



树轮记录的陕西中-北部地区 1826 年以来 4~9 月温度变化

蔡秋芳^{①*}, 刘禹^{①②}, 宋慧明^①, 孙军艳^①

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环境科学系, 西安 710049

* E-mail: caiqf@ieecas.cn

收稿日期: 2008-03-11; 接受日期: 2008-05-21

国家自然科学基金(批准号: 40701196, 40525004, 40599423)、国家重点基础研究发展计划(编号: 2004CB720200)和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开放基金(批准号: SKLLQG0214, SKLLQG0516)资助

摘要 通过对陕西黄土高原东南部地区-黄龙山树轮宽度进行研究, 重建了陕西中-北部地区 1826~2004 年 4~9 月的平均温度变化, 重建解释方差为 39.3%. 重建结果显示: 自 1826 年以来, 陕西中-北部地区存在一个高温时段(1928~1933 年)和 2 个低温时段(1883~1888 和 1938~1942 年). 其中, 高温时段与 20 世纪 20 年代末期发生在中国北方大部分地区的干旱事件时间吻合. 尽管在全球增温背景下, 重建结果也显示出自 20 世纪 70 年代起 4~9 月平均温度的持续上升, 但其仍未超过 20 世纪 20 年代末期的温度水平. 除了统计检验外, 该温度重建结果还得到了研究区旱涝指数和其他树轮研究结果的支持.

关键词

陕西黄龙山

油松

树轮宽度

4~9 月平均温度

树木年轮具有定年准确、分辨率高、与气候要素变化密切相关等特点, 是记录历史时期气候变化的良好生物载体^[1]. 20 世纪全球变暖已是不争的事实, 近年来多项主要基于北半球中高纬度地区树轮资料的研究也记录了这一气候事件^[2~4], 同时发现 20 世纪是北半球过去千年来温度最高的时段. 然而, 喜马拉雅山西部地区现有的树轮气候学研究表明, 虽然秋冬季节(上年 10 月至当年 2 月)在 20 世纪晚期呈现明显增温趋势^[5], 但是春季(或春至早夏)平均气温却表现为相反的变冷趋势^[5~7]. 这可能说明 20 世纪全球变暖的区域与季节存在差异.

中国西北的大部分地区年降雨量普遍在 400 mm 以下, 而年蒸发量远远大于降水量, 生态环境十分脆弱. 尤其是 20 世纪以来, 这一地区暖干化趋势十分明显, 旱灾频发, 对社会的发展构成极大威胁. 因此

了解中国西北地区过去的气候要素变化历史和规律, 并有效地预测未来, 对于这一地区的发展是非常重要的. 近年来树轮学者已在此开展了大量的研究, 结果表明降水量是树木生长的主要气候限制因子之一^[8~11], 气温高低对土壤水分含量变化起着至关重要的调节作用, 因此也是树木生长的一个重要气候限制因子^[12~14]. 但是迄今为止, 长时间尺度的温度重建数据还十分缺乏, 尤其是在中国黄土高原地区, 目前树轮气候学研究还十分有限^[12,15].

陕西地处中国腹部位置, 也是黄土高原腹地所在, 是连接中国东西地理经济带的中间地带, 属于大西北开发的前沿部位. 然而由于自然气候变化和人类活动的影响, 除了个别山地外, 已经很难找到成片分布的适合树轮气候学研究的天然林木. 本文通过黄土高原东南部地区-陕西黄龙山油松树轮宽度分析,

重建了陕西中-北部地区过去 180 年来 4~9 月平均气温变化. 该气温重建结果不仅延伸了研究区现有的气象观测记录, 而且为研究历史时期气候变化的特点、机制及对全球变化的区域响应提供了科学数据.

1 材料和年表建立

黄龙山系梁山余脉, 位于陕西省延安市黄龙县和宜川县境内, 地处陕北黄土高原东南部地区 (109°38'~110°12'E, 35°28'~36°02'N), 属于大陆性暖温带半湿润季风气候类型, 森林覆盖率 84.6%, 是庇护陕北南部和渭北高原农牧业生产的天然绿色屏障, 被誉为“陕西的一叶肺”. 境内地形起伏, 沟壑纵横. 林区内优势树种主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)、山杨(*Populus Davidiana*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、白桦(*Betula Platyphylla*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、小叶杨(*Populus simonii*)等.

