

过去 2000 年中国气候变化研究

郑景云, 邵雪梅, 郝志新, 葛全胜*

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 总结了中国科学院地理科学与资源研究所在过去 2000 年中国气候变化研究方面的主要进展, 并对未来研究动向进行了展望。在过去 10 余年中, 中科院地理资源所的历史气候变化研究在已有基础上, 面向国际本领域研究的前缘科学问题, 开展了大量研究工作, 在代用资料的收集、整理与数据库建设, 温度与降水变化重建以及气候变化的时空特征分析等方面取得了许多新成果。未来不但需要进一步利用历史文献、树轮等气候变化重建手段, 加强高分辨率的气候变化重建工作, 加密气候变化代用资料的空间覆盖度, 并结合历史气候模拟等手段, 深入开展气候变化动力学机制研究; 而且还需要进一步利用地理资源所在本领域已积累的研究优势, 开展历史时期的气候变化与人类相互作用等方面的研究。

关键词: 中国; 过去 2000 年; 气候变化; 研究进展; 未来展望

文章编号: 1000-0585(2010)09-1561-10

1 引言

过去 2000 年气候变化研究是全球变化研究关注的核心内容之一, 对揭示年代至百年尺度的气候变化规律, 辨识现代及未来气候变化的自然背景, 诊断 20 世纪气候变暖的历史地位, 评估当前全球变暖的自然和人为驱动贡献, 预估未来气候变化, 了解气候变化对人类生存环境及社会经济发展的影响以及人类对气候变化的适应策略、方式、措施, 认识人类活动与气候变化的相互作用规律均具有极为重要的意义。中国拥有悠久的文明史、广阔的地域空间, 其连续丰富的文献记载以及大量的树轮、冰芯、石笋、湖泊沉积等自然证据为详细重建过去 2000 年气候变化史提供了有利条件; 同时, 还由于中国在观测时期内的年代尺度温度变化特征与北半球极为相似, 使得中国过去 2000 年气候变化研究在国际全球变化研究领域具有独特地位。

过去 2000 年中国气候变化研究由竺可桢先生开创, 是中国科学院地理科学与资源研究所的重要研究方向之一。20 世纪后期, 在张丕远先生等前辈科学家的努力下, 我所在这一领域的研究取得了重要成果^[1]。近年, 我所许多学者又在过去已有研究基础上, 面向国际本领域研究的前缘科学问题, 开展了大量研究工作, 并在代用资料的收集、整理与数据库建设以及气候变化序列重建与时空特征分析等方面取得了许多新进展。本文拟对其中的主要进展进行总结, 并对未来这一领域的主要研究动向进行展望。

收稿日期: 2010-07-30; 修订日期: 2010-08-16

基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划 (2010CB950100); 国家杰出青年科学基金 (40625002); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-Q1-01、KZCX2-YW-315)

作者简介: 郑景云 (1966-), 男, 研究员。主要从事气候学与气候变化研究。E-mail: zhengjy@igsnr.ac.cn

通讯作者: 葛全胜, 研究员。E-mail: geqs@igsnr.ac.cn

2 代用资料的收集、整理与数据库建设

2.1 史载气候变化资料

历史文献记载的气候信息量大、覆盖时段长、记录时间准确、空间分辨率高,且多存在于各种自然证据不能覆盖的地区,因此在过去气候变化研究中具有不可替代的作用。随着研究工作的不断深入,系统收集、整理我国历史文献中的气候变化记载,建立数据库及其管理系统成为本领域研究的基础和核心工作。自20世纪90年代末起,我所在前人的工作基础上,对历史文献中的气候变化记载进行了补充收集,并开展整编和点校工作。在系统分析我国史载气候、灾害及相关信息资料源与可靠性基础上,设计了有关信息的提取过程和方法;制订了从文字描述到数值化的过程以及各种不同来源、不同种类资料的点校、校准方法和定性、定量信息提取方案。

迄今为止,共查阅了中国古代文献(涉及经、史、子、集四大部)1531种32251卷,明清地方志4000余部、私人日记笔札200部,清代雨雪档案25.8万件,洪涝灾害档案1.4万件,民国档案20000案卷,农书、本草、笔记等相关古籍100余部,摘录了自然物候与气候灾异记载11.6万条,雨雪分寸记录3500多万字;并根据各种资料的特点,对其中部分记载的气候信息进行了定量提取,得到了历史物候期、冷暖指数、旱涝等级、干湿指数等气候变化代用数据数万个;同时建立了集原始记载、派生资料与代用数据为一体的、总文本信息量达近100MB的中国历史气候变化数据库及其管理系统^[2],为进一步发挥这些资料的研究价值提供了重要基础。

