

# 树轮与冰心反映的南北半球高海拔地区 温度变化之遥相关

刘 禹<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075;  
2. 西安交通大学 人居环境与建筑工程学院 环境科学与技术系, 西安 710049)

**摘要:** 计算发现北半球高海拔地区树轮重建的温度序列和具有温度指示意义的祁连圆柏树轮宽度年表均与南半球 Quelccaya 冰心  $\delta^{18}\text{O}$  序列年际间显著相关,  $r=0.13\sim 0.22$  ( $p<0.0001$ )。40 年滑动平均后, 序列之间相关关系大幅度提高, 甚至高达 0.74 ( $p<0.0001$ )。树轮宽度和冰心  $\delta^{18}\text{O}$  不同的记录载体传达了共同的信息: 南北半球高海拔地区温度变化存在很强的高频和低频振荡遥相关关系。

**关键词:** 青藏高原; 秘鲁 Quelccaya; 树轮宽度; 冰心  $\delta^{18}\text{O}$ ; 南北半球温度

**中图分类号:** P467 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-9901(2010) 02-0100-05

## Temperature tele-connections reflected in tree rings and ice core from high-latitude regions between North and South hemispheres

LIU Yu<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China; 2. Department of Environment Science and Technology, School of Human Settlements and Civil Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** By calculating, it is found that there is significant correlation between ice core  $\delta^{18}\text{O}$  series from Quelccaya in southern hemisphere and the reconstructed temperature series by tree rings from high-altitude of Northern Hemisphere, as well as ring-width chronology of *Sabina przewalskii* which is temperature indicative, with  $r=0.13\sim 0.22$  ( $p<0.0001$ ). After 40-year's moving average, the correlation coefficient improved greatly, even up to 0.74 ( $p<0.0001$ ). Common information derived from tree-ring width and ice core  $\delta^{18}\text{O}$  together indicates that there are strong tele-connections in both high and low frequency of temperature variations in high-latitude areas between North and South hemispheres. It may suggest there are some linkages between Asian Monsoon circulation and Asia-Pacific Oscillation (APO), ENSO and other climate events (An and Thompson, 1998). It also shows the representativeness of temperature variations in Tibetan Plateau of China for large region scale (Asia or hemisphere).

**Key words:** Tibetan Plateau; Peru Quelccaya; tree ring width; ice core  $\delta^{18}\text{O}$ ; North and South hemisphere temperatures

An and Thompson (1998) 利用北半球青藏高原原古里雅与南半球秘鲁 Quelccaya 冰心十年尺度上的累积量 (一般代表区域降水多寡) 记录进行对比,

发现在过去 1500 年间, 南美洲与亚洲腹地主要的干湿区间几乎同步出现, 十到百年尺度气候波动的低频存在遥相关。那么南北半球不同地质生物的气

收稿日期: 2010-09-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 NSFC (40890051); 中国科学院“百人计划”; 知识创新工程项目 (KZCX2-YW-Q1-01); 黄土与第四纪地质国家重点实验室开放基金

通讯作者: 刘 禹, E-mail: liuyu@loess.llqg.ac.cn

候记录（如树轮与冰心之间）是否也存在这种遥相关呢？高频变化之间是否也存在遥相关？

青藏高原地区的树木年轮长年表为研究南北半球温度变化提供了机会。该地区树木年轮气候研究已经进行了很多单点和区域温度与降雨重建(Yadav et al, 1997; Bräuning, 1994; Hughes, 1992; Esper et al, 2002; Liu et al, 2006, 2009; Zhang et al, 2003; Gou et al, 2008; 邵雪梅等, 2004; 刘晓宏等, 2004; 康兴成等, 1997)。但总的来说局地气候研究较多, 即使有大区域之间对比, 也是在北半球范围内进行(Linderholm et al, 2006; Liu et al, 2009), 尚无南北半球之间对比研究的报道。已有研究表明本地区树木年轮在一定程度上反映了北半球温度变化(Liu et al, 2006, 2009), 利用这一点进行南北半球之间温度对比, 无疑对理解全球变化十分重要。

