

# 采用条件分位数调整法合并二类气候 代用资料的初步分析\*

吴祥定 刘洪滨

(中国科学院 地理研究所 北京 100101)  
国家计划委员会

潘一民

(中国科学院应用数学研究所 北京 100080)

**摘 要** 本文采用条件分位数调整法,对二类气候代用资料,华山树木年轮年表和西安旱涝等级序列进行合并尝试,既最大限度地利用在年轮资料中的连续变化信息,又能使历史文献资料可以与其相互补充、校准,从而使得合并出来的序列更有助于对过去气候的重建。

**关键词** 条件分位数 气候 代用资料

**分 类** (中图法) P46 (科图法) 56.45

在历史时期气候研究中,树木年轮变异与历史文献记载都是获取过去气候变化信息的重要来源,通过必要的处理,它们均可成为重要的代用资料。长期以来,众多的气候学家对这两类资料都作过系统而又深入的研究,指出建立年表序列的基本途径,成功地重建了全球许多地区的过去气候变化<sup>[1]</sup>。同时应该指出,每一种代用资料都有一定的局限性,所重建的气候要素值难免存在误差。为提高气候重建的精度,除了对各种代用资料自身的分析途径加以改进以外,设法将不同类型代用资料相互校准,甚至合并处理,可能会是极有前景的技术途径。在过去全球变化研究(PAGES)和其它古环境、古气候的研究计划中,已强调多种代用资料的使用<sup>[5]</sup>。

中国历史悠久,具有浩瀚的历史文献记载,气候学家们已经成功地整编了各种历史文献记载,获取了大量过去的气候变化信息。同时,中国地域辽阔、地形复杂,各种树木资源丰富,树木年轮气候学分析有巨大的潜力。对这两类气候代用资料如何合并处理,作者曾进行过二种尝试,一是将同一地点或邻近地点、且表征同一气候要素的二类年表,均按等级划分后合并成一个序列,以表征过去气候变化<sup>[8,9]</sup>;另一是对太平洋两岸的不同类型资料,直接采用多因子的主分量分析,重建过去大范围气压场变化。在前一种尝试中,考虑到历史文献资

\* 国家自然科学基金资助课题(49271069)

收稿日期:1994-12-07,收到修改稿日期:1995-04-19

料多为等级序列,只得将树木年轮年表也按历史文献资料相应地划分为 5 个等级,然后进行比较合并。随着年轮年表从一个连续变化量序列转换成一个等级值序列,原来所包含的气候要素变化的信息量有所损失。本研究则尝试既最大限度利用在年轮资料中的连续变化信息,又使历史文献资料可以与其相互补充、校准,从而使得合并出来的序列更有利于提高过去气候重建的可靠性。

## 1 资料和方法

本研究所采用的树木年轮资料,是取自陕西华山的一个树木年轮宽度指数年表 HSP<sup>[12]</sup>。华山位于秦岭山脉的东端(34° 19' N, 105° 18' E),以挺拔险要著称。取样地点是在华山的顶峰,海拔 2000m 左右,环境多为郁闭度较小的疏林或孤立木,树种为华山松(*Pinus armandi* Franch)。序列长度为 1600—1990 年。已有较详尽的分析表明,华山的树木年轮生长对降水响应十分敏感<sup>[10,11,13]</sup>,主要是与 5—6 月及 4—7 月降水量关系密切。利用该年表,可重建该地 4—7 月降水变化<sup>[4]</sup>。

历史文献资料取自陕西省西安的旱涝等级序列 XDW<sup>[14,15]</sup>。旱涝状况划分为 5 个等级,1 表示大涝,2 为涝,3 为正常,4 与 5 分别为旱与大旱。序列长度是 1470—1992 年。西安是我国著名的古都,而且是距华山最近的、唯一可以获得系统历史文献记录的地点。它们相距约 100km,属同一气候区。

气温和降水观测资料取自西安和华山二地气象台站,起始年代分别为 1932 和 1953 年。

对树木年轮和历史文献二类序列合并的基本思路,在于树木年轮生长往往受前期生长的影响,且过多降水不和年轮宽度成线性关系。而历史旱涝等级资料与前期状况无关,能较准确反映当年的降水多少。因此,用旱涝等级序列对树木年轮资料进行必要的补充与订正,即将它们合并处理,能获得对降水更为可靠的重建。