2.2 树轮资料

树轮以其时间分辨率高、分布广泛、定年精确、易于复本等优势,成为重建历史气候变化序列的一种主要代用证据。作为我国最早开展树轮气候学的研究单位,地理资源所于1986年建立了国内第一个树木年轮研究实验室,撰写了国内第一部树轮气候学研究专著^[3];并开展了大量的树轮样本采集与分析研究工作,其中采样地涉及青藏高原东北部、东南部、南部,东北的漠河、长白山,新疆的阿尔泰山、伊犁,以及川西高原、秦岭、大别山、天目山等山地的230多个地点。迄今为止,共采集了树轮样芯13000余个,初步建立了覆盖我国高纬度与高海拔地区的树轮样本与年表数据库及其相应的响应函数模型库;并通过长期的研究实践,建立和发展了我国干旱与半干旱地区的树轮交叉定年方法体系^[4],构建了以含髓心样本为依据的树木全过程生长趋势曲线,改进了树轮生长趋势剔除方法,从而最大限度地获取了气候变化的低频变化信息;建立了200余个树轮年表。其中利用柴达木盆地东北部的活树、尚未倒伏的死树和山前洪积扇上古墓中保存的椴木样本,建立了中国境内迄今为止复本量最大(621棵树)、年代最长的树木年轮宽度标准年表——中国西部柴达木盆地东缘山地3585年的树轮宽度年表^[5],为青藏高原东北部地区的树轮准确定年提供了标尺。

此外,还从各类历史文献中收集、整理、积累了大量的历史土地利用与覆盖变化资料,以及农业收成、粮价、人口等数据^[6];初步建立了环境考古研究实验室^[7];恢复了中国物候观测网^[8]。这为深入开展历史时期的气候变化与人类相互作用,充实和丰富历史气候变化研究内涵提供了新的生长点。

3 过去2000年温度变化研究

利用中国历史文献记载及各种自然代用证据定量重建中国不同区域及全国范围的年代

际温度变化序列，不但可为揭示我国气候变化的时空规律、辨识 20 世纪气候增暖的历史地位提供基础数据，而且对科学评估北半球与全球过去千年温度变化也具有重要贡献。为此，我们根据不同类型代用资料特点（包括时间分辨率、季节敏感性、空间代表性等）的不同，构建了利用不同地点、不同代用资料重建区域温度变化序列的方法，并分别利用历史文献和树轮资料，重建了中国东部过去 2000 年及祁连山北坡山地、青藏高原东北部地区过去 1000 年温度变化序列，初步揭示了中国过去 2000 年温度变化幅度、速率、周期与千年自相似特征。

3.1 中国东部过去 2000 年温度变化

中国东部过去 2000 年温度变化重建的主要证据来源于我国历史文献中的 5000 余条自然物候及异常冷暖记载。由于这些资料的来源、记载特点不同，因此首先根据中国历史文献中不同类型冷暖记载的特点，构建了“自然证据”和“感应证据”分类标准，评价、辨识了史载温度信息的最佳时间分辨率（10~30 年）^[9]；然后利用中国东部 26 个站点的现代物候观测资料，诊断了自然物候对温度变化的响应过程，建立了自然物候与温度变化的定量关系方程^[10]，根据“将今论古”原理，将古今物候差异定量校准为温度变化；并利用现代气象观测资料计算各站点温度变化的代表性及不同季节温度变化对东部地区温度变化的贡献率，解决了不同区域、不同时段、不同季节、不同类型代用资料的可比性问题；从而将不同时段、不同站点、不同季节的温度变化同化为中国东部的温度变化，重建了中国东部地区过去 2000 年分辨率为 30 年（其中 960~1100 年和 1500~2000 年为 10 年）的冬半年（10~4 月）温度变化序列（图 1）^[11]。

