

树轮记录的吕梁山地区公元 1836 年以来 5~7 月平均气温变化

蔡秋芳^①, 刘禹^{①②}, 包光^{①③}, 雷莺^{①③}, 孙铂^{①③}

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;

③ 中国科学院研究生院, 北京 100049

E-mail: caiqf@ieecas.cn

2009-12-01 收稿, 2010-03-15 接受

国家自然科学基金(40701196, 40890051, 40525004, 40599423)、中国科学院“西部之光”人才培养计划西部博士资助项目和“院长奖”获得者科研启动专项资金资助项目

摘要 随着全球气温的升高, 气候变化越来越受到人类的重视, 同时区域性气候也引起人们的普遍关注. 利用采自吕梁山中部的油松树轮样本, 重建了该地区 1836 年以来 5~7 月平均气温的变化, 重建方程对观测时段 1955~2003 年平均温度的方差解释量为 45% ($F=38.474$). 该重建气温序列指示的 5 个偏暖时期和 4 个偏冷时期与我国北方中部其他几条树轮重建温度序列所指示的冷暖时段基本一致. 20 世纪 50 年代以来气温呈缓慢上升趋势, 但是这种上升趋势并不是平稳的, 90 年代初的升温更强烈一些, 并且 1994~2002 年是整个重建序列中温度最高的时段; 同时, 重建气温与研究区周边更大范围内各气象站点 5~7 月平均气温之间的显著相关分析也表明, 本文重建的过去近 170 年来的温度变化不仅反映了吕梁山地区、似乎也可以反映我国北方中部地区较大范围的同期气温变化.

关键词

吕梁山
油松
树轮宽度
气温
重建

20 世纪中叶以来的气候变暖是不容置疑的^[1], 全球变暖对自然生态和人类生存环境已经产生、并将继续产生显著影响, 对可持续发展构成严重威胁. 应对未来气候变化的不确定性, 需要加强历史时期气候变化规律及机制的研究. 区域气候不仅是全球气候变化的响应区, 而且还有自身的地域特性, 亟待加强研究.

由于我国气象记录较短, 且气象台站分散, 难以满足气候变化研究的需要. 过去百年以上的气候研究主要依赖于冰芯、湖泊、洞穴石笋、珊瑚、树木年轮等地质生物记录和历史文献记录, 其中树木年轮以定年准确、分辨率高、样本分布广泛易于获取等特点已成为过去千年来全球变化研究的重要途径之一^[2~8]. 我国北方干旱-半干旱地区是气候变化的敏感区, 为树轮气候学研究提供了极好的机会. 基于树轮

指标重建的降水、气温和干旱指数等气候环境要素^[9~16]在过去数百年历史气候变化研究中发挥了重要作用. 利用树木年轮指标重建的我国北方中部地区不同季节气温序列^[11~14]均显示 20 世纪末期不同程度的增温现象. 然而相对于我国北方较大的地理面积来说, 这一地区的树轮研究密度仍然很低, 尤其是百年尺度以上的温度重建研究需要加强.

吕梁山脉是中国黄土高原上的一条重要山脉, 也是黄河中游黄河干流与支流汾河的分水岭. 它位于山西省中部断陷盆地以西, 呈东北-西南走向, 绵延 400 多千米, 由一系列山地组成. 山脉中高峰海拔多在 2500 m 以上, 对区域气候有明显的作用. 目前吕梁山地区、甚至山西地区的树轮研究都极为有限, 吕梁山地区仅限于北部的初步研究^[17,18], 中部和南部还属于研究的空白区.

英文版见: Cai Q F, Liu Y, Bao G, et al. Tree-ring-based May–July mean temperature history for Lüliang Mountains, China, since 1836. Chinese Sci Bull, 2010, 55, doi: 10.1007/s11434-010-3235-z

本文的研究目标如下: (1) 在吕梁山中部地区建立新的油松树轮年表; (2) 利用树轮年表重建公元1836 年以来的气温变化; (3) 揭示该温度重建序列的空间代表意义.

