。随样本环境的不同, 各类订正分析的适用性亦有差异。

主题词: 取样环境 生长量订正

树木年轮分析的基本程序之一乃是消除树木自身的遗传因子影响, 突出环境要素的逐年变异, 即生长量订正。

由于制约树木生长的环境因子较为单一, 在典型取样环境中获取的年轮样本, 树木自身的生长趋势往往用指数函数等简单的函数形式拟合进行生长量订正。近年来, 一些树木年轮学家发现在非典型取样环境中, 或制约因子较为复杂, 或小环境曾有较大变动, 使树木的群体或部分在生长过程中产生非环境影响的低频振荡。指数函数等订正方法已难以消除这类影响, 因而有必要引入新的分析方法, 尝试用多项式或样条函数方法进行生长量订正。

为了对不同取样环境样本进行有效的生长量订正, 有必要讨论各种订正方法的适用性。本文选择黄河流域两个地点的样本, 进行生长量订正的实例分析。

一、资料

1. 两类取样地点

黄河流域地处温带, 大部分地区为干旱半干旱气候, 部分地区较为湿润。从树木年轮气候学基本原理出发, 干旱半干旱环境中的许多树种, 可作为典型环境中的分析样本, 而较湿润地区的树木, 部分可归于非典型环境中的样本。

本文1989年8月28日收到, 1990年1月16日收到修改稿。

• 国家自然科学基金资助项目。

^{**}北京师范大学李恂参加部分工作, 河南省水文总站王鄂、王松梅参加部分取样。

典型取样环境中选取包头地区的两组样本，取样点在距包头市东北约70km的五当沟内五当召附近（40°48'N，110°20'E和40°50'N，110°21'E），海拔约1460m。属典型的大陆性半干旱气候，年降水量仅300mm左右，为稀疏林缘，未受过人工影响。自然环境在树木生长期间未发生过剧烈变化，且经受过火灾和虫灾。非典型取样环境取自黄河中游地区河南省孟津县境内刘秀坟（34°52'N，112°29'E）。该地处于由半干旱向半湿润的过渡环境，气候较湿润，年降水量约600mm左右。取样点为一小片林木，地势略突出。

2. 年轮宽度序列的差异

典型取样环境中的树木为油松，样本总数为70个钻芯（两组样本各为28及42个），年代多为200多年，编号分别为（BWN）1和（BWW）2。非典型取样环境中的树木为侧柏，样本数为21个钻芯，年代多为500年以上，编号为（MEN）1。所取样本均能满足国际树木年轮数据库关于大样本取样的要求。经过精度达到1/1000mm年轮宽度量测仪的量测，得到众多样本的年轮宽度变化序列。

表 1 两类取样环境中年轮宽度变化比较
Comparison of ring-width variation at two kinds of sites

| 取 样 环 境 | | 典 型 环 境 | | 非 典 型 环 境 |
|-------------|-------|---------|--------|-----------|
| 编 号 | | （BWN）1 | （BWW）2 | （MEN）1 |
| 样本总数 | | 28 | 42 | 21 |
| 变 化 型 | 缓慢递减 | 26 | 39 | 6 |
| | 直 线 | 2 | 2 | 5 |
| | U 或正弦 | 0 | 0 | 1 |
| | 其 它 | 0 | 1 | 6 |

上述两类年轮宽度序列存在明显的差异（见表1）。典型取样环境中的70个序列，绝大多数（占92.9%）的变化趋势均为较简单的缓慢递减型。在非典型取样环境中，缓慢递减型、直线型、“U”型或正弦曲线型以及无固定的曲线型可循的大致各占 1/4。此类样本，因对其生长量订正较为困难，以前在经典年轮气候学分析中多舍弃不用。然而它们实际又包含若干气候信息，应该设法利用。这就要求尽可能地消除年轮宽度序列中非气候因子影响的低频变化趋势，以保留尽可能多的气候信息。

