

文章编号 1001 - 7410(2007)04 - 477 - 09

柴达木盆地东北部 3500 年树轮定年年表的初步建立*

邵雪梅^① 王树芝^② 徐岩^① 朱海峰^① 许新国^③ 肖永民^③

(^①中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101; ^②中国社会科学院考古研究所,北京 100710;

^③青海省文物考古研究所,西宁 810007)

摘要 利用柴达木盆地东北部山地上生长的活树,尚未倒伏的死树和山前洪积扇上古墓中保存的椁木、棺木和封土柏木,在树轮年代学交叉定年技术的支持下,建立了该区长达 3500 年的树轮定年年表。最长的活树样本可追溯到公元 404 年,古木样本覆盖的时段是公元前 1580 年~公元 793 年,而死树样本覆盖了公元 130~1794 年。3 种样本在时间上具有很长的重叠时段,为建立长定年年表提供了可行。样本间能够很好地交叉定年。此外,古木和死树在重叠时段轮宽变化的相关系数是 0.51,死树和活树的是 0.41,并且古木和活树的是 0.61。这种极显著的相关关系说明建立长定年年表是可能的。将程序 COFECHA 为每个活树样点保存的定年序列、古木的定年序列和死树的定年序列放在一起,再运行程序 COFECHA,就建立了一个基于 621 棵树的样本量组成的总定年年表。该年表的取材完全独立于已发表的都兰年表,在时间上比都兰年表向前延伸了近 1000 年,使其能够达到商、周朝代。与调整后的都兰年表对比,发现两者在公元前 328 年~公元 2000 年之间完全能够交叉定年。文章所建的树轮定年年表是国内目前最长的连续年表,它可为我国西北干旱-半干旱区树轮长序列的定年提供标尺。

关键词 树木年轮 交叉定年 年表 祁连圆柏 柴达木盆地东北部

中图分类号 P948 **文献标识码** A

1 引言

树轮资料在过去环境变化研究中发挥着重要的作用^[1-3],其原因之一是它集定年与环境指标于一体,是能够提供定年准确、连续性强、分辨率高的代用资料。定年和建立长年表在树轮年代学研究中是最基本的,也是最重要的工作。定年准确的树轮长年表可以为¹⁴C 年代测定提供更精确的年代校正曲线^[4,5],能够为过去发生的事件如火山爆发、地震和干旱事件等定年^[6-8],还能为考古遗址及文物定年提供标尺^[9-11],从而了解人类文化和文明的进程。在我国夏商周断代工程中,树轮的浮动年表与¹⁴C 年代测定相结合,为夏商周年表的建立起了决定性作用^[12,13]。在过去百年至千年尺度的高分辨率气候变化及机制研究中,定年准确的长年表更是起了至关重要的作用^[14-16]。迄今,国际上最长的树轮年表来自中欧,达 12460 年^[17],覆盖了全新世和新仙女木事件。当年北美洲 7100 年的刺果松年表^[18]为¹⁴C 年代测定提供了校准曲线。目前,在北美洲为定年服务的树轮长年表已达 8600 多年^[19]。南美洲的长

年表也由 3600 多年^[20]延长到了 5666 年^[21],澳洲的长年表为 3600 多年^[22]。

目前发表的我国境内最长的树轮年表到公元前 515 年,来自青海都兰县内^[23],由祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)样本建成。祁连圆柏是我国的特有种,它耐高寒、干旱和瘠薄,根系发达和抗风力强的特性,使其成为我国寿命最长的树种之一^[24]。生长在柴达木盆地东缘山地的祁连圆柏,其顽强的生命力以及栖息地干旱和寒冷的残酷自然环境,使其树龄达千年依旧生机勃勃,而其坚实、耐腐的材性,又使其成为当地历史时期墓葬的椁木和棺木用材。在盆地东部的德令哈、都兰、夏日哈和香日德等地,发现了不同文化时期的墓葬,遗址中出土了大量的祁连圆柏古木^[25],为我国建立长年表提供了可能。

本文利用青海省柴达木盆地东北部的祁连圆柏建立了长达 3500 年的树轮年表。本年表的取材与已发表的两条都兰年表^[23,26]完全独立,在时间上比都兰年表向前延伸了近 1000 年,使其能够达到商、周朝代,成为我国目前最长的连续年表。进一步的¹⁴C 测年,且与商周出土的树轮样本¹⁴C 测年进行