首先应比较二序列的逐年变化型,尤其是要对照当树木年轮为窄轮时所对应的历史文献记载的等级值。这是因为如果二者的变化型大相径庭,则无法进行合并处理。同时考虑在树木生长中窄轮对气候响应较为敏感<sup>[2]</sup>,干旱气候又往往波及较大范围,造成近距离气候的同步变化。

在确认这二个序列可以作进一步分析之后,即可采用条件分位数调整进行合并处理。所谓“条件分位数调整”,是指下述程序:

设  $X = (x_1, x_2, \dots, x_N)$  为按年序排列的历史旱涝等级序列;

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$  为相应的树木年轮指数序列。

将  $X$  的每一等级(记为  $j$ ,  $j=1, 2, 3, 4, 5$ )所对应的  $Y$  值的全体记为  $Y_j$ , 并将  $Y_j$  中的数据按大小顺序排列:

$$Y_j: Y_{j1} \leq Y_{j2} \leq \dots \leq Y_{jN_j}, \quad X_{j_i} = j, \quad i = 1, 2, \dots, N_j$$

同时求出  $Y_j$  的样本中位数  $m_j$ , 样本  $\alpha$  上中位数  $\bar{m}_j$  和样本  $\alpha$  下中位数  $\underline{m}_j$ , 即

$$m_j = y_{j[N_j/2]}$$

$$\bar{m}_j = y_{j[(1-\alpha)N_j]}$$

$$\underline{m}_j = y_{j[\alpha N_j]}$$

其中  $\alpha$  ( $<1/2$ ) 可根据需要调整, 如可取  $\alpha=0.10, 0.20, 0.25, \dots$ 。本文中重建西安降水时, 对应于旱涝等级 1—5 级  $\alpha$  皆取为 0.2; 而在重建华山降水时, 对应于 1—2 级  $\alpha$  取为 0.2, 对应于 3—5 级  $\alpha$  取为 0.4。 $[x]$  表示不大于  $x$  的最大整数。

如果  $\underline{m}_j \leq y_{ji} \leq \overline{m}_j$ , 则取  $y_{ji}$  为原来的值;  
如果  $y_{ji} > \overline{m}_j$ , 则调整  $y_{ji}$  的值为  $\overline{m}_j$ ;  
如果  $y_{ji} < \underline{m}_j$ , 则调整  $y_{ji}$  的值为  $\underline{m}_j$ 。  
对合并后的序列可否被用于过去降水重建, 则选择了一元和二元回归统计模式, 并给出若干变量检验重建的效果。

2 分析与结果

对西安和华山二地降水状况的分析表明, 尽管它们的降水量有较大差异, 西安的平均年降水量为 604mm, 而华山可达 925mm, 但它们在我国的气候区域中属同一气候小区<sup>[16]</sup>; 从降水的月际变化来看, 其分布型也是一致的 (图 1), 最多降水都出现在 7 月, 最少降水则是在 12 月。两地降水量相关性较大, 以 1953—1989 年的气象观测值为例, 春、夏、秋、冬四季及全年降水量的相关系数值 ( $r$ ) 分别为 0.696、0.890、0.797、0.698 和 0.710, 均达到 0.01 信度水平。可见, 它们的降水变化是同步的。

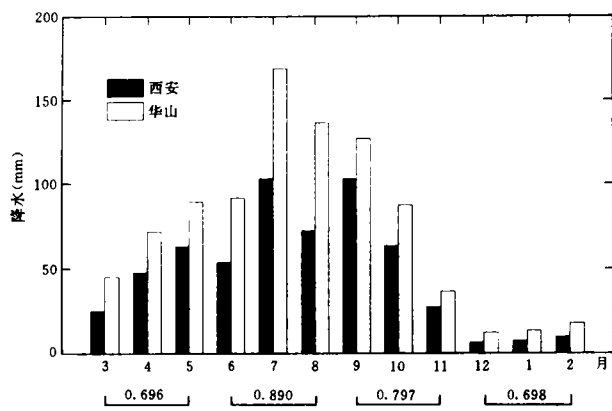


图 1 西安与华山 1953—1989 年间年内降水变化

Fig. 1 The relationship between rainfall variations at Xian and Huashan (1953—1989)