本文研究的采样点位于陕西省黄龙县. 黄龙县年均气温 8.6℃, 年均降雨量 611.8 mm, 且多集中在 7~9 月, 年蒸发量为 856.6 mm, 县内海拔高度处于 643.75~1783.5 m 之间. 2005 年 4 月课题组在黄龙县境内的官庄林场(GZ)、蔡家川药王庙(YWM)、无量山(WLS)等地从 30 棵油松(*Pinus tabulaeformis*)上采集了 59 个树芯样本(图 1). 所采集的样本生长于山体阴坡, 林间郁闭度 0.1~0.6, 林下土壤发育较好, 含有丰富的有机质.

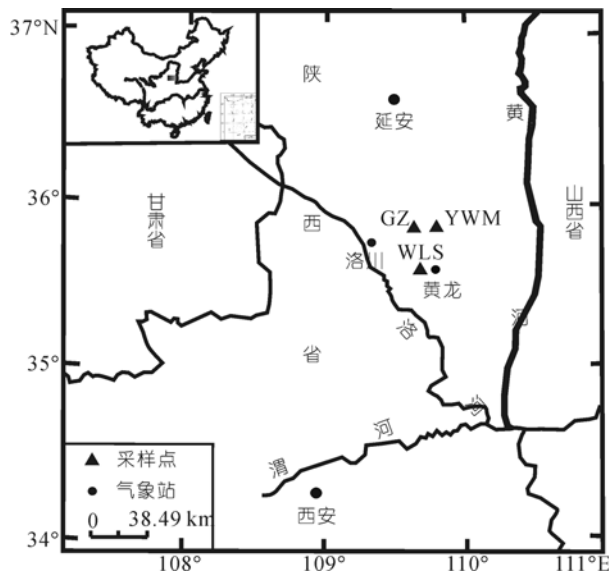


图 1 采样点及气象站点分布图

样本在自然状态下干燥后, 按照基本程序进行固定、磨光处理和交叉定年^[16]. 在测量精度为 0.01 mm 的 LINTAB 宽度仪上测量每一年轮的宽度, 并利用国际树木年轮库的软件程序 COFECHA^[17] 进行定年质量控制. 与主序列差异较大的序列和长度少于 50 a 的序列最终被剔除, 结果显示所有定年序列间相关系数平均为 0.57.

年表的建立采用 ARSTAN^[18] 程序完成. 本文利用负指数函数或直线对每个测量序列进行趋势拟合, 最终得到 STD, RES 和 ARS 三种年表. 为了保留尽可能多的低频信息, 本文采用 STD 年表进行分析(下文统称为树轮宽度指数序列). 表 1 列出了树轮宽度指数序列的统计量及共同区间(1910~2004 年)分析的结果. 年表的起始年代以子样本信号强度 SSS 来确定^[19], 本研究取 SSS 门限为 0.8, 结合 RBAR 值^[20], 年表的起始年代定为 1826 年(图 2).

表 1 中树轮样本的平均敏感度、标准差、样本间的相关系数等几个统计量要低于一般干旱半干旱地

表 1 采样点概况及树轮样本的统计特征(共同区间 1910~2004 年)

代码	黄龙
采样海拔/m	1000~1350
样本量(棵/芯)	30/59
论文所用复本量(棵/芯)	24/45
年表平均敏感度	0.27
年表标准差	0.39
一阶自相关系数	0.65
序列长度	1743~2004 年
可靠年表时段	1826~2004 年
所有样芯的平均相关系数	0.34
树间相关系数	0.31
树内相关系数	0.39
总体代表性	0.85
第一主成分所解释方差量	37.52%

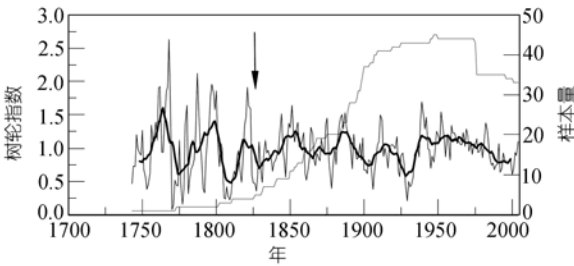


图 2 陕西黄龙树轮宽度指数序列
箭头所指为可靠年表的起始位置

区树轮研究的结果,但是与其他年降水量类似地区的树轮研究结果相近^[13,21,22],考虑到研究区(年降水量>600 mm)处于半湿润地区,这些统计量是合理的.样本的一阶自相关系数为 0.65,说明树木生长明显受前期生长的滞后影响(利用上年的光合作用产物).

