

# 过去 2 000 a 中国东部冬半年 温度变化序列重建及初步分析

葛全胜<sup>1</sup>, 郑景云<sup>1</sup>, 满志敏<sup>2</sup>, 方修琦<sup>3,1</sup>, 张丕远<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 复旦大学 中国历史地理研究所, 上海 200433;  
3. 北京师范大学 资源与环境科学系, 北京 100875)

**摘要:**首先简要介绍了中国历史文献中的冷暖记载及其气候信息提取方法,并利用现代仪器观测资料对中国东部地区(105°E 以东, 25°~40°N)气候变化一致性、站点的空间代表性及贡献率进行了分析。在此基础上,集成利用物候学与统计学方法,根据近年收集、整理的历史文献冷暖记载及其过去有关研究结果,对中国东部地区过去 2 000 a 冬半年的温度状况进行了定量推断,建立了中国东部地区过去 2 000 a 分辨率为 10~30 a 的冬半年温度距平变化序列,分析了中国东部过去 2 000 a 的冷暖变化特征,并将其与自然证据进行了对比。主要结论是:自公元初起,中国东部的冬半年温度在波动中下降,至 490's 前后下降到最低点,降温率达 0.17°C/100 a,最冷时期的 30 年平均值较 1951—1980 年均值低 1°C。此后气候转暖进入温暖期,在以温暖气候为主的 570's—1310's 中,温度在波动中略呈上升趋势,其间暖峰时期 30 a 平均温度值较 1951—1980 年高 0.3~0.6°C,最高达 0.9°C,暖峰之间冷谷的 30 a 平均温度值较 1951—1980 年低 0.5~0.7°C。1310's 之后气候又迅速转冷,温度再次迅速下降,并保持在一个较低的水平上波动,其间 4 个冷谷的 30 a 温度平均值较 1951—1980 年低 0.6~0.9°C,最低达 1.1°C;冷谷之间的相对暖峰 30 a 平均温度略高于 1951—1980 年。至 19 世纪后期,温度再次迅速回升进入 20 世纪温暖期。在冷暖转换过程中,温度升降多呈现出快速变化特点,其中变化速率最快的 3 个时期是:5 世纪后期至 6 世纪后期(480's—500's 至 570's—590's)的增暖过程,90 a 内升温 1.3°C;13 世纪中、后期至 14 世纪前期(1230's—1250's 至 1320's—1350's)的转冷过程,90 a 内降温 1.4°C;19 世纪中后期至 20 世纪末(1860's—1880's 至 1980's—1990's)的增暖过程,110 a 内升温 1.5°C。

**关键词:**过去 2 000 a; 中国东部; 冬半年温度

**中图分类号:**P467 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-2321(2002)01-0169-13

揭示过去 2 000 a 气候变化史实与规律是国际全球变化研究核心计划 PAGES(Past Global Changes)的最主要内容<sup>[1]</sup>,也是中国在国际全球变化研究中所独具特色的研究领域之一<sup>[2,3]</sup>。自竺可桢首次描绘出中国过去 5 000 a 的气候变化轮廓以后<sup>[4]</sup>,许多研究者分别用各种方法研究了我国的冷暖变化<sup>[5~16]</sup>,为揭示中国历史时期温度波动提供了

重要依据。然而除文献<sup>[4]</sup>外,其它的研究时段大多仅为过去 1 000 a,特别是过去 500 a。本文拟利用最近整理的历史文献记载及其它相关代用资料记载,对过去 2 000 a 中国东部冬半年的温度变化序列进行重建,并分析其变化特征。

## 1 资料

### 1.1 历史文献中冷暖记载的分类及其气候学意义

中国丰富而长时段的历史文献记录是世界上独有的,经过数十年的挖掘整理,中国学者已发掘出大量的历史时期气候变化文献记录,其中相当一部分能够反映冷暖变化<sup>[17]</sup>。这些与气候冷暖变化相关

收稿日期:2001-06-27;修订日期:2001-11-28

基金项目:中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-314);中国科学院地理科学与资源研究所创新前沿领域资助项目(CX-IQG-A00-02)

作者简介:葛全胜(1963—),男,研究员,从事历史气候与全球变化研究。Email:geqs@igsr.cma.ac.cn

的历史文献记载按时间分辨率可分为三种类型。

一是异常冷暖天气事件的寒暖状况、影响以及民间与官方响应等,包括冬寒、冬暖、连续降雪、河湖冻结情况等内容。如:(唐)“光启二年(886年)十一月,淮南阴晦雨雪,至明年二月不解”<sup>①</sup>;(北宋)“大中祥符二年(1009年),京师冬温无冰”<sup>②</sup>;(北宋)“天禧元年(1017年)十二月,京师大雪苦寒,人多冻死,路有僵尸”<sup>③</sup>;(南宋)“绍兴二年(1132年)冬,忽大寒,(太湖)水遂冰,米船不到,山中小民多饿死”<sup>④</sup>等。这些异常冷暖事件的发生频率、持续时间长度、影响强度、影响区域的南界位置等均能指示气候的冷暖状况,时间分辨率可达天至季,而且其中的大部分极端事件还可以反映极端温度状况。

二是动、植物(包括与自然条件密切相关的农作物)和气候环境条件在一些特定年份和某些特定时段的出现与变化的物候记录,如(洛阳)“岁正月,梅正花”<sup>⑤</sup>;(杭州)“仲春十五为花朝节,……包家山桃花,浑如绵障”<sup>⑥</sup>,以及河流封冻的初日与终日、初雪与终雪的日期等。此类记录的分辨率为年,以反映冬半年的温度状况居多。由于大部分自然现象的出现都需要一定的气候条件,因而它往往可以被直接转换为定量的气候要素值。因此,特定年份的物候状况往往可反映该年的温度状况(特别是冬半年的温度状况),特定阶段的物候状况可反映该时段的冬半年温度平均状况,而各个阶段的物候差异也就可反映出冬半年温度的变化。

三是有关动植物分布、耕作制度和某种作物种植界线位置等方面的记录。如:(橘)“西川、唐、邓多有栽种,怀州亦有旧日橙树,北地不见此种”<sup>⑦</sup>;(荔枝)“今泉、福、漳、嘉、蜀、涪、兴化军及二广州郡皆有之”<sup>⑧</sup>。此类现象主要受生长季长短、最低温度等因素限制,一般与其分布地区的平均气候状况相适应,可以定量地反映出数十年平均的温度状况。

从冷暖记载的性质看,第一类主要记录的是人对冷暖天气的感受,可称为感应证据,后两者则主要记录的是自然现象(包括部分农作物)对冷暖变化的响应,属于自然证据。

## 1.2 利用历史时期冷暖记载建立温度变化序列的方法及其对资料的要求

依据上述各种冷暖记载,中国的许多学者分别使用各种方法对中国历史时期的冷暖与温度变化进行了分析,并尝试建立一些分辨率较高的温度或冷暖变化序列。概括起来,中国学者目前所使用的方

法主要有以下几种。

(1)根据不同时期的物候和作物分布界限等差异推断温度变化<sup>[4]</sup>,并通过与现代同类物候或作物分布对比,得到不同阶段温度状况的定量重建结果。但由于作物分布界限变化等反应的是数十年的温度或冷暖变化状况,因此利用这种方法所重建的序列时间分辨率较低。

(2)根据历史记载对冷暖事件描述的差别,对直观的描述进行判定、分等、定级或确定指数,并通过与现代资料的对比,进一步将等级、指数转换为相应的温度距平<sup>[8,9]</sup>。利用这种方法可将所重建的时间分辨率大大提高,但由于分等、定级本身需要有足够的资料,且要求资料对冷、暖两方面的描述基本对称。而在中国过去 2 000 a 中,明朝以前,特别是唐朝以前,所留下来的记载已经极少,因此利用此方法建立的序列大多局限在近 500 a,少数地区可达到近 1 000 a;而且,由于史料通常记异不记常,即大多数记录记载的是因气候变化而造成的灾害性事件,而暖或偏暖对社会的影响要明显小于寒冷,因而造成在历史文献中,对暖或偏暖事件的记载明显较偏冷或冷的事件记载少,从而使得暖期的一些特征较难得到准确揭示。

(3)根据历史时期的各种冷暖记载,直接统计给定时段内冷、暖事件发生的频率,然后根据冷、暖事件频率的高低来指示温度的变化<sup>[5]</sup>;或根据冷、暖事件频率的对比生成冷暖指数序列<sup>[6,7,10]</sup>。此类方法实质上是通过降低时间分辨率的方法实现序列的连续,但同样需要有足够的资料,并且要求资料记载随时间变化相对均匀。因此利用此方法建立的序列长度一般也局限在近 500 a。