## 1 材料与方法

### 1.1 中国青藏高原树木年轮资料（北半球）

青藏高原东北部, 位于东昆仑山和青海南部山脉之间。其西面 50 km 是中国最大的沙漠柴达木盆地东缘。该区具有很强的高原大陆性气候特征, 同时受到东亚夏季风和印度季风同时影响(Liu et al, 2006)。四季难分, 只有湿润和干旱季节。在湿润季节, 由于西南暖湿气流和东亚夏季风的影响, 气候温和, 相对降雨较多; 在干旱季节, 由于西风和青藏高原冷高压的控制, 天气干冷, 常刮强风。祁连山圆柏(*Sabina Przewalskii* kom.) 是当地的独有的树龄较长的树种, 它生长在非常寒冷、土壤贫瘠的干旱地带。

本文代表北半球高海拔地区的材料为采自中国青藏高原祁连山圆柏树木年轮, 其采样海拔高度为 3800~4200 m。包括:

(1) 过去 2485 年青藏高原中东部树轮宽度重建的温度序列(Liu et al, 2009; 484 BC—2000 AD)。

(2) 青海都兰 3 个地点的树轮宽度年表(Liu et al, 2006)。它们分别是曲日岗(QRG, 1379—2000 AD)、羊场(YC, 841—2002 AD)和克措(KC, 989—2002 AD)(图 1)。原来发表的文章都是以它们进行降水重建, 本文重新计算这些年表所反映的区域(非单点)温度信息, 以便比较。

### 1.2 秘鲁 Quelccaya 冰心资料（南半球）

秘鲁 Quelccaya 冰川位于玻利维亚高原安第斯山脉(图 1), 是热带地区最大的冰川地带, 面积 27 平方英里。玻利维亚高原大部分地区在海拔

4000 m 以上。这里属热带高原气候(Thompson et al, 1986)。

本文采用其冰心  $\delta^{18}\text{O}$  曲线进行对比(470—2000 AD), Quelccaya  $\delta^{18}\text{O}$  主要反映的是温度变化(Thompson et al, 1986)。

### 1.3 统计计算方法

本文以相关系数计算树轮宽度指数与气象资料之间、树轮重建温度(或树轮指数)与冰心  $\delta^{18}\text{O}$  之间相关关系。以时间序列分析方法, 如滑动平均, 对各序列进行分析对比, 研究有关现象的关联程度。

一般来说, 降水过程很大程度上反映局部地区的气象特征。而温度则不同, 它具有大范围空间一致性。为了避免对温度信号的误判, 本文不采用单样点对单个气象站计算相关(Liu et al, 2006)的方法, 而改用: 1) 以单样点对青藏高原中东部 7 个气象台站反映的大范围面上平均温度状况进行相关分析, 这 7 个站包括大柴旦、德令哈、都兰、格尔木、班戈、那曲和拉萨(图 1, Liu et al, 2009); 2) 将曲日岗、羊场和克措合并组成反映小区域状况的年表, 然后用此年表再对青藏高原中东部 7 个气象台站平均温度求相关, 这样可以保证计算出来的相关关系具有大范围的温度代表意义。

所有统计计算采用 SYSTAT 12 和 PSI-PLOT 9.0 软件完成。

## 2 结果

### 2.1 青藏高原东北部树轮宽度的温度响应

新的计算结果显示(表 1), 在观测的时段 1958—2000 AD 内, QRG、YC、和 KC 现生树轮宽度年表以及 3 个地点的合成年表(QRG+YC+KC)分别与高原 7 个气象站的上年全年平均气温( $T_{\text{ann-1}}$ )显著相关, 达到  $r=0.53\sim 0.61$  ( $p<0.003\sim 0.0001$ ); 其次它们与冬半年平均气温( $T_{9,3}$ , 上年 9 月至当年 3 月)也显著相关,  $r=0.47\sim 0.57$  ( $p<0.022\sim 0.001$ )。