2 树轮宽度指数序列与气候要素间的关系

为了探讨树木生长与气候要素之间的关系,我们选择了离采样点最近的黄龙县气象站(109°50'E, 35°35'N, 1957~2002 年)和洛川县气象站(109°30'E, 35°49'N, 1955~2002 年),同时也选择了采样点北部和南部两个较大的市级气象站:延安气象站(109°30'E, 36°36'N, 1951~2002 年)和西安气象站(108°56'E, 34°18'N, 1951~2002 年).气候要素为各站的月平均气温和月降水量资料.但是在进行气候资料的均一性检验中发现,虽然黄龙气象站离采样点最近,但是这个站点的气温资料与其他各点明显不同,尤其是夏半年(4~9 月),而夏半年是本文研究的重点季节,因此分析时没有采用黄龙气象站的资料.由图 3 可见,研究区气候变化具有雨热同季的特点,各个气象站多年平均各月气温变化趋势一致;而受黄土高原及

周边地区地势地形复杂性影响,各站多年平均月降水量变化有所差异,最大降水月出现时间不一致.

上年 10 月至当年 9 月的单月气候数据与树轮宽度指数序列的相关分析初步表明,树木生长与生长季各月平均温度显著负相关,而与各月降水量微弱正相关.表 2 给出了树轮宽度指数序列与这 3 个气象站主要月份温度的相关分析结果.可以看出,树木生长与各个气象站 4, 5 和 9 月平均气温显著负相关,与延安站 6 月和 7 月的平均气温也显著负相关.这说明黄龙树轮宽度指数对陕西中-北部地区生长季的整体气温显著响应.因此下面的分析将基于区域气温平均资料,即将 3 个气象站的月平均气温平均成区域资料,来代表陕西中-北部地区的气温状况.结果发现,树轮宽度指数与区域 4~9 月平均气温的相关系数达到 -0.63 ($p < 0.001$).

黄龙树轮宽度与降水和气温要素的这种相关关系与蔡秋芳等^[14]在贺兰山地区、Yadav 等^[6,7]在喜马拉雅山西部地区的研究结果相似.油松核心分布区的年降雨量在 500 mm 以上^[23],而黄龙县年均降雨量为 611.8 mm,树轮宽度与生长季降水呈不显著的正相关,说明理论上降水能满足树木生长需要,并且较多的降水量有利于树木生长.4~9 月平均温度与树木生长之间显著的负相关关系则揭示了高温可能通过增加土壤水分的蒸发与树木自身的蒸腾作用而间接影响树木的生长.杨建伟等^[24]在黄土高原地区的研究表明,油松干物质快速增加期主要在 4 月上旬至 6 月,而油松耗水高峰期为 5~8 月.从图 3 可知,在本研究区内,年内最高气温出现的时间(6~8 月)要早于最大降水发生的时间(7~9 月).而 4~6 月是油松开始和快速生长的时期,气温持续升高而降水增加的幅度不大,很容易造成土壤水分亏缺.6 月之后,进入油松的耗水高峰期,气温也达到一年内最高时期,而最大降水月滞后于最高气温,土壤继续保持水分亏缺的状态,土壤水分含量不能满足树木生长的需求,同时树木生长期的高温也会增加树木自身的蒸腾作用,从而引起树木生理上的干旱,生长必然受到限制.因此生长季平均气温是黄土高原地区树木生长的主要气候限制因子,4~9 月平均气温升高将产生较窄的年轮,反之则形成宽轮.