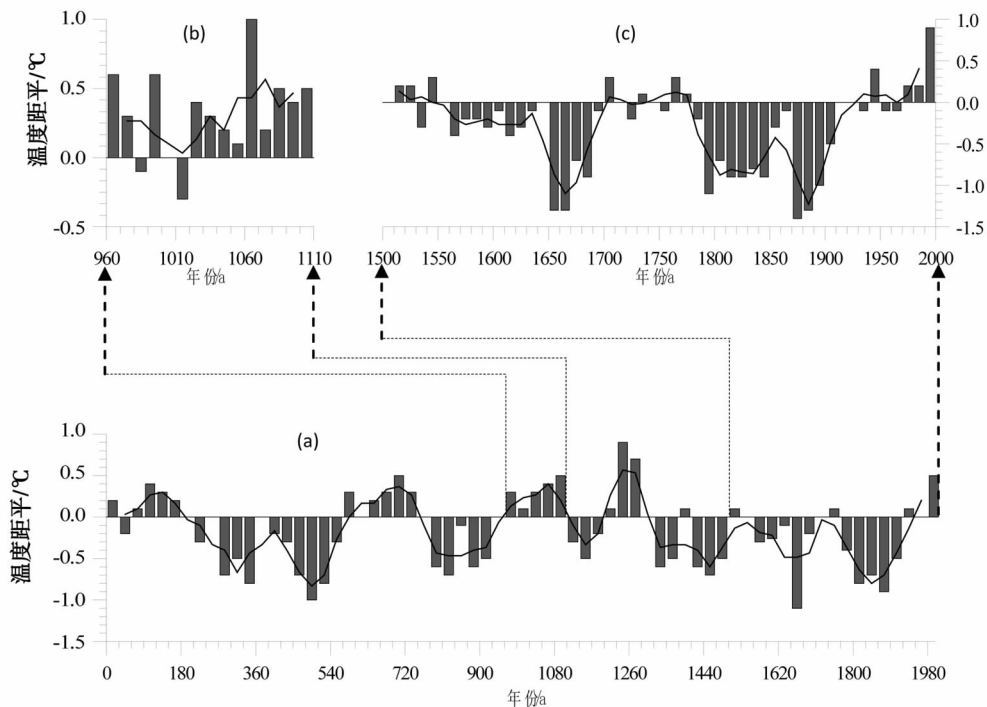


图 1 中国东部地区过去 2000 年冬半年温度变化序列（折线为 3 点滑动平均）

Fig. 1 Winter-half-year temperature change in eastern China during the past 2000 years

Solid curve: 3-Point running mean

对东部过去 2000 年温度变化序列的多尺度诊断分析发现：20 世纪增暖在过去 2000 年中并不唯一，增暖速率、温暖程度均没有超过过去 2000 年曾经出现过的最高水平。其中从百年尺度看，20 世纪的温暖程度（冬半年温度距平为 0.2°C ，以 1951~1980 年为参照基准，下同）略低于中世纪暖期的两个温暖时段（即 1200's~1310's，距平为 0.4°C ；930's~1100's，距平为 0.3°C ），与隋唐暖期（570's~770's）相当；从每 30 年变化看，20 世纪最暖 30 年的温度距平（ 0.5°C ）低于中世纪暖期的最暖 30 年（ 0.9°C ），与隋唐暖期的最暖 30 年一致；从年代际变化看，20 世纪最暖年代的温度距平（ 0.9°C ）与中世纪期暖期前期的最暖年代（ 1.0°C ）接近。从百年增暖速率看，20 世纪的增暖速率与过去 2000 年中其他气候由寒冷阶段向温暖阶段转变（如 5 世纪末至 7 世纪初、9 世纪后期至 10 世纪末、12 世纪中期至 13 世纪中期）的升温速率相似^[12]。对过去 2000 年温度变化序列与气候模拟结果的周期分析均揭示：中国温度变化存在 200~300 年和准 600 年周期；温度变化序列的千年自相似特征诊断还显示：公元 1500 年以来的温度变化过程与公元 150~650 年相似，且序列的滞后 1350 年自相关最为显著，证明 20 世纪暖期的最可能相似型为隋唐暖期^[13]。

3.2 祁连山北坡山地、青藏高原东北部地区过去 1000 年温度变化

祁连山位于我国西部干旱区，树木生长对气候变化非常敏感。利用祁连山北坡森林上限 25 棵活树 60 个祁连圆柏树轮宽度资料（其中最长的序列为 1110 年，公元 1000 年前有 4 棵树 6 个样芯），采用负指数函数和斜率为负数的回归方程对生长趋势进行拟合，将去趋势序列以双权重平均法、通过 ARSTAN 程序合成公元 1000~2000 年祁连圆柏宽度标准年表，建立了轮宽指数序列^[14]；并在分析树木生长对气候响应过程的基础上，逐步诊断了树木生长与主要气候要素的相关关系，辨识树轮宽度指数序列中的过去 1000 年的温度变化信号，发现其最主要影响因子为前一年 12 月~当年 4 月的平均温度。在此基础上，结合树轮同位素分析结果，重建了过去千年温度变化序列（图 2a）^[15]；同时利用现代气象观测记录，分析了该地区对中国西部地区温度变化的代表性，揭示了其对中国西部地区温

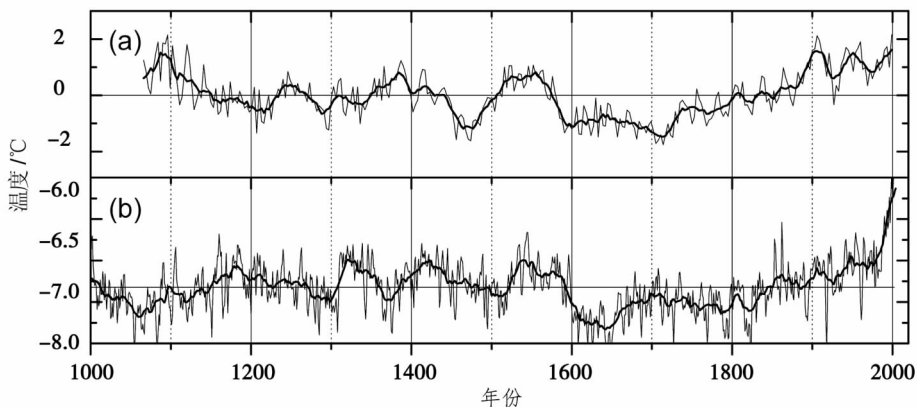


图 2 重建的祁连山中段上年 12 月~当年 4 月的平均温度 (a) 和青海乌兰上年 9 月~当年 4 月平均温度 (b)