二、不同的订正方法

1. 指数订正

自本世纪60年代以来，最常见的是用指数函数曲线作生长量订正。H.C. Fritts 通过大量样本的统计分析^{〔1〕}，认为年轮宽度（y）与树龄（x）的关系应符合如下指数函数形式：

$$y = ae^{-bx}$$

后来考虑到序列较长时，晚期树木年轮宽度生长趋势接近于平衡，又提出带尾的指数形式：

$$y = ae^{-bx} + k$$

式中, a 、 b 、 k 均为由原序列求解得到的常系数。这种拟合法至今仍为国内外广泛采用, 笔者等在树木年轮学典型取样环境中获取的样本, 大多数均适用^[2,3]。

包头的样本序列——(BWN) 1 和 (BWW) 2, 通过迭代拟合, 从最佳拟合效果看, 70 个序列中有 65 个序列适合指数函数拟合, 占 92.9%。

黄河中游孟津 (MEM) 1 的 21 个样本序列中, 用指数函数拟合后效果甚佳的为 6 个序列。另有 3 个序列可以用指数曲线拟合, 但效果较差。其它的就完全不适合用指数曲线拟合。表明在非典型取样环境中指数函数已不再成为树木年轮生长量订正的主要途径。

2. 多项式订正

因年轮宽度序列变化的多样化和复杂化, 近年来多采用正交多项式拟合, 其回归形式为:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n$$

式中 y 为期望年轮宽度值, x 为树龄, a_0 、 a_1 、 $a_2 \dots a_n$ 为回归系数, 最高阶数 n 随序列变化趋势的不同而取相应的值。一般说来, 在典型取样环境中的样本, 不适合指数曲线拟合的年轮宽度序列, 多可采用多项式订正。如包头的样本除适合指数拟合的外, 余下的 5 个序列用多项式拟合或直线拟合都得到满意的结果。可是, 取自非典型环境孟津县的 21 个样本中, 不适合指数拟合的年轮宽度序列多达 15 个, 虽然一般用多项式也能拟合, 但效果较佳的仅有 6 个。另外 9 个序列还应采用其它途径订正。

可见正交多项式拟合也有其不足之处, 尤其是它的高阶方程图形过于复杂, 物理意义不甚明确; 同时因其易于消除气候周期性变化的影响, 以及由于逐步递增的正交分量在回归计算中的偏差, 可能造成较大误差。

3. 样条函数订正

美国 E.D.Cook 等 (1981) 提出试用样条函数进行生长量订正, 用以挖掘年轮气候学研究潜力^[4]。近来正受到越来越广泛的重视。

在年轮气候学分析中, 多采用磨光样条算法^[5]。它是在条件

$$\sum_{i=0}^n \left[\frac{g(x_i) - y_i}{\delta y_i} \right]^2 \leq S$$

的约束下使得总的样条曲率 $g''(x_i)$ 平方和

$$\int_{x_1}^{x_2} [g''(x_i)]^2 dx$$

为最小。式中, y_i 为输入序列, δy_i 为权重序列, S 为尺度参数。

对于某个年轮宽度序列来说, 拟合的曲线应当接近年轮宽度局部平均值, 而如果使用时依赖于固定权重, 就难以达到这种结果。因此, 对于所有 i 都令 $\delta y_i = 1.0$, 于是上式就化简为一个无权重的剩余平方和的形式。给定 S 值, 就可用迭代法算得相应的线性拟合曲线。作者曾讨论过选用不同尺度参数计算出来的样条函数拟合曲线^[6]。随 S 值的减小, 拟合的程度显然愈加接近年轮宽度序列高频变化形式。实际上在作生长量订正时, 一般取尺度参数为

序列长度的 $1/2$ 到 $1/3$ 。

实际计算中,还多采用拉格朗日乘子 P 来选择样条的参数。每一个 P 值对应于一个样条形式, P 的普通对数可在 $+\infty$ 到 $-\infty$ 范围内取值。通常所有与 S 相应的 P 值对数出现在 $+2.00$ 到 -10.00 范围内,这就大大减少了计算时间。