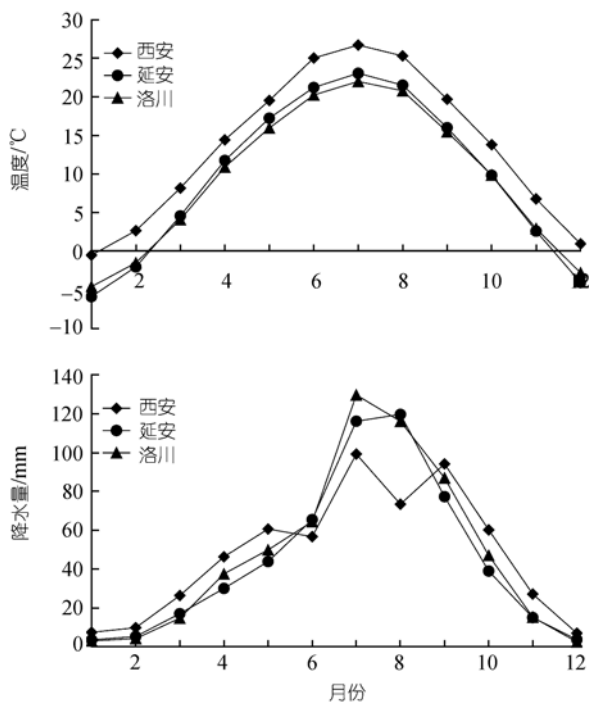


图 3 采样点周围各气象站多年平均气温和降水量的年内变化

表 2 树轮宽度指数与各气象站当年月平均温度的相关分析^{a)}

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9
洛川	-0.17	-0.24	-0.15	-0.42**	-0.31*	-0.18	-0.09	-0.02	-0.48**
西安	-0.11	-0.26	-0.34*	-0.42**	-0.40**	-0.22	-0.27	-0.15	-0.28*
延安	-0.20	-0.29*	-0.21	-0.41**	-0.46**	-0.45**	-0.35*	-0.21	-0.46**

a) *表示超过 95%置信度的双尾检验, **表示超过 99%置信度的双尾检验

3 4~9 月平均气温重建及讨论

3.1 温度重建

采用线性回归方法确立 4~9 月平均温度和树轮宽度指数序列之间的关系. 从表 1 可知, 在黄龙山地区树木生长存在很强的滞后效应, 即上年的树木生长会影响下一年的树轮宽度. 如果在确立转换方程时同时考虑当年和上一年的树轮宽度指数 I_t 和 I_{t-1} , 那么多元线性回归方程的复相关系数可以提升 到 0.72($p<0.001$). 但是上年与当年树轮宽度指数所表达的温度信息有可能是重叠的, 考虑 I_{t-1} 可能会造成信息量的叠加. 因此最终选择简单线性回归方程重建陕西中-北部地区 4~9 月平均温度(T_{49}):

$$T_{49}=-2.432I_t+21.794.$$

该重建方程的相关系数 r 为 0.63($p<0.001$), 重建方程对观测时段(1951~2002 年) 4~9 月平均温度的方差解释量为 39.3%, 调整自由度后方差解释量为 38.1%. 图 4 展示了观测时段 4~9 月平均气温重建值和观测值的曲线对比.

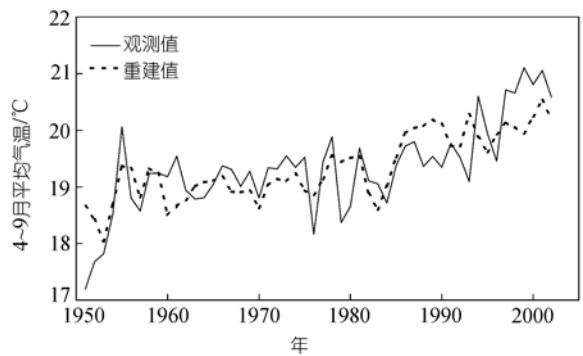


图 4 4~9 月平均气温重建值和观测值对比图

逐一剔除法可以用来检验重建方程的稳定性和可靠性^[25]. 经检验, 剔除任何一年的数据, 重建序列和观测序列的相关系数没有很大改变(图略), 说明重建方程是比较稳定的. 另外, 重建序列与观测序列的一阶差符号检验(S1)、符号检验(S2), 误差缩减值

(RE)、乘积平均数(t)以及方程的 F 检验值等统计量都说明了重建结果的可靠性(表 3).

3.2 结果和讨论

根据重建方程我们对陕西中-北部地区 1826~2004 年 4~9 月平均温度进行了重建, 重建时段的温度平均值为 19.43℃. 温度距平序列能够更清楚地反映这一地区历史时期的冷暖变化趋势(图 5(a)), 该序列的标准差(σ)为 0.64℃. 如果定义温度距平序列中大于 1σ 为高温年份, 小于 1σ 为低温年份, 那么在重建的 179 a 中高温年份和低温年份数相当, 其中高温年份为 28 a, 占总年份的 15.6%; 低温年份为 31 a, 占总年份的 17.3%. 4~9 月平均温度最高的年份为 1929 年, 温度最低的年份为 1939 年.