Fig. 2 Reconstructed Dec. to April temperature for the middle part of Qilian Mountains (a) and Sept. to April temperature for Wulan, Qinghai (b)

度变化的指示意义。结果发现：公元 1050~1150 年间气候温暖；1150~1350 年，其间虽在 1250 年前后存在过数十年的暖峰，但总体相对寒冷；1350~1440 年，气候再次会暖；1440~1510 年，温度迅速下降；虽然气候在 1510~1580 年间再次短暂回暖，但之后开始持续降温；1580~1890 年气候寒冷；至 20 世纪以后气候再次快速回暖。这一冷暖变化特征不仅指示了中国西北部地区过去千年温度变化的独特性，而且也在世纪尺度上对北半球甚至全球气温的阶段性和 20 世纪以来的持续增暖也作出了响应。

青藏高原东北部的乌兰同样存有千年树龄的祁连圆柏，其中位于青海省乌兰县的哈里哈图国家森林公园森林生长上限（海拔高度 3910~3964 m，37°02.794'N、98°39.787'E）的树木同样较好地反映了温度变化信号。在利用这一地区 32 棵树的 50 个树轮样芯重建该地区上年 9 月至当年 4 月平均温度变化序列（图 2b）时，利用多条到髓心的树轮序列，采用“总体生长曲线”（populational growth curve）拟合年龄趋势，改进了树轮生长趋势剔除方法，保留更多的低频气候信息^[16]。结果表明：自公元 1000 年来，温度持续下降；至 1070 年起，出现持续约 100 年的升温，之后气候在较温暖水平上波动，这种波动一直持续到 16 世纪末，然后进入近千年的最长冷期（约 1590~1835 年）；直至 1835 年，气候在波动中缓慢回暖；至 20 世纪后期，温度快速升高。这一结果不但揭示温度的百年际尺度变化特征和 200~300 年冷暖变化的阶段性，而且证实了中世纪暖期和 20 世纪后期的快速升温在这一地区极为显著。

4 过去千年降水变化研究

4.1 中国东部过去 1500 年干湿变化

重建中国东部过去 1500 年干湿变化的资料源于三个部分：一是根据中国古代文献中 22567 条旱涝灾害记述确定的公元前 137 年至公元 1469 年间的 63 个站点旱涝等级；二是根据明清地方志、清代洪涝档案及民国档案等旱涝县次记载重建的 1470~1950 年 85 个站点旱涝指数；三是 1951 年以后各地降水观测记录。由于这些记录来源与特点不同，且早期记录少、近期记录多，这给建立前后均一的序列带来了极大影响。为消除这一影响，我所创建了史料记载时空不均匀的气候信息同化校准方法。在深入分析各地区记录数量变化特征的基础上，利用多项式模拟各地区的记录数量变化趋势，并以此为依据剔除因记载数量前后不一而造成的序列方差不均匀变化，进而解决了资料来源不同与记录前后不均一对干湿变化定量重建的影响问题；重建了过去 1500 年中国东部（25~40°N、105°E 以东）及华北（34~40°N）、江淮（31~34°N）和江南地区（25~31°N）的降水变化序列^[17]，并辨识了其间的重大连旱、连涝事件。

分析结果表明：过去 1500 年中国东部地区干湿变化的主周期为 70~80 年（其中每个干、湿期分别持续 30~50 年）和准 22 年及 2~4 年；且在公元 720 年、1050 年、1230 年、1350 年、1610 年、1730 年、1915 年前后存在突变；同时降水变化存在明显的区域差异，如江南与江淮地区在 11 至 13 世纪、华北平原与江南地区 16 世纪以来表现出反相波动特征。过去 1500 年间，中国东部曾发生过 16 次重大连旱、18 次重大连涝事件，其中最严重的干旱事件发生在 1634~1644 年，且有多次事件的范围和程度超过了仪器记录所观测到的极端事件。12 世纪~14 世纪以发生干旱事件为主，但是 17 世纪中期以来中国东部洪涝事件更为频繁。20 世纪洪涝事件的严重程度与历史时期类似，但干旱事件的严重程度有所下降，证明 20 世纪中国东部的降水变率并未超出过去 1500 年的自然变率。