华山树木年轮年表 (HSP) 与华山降水量、西安旱涝等级序列 (XDW) 与西安降水量的关系, 都已在分析这些资料的可靠性时予以论证, 这里无须赘述。至于 HSP 与 XDW 之间的相关性, 以本世纪为例, 计算出最近 90 年期间内不同轮宽时出现各种旱涝等级的次数与百分率予以讨论。年轮宽度状况可以按年表指数值  $\leq 0.85$ ,  $0.86-1.15$  和  $\geq 1.16$  划分成窄轮、正

常和宽轮三类(表 1)。在这 90 年中,出现旱涝状况正常(等级 3)的年份最多,计 26 年,占 28.9%。出现涝(等级 2)与旱(等级 4)的年份略少些,但它们较为接近,分别为 24 年与 23 年。而出现大涝(等级 1)与大旱(等级 5)的年份,明显要少得多,但是二者相差不大,分别为 9 与 8 年。在树木年轮生长为较窄的年份,对应等级 4 的年份最多,达 7 年,占 31.8%;其次为等级 5 的年份,达 6 年,占 27.3%。二者合计占 59.3%。尤其是本世纪共出现 8 次大旱年,其中 6 次均与树木年轮生长较缓相一致。在年轮较窄时,也有 4 年对应等级 2,但未有等级 1 发生。这 4 个等级 2 的年份是:1904、1908、1945 和 1988 年。重新核实原有的文字记载发现,某些年份的定级尚可商榷。实际上,1904 年大水仅出现在韩城、宝鸡和宁陕一带,远在西安以西的地区,而不是在西安附近。1908 年记载的 8 月份一场暴雨也只是引起山区局部山洪,未造成较大范围洪涝。显然,这二年不应订为等级 2,而应订为等级 3 更妥当些。至于 1945 年,有记载表明,自上一年的秋以来全省 79 个县大旱,一直持续到春季,这在本文研究中,宜订正该年等级为 3。

表 1 相对于 HSP (1900—1989) 中各树木生长模型的 XDW 中出现频率及等级百分率

Tab. 1 The frequency of occurrence and percentage of grades in XDW  
corresponding to each tree-growth pattern in HSP (1900—1989)

HSP	模型 频率 (%)	轮宽偏窄 22 (24.5)					轮宽适中 48 (53.3)					轮宽偏宽 20 (22.2)					总计 90 (100)				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
XDW	等级值	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	频率	0	4	5	7	6	5	15	14	12	2	4	5	7	4	0	9	24	26	23	8
原始	(%)	0.0	18.2	22.7	31.8	27.3	10.4	31.2	29.2	25.0	4.2	20.0	25.0	35.0	20.0	0.0	10.0	26.7	28.9	25.6	8.9
	频率	0	1	8	7	6	4	13	18	13	0	4	5	9	2	0	8	19	35	22	6
修正	(%)	0.0	4.5	36.4	31.8	27.3	8.5	27.1	37.5	27.1	0.0	20.0	25.0	45.0	10.0	0.0	8.9	21.1	38.9	24.4	6.7

相反,当年轮较宽时,出现最多的年份是等级 3,达 35.0%,出现涝和大涝,分别占 25.5%和 20.0%,虽然,也有少数年份出现在等级 4 中,但从未出现过等级 5 的情况。至于年轮接近正常的年份,对应的旱涝状况显得略为复杂些,但出现偏旱的年份要多,即等级 1 与 2 所占百分率为 41.7%,而等级 5 仅二年,占 4.2%。同时,等级 3 所占百分率也较高,仅次于等级 2,可达 29.2%。

根据这些统计结果,我们不难看出,这二个序列有着十分密切相关性,窄轮大体对应旱年,宽轮大体对应涝年,年轮生长接近正常时,除对应于降水正常的年份以外,出现偏涝的年份比偏旱的年份要多些。从而为合并这二个序列提供了背景依据。

