

中国气候变化的研究

王绍武 蔡静宁 朱锦红

(北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871)

龚道溢 P46 A

(北京师范大学环境资源研究所环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875)

摘要 总结了近10余年对中国气候变化的研究, 重点对不同时间尺度的气温变化进行了分析。讨论了大暖期千年尺度气候振荡, 中世纪暖期、小冰期及现代气候变暖等问题。

关键词: 中国; 气候变化; 大暖期; 小冰期

1 引言

近10余年来中国气候变化的研究有了很大的进展。这主要是由于代用资料的开发, 黄土、冰芯、孢粉、树木年轮以及史料的收集、整理, 为揭示中国古气候的特征提供了丰富的资料。这段时间也正好是国际上气候变化研究突飞猛进的时候, 因此, 这方面的研究不仅填补了我国的空白, 也对世界范围的气候变化研究做出了贡献。当然决不能由此认为对中国古气候的认识已经很充分了。恰恰相反, 还有许多我们了解很不够的方面。例如对全新世早、中期降水量变化的研究就较少; 青藏高原, 特别是高原西部资料还很少。下面的总结只能勾画出全新世以来中国气温变化的轮廓, 并仅仅在某些情况下谈到相应的降水量的变化。所以, 不能认为引证的资料已经足够完全。许多研究工作, 如冰芯、树木年轮、史料方面均在蓬勃开展, 也许可以期望在不太长的时间内进一步丰富我们的认识。另外为了使讨论的问题集中, 这里把研究的范围限于全新世。其实我国对更新世气候变化的研究也是很出色的。

2 全新世大暖期

地球形成46亿年以来, 气候发生过多次激烈的变化。大约250万年前进入第四纪, 气候的特征是冰期与间冰期交替, 称为冰期—间冰期旋回。最新的南极东方站42万年的冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 显示出4个十分明显的10万年左右的旋回。上一个冰期最冷时期称为末次冰盛期(LGM), 出现于2.3万年前。此后, 北半球的欧洲及美洲两大冰盖逐渐消融, 海平面上升, 气候变暖。到1.0万年前进入间冰期, 地质学上称为全新世。研究表明, 气候变化的时间尺度愈大, 地理上的一致性也愈强。中国的黄土剖面证明, 中国与全球的冰期—间冰期旋回有很大的一致性, 进入全新世的时间也大体上一致^[1]。

全新世以来气候变化的最主要特征就是在全新世中期存在一个大暖期 (Megathermal), 也有人称为气候最适宜期。图 1 给出孔昭宸等^[2]根据青海湖 (37°N, 100°E) 孢粉重建的近万年气温和降水量变化, 均用与现代的差表示, 从图 1a 可见大约 8.0 到 3.5 kaBP (千年前) 是一个持续的暖期, 在 6.0 kaBP 气温比现代高 2℃ 以上。施雅风等^[3]曾分析了全国 200 多个站的孢粉资料, 绘制出大暖期盛期与现代的温差图,

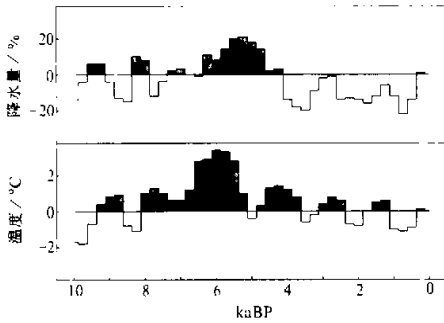


图 1 近 10 ka 青海湖气温和降水量与现代的差 (引自文献^[2])

华南差值最小约 1℃, 差值自南向北增加, 华北约 3℃, 但青藏高原上可能比现代高 4~5℃。王绍武和龚道溢^[4], 曾选取了 10 个站代表中国 10 个区用统一的分辨率及现代平均求气温距平, 然后按面积加权求得近 10 ka 全国的平均气温, 从 3.0 kaBP 到 8.5 kaBP 为大暖期, 最暖时气温可能比近百年平均高 2℃ 以上。由此可见图 1a 还是有一定代表性的。

由于降水量异常的空间尺度小, 目前还不可能得到一条代表全国的近万年降水量变化曲线, 所以用青海湖为例作些说明。图 1b 反映, 在 6.0~5.0 kaBP 气候湿润, 降水可能比现代高 15%~20%。大部分时间气温高时降水多, 气温低时降水少, 粗略地讲大暖期时气候湿润。

