

华中地区历史物候记录与1850-2008年的 气温变化重建

郑景云¹, 刘洋^{1,2}, 葛全胜¹, 郝志新¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院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: 根据历史日记中的华中地区春季植物物候、清代档案中的湖南4地降雪日数记载和区内5个树轮宽度年表, 以及植物物候期、雪日观测记录等代用资料; 以器测的华中整个地区的逐年气温距平为校准序列, 采用逐步回归方法, 结合逐一剔除法验证和方差匹配技术, 重建了1850-2008年华中地区年均气温变化序列。结果表明: ①自1850年以来, 华中地区气温变化以年际至年代尺度波动为主要特征; 但至1990年以后则迅速增暖, 并超出了原有的年代际波动水平; 而1920s中期至1940s中期的温暖尽管也持续了20年, 但其温暖程度显著低于1990s-2000s。其间, 最寒冷年代则分别出现在1860s、1890s及1950s, 最寒冷的年份为1893年。②华中地区1850年以来的气温年代际波动周期为10~20年和准35年, 其中1920s以前主要为12~14年, 但自1940s开始则转为18~20年以及准35年。

关键词: 春季物候; 代用资料; 气温序列重建; 华中; 1850-2008年

DOI: 10.11821/dlxb201505002

1 引言

建立一个延展至20世纪前的中国气温序列, 是确切评估20世纪气候增暖时空差异的基础工作, 对揭示气候年代际变化特征、辨识中国在20世纪40年代前后是否存在一个与20世纪后期相似的温暖时段等问题具有重要意义。在中国, 张先恭等^[1]、唐国利等^[2]、林学椿等^[3]先后利用中国1950年之前的残缺气温观测记录(或气温等级)及1951年以来的观测资料建立了中国气温序列。同时为克服因缺乏统一观测规范(如使用多种观测时间等)而致的非均一性问题, 唐国利等还改进了平均气温计算方法, 先后两度新建了中国气温序列^[4-5]。

但因中国1950年之前的气温观测站空间覆盖度有限、记录残缺不全; 除上海、香港等少数站外, 几乎没有站有完整的序列。因此利用高分辨代用资料重建过去百年气候序列, 成为补充器测资料不足的一个重要途径。为此, 王绍武等^[6]根据气候区划和气温变化一致性, 将全国分成东北、华北、华东、华南、台湾、华中、西南、西北、新疆、西藏等10个区(图1); 然后采用1911-1950年的气温等级、1951年以后的气温观测数据以及

收稿日期: 2014-12-29; 修订日期: 2015-02-24

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项项目(XDA05090104); 科技基础性工作专项项目(2011FY120300); 国家自然科学基金重点项目(41430528) [Foundation: The "Strategic Priority Research Program" of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA05090104; Basic Research Project of the Ministry of Science and Technology, No.2011FY120300; Key Program of National Natural Science Foundation of China, No.41430528]

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

通讯作者: 郝志新(1975-), 女, 内蒙赤峰人, 副研究员, 从事气候变化研究。E-mail: haozx@igsrr.ac.cn

部分区域中心站1910年之前的气温观测数据和敦德、古里雅冰芯的 $\delta^{18}\text{O}$ 、树轮及历史文献等代用证据,重建了1880-1996年的各区年平均气温序列,并以每个区的面积为权重通过加权平均得到代表全国的气温序列。该序列显示:1880-1996年间全国的增温速率为 $0.44\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{a}$;且在1920-1950年间存在一个与20世纪末温暖程度几乎相当的暖期。这一百年气温序列问世后被广泛引用,成为研究过去百年中国温度变化特征的主要资料之一^[7]。然而,该序列尚有3个方面的不确定性:一是冰芯的 $\delta^{18}\text{O}$ 、树轮及历史文献等代用证据均不能完全反映一个区的气温变化,即

与区域平均气温变化的相关性未达到95%的信度。二是在利用代用资料估算温度变化方法上也存在一定的局限。三是没有剔除城市扩展产生的热岛效应以及其他可能出现的观测误差。为解决这些问题,中国科学院战略先导专项“过去百年气候增暖及成因”项目将中国过去150年温度代用序列分区重建列为一个研究内容,以期利用树轮和物候等代用资料新建上述各区的逐年气温变化序列、并分析源于代用资料及重建方法的不确定性。

华中地区现存多部历史日记,其中含有许多观赏性植物的物候期记载^[8],同时从清代雨雪分寸中也可摘录出与冬季温度变化密切相关的降雪日数记录^[9]。这里还已发表了多条指示温度变化的树轮序列^[10-14],是一个指示温度变化代用资料类型丰富的区域。此外,一些研究结果^[6]也显示:这里在1920-1950年前后显著温暖。因此,这一地区是开展上述问题研究的理想案例区。