4.2 雨雪分寸揭示近 300 年降水与夏季风雨季变化

清代“雨雪分寸”由各地方官员向皇帝奏报，记录了全国各地逐次降雨后雨水渗入土壤的深度与逐次降雪后的积雪厚度，最早起于康熙三十二（1693）年，其中乾隆元年（1736 年）至宣统三年（1911 年）的记录较为详细系统，堪称世界上最为完整的历史降水观测记录。为了定量提取清代“雨雪分寸”中的高分辨率降水信息，我们依照清代“雨雪分寸”观测与记录方法，根据各地土壤类型与降水特征选取中国东部 28 个站点开展自然降水田间入渗试验；在此基础上，建立了黄河中下游与江淮流域 10 个站点降水量与入渗深度之间的统计关系^[18,19]；并结合土壤物理学模型与水量平衡模型，重建过去 300 年黄河中下游地区 17 个站点的逐渐降水序列^[20]；这一方法突破了以往同类研究主要靠分等定级的半定量方法重建过去降水变化的局限。同时利用“雨雪分寸”中雨日记载详细、准确

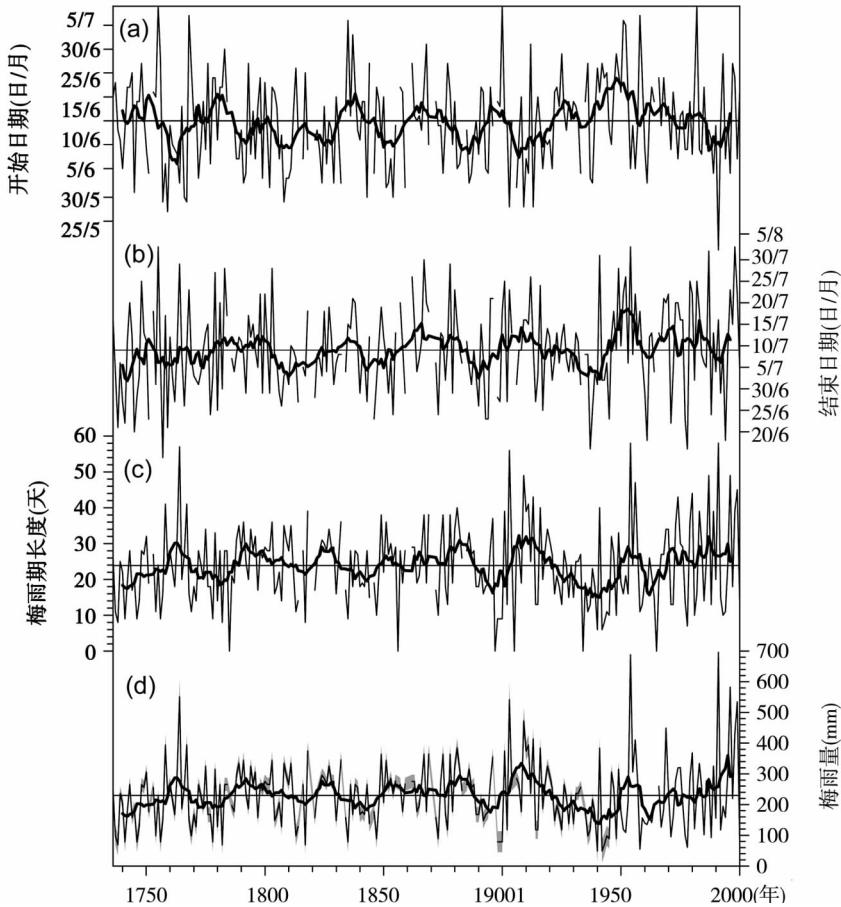


图 3 1736~2000 年梅雨的特征量变化

(a) 入梅日期；(b) 出梅日期；(c) 梅雨期长度；(d) 梅雨量。

粗曲线：9 年滑动平均值；直线：整个序列的平均值；灰色区域：95% 置信区间

Fig. 3 The variation of Meiyu during 1736~2000

(a) starting dates; (b) ending dates; (c) length of Meiyu; (d) rainfall of Meiyu; Heavy line:

9-year running mean value; Thin beeline: mean of series; grey area in d: 95% confidence boundary

的特点，重建了江淮梅雨（图 3）、华北北部与大同、榆林等季风边缘区的夏季风雨季变化序列^[21~23]；分析了东部地区过去 300 年降水的变化年至多年代际变化特征及其与夏季风强弱变化的关系。