### 2.2 南半球秘鲁 Quelccaya 冰心 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与北半球青藏高原树轮记录之关系

2.2.1 Quelccaya 冰心  $\delta^{18}\text{O}$  与青藏高原树轮重建温度  
青藏高原东北部树轮重建温度(T)取自于文献(Liu et al, 2009), 它是基于青藏高原东北部都兰、乌兰二地树轮宽度资料合成的温度曲线, 这个记录基本反映了青藏高原中东部, 甚至中国中北部地区的温度变化。计算表明, T 与秘鲁 Quelccaya 冰心  $\delta^{18}\text{O}$  之间原始序列相关  $r=0.13$  ( $p<0.0001$ , 470—2000 AD)。40 年滑动平均后相关系数大幅度提高,

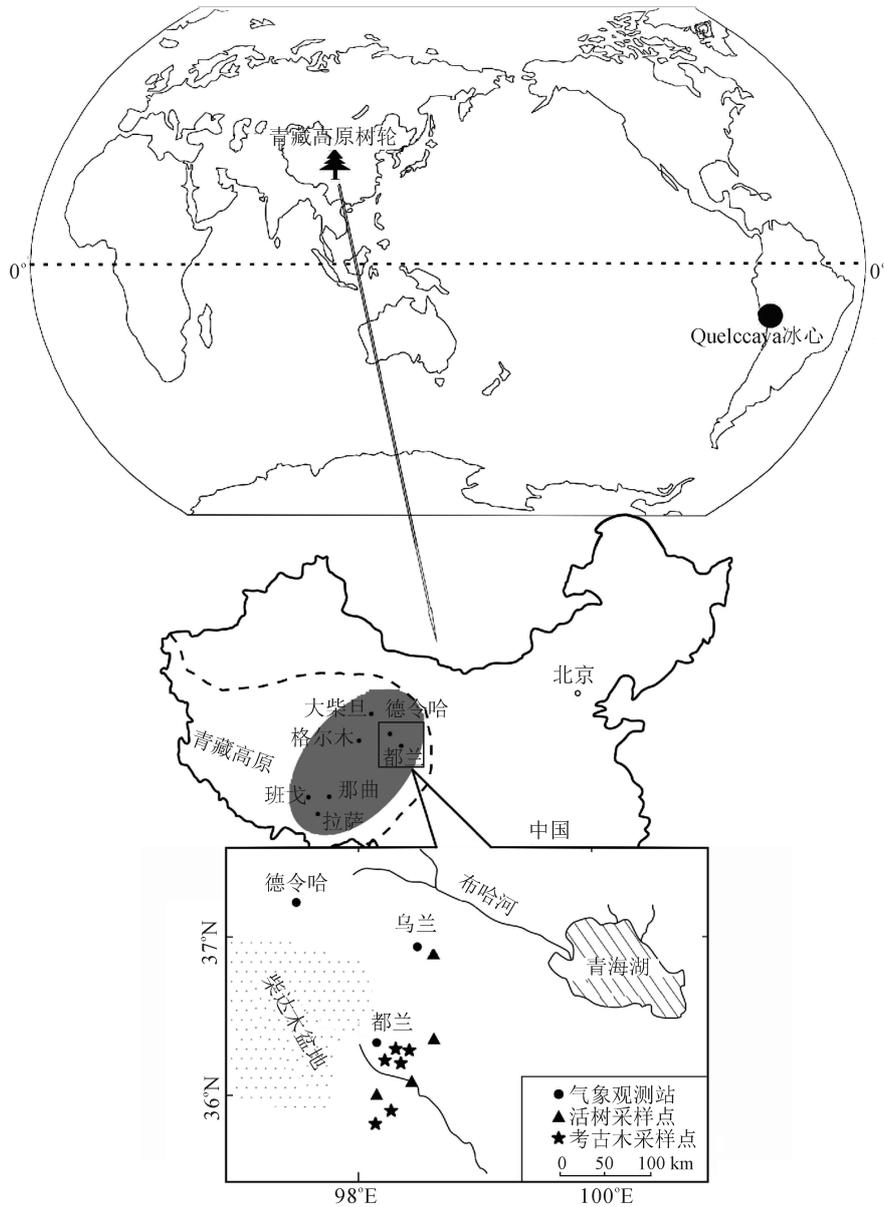


图 1 北半球树轮和南半球冰心研究地点

Fig.1 Locations of tree rings sites in North Hemisphere and ice cap sites in South Hemisphere

$r=0.44$  ( $p<0.0001$ , 490—1980 AD) (表 2)。

### 2.2.2 Quelccaya 冰心 $\delta^{18}O$ 与都兰 3 个年表的直接相关

QRG、YC 和 KC 现生树树轮宽度年表以及 3 个地点的合成年表 (QRG+YC+KC) 与秘鲁 Quelccaya 冰心  $\delta^{18}O$  之间均显著相关 (表 2)。40 年滑动平均后它们之间相关显著提高。

## 3 讨论

尽管树轮宽度在局部区域响应降水变化 (Liu et al, 2006; Zhang et al, 2003), 然而上述分析表明, 在都兰, 无论是单点还是由 3 个单点组成的小区域, 树轮宽度年表或合成年表在大尺度上直接响应大范围温度变化。与轮宽和降水达到 0.68~0.74 相关水

