

程雪寒, 王树芝, 张启, 等. 基于青海西宁墓葬出土木材的公元932~1503年祁连圆柏(*Juniperus przewalskii* Kom.)树轮年表[J]. 第四纪研究, 2024, 44(4):939-948.

CHENG Xuehan, WANG Shuzhi, ZHANG Qi, et al. A new tree-ring chronology of Qilian juniper (*Juniperus przewalskii* Kom.) from 932 A.D. to 1503 A.D. based on woods unearthed from tombs in Xining City, Qinghai Province[J]. Quaternary Sciences, 2024, 44(4):939-948.

doi:10.11928/j.issn.1001-7410.2024.04.08

文章编号: 1001-7410(2024)04-939-10

# 基于青海西宁墓葬出土木材的公元932~1503年祁连圆柏(*Juniperus przewalskii* Kom.)树轮年表\*

程雪寒<sup>1</sup>, 王树芝<sup>2</sup>, 张启<sup>3</sup>, 肖永明<sup>4</sup>, 任晓燕<sup>4</sup>

(1. 江西省、中国科学院庐山植物园, 江西 庐山 332900; 2. 中国社会科学院考古研究所, 北京 100710;

3. 唐山师范学院生命科学系, 河北 唐山 063000; 4. 青海省文物考古研究所, 青海 西宁 810007)

**摘要:** 考古遗址中出土的木材遗存是进行树木年轮学研究的重要材料, 考古树轮年表对于文化遗存的定年、碳十四年代校正、历史气候与环境考古、森林开发与木材利用史的研究具有重要价值。然而在中国, 考古树轮年表的建立尚不充分。本研究以青海省西宁市陶家寨墓群 M72 的出土棺木作为研究对象, 利用树木年轮学与木材解剖学方法建立了河湟地区跨度为 572 年的祁连圆柏(*Juniperus przewalskii* Kom.)树轮浮动年表, 根据树轮浮动年表与青海地区祁连圆柏参考年表的对比和碳十四测年结果, 将年表的绝对年代确定为 932~1503 A.D.。结合棺内出土的“顺治通宝”铜钱, 推测 M72 墓葬年代应为清初顺治、康熙年间, 即 1644~1722 A.D.。研究中的木棺所用树木极有可能来自就地取材或从大通河上游至祁连山东部的森林运输而来。该年表是河湟地区第一个考古树轮年表, 可为河湟地区及丝绸之路沿线的考古文化提供年代学标尺, 也可为进一步认识河湟地区的气候变化与森林生态提供历史代用资料。

**关键词:** 考古树轮年表; 陶家寨墓群; 棺木; 河湟地区; 树轮考古学; 碳十四测年

中图分类号: S718.5, P467

文献标识码: A

开放科学标识码(OSID)



## 0 引言

考古遗址中有时出土较大的木炭、干木材与饱水木材等遗存<sup>[1-4]</sup>, 其中保留清晰年轮的木材遗存结合现生立木与当地已建立的树轮年表, 可进行精确到年际乃至季节分辨率的定年, 这为文化遗存的后续研究提供了精确的年代基础。在过去几十年间, 欧洲与北美的研究人员利用现生立木、历史建筑、考古遗址、艺术品和家具中的木材, 建立了全球范围内的树轮年表网络<sup>[5-6]</sup>。这些年表最长可以延续到整个全新世, 为碳十四测年的日历年代校正提供了基础资料<sup>[7-9]</sup>。利用树轮年表的环境指示意义, 研究者进行了大量的历史气候重建<sup>[10-11]</sup>, 探讨

气候变化与灾害事件对人类文明的影响<sup>[12]</sup>。通过与树轮年表网络的匹配, 研究者追溯了木材遗存的来源<sup>[13-14]</sup>, 这也为研究艺术史<sup>[15-17]</sup>、建筑史<sup>[18-21]</sup>、造船史与木材贸易史<sup>[22-25]</sup>等人类活动提供了独特的视角。

在中国, 树木年轮学研究主要集中在气候学和生态学领域, 多数是以现生立木为研究对象, 重建历史时期的气候变化或森林生态<sup>[26-33]</sup>。树木年轮学研究可用的考古材料极为稀缺, 主要集中在青海省柴达木盆地东缘吐谷浑及吐蕃时期墓葬中的出土木材<sup>[34-40]</sup>; 通过对都兰热水古墓群<sup>[34]</sup>、德令哈夏塔图墓葬<sup>[35]</sup>等考古遗址出土木材的定年, 研究者们确定了墓葬的精确建造年代, 建立了当地的树木年

2024-02-28 收稿, 2024-03-28 收修改稿

\* 国家重点研发计划“文化科技与现代服务业”重点专项“中国北方旱作农业起源、形成与发展研究(一期)”(批准号:2022YFF0903500)、中国社会科学院创新项目(批准号:2021KGYJ020)和中国社会科学院项目“科技考古实验室”(批准号:2024SYZH002)共同资助

第一作者简介: 程雪寒, 女, 30岁, 助理研究员, 树轮生态学与树轮考古学研究, E-mail: xuehanch@outlook.com

通讯作者: 王树芝, E-mail: shuzhiwang@163.com

轮长年表<sup>[34-36]</sup>,并结合现生立木与亚化石木材不断延长年表<sup>[41-44]</sup>,重建了青藏高原东北部的长达3500年的降水量<sup>[45]</sup>及公元前4680年到公元2011年的亚洲夏季风变率<sup>[30]</sup>;树轮重建的气候环境序列为探讨北方新石器时代文化的转变<sup>[30]</sup>、诺木洪文化时期<sup>[46]</sup>和吐谷浑时期<sup>[46-47]</sup>的环境考古学研究提供了依据;结合树轮精确定年的柴达木地区吐蕃时期墓葬,研究者们对丝绸之路青海道的商贸时期进行了再探讨<sup>[37]</sup>,通过墓葬用材量评估了吐蕃时期人类对森林环境的巨大破坏<sup>[38]</sup>,利用墓葬出土木材重建了丝绸之路青海道沿线的森林干扰史等<sup>[48]</sup>。然而在柴达木地区以外,只有利用殷墟遗址出土的大块木炭重建商代晚期的降水量<sup>[49]</sup>,以及定年沈阳浑南水家村墓葬群出土的木质葬具<sup>[50]</sup>等的零星树轮考古学研究。

河湟地区位于青藏高原东北缘,是黄河上游龙羊峡至寺沟峡段及其支流湟水河的冲积形成的河谷地区,面积约 $3.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其行政范围包括青海省西宁市、海东市以及海北藏族自治州的门源县、黄南藏族自治州的尖扎、同仁县和海南藏族自治州的贵德县等共17个区县。该区域存在大量的史前及历史时期的遗址,在史前文化和历史时期东西方国家间的文化经济交流中扮演了重要角色。然而由于当地遗址中保存完整的、可用于树木年轮学研究的考古木材极为罕见,河湟地区尚无考古树轮年表的建立,这影响了遗址的精确定年与后续的文化研究。本文以青海省西宁市陶家寨墓群M72的出土棺木作为研究对象,利用木材解剖学与树木年