用于华中地区气温重建的代用资料包括植物物候期、冬季降雪日数和树轮序列(图1)。其中冬季降雪日数来源于清代雨雪分寸记载及现代气象观测记录,有长沙、沅州(州治为今芷江市)、永州(府治为今永州市零陵区)、常德4地。树轮有区内5个地点(位于 $25^{\circ}\sim 29^{\circ}\text{N}$, $111^{\circ}\sim 115^{\circ}\text{E}$ 间)的马尾松(*Pinus massoniana*)轮宽合成年表^[10]、大别山地区海拔1500 m黄山松(*Pinus hwangshanensis*)轮宽年表^[11]、大别山主峰白马尖(海拔1700 m)黄山松轮宽年表^[12]、湖北麻城马尾松轮宽年表^[13]和湖南炎陵资源冷杉(*Abies ziyuanensis*)轮宽年表^[14]。因降雪日数与轮宽年表均已发表,故下文主要对物候期记录予以说明。

2 历史日记中的物候记录及其与观测记录的校核衔接

2.1 历史日记中的物候记录

本文收集的历史日记有《杨恩寿日记》(又名《坦园日记》)、《郭嵩焘日记》、《范赞臣日记》、《湘绮楼日记》、《廉让闲居日记》和《南归日记》,作者均为晚清文人或官员。历史日记中的物候期记载虽不是定点、定种、定株和按照统一标准观测的记录,但因其

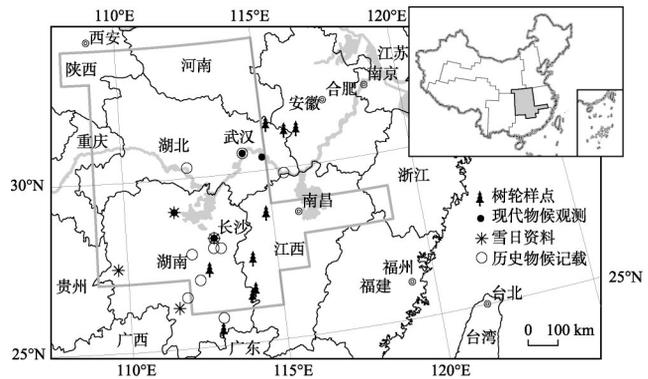


图1 华中地区代用资料的地理位置分布
右上为王绍武等^[6]根据气候区划和气温变化一致性的分区结果,其中灰色区域(即图中的灰色多边形框区域)为华中地区
Fig.1 Locations of proxy data used for annual temperature reconstruction in Central China. Top right: sub-regions divided from the climate regionalization and the coherences of temperature change (cited from Wang et al. ^[6]), in which Central China is illustrated in gray area, i.e. the gray polygon in the Plate.

所记录的物种多为当地典型的观赏性物种，且多为作者在一些固定地点（如郊游景区、私家园林等）踏青或赏花等活动的记录，且多数记载都有物候现象（如“桃花始开”、“桃新半放”、“梨花先雪”等）的详细描述，因而通过仔细辨别分析，一般均可从中获取

表1 华中地区1862-1916年的物候记录及其来源

Tab.1 Phenodate records derived from historical dairies in Central China during 1862-1916