样条函数的频率(f)响应函数可由富里哀变换计算,如下式所示:

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

在一指定频率上有50%频率响应的样条的 P 值应为: $p = 6(\cos 2\pi f - 1)^2 / \cos 2\pi f + 2$, 本文采用样条函数拟合时,即以此取定 P 值进行计算拟合。

对(BWN)1和(BWW)2中不适合指数拟合的几个较复杂的序列也曾尝试作样条函数拟合,但效果欠佳。可见,在典型取样环境中一般不需要采用样条函数拟合。

对于非典型环境的孟津县的(MEN)1,除适合指数和多项式拟合的外,其余9个序列作样条函数拟合均有比较可靠的结果。

三、不同订正方法的比较

为深入了解各种订正方法对不同类型年轮宽度序列的可适用性,有必要对不同订正方法的结果进行比较,并给出定量的判别标准。

对某一年轮宽度序列作生长量订正时,通常先给出该序列每隔10年1组的20年宽度平均值变化,粗略地判断它的变化趋势,然后选定某种函数进行曲线拟合作尝试性订正。经过初次订正以后,再衡量它们各个序列与主序列变化趋势差异,作适当调整。同时,本文还采用曲线拟合后的平均偏差量(σ)作为衡量拟合的效果之一。其中: $\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$, y_i 与

\hat{y}_i 分别为第 i 个实况值与估计值。

除了较明显的“缓慢递减型”应采用带尾指数函数作生长量订正以外,对其它类型的年轮宽度变化序列一般较难作出判断。在此,着重分析对(MEN)1地点中的若干序列,采用不同拟合方法的效果,并强调样条函数拟合方法在非典型取样环境年轮分析中的可适用性。

在(MEN)1的21个序列中,除了6个年轮宽度序列变化是较明显的缓慢递减型以外,其余分属直线型、“U”型、正弦曲线型或其它复杂的不规则形态。其中,部分可采用多项式拟合,特别是当序列变化趋势的波动振幅随树龄增大而不断减小时,往往有较好的效果。从表2可以看出,所列4个序列中3个接近缓慢递减型,经过多项式拟合后的平均偏差量都接近指数拟合效果。可见,它们都比采用样条函数拟合的效果为好。

表3比较9个序列不同方法拟合的结果,U型(106b)、正弦曲线型(106c、108b、110a),采用样条函数拟合的效果较好。有7个序列不能采用指数函数拟合,即使采用多项式拟合,平均偏差量也都大于样条拟合。

表 2 (MEN)1 样本4个序列不同方法拟合效果
Curve fitting results for four series of (MEN)1 by using different methods

| 序 列 编 号 | | 107a | 108a | 109b | 103b |
|------------|-------|--------|--------|--------|-------|
| 年 代 长 度 | | 450 | 476 | 423 | 467 |
| 趋 势 变 化 型 | | 接近缓慢递减 | 接近缓慢递减 | 接近缓慢递减 | 不规则 |
| 平 均 偏差量 | 多项式拟合 | 0.675 | 0.740 | 0.722 | 0.643 |
| | 指数拟合 | 0.669 | 0.736 | 0.719 | — |
| | 样条拟合 | 0.703 | 0.771 | 0.724 | 0.705 |

表 3 (MEN)1 样本9个序列不同方法拟合结果
Curve fitting results for nine series of (MEN) 1 by using different methods

| 序列编号 | | 105a | 106a | 106b | 106c | 107b | 108b | 109a | 110a | 110b |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 年代长度 | | 462 | 427 | 260 | 190 | 436 | 381 | 399 | 350 | 408 |
| 趋势变化型 | | 近似直线 | 近似直线 | “U”型 | 正弦曲线 | 近似直线 | 正弦曲线 | 近似直线 | 正弦曲线 | 近似直线 |
| 平均 偏差量 | 指数拟合 | — | — | — | 0.834 | — | — | — | 0.802 | — |
| | 多项式拟合 | 0.760 | 0.762 | 0.660 | 0.764 | 0.718 | 0.710 | 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 |