(4)根据一些特征天气气候现象(如冬季降雪日数)与温度要素的物理机制联系及统计关系,利用现代气象观测记录建立两者之间的关系方程,然后利用该关系方程将历史时期某些特定的天气气候现象反演为温度记录<sup>[12~14]</sup>。此种方法能定量地复原温度变化,且具有较高的准确性,但要求有完整的历史记录,目前仅少数站点近 200~300 a 来的历史记录能满足该方法对历史文献记录的要求。

①《新唐书·五行志三》;②,③《宋史·五行志》;④庄綽,《鸡肋编·卷中》;⑤北宋,邵伯温,《河南邵氏闻见前录·卷17》;⑥南宋末年,吴自牧,《梦梁录·卷1》;⑦《农桑辑要·卷5》(元朝司农司官颁文件,颁布时间:1273年);⑧北宋,苏颂《图经本草》,转引自《重修政和证类本草·卷23》。

### 1.3 中国冷暖记载的时空分布特点及过去 2 000 a 温度变化序列的重建方法

图 1 给出自公元初至 1500 年每 30 a 中实有冷暖记载年数随时间的变化,从中可以看出,中国所遗留下来并被系统整理的历史冷暖记载随时间分布是极不平衡的。其中唐代以前的记载较少,自唐朝起,冷暖记载较前期明显要多,16 世纪以后则更多。在空间上,则主要集中在东部地区的 105°E 以东,40°N 以南,25°N 以北的区域内(以下简称“中国东部”),特别是黄河中下游与长江中下游地区,且北宋

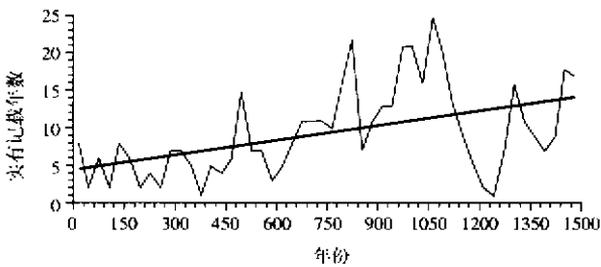


图 1 中国历史冷暖记载随时间的分布(粗线为线性趋势)

Fig. 1 The number of years having cold/warm record at 30 a scale during 1—1500 AD(Bold line is the linear fit)

以前主要集中在西安、洛阳、开封一带,南宋以后的记载以江浙地区居多。在资料类型上,唐朝以前,以物候资料为主,唐朝以后,资料类型也不断增多,至清朝,还有较为详细天气气候现象记录。这种资料数量及类型随时空分布不平衡的特点给利用上述后三种方法建立过去 2 000 a 高分辨率的温度变化序列带来极大的难度,而利用第一种方法建立序列则是可行的,但序列的时间分辨率相对较低。因而较为现实的办法是综合利用上述 4 种办法,即以第一种方法建立时间分辨率相对较低的长序列,同时利用后三种方法判定气候转折点,并将资料较好时段的序列时间分辨率提高,这也是本文将要采用的过去 2 000 a 温度变化序列重建方法。

## 2 方法及其气候学依据

### 2.1 物候和生物分布界线变化与温度变化的关系

物候变化与温度变化的关系是物候学研究的核心内容之一<sup>[18]</sup>。现代生物与物候学研究表明:控制物候的因素包括温度、日照长度、水分条件、土壤等环境因素和遗传因子、植物激素等内部因素,其中温度是决定物候期早晚的主导因素<sup>[19]</sup>。因为植物各个发育阶段的到来一般都需要一定的临界温度强度

和一定程度的积温。在国外,比较系统地探讨物候变化与温度变化始于 19 世纪中后期。1918 年,美国著名学者 A. D. Hopkins 在总结前人研究成果的基础上,根据北美洲的物候实测资料,创立了“生物气候定律”,指出不同地区植物物候的早迟主要受当地气候的影响,而气候又受经、纬度,海陆分布,地形,海拔高度等因素的制约,因而物候与经、纬度及海拔高度存在着明确的关系。而后,欧、美、日等国的一些研究者也纷纷跟进,分别研究了各个地区的物候期推移规律。随着中国物候资料积累的增多,中国学者也于 20 世纪 80 年代探讨了中国物候变化的地理分布与推移规律,并利用中国的实测资料对有关参数进行了计算。由于每个地区或国家的温度变化一般都具有明显的地带性和季节性分布,因此,植物物候随地带变化具有明确的关系也就不难理解了。中国植物物候随纬度分布与季节变化的基本规律如图 2 所示,如在 2 月份,纬度每差 1°,各种物候

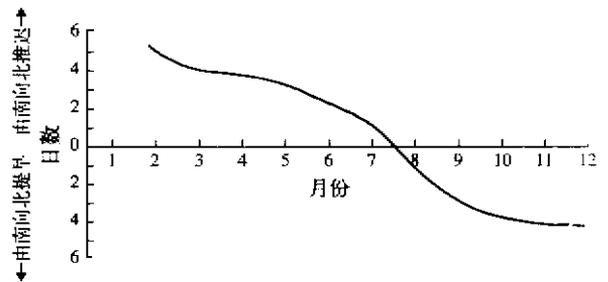


图 2 中国每移动一个纬度物候相差的日数<sup>[20]</sup>

Fig. 2 Phenological date differences in days with latitude changes by degrees<sup>[20]</sup>

期相差 4~5 d,而中国东部的大部分地区 2 月份多年平均气温也有较明显的纬向分布特点,如在 115°E 附近的平原地区,纬度每差 1°,2 月份多年平均气温平均差 0.92℃<sup>[20]</sup>。由于我国年平均气温及 10, 11, 12, 1, 2, 3, 4 月等各月(下简称冬半年)气温都有相似分布特点,因此,我们可以把古今同种物候记载的地区差异(特别纬度移动)和日期差异换算为古今温度差异。

与物候现象一样,生物分布的范围也受温度条件的限制,如柑橘和茶树均属亚热带作物,目前一般分布在亚热带北界以南,限制其向北发展的主导因子是冬季温度。因此历史上这些亚热带作物分布北界的移动,也常被认为是其对相应时段冬季温度变化的响应,因而也被用于推断当时的气候。如历史上柑橘种植界线较现代偏北,可以推断当时气候较

现代偏暖。由于生物界线在一定时期内是相对稳定的,与同期的平均气候状况相适应,因此生物分布界线所反映的气候是数十年平均的气候状态。根据现代生物地理学和农业气候学研究的成果,可以定量地确定各种生物分布北界与限制性温度因子的关系,根据这种关系就可以定量地推测历史时期生物界线变化所反映的温度变化。

在历史气候研究中利用生物分布界线推断气候变化时,一般从两个方面考虑,一是要选择那些分布范围窄、其在我国有一条明显的分布北界的生物,且这些生物的分布北界显著地受温度条件的限制;二是选择那些其分布北界在历史文献中记载较多的生物类型和地区。此外,在选择生物分布界线作为温度变化证据时,还要考虑不同生物类型在反映气候变化上的差别。不同生物的分布界线指示温度变化的程度是不同的,特别是由于人类活动的影响,生物分布的界线与其限制性气候因素的关系可能会出现一定的偏差。自然状态下的生物分布界线与气候的关系最好,其次是用于生产目的的作物。用于观赏目的的生物(如宫廷栽植的柑橘和荔枝)和受到人类抑制的生物(如大象)的分布界线可能与其自然状态下的限制性温度因子有较大偏差,使用时要特别小心<sup>[21]</sup>。动物和植物相比,使用植物分布界线要较使用迁徙性较大的动物分布界线好。

## 2.2 现代资料分析及历史文献资料的空间代表性分析

由于历史冷暖记载在时空分布上的不均匀性,即使是在一个资料最好的地区,也难以获得连续的记录,因此要建立中国东部地区具有固定分辨率的温度变化连续序列,必须对根据不同地区、不同季节、对不同类型等分散记载所重建的结果以适当方法进行转换和校准,使彼此之间可以相互对比。也就是必须首先根据资料记载类型,采取适当的转换关系将某个地区(或站点)在某个时段的冷暖记载转换为该地区(或站点)的温度(或距平)值;然后在分析不同地区 and 不同季节温度变化一致性,计算不同站点、不同季节温度变化对整个地区温度变化贡献率的基础上,将该地区(或站点)在该季节的温度(或距平)值转换成整个区域的温度(或距平)值。为此本文利用现代观测资料对中国东部地区不同站点和不同季节的温度变化一致性及贡献率进行了分析。具体方法是:在中国东部地区选取空间分布上相对均匀的 20 个气象观测站(图 3),以各站 1951 年 1