年份	地点	物种及物候期	日期	资料来源
1862	湖南郴州	梨树末花	4月17日	《坦园日记》
1864	湖南观音滩	毛桃盛花后期	3月25日	《坦园日记》
1868	湖南长沙	垂柳展叶后期	4月1日	《坦园日记》
1874	湖南谷水	毛桃盛花后期	4月7日	《郭嵩焘日记》
1878	湖北武汉	海棠始花	3月23日	《范赞臣日记》
	湖北武汉	海棠盛花	3月25日	《范赞臣日记》
	湖北武汉	牡丹末花	4月14日	《范赞臣日记》
1882	湖南长沙	牡丹盛花	4月4日	《郭嵩焘日记》
1883	湖北武汉	梅树盛花	3月3日	《范赞臣日记》
1884	湖南长沙	牡丹盛花	4月1日	《郭嵩焘日记》
1888	湖北武汉	牡丹始花	4月18日	《范赞臣日记》
	湖南长沙	毛桃盛花、海棠始花	3月22日	《湘绮楼日记》
1889	湖北武汉	牡丹始盛花	4月24日	《范赞臣日记》
1890	湖南长沙	牡丹始花	4月1日	《湘绮楼日记》
1891	株洲昭陵	毛桃盛花、李盛花后期	3月28日	《湘绮楼日记》
1892	湖南衡阳	毛桃始花	3月19日	《湘绮楼日记》
1893	湖南衡阳	毛桃始花	3月24日	《湘绮楼日记》
1894	湖北荆州	牡丹盛花	4月13日	《廉让闲居日记》
	湖南长沙	海棠盛花后期	3月24日	《湘绮楼日记》
1895	湖北荆州	牡丹盛花	4月18日	《廉让闲居日记》
	湖南湘潭	毛桃盛花	3月21日	《湘绮楼日记》
1896	湖南长沙	毛桃芽膨大	2月16日	《湘绮楼日记》
	湖南长沙	樱桃盛花	3月13日	《湘绮楼日记》
1897	湖北武穴	垂柳开始展叶后期	3月19日	《南归日记》
1898	湖北荆州	牡丹盛花	4月9日	《廉让闲居日记》
	湖南湘潭	毛桃盛花、李盛花后期	3月30日	《湘绮楼日记》
1899	湖南衡阳	毛桃盛花、杏盛花后期	3月15日	《湘绮楼日记》
1900	湖南长沙	牡丹盛花	4月14日	《湘绮楼日记》
1901	湖南湘潭	李树开花末期	3月22日	《湘绮楼日记》
1902	湖南湘潭	紫荆盛花	3月13日	《湘绮楼日记》
1905	湖南湘潭	牡丹始花	4月20日	《湘绮楼日记》
1906	湖南湘潭	李盛花	3月13日	《湘绮楼日记》
1907	湖南湘潭	牡丹始花	4月11日	《湘绮楼日记》
1908	湖南湘潭	毛桃盛花后期	3月24日	《湘绮楼日记》
1909	湖南湘潭	毛桃盛花	4月3日	《湘绮楼日记》
1910	湖南湘潭	牡丹盛花后期	4月16日	《湘绮楼日记》
1911	湖南湘潭	毛桃盛花后期	3月28日	《湘绮楼日记》
1912	湖南湘潭	毛桃盛花	3月23日	《湘绮楼日记》
1913	湖南湘潭	毛桃盛花后期	3月25日	《湘绮楼日记》
1914	湖南湘潭	杏盛花后期	3月9日	《湘绮楼日记》
1915	湖南湘潭	毛桃始花	3月21日	《湘绮楼日记》
1916	湖南湘潭	毛桃盛花	4月2日	《湘绮楼日记》

准确的物种和物候期信息。我们曾从多部历史日记中提取、辨别、整编了长三角各地观赏性植物的物候期^[15];这里我们按同样方法与标准,从上述6部历史日记中提取、辨别华中各地观赏性植物的物候期,最终得到记录42条(表1);物种有毛桃(*Prunus persica*)、李(*Prunus salicina*)、杏(*Prunus armeniaca*)、垂柳(*Salix babylonica*)、紫荆(*Cercis chinensis*)、垂丝海棠(*Malus halliana*)、鸭梨(*Pyrus bretschneideri*)、樱桃(*Prunus serrulata*)、牡丹(*Paeonia suffruticosa*)、梅(*Prunus mume*)等;地点包括武汉、荆州、长沙、衡阳、郴州等。

2.2 物候观测记录

中国物候观测网(以下简称“观测网”)在华中地区有湖北的武汉、鄂州、宜昌、襄阳和湖南的长沙、常德、衡阳等物候观测点,但观测时断时续,仅武汉、长沙和常德的观测年份相对较长。其中武汉的观测年份为1963-1967年(地点在武汉植物园)、1980-1996年和2003年以后(地点均在华中农业大学);长沙为1963-1965年、1973-1974年、1983-1991年和2003年以后;常德为1963-1967年和1973-1991年。在武汉还有1份由武汉大学肖翊华等自1947年起在校园内观测的日本樱花(*Prunus yedoensis*)花期资料^[16]。这一资料虽从未间断过,但据《武大樱花史略》^①记录,校园内曾于1973年先后2次进行了樱花移栽和树苗补种(补种树苗1976年开始开花),因而造成该序列在1973年前、1975后两段的变幅存在显著差异。将该资料前(1947-1973年)、后(1976-2008年)2段始花期序列同观测网中武汉站有樱花花期观测年份(1982-1996年)的资料、以及其他观赏性植物(如毛桃、海棠、紫荆等物种)的花期序列对比发现:该序列1976-2008年的变幅与观测网观测到的观赏性植物花期变幅基本相当,而前一段的变幅(包括极差和方差)则显著偏小。为此,这里将其作为2个序列对待,采用方差匹配(Variance Matching)技术,将该序列1947-1973年的变幅校准为与1976年以后的变幅大小一致;并参考物候观测网的常德记录对1974、1975年的数据进行插补,从而形成前后均一序列(以下简称“武大樱花序列”)。而经校准后的武大樱花序列与华中地区年平均气温的相关系数达-0.53,显著性水平超过0.001。