轮学方法进行分析,旨在建立河湟地区第一个考古树轮年表,并进行墓葬年代与木材来源地的探讨。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 气候与植被

研究所用的木材来自青海省西宁市陶家寨(TJZ)墓群( $36.69^\circ \text{N}$ ,  $101.74^\circ \text{E}$ ;海拔2326 m),墓葬位于西宁市西北郊二十里铺镇陶家寨村西部<sup>[51]</sup>,西倚拉脊山余脉大西山,地处河湟谷地(图1)。该区域位于青藏高原东北缘,平均海拔2000~3000 m,是青海省海拔最低的地区,也是黄土高原向青藏高原、东部季风区向西北干旱区、农耕区向游牧区过渡的关键地带。区域内地形破碎,地貌类型主要以高山或极高山、洪积-冲积平原、丘陵和台地为主,其中高山或极高山占区域总面积的72.4%,高海拔大起伏山地占区域总面积的34%。气候温和,雨热同期,年平均温度 $5 \sim 9^\circ \text{C}$ ,年平均降水量252~535 mm,日照时数2600~3000 h,对农作物生长发育极为有利,是黄河流域人类活动最早的地区之一<sup>[52-53]</sup>。主要植被类型为山地草原,有零星的林地和灌木林地分布<sup>[52]</sup>。

### 1.2 树木年轮数据

该地区有多座墓葬,其中大部分属于汉墓,少量汉墓被清代墓葬扰动,研究所用的树木年轮样本来自墓葬M72,该墓葬形式为土洞墓,由墓道、墓门和墓室三部分组成。墓道位于墓室的东侧,为竖井式,水平面呈梯形,长154 cm,东侧宽54 cm,西

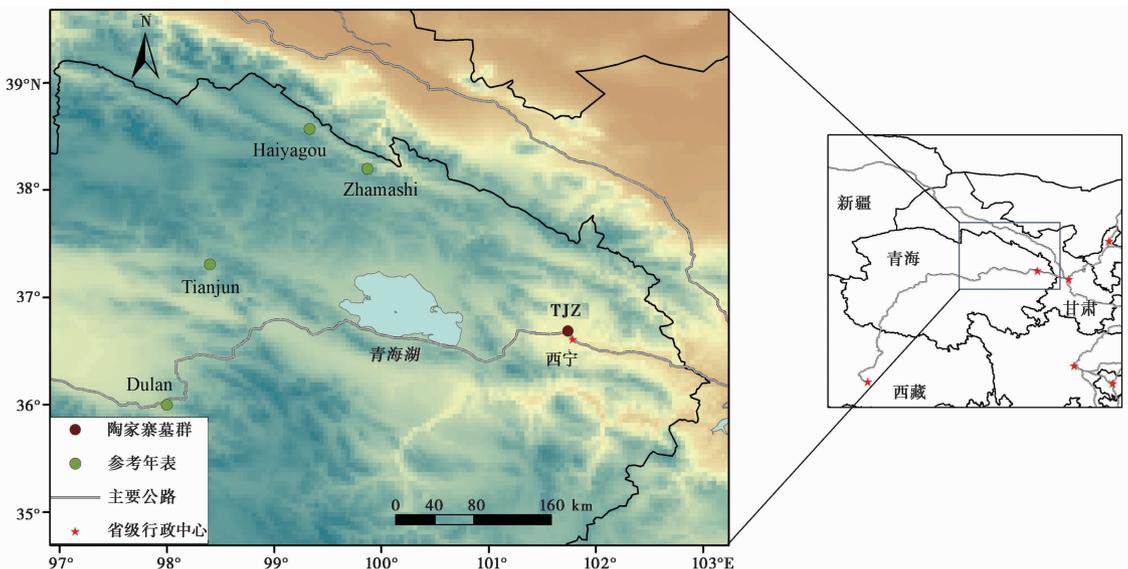


图1 研究区示意图

Fig. 1 The location map of study area

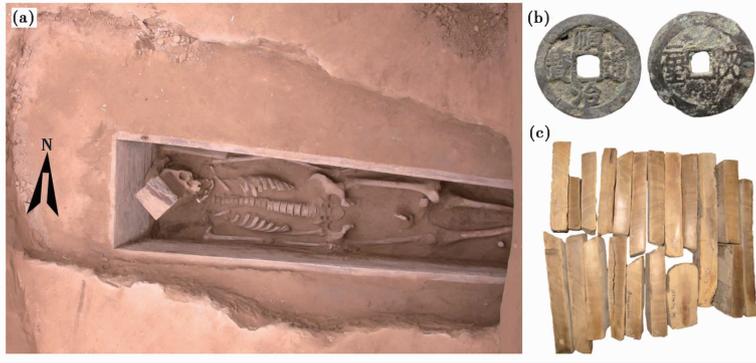


图2 陶家寨墓 M72 木棺(a)、棺内出土钱币(b)以及取样木材(c)

Fig. 2 The wooden coffin of Taojiazhai Tomb M72(a), bronze coins in the coffin(b), and wood samples collected from Tomb M72(c)

侧宽 64 cm, 底部坡度为  $11^\circ$ ; 墓门位于东侧, 高 97 cm, 宽 64 cm, 由土砖封堵; 墓室呈梯形, 从东到西长 217 cm, 西侧宽 95 cm, 东侧宽 64 cm; 内有一木棺, 置于墓室北部; 木棺呈梯形, 由棺底、棺盖、侧板和前后挡板组成, 长 189 cm, 西侧宽 54 cm、高 38 cm, 东侧宽 38 cm、高 26 cm(图 2a); 在棺材的底部, 发现了 6 枚带有文字的铜钱(图 2b)。

从木棺的各方向板材中采集了 20 块木板样本, 为了减少年轮非正常增量变化、缺轮与伪轮造成的年轮宽度误差, 在每块木板横切面沿两个径向分别测量, 得到 40 个复本用于树轮考古学研究(图 2c)。根据国际树木年轮学通用方法, 在木材样本自然干燥后, 依次使用粒度由粗到细的干砂纸进行电动磨光机及人工打磨, 至样本的年轮细胞在显微镜下清晰可辨<sup>[54]</sup>。利用 LINTAB 树轮测量仪进行年轮宽度的测量, 精度为 0.01 mm。运用 COFECHA<sup>[55]</sup> 软件来检验交叉定年的结果, 通过比较不同树木个体间的年轮序列, 鉴别出缺轮、伪轮和测量误差, 使每个样本的每一轮都被确定准确的生长年份。使用 ARSTAN<sup>[56]</sup> 软件对交叉定年后的原始测量序列进行去趋势及建立年表。

## 2 研究结果

### 2.1 墓葬出土木材的树种鉴定

为了使用同一树种的现生立木与考古木材进行交叉定年, 首先需要出土木材进行树种鉴定。结合当地树种与古木外观的经验, 判断棺木木材可能为刺柏属(*Juniperus* L.)。从青海省都兰县科肖图山上生长的祁连圆柏(*Juniperus przewalskii* Kom.)与陶家寨墓 M72 棺木样本 TJZ09 上分别采集了一小块木头, 进行软化处理。而后进行徒手切片, 并使用 1% 的番红溶液染色。利用光学显微镜对横切面、