月—2000 年 5 月的月平均气温为基本资料(资料来源:中国国家气象局长期预报科),对各站点之间温度变化的相关性进行计算分析。计算结果表明:(1)除少数站点的夏季温度变化外,各站的年温度变化

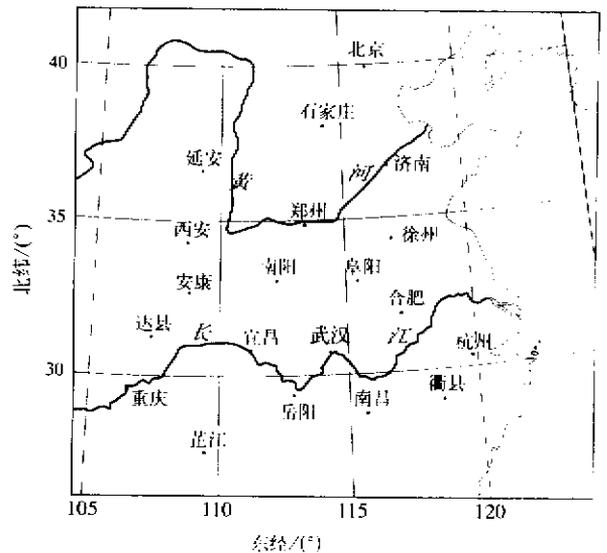


图 3 研究区域及其用于空间相关性分析的 20 个气象观测站分布

Fig. 3 The research domain and the stations for instrumental data analysis

与四季温度变化具有极为显著的正相关;(2)多数站点四季温度,特别是冬、春、秋 3 季的温度具有极为显著的正相关;(3)除少数站点外,所有站点之间在年气温变化具有显著的正相关;(4)除夏季温度外,所有站点之间的冬、春、秋 3 季的气温变化具有明显的正相关,夏季温度的大范围相关性虽较差一些,但较近站点之间的正相关也极为显著。由此可以认为,黄河中下游与长江中下游地区在气温变化,特别是在冬、春、秋 3 季的气温变化上,具有比较明显的一致性,在此区域内各地区的历史记录都可以用来反映整个区域的温度变化,即在重建过去 2 000 a 温度变化过程中,可以用不同记载地点的证据来反映整个研究区域冬半年的冷暖变化,从而解决历史文献冷暖记载的时空分布不均匀性问题。

然而,由于不同站点、不同季节、不同时间分辨率的温度变化对整个区域温度变化的贡献率不同,因而需要对它们对整个区域冬半年温度变化的贡献率进行分析,从而进一步计算出历史文献冷暖记载地点温度变化与整个区域冬半年温度变化的关系。具体方法是:建立整个区域 1951—1999 年冬半年温度距平序列(上述 20 个站点 1951—1999 年冬半年

温度距平算术平均值), 然后分别同步计算各个站点 1951—1999 年春、秋、冬 3 个季节温度序列与整个区域 1951—1999 年冬半年温度序列的相关性, 选取相关性显著的站点、季节建立 2 者之间的回归方程, 并计算其残差。由于本文所采用的部分历史文献冷暖记载在时段上可代表一个年代(10 a), 甚至数十年, 为此, 我们还分别同步对上述序列进行 10 a 与 30 a 的滑动平均处理, 然后采用同样算法, 分别建立 10 a 滑动平均和 30 a 滑动平均序列的转换关系。表 1 给出具体的计算结果。

表 1 中国东部地区部分站点温度序列与整个冬半年温度序列的相关性分析结果

Table 1 Results of correlation analysis between regional winter-half-year temperature departure series and seasonal series of each station in the eastern China

项目	站点	逐年序列			10年滑动平均序列			30年滑动平均序列		
		回归系数	相关系数	残差标准差	回归系数	相关系数	残差标准差	回归系数	相关系数	残差标准差
春季温度	北京	0.26	0.49	0.51	0.35	0.81	0.15	0.43	0.91	0.04
	石家庄	0.33	0.52	0.51	0.77	0.72	0.17	0.85	0.90	0.05
	济南	0.29	0.56	0.49	0.28	0.76	0.16	0.28	0.91	0.04
	徐州	0.35	0.48	0.52	0.42	0.48	0.22	0.74	0.81	0.06
	郑州	0.28	0.38	0.54	0.75	0.59	0.20	1.00	0.56	0.08
	合肥	0.47	0.56	0.49	1.09	0.73	0.17	1.33	0.91	0.04
	武汉	0.47	0.54	0.50	1.19	0.86	0.13	1.17	0.95	0.03
	西安	0.26	0.35	0.55	0.75	0.51	0.20	0.73	0.53	0.09
	延安	0.35	0.49	0.52	0.87	0.70	0.18	0.94	0.87	0.05
秋季温度	北京	0.44	0.60	0.47	0.45	0.83	0.14	0.49	0.94	0.03
	石家庄	0.50	0.65	0.45	0.75	0.88	0.12	0.73	0.94	0.03
	济南	0.34	0.67	0.44	0.26	0.84	0.14	0.27	0.94	0.03
	徐州	0.52	0.64	0.46	1.12	0.78	0.16	1.40	0.92	0.04
	郑州	0.46	0.56	0.49	1.39	0.74	0.17	1.22	0.66	0.07
	合肥	0.51	0.58	0.48	0.97	0.69	0.18	1.66	0.86	0.05
	武汉	0.42	0.58	0.48	0.67	0.79	0.15	0.82	0.74	0.07
	西安	0.52	0.65	0.45	0.87	0.94	0.09	0.87	0.86	0.05
	延安	0.46	0.60	0.47	0.77	0.90	0.11	0.77	0.96	0.03
冬季温度	北京	0.26	0.60	0.47	0.25	0.91	0.10	0.26	0.97	0.02
	石家庄	0.29	0.63	0.46	0.40	0.98	0.05	0.39	0.98	0.02
	济南	0.22	0.62	0.47	0.20	0.90	0.10	0.20	0.96	0.02
	徐州	0.32	0.59	0.48	0.52	0.95	0.07	0.48	0.97	0.03
	郑州	0.32	0.56	0.49	0.58	0.94	0.09	0.66	0.93	0.04
	合肥	0.29	0.51	0.51	0.60	0.92	0.09	0.69	0.96	0.02
	武汉	0.30	0.55	0.50	0.44	0.95	0.08	0.43	0.97	0.02
	西安	0.34	0.58	0.48	0.59	0.95	0.08	0.56	0.97	0.02
	延安	0.25	0.52	0.51	0.40	0.90	0.11	0.40	0.96	0.03

## 2.3 序列建立的过程

过去 2 000 a 中国东部地区冬半年温度变化序列重建分为 4 个时段。

(1) 公元元年 至 15 世纪末(1—1500AD)。主要利用物候现象古今对比的方法建立序列。即先根据

有关史料记载确定出物候现象的古今差异, 而后利用中国植物物候随纬度分布与季节变化的基本规律<sup>[20]</sup>, 将古今同种物候记载的地区差异(特别纬度移动)和日期差异换算为站点的古今温度差异, 最后根据表 1 的贡献率将站点的温度差异转换为整个区域在不同时段相对于 1951—1980 年的温度距平值, 其时间分辨率为 30 a。如, 根据《齐民要术》<sup>①</sup>中所记载的植物物候确定: 在 6 世纪初叶, 今华北平原中部的春季物候较现代推迟 1 周, 而根据中国植物物候随纬度分布与季节变化的基本规律可知华北平原中部当时的春季温度与 1951—1980 年相差 0.95℃, 而据表 1 可知, 华北平原中部(以石家庄为代表)春季温度 30 a 均值每差 1.0℃, 相当于中国东部地区冬半年温度差 0.85℃, 由此可推断在 6 世纪初叶, 中国东部地区冬半年温度较 1951—1980 年低 0.8℃。961—1110 年由于资料相对较为丰富, 因此先利用文献<sup>[8,9]</sup>所提出的方法, 建立起开封及其周边地区每 10 a 的冬季温度距平序列<sup>[16]</sup>。同时利用最近新补充的资料对序列的部分数据进行修订, 然后利用表 1 的贡献率将开封及周围地区(以郑州站代表)每 10 a 的冬半年温度距平转换为中国东部地区的温度距平。

(2) 16 世纪初至 18 世纪 30 年代(1501—1740AD)。由于已有多位学者对本区域的大部分区域冷暖变化状况进行了较详尽的研究, 并利用各种方法建立了时间分辨率为 10 a 的量化冷暖代用指标和温度距平变化序列, 而且各位学者的结论基本一致, 因而本文直接采用这些学者的研究成果<sup>[6,8~10]</sup>, 并根据最近新补充的物候证据对部分年代的温度距平值进行了计算和验证, 而后利用表 1 相关站点的贡献率将不同区域的冷暖代用指标值或温度距平值换算为中国东部每 10 a 的冬半年温度距平值。