平相比 (Liu et al, 2006), 显然, 本文分析的轮宽对温度的响应结果弱于降水。但是尽管弱, 却不能够忽略。其实降水和温度共同作用于树木生长, 才能满足植物生长的生理要求。另一方面, 树轮采样点在山区, 海拔 3800~4200 m, 周围山峦起伏, 湿润多雨。而拟合所用的气象资料其观测站位于柴达木盆地东缘都兰县城, 海拔 3100 m, 地形开阔平坦, 气候干燥。采样点距气象观测站约 20 km, 两地巨大的地貌差异会导致对树轮中气候信号解读出现偏差。如果仅仅采用都兰单点的气象资料来做拟合的话, 所得到的结果将十分有限, 甚至会忽略这个树轮曲线的温度信号, 这也是为什么在此前的有关都兰树轮研究中, 人们都没有发现年际间直接的

表 1 QRG、YC、KC 现生树树轮宽度年表以及这 3 个地点的合成年表 (QRG+YC+KC) 与高原 7 个气象站  $T_{ann-1}$  及  $T_{9,3}$  相关结果 (1958—2000 AD),  $r(p)$

Table 1 Composite chronology, ring-width chronologies of living trees from three locations (QRG, YC, KC) and the correlations with  $T_{ann-1}$  and  $T_{9,3}$  from seven plateau meteorological stations (1958—2000 AD)

	QRG	YC	KC	QRG+YC+KC
$T_{ann-1}$	0.53 (0.003)	0.60 (0.0001)	0.58 (0.001)	0.61 (0.0001)
$T_{9,3}$	0.48 (0.019)	0.57 (0.001)	0.47 (0.022)	0.54 (0.003)

表 2 青藏高原树轮重建温度 (T) 及 QRG、YC、KC 树轮宽度年表以及 3 个地点合成年表 (QRG+YC+KC) 与秘鲁 Quelccaya 冰心  $\delta^{18}O$  之间相关关系,  $r(p)$

Table 2 The correlation analysis between reconstructed temperature (T) of Tibetan Plateau, the QRG, YC, KC ring-width chronology, composite chronology from 3 locations and  $\delta^{18}O$  from Peru Quelccaya ice core