分析结果发现：黄河中下游地区 1791~1805 年、1816~1830 年及 1886~1895 年等 3 个时段降水明显偏多，1916~1945 年及 1981~2000 年等 2 个时段降水则明显偏少；降水变化具有 2~4 年、准 22 年及 70~80 年等周期，且在 1915 年前后存在降水由多变少的突变，突变之后，准 22 年的周期信号开始减弱，至 20 世纪 40 年代后期，这一周期信号完全消失，代之出现了 35~40 年的周期^[24]。长江中下游地区梅雨百年际与年代际波动特征极为显著。其中 1771~1820、1871~1920 及 1971~2000 年 3 个阶段梅雨期较长，而 1736~1770、1821~1870 及 1921~1970 年 3 个阶段梅雨期较短。1830 年前入梅偏早；1831~1920 年间，存在 3 个明显的周期波动，每个周期长约 30 年；1921~1970 年，入梅偏晚；1971 年以后，又明显提前。出梅日期 1820 年前偏早；1821~1890 年，年代际变幅增大，准周期（长度为 20~30 年）波动明显；1891~1940 年，年代际变幅减小；1941 年以后，年代际变幅又增大。梅雨期长度与雨量变化始终存在较大的年代际变幅，且 20~30 年和准 40 年的周期变化极为显著。对比长江中下游地区梅雨长度与东亚夏季风指数变化还可以看出：梅雨期长度多年代尺度变化与东亚夏季风强弱的阶段性变化有很好的对应关系：当东亚夏季风处于强阶段时，梅雨期反而短；反之则梅雨期长^[21]。

4.3 青藏高原东北部过去 1400 年的降水变化

重建青藏高原东北部过去 1437 年降水变化的树轮资料来源于柴达木盆地东北部 7 个地点 571 株树的 1000 多个样芯。这里海拔高、气温低、降水少，因而树木生长具有缺失轮和伪轮多等特点，如何对这一地区的树轮进行准确定年是一个世界性的难点问题。通过长期的交叉定年实践，建立了“在野外采样时必须同时采集不同树龄、不同小生境、复本量大的样本；安放缺失轮时必须同时考虑窄轮和宽轮变化的一致性；必须同时用多种方法对定年结果和轮宽量测值进行验证”的树轮交叉定年方法体系；较好地解决了这一难点问

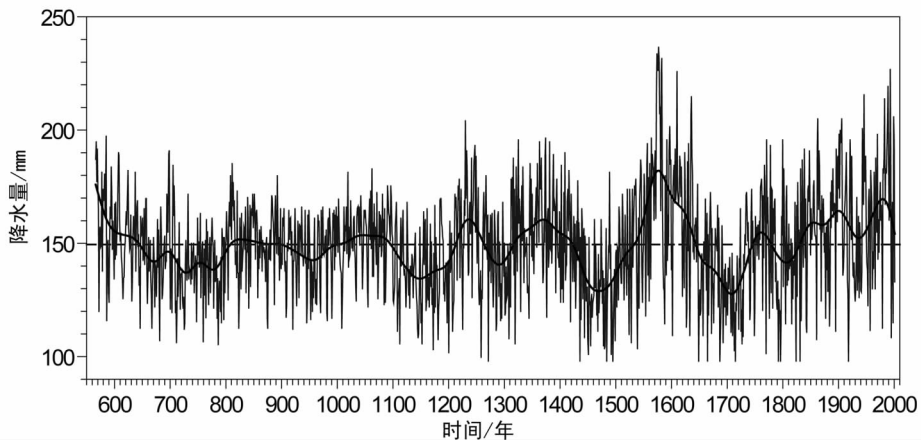


图 4 青藏高原东北部地区公元 566~2002 年的年降水量变化（引自文献 [26]）

细实线：年降水量；粗实线：年降水量的 31 年滑动平均；虚线：序列均值

Fig. 4 Reconstructed annual precipitation in the eastern Qinghai-Tibe Plateau for AD 566~2002

Thin line: annual value; Thick line: 31-year moving average; Dash line: mean of the series

题；进而重建了这一地区公元 566~2002 年的年（上年 7 月至当年 6 月）降水变化序列（图 4）^[25]。

分析结果显示：在过去 1437 年中，青藏高原东北部地区降水变化存在 150~250 年和 70~80 年的周期，且与太阳活动的阶段性变化密切相关，其中最干旱且持续时间最长的时期分别出现在 15 世纪后期和 17 世纪后期至 18 世纪前期，与 Spörer 和 Maunder 这两个太阳活动极小期对应，18 世纪末至 19 世纪初的降水偏少期 Dalton 太阳活动极小期对应。此外，该序列还显示在公元 1200 年以前，降水变化幅度较小，此后降水变化明显加大；说明在 1200 年前后，可能存在显著的气候突变。

5 结语与未来研究展望

在过去 10 余年中，地理资源所的历史气候变化研究已在代用资料的收集、整理与数据库建设，温度与降水变化重建以及气候变化的时空特征分析等方面取得了许多新成果^[27~34]；这些成果大多发表在本领域的重要国际期刊上，其中中国东部地区过去 2000 年温度变化序列、过去 1500 年干湿变化序列，以及过去千年祁连山北坡山地温度变化序列与青藏高原东北部地区降水序列等常被国际同行作为我国历史气候变化研究的代表性成果引用。如 2006 年，美国科学院国家科学咨询委员会出版的《过去 2000 年地表温度重建》科学评估报告，就将中国东部地区过去 2000 年温度变化序列作为东亚地区的代表性序列引用，并评述指出：葛全胜等利用中国历史物候证据、并辅以雪日记载，重建了过去 2000 年的温度变化，证明 950~1300 年及 1925 年以后的温度明显高于长期均值，小冰期的最冷时段出现在 17 及 19 世纪^[34]。这说明我所研究已得到了国际同行的关注与认可。