3 千年尺度气候振荡

近年来古气候研究的一项重要发现就是指出不仅在冰期, 在间冰期气候也是不稳定的。人们了解最多的是冰期中时间尺度在 1~3 ka 之间的循环, 用发现者的名字命名为丹斯加德/奥舍格循环, 简称 D/O 循环。后来发现在全新世也有类似气候振荡, 根据深海沉积定出近 11 ka 中 9 个冷事件, 由近及远编号 0 至 8, 0 即小冰期。表 1

表 1 中国全新世中的冷期 (kaBP)

小冰期	新冰期			新冰期		新冰期		作者	资料		
	第三期	第二期	第一期	第二期	第一期	第二期	第一期				
0	0.4	1.4	3.0	4.0	5.4	8.0	9.4	10.3	11.0	Bond 等 ^[5]	深海沉积
1	0.3, 0.5	1.7	3.0	3.5~4.0						Hameed 等 ^[6]	考古, 史料
2	0.3, 0.5		3.0	4.0	5.5	8.7~8.9				施雅风等 ^[3]	孢粉, 综合
3				3.8	5.0	8.5				安芷生等 ^[7]	黄土
4			3.0		5.0	8.5~8.8		10.5	10.9	王苏民 ^[8]	湖泊
5	0.4	1.5	3.0	4.0	5.4	8.7~8.9	9.7			姚檀栋等 ^[9]	冰芯
6	0.1~0.4		2.8	4.1	5.7					陈吉阳 ^[10]	冰川
7			3.0			8.8				李吉均 ^[11]	冰川, 雪线
8	0.1~0.9	1.4~2.0	2.7~3.2	3.0~4.5	5.7~6.5	8.3~8.9	9.0~9.5			徐国昌等 ^[12]	冰川, 湖泊
9	0.1~0.5		2.4~3.3	3.6~4.0	5.0~5.8	7.0~8.5	9.0~9.5			徐国昌等 ^[12]	中国东部

列出中国作者根据不同的代用资料确定的冷事件。除了第 7、8 两个事件证据尚不很充分以外, 10 ka 以内的 7 次冷事件 (0~6) 有较多的佐证, 并且与 Bond 等^[5]所给的出现时间十分接近。而且, 平均再现期接近 1.5 ka, 与国际上的深海研究一致。这表明中国不仅大暖期与世界范围的气候变化基本同步, 气候的千年振荡也很一致。

方修琦^[13]曾指出大暖期中也有明显的气候波动, 根据天山托木尔峰南坡台兰河西岸苏小堤的风成黄土分析, 在 6.58、5.73、4.81、3.55 kaBP 气候暖湿, 与天山的冰川、青藏高原、内蒙古黄土高原的暖湿气候基本一致, 甚至与格陵兰的暖期及高海面时期也基本一致。与表 1 对照, 这 4 个暖期恰好在第 2 到第 5 个冷期之间。降水量的资料不如气温丰富, 但是大部分代用资料表明, 冷事件中气候干燥。因此粗略地讲, 可以认为表 1 中的冷期与干旱对应。

4 近千年气候变化

最近千年左右包括了两个气候变化的特征时期, 即中世纪暖期 (公元 900~1300 年) 及小冰期 (公元 1550~1850 年)。许多作者早已指出, 可能并不存在一个世界大部分地区同步的中世纪暖期或小冰期。

中国有没有中世纪暖期是有争议的。竺可桢^[14]曾认为中国隋、唐时期 (公元 589~907 年) 气候温暖, 宋朝 (公元 960~1279 年) 气候转凉, 即中国的暖期出现在公认的中世纪暖期之前。对于这个观点, 满志敏等^[15]列举了多方面的物候证据, 说明五代中到元朝早期 (公元 10~13 世纪) 气候温暖。根据 Hameed 和龚高法^[6]的计算, 我国东部地区纬度差 1° , 年平均温度可差 0.5°C , 冬季温度可差 1°C 。竺可桢^[14]认为物候差 4 天与纬度差 1° 的作用相当, 按这个标准, 当时的气温可能比现代高 0.5°C 左右。不过, 什么叫现代, 一般不能理解为最近几年。一方面近百年气候变暖, 近 10~20 年不能作为标准, 另一方面物候的形成需要较长时间。所以我们一般把现代理解为近百年, 例如用 1880~1979 年平均气温作为计算中国气温距平的标准。但是就中国具体情况来看, 1951~1980 年 30 年平均与 1880~1979 年平均相当接近。所以根据物候研究气候变化时, 也可以用 1951~1980 年的物候作标准。