径切面和弦切面进行观察、识别和拍照, 与文献中的现代木材结构图与特征描述相比较, 以确定树木种类<sup>[57]</sup>。

从木材横切面看, 早材带占全轮宽度的绝大部分, 晚材带窄, 早材至晚材渐变, 没有树脂道(图 3a和 3d); 从径切面看, 射线薄壁细胞与早材管胞间交叉场纹孔式为柏木型(图 3b和 3e); 从弦切面看, 木射线单列, 大多数射线高度为 2~9 个细胞(图 3c和图 3f)。根据《中国木材志》<sup>[57]</sup> 的描述与照片, 将此出土棺木木材鉴定为柏科(Cupressaceae)刺柏属(*Juniperus*)的祁连圆柏

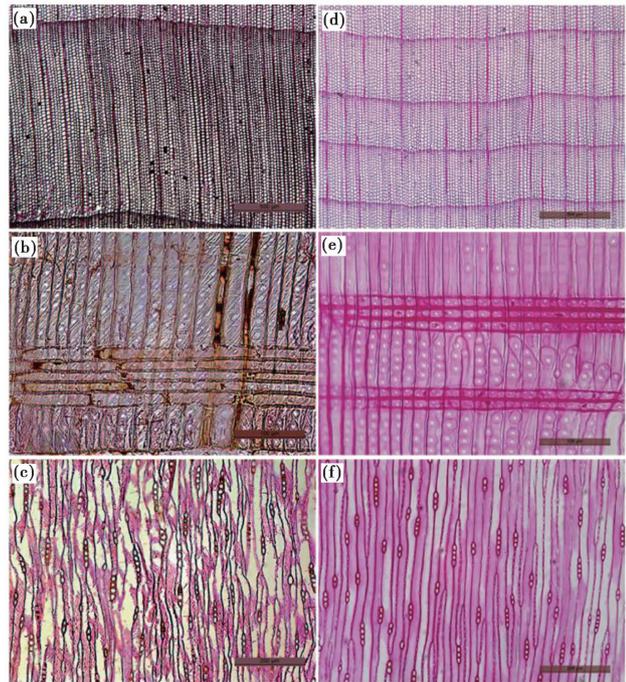


图3 棺木样本的横切面(a)、径切面(b)、弦切面(c)以及现生祁连圆柏的横切面(d)、径切面(e)、弦切面(f)

Fig. 3 Cross section(a), radial section(b), tangential section(c) of the coffin sample, and cross section(d), radial section(e), tangential section(f) of living Qilian juniper

(*Juniperus przewalskii* Kom.)。

## 2.2 树轮样本与交叉定年结果

### 2.2.1 浮动年表的建立

利用严格的交叉定年工作程序对棺木木材样本进行了测量和定年,设置 1000 A.D. 为样本的起测年代,沿树皮向髓心方向进行测量,测量精度为 0.01 mm,利用 COFECHA 程序检查样本的定年和轮宽测量值。在 20 块木板中,有 18 块共计 34 个复本能进行交叉定年;使用负指数去趋势建立了跨度为 572 年的树轮浮动年表,区间在 497~1068 A.D.,主序列为 550~975 A.D.(表 1)。浮动年表的标准差为 0.22,平均敏感度为 0.241,序列间相关系数为 0.509,一阶自相关系数为 0.765,信噪比为 20.32。其中跨度最长的样本为 TJZ09a,为 509 年。

### 2.2.2 绝对年代的确定

为了对浮动树轮年表进行绝对年代的确定,需要将其与当地的祁连圆柏长年表进行交叉定年。由于西宁地区缺乏长树轮年表记录,选取了 Yang 等<sup>[45]</sup>利用活树、死树、考古木材及亚化石木建立的青藏高原东北部的 4649 年树轮年表(2637 BC~2011 A.D.)进行对比,该年表的采样点分布在以青海野牛沟、都兰和德令哈为中心的区域(约 35°~39°N,96°~100°E);并在国际树木年轮数据库(ITRDB, <https://www.ncei.noaa.gov/products/paleoclimatology/tree-ring>)中选取了青海地区距离陶家寨墓较近的 4 条祁连圆柏长年表作为参考<sup>[45,58-59]</sup>(表 2)。

以树轮浮动标准年表的主序列(550~975 A.D.)长度为基本时段,以 1 年为滑动步长,并以 95%的置信区间作为检验标准,依次与青藏高原东北部 4649 年树轮长年表和 4 条祁连圆柏参考年

表(表 2)做滑动相关分析。为了提取序列的高频变化信号以突出作为交叉定年特征年的窄轮的影响,计算了浮动年表一阶差与上述 5 条参考年表一阶差的滑动相关系数。结果显示浮动年表与 5 条参考年表相关系数最高的时间段均为参考年表的 985~1410 A.D.(表 2 和图 4),即浮动年表的主序列(550~975 A.D.)的绝对年代很可能对应着 985~1410 A.D.,浮动年表需向后移 435 个日历年份。

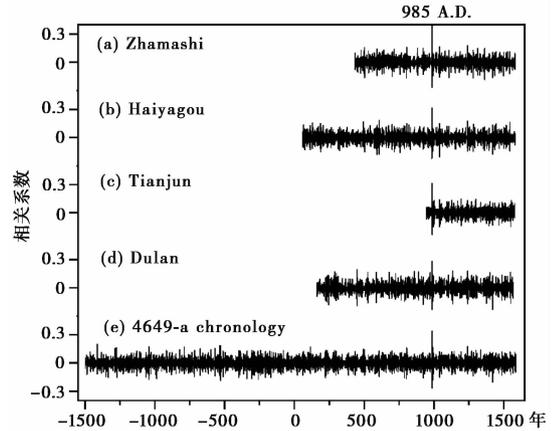


图 4 浮动年表与 5 条参考年表的滑动相关系数  
Fig. 4 Running correlation coefficients between the floating chronology and 5 reference chronologies

为了进一步确定样本的绝对年代,在陶家寨墓 M72 棺木样本 TJZ04 上选取浮动年表定年结果在 640~830 A.D. 内的部分木材,每 10 年进行取样,得到 19 个样本用于碳十四年代测定。结果显示,初始定年结果后移 435 个日历年份得到的取样木材年代为 1075~1265 A.D.,这与 IntCal20 放射性碳校正曲线<sup>[9]</sup>校正后的碳十四测定年代 1065~1255 A.D.(误差为±20 年)极为接近(图 5)。对比年表数据的共同

表 1 浮动年表的统计学特征\*

Table 1 Statistic characteristics of the tree-ring floating chronology

| 样点  | 浮动年表区间        | 样本量/复本量 | SD   | MS    | Rbar  | AC1   | SNR   | EPS>0.85 的年表区间 |
|-----|---------------|---------|------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| TJZ | 497~1068 A.D. | 18/34   | 0.22 | 0.241 | 0.509 | 0.765 | 20.32 | 550~975 A.D.   |

