

# 滇西北地区 1678–2019 年 9–10 月平均 气温序列的建立

邓国富<sup>1,2</sup>, 李明启<sup>1\*</sup>

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学, 北京 100049

**摘 要:** 作者于 2012、2019 年 11 月在云南省贡山独龙族怒族自治县境内 (98.48°E, 27.78°N, 海拔高度 3,245 m) 采集了苍山冷杉 (*Abies delavayi* Franch.) 的树轮样芯, 然后, 运用 X 射线法获取了树轮密度数据。本文选取 27 棵 51 根样芯的晚材最大密度数据, 利用 ARSTAN 程序去除趋势 (采用步长为 67% 序列长度的样条函数, 拟合树木生长趋势) 与标准化, 建立了 1678–2019 年的晚材最大密度年表, 将树轮密度年表与该县 1951–2019 年气候变量进行相关分析。结果表明晚材最大密度的差值年表与 9–10 月的平均气温相关性最高。在此基础上, 利用一元线性回归方程, 重建了滇西北地区 1678–2019 年 9–10 月的平均气温数据, 重建的方差解释量为 33%。该重建方程通过了留一法交叉验证, 缩减误差值为 0.29, 表明该重建序列稳定可靠。此外, 该重建序列与滇西北邻近地区重建的晚夏平均气温序列相关系数为 0.458–0.526。该数据集内容包括: (1) 采样点的地理位置数据; (2) 树轮样芯的基本统计特征; (3) 苍山冷杉晚材最大密度差值年表与滇西北 9–10 月平均气温重建序列; (4) 苍山冷杉晚材最大密度差值年表统计信息; (5) 重建所用的 1951–2019 年格点气温数据。数据集存储为 .kml、.shp 和 .xlsx 格式, 由 7 个数据文件组成, 数据量为 56.5 KB。

**关键词:** 滇西北; 晚材最大密度; 气温重建; 长年表

**DOI:** <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.03.02>

**CSTR:** <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2022.03.02>

**数据可用性声明:**

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:

<https://doi.org/10.3974/geodb.2022.04.03.V1> 或 <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.04.03.V1>。

## 1 前言

树轮因分布广泛、分辨率高、定年准确, 常被用于重建区域气候变化历史, 为研究区域气候变化的驱动机制提供了基础资料。滇西北地区处在青藏高原东南部, 横断山脉北侧,

收稿日期: 2022-04-20; 修订日期: 2022-07-11; 出版日期: 2022-09-25

基金项目: 国家自然科学基金 (41977391, 41630529, 41571194); 中华人民共和国科学技术部 (2017YFA0603302)

\*通讯作者: 李明启 GLU-9912-2022, 中国科学院地理科学与资源研究所, [limq@igsrr.ac.cn](mailto:limq@igsrr.ac.cn)

数据引用方式: [1] 邓国富, 李明启. 滇西北地区 1678–2019 年 9–10 月平均气温序列的建立[J]. 全球变化数据学报, 2022, 6(3): 330–338. <https://doi.org/10.3974/geodp.2022.03.02>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2022.03.02>.

[2] 邓国富, 李明启. 基于苍山冷杉树轮晚材最大密度重建的滇西北地区 9–10 月平均气温数据集 (1678–2019)[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2022. <https://doi.org/10.3974/geodb.2022.04.03.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2022.04.03.V1>.

地势落差大，气候的水平差异和垂直差异均较大。滇西北地区复杂的地理条件造就了丰富的树种资源，在海拔2,600–3,200 m的地方存在苍山冷杉 (*Abies delavayi* Franch.)、怒江红杉 (*Larix speciosa* Cheng et Law)、云南铁杉 (*Tsuga dumosa* (D. Don) Eichler) 等针叶树种<sup>[1, 2]</sup>。丰富的针叶树种资源为研究气候变化历史提供了树轮资料。树轮与气候的关系受其环境的影响，滇西北地区气候相对湿润，高海拔地区针叶树种的树轮晚材密度的大小主要受生长季气温的影响。目前已有研究采用油麦吊云杉 (*Picea brachytyla* (Franch.) Pritz. var. *complanata* (Mast.) Cheng ex Rehd.)、怒江红杉、大果云杉 (*Picea asperata* Mast.) 的晚材最大密度指标 (maximum latewood density, MXD) 重建了该研究区过去整个生长季或晚夏的平均气温序列<sup>[3–5]</sup>，其中由怒江红杉重建的滇西北地区8–9月的平均气温序列长达319年(1680–2008年)。