王绍武和龚道溢^[4]利用寒冷事件的频率, 重建了中国东部 1200 年的气温序列。发现公元 9 世纪后半叶到 11 世纪平均气温与现代相当; 但 12 世纪气温下降, 比现代约低 0.2°C ; 13 世纪又比较暖, 气温接近或略高于现代。这表明中国东部确实可以认为存在一个中世纪暖期, 但是并不是一个持续的暖期, 中间 12 世纪气温较低。中国西部缺少史料, 但有树木年轮、冰芯等代用资料。用代用资料重建的中国西部气温序列, 除公元 9 世纪后半叶与现代接近以外, 9 世纪前半叶, 10~11 世纪气温比现代低 $0.4\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 。应该说中国西部无明显的中世纪暖期。根据徐国昌等^[12]的总结, $1.4\sim 0.9$ kaBP 中国西部气候暖湿, 青海湖的面积远比现代广阔, 这与竺可桢对中国东部的物候分析一致。很可能在公认的中世纪暖期之前中国无论在西部还是在东部都有一个暖期, 但在公认的中世纪暖期则只有东部气温偏高, 并且中间还夹着一个 12 世纪的冷期。

至于小冰期, 对中国东部来讲不同作者的结果分歧不大。竺可桢^[14]指出冷冬多出现于 1470~1520 年、1620~1720 年及 1840~1890 年; 张德二和朱淑兰^[16]根据史料建

立了中国长江及其以南 8 个区的冬温指数序列, 所得到的冷期大体与竺可桢的结果相同; Hameed 等^[6]综合了各位作者的研究, 指出 16 世纪前半叶, 17 世纪后半叶及 19 世纪后半叶为冷期。表 2 给出王绍武等^[17]对华北、华东及全国 10 个区平均小冰期气温的估算, 仍对 1880~1979 年平均求距平。为了对比给出 20 世纪中期最暖的 30 年作比较, 表中共列出 3 个冷期, 每个冷期包括

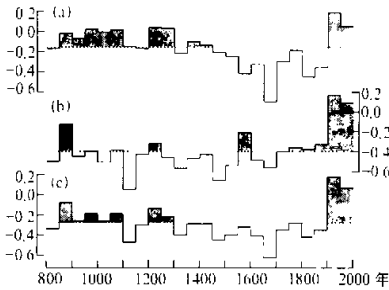


图 2 近 1200 年中国气温 (对 1880~1979 年平均) 的距平 (°C) (引自文献[4])
(a) 东部; (b) 西部; (c) 全国

两个寒冷阶段, 可见小冰期的冷期约比 20 世纪中期的暖期气温低 1.0°C 左右。但这主要是中国东部的情况。根据图 2 中国西部在表 2 的前 2 个冷期中气温也比较低, 比现代低 0.5°C~0.6°C。但是, 19 世纪无明显冷期, 而 12 世纪的冷期十分突出。近千年来的冷期愈来愈弱, 中国东部冷期却愈来愈强。

中世纪暖期中国东部长江及其以南多雨, 小冰期则北方多雨。这可以从中国东部旱涝型频率的变化看出来 (见表 3, 引自文献[18])。

表 2 小冰期 3 个冷期中国气温距平 (°C) (引自文献[17])

冷期	年代	华北	华东	全国
I1	1450~1479	-0.29	-0.31	
I2	1490~1519	-0.06	-0.61	
II1	1560~1609	-0.47	-0.47	
II2	1620~1699	-0.63	-0.57	-0.47
III1	1790~1819	-0.45	-0.41	-0.40
III2	1830~1899	-0.32	-0.58	-0.30
20 世纪暖期	1920~1949	0.49	0.43	0.43

表 3 中世纪暖期与小冰期的旱涝型频率 (引自文献[18])

年代	1a	1b	2	3	4	5
中世纪暖期	16.0	16.4	26.4	16.0	14.8	10.4
小冰期	13.9	12.2	20.5	22.8	20.6	10.0
多年平均	16.6	14.5	22.4	19.1	16.9	10.5

注: 1a 多雨为主; 1b 长江多雨, 南、北少雨; 2 南多北少; 3 长江少雨, 南、北多雨; 4 北多南少; 5 少雨为主。频率超过平均时用黑体字标出

5 近百年气候变化

中国气温及降水量的观测记录在 1951 年之前除个别站之外没有完整的序列, 所以很难对近百年全国的气温及降水量变化趋势作出判断。最早的努力是杨鉴初、李小泉、张先恭等绘制的 1911 年以来中国气温等级图。张先恭等^[19]根据这个序列指出, 20 世纪