1 研究地点和气候

研究地点位于吕梁山脉中段的北武当山(又名真武山, 记为 BWD)(图 1, 表 1), 总面积约 80 km², 其主峰海拔 2254 m. 山体由整体花岗岩组成, 主峰突起, 四周几乎都是悬崖峭壁, 只有一条人造“天梯”可攀. 该区气候为温带大陆性季风气候, 冬季多受强大的冷高压控制, 多风少雨雪, 气候干冷; 夏季受大陆热低压和太平洋副热带高压西部边缘影响, 多雨高湿; 春秋较为短促. 距采样点西南约 30 km 处的离石市气象记录显示, 多年平均降水量为 484.1 mm, 6~9 月降水量占全年降水量的 72.2%, 年平均气温为 9.1℃.

为了避免单个气象站只反映局部气候信号而缺

表 1 采样点和气象站点信息

	经度(E)	纬度(N)	海拔/m	时段
北武当山 采样点	111°20.7'	37°46'	1740~1900	1701~2007
离石	111°06'	37°30'	950.8	1957-01~2003-12
太原	112°33'	37°47'	778.3	1951-01~2003-12
兴县	111°08'	38°28'	1012.6	1955-01~2003-12
介休	111°55'	37°02'	743.9	1954-01~2003-12
原平	112°43'	38°44'	828.2	1954-01~2003-12
榆林	109°42'	38°14'	1057.5	1951-01~2003-12

乏大区域气候信号的问题, 本文选取了采样点周围离石市、太原市、介休市、原平市、兴县和陕西榆林市(表 1)6 个气象站点的月平均气温和月降水量资料进行分析.

由图 2 可见, 研究区气候变化属典型的雨热同季的气候特征. 各气象站多年月平均气温具有很好的一致变化趋势, 并且随着气象站点的海拔升高气温也逐渐降低; 各站最大降水月都发生在 7, 8 月份, 但是年内降水变化的区域一致性相对较差.