根据研究区的气象记录, 陕西中北部地区 4~9 月平均气温与同一时期降水量显著负相关($r=-0.3$, $p<0.05$), 即研究区气候具有高温少雨、低温多雨的组合模式. 在中国北方地区, 高温少雨总是和干旱联系在一起, 而连续多年的干旱事件/低温事件影响后果往往更为严重. 在本文重建序列中, 连续 5 a 以上温度距平为正的年份有: 1834~1842, 1866~1870, 1900~1908, 1923~1935, 1985~2003 年 (1991 年除外); 连续 5 a 以上温度距平为负的年份有: 1848~1859, 1871~1875, 1882~1890, 1938~1944, 1948~1954 和 1959~1976 年. 其中连续超过 5 a 的低温年份($<1\sigma$)仅有两个时段: 1883~1888, 1938~1942 年; 1928~1933 年是唯一连续超过 5 a 的高温年份($>1\sigma$), 这一时期也是自 1826 年以来陕西中北部地区 4~9 月温度最高的时段, 与 20 世纪 20 年代末期发生在中国北方大部分地区的旱灾时间一致.

20 世纪 20 年代末期的旱灾, 是中国近代十大灾荒之一^[26], 其中陕西关中、陕北是受灾害极为严重的地区. 王颖^[27]通过史料分析得出此次灾害在陕北地区发生的确切时间应该是 1923~1932 年 (本文 1923~1935 年), 其中 1929 年为最严重的年份. 根据

表 3 重建方程统计量^{a)}

时段	r	R^2	R^2_{adj}	S1	S2	RE	F	t	p
1951~2002	0.632	39.3%	38.1%	35(33*, 35**)	41(34*, 36**)	0.41	32.36	5.7	<0.001

a) *表示超过 95%的置信度所需同号数,**表示超过 99%的置信度所需同号数

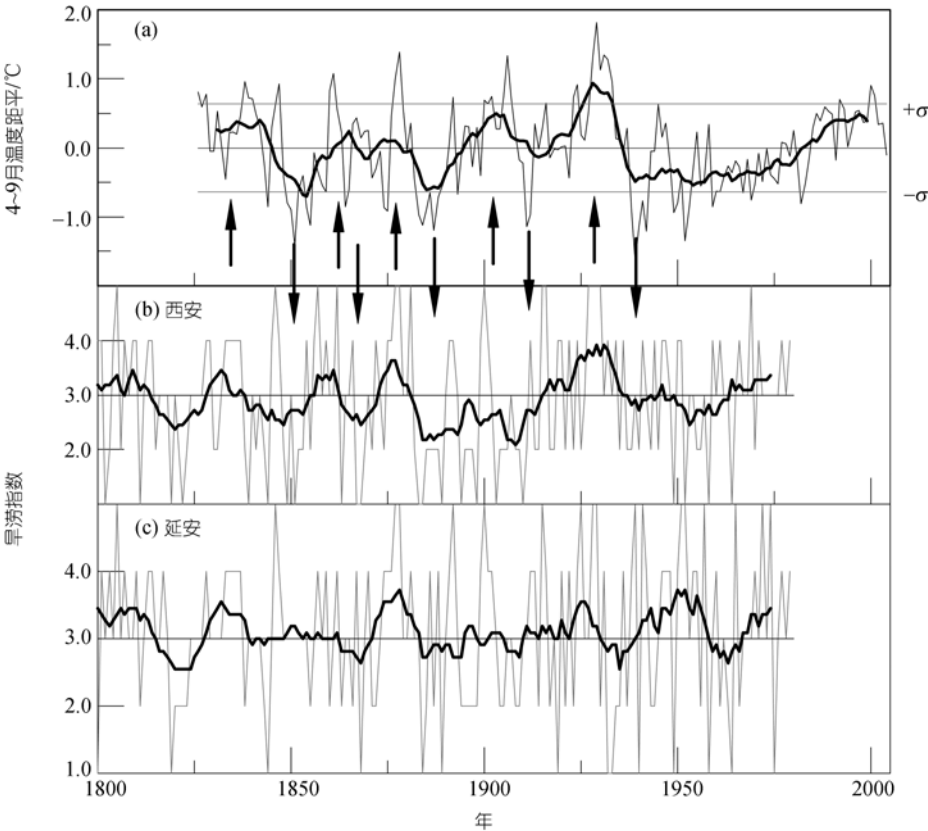


图 5

(a) 陕西中-北部地区 1826~2004 年 4~9 月平均温度距平重建序列; (b), (c) 分别为西安和延安地区旱涝指数序列 (粗线条为 10 a 滑动平均序列)