基于树轮密度重建的气温序列表明滇西北地区、西藏东部和四川西部近30年升温存在差异<sup>[6, 7]</sup>。研究表明该差异可能与树种、环境或去趋势方法不同有关<sup>[6, 8]</sup>。西藏东部和四川西部用于重建气候变化的树轮密度资料主要是川西云杉 (*Picea likiangensis* var. *balfouriana*)，青藏高原东南部重建气候变化的资料则涉及怒江红杉、油麦吊云杉、急尖长苞冷杉 (*Abies georgei* Orr var. *smithii* (Viguie et Gaussen) Cheng et L.) 等多个树种，而这些树种在重建气温的方差解释量存在差异<sup>[4, 5, 7, 9–14]</sup>。因此，需使用多个树种的树轮密度指标的重建序列来探索遗传因素对重建结果不确定性的影响。本文利用苍山冷杉MXD重建了滇西北地区1678–2019年9–10月的平均气温序列，延长了该区基于树轮密度的气温代用记录，为探索不同树种树轮密度重建气候的潜力提供参考。

## 2 数据集元数据简介

《基于苍山冷杉树轮晚材最大密度重建的滇西北地区9–10月平均气温数据集(1678–2019)》<sup>[15]</sup>的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表1。

## 3 数据研发方法

### 3.1 算法原理

本文采用一元线性回归方程拟合1951–2019年时段内9–10月平均气温与MXD之间的关系，并基于该方程 ( $T_{9-10} = a \times \text{MXD} + b$ ) 重建过去滇西北地区342年9–10月的平均气温。线性拟合方程的斜率  $a$  和截距  $b$  通过最小二乘法计算得到。线性方程的验证包括留一交叉验证和分段验证。验证的统计量包括重建值与实测值之间的相关系数 ( $r$ )、符号检验 ( $ST$ 、 $STI$ )、乘积平均检验 ( $T$ )、缩减误差 ( $RE$ ) 和有效系数 ( $CE$ )<sup>[17]</sup>。

乘积平均检验统计量  $T$  的计算公式为：

$$T = \frac{(M_1 - M_2)}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}} \quad (1)$$

将每一年校准值与观测数据的距平值符号相同的乘积分到正乘积组， $M_1$  即为所有正乘积的平均值， $S_1^2$ 、 $N_1$  分别为正乘积组对应的方差和个数。将每一年校准值与观测数据

的距平值符号异号的乘积分到负乘积组， $M_2$  即为所有负乘积的平均值的绝对值， $S_2^2$ 、 $N_2$  分别为负乘积组对应的方差和个数。

$RE$ 、 $CE$  计算的公式为：

$$RE=1-\frac{\sum (y_i-\hat{y}_i)^2}{\sum (y_i-\bar{y}_c)^2} \tag{2}$$

$$CE=1-\frac{\sum (y_i-\hat{y}_i)^2}{\sum (y_i-\bar{y}_v)^2} \tag{3}$$

$y_i$  为第  $i$  年的观测值， $\hat{y}_i$  为验证时段第  $i$  年的预测值， $\bar{y}_c$  和  $\bar{y}_v$  分别为校准时段和验证时段观测数据的平均值。 $RE$  和  $CE$  同时大于 0 的结果表明建立方程的可信度高