(3) 18 世纪 40 年代至 20 世纪 40 年代(1741—1950AD)。根据清代档案所记载的合肥地区 1736—1911 年的冬季降雪日数和合肥、南京的现代气象观测记录(1912—1950 年)恢复<sup>[13]</sup>。从天气与气候成因来看, 合肥地区处于长江下游, 冬季降雪的水汽条件较充足, 能否降雪主要受寒潮与冷空气活动的影响。从对现代资料的统计分析看: 合肥站的降雪日数与冬季(12—2 月)平均温度之间有良好的

① (后魏)贾思勰,《齐民要术》。

相关性,相应的回归方程为

$$T_h = 5.09 - 0.173 D_x$$

式中,  $T_h$  为合肥冬季平均温度;  $D_x$  为冬季降雪日数。

合肥与南京冬季温度转换的关系式为

$$T_h = 0.09 + 1.027 T_n$$

根据表 1 可将合肥 1741—1950 年每 10 a 冬季平均温度距平转换为中国东部的每 10 a 温度变化距平。

(4) 1951—1999 年。直接根据上述 20 个站点的气象观测资料计算其年代距平平均值。

## 2.4 序列建立方法的误差分析

在原始证据准确的情况下,利用本方法所建立的序列,其序列误差主要是由于温度信息提取过程中的各种信息转换所造成的,误差来源主要包括:

(1) 因文字描述的模糊性造成转换信息准确性衰减而产生的误差:关于这一误差的产生,我们在过去的研究中已从信息提取角度对其进行了分析<sup>[22]</sup>,结论是在利用历史文献记载建立历史气候序列时,所获取的信息误差取决于对该原始记载对气候事件分辨与记述的正确与否以及其后各种信息转换方法的准确与否两个部分。对第一部分,其结论是如果原始记载对气候事件的分辨与记述完全准确,其误差等于 0。由于本文所用的原始资料已经历史学研究者逐条考证,其分辨与记述的准确性不应受到怀疑,因此,我们可认为在利用本方法建立序列时,因文字描述模糊性造成转换信息准确性衰减而产生的误差也应为 0;而对第二部分,实质上就是我们将要讨论的第二种误差。

(2) 将物候记载转换成温度,将农作物分布界线位置和初终霜、雪日期转换成温度所造成的统计误差:由于这种转换关系与折算回归方程,一般都是线性的,因此其误差的大小由该方程的残差标准差( $\sigma$ )和置信程度决定。而回归方程的残差标准差 $\sigma$ 取决于样本量、方程的相关系数、和预报序列的方差大小。由于我们所采用的转换关系式都是基于中国东部一些主要站点 1951—1980 年间春、秋、冬三个季节温度变化序列与各自站点及其邻近区域的各种物候现象、初终霜、雪日期等现象建立的,而且各种转换回归方程都通过了 $\alpha=0.01$ 的显著性检验,其相关系数至少已达 $r=0.45$ ,为此我们必须首先估计这些站点 1951—1980 年间春、秋、冬三个季节温度变化序列的方差。由于各种转换关系的相关系数不同,为了误差范围计算的方便,这里所采用序列样本数均取 30 a,相关系数均取 0.45,由此可计算出利

用上述各种历史文献冷暖记载资料转换成各个站点春、秋、冬三个季节温度变化序列的残差,进而估计 50%、70%、80%三种信度水平上所对应的最大误差范围(表 2)。需要说明的是:这一误差范围的估计是以年分辨率为基础的,如果估计 10 a 或 30 a 的平均状况,其误差将会大大降低,但由于目前还不具备足够大的样本来对此进行估计。不过从表 1 看,若用 10 a 或 30 a 滑动平均情况来估算,其误差范围应当可以降低 1 个量级。由于本方法所建立的时间序列在大多数时段内时间分辨率为 30 a,少数时段为 10 a,因此,我们有理由相信本序列的误差应低于这一范围的一个量级。

表 2 根据历史文献冷暖记载转换成当地温度所引起的最大统计误差范围(°C)

Table 2 The maximum statistical error range induced in the conversion from historical cold/warm recordings into temperatures (°C)

站点	50%信度水平			70%信度水平			80%信度水平		
	春季	秋季	冬季	春季	秋季	冬季	春季	秋季	冬季
北京	±0.5	±0.3	±0.6	±0.8	±0.5	±1.0	±1.0	±0.6	±1.2
石家庄	±0.5	±0.3	±0.7	±0.8	±0.5	±1.0	±1.0	±0.6	±1.3
济南	±0.5	±0.4	±0.7	±0.7	±0.6	±1.1	±0.9	±0.7	±1.4
徐州	±0.4	±0.3	±0.6	±0.6	±0.5	±1.0	±0.8	±0.6	±1.2
郑州	±0.4	±0.3	±0.6	±0.6	±0.5	±1.0	±0.8	±0.6	±1.2
合肥	±0.3	±0.3	±0.6	±0.5	±0.5	±0.9	±0.6	±0.6	±1.1
武汉	±0.3	±0.4	±0.6	±0.5	±0.6	±0.9	±0.6	±0.7	±1.1
西安	±0.4	±0.3	±0.5	±0.6	±0.4	±0.8	±0.8	±0.5	±1.0
延安	±0.4	±0.4	±0.7	±0.6	±0.5	±1.0	±0.8	±0.7	±1.3

(3) 将站点温度转换成区域温度的统计关系方程式误差:由于表 1 已列出了将各个站点温度变化转换成中国东部冬半年温度变化关系方程式的剩余均方差,因而这部分误差实质上在 2.2 节就已作了估计。由于这个转换过程在序列的大部分时段内都采用 30 a 平均状况进行转换,仅部分时段采用 10 a 平均状况转换,因而从表 1 看,本转换过程所产生的误差是较小的。

## 3 结果及分析

根据上述方法及转换关系,基于近年收集、整理的历史文献冷暖记载(其中部分记载转引自文献<sup>[23~27]</sup>,本文因篇幅所限略去),可得到过去 2 000 a 以 30 a 为时间分辨率的冬半年温度距平值及 960—1109 年、1500—1999 年 2 个资料较丰富时段以 10 a 为时间分辨率的温度距平值(图 4)。其中图 4a 表示

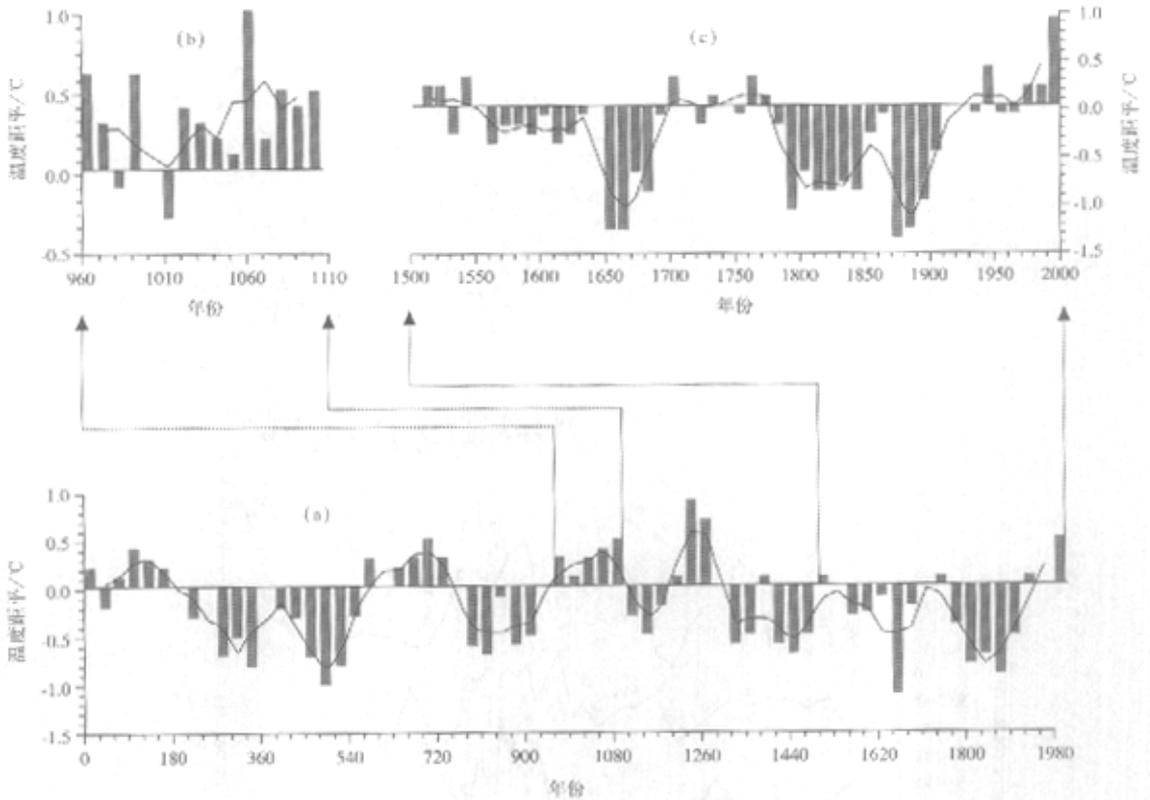


图4 中国东部过去2000 a的冬半年平均温度变化序列

Fig. 4 Winter-half-year mean temperature change during the past 2000 a in eastern China