2.3 历史记录与观测记录的衔接

本文参照文献^[15]的思路与方法,把历史物候记录与现代观测物候记录衔接在一起。即以武大樱花序列为基准,利用物候同步性原理,推算各个物种的古今物候期差异。现以历史日记最常见的毛桃始花为例予以说明:以武大樱花序列1951-2000年间的均值3月19日为基准,因观测网仅1963-1967年有武汉的毛桃始花记录(平均日期为3月17日);而相应年份(即1963-1967年)武大樱花始花平均日期为3月22日(较基准日期3月19日迟3日),因而根据物候同步性原理可推算出1951-2000年武汉毛桃始花的均值应为3月14日。然后将历史日记中武汉毛桃始花日期与3月14日相比,即可计算出历史物候期偏离基准值的日数。而当历史记录不在武汉或武汉没有该物候期的观测记录时,则参照自然历中该地点同种物候期与武汉的差异^[17]或相应物候期的等值线走向特征^[18-19],采用空间插值方法计算相应地点或相应物候期的基准值。据此将华中地区的历史物候记录与观测记录衔接成均一的华中地区春季物候期变化序列。

3 过去150年华中年气温序列的重建及结果分析

本文利用上述得到的华中地区春季物候期历史变化记录以及湖南(4个地点的平均

① 吴晓(武汉大学档案馆),《武大樱花史略》. 见 <http://www.douban.com/group/topic/28592018/>

值) 逐年降雪日数^[9]和5个树轮年表^[10-14]等共7条代用序列, 以仪器测的1951-2007年华中整个地区的逐年气温距平为校准序列, 采用逐步回归分析方法重建华中地区的年平均气温序列。其中用于校准的1951-2007年华中整个地区的逐年气温距平序列根据国家气候中心发布的“中国地面气温月值 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 格点数据集”计算而得。具体算法是先对华中地区所有格点的逐月气温距平进行平均以求得区域逐月气温距平, 然后再按年对区域逐月气温距平进行平均求得区域逐年气温距平值; 故这一序列代表整个地区。

因这一地区的树轮宽度变化不但受当年温度条件限制, 也受上年温度变化显著影响; 所以在利用逐步回归进行代用指标选择时, 既考虑了当年轮宽变化, 也考虑次年轮宽变化。由于春季物候期和冬季降雪日数在历史时期存在部分缺值, 且部分树轮年表并未覆盖至1850年(表2); 因而为最大限度地利用代用资料信息进行气温重建, 在逐步回归时, 若该年具有春季物候或雪日或二者均有资料, 则先将春季物候与雪日或春季物候或雪日作为回归模型中固有的变量, 然后再进行逐步回归, 遴选树轮序列, 以获得预测方差解释量最高的校准方程。而在物候和雪日均缺值的年份, 则不设固有变量, 直接进行逐步回归建立校准方程。回归分析的具体结果见表2, 其中所有校准方程的有效性均采用逐一剔除法(留一法)验证。从中可见, 在所有代用资料齐全时, 校准方程的预测方差解释量最大(达66%), 重建效果最好; 但有资料缺失年份的校准方程预测方差解释

表2 重建华中年气温序列的回归方程及其方差解释量

Tab. 2 The regression and its explained variance for reconstruction on annual temperature in Central China