2 资料与方法

2.1 研究资料

研究资料为北武当山的优势针叶树种——油松(*Pinus tabulaeformis*), 采样点生境开阔, 夹杂生长有

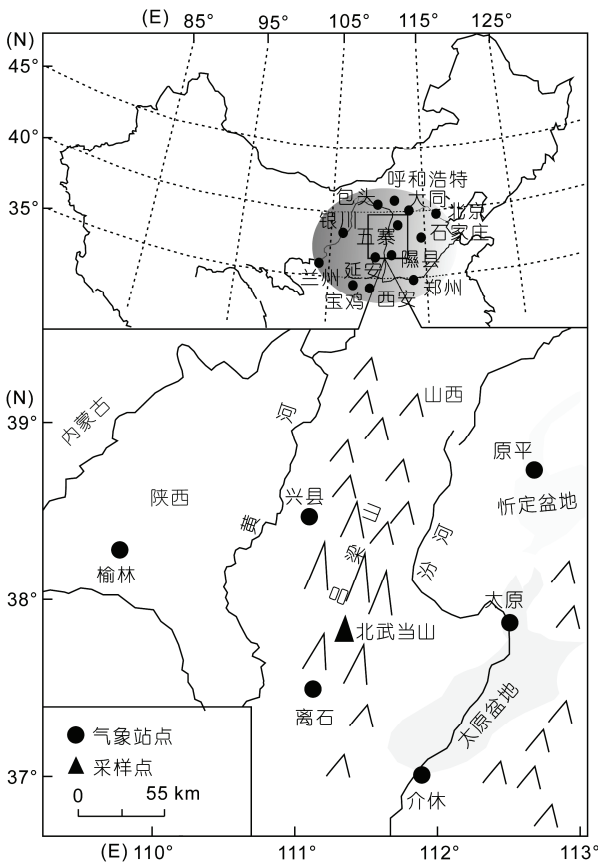


图 1 采样点及气象站点分布图

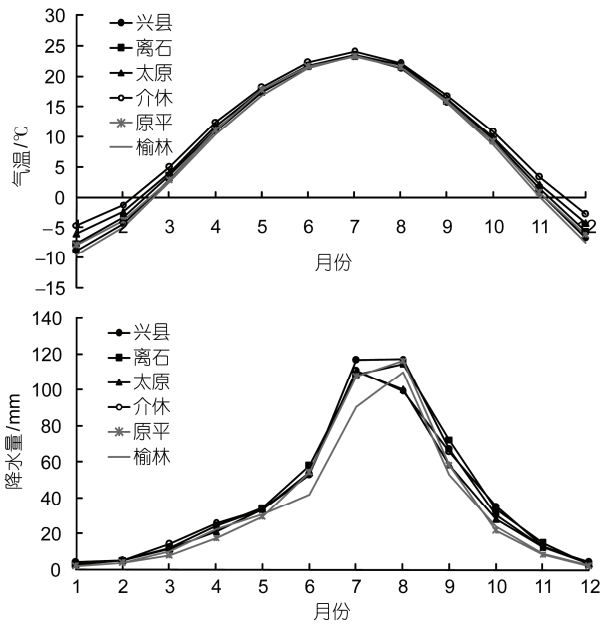


图 2 各气象站多年月平均气温、降水量变化

青海云杉(*Picea crassifolia*)和胡枝子、山牡丹、山桃等灌木,土壤层瘠薄.每树从不同方向采集两根树芯,个别生长型好及年代较长的树木采集了第3芯用作稳定同位素分析,共采集28棵树70余根树芯.

所有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^[19].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^[20]进行定年质量控制.COFECHA结果表明,北武当山样本缺轮率为0.63%,较北部宁夏贺兰山地区(缺轮率2.82%)^[9]、内蒙古呼和浩特(缺轮率1.16%)、包头(缺轮率3.13%)地区^[10]缺轮率低.序列间平均相关系数为0.639,样本的平均敏感度为0.398,一阶自相关系数为0.651,表明年轮序列间变化的一致性及对外界环境变化的敏感性,而且树木生长明显受前期生长的滞后影响.

用负指数函数或线性回归拟合每个测量序列的生长趋势,用加权平均法将去趋势序列合并成树轮宽度指数序列,该序列是通过ARSTAN^[21]程序建立的.表2列出了树轮宽度指数序列的统计量及共同区间(1900~2007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^[22],为了尽可能延长有效年表序列,本研究取SSS门限为0.75,年表的有效时段为1836~2007年.

2.2 树轮宽度指数序列与气候要素间的相关分析

为了探讨树木生长与气候要素之间的关系,将树轮宽度指数序列与各个气象站在观测时段从上年10月至当年9月的月平均气温、月降水量进行相关分析(图3),以寻找树木生长的气候控制因子.

整体看来,北武当山油松年轮生长与所有气象站点的月降水大致呈正相关关系,与月平均气温呈

负相关关系,符合干旱-半干旱地区树木生长与气候响应的模式,即在一定的变化幅度内,降水增多有利于宽年轮的形成,而温度增高不利于树木生长,易形成较窄年轮.其中,树轮指数与各气象站5~7月的气温相关均达到95%置信度的显著负相关,另外树轮指数还与太原、介休、原平站3月平均气温,与兴县和榆林站8月平均气温都显著负相关,与各站其他月份的平均气温相关均不显著;降水对树木生长的影响显然要低于气温,图3中只有当年5月(个别站除外)、6月的降水与树轮指数相关系数超过95%的置信度,3月的降水对树木生长也有一定的贡献.树轮指数与各气象站气温、降水不同时段组合后的相关仍表明,树轮宽度指数与气温的负相关关系远高于与降水的正相关关系,与各站5~7月平均气温的相关系数在-0.58(太原)~-0.65(介休)之间,与5~7月降水的相关系数在0.24(兴县)~0.38(离石)之间.

为了排除其他因素的干扰,论文又进一步分析了树轮指数与采样点附近4个格点PDSI数据^[23]的相关关系.与温度相比,树轮指数与各格点PDSI之间的单月相关显著降低,不同时段组合后相关系数并没有提高(分析过程略).上述分析表明了5~7月平均温度是研究区油松生长的主要气候控制因子.