第一作者简介:邵雪梅 女 49 岁 研究员 第四纪环境专业 E-mail:shaoxm@igsr.ac.cn

* 国家自然科学基金项目(批准号:40371118)和国家文物局项目(合同号:20050107)资助

2007 - 03 - 12 收稿,2007 - 04 - 20 收修改稿

表 1 采样点信息

Table 1 Information of sampling sites

种类	代码	地点	北纬/°	东经/°	海拔/m	样本量/株/样芯	样本形式
古木	BGT	德令哈布格图阿门	37.42	97.21	3380	8	木块
古木	BGX	德令哈巴格希热图	37.40	97.35	3060	11	木块
古木	NHT	德令哈闹哈图	37.43	97.25	3360	4	木块
古木	XTT	德令哈郭里木夏他图	37.34	97.65	3190	46/77	样芯和木块
古木	MHG	德令哈木河尕秀	37.42	97.79	3290	55/110	样芯
古木	AZG	德令哈宗务隆阿再沟	37.41	97.47	3245	2	木块
古木	SNC	德令哈市水泥厂北	37.41	97.35	3080	11	木块
古木	BLE	德令哈尕海镇巴拉尔地区	37.15	97.30	2877	5	木块
古木	AQT	德令哈怀头他拉镇阿奇特沟	37.54	96.83	3336	3	木块
古木	ZHG	德令哈戈壁燥河沟	37.49	97.05	3544	9	木块
古木	BRT	德令哈畜集保日毯	37.40	97.98	3390	8	木块
古木	GARG	德令哈畜集根艾日格	37.42	98.04	3556	14	木块
古木	ALST	德令哈畜集爱里斯太	37.37	98.04	3445	5	木块
死树	DLH4S	德令哈蓄集	37.46	98.05	4060	20/40	样芯
死树	WL2S	乌兰哈里哈图	37.05	98.66	3960	21/41	样芯
活树	DLH1	德令哈宗务隆十八盘沟	37.48	97.24	3730	31/61	样芯
活树	DLH2	德令哈宗务隆十八盘南坡	37.47	97.23	3776	34/73	样芯
活树	DLH3	德令哈畜集红山煤矿	37.45	97.54	3920	79/168	样芯
活树	DLH4	德令哈畜集巩艾里沟	37.44	98.06	3660	67/144	样芯
活树	DLH5	德令哈畜集泽令沟	37.45	97.78	3700	67/146	样芯
活树	DLH6	德令哈宗务隆十八盘西	37.51	97.06	3780	29/67	样芯
活树	TJ1	天峻生格	37.31	98.29	3500	29/58	样芯
活树	WL1	乌兰都兰寺	37.03	98.63	3700	20/40	样芯
活树	WL2	乌兰哈里哈图	37.04	98.66	3700	44/91	样芯
活树	WL3	乌兰赛什克察汗阿孟	36.74	98.22	3720	43/99	样芯
活树	WL4	乌兰赛什克夏日达无	36.68	98.42	3700	50/103	样芯

集了不同树龄结构、不同微地貌形态下和大复本量的样本,以保证定年的准确性。

2.2 样本的交叉定年

本研究采用了美国亚利桑那大学树轮实验室的交叉定年方法,即骨架示意图方法^[34]对祁连圆柏的活树样本进行了初步定年,具体的工作程序已在文章^[33]中做过介绍,这里不在赘述。在量测完轮宽值后,用计算机程序 COFECHA^[35]对定年进行了检验。为了保证定年的准确和缺失轮放置的合理,用折线图进行了轮宽年与年变化的进一步比较。最长的活树样芯覆盖在 1600 年左右,覆盖的时段为公元 404 年至今。

两个死树样点的定年是通过与同地点的活树样本进行比较完成的。虽然,两个死树样点均来自于森林的上限,有可能轮宽变化不同于下面的活树,但在半干旱区,生长在森林上下限位置的同一树种的树木,它们的轮宽在高频变化上具有很强的一致性^[36]。研究区位于干旱地区,轮宽在高频变化上的相似程度可能更高,而我们的定年结果也证实了这一点。在干旱的 DLH4 样点,死树和活树发生窄轮

的时间几乎完全一致,而在相对湿润的 WL2 样点,在对比死树和活树极窄轮发生的时间时发现,两者的相似程度也相当高,如在公元 900 ~ 1099 年的 200 年间,当死树是很窄的轮时,活树在相同年份也是窄轮的发生率是 75%。由于研究中已利用了大量的活树样本,第一年为公元 900 年之后的死树样本没有参与进一步定年。死树年表的覆盖时间是公元 130 ~ 1794 年,共 1665 年。DLH4S 样点的样本中,其最早的年份没有超过活树的,但 WL2S 样点的死树大大加强了公元 600 ~ 900 年时段的样本量(表 2)。WL2S 样点最长的死树样本为 954 年,覆盖公元 396 ~ 1349 年,只有一个缺失轮。到达公元 130 年那棵树的两个样本覆盖时段分别是公元 130 ~ 1000 年和公元 244 ~ 1099 年,前一个样芯只有 4 个缺失轮,而后一个样芯在 856 年间没有缺失轮。该样点较小的缺轮百分比和能够与活树交叉定年的事实为年表能准确定年提供了可行性。

对古木样本定年的工作程序如下: 1) 在显微镜下仔细分辨每一轮,从树心方向开始记年,以第一个不完整轮记为 0 年,后每 10 年以圆点进行标记,建立浮动年代。2) 对比一棵树的两个样芯,使每棵树