\* SD, 标准差; MS, 平均敏感度; Rbar, 序列间的相关性; AC1, 一阶自相关系数; SNR, 信噪比; EPS, 样本总体代表性

表 2 青海地区的 4 条祁连圆柏参考年表

Table 2 Four reference chronologies of Qilian Juniper in Qinghai area

| 年表名称                     | 国际树轮库编号 | 位置      | 纬度(°N) | 经度(°E) | 年表区间          | 与浮动年表的相关系数 |
|--------------------------|---------|---------|--------|--------|---------------|------------|
| Zhamashi <sup>[45]</sup> | CHIN071 | 祁连县扎麻什乡 | 38.20  | 99.87  | 432~2008 A.D. | 0.359*     |
| Haiyagou <sup>[45]</sup> | CHIN070 | 祁连县野牛沟乡 | 38.57  | 99.33  | 56~2009 A.D.  | 0.305*     |
| Tianjun <sup>[58]</sup>  | CHIN060 | 天峻县     | 37.31  | 98.40  | 943~2003 A.D. | 0.257*     |
| Dulan <sup>[59]</sup>    | CHIN006 | 都兰县     | 36.00  | 98.00  | 159~1993 A.D. | 0.259*     |

\*  $p < 0.05$

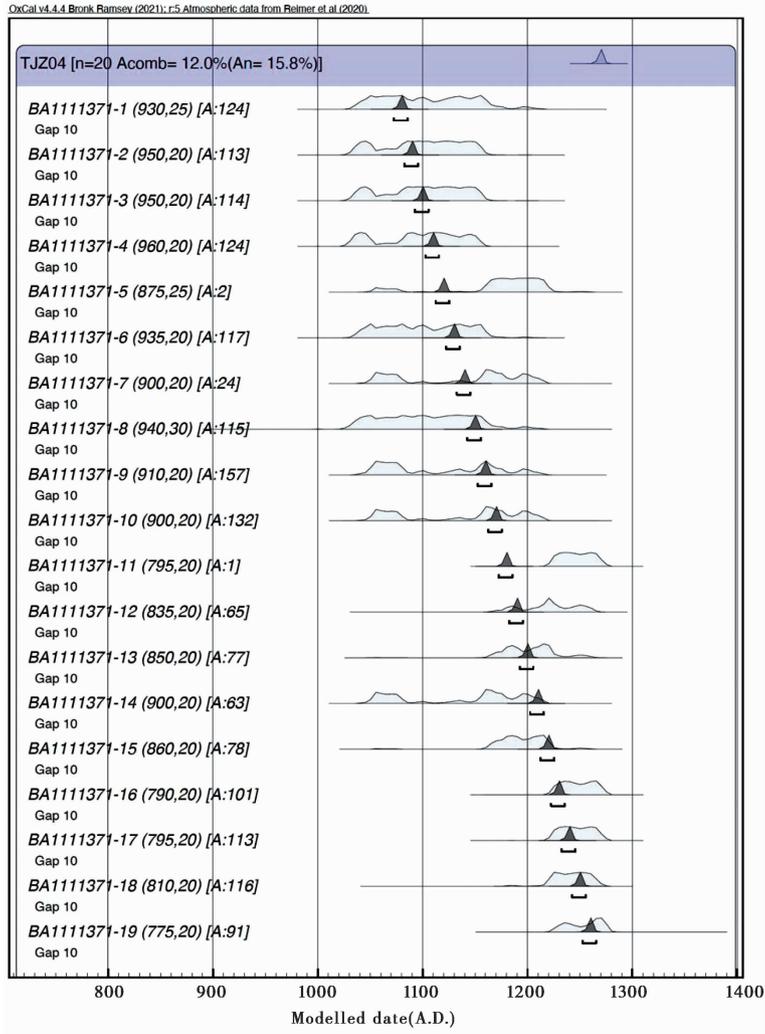


图5 陶家寨墓 M72 棺木样本 TJZ04 的碳十四测年结果

Fig. 5 <sup>14</sup>C dating results for the coffin sample TJZ04 of Taojiazhai Tomb M72

窄轮也发现,在1127 A.D.、1130 A.D.和1401 A.D.,后移435个日历年份的陶家寨墓浮动年表与前述5条参考年表均出现了明显的年轮生长量低值;结合碳十四定年与年表窄轮年份比较的结果,最终将全部时段为497~1068 A.D.的浮动年表确定为932~1503 A.D.的绝对年表(图6)。

### 3 讨论

#### 3.1 陶家寨树轮年表与墓葬的年代

利用陶家寨墓葬 M72 出土的棺木木材建立了浮动树轮年表,通过与青海地区其他树轮年表的滑动相关分析,结合碳十四定年与年表窄轮年份比较的结果,将陶家寨树轮绝对年表的年代确定为932~1503 A.D.。由于树轮样本为加工后的板材,存在较多的信息缺失。样本 TJZ04 的碳十四测年结果显示,浮动年表定年结果后移435个日历年份得到

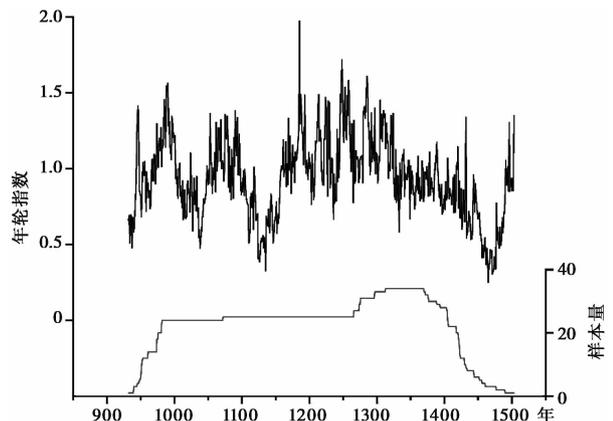


图6 陶家寨墓树轮宽度标准年表(STD)与样本量  
Fig. 6 Tree-ring width standard chronology and sample depth of Taojiazhai Tomb M72

的取样木材年代为1075~1265 A.D.,这与IntCal20放射性碳校正曲线<sup>[9]</sup>校正后的碳十四测定年代1065~1255 A.D.的差异为10年,在树轮校正后的

碳十四测年结果的 $\pm 20$ 年误差范围内<sup>[9]</sup>。滑动相关结果显示,陶家寨墓 M72 树轮年表与 Zhamashi 年表<sup>[45]</sup>的总体年代际变化接近,在 1127 A.D.、1130 A.D. 和 1401 A.D. 均出现了明显的年轮生长量低值,但 1130 A.D.、1401 A.D. 前后为连续的低生长时期,定年结果依然存在一些不确定性。