回归方程	所用代用资料类型	用该方程重建的年数与具体年	R_{adj}^2	R_p^2
$Y = -0.055 - 0.046X_1 - 0.086X_2 + 0.122X_3 + 0.106X_4 - 0.077X_5(t+1) + 0.148X_6(t+1) - 0.106X_6$	物候、雪日、树轮	66年: 1895-1910年除1903、1904、1907年外, 1952-2006年除1997、1998年外	0.72	0.66
$Y = -0.036 - 0.097X_1 + 0.134X_3 + 0.071X_4 + 0.146X_5(t+1) - 0.095X_6$	物候、树轮	16年: 1907年, 1911-1916年, 1947-1951年, 1997-1998年, 2007-2008年	0.67	0.62
$Y = -0.055 - 0.108X_2 + 0.136X_3 + 0.149X_4 - 0.108X_5(t+1) + 0.222X_6(t+1) - 0.102X_6 - 0.091X_6$	雪日、树轮	2年: 1903、1904年	0.70	0.63
$Y = -0.033 + 0.160X_3 + 0.117X_4 - 0.089X_5(t+1) + 0.208X_6(t+1) - 0.098X_6$	树轮	30年: 1917-1946年	0.65	0.61
$Y = -0.049 - 0.033X_1 - 0.100X_2 + 0.143X_3 + 0.069X_4 + 0.146X_5(t+1)$	物候、雪日、树轮	8年: 1883年, 1888-1894年	0.65	0.60
$Y = -0.036 - 0.092X_1 + 0.133X_3 + 0.073X_4 + 0.164X_5(t+1) + 0.060X_6(t+1)$	物候、树轮	1年: 1884年	0.65	0.59
$Y = -0.043 - 0.110X_2 + 0.138X_3 + 0.073X_4 + 0.142X_5(t+1)$	雪日、树轮	3年: 1885-1887年	0.65	0.59
$Y = -0.043 - 0.037X_1 - 0.112X_2 + 0.174X_3 + 0.174X_5(t+1)$	物候、雪日、树轮	4年: 1862、1868、1874、1878年	0.63	0.59
$Y = -0.029 - 0.093X_1 + 0.162X_3 + 0.190X_5(t+1) + 0.060X_6(t+1)$	物候、树轮	2年: 1864、1882年	0.63	0.58
$Y = -0.036 - 0.124X_2 + 0.170X_3 + 0.171X_5(t+1)$	雪日、树轮	24年: 1850-1881年除1860、1862、1864、1868、1871、1874、1876、1878年外	0.63	0.59
$Y = -0.021 + 0.181X_3 + 0.207X_5(t+1) + 0.062X_6$	树轮	3年: 1860、1871、1876年	0.60	0.56

注: Y -华中年均气温; X_1 -春季物候(1947年前有缺值, 其中有值年见表1), X_2 -湖南雪日(缺值年: 1860、1864、1871、1876、1882、1884、1907、1911-1951、1997、1998、2007、2008年), X_3 -马尾松合成年表, X_4 -大别山黄山松年表(缺值年: 1850-1882年), X_5 -白马尖黄山松年表, X_6 -麻城马尾松年表(缺值年: 1850-1894年), X_7 -炎陵资源冷杉年表; 表中 $(t+1)$ 表示第2年; R_{adj}^2 : 调整自由度后的方差解释量; R_p^2 : 重建(预测方程)的方差解释量。

量最低者也达56%。因利用不同类型资料重建气温序列时，其对气温的方差解释量存在一定差异，故最后根据各个回归方程所重建的校准时段中共有年份的气温序列方差，采用方差匹配方法，将利用不同类型资料重建的逐年气温连接在一起，以形成方差均一的华中地区1850-2008年逐年气温序列（图2）。

图2显示：自1850年以来，华中地区的气温变化以年际和年代际波动为主要特征，直至1990年以后迅速升高。其中最温暖的年代为1990s-2000s，1870s也有一个持续近10年的短暂暖峰；而王绍武等过去发现的1920s中期至1940s中期温暖时段，尽管也持续了20年，但其温暖程度则显著低于1990s-2000s。此外，图2还显示：华中地区过去150年中最寒冷的年代分别出现在1860s、1890s及1950s，且1970s和1980s的气温也相对较低；其中最寒冷的年份出现在1893年。已有一些研究显示^[20]，这一年也是中国许多其他地区过去150年来的最寒冷年份。据各地方志及清代档案记载，1893年1月份的一系列强寒潮使中国大部分地区出现了罕见的大范围雨雪、冰冻天气，造成苏北沿海出现严重海冰、太湖冰厚尺许，黄浦江、吴淞江等很少出现结冰的江河也在该年出现结冰，并经旬不解；甚至钱塘江也冻如平地。特别是钱塘江结冰在中国过去2000年历史气候记录只出现过3次（另两次分别是1152年和1690年的冬季）^[21]。另据《张謇日记》记载，由于该年冬、春季持续寒冷，苏州的梅花直至3月21日才盛开，比1977-1996年梅树盛花平均日期迟27天^[15]。王闿运也在《湘绮楼日记》记：湖南衡阳该年二月初七（1893年3月24日）桃花始开，于节候为最迟。并因此议论：“《名堂月令》以为桃花在雨水节（2月18-20日）时，汉人以为在惊蛰（3月5-7日）时，以今证之，不能也。春暖则早，岂汉时惊蛰已暖耶？去年春分（3月20日）燕已至，今将清明（4月4日）犹似冬时……”。可见该年春季节候之迟、气候之冷，已超出了作者以往所见。