中国东部地区过去2000 a分辨率为30 a的冬半年的冷暖变化状况,图4b表示960—1109年间分辨率为10 a的冬半年的冷暖变化状况,图4c表示1500—1999年间分辨率为10 a的冬半年的冷暖变化状况。需要说明的是:由于资料处理方面的原因,图4a中最后一个点为1981—1999年的平均值。同时图4的所有距平值都是基于过去2000 a中国东部地区各种冷暖证据与1951—1980年这一时段对比所获得的,而1951—1980年中国东部上述20个站点的冬半年温度平均值为 $8.4^{\circ}\text{C}$ ,该时段在过去2000 a中是一个相对偏暖的时期。

尽管图4所揭示的温度变化仅是中国东部冬半年的温度变化,但我们仍可从图4看出过去2000 a中国东部冷暖变化的总体趋势。这一总体变化趋势与中国东部地区分辨率较高、指示温度意义较为明确的孢粉<sup>[28~30]</sup>、石笋纹层<sup>[31]</sup>、树木年轮<sup>[32]</sup>、湖泊沉积<sup>[33,34]</sup>等自然序列有较好的对应关系;同时也与中国西部地区冰川前进和北方地区冰缘发育以及古土壤发育<sup>[35~42]</sup>等有良好温度指示意义的环境事件相对应(图5)。从变化趋势看,过去2000 a中国东部

共经历了以下几个阶段。

### 3.1 0's—560's, 温度波动下降阶段

其总体变化趋势是:自公元初年开始温度波动下降,至490's前后下降到最低点(冬半年温度30 a平均值较1951—1980年低 $1^{\circ}\text{C}$ 左右),570年(1—570AD)的降温率为 $0.17^{\circ}\text{C}/100\text{ a}$ 。其间可细分为两个阶段。

(1)0's—200's,气候以温暖为主。这一温暖阶段实质上是公元前温暖气候的延续。过去的研究<sup>[4]</sup>认为,公元初年前后是过去2000 a中最温暖的,但我们的研究表明:过去2000 a最温暖的阶段不在公元初年,而是在中世纪。黑龙江密山与内蒙古科尔沁的孢粉序列<sup>[28,29]</sup>,台湾的湖泊沉积序列<sup>[33]</sup>,以及若尔盖高原玛曲地区<sup>[35]</sup>、内蒙古岱海<sup>[36]</sup>等地的古土壤发育均表明此温暖期的存在,但 $(1\ 920\pm 110)\text{ aBP}$ 西藏东南部的冰川前进<sup>[37]</sup>、内蒙古岱海地区 $(1\ 970\pm 70)\text{ aBP}$ ~ $(1\ 840\pm 70)\text{ aBP}$ 夹在两层古土壤层之间的黄土沉积<sup>[36]</sup>显示在公元后最初的100 a中可能存在明显的降温。

(2)210's—560's,气候以寒冷为主。此阶段总

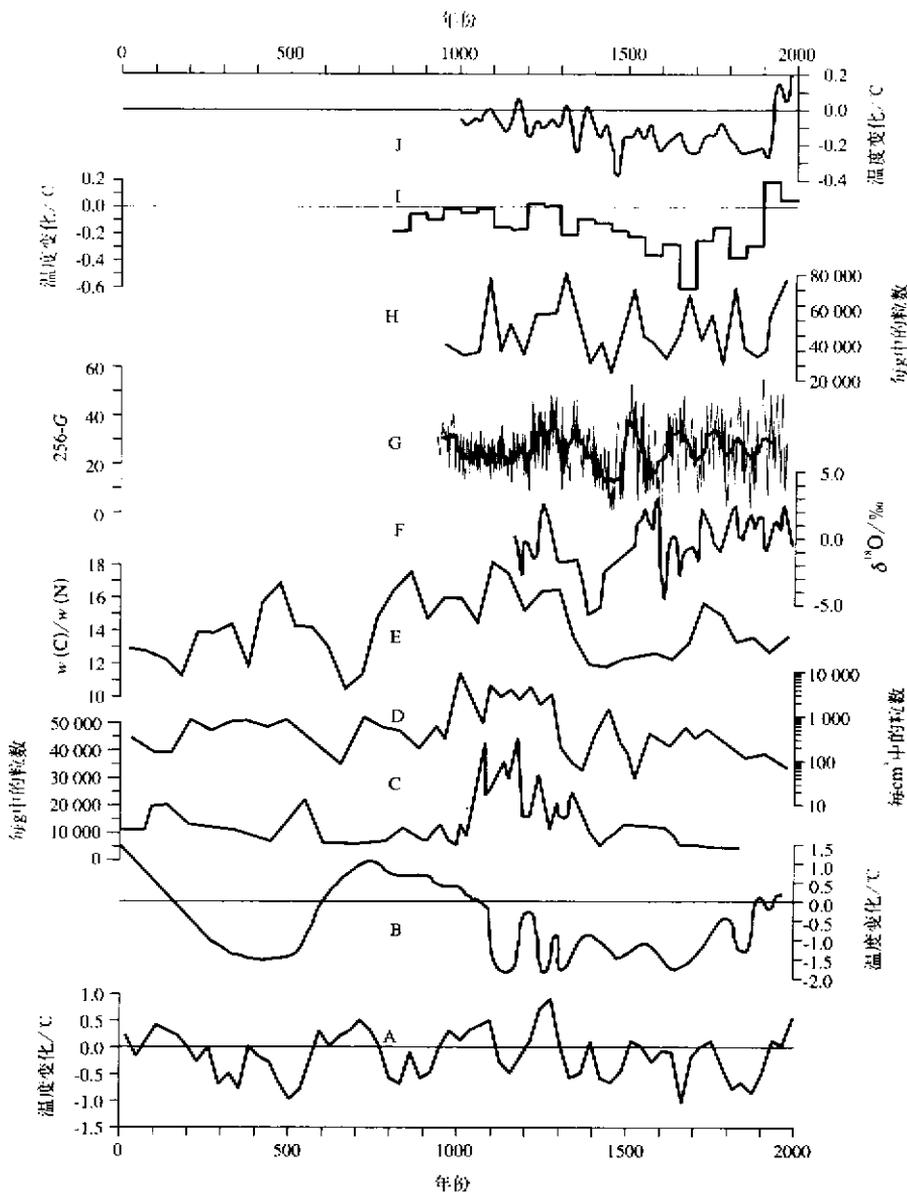


图5 中国东部过去2 000 a冬半年温度变化序列与其他冷暖序列的对比

Fig. 5 Comparison between the series of the temperature change during the past 2 000 a in China

- A—本文重建的过去2 000 a冬半年温度距平序列; B—竺可桢序列<sup>[4]</sup>;  
 C—黑龙江密山孢粉序列<sup>[28]</sup>; D—内蒙古科尔沁麦里孢粉序列<sup>[29]</sup>;  
 E—台湾嘉明湖高山湖泊沉积<sup>[33]</sup>; F—内蒙古岱海湖泊沉积序列<sup>[34]</sup>;  
 G—北京石花洞石笋纹层灰度序列(G为灰度值)<sup>[31]</sup>;  
 H—秦岭太白山孢粉序列<sup>[30]</sup>; I—王绍武中国东部温度变化序列<sup>[43]</sup>; J—北半球温度变化序列<sup>[44]</sup>

体特征与文献<sup>[4]</sup>的结果相似,但在400AD前后也存在一个持续近百年的相对暖期,因为从当时桑树和农耕区的北界北移看,390's—410's间的温度应较1951—1980年略高一些。这一相对温暖时段将210's—560's冷期分为前后两个寒冷时段。其中第一时段冷谷位于270's—350's,其间发生的一些

寒冷事件已经超过了现代观测记录所观测到的寒冷水平。后一个冷谷位于450's—530's,其间的许多记录与明清“小冰期”时的一些极端记录相似,在冷谷后期(530's前后)华北平原中部的桃树始花、枣树生叶等的物候要比现代推迟1周左右。支持此冷期的自然证据包括:1 900~1 500 aBP 西藏东南地