取样木材年代最晚的最外侧年轮为 1503 A.D., 根据以往的研究,祁连圆柏的边材平均数为  $148 \pm 35$  轮<sup>[40]</sup>, 因样本无边材,木材最外层年代应晚于 1616~1686 A.D.。该遗址所出土的遗物也印证了这一点。据考古发现,棺材底部有 6 枚铜钱,其中一枚正面铸有“顺治通宝”四字,反面铸有“陕重”二字(图 2b)。据此推测墓葬年代可能在清初的顺治、康熙年间,即 1644~1722 A.D.。

### 3.2 陶家寨树轮年表的木材来源地

研究中的木棺使用了加工后的祁连圆柏板材,祁连圆柏是中国西北部的特有种,因其树干挺直、耐腐烂、抗虫、抗弯、有香味等优良的木材特性,常被人们用作建材或棺椁,柴达木盆地东缘的大量吐蕃时期墓葬<sup>[34-37]</sup>即使用祁连圆柏原木建造。由于祁连圆柏的生态幅广泛,不仅生长于祁连山区,西到宗务隆山,东至黄土高原西缘,南至四川松潘地区均有发现<sup>[60]</sup>,木材的来源地存在较大的不确定性。

从新石器时代晚期到历史时期,河湟地区一直有使用松柏类木棺的墓葬习俗。公元前 2000 年左右,青海乐都柳湾马家窑文化马厂类型和齐家文化墓葬发现了用松柏类材质做成的独木棺<sup>[61]</sup>,青海省海东地区平安县古城汉代墓葬中也有松柏类木棺出土<sup>[62]</sup>。由于技术水平和运输条件的限制,推测上述棺木使用的木材多来自当地的森林。随着近百年间的森林砍伐,河湟地区已少有原始森林的分布,然而在历史时期,该地是青藏高原东北部森林较为集中的地区<sup>[60]</sup>。文焕然先生在《历史时期青海的森林》<sup>[63]</sup>指出,直至 18 世纪上半期,西宁府(约包括今青海东北部贵德以下黄河流域的大部分地区,日月山以下湟水流域及大通河下游等地)有柏树森林的分布;根据《西宁市志》<sup>[64]</sup>记载,民国时期马步芳曾征调西宁、大通、互助三县民夫砍伐大通县森林,可见当时森林植被之丰富。因此陶家寨木棺使用的木材很有可能来自西宁本地的森林。

由于清末河湟地区有伐木编筏经水路运输的习俗,也不排除棺木来自更远地区的可能。1914 年,周希武曾记载:“大通河上流多森林,贩木者入山伐

木,乱投于水,至峡口始截编筏,下之兰州一带”<sup>[65]</sup>,大量木材通过大通河至湟水至黄河运至兰州甚至宁夏、绥远销售。在青海地区的 4 条参考年表中,与位于柴达木盆地东缘的 Dulan 年表与祁连山南麓的 Tianjun 年表相比,距离采样点最近的来自青海省海北藏族自治州祁连县扎麻什乡的 Zhamashi 年表与陶家寨树轮年表的相关系数最高,在共同区间内,两条年表一阶差的相关系数为 0.359,达到了极显著水平(表 2、图 4 和图 7)。Gou 等<sup>[66]</sup>在祁连山东部地区的树木年轮干旱变率重建年表显示,陶家寨树轮年表中的树木低生长时期也对应着 1042~1071 A.D.、1118~1185 A.D. 和 1266~1353 A.D. 的持续干旱时期。这说明本研究中木棺使用的祁连圆柏与祁连山东部地区的树木更有可能处于同一气候区。由此推测研究中的木棺所用树木极有可能来自就地取材或从周边的森林运输而来,树木可能砍伐自大通河上游至祁连山东部的森林,而后通过水路运输到市镇进行加工出售。

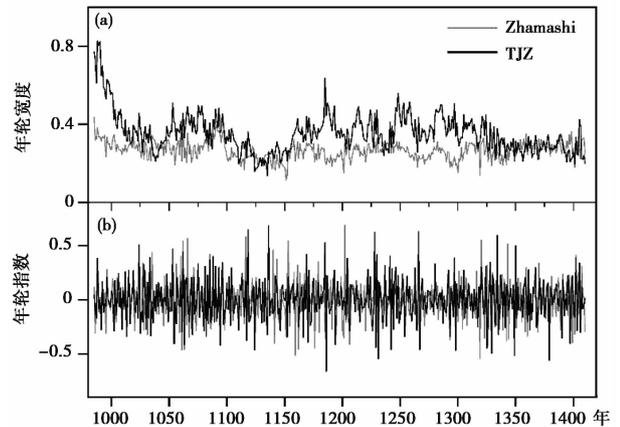


图 7 陶家寨墓 M72 树轮年表与 Zhamashi 年表的对比  
(a) 原始轮宽年表; (b) 标准年表一阶差

Fig. 7 Comparison of Taojiazhai M72 tree-ring chronology and Zhamashi reference chronology: (a) raw tree-ring width chronologies; (b) first order difference of the standard chronologies

## 4 结论

本文以青海省西宁市陶家寨墓群墓葬 M72 的出土棺木作为研究对象,利用树木年轮学方法建立了跨度为 572 年的树轮浮动年表,通过木材解剖学方法将棺木木材鉴定为柏科(Cupressaceae)刺柏属(*Juniperus*)的祁连圆柏(*Juniperus przewalskii* Kom.)。陶家寨树轮浮动年表与青藏高原东北部 4649 年树轮长年表和青海地区 4 条祁连圆柏参考年表的滑动相关分析显示,浮动年表需向后移 435

个日历年份。结合碳十四定年与年表窄轮年份的比较结果,最终将树轮浮动年表确定为932~1503 A.D.的树轮绝对年表。结合棺内出土的“顺治通宝”铜钱,推测M72墓葬年代应为清初的顺治、康熙年间,即1644~1722 A.D.。研究中的木棺所用树木极有可能来自就地取材或从大通河上游至祁连山东部的森林运输而来。陶家寨祁连圆柏树轮年表是河湟地区第一个考古树轮年表,可为河湟地区及丝绸之路沿线的考古文化提供年代学参考,也可为进一步认识河湟地区的气候变化与森林生态提供历史代用资料。