小波分析（图3a）表明：华中地区1850年以来的气温年代际波动周期为10~20年和准35年，其中1920s以前主要为12~14年，但1940s以后则转为18~20年以及准35年。

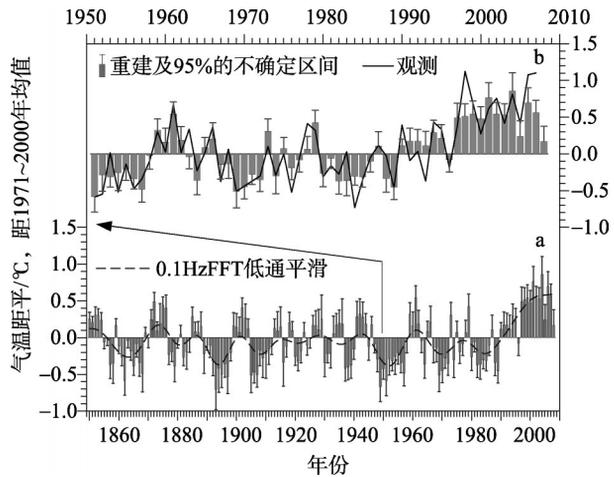


图2 1850-2008年华中地区年均气温重建序列及其95%置信区间(a)和重建与观测的对比(b)
Fig. 2 Annual temperature reconstruction (a) and its 95% confidence interval in Central China during 1850-2008, and a comparison between reconstruction and observation (b)

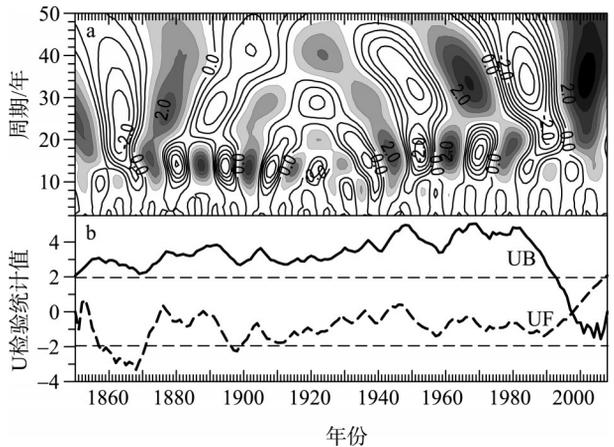


图3 1850-2008年华中地区气温变化的小波分析(a)及Mann-Kendall突变检验分析(b)
Fig. 3 Results of wavelet analysis (a) and Mann-Kendall test (b) for annual temperature series in Central China during 1850-2008

小波分析（图3a）表明：华中地区1850年以来的气温年代际波动周期为10~20年和准35年，其中1920s以前主要为12~14年，但1940s以后则转为18~20年以及准35年。

Mann-Kendall 突变检验^[22]则显示：华中气温曾在 1860s 前后出现显著下降，但至 1870s 起则一直持续较平稳的波动，直至 1990s 初则又出现了突然上升趋势；其中突变点出现在 1997 年，这使得其后的增温显著超出了原有的年代际波动水平。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文收集整理了历史日记华中地区的春季物候记录，并结合中国物候网的观测数据和武汉大学的樱花花期记录，以及湖南 4 地的逐年降雪日数和 5 个树轮宽度年表等代用资料；以器测的 1951-2007 年华中整个地区的逐年气温距平为校准序列，采用逐步回归方法，结合逐一剔除法验证和方差匹配技术，重建了 1850-2008 年华中地区年均气温序列。结果表明：自 1850 年以来，华中地区的气温变化以年际至年代际波动为主要特征，其中 1920s 以前主周期为 12~14 年，1940s 以后则转为 18~20 年及准 35 年。1990 年以后华中地区气温迅速升高，使得其后的增温显著超出了原有的年代际波动水平。与 1990s-2000s 相比，华中地区 1920s 中期至 1940s 中期的温暖时段尽管也持续了 20 年，但其温暖程度却显著低于 1990s-2000s。