表 1 《基于苍山冷杉树轮晚材最大密度重建的滇西北地区 9–10 月平均气温数据集（1678–2019）》元数据简表

条目	描述
数据集名称	基于苍山冷杉树轮晚材最大密度重建的滇西北地区 9–10 月平均气温数据集（1678–2019）
数据集短名	MeanTemp9-10nwYunnan1678-2019
作者信息	邓国富 0000-0001-9053-8602，中国科学院地理科学与资源研究所，中国科学院大学，dengguofu18@mails.ucas.ac.cn 李明启 GLU-9912-2022，中国科学院地理科学与资源研究所，limq@igsnrr.ac.cn
地理区域	中国滇西北地区
数据年代	1678–2019 年
时间分辨率	年
数据格式	.shp、.xlsx
数据量	56.5 KB（压缩后 52.5 KB）
数据集组成	（1）采样点的地理位置数据；（2）树轮样芯的基本统计特征；（3）苍山冷杉晚材最大密度差值年表与滇西北 9–10 月平均气温重建序列；（4）苍山冷杉晚材最大密度差值年表统计信息；（5）重建所用的 1951–2019 年格点气温数据
基金项目	国家自然科学基金（41977391，41630529，41571194）；中华人民共和国科学技术部（2017YFA0603302）
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 <a href="http://www.geodoi.ac.cn">http://www.geodoi.ac.cn</a>
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据集和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 <sup>[16]</sup>
数据和论文检索系统	DOI，CSTR，Crossref，DCI，CSCD，CNKI，SciEngine，WDS/ISC，GEOSS

3.2 技术路线

本文分别于 2012 和 2019 年的 11 月在高黎贡山北段东南坡 3,245 m 高度附近的怒江红

杉与苍山冷杉混交林中采样，采样点经纬度为 98.48°E，27.78°N（图 1）。野外采集的样本首先放在自然条件下风干，之后利用 320 目和 800 目的砂纸先后对样本打磨，再通过显微镜进行宽度定年和使用 Lintab6 系统测量树轮宽度。其后再开展树轮分段与固定、测量纤维走向、切片、配制显影定影液、拍摄 X 光片、读取数据等实验步骤获取树轮密度。本文采用 ARESTAN 程序对树轮 MXD 原始测量数据进行去趋势与标准化处理，其中生长趋势采用步长为三分之二序列长度的样条函数拟合，最后得到 MXD 的差值年表<sup>[18]</sup>。在已有 MXD 差值年表和滇西北地区 9–10 月格点气温数据 CRU TS4.04（格点 98.25°E/27.75°N 和格点 98.750°E/27.750°N 的平均）<sup>1</sup>的基础上，建立器测时期 9–10 月平均气温与 MXD 之间的关系方程，然后将历史时期的 MXD 代入该方程求出相应的 9–10 月平均气温。进而将本文重建的序列与青藏高原其他地区利用树轮密度资料重建气温的序列进行对比（图 2）。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

该数据集由（1）采样点的地理位置数据；（2）树轮样芯的基本统计特征；（3）苍山冷杉晚材最大密度差值年表与滇西北 9–10 月平均气温重建序列；（4）苍山冷杉晚材最大密度差值年表统计信息；（5）重建所用的 1951–2019 年格点气温数据所组成。