**致谢:**感谢所有参与本文采样、树轮测量和交叉定年的老师与工作人员,感谢审稿专家和编辑部杨美芳老师专业且富有建设性的修改意见。

#### 参考文献 (References):

- [1] 王树芝,丛德新. 青铜时代早期新疆温泉阿敦乔鲁遗址木材指示的环境和先民木材利用策略[J]. 第四纪研究, 2022, 42(6):1723-1736.  
Wang Shuzhi, Cong Dexin. Ecological environment and wood use indicated by the wood from Adunqiaolu site in Xinjiang, China during early Bronze Age[J]. Quaternary Sciences, 2022, 42(6): 1723-1736.
- [2] Tegel W, Muigg B, Skiadaresis G, et al. Dendroarchaeology in Europe[J]. Frontiers in Ecology and Evolution, 2022, 10:823622. doi: 10.3389/fevo.2022.823622.
- [3] 崔红庆,王树芝,张小虎,等. 青海民和官亭盆地青铜时代遗址木炭遗存指示的生态环境与木材利用[J]. 第四纪研究, 2022, 42(1):158-171.  
Cui Hongqing, Wang Shuzhi, Zhang Xiaohu, et al. The ecological environment and wood utilization indicated by the charcoal remains of the Bronze Age site in Minhe County, Guanting Basin, Qinghai Province[J]. Quaternary Sciences, 2022, 42(1):158-171.
- [4] 王海燕,王树芝,刘国祥,等. 辽西地区红山文化时期林木资源利用和生态环境研究[J]. 第四纪研究, 2024, 44(1):100-111.  
Wang Haiyan, Wang Shuzhi, Liu Guoxiang, et al. Study on forest resources utilization and ecological environment indicated by the charcoal remains of Hongshan Culture Period sites in the western Liaoning Province[J]. Quaternary Sciences, 2024, 44(1):100-111.
- [5] Haneca K, Ćufar K, Beeckman H. Oaks, tree-rings and wooden cultural heritage: A review of the main characteristics and applications of oak dendrochronology in Europe[J]. Journal of Archaeological Science, 2009, 36(1):1-11. doi: 10.1016/j.jas.2008.07.005.
- [6] Dominguez-Delmas M. Seeing the forest for the trees: New approaches and challenges for dendroarchaeology in the 21st century[J]. Dendrochronologia, 2020, 62:125731. doi: 10.1016/j.dendro.2020.125731.
- [7] Reimer P J, Baillie M G L, Edouard B, et al. Intcal04: Terrestrial

- radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP[J]. Radiocarbon, 2004, 46(3):1029-1058.
- [8] Reimer P J, Bard E, Bayliss A, et al. IntCal13 and marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP[J]. Radiocarbon, 2013, 55(4):1869-1887.
- [9] Reimer P J, Austin W E N, Bard E, et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP)[J]. Radiocarbon, 2020, 62(4):725-757.
- [10] 陈友平,陈峰,张合理,等. 树轮记录的自公元1200年以来强火山喷发事件与高亚洲南部河流源区气候水文变化的关联[J]. 第四纪研究, 2021, 41(2):323-333.  
Chen Youping, Chen Feng, Zhang Heli, et al. Strong link of large volcanic eruptions and climatic and hydrological changes recorded by tree rings in the river source area of Southern High Asia since 1200 A.D.[J]. Quaternary Sciences, 2021, 41(2):323-333.
- [11] 石钦云,徐鹏,陶贞,等. 天山中段地区树轮气候重建与冰川波动响应分析[J]. 第四纪研究, 2021, 41(2):356-367.  
Shi Qinyun, Xu Peng, Tao Zhen, et al. Tree-ring climate reconstruction and its impacts on glacier fluctuations in middle Tianshan Mountains[J]. Quaternary Sciences, 2021, 41(2):356-367.
- [12] Büntgen U, Tegel W, Nicolussi K, et al. 2500 years of European climate variability and human susceptibility[J]. Science, 2011, 331(6017):578-582.
- [13] Sass-Klaassen U, Vernimmen T, Baitinger C. Dendrochronological dating and provenancing of timber used as foundation piles under historic buildings in the Netherlands[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2008, 61(1):96-105.
- [14] Domínguez-Delmás M, Driessen M, García-González I, et al. Long-distance oak supply in mid-2nd century AD revealed: The case of a Roman harbour (Voorburg-Arentsburg) in the Netherlands[J]. Journal of Archaeological Science, 2014, 41:642-654. doi: 10.1016/j.jas.2013.09.009.
- [15] Grissino-Mayer H D, Deweese G G, Williams D A. Tree-ring dating of the Karr-Koussevitzky double bass: A case study in dendromusicology[J]. Tree-Ring Research, 2005, 61(2):77-86.
- [16] Bauch J, Eckstein D. Dendrochronological dating of oak panels of Dutch seventeenth-century paintings[J]. Studies in Conservation, 1970, 15(1):45-50.
- [17] Eckstein D, Ważny T, Bauch J, et al. New evidence for the dendrochronological dating of Netherlandish paintings[J]. Nature, 1986, 320(6061):465-466.
- [18] Crone A, Mills C M. Timber in Scottish buildings, 1450-1800: A dendrochronological perspective[J]. Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland, 2013, 142:329-369. doi: 10.9750/PSAS.142.329.369.
- [19] Billamboz A. Tree rings and wetland occupation in Southwest Germany between 2000 and 500 BC: Dendrochronology beyond dating in tribute to F. H. Schweingruber[J]. Tree-Ring Research, 2003, 59(1):37-49.
- [20] Billamboz A. Timber from old and young trees: Dendrotypology as the backbone of the dendroarchaeological investigations of prehistoric fish traps and pile dwellings in South-West Germany[J]. Journal of Wetland Archaeology, 2014, 14(1):48-57.
- [21] Billamboz A. Regional patterns of settlement and woodland