表 2 样本交叉定年的统计量

Table 2 Results of cross-dating

代码	定年样本量/株/样芯	起止时间	年代长度/年	缺轮百分比/%	敏感性	平均相关系数	平均序列长度/年
BGT	7/10	1468BC ~ 603A. D.	2071	0.71	0.32	0.42	453
BGX	9/17	412BC ~ 492A. D.	904	1.63	0.42	0.63	349
NHT	4/4	758BC ~ 461A. D.	1219	2.24	0.52	0.58	569
XTT	42/82	1580BC ~ 755A. D.	2336	1.39	0.38	0.63	466
MHG	55/106	874BC ~ 793A. D.	1667	1.03	0.36	0.63	310
AZG	2/4	22 ~ 781A. D.	760	0.33	0.26	0.64	675
SNC	8/12	376BC ~ 592A. D.	968	0.43	0.30	0.61	508
BLE	5/9	477BC ~ 319A. D.	796	3.21	0.51	0.67	256
AQT	2/3	80 ~ 413A. D.	334	3.03	0.58	0.87	242
ZHG	9/17	331BC ~ 408A. D.	739	4.50	0.58	0.69	334
BRT	8/14	97 ~ 740A. D.	644	3.23	0.50	0.78	323
GARG	15/21	58BC ~ 601A. D.	659	0.57	0.30	0.56	277
ALST	5/10	150 ~ 653A. D.	504	0.13	0.24	0.56	315
WL2S	15/29	130 ~ 1568A. D.	1439	0.14	0.28	0.58	548
DLH4S	6/12	729 ~ 1794A. D.	1066	1.34	0.38	0.73	735
DLH1	31/59	843 ~ 2001A. D.	1159	0.99	0.35	0.66	572
DLH2	34/73	828 ~ 2001A. D.	1174	1.90	0.43	0.72	501
DLH3	79/168	404 ~ 2002A. D.	1599	1.31	0.41	0.80	699
DLH4	67/144	451 ~ 2002A. D.	1552	2.62	0.52	0.79	609
DLH5	67/146	711 ~ 2002A. D.	1292	4.68	0.63	0.83	521
DLH6	29/67	1237 ~ 2002A. D.	766	3.11	0.60	0.83	480
TJ1	29/58	934 ~ 2003A. D.	1061	0.90	0.33	0.67	500
WL1	20/40	857 ~ 2002A. D.	1146	2.44	0.49	0.81	560
WL2	44/91	845 ~ 2002A. D.	1158	2.66	0.47	0.73	533
WL3	43/99	681 ~ 2001A. D.	1321	2.32	0.50	0.76	611
WL4	50/103	900 ~ 2001A. D.	1102	2.04	0.47	0.79	642

内的样芯能够交叉定年。对于同一棵树中一个样本有缺失轮,而另一个样本中没有的,对有缺失轮的样本进行标记,并对浮动年代进行调整。3) 在轮宽量测仪上对样本进行宽度量测,获得宽度数据。我们使用的量测仪是 Lintab 型号,量测精度为 0.01mm。4) 利用 COFECHA 程序中未定年的浮动年表和已定好年的日历年表对比的功能,确定那些与活树在时间上有重叠的样本的年代。由于多数样本都存在缺轮的现象,所以常常只能确定样本中部分时段的年代。5) 对照已作出的定年年表,确定古木发生缺失轮的年份,并确定日历年份。在定年的具体实施中,我们反复进行定年程序中的第 4 和第 5 项工作,直到完成古木样本的定年。需要说明的是,个别可能因为年代太短,或缺失轮太多,或目前已定好年的年表在时间上还没有覆盖到,所以 COFECHA 程序不能提供定年年份的样本,没有参与到本定年年表的建立。对于取到的木块,如果含有树心,并能够从两个方向获取数据,我们均从两个方向读取了轮宽数据。古木年表的覆盖时间是公元前 1580 ~ 公元 793 年,共 2373 年。古木中最长的一个样本覆盖了 1623 年,从公元前 1580 ~ 公元 47 年,含有 20 个缺

失轮;第二长的古木样本覆盖了 1219 年,从公元前 518 ~ 公元 701 年,仅含有 8 个缺失轮;第三长的古木样本覆盖 1122 年,从公元前 758 ~ 公元 364 年,缺失轮较多达 30 个;而第四长的古木样本覆盖 963 年,从公元前 1468 ~ 506 年,没有缺失轮。这 4 块近千年的古木样本,来自于 3 个地点的棺木,其时间跨度的匹配为古木定年提供了很好的控制标尺。图 2 展示了古木公元前 900 ~ 600 年间 10 个主要样本的轮宽变化,可以看出,窄轮的发生时间有很好的一致性,这 10 个序列中 BGT05A, MHG55A, MHG55B, XT306A 和 XT306B 这 5 个样本在该时段内没有发生缺失轮,这为定年的控制提供了很好的基础,特别是公元前 732 ~ 726 年间明显的宽窄变化型为定年的准确性提供了很好的支持。该轮宽变化型可以作为该时段树轮定年的重要参考标志。

为了确保古木,死树和活树样本在时间衔接上的准确,认真检查了轮宽数据在年与年之间变化的折线图。图 3 的上部展示了 2 棵活树 4 个样芯在公元 700 年以前的轮宽变化,它们来自于两个样点,并且在公元 450 ~ 700 年间没有缺失轮,从图 3 可以看出,样芯相互之间有很好的窄轮发生一致性。图 3