	$\delta^{18}O$ (年际序列)		$\delta^{18}O_{-40}$ (40 年滑动平均序列)
T	0.13 (0.0001, 470—2000 AD)	$T_{-40}$	0.44 (0.0001, 490—1980 AD)
QRG	0.21 (0.0001, 1384—2000 AD)	QRG <sub>-40</sub>	0.74 (0.0001, 1404—1980 AD)
YC	0.13 (0.0001, 850—2000 AD)	YC <sub>-40</sub>	0.27 (0.0001, 870—1980 AD)
KC	0.16 (0.0001, 1100—2000 AD)	KC <sub>-40</sub>	0.57 (0.0001, 1120—1980 AD)
QRG+YC+KC	0.22 (0.0001, 1384—2000 AD)	(QRG+YC+KC) <sub>-40</sub>	0.71 (0.0001, 1404—1980 AD)

树轮温度信号, 而是局部地区降水信息 (Liu et al, 2006; Zhang et al, 2003), 反倒发现十年至百年尺度的低频变化响应大范围气温信号, 因为在统计意义上它对 7 条北半球气温曲线呈较高相关 (Liu et al, 2006)。而综合了都兰和乌兰树轮资料的 2485 年温度曲线, 其是直接温度重建, 与北半球其他的温度曲线相关很显著 (Liu et al, 2009)。

南半球 Quelccaya 与北半球青藏高原东北部, 两地虽然隔太平洋相距 20000 km 之遥, 海拔

高度均在 4000 m 以上。利用青藏高原古里雅与 Quelccaya 冰心十年尺度上的累积量记录进行的对比研究表明, 在过去 1500 年间, 南美洲与亚洲腹地的主要干湿区间几乎同步出现, 十到百年尺度气候波动的低频遥相关是存在的 (An and Thompson, 1998)。

表 2 的计算表明, 青藏高原不同的树轮温度记录也与 Quelccaya  $\delta^{18}O$  温度记录有着惊人的相似, 两地存在显著高频和低频振荡遥相关 (图 2)。尤

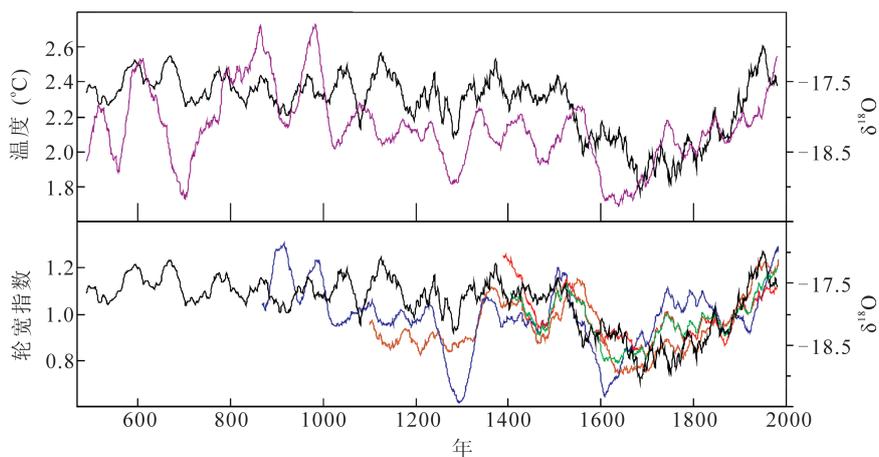


图 2 北半球中国青藏高原与南半球秘鲁 Quelccaya 温度记录对比

Fig.2 The comparison between of Tibetan Plateau temperature in North Hemisphere and constructed temperature from Peru Quelccaya  $\delta^{18}O$

所有曲线均经 40 年滑动平均。黑—秘鲁 Quelccaya 冰心  $\delta^{18}O$ ; 粉—青藏高原温度 (T); 蓝—YC; 红—QRG; 橙—KC; 绿—(QRG+YC+KC)