4.2 讨论

本文重建的气温序列尽管使用了植物物候期、雪日和树轮等 3 种类型的代用资料；而且与王绍武等^[6]早期的重建结果相比，本文重建结果的方差解释量（其中调整自由度后的方差解释量最低者达 60%，预测的方差解释量最低者也达 56%）已得到显著提高，且误差范围已显著减小（其中 93% 的年份不确定区间在 0.5℃ 之内），但这一结果仍存在一定程度的不确定性。其中一是由于植物物候期、雪日等历史记录存在漏记现象，因而导致在重建气温序列时，只有 78 年同时利用了植物物候、雪日和树轮 3 类资料；而其他年份则仅利用物候及树轮（计 19 年）或雪日及树轮（计 29 年）两类资料或树轮（计 33 年）资料重建，故这些年份重建结果对气温变化的方差解释量较同时利用 3 类资料重建的年份要略低一些，而且这些年份重建结果的不确定区间也略大一些。特别是在仅利用树轮资料重建时，因树轮资料受剔除生长趋势的影响会导致低频趋势变化的信息损失，从而还可能会导致重建结果低估过去 150 年的总体增暖趋势。二是由于历史文献记录的植物物候期、雪日等资料，主要反映的是冬、春季温度变化，树轮资料虽大多可以较好反映这一地区的春、夏季温度变化，但也无法反映秋季温度变化，因而本文的重建结果在一些以秋季气温显著异常为主的年份中，尚存在较大误差。如 1998 年的气温重建值就显著低于观测值，其主要原因是当年秋季气温显著偏高，却均无法在植物春季物候期、雪日及树轮中得以反映而致。好在这类年份（约占 7%）并不多，因此也不会影响本序列所揭示这一地区 1850 年的温度变化总体特征。

参考文献(References)

- [1] Zhang Xiangong, Li Xiaoquan. Some characteristics of temperature variation in China in the present century. *Acta Meteorologica Sinica*, 1982, 40(2): 198-208. [张先恭, 李小泉. 本世纪我国气温变化的某些特征. *气象学报*, 1982, 40(2): 198-208.]
- [2] Tang Guoli, Lin Xuechun. Average air temperature series and its variations in China. *Meteorological Monthly*, 1992, 18(7): 3-6. [唐国利, 林学椿. 1921-1990 年我国气温序列及变化趋势. *气象*, 1992, 18(7): 3-6.]
- [3] Lin Xuechun, Yu Shuqiu, Tang Guoli. Series of average air temperature over China for the last 100-year period. *Scientific Atmospherica Sinica*, 1995, 19(5): 525-534. [林学椿, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列. *大气科学*, 1995, 19(5):