陕西省自然灾害史料记载^[28], 到 1929 年, 陕西“全省九十一县, 而报灾已八十八县, 现仍络绎不绝”. 根据本文的重建结果, 陕西中北部地区自 1923 年以来 4~9 月平均气温不断上升, 到 1929 年温度达到重建时段内最高记录, 这一持续升温事件对此次干旱事件的爆发无疑贡献巨大. 这次灾害事件在中国北方其他地区的树轮研究中也得到印证^[9,29,30].

通过重建序列的 10 a 滑动平均曲线可以明显看出, 经过 20 世纪 20 年代末期的增温期后陕西中北部地区快速降温, 并于 1939 年达到重建时段的最低温度, 这种低温一直持续到 60 年代末 70 年代初期才开始升温直至今今, 目前仍处于升温状态. 陕西中北部地区 20 世纪以来的这两次增温事件和曾昭美等^[31]研

究 20 世纪全球的两次增温事件发生的时间一致, 但是不同的是研究区 20 世纪 20 年代的升温持续时间较短, 并且目前 4~9 月温度要低于 20 世纪 20 年代末期的温度. 说明了陕西地区气温变化对全球变暖存在区域响应的同时, 也保留了区域变化的特色.

在研究区高温年份易发生干旱事件, 因此我们尝试采用西安和延安地区的旱涝指数^[32]来检验温度重建序列的可靠性(图 5(b), (c)). 对所有序列进行 10 a 滑动平均, 图 5 更好的显示了几个指标的变化. 我们发现陕西中-北部 4~9 月温度重建序列中大部分高温/低温时段与西安地区的旱/涝时段对应较好(图中箭头所指位置), 而与延安地区的旱涝指数变化关系相对较差. 由于旱涝指数是通过史料分析得来的, 因