- developments: Dendroarchaeology in the Neolithic pile-dwellings on Lake Constance (Germany) [J]. *The Holocene*, 2014, 24(10): 1278–1287.
- [22] Domínguez-Delmás M, Alejano-Monge R, Van Daalen S, et al. Tree-rings, forest history and cultural heritage: Current state and future prospects of dendroarchaeology in the Iberian Peninsula [J]. *Journal of Archaeological Science*, 2015, 57: 180–196. doi: 10.1016/j.jas.2015.02.011.
- [23] Domínguez-Delmás M, Nayling N, Ważny T, et al. Dendrochronological dating and provenancing of timbers from the Arade 1 Shipwreck, Portugal [J]. *International Journal of Nautical Archaeology*, 2013, 42(1): 118–136.
- [24] Domínguez-Delmás M, Rich S, Traoré M, et al. Tree-ring chronologies, stable strontium isotopes and biochemical compounds: Towards reference datasets to provenance Iberian shipwreck timbers [J]. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2020, 34: 102640. doi: 10.1016/j.jasrep.2020.102640.
- [25] Daly A, Domínguez-Delmás M, van Duivenvoorde W. Batavia shipwreck timbers reveal a key to Dutch success in 17th-century world trade [J]. *PLoS One*, 2021, 16(10): e0259391. doi: 10.1371/journal.pone.0259391.
- [26] 蔡秋芳, 刘禹. 过去百年河南桐柏山气温变化历史及其与海气相互作用的联系 [J]. *第四纪研究*, 2021, 41(2): 346–355. Cai Qiufang, Liu Yu. Temperature variation of the past century in the Tongbai Mountain, Henan Province and its relationship with air-sea interaction [J]. *Quaternary Sciences*, 2021, 41(2): 346–355.
- [27] 祁瑶婷, 马然, 赵雨, 等. 秦岭南坡落叶松树轮 α-纤维素葡萄糖单元内氧同位素组成的年内变化特征及其气候关联 [J]. *第四纪研究*, 2023, 43(5): 1354–1363. Qi Yaoting, Ma Ran, Zhao Yu, et al. Intra-annual  $\delta^{18}\text{O}$  profiles of growth rings of *Larix gmelinii* grown on the south slope of the Qinling Mountains: Implications for high resolution reconstruction of past temperature and humidity [J]. *Quaternary Sciences*, 2023, 43(5): 1354–1363.
- [28] Zhang Q B, Evans M N, Lyu L. Moisture dipole over the Tibetan Plateau during the past five and a half centuries [J]. *Nature Communications*, 2015, 6: 8062. doi: 10.1038/ncomms9062.
- [29] Liu Y, Song H, An Z, et al. Recent anthropogenic curtailing of Yellow River runoff and sediment load is unprecedented over the past 500 y [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2020, 117(31): 18251–18257.
- [30] Yang B, Qin C, Bräuning A, et al. Long-term decrease in Asian monsoon rainfall and abrupt climate change events over the past 6,700 years [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2021, 118(30): e2102007118. doi: 10.1073/pnas.2102007118.
- [31] Lu X, Liang E, Babst F, et al. Warming-induced tipping points of Arctic and alpine shrub recruitment [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2022, 119(9): e2118120119. doi: 10.1073/pnas.2118120119.
- [32] 徐晓晓, 王云琦, 郑永林, 等. 重庆缙云山不同年龄马尾松径向生长对气候变化的响应 [J]. *第四纪研究*, 2023, 43(1): 144–153. Xu Xiaoxiao, Wang Yunqi, Zheng Yonglin, et al. Response of radial growth of *Pinus massoniana* at different ages to climate change in Jinyun Mountain, Chongqing [J]. *Quaternary Sciences*, 2023, 43(1): 144–153.
- [33] 郑泽煜, 靳立亚, 李金建, 等. 树轮记录的 1808 年以来神农架地区平均气温的变化 [J]. *第四纪研究*, 2021, 41(2): 334–345. Zheng Zeyu, Jin Liya, Li Jinjian, et al. Variability of mean temperature since 1808 A.D. in Shennongjia Mountain area inferred from tree ring [J]. *Quaternary Sciences*, 2021, 41(2): 334–345.
- [34] 王树芝. 青海都兰地区公元前 515 年以来树木年轮表的建立及应用 [J]. *考古与文物*, 2004, (6): 45–50. Wang Shuzhi. Construction and application of a tree ring chronology backed 515 BC for Dulan County, Qinghai Province [J]. *Archaeology and Cultural Relics*, 2004, (6): 45–50.
- [35] 王树芝, 邵雪梅, 许新国, 等. 跨度为 2332 年的考古树轮年表的建立与夏塔图墓葬定年 [J]. *考古*, 2008, (2): 80–86. Wang Shuzhi, Shao Xuemei, Xu Xinguo, et al. Establishment of a 2332-year dendro-archaeological chronology and dating of Xiatautu tombs [J]. *Archaeology*, 2008, (2): 80–86.
- [36] Wang S Z, Shao X, Xu X, et al. Dating of tombs in Delingha, Qinghai Province, China, on the basis of a 2332-year tree-ring juniper chronology (*Sabina przewalskii* Kom) (1575 BC–756 AD) [J]. *Dendrochronologia*, 2008, 26(1): 35–41.
- [37] Wang S, Zhao X. Re-evaluating the Silk Road's Qinghai route using dendrochronology [J]. *Dendrochronologia*, 2013, 31(1): 34–40.
- [38] 王树芝, 赵秀海. 用树轮年代学方法评估吐蕃时期人类对森林的破坏 [J]. *西北林学院学报*, 2010, 25(6): 55–58. Wang Shuzhi, Zhao Xiuhai. Evaluation of forest destruction by human interference during Tubo period [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25(6): 55–58.
- [39] Li M, Shao X, Yin Z Y, et al. Tree-ring dating of the reshui - 1 tomb in Dulan County, Qinghai Province, north-West China [J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0133438. doi: 10.1371/journal.pone.0133438.
- [40] 王树芝. 木材考古学: 理论、方法和实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2022: 13–157, 211–221. Wang Shuzhi. *Xylonarchaeology: Theories, Methods, and Practice* [M]. Beijing: Science Press, 2022: 13–157, 211–221.
- [41] 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 [J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(14): 1739–1741.
- [42] Shao X, Wang S, Zhu H, et al. A 3585-year ring-width dating chronology of Qilian juniper from the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Iawa Journal*, 2009, 30(4): 379–394.
- [43] Shao X, Xu Y, Yin Z Y, et al. Climatic implications of a 3585-year tree-ring width chronology from the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2010, 29(17–18): 2111–2122.
- [44] Yang B, Sonechkin D M, Datsenko N M, et al. Establishment of a 4650-year-long eigenvalue chronology based on tree-ring cores from Qilian junipers (*Juniperus przewalskii* Kom.) in Western China [J]. *Dendrochronologia*, 2017, 46: 56–66. doi: 10.1016/j.dendro.2017.10.002.
- [45] Yang B, Qin C, Wang J, et al. A 3,500-year tree-ring record of