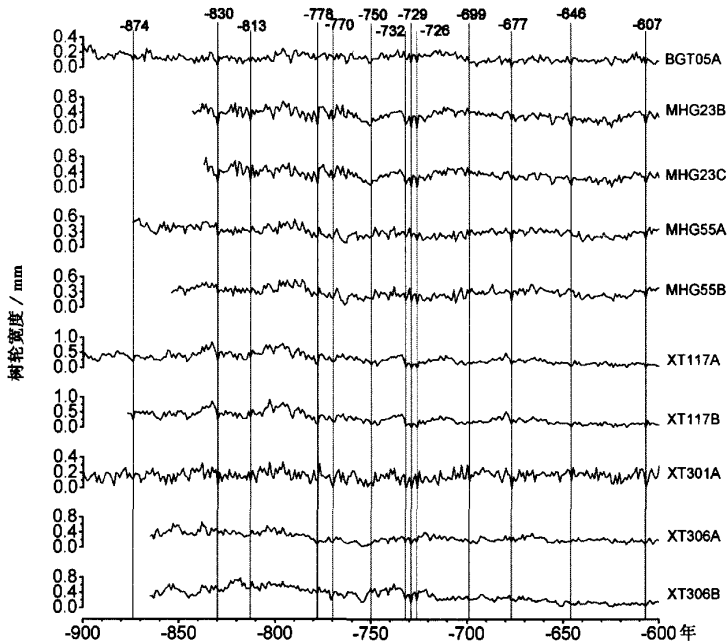


图 2 10 个长古木样本在公元前 900 ~ 600 年的轮宽变化

Fig. 2 Plots of 10 longer Ring width series for the period of 900 BC to 600 BC showing cross dating among 10 specimens

的中部展示了 3 棵古木 6 条序列的轮宽变化,古木的窄轮在时间上也有很好的一致性,并能够与图 3 中上部活树的窄轮相对应。图 3 的下部是 WL2S 样点的 2 棵树的 4 个样芯轮宽变化,两棵树间同样有很好的宽窄变化一致性,与上面的活树和古木样本比较可以发现,绝大多数窄轮发生的年份是一致的。虽然有个别年,当活树和古木样本是窄年时,这两棵树却表现为相对较宽的轮,如公元 496 年。但在该年前后的窄轮在时间上发生的一致性控制了整体定年,为定年的准确性提供了保证。

为了检查不同种类样本的统计特征,我们计算了每个样点的缺轮百分比、反映相邻年轮之间变化大小的敏感性^[37]和样本之间的平均相关系数(见表 2)。对比活树样本,平均来看古木样本的敏感性比较低,缺轮百分比也比较低,这可能是由于墓中椁木特别是棺木的原木都比较粗大。从目前野外实地来看,长在坡度较缓、水分条件较好地点的树是比较粗大的,而且这样的局地环境易于采伐和搬运,因此,我们推断多数椁木和棺木均来自于水分条件较好的样地,是造成敏感性低和缺失轮较少的的原因。和同地点对比,死树的样点统计量低很多,原因是它们海拔较高,接近森林的上限,水分条件较下限样点的要好,特别是 WL2S 样点,伴有青海云杉生长,是

这些样点中水分条件最好的一个。尽管如此,该样点的样本还是能够和活树以及古木的样本交叉定年,为古木和活树在年代上的衔接起了重要作用。

2.3 定年年表的建立

从前面的定年结果可以知道,古木与死树样本的重叠时段是公元 130 ~ 793 年,共 664 年,死树与活树的重叠时段是公元 404 ~ 1568 年,共 1165 年,古木与活树的重叠时段是 404 ~ 793 年,共 390 年。我们计算了这 3 个重叠时段的相关系数,分别是 0.51, 0.41 和 0.69,均达到了统计上的显著($p = 0.0001$)相关。这样长时段的重叠和极显著的相关,为古木、死树和活树建立总定年年表提供了保证。

在建立总定年年表前,我们分别建立了古木、死树和活树的定年年表。由于 DLH4S 样点的死树没有超过活树的年代,且定年时发现其窄轮发生的年份与活树的相当一致,在建立总定年年表时没有采用。活树样本量较多,将 COFECHA 程序存下来的每个样点的轮宽年表放在一起,由 COFECHA 程序再次合成了活树定年年表。考虑到活树样本量较大,而 DLH6 和 TJ1 样点的树木较为年轻,这两个样点在建立活树定年年表时没有采用。在建立年年表的程序执行中,输入参数没有采用程序的默认值,即没