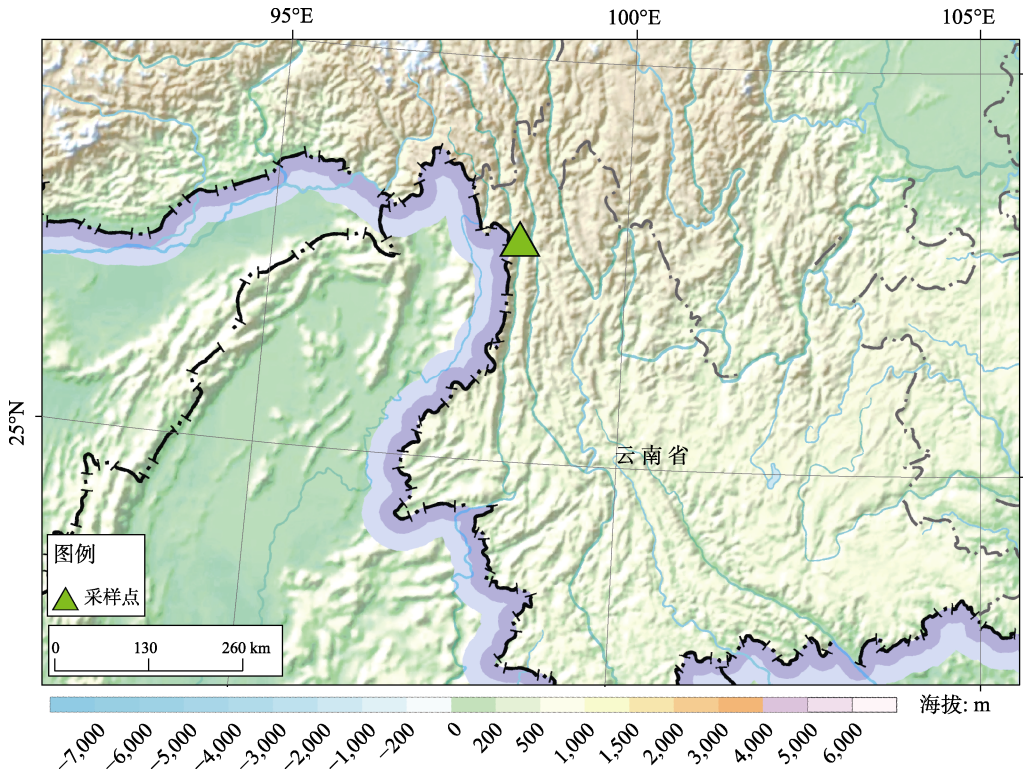


图 1 采样点地理位置图

<sup>1</sup> <https://catalogue.ceda.ac.uk/>.

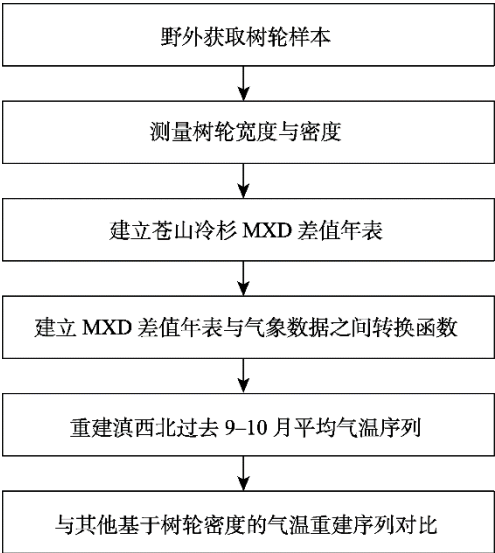


图 2 数据集研发技术路线流程图

4.2 数据结果

重建的滇西北地区 9-10 月平均温度序列的长度为 342 年（1678–2019 年）（图 3）。重建所建立的转换函数为  $T_{9-10}=10.43\times\text{MXD}+8.37$ ，方差解释量为 33%，调整后的方差解释量为 32%。当校准时段为 1951–2019 年时，采用留一交叉验证方法验证方程。结果显示（表 2），校准值与观测值之间的平均相关系数为 0.54，符号检验的显著性水平也达到了 0.01， $RE$  值为 0.29，表明该校准时段内的重建方程可以来估计过去的温度。此外还进行了分段校准与验证，当校准时段为 1951–1985 年时，校准值与观测值之间的相关系数达 0.68， $RE$  和  $CE$  均大于 0。当校准时段为 1986–2019 年时，校准值与观测值之间相关系数为 0.55，但符号检验未达 0.05 的显著性水平，有效系数小于 0。虽然 1986–2019 年作为校准时段时符号检验未通过检验，但整体检验和 1951–1985 年作为校准时段时均能通过检验，说明重建可靠。

表 2 校准与验证的统计量

校准					验证						
时段	$R^2$	$\text{Rad}j^2$	F	SE	时段	$r$	$ST$	$STI$	t	$RE$	$CE$
1951–2019	33	32	33.05	0.48	1951–2019	0.54	53+/16*	56+/11*	2.62	0.29	
1951–1985	29.7	27.6	13.95	0.48	1986–2019	0.68	23+/11–	27+/6–*	2.10	0.29	0.18
1986–2019	46.5	44.8	27.76	0.44	1951–1985	0.55	23+/12–	28+/6–**	2.50	0.08	–0.06