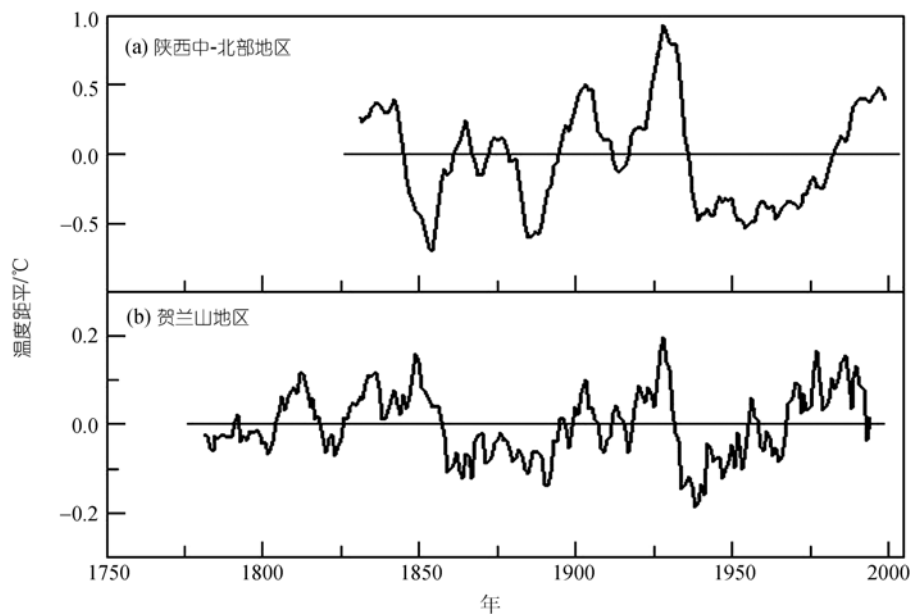


图 6 陕西中北部地区 4~9 月平均气温(a)与贺兰山地区 1~8 月平均气温(b) 均为 10 a 滑动曲线

此在资料收集及量化分级上可能存在人为因素的影响。我们认为树轮中的气候记录应该更为客观。

在陕西中北部地区, 4~9 月平均温度与全年温度相关系数为 0.9($p<0.001$), 因此, 我们的重建曲线也可以代表研究区的年平均温度距平曲线。该温度曲线和贺兰山地区 1~8 月平均温度曲线^[14](与年平均温度相关系数 0.74)有相当好的一致性(图 6), 如 1900~1908, 1923~1935 年两地都处于高温期, 而 1882~1890, 1934~1944 年两地均表现为温度下降, 20 世纪 70 年代以后两地均表现为升温, 似乎可以说明中国北方地区较大范围温度变化的一致性。

对温度重建序列进行功率谱分析, 检测到 3.51, 2.63 和 2.5 a 的准周期。这几个周期可能与“厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)”的变化有关^[33,34], 这种周期特征广泛存在于中国北方地区的树轮研究中^[9,22]。无独有偶, 马利民等^[35]研究发现中国秦岭地区树木年轮中也记载了 ENSO 事件。周期分析暗示了陕西中北部地区

4~9 月平均气温除了受当地气候变化影响外, 还受到更大范围气候变化的影响。

4 结论

论文通过对中国黄土高原东南部陕西黄龙山油松树轮样本的分析, 重建了陕西中北部地区 1826~2004 年间的 4~9 月平均气温变化。重建揭示了 20 世纪 70 年代以来研究区 4~9 月气温持续升高, 且目前仍处于上升阶段。但是现今的 4~9 月气温并不是重建中气温最高的时段。20 世纪 20 年代末期(1928~1933 年)的高温时段与同时期发生在中国北方大部分地区的旱灾事件发生的时间一致。重建还揭示了 1883~1888 年和 1938~1942 年两个时段的低温期。功率谱分析检测到 3.51, 2.63 和 2.5 a 的准周期, 该周期特征与 ENSO 的周期特征接近, 意味着研究区气候变化除了受当地气候变化影响外, 可能还受到更大范围气候变化的影响。

致谢 两位审稿专家和蔡演军、田沁花博士对文章修改提出了宝贵意见; 陕西省黄龙县林业局对野外采样给予了帮助; 李强、史宝林和沈宝印参与了野外采样, 在此一并深表感谢。