在我国黄土高原地区,5~7月是油松生长的快速时期,高温会导致树木的呼吸作用、蒸腾作用加强,同时也会导致土壤水分含量降低,进而导致较窄年轮的产生.生长季气温对树木生长的限制作用与Liu等人^[11]在秦岭北坡地区、蔡秋芳等人^[13]在陕西黄龙山地区、候迎等人^[14]在崆峒山地区的研究结果一致.

从图2可见,研究区较大范围内气温变化一致,因此本文算术平均了上述6站单月气温数据(1955~2003年)代表区域气温数据,并重新分析了树轮指数与研究区5~7月平均气温的相关关系,二者间相关系数为-0.67($n=49$, $P<0.001$),表明北武当山树轮指数序列指示的5~7月平均气温可以代表吕梁山中部地区,甚至更大范围的气温状况.

3 气温重建及对比

3.1 重建

采用线性回归方法确立区域5~7月平均气温(T_{5-7})和树轮宽度指数序列(I)之间的关系,回归方程为

$$T_{5-7} = -1.673I + 22.477,$$

表2 样本概况、树轮宽度指数及共同区间的统计特征

年表样本量(棵/芯)	22/45
标准差	0.38
SSS>0.75	1836~2007
SSS>0.85	1887~2007
所有样芯的平均相关系数	0.40
树间相关系数	0.38
树内相关系数	0.43
总体代表性	0.91
第一主成分所解释方差量	41.15%