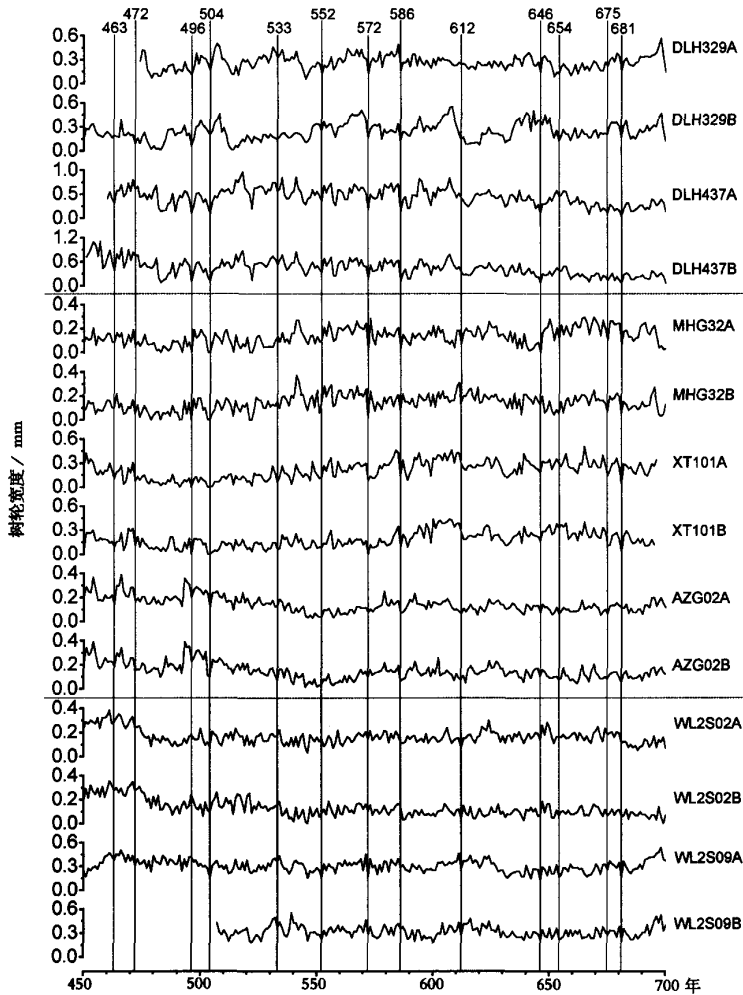


图3 活树(上)、古木(中)和死树(下)样本在重叠时段公元450~700年的轮宽变化
 Fig. 3 Plots of Ring width series from living trees (up), archaeological woods (middle) and dead trees (below) for the period of 450 A. D. to 700 A. D., showing cross dating among different specimens

有用样条函数滤掉轮宽的低频变化且没有用自回归模型的差值组成年表值;在定年检验中,轮宽序列没有再次进行对数转换;最后,作为缺失轮的0值没有参加总定年年表的建立以及相关系数的计算。输入参数没有采用程序的默认值的原因是利用程序建立每个样点的定年年表时已经利用了高频的信息,并且通过对数转化已强调了窄轮在定年中的作用,再次采用可能会带来人为的影响。用同样的输入参数,将古木、死树和活树定年年表放在一起,建立了总定年年表。

图4展示了轮宽定年总年表以及公元1000年以前建立年表时所用的样本量。需要说明的是,公元前837年以前,样本量少于10个,特别是公元前874年以前,样本量仅有2~4个,其可靠性要远小于后面样

本量大的时段。公元1000年之后,样本量大大增加,样本量最多时是在18世纪,达800多个,所以图4中没有展示样本量的变化。图4中的负值指示定年中的窄轮,正值指示宽轮。一般来说,在干旱-半干旱区,窄轮是对应于少雨炎热的干旱环境,其可靠性要大于宽轮的。因此,将这个长年表作为定年的参考时,主要比较窄轮的变化型。为了便于参考,我们在表3中列出了那些极窄轮。因为建立总年表时没有考虑那些丢轮年份的轮宽,所以表3中列出的窄轮年比图4中展示的要多。这些窄轮可以为干旱-半干旱区树轮定年提供标尺,因为在干旱-半干旱区,树轮宽度资料在空间上的相关性可延伸很远,特别是当干旱发生的范围较大时。北美西部65个样点的树轮宽度年表空间相关性研究发现,平均而言,在99%的