区海洋性冰川前进<sup>[37]</sup>、2 000~1 500 aBP 内蒙古大青山石线和泥流等冰缘现象发育<sup>[38]</sup>、以及大兴安岭北部地区 1 800~1 300 aBP 期间北方寒温性针叶林和冻土向南扩张<sup>[39]</sup>。而 1 510~1 480 aBP 前后内蒙古大青山<sup>[38]</sup>、青藏高原东北缘天祝<sup>[40]</sup>等地的古土壤发育现象则指示其间也存在相对温暖期。黑龙江密山与内蒙古科尔沁的孢粉序列<sup>[28,29]</sup>、台湾的湖泊沉积序列<sup>[33]</sup>也表明:210's—560's 期间存在气候波动,但由于序列定年方面可能存在的误差,与历史序列的准确对比有待进一步研究。

### 3.2 570's—1310's,以温暖气候为主,温度在波动中略呈上升趋势阶段

在 450's—530's 的冷谷之后,中国东部地区的冬半年温度迅速回升。自 480's—500's 至 570's—590's,冬半年温度升高了 1.3℃。而且自 570's 以后至 1280's,温度呈波动式上升趋势。这一温暖阶段持续时间较长,可进一步细分为以下几个时期。

(1)570's—770's 暖期。此阶段总体较 1951—1980 年略暖,在时间上与文献<sup>[4]</sup>指出的唐宋暖期前半段相当,但温暖幅度较文献<sup>[4]</sup>的推断要低。在此期间,青藏高原东北缘贵南发育了古土壤<sup>[40]</sup>。

(2)780's—920's 冷期。其中 850's 前后的短暂回暖把这一冷期分为前后两个时段。在第一时段(780's—830'sAD)的冷谷中,中国东部地区出现了在历史时期非常少见的苏北沿海海水冻结现象,而在后一个寒冷时段(870's—920's)中,中国气候带较现代约南退一个纬度。发生在 940 aBP 之前的川西海螺沟冰川前进应与此冷期相对应<sup>[37]</sup>。

(3)930's—1310's 暖期。这一温暖阶段不但与欧洲的中世纪暖期对应,而且还与中国各地的自然证据相对应。但这个暖期内也仍存在明显的冷暖波动,特别是 1110's—1190's,中国东部的气候在整体上较 1951—1980 年冷,长江下游地区的河港结冰现象比较频繁,其中最冷的时期大约在 12 世纪的中前期,当时中国东部地区出现了一系列强寒冷事件。黑龙江密山、科尔沁和秦岭太白山的孢粉<sup>[28~30]</sup>、北京的石笋纹层<sup>[31]</sup>、内蒙古岱海和台湾的湖泊沉积<sup>[33,34]</sup>等分辨率较高的自然证据序列都显示:950—1300AD,中国气候在总体上暖于过去 2 000 a 中的其它时段,同时也显示这一暖期同样存在明显的冷波动。王绍武等<sup>[43]</sup>在分区序列基础上所合成的中国东部和全国过去 1 200 a 的温度变化序列显示:13 世纪是整个中世纪暖期中的偏暖时

段,其温暖程度与 20 世纪相当。而本序列则表明:若以冬半年温度而论,以 30 a 为时间分辨率,本暖期的最暖 30 a(13 世纪中期)应较 20 世纪的最后 20 a 暖;以 10 a 为时间分辨率,本暖期的最暖 10 a(如 1060's 等)也应较 20 世纪的最暖 10 a(1990's)略暖。因此可以肯定,在中国东部,这一时段是过去 2 000 a 中的最暖时段。与 Mann 等<sup>[44]</sup>重建的过去 1 000 a 北半球温度变化相比表明,中国过去 1 000 a 的冷暖波动趋势与北半球是同步的,所不同的是中国 20 世纪的增暖幅度与中世纪温暖期相比,不如北半球明显。

### 3.3 1320's—1910's,寒冷气候阶段

竺可桢在早先的研究中指出<sup>[4]</sup>:中国在 1400—1900AD 间,存在着与世界上许多其它地区出现的小冰期(Little Ice Age)寒冷气候相对应的明清小冰期,并指出其间有三次偏冷的波动,本研究结果进一步证实了这一结论。从图 4 看,我国东部地区的以寒冷气候为主要特征是从 1320's 开始的,至 1910's 结束。其中,1320's—1370's、1410's—1490's、1560's—1700's、1770's—1910's 为冷谷,仅 1380's—1400's、1500's—1550's、1710's—1760's 相对偏暖。在此期间,中国西部及临近地区的山地冰川分别在 650 aBP 前后、500~400 aBP、300~250 aBP、180~50 aBP(其间可进一步区分出 180~130 aBP 和 80~50 aBP 两个冰川前进阶段)<sup>[37,41,42]</sup>数度前进;黑龙江密山、科尔沁和秦岭太白山的孢粉<sup>[28~30]</sup>、北京的石笋纹层<sup>[31]</sup>、内蒙古岱海和台湾的湖泊沉积<sup>[33,34]</sup>、华山树木年轮<sup>[32]</sup>等自然序列所揭示的冷暖波动特点与本序列的结果有较好的对应关系。

### 3.4 1920's—1990's,温暖阶段

在此期间中国大部分地区气候转暖,1920's—1940's 间的平均温度已超过 1951—1980 年的平均值。在经历 20 世纪 50 年代至 70 年代前期的气温下降之后,气温呈现持续上升的趋势,1980's 和 1990's 的 20 年冬半年的平均温度较前 30 a 平均增加 0.5℃,其中 1990's 较 1951—1980 年平均值高 0.9℃,显示中国东部地区 20 世纪后期的升温极为迅速。

## 4 结语与讨论

综上所述,过去 2 000 a 中国东部冬半年温度

变化过程可以概括为:自公元初年开始温度波动下降,至 490's 前后下降到最低点(冬半年温度 30 a 平均值较 1951—1980 年低 1°C 左右),降温率达 0.17°C/100 a。此后温度迅速回升而进入温暖期,570's—1310's 的 750 a 中,以温暖气候为主,温度在波动中略呈上升趋势,暖峰时期 30 a 平均的温度值一般较 1951—1980 年高 0.3~0.6°C,最高达 0.9°C。暖峰之间冷谷的 30 a 平均温度值较 1951—1980 年低 0.5~0.7°C。1310's 之后,温度再次迅速降低,并保持在一个较低的水平上波动,其间 4 个冷谷的 30 a 平均温度一般较 1951—1980 年低 0.6~0.9°C,最低达 1.1°C;冷谷之间的相对暖峰的 30 a 平均温度略高于 1951—1980 年。至 19 世纪后期,温度再次迅速回升进入 20 世纪温暖期,特别是 1981—1999 年的近 19 a 升温非常迅速,其平均值已较 1951—1980 年的平均温度升高了 0.5°C。

从过去 2 000 a 冷暖状态转换过程看,冬半年的温度变化往往呈现出快速变化的特点,如:在 5 世纪至 6 世纪(480's—500's 至 570's—590's)的增暖过程中,90 a 内就升高 1.3°C;而 13 世纪至 14 世纪(1230's—1250's 至 1320's—1340's)的转冷过程中,90 a 之内,也出现了 1.4°C 的降温幅度;升温幅度较大的 19 世纪中后期至 20 世纪 40 年代(1860's—1880's 至 1920's—1940's),60 a 内升高 1.0°C;而在 1860's—1880's 至 1980's—1990's 的 110 a 中,则上升了 1.5°C。其中,1981—1999 年的近 19 a,冬季平均温度较其前 30 a(1951—1980)升高了 0.5°C。若以 30 a 为时间分辨率看,0.5°C 的升温在过去 2 000 a 中虽不是最大的,但是在相对温暖时期中,如此大的升温幅度是极为少见的(仅有 1201—1230 年至 1231—1260 年间的升温幅度在此之上)。此外,1981—1999 年的温度距平 0.5°C,已接近过去 2 000 a 中温暖期的最高水平。如果未来 10 a 的温度继续上升,则其 30 a 平均值有可能超过 13 世纪中的最暖 30 a,而成为最高值。

中国丰富而长时段的历史文献记录是世界上独有的,是开展过去 2 000 a 全球变化研究的宝贵资料。竺可桢<sup>[4]</sup>首先利用中国物候资料对中国过去 5 000 a 冷暖变化进行了推断。本序列的建立承袭了竺先生的思想,并在方法上进行了发展和完善,同时借鉴了其他学者提出的其它利用历史文献记载重建过去温度变化、特别是过去 500 a 温度变化的方法和结果,并与自然记录的温度变化进行了对比。