注： $R^2$  为方差解释量， $\text{Radj}^2$  为调整后的方差解释量，F 为回归方程的显著性检验统计量，SE 为标准误差，r 为校准时段重建值与观测值的相关系数， $ST$  为符号检验， $STI$  为一阶差符号检验，t 为乘积平均值检验的  $T$  统计量， $RE$  为缩减误差， $CE$  为有效系数；\*表示 95%置信度，\*\*表示 99%置信度。

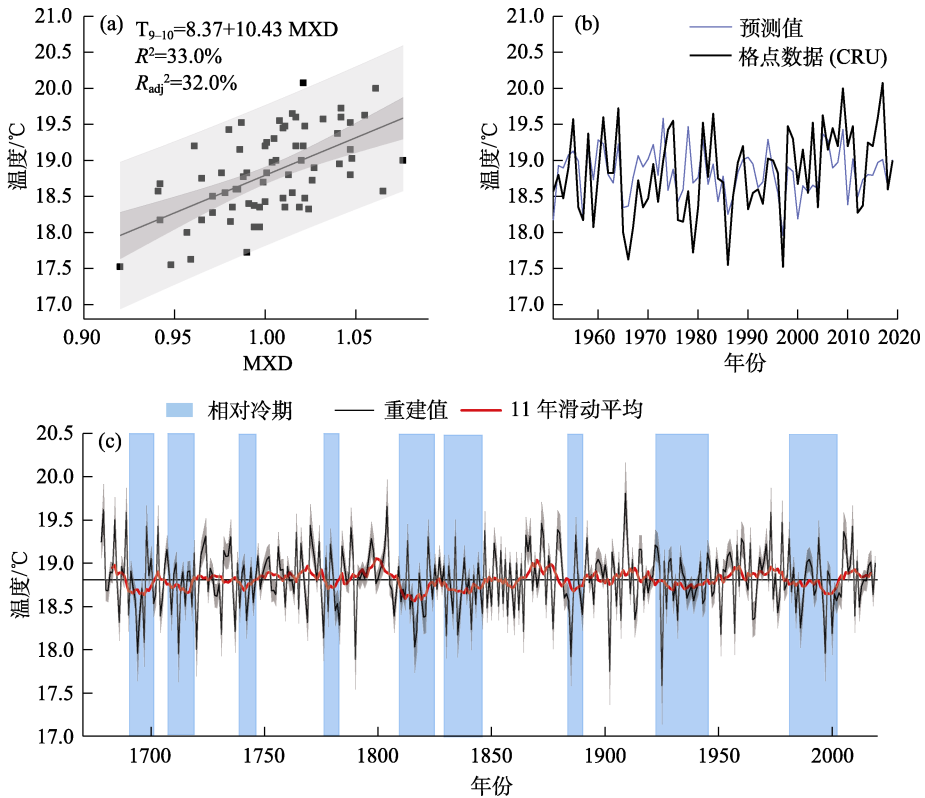


图 3 滇西北过去 9–10 月平均气温序列重建图：(a) 气温与 MXD 之间的线性拟合；(b) 器测时期重建只与格点数据对比；(c) 重建序列，垂直阴影区域为滇西北 9–10 月气候的相对冷期

根据重建序列的 11 年的滑动均值，滇西北秋季气候相对暖期有：1683–1688、1719–1731、1746–1776、1788–1808、1862–1879、1904–1921、1949–1978、2003–2014 年；滇西北秋季气候相对冷期有：1689–1701、1707–1718、1738–1745、1777–1782、1809–1826、1828–1846、1885–1890、1922–1944、1981–2002 年（图 3c）。其中 1809–1826 年是滇西北秋季过去 342 年中最冷的时段，平均气温为 18.7℃。而 1788–1808 年是该区最暖的时段，平均气温为 18.9℃。滇西北地区过去 342 年 9–10 月平均气温的极端最高值出现在 1909 年，极端最低值出现在 1925 年，极端最高与极端最低值之间相差 2.2℃。