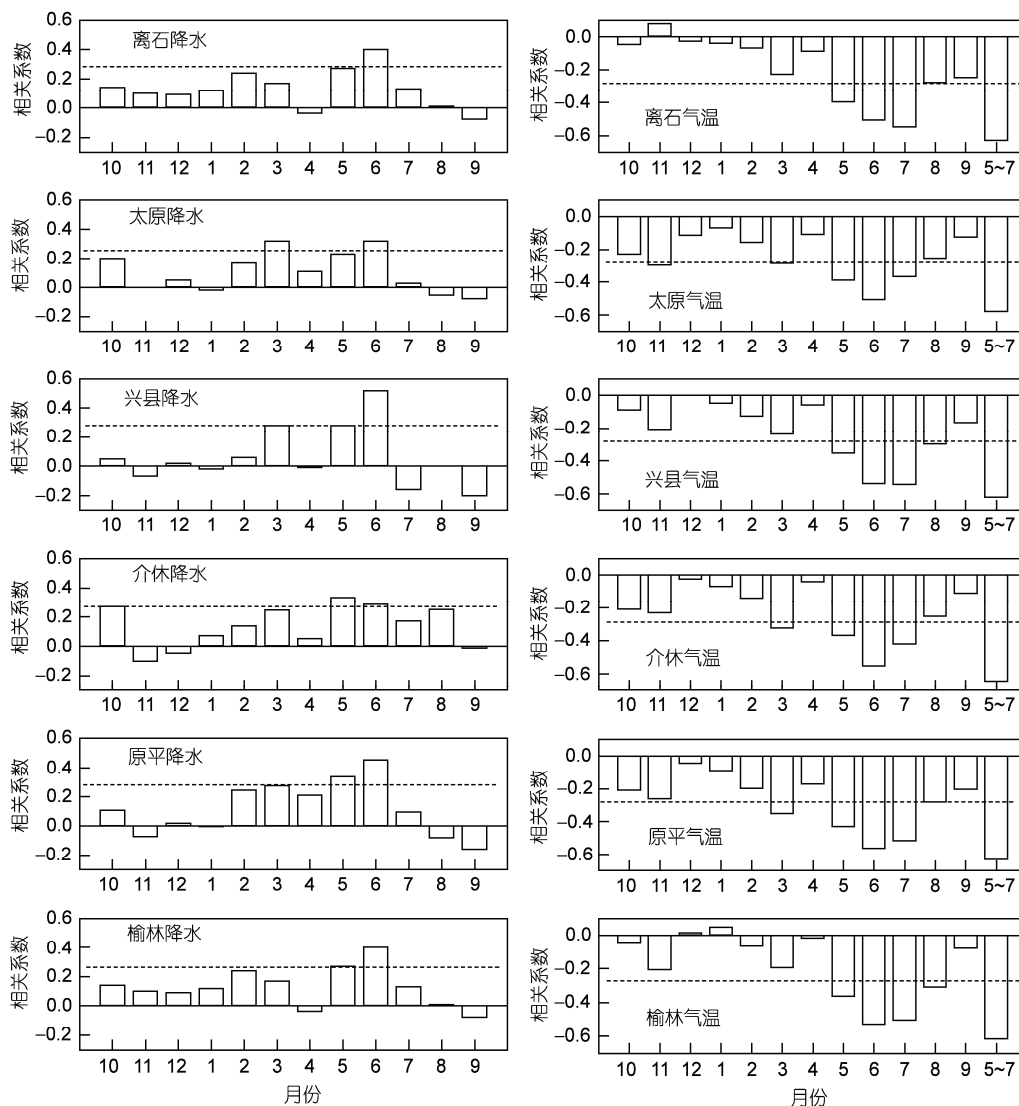


图3 树轮宽度指数与6站气象数据相关分析

左列, 月降水量; 右列, 月平均气温; 虚线代表 $\alpha=0.05$ 的置信水平

该方程的相关系数为 $-0.67(n=49, P<0.001)$, 方差解释量为 45%, 调整自由度后方差解释量为 43.8%, F 检验值为 38.474.

图4中重建值和观测值有很好的—致性, 证明重建是可信的. 另外, 将回归方程分为校准期和验证期来进行回归方程的稳定性独立检验. 所考虑的统计特征包括相关系数(r)、误差缩减值(RE)、效率系数(CE)和符号检验(sign test). 表3中结果显示校准期和验证期均具有较高的相关系数, 两个非常严格的统计检验特征 RE 和 CE 均为正值; 所有时段的原序列符号检验均通过了95%的置信度水平. 这些统计量说明

回归方程的可靠性, 适合用于重建.

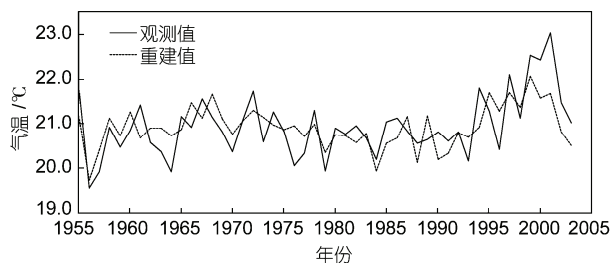


图4 5~7月平均气温重建值和观测值对比图

表 3 重建校准期与验证期统计特征^{a)}

	校准期(1955~1980)	验证期(1981~2003)	校准期(1981~2003)	验证期(1955~1980)	全时段(1955~2003)
r	-0.676	-0.710	-0.710	-0.676	-0.671
R^2	0.457	0.504	0.504	0.457	0.450
CE	—	0.431	—	0.367	—
RE	—	0.552	—	0.555	—
显著性检验	20+/6-*	17+/6-*	17+/6-*	20+/6-*	32+/17-*

a) * 表示超过了 95%的置信度水平

3.2 结果和对比

根据重建方程我们恢复了研究区 1836 年以来 5~7 月平均气温的变化序列(图 5), 重建时段平均值为 20.82℃, 标准差 σ 为 0.48℃. 我们定义气温高于平均值加 1σ 的年份为高温年份, 而气温低于平均值减 1σ 的年份为低温年份, 那么在过去 172 年中高温年份和低温年份基本相等, 分别为 25 和 26 a, 占重建总年份的 14.9%和 15.5%. 其中超过连续 3 a 以上(含 3 a)的高温时段仅有 1997~2001 年; 而连续 3 a 以上(含 3 a)的低温时段有 1852~1854, 1885~1889 和 1936~1938 年.

将重建序列进行 11 a 滑动平均, 其在低频变化上出现几个冷暖变化时段, 其中偏暖时期(高于平均值)为 1858~1876, 1894~1907, 1921~1931, 1962~1977 和 1994~2002; 偏冷时期(低于平均值)为 1843~1855, 1878~1893, 1934~1956 和 1973~1989 年. 20 世纪 50 年代以来研究区观测和重建的 5~7 月平均气温均呈缓慢上升趋势, 但是这种上升趋势并不是平稳的, 80 年代气温略有下降, 90 年代初之后的升温更强烈一些, 1994~2002 年的气温是整个重建时段中气温最高的时段.