以 MEN110a 与 MEN108b 为例,可以看出样条函数拟合与指数拟合、与多项式拟合的差异。

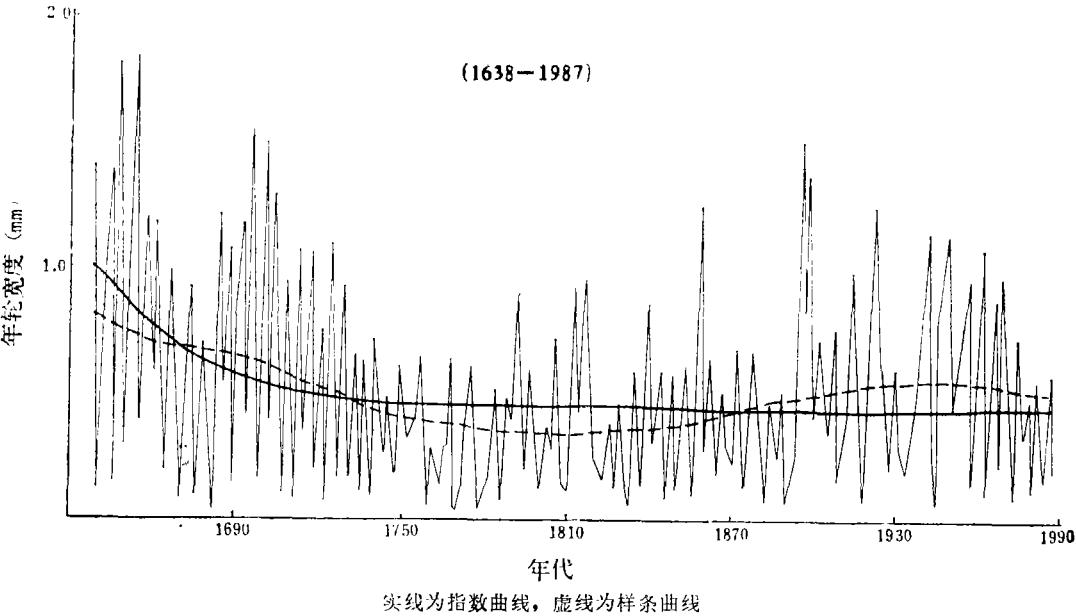
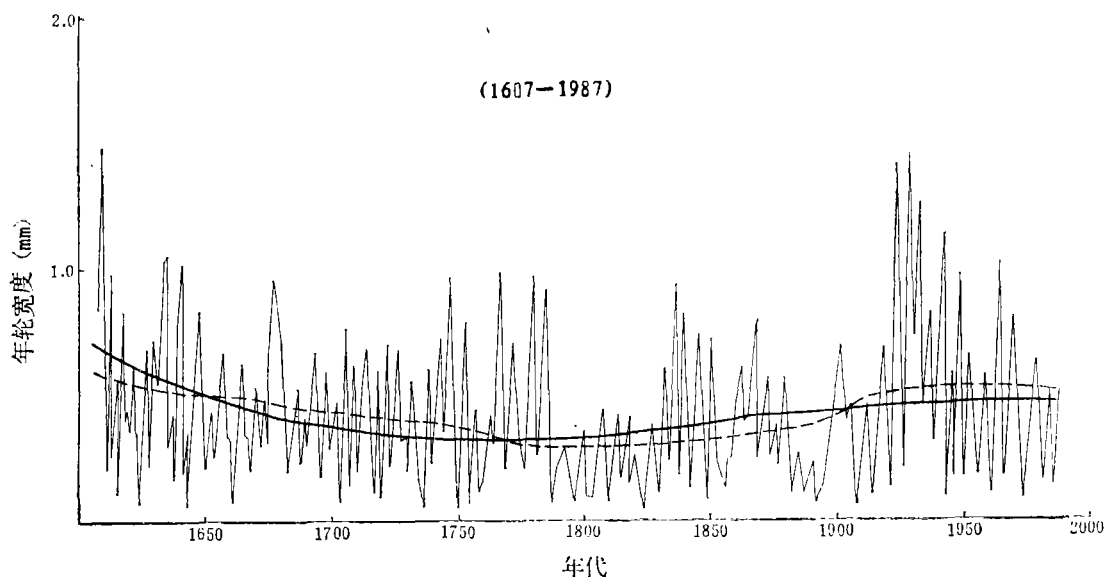