- 525-534.]
- [4] Tang Guoli, Ren Guoyu. Reanalysis of surface air temperature change of the last 100 years over China. *Climatic and Environmental Research*, 2005, 10(4): 791-798. [唐国利, 任国玉. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 791-798.]
- [5] Tang Guoli. Studies on the temperature changes in instrumental period in China [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2006. [唐国利. 仪器观测时期中国温度变化研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.]
- [6] Wang Shaowu, Ye Jinlin, Gong Daoyi, et al. Construction of mean annual temperature series for the last one hundred years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1998, 9(4): 9-18. [王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢, 等. 近百年中国年气温序列的建立. 应用气象学报, 1998, 9(4): 9-18.]
- [7] Tang Guoli, Ding Yihui, Wang Shaowu, et al. Comparative analysis of the time series of surface air temperature over China for the last 100 years. *Advances in Climate Change Research*, 2009, 5(2): 71-78. [唐国利, 丁一汇, 王绍武, 等. 中国近百年温度曲线的对比分析. 气候变化研究进展, 2009, 5(2): 71-78.]
- [8] Fang Xiuqi, Xiao Lingbo, Ge Quansheng, et al. Changes of plants phenophases and temperature in spring during 1888-1916 around Changsha and Hengyang in Hunan province. *Quaternary Sciences*, 2005, 25(1): 74-79. [方修琦, 萧凌波, 葛全胜, 等. 湖南长沙、衡阳地区1888-1916年的春季植物物候与气候变化. 第四纪研究, 2005, 25(1): 74-79.]
- [9] Hao Zhixin, Zheng Jingyun, Ge Quansheng, et al. Winter temperature variations over the middle and lower reaches of the Yangtze River since 1736 AD. *Climate of the Past*, 2012, 8(3): 1023-1030.
- [10] Duan Jianping, Zhang Qibin, Lv Lixin, et al. Regional-scale winter-spring temperature variability and chilling damage dynamics over the past two centuries in southeastern China. *Climate Dynamics*, 2012, 39(3): 919-928.
- [11] Zheng Yonghong, Zhang Yong, Shao Xuemei, et al. Climate significance of tree ring width of Huangshan pine and Chinese pine in the Dabie Mountains. *Progress in Geography*, 2012, 31(1): 72-77. [郑永宏, 张永, 邵雪梅, 等. 大别山区黄山松和油松树轮宽度的气候意义. 地理科学进展, 2012, 31(1): 72-77.]
- [12] Shi Jiangfeng, Cook Edward R., Li Jinbao, et al. Unprecedented January-July warming recorded in a 178-year tree-ring width chronology in the Dabie Mountains, southeastern China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2013, 381/382: 92-97.
- [13] Cai Qiufang, Liuyu. The June-September maximum mean temperature reconstruction from Masson pine (*Pinus massoniana* Lamb.) tree rings in Macheng, southeast China since 1879 AD. *Chinese Science Bulletin*, 2013, 58(S1): 169-177. [蔡秋芳, 刘禹. 湖北麻城马尾松树轮宽度对气候的响应及1879年以来6-9月平均最高气温重建. 科学通报, 2013, 58(S1): 169-177.]
- [14] Cao Shoujin, Cao Fuxiang, Xiang Wenhua. Tree-ring-based reconstruction of temperature variations from May to July since 1840 in Yanling county of Hunan province, China. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2012, 32(4): 10-14. [曹受金, 曹福祥, 项文化. 利用树木年轮研究湖南炎陵气温变化情况: 1840年以来5-7月份气温变化情况重建. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(4): 10-14.]
- [15] Zheng Jingyun, Ge Quansheng, Hao Zhixin, et al. Changes of spring phenodate in Yangtze River Delta region in the past 150 years. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(1): 45-52. [郑景云, 葛全胜, 郝志新, 等. 过去150年长三角地区的春季物候变化. 地理学报, 2012, 67(1): 45-52.]
- [16] Chen Zhenghong, Xiao Mei, Chen Xuan. Change in flowering dates of Japanese cherry blossoms (*P. Yedoensis* Mats) in Wuhan University campus and its relationship with variability of winter temperature. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5209-5217. [陈正洪, 肖玫, 陈璇. 樱花花期变化特征及其与冬季气温变化的关系. 生态学报, 2008, 28(11): 5209-5217.]
- [17] Wan Minwei. *Nature Almanac Selections in China*. Beijing: Science Press, 1986. [宛敏谓. 中国自然历选编. 北京: 科学出版社, 1986.]
- [18] Gong Gaofa. *Historical Climate Change Research Methods*. Beijing: Science Press, 1983. [龚高法. 历史时期气候变化的研究方法. 北京: 科学出版社, 1983.]
- [19] Zhang Fuchun, Wang Dehui, Qiu Baojian. *Agro-phenological Atlas of China*. Beijing: Science Press, 1987. [张福春, 王德辉, 邱宝剑. 中国农业物候图集. 北京: 科学出版社, 1987.]
- [20] Hao Zhixin, Zheng Jingyun, Ge Quansheng, et al. Variation of extreme cold winter events in Southern China during the past 400 years. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(11): 1479-1485. [郝志新, 郑景云, 葛全胜, 等. 中国南方过去400年的极端冷冬变化. 地理学报, 2011, 66(11): 1479-1485.]
- [21] Gong Gaofa, Zhang Peiyuan, Zhang Jinrong. Chilly winter of 1892-1893 and its effect. *Collected Papers of Geography*, 1987, 18: 129-138. [龚高法, 张丕远, 张瑾瑜. 1892-1893年的寒冬及其影响. 地理集刊, 1987, 18: 129-138.]

- [22] Wei Fengying. Technology of Statistical Diagnosis and Prediction of Modern Climate. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press, 2007. [魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 2版. 北京: 气象出版社, 2007.]

Spring phenodate records derived from historical documents and reconstruction on temperature change in Central China during 1850-2008

ZHENG Jingyun¹, LIU Yang^{1,2}, GE Quansheng¹, HAO Zhixin¹

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and
Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: To reconstruct the series of annual temperature in Central China from 1850 to 2008, we have applied the following data, including the phenodate data series of plants in spring derived from historical records, the data related to snowfall days in 4 sites of Hunan province derived from Yu-Xue-Fen-Cun in the archives of the Qing Dynasty, data from five tree-ring width chronologies. In the reconstruction, the instrumental observation data of annual temperature anomaly for the whole region was adopted as the calibrated series, and the stepwise regression was used for calibration with leave-one-out validation, together with variance matching. The results show that: (1) In Central China, temperature fluctuated at inter-annual and decadal scales since 1850, but increased rapidly after 1990, which exceeded the inter-annual and decadal variability before. Although the warm interval lasted 20 years from the mid-1920s to the mid-1940s, its warmth could not match with that of the 1990s-2000s. The coldest decades are the 1860s, 1890s and 1950s, while 1893 witnessed the lowest temperature. (2) There were decadal cycles of 10-20 years and 35 years in temperature variation in Central China, which contained a cycle of 12-14 years before the 1920s and cycles of 18-20 years and 35-years after the 1940s.

Keywords: phenodate in spring; proxy data; reconstruction on temperature change; Central China; 1850-2008