### 4.3 与他人重建序列的对比

通过对比青藏高原东部基于树轮晚材密度重建的温度序列发现，与其他序列的差异程度主要与距离该树轮采样点的远近以及重建的季节有关。树轮采样点离本文采样点越近且重建时段接近 9–10 月，其重建的气温序列与本文重建的序列相关越高。

例如，相对较近的滇西北地区、高黎贡山重建的气温序列与本文重建序列相关系数为 0.526 ( $p < 0.001$ , 1707–2010 年) 与 0.509 ( $p < 0.001$ , 1707–2008 年)<sup>[3,5]</sup>，采样点位于青藏高原东部类乌齐附近的 8–9 月平均气温重建序列与本文重建序列的相关系数为 0.458 ( $p < 0.001$ , 1765–2009 年)<sup>[11]</sup>。而色季拉山 8–9 月平均气温序列、横断山中部 4–10 月平



均气温序列与本研究序列相关系数为 0.282 ( $p<0.001$ , 1820–2008 年) 和 0.237 ( $p<0.001$ , 1707–2006 年) [4,14]。且从低频变化的角度来看, 滇西北地区基于苍山冷杉、怒江红杉、大果云杉的重建序列存在多个相同变化的阶段, 其中 1795–1805、1865–1880、1940–1960 年等时段气温变化先升后降, 气候偏暖; 而 1810–1820、1850–1860、1935–1942、1990–2004 年等时段气温变化先降后升, 气候偏冷 (图 4)。因此, 通过与滇西北地区其他重建序列的相关和低频变化对比可看出本文重建的 9–10 月平均气温序列可靠。