考虑到 HSP 对降水的响应主要表现为 4—7 月的降水量,而 XDW 所表征的降水变化在一定程度上以夏季和春季的旱涝状况为主,两者虽有一些差异,但均与夏季前期及春季降水量关系密切,因此在将二个序列合并考虑以重建过去降水变化时,重建的对象仍为 4—7 月降水量。当然,一些明显为秋涝或秋旱的旱涝等级多被改成等级 3 (表 2)。

表 2 1900—1989 年等级值修改列表

Tab. 2 The list of corrected grades in some years of the 20th century (1900—1989)

年 代	原始值	修改值	描 述
1904	2	3	此地无洪涝
1908	2	3	只在 8 月有暴雨
1912	4	3	秋旱
1913	2	3	秋多雨
1918	2	3	秋洪涝
1927	5	4	秋旱
1930	5	4	夏秋多雨
1936	4	3	秋旱
1945	2	3	春旱夏涝
1946	4	3	春夏正常
1949	1	3	8、9 月降雨异常

在选定重建过去降水量的最佳预报方程时，广泛采用了一元回归和二元回归建立多个统计模型，并进行比较分析。表 3 列出用不同方法处理后重建西安降水量的统计结果。其中，“一元回归”的自变量为年轮年表资料，“二元回归”的自变量为年轮年表资料和等级资料，因变量皆为降水量。“资料调整”表示是否采用中位数调整。在调整中，又分为对全部资料的调整与仅对宽轮作部分调整二种。“LOG 变换”表示是否对原序列作自然对数变换。B0、B1、B2 分别为回归方程的系数，其中 B0 是常数项，B1 是年轮年表序列项的系数，B2 是旱涝等级序列项的系数。此外，计算出的相关系数和几种统计检验值，都被作为判断重建模型好坏的标准，其效果可用序号表示。

表 3 西安降水重建校准结果

Tab. 3 Summary of calibration results for reconstruction of Xi'an precipitation

	一元回归						二元回归					
	否	否	部分	部分	全部	全部	否	否	部分	部分	全部	全部
中位数调整	否	是	否	是	否	是	否	是	否	是	否	是
B0	106	4.94	97	4.98	-11	4.53	235	5.44	232	5.42	168	5.17
B1	0.150	0.57 *	0.162	0.63 *	0.264	0.97 *	0.116	0.44 *	0.119	0.46 *	0.173	0.67 *
B2	/	/	/	/	/	/	-32.5	-0.128	-32.2	-0.126	-29.7	-0.116
相关系数	0.425	0.444	0.412	0.438	0.458	0.482	0.596	0.633	0.582	0.622	0.581	0.623
F	12.32	13.78	11.44	14.89	16.99	15.16	18.40	14.07	17.35	14.04	17.41	
Sign	38	40	40	42	36	38	44	46	44	46	44	46
T	2.63	2.48	2.60	2.26	3.84	3.33	4.50	4.34	4.33	4.13	4.00	3.77
RE	0.11	0.14	0.11	0.13	0.16	0.18	0.28	0.34	0.28	0.33	0.27	0.32
等级评定	5	3	6	4	2	1	4	1	5	3	6	2

注：\* 表示该数应×10<sup>-3</sup>

从一元回归的结果来看，未作中位数调整的统计模型效果明显不及资料全部作过调整的模型好。尤其是作过资料调整，又经过对数变换的，回归效果为最佳，相关系数从 0.45 以下

提高到 0.48 以上, 序号名列前茅。但从总体说来, 回归效果并不理想, 一些检验值偏低, 如 RE 值均低于 0.18。从二元回归的结果来看, 作过资料调整的统计模型, 效果并没有提高, 很可能是由于主要依据华山的树木年轮序列去重建西安的降水量, 这本身就是有缺陷的。

在重建华山降水量时, 也采用了一元回归和二元回归的众多统计模型 (表 4)。在一元回归中, 未对资料作调整的效果比全部作调整的要好, 但比起只作部分调整的要差。在资料作部分调整, 又进行对数变换后, 效果最佳, 相关系数可达 0.712, RE 值达 0.47。从二元回归的结果来看, 对资料全部作调整的效果并不好, 但同时作部分调整与对数变换, 效果明显优于其它模型, 相关系数高达 0.719, 是所有各种统计模型中的最高值, 至于其它统计量也几乎都达到 0.01 信度水平。对统计结果的验证是采用了“逐一剔除法”<sup>[3]</sup>, 其相关系数为 0.664, RE 值达 0.44。