由表 4 计算得知, 研究区 6 站 5~7 月平均气温与图 1 阴影区中 13 个气象站点 5~7 月平均气温相关系数在 0.61~0.91 之间, 超过了 99%的置信度. 而且本文重建序列与阴影区中各气象站点 5~7 月平均气温

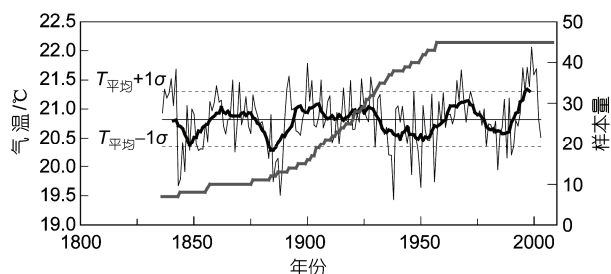


图 5 1836~2003 年 5~7 月平均气温重建序列
粗线条为 11 a 滑动平均序列

表 4 图 1 阴影区中 13 气象站 T_{5-7} 与吕梁山中部 6 站平均 T_{5-7} 、重建 T_{5-7} 的相关分析结果^{a)}

图 1 阴影区中各气象站点 T_{5-7}	与吕梁山中部 6 个站点 T_{5-7} 的相关系数	与北武当山 T_{5-7} 重建相关系数
五寨	0.91**	0.51** (1957~2003)
隰县	0.85**	0.44** (1957~2003)
延安	0.86**	0.58** (1951~2003)
西安	0.68**	0.31* (1951~2003)
宝鸡	0.61**	0.50** (1952~2003)
北京	0.61**	0.34* (1951~2003)
大同	0.84**	0.52** (1955~2003)
银川	0.84**	0.46** (1951~2003)
兰州	0.64**	0.38** (1951~2003)
石家庄	0.85**	0.58** (1955~2003)
郑州	0.70**	0.47** (1951~2003)
呼和浩特	0.81**	0.51** (1951~2003)
包头	0.83**	0.58** (1951~2003)

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

相关大部分都达到了 99%置信度的显著相关. 以上分析似乎说明吕梁山中部 5~7 月平均气温重建序列能够反映我国北方中部较大范围过去近 170 年气温的变化状况.

本文重建的 BWD T_{5-7} (5~7 月平均气温)冷暖变化时段与 HL T_{4-9} (陕西黄龙山 4~9 月平均气温)^[13]和 HLS T_{1-8} (贺兰山地区 1~8 月平均温度序列)^[12]的冷暖时段大体一致(图 6), 其中, BWD T_{5-7} 与 HLS T_{1-8} 滑动前的相关系数为 0.29($n=164$, $P<0.001$), 与 HL T_{4-9} 相关系数达到 0.41($n=168$, $P<0.001$). 另外, BWD T_{5-7} 还与 NWT T_{5-7} (秦岭北坡陕西南五台 5~7 月平均气温)^[11]和 KT T_{6-8} (甘肃崆峒山地区夏季 6~8 月温度序列)^[14]也有较好的可比性(表 5). 此外, 本文重建结果还与具有温度指示意义的芦芽山^[18](位于本文采样点以北约 100 km)树轮宽度年表显著相关($r=0.19$, $n=168$, $P<0.05$).

这种气温在低频上的共同变化趋势进一步表明了我国北方中部较大范围同期气温变化的一致性,

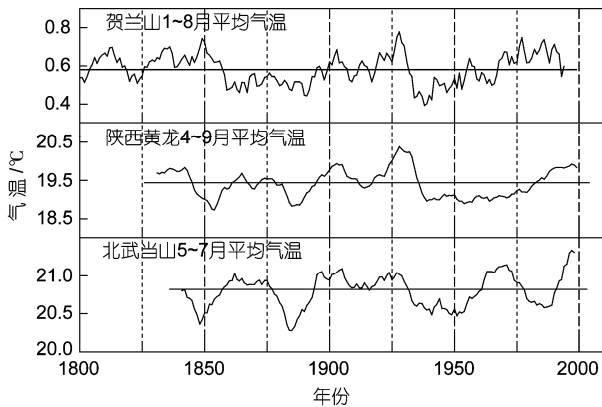


图6 北武当山气温重建 11 a 滑动序列与陕西黄龙、贺兰山气温序列对比

也说明北武当山树轮宽度指示的气温变化可能有一定的区域代表性.