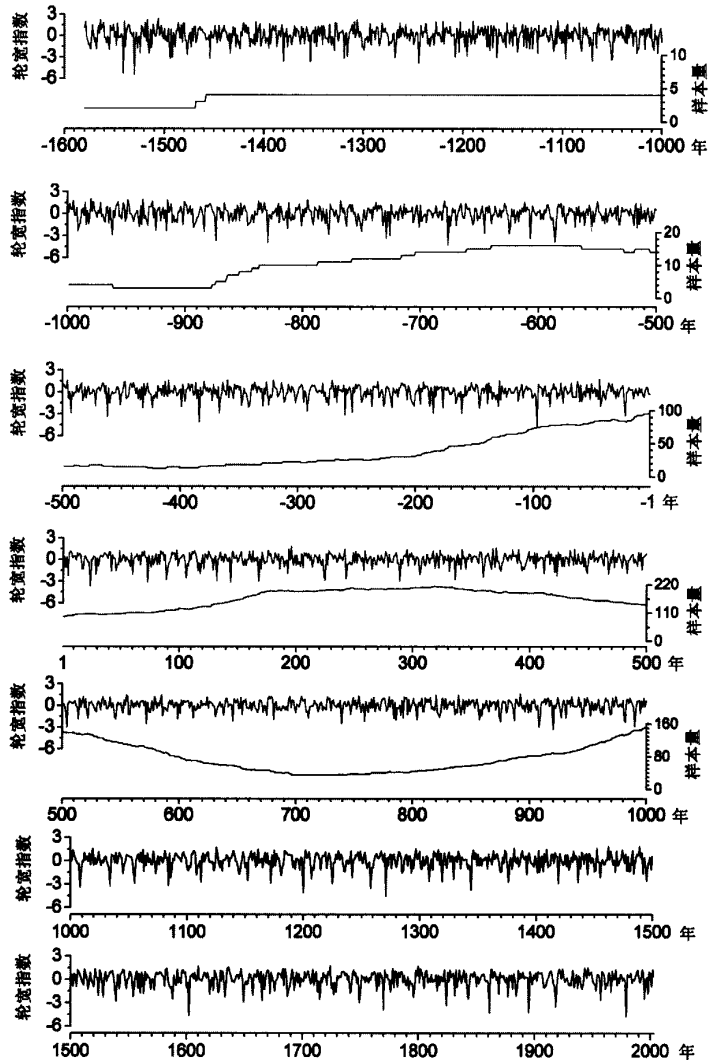


图 4 研究区总定年年表及复本量

Fig. 4 The master dating chronology and the sample depth for the study area

表 3 发生窄轮的年份

Table 3 Years with narrow ring

公元前								公元																
1541	1353	1173	1025	813	586	292	97	5	132	360	504	711	920	1086	1225	1329	1478	1542	1628	1698	1770	1843	1979	
1530	1329	1166	1008	778	555	260	86	24	144	374	514	739	945	1108	1242	1344	1480	1548	1633	1713	1776	1861	1995	
1524	1319	1145	1004	750	493	254	43	29	168	375	522	759	952	1112	1258	1376	1481	1554	1649	1715	1782	1869	1998	
1515	1316	1125	991	729	462	220	22	42	195	393	545	786	981	1144	1271	1392	1484	1560	1652	1727	1792	1877		
1494	1299	1109	962	726	432	201		60	224	412	546	804	982	1145	1285	1419	1492	1563	1657	1729	1796	1884		
1492	1268	1097	925	677	424	185		73	225	423	572	823	990	1152	1286	1436	1495	1586	1665	1741	1805	1895		
1478	1244	1081	916	646	399	177		89	243	449	599	857	1008	1172	1293	1438	1499	1588	1672	1742	1816	1918		
1454	1208	1070	884	625	384	161		106	289	467	612	875	1034	1181	1295	1444	1524	1602	1676	1749	1824	1941		
1434	1204	1051	874	607	367	146		116	306	483	646	887	1055	1200	1308	1455	1528	1620	1687	1750	1831	1957		
1380	1196	1050	830	587	342	130		118	336	496	681	908	1084	1207	1319	1468	1539	1627	1693	1764	1842	1966		

置信区间下,树轮年表显著相关的距离达 992km,将置信区间下调到 95% 时,显著相关的距离长达 1154km^[38]。我们在青藏高原东北部的干旱-半干旱

区树轮研究发现,本文所列出的一些窄轮,在祁连山和阿尼玛卿山的祁连圆柏年表上都有所体现(尚未发表)。

3 讨论与结语

在我们建立了活树的轮宽年表后,曾与距德令哈 150km 南部的都兰树轮年表进行过对比,发现都兰 2326 年的轮宽年表^[26]在公元 711 年和公元 874 年或 875 年各丢失一轮,而追溯到公元前 515 年的年表^[23]在公元 875 年也丢失了一轮(图略),丢轮的原因是都兰树轮年表在公元 700~900 年间样本量较少。这种一个样点的年表发生丢轮的事件在美国半干旱区也发生过^[39],只有大的样本量和仔细的定年工作才能避免。将都兰 2326 年的轮宽年表在公元 711 年和公元 875 年各加上一个缺失轮后,其年表延伸到公元前 328 年。我们又对这两个相互独立定年的年表进行了对比。在公共时段,即公元前 328~公元 2000 年,两个年表的相关系数为 0.60,可见它们完全可以交叉定年,而具有可重复能力这一点正是树轮资料作为代用资料的魅力所在。

本文所建立的年表是国内目前最长的定年年表,已延伸到商和周朝。如果将本文的样本进行连续的¹⁴C 测年,再与商和周朝出土的树轮样本的¹⁴C 测年结果进行比较,将有助于商和周的断代。而这一点正是建立此定年年表的意义之一。此外,该年表的建立进一步缩短了我国树轮年表长度与国际水平的差距,它也将为研究青藏高原地区更长时间尺度的气候变化提供基础。

参考文献 (References)