表 4 华山降水重建校准结果

Tab. 4 Summary of calibration results for reconstruction of Huashan precipitation

中位数调整 对数变换	一元回归						二元回归					
	否	否	部分	部分	全部	全部	否	否	部分	部分	全部	全部
	否	是	否	是	否	是	否	是	否	是	否	是
B0	113	5.23	45	5.07	-213	4.57	233	5.48	136	5.21	-52	4.88
B1	0.311	0.78 *	0.398	1.00 *	0.628	1.43 *	0.278	0.72 *	0.357	0.94 *	0.519	1.22 *
B2	/	/	/	/	/	/	-30.6	-0.061	-18.2	-0.028	-17.7	-0.034
相关系数	0.628	0.665	0.673	0.712	0.540	0.517	0.687	0.706	0.691	0.719	0.557	0.529
F	22.76	27.77	28.90	14.37	12.79	15.20	16.87	15.50	18.18	7.63	6.62	
Sig <sup>r</sup>	25	24	24	25	24	23	26	26	24	21	23	22
T	2.66	2.82	3.29	2.96	2.38	2.67	3.11	2.91	3.65	3.61	2.04	2.24
RE	0.34	0.39	0.41	0.47	0.23	0.21	0.38	0.41	0.39	0.44	0.16	0.13
等级评定	4	3	2	1	5	6	3	2	4	1	5	6

注: \* 表示该数应 $\times 10^{-3}$

因此, 该模型是可以合并资料 (COM) 来重建华山降水量的, 其重建的降水量值列在图 2a 中。为比较用 HSP 和 XDW 单独重建华山降水的结果, 还给出图 2b 和 2c。

由 XDW 单独重建的降水量, 只有 5 个等级值, 过于粗略。与单独采用 HSP 相比, 由 COM 进行重建时, 不仅在校准期的相关系数和各项检验值有明显改进外, 重建出来的降水量变幅亦有所不同。在校准期的一些统计特征差异从表 3 可以看出, 为进一步比较它们重建的效果, 计算出的逐年降水量均与实测值进行对比。从所列结果来看, COM 及 HSP 对实测值 OBS 的偏差平均值, 分别为 61.3 与 64.3mm, COM 似更接近于降水实测值 (图 3), 而 COM 与 HSP 的标准差分别为 69.5 与 66.0mm (表 5), 显然也说明用合并资料进行降水重建更可靠些。尽管通过合并处理以后的效果还不十分显著, 但它毕竟比采用单一的代用资料序列有所改进, 从而揭示了进行二类代用资料合并的可能性与潜力。