然而，过去 2000 年气候变化研究的目标不仅只是要重建气候变化详细历史，其根本目的是要揭示年代至百年际尺度的气候变化时空规律及其动力学机理，为未来的全球气候预测和人类适应未来气候变化提供科学基础。因而展望未来，不但需要进一步利用历史文献、树轮等气候变化重建手段，加强高分辨率的气候变化重建工作，加密气候变化代用资料的空间覆盖度，大力开展多种代用资料的相互比对与综合评估研究^[35,36]，以降低对过去 2000 年气候变化认识的不确定性；并结合历史气候模拟等手段，深入开展气候变化动力学机制研究；而且还需要进一步利用地理资源所在本领域已积累的研究优势，开展历史时期的气候变化与人类相互作用等方面的研究，深入认识气候变化对人类生存环境及社会经济发展的影响以及人类对气候变化的适应策略、方式、措施，为人类适应未来气候变化服务。

参考文献：

- [1] 张丕远. 中国历史气候变化. 济南: 山东科学技术出版社, 1996.
- [2] 郑景云, 郝志新, 狄小春. 历史环境变化数据库的建设与应用. 地理研究, 2002, 21(2): 146~154.
- [3] 吴祥定. 树木年轮与气候变化. 北京: 气象出版社, 1990.
- [4] 邵雪梅, 方修琦, 刘洪滨, 等. 柴达木东缘山地千年祁连圆柏年轮定年分析. 地理学报, 2003, 58(1): 90~100.
- [5] Shao X M, Wang S Z, Zhu H F, *et al.* A 3585-year ring-width dating chronology of Qilian juniper from the north-eastern Qinghai-Tibetan plateau. *Iawa Journal*, 2009, 30(4): 379~394
- [6] Ge Quansheng, Dai Junhu, He Fanneng, *et al.* Spatiotemporal dynamics of reclamation and cultivation and its driving factors in parts of China during the last three centuries, *Progress in Natural Science*. 2004, 14(7): 605~613.
- [7] Yang X Y, Yu J C, Lu H Y, *et al.* Starch grain analysis reveals function of grinding stone tools at Shangzhai site,

- Beijing. Science in China series D-Earth Sciences, 2009, 52(8): 1164~1171.
- [8] Zheng J Y, Ge Q S, Hao Z X, *et al.* Spring phenophases in recent decades over eastern China and its possible link to climate changes. Climatic Change, 2006, 77(3~4): 449~462.
- [9] 郑景云, 葛全胜, 方修琦, 等. 基于历史文献重建的近 2000 年中国温度变化比较研究, 气象学报, 2007, 65(3): 428~439.
- [10] Zheng Jingyun, Ge Quansheng, Hao Zhixin. Impacts of climate warming on plants phenophases in China for the last 40 years. Chinese Science Bulletin, 2003, 47(21): 1826~1831.
- [11] Ge Q S, Zheng J Y, Fang X Q, *et al.* Winter half-year temperature reconstruction for the middle and lower reaches of the Yellow River and Yangtze River, China, during the past 2000 years. The Holocene, 2003, 13(6): 933~940.
- [12] 郑景云, 葛全胜, 方修琦, 等. 从中国过去 2000 年温度变化看 20 世纪增暖. 地理学报, 2002, 57(6): 631~638.
- [13] Ge Quansheng, Fang Xiuqi, Zheng Jingyun. Quasi-periodicity of temperature changes on the millennial scale. Progress in Natural Science, 2003, 13(8): 601~606
- [14] Liu X H, Qin D H, Shao X M, *et al.* Temperature variations recovered from tree-rings in the middle Qilian Mountain over the last millennium. Science in China Series D-Earth Sciences. 2005, 48(4): 521~529
- [15] Liu Xiaohong, Shao Xuemei, Zhao Liangiu, *et al.* Dendroclimatic temperature record derived from tree-ring width and stable carbon isotope chronologies in the middle Qilian Mountains, China. Arctic Antarctic and Alpine Research, 2007, 39(4): 651~657.
- [16] Zhu H F, Zheng Y H, Shao X M, *et al.* Millennial temperature reconstruction based on tree-ring widths of Qilian juniper from Wulan, Qinghai Province, China. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(24): 3914~3920.
- [17] Zheng J Y, Wang W C, Ge Q S, *et al.* Precipitation variability and extreme events in eastern China during the past 1500 years. Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences, 2006, 17(3): 579~592.
- [18] Ge Q S, Zheng J Y, Hao Z X, *et al.* Reconstruction of historical climate in China: High-resolution precipitation data from Qing Dynasty Archives. Bulletin of the American Meteorological Society, 2005, 86(5): 671~679.
- [19] Hao Zhixin, Zheng Jingyun, Ge Quansheng, *et al.* Relationship between precipitation and the infiltration depth over the middle and lower reaches of the Yellow River and Yangtze-Huaihe River Valley. Progress in Natural Science, 2008, 18(9): 1123~1128.
- [20] Zheng J Y, Hao Z X, Ge Q S. Variation of precipitation for the last 300 years over the middle and lower reaches of the Yellow River. Science in China Series D-Earth Sciences, 2005, 48(12): 2182~2193.
- [21] Ge Quansheng, Guo Xifeng, Zheng Jingyun, *et al.* Meiyu in the middle and lower reaches of the Yangtze River since 1736. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(1): 107~114
- [22] Wang W C, Ge Q S, Hao Z X, *et al.* Rainy season at Beijing and Shanghai since 1736. Journal of the Meteorological Society of Japan, 2008, 86(5): 827~834.
- [23] Ge Quansheng, Hao Zhixin, Tian Yanyu, *et al.* The rainy season in the northwestern part of the East Asian Summer Monsoon in the 18th and 19th centuries. Quaternary International, 2010, doi: 10.1016/j.quaint.2010.02.025.
- [24] Hao Zhixin, Zheng Jingyun, Ge Quansheng. Precipitation cycles in the middle and lower reaches of the Yellow River (1736~2000). Journal of Geographical Sciences, 2008, 18(1): 17~25.
- [25] Ge Q S, Hao Z X, Tian Y Y, *et al.* The rainy season in the Northwestern part of the East Asian Summer Monsoon in the 18th and 19th centuries. Quaternary International, 2010, doi:10.1016/j.quaint.2010.02.025.
- [26] 邵雪梅, 梁尔源, 黄磊, 等. 柴达木盆地东北部过去 1437a 的降水变化重建. 气候变化研究进展, 2006, 2(3): 122~126.
- [27] Bradley R S, Hughes M K, Diaz H F. Climate in Medieval Time. Science, 2003, 302(5644): 404~405.
- [28] Yancheva G, Nowaczyk NR, Mingram J, *et al.* Anti-correlation of summer/winter monsoons? Reply. Nature, 2007, 450: E8~E9, doi:10.1038/nature06339.
- [29] Lee H F, Fok L, Zhang D D. Climatic change and Chinese population growth dynamics over the last millennium. Climatic Change, 2008, 88(2): 131~156, doi: 10.1007/s10584~007~9329~1.
- [30] Jones P D, Mann M E. Climate over past millennia. Reviews of Geophysics, 2004, 42: RG2002, doi: 10.1029/2003RG000143.