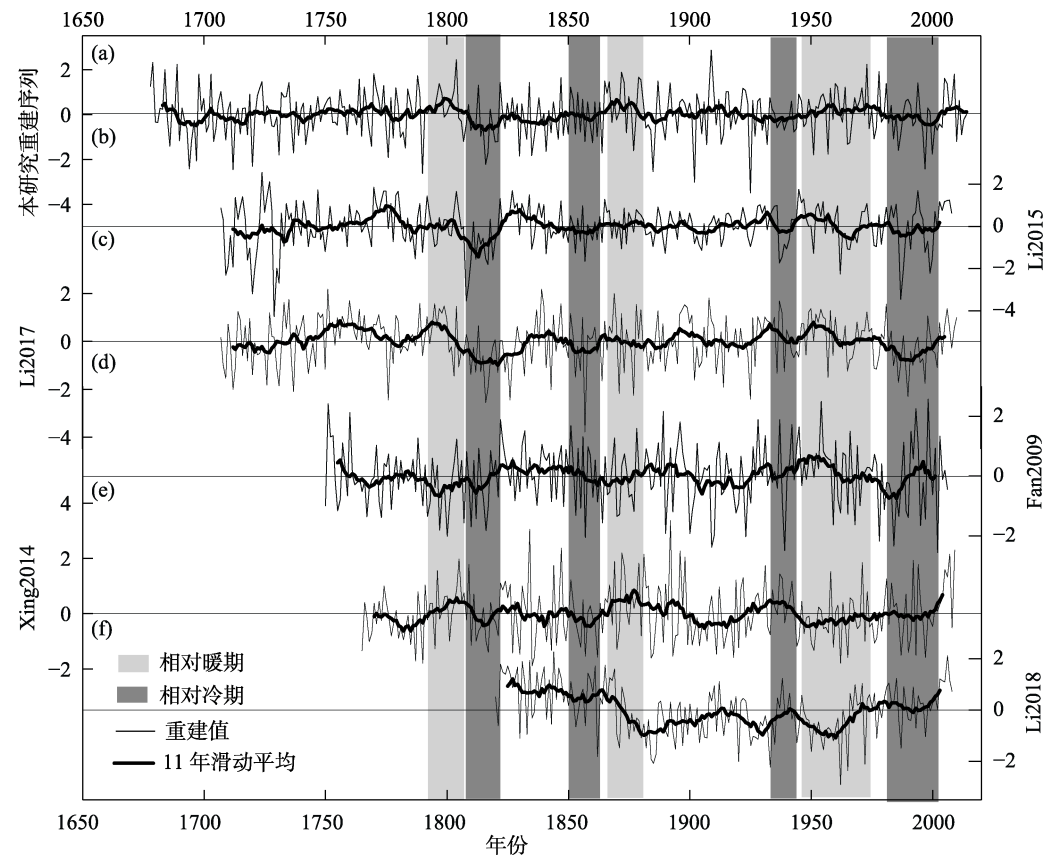


图4 滇西北地区9–10月平均气温重建序列与青藏高原其他地区基于树轮晚材密度重建的温度序列的对比图: (a) 本文重建的9–10月平均气温序列; (b) 高黎贡山基于怒江红杉MXD重建的8–9月平均气温序列<sup>[5]</sup>; (c) 青藏高原东南部基于云杉MXD重建7–10月平均最高气温序列<sup>[3]</sup>; (d) 横断山脉基于油麦吊云杉MXD重建的4–9月平均气温序列<sup>[4]</sup>; (e) 青藏高原东部基于川西云杉MXD重建的8–9月平均气温序列<sup>[11]</sup>; (f) 色季拉山基于急尖长苞冷杉晚材平均密度重建的8–9月平均气温序列<sup>[14]</sup>。其中, 浅灰色垂直阴影区域为滇西北气候的相对暖期, 深灰色区域为相对冷期

基于不同树种树轮密度资料重建的序列在低频变化上存在差异。虽然苍山冷杉、怒江红杉、大果云杉的采样点相隔较近, 但其MXD重建的序列在1750–1770、1820–1850、1900–1920年存在差异。苍山冷杉、怒江红杉在1750–1770、1900–1920时段内气温上升, 在1820–1840年气温下降, 而大果云杉却在对应时段内表现为下降和上升趋势。基于急尖

长苞冷杉重建的和川西云杉的重建序列同样与本文重建序列在一些时段的变化存在差异, 例如本文重建的序列在 1900–1950 年变化与基于川西云杉重建的序列相反, 与基于急尖长苞冷杉的序列在 1860–1880、1930–1970 年变化相反。此外, 在近 30 年 (1980–2010 年), 基于大果云杉、油麦吊云杉、川西云杉和急尖长苞冷杉 MXD 重建的气温序列上升趋势大于苍山冷杉、怒江红杉 (图 4)。

## 5 讨论和总结

本文利用苍山冷杉 MXD 的差值年表建立了滇西北地区过去 342 年 9–10 月平均气温, 更新了滇西北地区原有序列的重建长度, 能够为利用树轮宽度、冰芯和历史文献等其他代用资料研究滇西北地区秋季历史气温变化提供参考。此外, 本文分析了相应的冷暖时期, 发现该区存在 8 个暖期和 9 个冷期, 其中 1809–1826 年的秋季气温明显低于其他时段, 这可能与短时间内多次火山喷发引起的区域降温有关。另外, 本文重建的序列表明近 30 年不是滇西北秋季过去 342 年中最暖的时段, 最暖的时段在 1788–1808 年。

本文重建的滇西北地区 9–10 月平均气温序列与滇西北地区和西藏东部重建的晚夏平均气温相关在 0.458–0.526 之间, 表明本文重建的序列与已有序列具有高度的一致性。而本文重建的序列与横断山脉中部和色季拉山重建序列的差异则可能源于重建的季节和选用的晚材密度指标的差异。另外, 本文提供的基于苍山冷杉 MXD 重建的序列丰富了重建工作的树种来源, 可为今后比较不同树种树轮密度重建气候变化的差异研究提供参考。