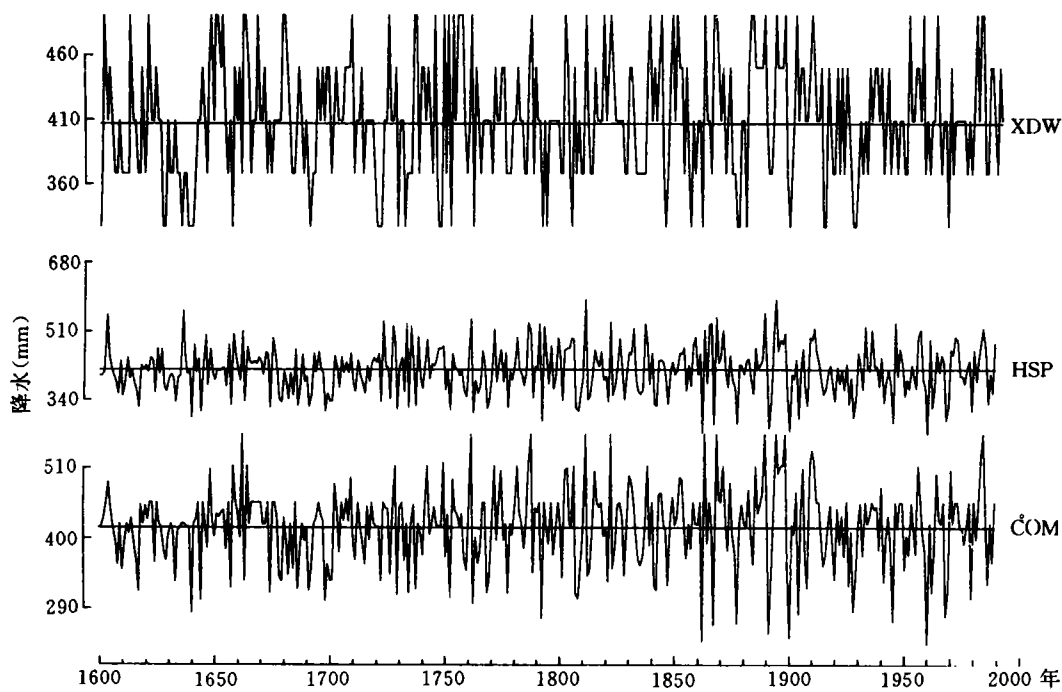


图 2 华山 4—7 月降水的重建 (a. COM 重建 b. HSP 重建 c. XDW 重建)

Fig. 2 Reconstructed total April—July precipitation at Huashan

(a: Estimated from COM data set; b: Esimated from HSP data set; c: Estimated from XDW data set)

表 5 重建降水的平均值和标准差

Tab. 5 Mean and standard deviation of estimated rainfall series

	资料	平均值 (mm)	标准差 (mm)
1953—1989	OBS	422.4	107.0
	HSP	414.9	66.0
	COM	415.5	69.5
1600—1989	XDW	407.6	45.2
	HSP	414.0	61.0
	COM	416.7	61.9

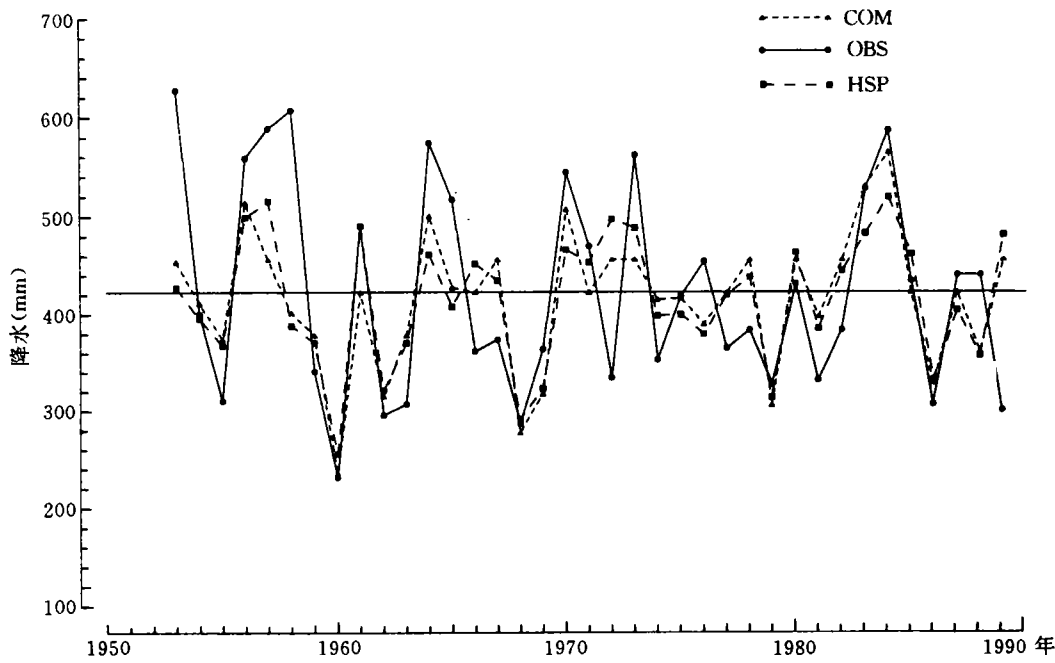


图 3 华山 1953—1989 年实测降水同重建降水的比较

Fig. 3 A comparison between observed and estimated rainfall values at Huashan (1953—1989)