参考文献

1 Fritts H C. Tree Ring and Climate. London: Academic Press, 1976

- 2 Mann M E, Bradley R S, Hughes M K. Northern hemisphere temperature during the past millennium: inferences, uncertainties and limitations. *Geophys Res Lett*, 1999, 26(6): 759—762 [\[DOI\]](#)
- 3 Briffa K R, Osborn T J, Schweingruber F H, et al. Low-frequency temperature variation from a northern tree ring density network. *J Geophys Res*, 2001, 106(D3): 2929—2941 [\[DOI\]](#)
- 4 Cook E R, Esper J, D'Arrigo R D. Extra-tropical Northern Hemisphere land temperature variability over the past 1000 years. *Quat Sci Rev*, 2004, 23: 2063—2074 [\[DOI\]](#)
- 5 Cook E R, Krusic P J, Jones P D. Dendroclimatic signals in long tree-ring chronologies from the Himalayas of Nepal. *Int J Climatol*, 2003, 23: 707—732 [\[DOI\]](#)
- 6 Yadav R R, Singh J. Tree-ring-based spring temperature patterns over the past four centuries in western Himalaya. *Quat Res*, 2002, 57: 299—305 [\[DOI\]](#)
- 7 Yadav R R, Park W K, Singh J, et al. Do the western Himalayas defy global warming? *Geophys Res Lett*, 2004, 31, L17201 [\[DOI\]](#)
- 8 Zhang Q B, Cheng G D, Yao T D, et al. A 2326-year tree-ring record of climate variability on the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Geophys Res Lett*, 2003, 30(14): 1739—1742 [\[DOI\]](#)
- 9 Liu Y, Cai Q F, Shi J F, et al. Seasonal precipitation in the south-central Helan Mountain region, China, reconstructed from tree-ring width for the past 224 years. *Can J For Res*, 2005, 35(10): 2403—2412 [\[DOI\]](#)
- 10 袁玉江, 邵雪梅, 李江凤, 等. 夏干萨特树轮年表中降水信息的探讨与 326 年降水重建. *生态学报*, 2002, 22(12): 2048—2053
- 11 邵雪梅, 黄磊, 刘洪滨, 等. 树轮记录的青海德令哈地区千年降水变化. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2004, 34(2): 145—153
- 12 刘禹, 吴祥定, 邵雪梅, 等. 树轮密度、稳定 C 同位素对过去近 100 a 陕西黄陵季节气温与降水的恢复. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 1997, 27(3): 271—276
- 13 邵雪梅, 范金梅. 树轮宽资料所指示的川西过去气候变化. *第四纪研究*, 1999, (1): 81—89
- 14 蔡秋芳, 刘禹. 油松树轮记录的 1776 年以来贺兰山地区气温变化. *地理学报*, 2006, 61(9): 929—936
- 15 刘禹, 吴祥定, Leavitt S W, 等. 黄陵树木年轮稳定 C 同位素与气候变化. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 1996, 26(2): 125—130
- 16 Stokes M A, Smiley T L. *An Introduction to Tree-Ring Dating*. Arizona, Tucson: The University of Arizona Press, 1996
- 17 Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bull*, 1983, 43: 69—78
- 18 Cook E R. A time-series analysis approach to tree-ring standardization. Ph D thesis. Tucson: University of Arizona, 1985
- 19 Wigley T M L, Briffa K R, Jones P D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *J Clim Appl Meteorol*, 1984, 23: 201—213 [\[DOI\]](#)
- 20 Briffa K R. Interpreting high-resolution proxy climate data-the example of dendroclimatology. In: von Storch H, Navarra A, eds. *Analysis of Climate Variability, Applications of Statistical Techniques*. Berlin Heidelberg New York: Springer, 1995. 77—94
- 21 Liang E Y, Shao X M, Qin N S. Tree-ring based summer temperature reconstruction for the source region of the Yangtze River on the Tibetan Plateau. *Glob Planet Change*, 2007, doi: 10.1016/j.gloplacha.2007.10.008
- 22 刘禹, 马利民, 蔡秋芳, 等. 依据陕西秦岭镇安树木年轮重建 3-4 月气温序列. *自然科学进展*, 2001, 11(2): 157—162
- 23 徐化成. 油松. 北京: 中国林业出版社, 1990. 18—23
- 24 杨建伟, 梁宗锁, 韩蕊莲, 等. 土壤干旱对油松生长及水分利用的影响. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2004, 32(4): 88—96
- 25 Mosteller F, Tukey J W. *Data Analysis and Regression*. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1977
- 26 《陕西历史自然灾害简要纪实》编委会, 编. *陕西历史自然灾害简要纪实*. 北京: 气象出版社, 2002
- 27 王颖. 1923~1932 年陕北自然灾害的初步研究. *气象与减灾研究*, 2006, 29(3): 34—38
- 28 陕西省气象局气象台. *陕西省自然灾害史料*. 陕西省气象局气象台, 1976. 263
- 29 梁尔源, 邵雪梅, 黄磊, 等. 中国中西部地区树木年轮对 20 世纪 20 年代干旱灾害的指示. *自然科学进展*, 2004, 14(4): 469—474
- 30 Liang E Y, Liu X H, Yuan Y J, et al. The 1920s drought recorded by tree rings and historical documents in the semi-arid and arid areas of northern China. *Clim Change*, 2006, 79: 403—432 [\[DOI\]](#)
- 31 曾昭美, 严中伟, 叶笃正. 20 世纪两次全球增暖事件的比较. *气候与环境研究*, 2003, 8(3): 319—330
- 32 中央气象局气象科学研究所, 主编. *中国近五百年旱涝分布图集*. 北京: 地图出版社, 1981. 1—332
- 33 Bradley R S, Diaz H F, Kiladis G N, et al. ENSO signal in continental temperature and precipitation records. *Nature*, 1987, 327: 497—501 [\[DOI\]](#)
- 34 Allan R J, Lindesay J, Parker D E. *El Niño-Southern Oscillation and Climatic Variability*. Melbourne: CSIRO Publishing, 1996
- 35 马利民, 刘禹, 安芷生. 秦岭树轮记录的 ENSO 事件. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, 21(3): 93—98