其 40 年滑动平均后, Quelccaya  $\delta^{18}\text{O}$  除与 YC 相关稍低 ( $r=0.27$ ) 以外, 与其他序列均高于 0.44, 尤其与 QRG 高达 0.74 ( $p<0.0001$ ), 二条曲线 (图 2 中红线与黑线) 细节上变化也惊人一致。一个显著的差别是在小冰期时期, 青藏高原温度探底比秘鲁要早 100 余年。但总的来说, 冰心  $\delta^{18}\text{O}$  和树轮宽度不同的记录载体传达了同一个信息: 北半球青藏高原温度与南半球秘鲁温度记录之间存在很强的高频和低频振荡遥相关关系。以 1500 余年的资料长度来看, 这种遥相关绝非偶然。或许表明亚洲季风环流与亚洲-太平洋涛动 (APO, 赵平等, 2008)、亚洲季风环流与 ENSO 等气候事件有某种联系 (An and Thompson, 1998), 也表明中国青藏高原地区的温度变化有很大的区域 (亚洲或半球) 代表性。

**致谢:** 本文系中瑞树轮中心 (SISTR) 合作成果 No.8。

#### 参考文献

- 康兴成, Graumlich L J, Sheppard P R. 1997. 青海都兰地区 1835a 年轮序列的建立和初步分析 [J]. *科学通报*, 42(10): 70-75.
- 刘晓宏, 秦大河, 邵雪梅, 等. 2004. 祁连山中部过去近千年温度变化的树轮记录 [J]. *中国科学 D 辑*, 34(1): 89-95.
- 邵雪梅, 黄磊, 刘洪滨, 等. 2004. 树轮记录的青海德令哈地区千年降水变化 [J]. *中国科学 D 辑*, 34(2): 145-153.
- 赵平, 陈军明, 肖栋, 等. 2008. 夏季亚洲-太平洋涛动与大气环流和季风降水 [J]. *气象学报*, 66(5): 716-729.
- An Z S, Thompson L G. 1998. Paleoclimatic change of monsoonal China linked to global change[M] // Galloway J N, Melillo J M. *Asian Change in the Context of Global Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 18-41.
- Bräuning A. 1994. Dendrochronology for the last 1400 years in Eastern Tibet[J]. *GeoJournal*, 34(1): 75-95.
- Esper J, Schweingruber F H, Winnger M. 2002. 1300 years of climatic history for Western Central Asia inferred from tree-rings[J]. *Holocene*, 12: 267-277.
- Gou X, Peng J, Chen F, et al. 2008. A dendrochronological analysis of maximum summer half-year temperature variations over the past 700 years on the northeastern Tibetan Plateau[J]. *Theor Appl Climatol*, 93: 195-206.
- Hughes M K. 1992. Dendroclimatic evidence from the Western Himalaya[M] // Bradley R S, Jones P D. *Climate since AD 1500*. London: Routledge, 415-431.
- Linderholm H W, Bräuning A. 2006. Comparison of high-resolution climate proxies from the Tibetan Plateau and Scandinavia during the last millennium[J]. *Quaternary International*, 154-155: 141-148.
- Liu Y, An Z S, Linderholm H W, et al. 2009. Annual temperatures during the last 2485 years in the Eastern Tibetan Plateau inferred from tree rings[J]. *Science in China (D)*, 52(3): 348-359.
- Liu Y, An Z S, Ma H Z, et al. 2006. Precipitation variation in the northeastern Tibetan Plateau recorded by the tree rings since 850 AD and its relevance to the Northern Hemisphere temperature[J]. *Science in China (D)*, 49(4): 408-420.
- Thompson L G, Mosley-Thompson E, Dansgaard W, et al. 1986. The little ice age as recorded in the stratigraphy of the tropical Quelccaya ice cap[J]. *Science*, 234: 361-364.
- Yadav R R, Park W K, Bhattacharyya A. 1997. Dendroclimatic reconstruction of April-May temperature fluctuations in the Western Himalaya of India since AD 1698[J]. *Quaternary Res*, 48:187-191.
- Zhang Q B, Cheng G D, Yao T D, et al. 2003. A 2,326-year tree-ring record of climate variability on the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Geophys Res Lett*, 30(14): 1739-1742.