3 结论与讨论

通过以上分析，大体可以得到如下几点认识：

- 1. 将树木年轮年表与历史旱涝等级序列进行合并处理，是必要的，也是可能的。
  - 2. 利用条件分位数调整进行二类代用资料合并，是一种可取的方法，它有利于获取较多的气候变化信息。
  - 3. 采用合并资料进行气候重建时，应尝试作部分调整和对数变换，以选用最佳统计模型。
- 此外，如果能够找到在同一地点，又表征同一气候要素变化的二类代用资料序列，进行类似的合并处理与气候重建，将会得到更佳的效果。

参 考 文 献

1 Bradley R S and Jones P D. Climate Since A. D. 1500. London, Routledge, 1992: 679.  
2 Fritts H C. Tree Rings and Climate. London, Academic Press, 1976: 567.  
3 Gordon G A. Verification of dendroclimatic reconstruction. In Hughes M K, Kelly P M, Pilcher J R. and Lamarch Jr V C. eds., Climate from Tree Rings. Cambridge, Cambridge University Press, 1982: 58—61.



- 4 Hughes M K. , Wu Xiangding Shao Xuemei, and Garfin G. A Preliminary Reconstruction of rainfall in north-central China since A. D. 1600, from tree-ring density and width. *Quaternary Research*, 1994, 42: 88—99.
- 5 IGBP. Past Global Changes Project. Global Changes Report, No. 19. Stockholm. 1992: 110.
- 6 Wu X D. Dendroclimatic studies in China. In Bradley, R. S. and Jones, P. D. , eds. , *Climate Since 1500 A. D.* London, Rortledge, 1992: 432—445.
- 7 Wu Xiangding and Lough J M. Estimating North Pacific summer sea—level pressure back to 1600 using proxy records from China and North America. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1987, 4 (1): 74—84.
- 8 吴祥定, 林振耀. 历史时期青藏高原气候变化特征的初步分析. *气象学报*, 1981, 39 (1): 90—97.
- 9 吴祥定, 林振耀. 横断山区近代气候变化的研究. *地理研究*, 1987, 6 (2): 48—55.
- 10 吴祥定, 邵雪梅, 秦岭地区树木年轮密度对气候响应的初步分析. *应用气象学报*, 1994, 5 (2): 253—256.
- 11 邵雪梅, 吴祥定. 华山松横向生长与气候要素之间的关系. *中国博士后首届学术大会论文集(下册)*. 国防工业出版社, 1993: 1841—1844.
- 12 邵雪梅, 吴祥定. 华山树木年轮年表的建立. *地理学报*, 1994, 49 (2): 174—181.
- 13 尹训钢, 吴祥定. 华山松树木年轮对气候响应的模拟分析. *应用气象学报*, 1994, 6 (3): 257-264.
- 14 张德二, 刘传智, 《中国近五百年旱涝分布图集》续补 (1980—1992). *气象*, 1993, 19 (11): 41—45.
- 15 中央气象局气象科学研究所. *中国近五百年旱涝分布图集*. 地图出版社, 1989: 332.
- 16 张家诚, 林之光. *中国气候*. 上海科学技术出版社, 1985: 603.

# A PRELIMINARY STUDY ON COMBINING TWO KINDS OF PROXY DATA USING THE CONDITIONAL QUANTILE ADJUSTMENT METHOD

Wu Xiangding     Liu Hongbin

*(Institute of Geography, CAS, Beijing 100101)*

Pan Yimin

*(Institute of Applied Mathematics, CAS, Beijing 100080)*

## Abstract

Based on two kinds of proxy data, a tree-ring width chronology at Huashan and the wetness/dryness grade series around Xian in north-central China, this present study demonstrates how different types of proxy climate records can be combined to give a more reliable estimate of the climate in the past than either record can do individually. With comparison and correction of the two data sets, various statistical models can be developed from individual and combined series. Among them, the best combined model produced by the conditional quantile adjustment method can be selected for reconstruction of April–July rainfall at Huashan back to 1600 A. D.

**Key words** Conditional quantile, Climate, Proxy data