- annual precipitation on the northeastern Tibetan Plateau [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111(8):2903-2908.
- [46] Dong G, Li T, Zhang S, et al. Precipitation in surrounding mountains instead of lowlands facilitated the prosperity of ancient civilizations in the eastern Qaidam Basin of the Tibetan Plateau [J]. Catena, 2021, 203:105318. doi: 10.1016/j.catena.2021.105318.
- [47] Zhang C, Zhang Q B. Is there a link between the rise and fall of the Tuyuhun tribe(Northwestern China) and climatic variations in the 4th-7th centuries AD? [J]. Journal of Arid Environments, 2016, 125(2):145-150.
- [48] 程雪寒,王树芝,朱岩石.丝绸之路青海道吐蕃时期墓葬出土木材记载的森林干扰史[J].第四纪研究,2022,42(1):192-205.  
Cheng Xuehan, Wang Shuzhi, Zhu Yanshi. History of forest disturbances recorded by timbers unearthed from Tubo tombs alongside the Silk Road's Qinghai routes[J]. Quaternary Sciences, 2022, 42(1):192-205.
- [49] 王树芝,岳洪彬,岳占伟.殷商时期高分辨率的生态环境重建[J].南方文物,2016,(2):148-157.  
Wang Shuzhi, Yue Hongbin, Yue Zhanwei. High-resolution ecological environment reconstruction during the Yin Dynasty and Shang Dynasty [J]. Cultural Relics in Southern China, 2016, (2):148-157.
- [50] 李俊霞,马鑫博,付永平,等.沈阳清墓木质葬具的树种鉴定及生态环境的指示潜力[J].应用生态学报,2021,32(10):3687-3698.  
Li Junxia, Ma Xinbo, Fu Yongping, et al. Tree species identification of wooden funeral utensil from Qing Dynasty's tombs and its potential of ecological and environmental indicator in Shenyang, Northeast China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(10):3687-3698.
- [51] 青海省文物考古研究所.青海西宁陶家寨汉墓发掘简报[J].文物,2015,(9):39-48+1.  
Qinghai Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology. The excavation of the tombs of the Han Dynasty at Taojiazhai Village in Xining, Qinghai [J]. Cultural Relics, 2015, 2015, (9):39-48+1.
- [52] 吴致蕾,刘峰贵,张懿铨,等.清代青藏高原东北部河湟谷地林草地覆盖变化[J].地理科学进展,2016,35(6):768-778.  
Wu Zhilei, Liu Fenggui, Zhang Yili, et al. Forest and grassland coverage change in the Yellow River-Huangshui River valley in northeast Qinghai-Tibet Plateau during the Qing Dynasty [J]. Progress in Geography, 2016, 35(6):768-778.
- [53] 罗静,张懿铨,刘峰贵,等.青藏高原东北部河湟谷地1726年耕地格局重建[J].地理研究,2014,33(7):1285-1296.  
Luo Jing, Zhang Yili, Liu Fenggui, et al. Reconstruction of cropland spatial patterns for 1726 on Yellow River-Huangshui River valley in northeast Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geographical Research, 2014, 33(7):1285-1296.
- [54] Fritts H C. Tree Ring and Climate [M]. London: Academic Press, 1976:20-23.
- [55] Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement [J]. Tree-Ring Bulletin, 1983, 43(1):69-78.
- [56] Cook E R. A Time Series Analysis Approach to Tree Ring Standardization (Dendrochronology, Forestry, Dendroclimatology, Autoregressive Process) [M]. Tucson: University of Arizona Press, 1985:183.
- [57] 成俊卿,杨家驹,刘鹏.中国木材志 [M].北京:中国林业出版社,1992:752.  
Cheng Junqing, Yang Jiaju, Liu Peng. Wood Science in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1992:752.
- [58] PAGES 2k Consortium. Continental-scale temperature variability during the past two millennia [J]. Nature Geoscience, 2013, 6:339-346. doi: 10.1038/NCEO1797.
- [59] 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 [J]. Climate Dynamics, 2004, 23(7-8):869-881.
- [60] 青海森林编委会.青海森林 [M].北京:中国林业出版社,1993:230-240.  
Editorial Committee of Forest in Qinghai. Forest in Qinghai [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1993:230-240.
- [61] 青海省文物管理处考古队,中国社会科学院考古研究所.青海柳湾 [M].北京:文物出版社,1984:53,170.  
Qinghai Provincial Cultural Relics Management Office Archaeological Team, Institute of Archaeology, Chinese Academy of Social Sciences. Qinghai Liawan [M]. Beijing: Cultural Relics Publishing House, 1984:53,170.
- [62] 青海省文物考古研究所.青海平安县古城青铜时代和汉代墓葬 [J].考古,2002,(12):29-37+101.  
Qinghai Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology. Bronze Age and Han Dynasty tombs in Gucheng, Ping'an County, Qinghai [J]. Archaeology, 2002, (12):29-37+101.
- [63] 文焕然.历史时期青海的森林 [M]//文焕然.中国历史时期植物与动物变迁研究.重庆:重庆出版社,2006:36-40.  
Wen Huanran. The forest in Qinghai Province during different historical period [M] // Wen Huanran. The Change of the Plant and Animal in China during Different Historical Period. Chongqing: Chongqing Publishing House, 2006:36-40.
- [64] 西宁市志编纂委员会.西宁市志 [M].西安:陕西人民出版社,1998:74-76.  
Editorial Committee of Xining City Chronicles. Xining City Chronicles [M]. Xi'an: Shaanxi People's Publishing House, 1998:74-76.
- [65] 周希武.宁海纪行 [M].兰州:甘肃人民出版社,2002:8.  
Zhou Xiwu. Ninghai Travelogue [M]. Lanzhou: Gansu People's Publishing House, 2002:8.
- [66] Gou X, Deng Y, Gao L, et al. Millennium tree-ring reconstruction of drought variability in the eastern Qilian Mountains, Northwest China [J]. Climate Dynamics, 2015, 45:1761-1770. doi: 10.1007/s00382-014-2431-y.

# A NEW TREE-RING CHRONOLOGY OF QILIAN JUNIPER (*JUNIPERUS PRZEWALSKII* KOM.) FROM 932 A.D. TO 1503 A.D. BASED ON WOODS UNEARTHED FROM TOMBS IN XINING CITY, QINGHAI PROVINCE

CHENG Xuehan<sup>1</sup>, WANG Shuzhi<sup>2</sup>, ZHANG Qi<sup>3</sup>, XIAO Yongming<sup>4</sup>, REN Xiaoyan<sup>4</sup>

(1. Lushan Botanical Garden, Jiangxi Province and Chinese Academy of Sciences, Lushan 332900, Jiangxi; 2. Institute of Archaeology, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100710; 3. Faculty of Life Science, Tangshan Normal University, Tangshan 063000, Hebei; 4. Institute of Cultural Relics and Archaeology of Qinghai Province, Xining 810007, Qinghai)

## Abstract

Wooden remains unearthed from archaeological sites serve as critical materials for dendrochronological research. Archaeological tree-ring chronologies hold significant value for the dating of cultural remains, calibration of radiocarbon dates, studies on historical climate and environmental archaeology, as well as research on forest exploitation and timber utilization history. However, the establishment of archaeological tree-ring chronologies in China is still insufficient. This study focuses on the excavated coffin from Tomb M72 in the Taojiazhai tombs in Xining, Qinghai Province (36.69°N, 101.74°E; 2326 m a. s. l.), from which 20 wooden planks were collected in various directions. Measurements were taken along two radial directions on the cross section of each plank, yielding 40 samples for study. Utilizing wood anatomical methods, the wood from this coffin was identified as belonging to the genus *Juniperus* within the Cupressaceae family, specifically *Juniperus przewalskii* Kom. A floating tree-ring chronology spanning 572 years was constructed using dendrochronological methods. Running correlation analysis between the Taojiazhai tree-ring floating chronology and the 4649-year long tree-ring chronology of the northeastern Tibetan Plateau as well as four Qilian juniper reference chronologies from the Qinghai region, indicated that the floating chronology should be adjusted backward by 435 calendar years. Combining radiocarbon dating and the comparison of narrow ring years, the floating tree-ring chronology was finally determined to be an absolute tree-ring chronology from 932 A.D. to 1503 A.D. Combined with the discovery of “Shunzhi Tongbao” copper coins within the coffin, the burial period of Tomb M72 is conjectured to be during the early Qing Dynasty, specifically the Shunzhi and Kangxi periods (1644~1722 A.D.). The trees used for the coffin likely originated from local sources or were transported from the upper reaches of the Datong River to the eastern Qilian Mountains. This chronology represents the first archaeological tree-ring chronology for the Hehuang area, providing a chronological scale for the archaeology of the Hehuang area and along the Silk Road. It also contributes historical proxy data for further understanding of climate change and forest ecology in the Hehuang region.

**Key words:** archaeological tree-ring chronology; Taojiazhai tombs; coffin woods; Hehuang area; dendroarchaeology; <sup>14</sup>C dating