**作者分工:** 邓国富、李明启采集和处理了树轮密度数据; 邓国富设计了模型和算法; 邓国富做了数据验证; 邓国富撰写了数据论文; 邓国富、李明启修改了数据论文等。

**致谢:** 感谢张齐兵研究员、范泽鑫研究员、李明勇博士提供数据为本文重建的序列作对比。

**利益冲突声明:** 本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

## 参考文献

- [1] 欧光龙, 彭明春, 和兆荣等. 高黎贡山北段植物群落 TWINSpan 数量分类研究[J]. 云南植物研究, 2008, 30(6): 679–687.
- [2] 徐成东, 冯建孟, 王襄平等. 云南高黎贡山北段植物物种多样性的垂直分布格局[J]. 园林, 2008(3): 323–327.
- [3] Li, M. Q., Huang, L., Yin, Z. Y., *et al.* Temperature reconstruction and volcanic eruption signal from tree-ring width and maximum latewood density over the past 304 years in the southeastern Tibetan Plateau [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2017, 61(11): 2021–2032.
- [4] Fan, Z. X., Brauning, A., Yang, B., *et al.* Tree ring density-based summer temperature reconstruction for the central Hengduan Mountains in southern China [J]. *Global and Planetary Change*, 2009, 65(1/2): 1–11.
- [5] Li, M. Y., Wang, L., Fan, Z. X., *et al.* Tree-ring density inferred late summer temperature variability over the past three centuries in the Gaoligong Mountains, southeastern Tibetan Plateau [J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2015, 422: 57–64.



- [6] Yin, H., Li, M. Y., Huang, L. Summer mean temperature reconstruction based on tree-ring density over the past 440 years on the eastern Tibetan Plateau [J]. *Quaternary International*, 2021, 571: 81–88.
- [7] Duan, J. P., Ma, Z. G., Li, L., *et al.* August–September temperature variability on the Tibetan Plateau: past, present and future [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2019, 124(12): 6057–6068.
- [8] Martinez-Sancho, E., Slamova, L., Morganti, S., *et al.* The gen tree dendroecological collection, tree-ring and wood density data from seven tree species across Europe [J]. *Scientific Data*, 2020, 7(1): 1–17.
- [9] Wang, L., Duan, J. P., Chen, J., *et al.* Temperature reconstruction from tree-ring maximum density of Bal-four spruce in eastern Tibet, China [J]. *International Journal of Climatology*, 2010, 30(7): 972–979.
- [10] Duan, J. P., Zhang, Q. B. A 449 year warm season temperature reconstruction in the southeastern Tibetan Plateau and its relation to solar activity [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2014, 119(20): 11578–11592.
- [11] Xing, P., Zhang, Q. B., Lv, L. X. Absence of late-summer warming trend over the past two and half centuries on the eastern Tibetan Plateau [J]. *Global and Planetary Change*, 2014, 123: 27–35.
- [12] Yin, H., Liu, H. B., Linderholm, H. W., *et al.* Tree ring density-based warm-season temperature reconstruction since A.D. 1610 in the eastern Tibetan Plateau [J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2015, 426: 112–120.
- [13] Liang, H. X., Lyu, L. X., Wahab, M. A 382-year reconstruction of August mean minimum temperature from tree-ring maximum latewood density on the southeastern Tibetan Plateau, China [J]. *Dendrochronologia*, 2016, 37: 1–8.
- [14] Li, M. Y., Duan, J. P., Wang, L., *et al.* Late summer temperature reconstruction based on tree-ring density for Sygera Mountain, southeastern Tibetan Plateau [J]. *Global and Planetary Change*, 2018, 163: 10–17.
- [15] 邓国富, 李明启. 基于苍山冷杉树轮晚材最大密度重建的滇西北地区 9–10 月平均气温数据集(1678–2019)[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2022. <https://doi.org/10.3974/geodb.2022.04.03.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2022.04.03.V1>.
- [16] 全球变化科学出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策 [OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05> (2017 年更新).
- [17] Cook, E. R., Briffa, K. R., Jones, P. D. Spatial regression methods in dendroclimatology: a review and comparison of two techniques [J]. *International Journal of Climatology*, 1994, 14(4): 379–402.
- [18] Cook, E. R., Kairiukstis, L. A. *Methods of Dendrochronology* [M]. Dordrecht, Netherlands: Springer Netherlands, 1990.