很多树轮研究^[12~14]认为,我国北方地区树木生长不仅受局地区域气候的影响,而且也受较大尺度气候变化的影响.我们的计算也发现,BWD T_{5-7} 与 3~5 月北大西洋涛动指数 NAOI (1873~2003, <http://web.lasg.ac.cn/staff/ljp/dataset.html>) 年际相关达到 -0.205 ($P<0.05$), 与 2~5 月太平洋十年涛动指数 PDOI (1900~2003, http://www.cdc.noaa.gov/gcos_wgsp/Tim-eseries/PDO/) 相关达到 0.24 ($P<0.05$) 的显著水平,这似乎说明吕梁山地区 5~7 月气温变化和前期 NAOI 和 PDOI 变化都存在某种联系,值得进一步深入研究.

4 讨论与结论

结合最近几年来我国北方地区的树轮气候学研究发现,在位于北方环境敏感带的贺兰山^[9]、内蒙古

包头、呼和浩特^[10]、甘肃昌岭山^[24]等干旱半干旱地区,有效水分是树木生长的主要气候控制因子,直接表现为树轮宽度生长和某一段时期降水总量的显著正相关.气温则通过影响土壤水分含量对树木产生间接影响,表现为气温与树木生长之间的负相关关系,但是气温对树木生长的影响要低于降水;而在我国北方中部地区,如陕西黄龙^[13]、本文研究区、崆峒山^[14]、秦岭北坡南五台^[11]等地区,降水、气温对树木生长的影响方式仍与北方环境敏感带一致(气温为负相关,降水为正相关),但是气温对树木生长的控制作用逐渐增强,并超越降水成为树木生长的主要气候控制因子.这可能是因为随着地理纬度降低,在夏季风的影响下热月降水量逐渐增加,而且高山地带山体的增雨效应也使得降水对树木的控制作用逐渐减弱,从而使气温取代降水成为树木生长的主要气候控制因子.然而,随着纬度降低,越过秦岭这个中国气候分界带后,比如在秦岭分水岭^[25]和南坡^[11,26],树木与气温和降水的响应方式与北部地区完全相反,即树轮宽度与气温显著正相关,而与降水负相关.本文的研究结果符合秦岭以北树木生长对气候的响应方式,但是以上的统计结果还有待更多的研究证实.

论文分析表明,山西北武当山油松树轮生长不仅指示了吕梁山中部地区、似乎还指示了我国北方中部较大范围 5~7 月平均气温的变化.重建的 1836 年以来的温度序列 11 a 滑动平均低频信号与周边地区温度重建序列的同步变化也证明了重建的可靠性.20 世纪 50 年代以来研究区 5~7 月气温呈缓慢上升趋势,但是这种上升趋势并不是平稳的,1994~2002 年的温度是过去近 170 年中温度最高的时段.

表5 不同地区重建气温高、低温时段对比

BWD T_{5-7}		NWT T_{5-7}		KT T_{6-8}		HL T_{4-9}		HLS T_{1-8}	
暖期	冷期	暖期	冷期	暖期	冷期	暖期	冷期	暖期	冷期
		1787~1822		1786~1847	1764~1785			1805~1818	
1858~1876	1843~1855	1857~1882	1823~1856			1866~1870	1848~1859		1858~1872
1894~1907	1878~1893		1883~1895	1894~1937	1852~1893	1900~1908	1871~1875	1899~1907	1883~1895
							1882~1890		
1921~1931	1934~1956	1896~1936	1937~1986			1923~1935	1938~1944	1919~1931	1935~1953
							1948~1954		
1962~1977	1973~1989				1952~1986		1959~1976	1968~1995	
1994~2002		1987~2005		1987~2004		1985~2003			