- [31] Jones P D, Briffa K R, Osborn T J, *et al.* High-resolution palaeoclimatology of the last millennium: A review of current status and future prospects. *The Holocene*, 2009, 19: 3~49, doi: 10.1177/0959683608098952.
- [32] D'Arrigo R, Wilson R, Li J B. Increased Eurasian-tropical temperature amplitude difference in recent centuries: Implications for the Asian monsoon. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33: L22706, doi: 10.1029/2006GL027507.
- [33] Holmes J A, Zhang J W, Chen F H, *et al.* Paleoclimatic implications of an 850-year oxygen-isotope record from the northern Tibetan Plateau. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34: L23403, doi: 10.1029/2007GL032228.
- [34] National Research Council. *Surface Temperature Reconstructions for the Last 2000 Years*. Washington, DC: The National Academies Press, 2006. 141.
- [35] Ge Q S, Zheng J Y, Tian Y Y, *et al.* Coherence of climatic reconstruction from historical documents in China by different studies. *International Journal of Climatology*, 2007, 28(8): 1007~1024.
- [36] Ge Q S, Zheng J Y, Hao Z X, *et al.* Temperature variation through 2000 years in China: An uncertainty analysis of reconstruction and regional difference. *Geophysical Research Letters*, 2010, 37: L03703, doi: 10.1029/2009GL041281.

An overview of research on climate change in China during the past 2000 years

ZHENG Jing-yun, SHAO Xue-mei, HAO Zhi-xin, GE Quan-sheng

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: In this paper we summarize the major progress made by the scientists at the Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences on the study of climate change in China during the past 2000 years and provide insight to future research activities. Faced with hot scientific issue in the field from international projects, much research has been performed at the Institute in the past decade, and many new and significant results are produced in the areas of collection and compilation of various proxy data, construction of an extensive database of climate change in China, reconstruction of temperature and precipitation series, and analyses of the spatial and temporal characteristics of climate change for the past 2000 years. In the future, in addition to reconstructions of climate change based on high-resolution proxies, such as historical documents and tree-ring data, we need to increase the density and spatial coverage of the proxy data. Using the approach of historical climate modeling, the forcing mechanisms of climate change can be examined. With the advantage of the accumulated research results at the Institute, we can also investigate the interactions between climate change and human society during historical periods.

Key words: climate change; progress; perspective; the past 2000 years; China