相比较而言,本序列所采用的指标物理意义更明确,信息转换建立在现代统计关系之上,减少了主观性和不确定性,在方法上体现了全球变化集成研究的思想。与文献[4]所提供的序列相比,本序列除在原始证据收集与考订上有明显提高外,还在时间分辨率、史料标定精度等方面较前有了较大的提高。

## References[参考文献]:

- [1] EDDY J A. *Past Global Changes Project: Proposed Implementation Plans for Research Activities*[R]. Global Change Report No. 19, Sweden, Stockholm: IGBP, 1992. 1-112.
- [2] BRADLEY R S. *High Resolution Record of Past Climate From Monsoon Asia: The Last 2 000 Years and Beyond*[R]. Recommendations for Research. PAGES Workshop Report, Series 93-1, 1993. 1-24.
- [3] National Natural Science Foundation of China. *Global Change: Our Opportunity and Challenge*[M]. Beijing: China Higher Education Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998. 61-75 (in Chinese). [国家自然科学基金委员会. 全球变化: 中国面临的机遇和挑战[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998. 61-75.]
- [4] ZHU Kezhen. The preliminary study of the climate change of China during the last 5 000 years[J]. *Sciences in China*, 1973 (1): 168-189 (in Chinese). [竺可桢. 中国近 5 000 年来气候变迁的初步研究[J]. 中国科学, 1973(1): 168-189.]
- [5] ZHANG Piyuan, GONG Gaofa. Some aspects of climate change in China since 16th century[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1979, 34(3): 238-247 (in Chinese). [张丕远, 龚高法. 16 世纪以来中国气候变化的若干特征[J]. 地理学报, 1979, 34(3): 238-247.]
- [6] ZHANG De'er. Winter temperature changes during the last 500 years in South China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1980, 25(6): 497-500.
- [7] ZHANG De'er. A study on the Medieval Warm Period in China[J]. *Quaternary Research*, 1993 (1): 7-13 (in Chinese). [张德二. 我国中世纪温暖期气候的初步研究[J]. 第四纪研究, 1993(1): 7-13.]
- [8] WANG Shaowu, WANG Risheng. Variations of seasonal and annual temperatures during 1470—1978 AD in Eastern China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1990, 48(1): 26-35 (in Chinese). [王绍武, 王日昇. 1470 年以来我国华东四季与年平均温度变化的研究[J]. 气候学报, 1990, 48(1): 26-35.]
- [9] WANG Shaowu. Reconstruction of temperature series of North China from 1380s to 1980s[J]. *Science in China (Series B)*, 1991 (6): 751-759.
- [10] ZHENG Jingyun, ZHENG Sizhong. An analysis on cold/warm and dry/wet in Shandong Province during historical

- times[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1993, 48(4): 348-357 (in Chinese). [郑景云, 郑斯中. 山东历史时期冷暖旱涝状况分析[J]. 地理学报, 1993, 48(4): 348-357.]
- [11] WU Xiangding, YIN Xungang. The Little Ice Age Climate in the Yellow River Valley, China[A]. MIKAMI T. *Proceedings of the International Symposium on the Little Ice Age Climate*[C]. Tokyo, Japan, 1991. 132-137.
- [12] WANG W C, PORTMAN D, GONG G, et al. Beijing summer temperatures since 1724[A]. BARDLEY S, JONES D. *Climate Since A. D. 1500*[M]. London and New York: Routledge, 1992. 210-223.
- [13] ZHOU Qingbo, ZHANG Piyuan, WANG Zheng. Reconstruction of annual winter mean temperature series in Hefei area during 1736—1991 AD[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1994, 49(4): 332-337 (in Chinese). [周清波, 张丕远, 王铮. 合肥地区 1736—1991 年冬季平均气温序列的重建[J]. 地理学报, 1994, 49(4): 332-356.]
- [14] GONG Gaofa, ZHANG Piyuan, ZHANG Jinrong. A study on the climate of the 18th century of the Lower Changjiang Vally in China[J]. *Geographical Research*, 1983, 2(2): 20-31 (in Chinese). [龚高法, 张丕远, 张瑾蓉. 十八世纪我国长江下游等地区的气候[J]. 地理研究, 1983, 2(2): 20-31.]
- [15] MAN Zhimin, ZHANG Xiugui. The evolution of the natural region of warm period East China during the 13th century [J]. *Fudan Journal (Social Science Edition)*, 1990 (5): 32-35 (in Chinese). [满志敏, 张修桂. 中国东部温暖期自然带的推移[J]. 复旦学报(社会科学版), 1990(5): 32-35.]
- [16] MAN Zhimin, ZHANG Xiugui. Research on the documental evidence and the characteristics of MWP in the east part of China[A]. ZHANG Lansheng. *Research on the Past Life-Supporting Environment Change of China ( I )*[M]. Beijing: Ocean Press, 1993. 95-103 (in Chinese). [满志敏, 张修桂. 中国东部中世纪温暖期的历史证据和基本特征的初步研究[A]. 张兰生. 中国生存环境历史演变规律研究(一)[M]. 北京: 海洋出版社, 1993. 95-103.]
- [17] ZHANG Piyuan, GE Quansheng, ZHENG Jingyun. Research on the natural and environmental information extracting from historical documents and archives[J]. *Chinese Economic History Research (Special Volume)*, 2002 (in press) (in Chinese). [张丕远, 葛全胜, 郑景云. 从历史文献、档案中提取自然环境信息的研究[J]. 中国经济史研究(特刊), 2002(in press).]
- [18] ZHU Kezhen, WAN Minwei. *Phenology*[M]. Beijing: Science Press, 1973. 1-124 (in Chinese). [竺可桢, 宛敏渭. 物候学[M]. 北京: 科学出版社, 1973. 1-124.]
- [19] ZHANG Fuchun. *Phenology*[M]. Beijing: Meteorology Press, 1985. 58-80 (in Chinese). [张福春. 物候[M]. 北京: 气象出版社, 1985. 58-80.]
- [20] GONG Gaofa, JINA Weimin. On the geographical distribution of phenodate In China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1983, 38(1): 33-40 (in Chinese). [龚高法, 简慰民. 我国植物物候期的地理分布[J]. 地理学报, 1983, 38(1): 33-40.]
- [21] MAN Zhimin. Some fundamentals in research on changes of warm and cold climate making use of historical records[J]. *Historical Geography*, 1995 (12): 21-31 (in Chinese). [满志敏. 用历史文献物候资料研究气候冷暖变化的几个基本原理[J]. 历史地理, 1995(12): 22-31.]
- [22] GE Quansheng, ZHANG Piyuan. The Evaluation on climatic information in the historical literature[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1990, 45(1): 24-29 (in Chinese). [葛全胜, 张丕远. 历史文献中气候信息的评价[J]. 地理学报, 1990, 45(1): 24-29.]
- [23] MAN Zhimin. Study on the cold/warm stages of Tang Dynasty and the characteristics of each cold/warm stage[J]. *Historical Geography*, 1990(8): 1-15 (in Chinese). [满志敏. 唐代气候冷暖分期及各期气候冷暖特征的研究[J]. 历史地理, 1990(8): 1-15.]
- [24] GONG Gaofa, CHEN Enjiu. On the variation of the growing season and agriculture[J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1980, 4(1): 40-47 (in Chinese). [龚高法, 陈恩久. 论生长季寒暖变化与农业[J]. 大气科学, 1980, 4(1): 40-47.]
- [25] WEN Huanran, WEN Rongsheng. *Winter-Half-Year Cold/Warm Change in Historical Period of China*[M]. Beijing: Science Press, 1996. 115-118 (in Chinese). [文焕然, 文榕声. 中国历史时期冬半年气候冷暖变化[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 115-118.]
- [26] SHENG Fuyao. A preliminary exploration of the warmth and coldness in Henan Province in the historical period[J]. *Historical Geography*, 1990 (7): 160-170 (in Chinese). [盛福尧. 初探河南省历史时期的寒暖[J]. 历史地理, 1990(7): 160-170.]
- [27] MAN Zhimin. *Climatic Change in Historical Period of China*[M]. Jinan: Shandong Education Press, 2002 (in press) (in Chinese). [满志敏. 中国历史时期气候变化研究[M]. 济南: 山东教育出版社, 2002 (in press).]
- [28] XIA Yumei, WANG Peifang. Peat record of climate change since 3 000 years in Yangmu, Mishan Region[J]. *Geographical Research*, 2000, 19 (1): 53-59 (in Chinese). [夏玉梅, 汪佩芳. 密山杨木 3 000 多年来气候变化的泥炭记录[J]. 地理研究, 2000, 19(1): 53-59.]
- [29] REN Guoyu, ZHANG Lansheng. Late Holocene vegetation in Maili Region, Northeast China, as inferred from a high-resolution pollen record[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1997, 39 (4): 353-362 (in Chinese). [任国玉, 张兰生. 科尔沁沙地麦里地区晚全新世植被变化[J]. 植物学报, 1997, 39(4): 353-362.]
- [30] TONG Guobang, ZHANG Junpai, FAN Shuxian, et al. Environment change at the top of Taibai Mountain, Qinling since 1ka ago[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1996, 16(4): 95-104 (in Chinese). [童国榜, 张俊牌, 范