参考文献

- 1 IPCC. IPCC Fourth Assessment Report (AR4). Cambridge: Cambridge University Press, 2007
- 2 Briffa K R, Schweingruber F H, Jones P D, et al. Reduced sensitivity of recent tree growth to temperature at high northern latitudes. *Nature*, 1998, 391: 678—682
- 3 Esper J, Cook E R, Schweingruber F H. Low frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science*, 2002, 295: 2250—2253
- 4 McCarroll D, Loader N J. Stable isotopes in tree rings. *Quat Sci Rev*, 2004, 23: 771—801
- 5 Treydte K S, Schleser G H, Helle G, et al. The twentieth century was the wettest period in northern Pakistan over the past millennium. *Nature*, 2006, 440: 1179—1182
- 6 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: 1739—1742
- 7 刘禹, 安芷生, Linderholm H W, 等. 青藏高原中东部过去 2485 年以来温度变化的树轮记录. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2009, 39: 166—176
- 8 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: 145—153
- 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: 2403—2412
- 10 Liu Y, Sun J Y, Yang Y K, et al. Tree-ring precipitation records from Inner Mongolia, China, and the East Asian summer monsoon front variation since 1627 AD. *Tree-ring Res*, 2007, 63: 3—14
- 11 Liu Y, Linderholm H W, Song H M, et al. Temperature variations recorded in *Pinus tabulaeformis* tree rings from the southern and northern slopes of the central Qinling Mountains, central China. *Boreas*, 2008, 38: 285—291
- 12 蔡秋芳, 刘禹. 油松树轮宽度记录的 1776 年以来贺兰山地区 1~8 月平均气温变化. *地理学报*, 2006, 61: 929—936
- 13 蔡秋芳, 刘禹, 宋慧明, 等. 树轮记录的陕西中-北部地区 1826 年以来 4~9 月温度变化. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2008, 38: 971—977
- 14 侯迎, 王乃昂, 李钢, 等. 利用树轮资料重建 1751~2005 年崆峒山地区夏季温度变化. *气候变化研究进展*, 2007, 3: 172—176
- 15 梁尔源, 邵雪梅, 刘鸿雁, 等. 树轮所记录的公元 1842 年以来内蒙古东部浑善达克沙地 PDSI 的变化. *科学通报*, 2007, 52: 1694—1699
- 16 刘禹, Park W K, 蔡秋芳, 等. 公元 1840 年以来东亚夏季风降水变化——以中国和韩国的树轮记录为例. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2003, 33: 543—549
- 17 李强, 刘禹, 蔡秋芳, 等. 山西宁武地区 1686 年以来年降水重建. *第四纪研究*, 2006, 26: 999—1006
- 18 易亮, 刘禹, 宋惠明, 等. 山西芦芽山地区树木年轮记录的 1676AD 以来 5~7 月温度变化. *冰川冻土*, 2006, 28: 330—336
- 19 Stokes M A, Smiley T L. *An Introduction to Tree-ring Dating*. Arizona, Tucson: The University of Arizona Press, 1996
- 20 Holmes R L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bull*, 1983, 43: 69—78
- 21 Cook E R. A time-series analysis approach to tree-ring standardization. Dissertation for the Doctoral Degree. USA, Tucson: University of Arizona, 1985
- 22 Wigley T M L, Briffa K R, Jones P D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydro-meteorology. *J Clim Appl Meteorol*, 1984, 23: 201—213
- 23 Dai A G, Trenberth K E, Qian T. A global dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870—2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J Hydrometeorol*, 2004, 5: 1117—1130
- 24 高尚玉, 鲁瑞洁, 强明瑞, 等. 140 年来腾格里沙漠南缘树木年轮记录的降水量变化. *科学通报*, 2006, 51: 326—331
- 25 刘禹, 刘娜, 宋慧明, 等. 以树轮宽度重建秦岭中段分水岭地区 1~7 月平均气温. *气候变化研究进展*, 2009, 5: 260—265
- 26 刘洪斌, 邵雪梅. 利用树轮重建秦岭地区历史时期初春温度变化. *地理学报*, 2003, 58: 879—884