- 1 Briffa K R, Bartholin T S, Eckstein D *et al.* A 1,400-year tree-ring record of summer temperatures in Fennoscandia. *Nature*, 1990, **346**: 434~439
- 2 Hughes M K, Leggett P, Gray B *et al.* Climatic signals in British Isles tree-ring chronologies. *Nature*, 1978, **272**: 605~606
- 3 Cook E, Bird T, Peterson M *et al.* Climatic change in Tasmania inferred from a 1089-year tree-ring chronology of Huon Pine. *Science*, 1991, **253**: 1266~1268
- 4 Pearson G W, Pilcher J R, Baillie M G L *et al.* Absolute radiocarbon dating using a low altitude European tree-ring calibration. *Nature*, 1977, **270**: 25~28
- 5 Kromer B, Spurk M. Revision and tentative extension of the tree-ring based ¹⁴C calibration, 9200~11855 cal. BP. *Radiocarbon*, 1998, **40**(3): 1117~1125
- 6 LaMarche V C, Hirschboeck K K. Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions. *Nature*, 1984, **307**: 121~126
- 7 Yamaguchi D K, Atwater B F, Bunker D E *et al.* Tree-ring dating the 1700 Cascadia earthquake. *Nature*, 1997, **389**: 922~923
- 8 Stahle D W, Cleaveland M K, Blanton D B *et al.* The Lost Colony and Jamestown droughts. *Science*, 1998, **280**: 564~567
- 9 Grissino-Mayer H D, Sheppard P R, Cleaveland M K. A dendroarchaeological re-examination of the "Messiah" violin and other instruments attributed to Antonio Stradivari. *Journal of*

- Archaeological Science*, 2004, **31**(2): 167~174
- 10 Haneca K, Wazny T, van Acker J *et al.* Provenancing Baltic timber from art historical objects: Success and limitations. *Journal of Archaeological Science*, 2005, **32**(2): 261~271
- 11 Manning S W, Kromer B, Kuniholm P I *et al.* Anatolian tree rings and a new chronology for the east Mediterranean bronze-iron ages. *Science*, 2001, **294**: 2532~2535
- 12 仇士华. 夏商周年表的制订与¹⁴C 测年. 第四纪研究, 2001, **21**(1): 79~83
Qiu Shihua. ¹⁴C Dating taking part in the drawing up of Xia-Shang-Zhou Chronological Table. *Quaternary Sciences*, 2001, **21**(1): 79~83
- 13 夏商周断代工程专家组. 夏商周断代工程 1996~2000 年阶段成果报告·简本. 北京: 世界图书出版公司, 2000. 1~118
Expert Committee of the Xia-Shang-Zhou Chronology Project. The Stage Progress of the Xia-Shang-Zhou Chronology Project in (1996~2000). Beijing: World Publishing Corporation, 2000. 1~118
- 14 Crowley T J. Causes of climate change over the past 1000 years. *Science*, 2000, **289**: 270~277
- 15 Briffa K R, Jones P D, Schweingruber F H *et al.* Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years. *Nature*, 1998, **393**: 450~455
- 16 Mann M E, Bradley R S, Hughes M K. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature*, 1998, **392**: 779~787
- 17 Friedrich M, Remmel S, Kromer B *et al.* The 12460-year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe—A unique annual record for radiocarbon calibration and paleoenvironment reconstructions. *Radiocarbon*, 2004, **46**(3): 1111~1122
- 18 Ferguson C W. Bristlecone pine: Science and esthetics: A 7100-year tree-ring chronology aids scientists; old trees draw visitors to California mountains. *Science*, 1968, **159**: 839~846
- 19 Luckman B H. Dendrochronology and global change. In: Dean J S, Meko D M, Swetnam T W eds. *Tree Rings, Environment and Humanity*. Tucson: Department of Geosciences, The University of Arizona, 1996. 3~24
- 20 Lara A, Villalba R. A 3620-year temperature record from Fitzroya cupressoides tree rings in Southern South-America. *Science*, 1993, **260**: 1104~1106
- 21 Wolodarsky A, Moreno P I, Lara A *et al.* Tree-ring, stratigraphic, and palynological evidence for volcanic and climatic controls on Fitzroya cupressoides forests in Southern Chile over the last 5700 years, in Holocene environmental catastrophes in South America: From the lowlands to the Andes. 2005: Miramar, Córdoba Province, Argentina.
- 22 Boswijk G, Fowler A, Lorrey A *et al.* Extension, of the New Zealand kauri (*Agathis australis*) chronology to 1724 BC. *Holocene*, 2006, **16**(2): 188~199
- 23 Sheppard P R, Tarasov P E, Graumlich L J *et al.* Annual precipitation since 515 BC reconstructed from living and fossil juniper growth of Northeastern Qinghai Province, China. *Climate Dynamics*, 2004, **23**(7~8): 869~881
- 24 魏振铎. 祁连山圆柏林. 见:《中国森林》编辑委员会. 中国森林第二卷: 针叶林. 北京: 中国林业出版社, 1999. 1108~1116
Wei Zhenduo. Qilian juniper forests. In: Editorial Committee of "Chinese Forests" ed. *Chinese Forests* (Vol. 2): Coniferous Forests. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 1999. 1108~1116
- 25 北京大学考古文博学院, 青海省文物考古研究所. 都兰吐蕃墓. 北京: 科学出版社, 2005. 171
School of Archaeology and Museology, Peking University, Qinghai Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology. Tibetan Tombs