- 淑贤, 等. 秦岭太白山顶近千年来的环境变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1996, 16(4): 95-104. ]
- [31] QIN Xiaoguang, TAN Ming, LIU Dongsheng, et al. Characteristics of annual laminae gray level variations in a stalagmite from Shihua Cave, Beijing and its climatic significance (II)[J]. *Science in China (Series D)*, 2000, 43(5): 521-533.
- [32] LIU Hongbin, SHAO Xuemei. Reconstruction of early-spring temperature at Zhen'an from 1755 using tree ring chronology[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2000, 58(2): 223-234 (in Chinese). [刘洪滨, 邵雪梅. 采用秦岭冷杉年轮宽度重建陕西镇安 1755 年以来的初春温度[J]. 气象学报, 2000, 58(2): 223-234. ]
- [33] LOU Jian-Yuh, CHEN Chen-Tung Arthur. Paleoclimatological and paleoenvironmental records since 4 000 aBP. in sediments of alpine lakes in Taiwan[J]. *Science in China (Series D)*, 1997, 40(4): 424-431.
- [34] CAO Jianting, WANG Sumin, SHEN Ji. The primary study of paleoclimate changes during the past millennium in Daihai Lake, Inner Mongolia[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2000, 20(2): 15-20 (in Chinese). [曹建廷, 王苏民, 沈吉. 内蒙古岱海地区近千年气候环境演变的初步研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(2): 15-20. ]
- [35] ZHOU Xueyong, WANG Guiyong. A study on desertification since Late Holocene in Maqu Area, upstream of Yellow River[J]. *Journal of Desert Research*, 1995, 15(1): 65-70 (in Chinese). [邹学勇, 王桂勇. 黄河上游玛曲地区晚全新世沙漠化[J]. 中国沙漠, 1995, 15(1): 65-70. ]
- [36] ZHANG Lansheng, FANG Xiuqi, SHI Peijun, et al. Holocene environment change in the agricultural-pastoral transitional zone of Northern China [A]. FU Congbin, YAN Zhongwei. *Global Change and the Future Trend of Ecological Environment Evolution in China*[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1996. 7-16 (in Chinese). [张兰生, 方修琦, 史培军, 等. 我国北方农牧交错带全新世环境演变[A]. 符淙斌, 严中伟. 全球变化与我国未来的生存环境[M]. 北京: 气象出版社, 1996. 7-16. ]
- [37] SHI Yafeng. *Glaciers and Their Environments in China*[M]. Beijing: Science Press, 2000. 1-500 (in Chinese). [施雅风. 中国冰川与环境[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1-500. ]
- [38] CUI Zhijiu, SONG Changqing. Holocene periglacial processes and environmental changes in the Daqingshan Mountains, Inner Mongolia, China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1992, 14(4): 325-331 (in Chinese). [崔之久, 宋长青. 大青山全新世冰缘现象及环境演变[J]. 冰川冻土, 1992, 14(4): 325-331. ]
- [39] XIA Yumei. Study on record of spore-pollen in high moor peat and development and successive process of peat in Da and Xiao Hingan Mountains[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1996, 16(4): 337-344 (in Chinese). [夏玉梅. 大小兴安岭高位泥炭孢粉记录及泥炭发育和演替过程研究[J]. 地理科学, 1996, 16(4): 337-344. ]
- [40] HU Shuangxi, XU Qizhi, ZHANG Weixiang, et al. Historic evolution of chestnut soil in the northeastern marginal area of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1991, 28(2): 202-210 (in Chinese). [胡双熙, 徐齐治, 张维祥, 等. 青藏高原东北部边缘栗钙土的历史演变[J]. 土壤学报, 1991, 28(2): 202-210. ]
- [41] LI Jijun, XU Shuying. Studies on the landform development and Quaternary glaciations in North Pakistan[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1983, 38(1): 11-24 (in Chinese). [李吉均, 徐叔鹰. 巴基斯坦北部的地貌发育与第四纪冰期问题[J]. 地理学报, 1983, 38(1): 11-24. ]
- [42] CHEN Jiyang. The division of the Holocene moraine strata and their chronology in Western Mountainous Area of China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1987, 19(4): 319-328 (in Chinese). [陈吉阳. 中国西部山区全新世冰碛地层的划分及地层年表[J]. 冰川冻土, 1987, 19(4): 319-328. ]
- [43] WANG Shaowu, GONG Daoyi. Temperature change in several typical periods of Holocene in China[J]. *Natural Science Progress*, 2000, 10(4): 325-332 (in Chinese). [王绍武, 龚道溢. 全新世几个特征时期的中国气温[J]. 自然科学进展, 2000, 10(4): 325-332. ]
- [44] MANN M E, BRADLEY R S, HUGHES M K. Northern hemisphere temperature during the past millennium; inferences, uncertainties, and limitations [J]. *Geophysical Research Letters*, 1999, 26(6): 759-762.

# RECONSTRUCTION AND ANALYSIS ON THE SERIES OF WINTER-HALF-YEAR TEMPERATURE CHANGES OVER THE PAST 2 000 YEARS IN EASTERN CHINA

GE Quan-sheng<sup>1</sup>, ZHENG Jing-yun<sup>1</sup>, MAN Zhi-min<sup>2</sup>,  
FANG Xiu-qi<sup>3,1</sup>, ZHANG Pi-yuan<sup>1</sup>

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*; 2. *Institute of Chinese History and Geography, Fudan University, Shanghai 200433, China*; 3. *Department of Resources and Environment Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*)

**Abstract:** The quantitative series of the winter-half-year temperature in eastern China over the past 2 000 years in 10~30 year resolution is reconstructed by phenomena records and the other proxy data with cold/warm description extracted from Chinese historical documents, some cold/warm time series in China published in last couple of decades, and the instrumental data from 1951—1999. The variability and amplitudes of cold-warm changes in eastern China during the past 2 000 years are discussed as well. In summary, the winter-half-year temperature changes over the past 2 000 years in eastern China can be outlined as follows: (1) From the beginning of Christian era, the climate tended to decrease in fluctuation with the cooling rate of 0.17 °C/100 a, and around 490s the temperature decreased to the lowest of the first epoch, about 1.0 °C lower than that of 1951—1980. (2) Then the temperature rose rapidly and entered the warm epoch of 570s—1310s. In this epoch, the climates were dominantly warm, and the temperature rose slowly in fluctuation. The 30-year mean temperatures of two warm peaks were generally 0.3~0.6 °C higher than that of 1951—1980, and once reached the highest of over 0.9 °C. For the cold troughs between the two warm peaks, the 30-year mean temperatures were generally 0.5~0.7 °C lower than that of 1951—1980. (3) After 1310s, the temperature descended rapidly. The 30-year mean temperatures of the four cold troughs were generally 0.6~0.9 °C lower than that of 1951—1980 with the minimal of 1.1 °C. For the relative warm peaks between the cold troughs, the 30-year mean temperatures were slightly higher than that of 1951—1980. (4) Since then, the temperature has been rising rapidly and entered the warm epoch of the 20th Century. For the most recent two decades, the temperature increases dramatically. The mean temperature from 1981 to 1999 is 0.5 °C higher than that from 1951 to 1980. (5) The winter-half-year temperature changes over the past 2 000 years indicate that the transition between cold period and warm period is usually characterized by rapidity. For example, during the warming from the cold epoch to the warm epoch between the 5th and 6th Century (480s—500s to 570s—590s), the temperature increased by 1.3 °C within 90 years. So as the cooling from the warm epoch to the cold epoch between the 13th and 14th Century (1260s—1280s to 1320s—1340s), the temperature decreased by 1.4 °C within 90 years. During the mid- and late- 19th and the early 20th Century (1860s—1880s to 1920s—1940s), the temperature increased by 1.0 °C within 60 years. Since the mid- and late-19th Century to present (1860s—1880s to 1980s—1990s), the temperature has risen by 1.5 °C within 110 years, particularly the temperature increased by 0.5 °C from 1981 to 1999 AD.

**Key words:** past 2 000 years; Eastern China; winter-half-year temperature series