图 1 MEN110a序列的曲线拟合图
Curve fitting of the tree-ring series-MEN110a

序列 (MEN) 110a (图 1) 为一标准的正弦曲线变化型, 若忽略后期不太大的峰值变化趋势, 则可以认为它近似于指数曲线型。而同一地点众多的其它年轮宽度序列, 并未呈现出后阶段的峰值, 在气候资料上也找不出证据表明近来该地区有明显的升温或降水增多。应当认为此种变化多属非气候因子的影响, 而设法拟合掉这种生长趋势。显然, 样条函数曲线恰当地描述了该样本生长的非气候因子影响趋势, 而且与所有年轮宽度序列构成的“主序列”相比, 变化形式也较一致, 即被认为既保留了气候振动的信息, 又消除了非气候影响的低频变化趋势。



实线为多项式曲线, 虚线为样条曲线

图 2 MEN108b序列的曲线拟合图

Curve fitting of the tree-ring series-MEN108b

MEN108b序列适合多项式和样条拟合 (图 2)。由于样条函数比多项式更富有可塑性, 尤其是对后期峰值的拟合, 类似于MEN110a, 说明样条拟合比多项式拟合效果要好。平均偏差量 (σ) 的计算结果也证实了这一点。

表 3 所列的 9 个序列中, 凡变化趋势呈正弦曲线型和“U”型的, 样条拟合效果比多项式拟合更理想些。近似呈直线型变化趋势的, 样条函数拟合结果与多项式拟合结果相差无几, 均能得到满意的结果。对于近似直线型、“U”型、正弦曲线型等不容易合理地作出特定模式的序列, 样条函数均作出了理想的拟合结果。样条函数拟合的优点就在于事先不必假定年轮样本生长趋势的变化形式。可见它是一种可以按需要而“剪裁”的、高度灵活的订正方法, 为非典型环境中的树木年轮气候学分析提供了广泛的应用前景。

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)，1978年。
- (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)，1987年。
- (4) Cook, E. R. and K. Peters, The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies, *Tree-Ring Bulletin*, Vol. 41, pp. 45-53, 1981.
- (5) Reinsch, C. H., Smoothing by spline functions, *Numerische Mathematic*, 10: 177-183, 1967.
- (6) 吴祥定等：树木年轮与气候变化，气象出版社，1990年（待出版）。

ON THE ANALYSES OF TREE-GROWTH REDUCTION AT DIFFERENT SAMPLING ENVIRONMENTS OVER THE YELLOW RIVER VALLEY

Wu Xiangding Zhan Xuzhi

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and State
Planning Commission of the People's Republic of China)

Subject terms: sampling environment, tree-growth reduction

Abstract

There are two kinds of sampling environments for dendrochronological study. At the typical environment, the tree-growth may basically follow the regulation of progressive decrease with the increased age. The standardization could be adopted by the classical approach for tree-growth reduction in dendrochronology. However, the tree-growth pattern seems more complex at the non-typical environment, where the climate is warmer and wetter. The approach, including the application of polynomial and/or spline functions, could be considered. With different sampling environments, the applicabilities for various reduction functions have been analysed in this paper.