- at Dulan Qinghai. Beijing: Science Press, 2005. 171
- 26 Zhang Q B, Cheng G D, Yao T D *et al.* A 2,326-year tree-ring record of climate variability on the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Geophysical Research Letters*, 2003, **30**(14): 1739 ~ 1741
- 27 杜庆, 孙世洲. 柴达木盆地地区植被及其利用. 北京: 科学出版社, 1990. 129
Du Qing, Sun Shizhou. Vegetation in the Qaidam Basin Region and Its Utilization. Beijing: Science Press, 1990. 129
- 28 《青海森林》编辑委员会编著. 青海森林. 北京: 中国林业出版社, 1993. 497
Editorial Committee of "Forests in Qinghai" ed. Forests in Qinghai. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 1993. 497
- 29 许新国. 郭里木吐蕃墓葬棺板画研究. 中国藏学, 2005, (1): 56 ~ 69
Xu Xinguo. A study on the drawings on the boards of Tibetan tombs in Guolimu. *China Tibetology*, 2005, (1): 56 ~ 69
- 30 Shao Xuemei, Huang Lei, Liu Hongbin *et al.* Reconstruction of precipitation variation from tree rings in recent 1000 years in Delingha, Qinghai. *Science in China*(Series D), 2005, **48**(7): 939 ~ 949
- 31 邵雪梅, 梁尔源, 黄磊等. 柴达木盆地东北部过去 1437a 的降水变化重建. 气候变化研究进展, 2006, **2**(3): 122 ~ 126
Shao Xuemei, Liang Eryuan, Huang Lei *et al.* A reconstructed precipitation series over the past millennium in the northeastern Qaidam Basin. *Advances in Climate Change Research*, 2006, **2**(3): 122 ~ 126
- 32 Yin Z Y, Shao X M, Liang E Y *et al.* Reconstruction of a 1436-year soil moisture and vegetation water use history based on tree-ring widths from Qilian juniper in Northeastern Qaidam Basin, Northwestern China. *International Journal of Climatology*, 2007 (in press)
- 33 邵雪梅, 方修琦, 刘洪滨等. 柴达木东缘山地千年祁连圆柏年轮定年分析. 地理学报, 2003, **58**(1): 90 ~ 100
Shao Xuemei, Fang Xiuqi, Liu Hongbin *et al.* Dating the 1000-year-old Qilian juniper in mountains along the eastern margin of the Qaidam Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2003, **58**(1): 90 ~ 100
- 34 Stokes M A, Smiley T L. An Introduction to Tree-Ring Dating. Chicago: University of Chicago Press, 1968. 1 ~ 73
- 35 Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, 1983, **43**: 69 ~ 78
- 36 LaMarche V C Jr. Frequency-dependent relationships between tree-ring series along ecological gradient and some dendronological implications. *Tree-Ring Bulletin*, 1974, **34**: 1 ~ 29
- 37 Fritts H C. Tree Rings and Climate. London: Academic Press, 1976. 258 ~ 259
- 38 Cropper J P, Fritts H C. Density of tree-ring grids in western North America. *Tree-Ring Bulletin*, 1982, **42**: 3 ~ 9
- 39 LaMarche V C Jr, Harlan T P. Accuracy of tree ring dating of Bristlecone pine for calibration of the radiocarbon time scale. *Journal of Geophysical Research*, 1973, **78**(36): 8849 ~ 8858

A 3500-YEAR MASTER TREE-RING DATING CHRONOLOGY FROM THE NORTHEASTERN PART OF THE Q Aidam BASIN

Shao Xuemei^① Wang Shuzhi^② Xu Yan^① Zhu Haifeng^① Xu Xinguo^③ Xiao Yongmin^③
(^①Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101; ^②Institute of Archaeology, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100710; ^③Qinghai Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Xining 810007)

Abstract

A master ring-width dating chronology for the last 3500 years was developed by cross-dating well-replicated samples from different sources at 26 sites distributed over a region almost 200km across in the northeastern part of the Qaidam Basin in Northwestern China. The materials came from living trees, dead trees still standing on the slopes, and archaeological woods such as trunks and wooden coffins from the tombs of the Tang Dynasty situated on the alluvial fans in the study area. The longest core from living trees was dated back to 404A. D., and the time span covered by the archaeological woods is from 1580BC to 793A. D. The specimens from the dead trees covered the period of A. D. 130 to 1794. The overlaps in time among the three types of samples are long enough to support the development of a high-quality long chronology for the study area. We found that cross-dating could be performed well among specimens of different sources and highly significant correlation coefficients were present among three types of samples for their overlapping periods, *i. e.*, 0.51 between the archaeological woods and dead trees, 0.41 between the dead and living trees, and 0.61 between the archaeological woods and living trees, respectively. This suggests that it is possible to establish a master chronology for the study area. Using the master dating series produced by the program COFECHA for each site of the living trees, for all the dated archaeological woods and specimens from dead trees, a master dating chronology using specimens from 621 trees from the study area was developed by COFECHA again. This long chronology is not only independent of the published Dulan chronology, but also more than 1000 years longer, reaching to the time of Shang and Zhou Dynasties. After two missing rings were added to the Dulan chronology, these two chronologies are cross-dated very well for the common period of 328BC ~ 2000A. D. This is by far the longest tree ring dating chronology in China, which can be used as a reference for ring-width dating for trees from the arid and semi-arid regions of Northwest China.

Key words tree ring, cross-dating, master chronology, Qilian Juniper, the northeast part of the Qaidam Basin