中国的气候变暖与北半球有很大的一致性。以后陈玉琼与丁梅^[20]又把这个序列延长到 1990 年, 分析了年与季的气温变化, 按原气温等级图的设计, 分 7 个区即东北、华北、长江、华南、西南、西北及新疆。但新疆在 50 年代之前没有记录, 而且这 7 个区中还不包括西藏及台湾。由于这些研究仅限于利用观测记录, 所以无法填补地区上的空白。

王绍武等^[21]利用史料、冰芯及树木年轮等代用资料对年平均气温进行了插补, 得到 1880 年以来全国 10 个区的平均气温距平序列。这个序列有几个特点: (1) 全国划分 10 个区, 区域范围是用 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度气温观测记录来划定, 而且覆盖面完整, 将以上谈到的 7 个区中的长江分为华东及华中两个区, 另加了西藏及台湾。(2) 每个区中选出 5 个代表站, 用其平均代表区平均, 5 个站中又有一个中心站, 在只有中心站观测时, 对方差作了调整。(3) 记录分 3 段时间, 1880~1910 年, 1911~1950 年及 1951 年以后。第 1 段时间除少数区以外, 以代用资料为主; 第 2 段时间以气温等级图为主; 第 3 段时间只用气温观测记录。图 3a 给出 1880~2000 年的中国气温距平, 这是按 10 个区的面积加权平均得到的, 距平为对 1961~1990 年平均的偏差。这个序列与过去的序列不同之处就是近百年气候变暖的趋势更明显。同样用 1880~1989 年资料, 旧序列得到的变暖趋势为 $0.09^{\circ}\text{C} / 100 \text{ a}$, 而新序列为 $0.37^{\circ}\text{C} / 100 \text{ a}$ ^[21]。这主要因为新序列包含了新疆与西藏的气温, 而这两个区在 19 世纪末到 20 世纪初气温较低缘故。

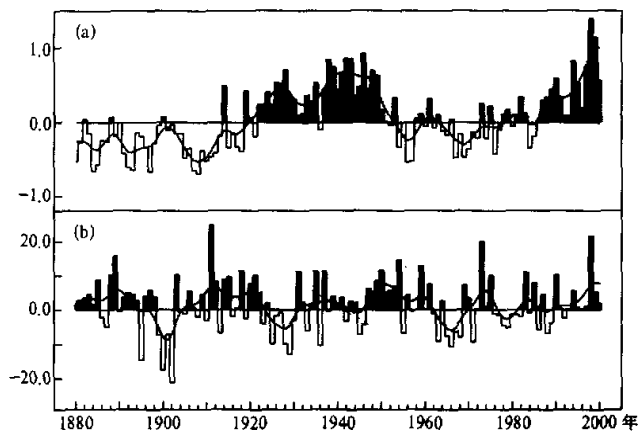


图 3 (a) 近百年中国平均气温 ($^{\circ}\text{C}$) 及 (b) 中国东部年降水量 (%) 对 1961~1990 年平均距平
(引自文献[21,22])

对近百年中国降水量变化的分析也受到观测资料残缺不全的困扰, 因此, 大部分研究主要限于 20 世纪后半叶。目前应用最多的是中国气象局国家气候中心预测室整理的全国 160 个站的序列。王伯民^[23]也建立了 384 个站的序列, 可惜这些序列均只开始于 1951 年, 无法反映近百年来中国降水量变化的趋势。章名立^[24]曾建立了近百年中国东部降水量序列, 但早期与后期站点数有很大差别, 序列有一定的不均匀性。杨鉴初等在

20世纪60年代初绘制了1900年以来的中国月降水等级图,可惜这份图没有能够正式出版。利用降水量等级图比较容易插补缺测的记录,不过1900年之前没有等级图可利用,1900年之后一些边远地区也较难插补。王绍武等^[22]利用各地出版的15种旱涝史料汇编,划分了1880~1899年四季的旱涝等级,并转换为季降水量;把1900~1950年降水量等级转换为月降水量,再合为季降水量;最后与1951~2000年降水量连接,得到35个站的1880~2000年四季降水量序列。这是一个比较均匀完整的降水量序列,35个站主要覆盖了100°E以东的地区。用近40年35个站求平均降水量,与以上165个站(160个站加台湾5个站)及384个站的平均降水量相关系数分别达到0.95及0.86,可见35个站的序列还是有较好的代表性。它的最大优点是站点分布均匀,序列前后所用站点一致,保证了序列均匀性及代表性。图3b给出1880~2000年中国东部降水量变化,序列也是对1961~1990年平均求距平,然后再换算为降水量距平百分比。可以看出,就东部平均而言,百年来降水量没有上升或下降趋势,而是以20~30年的年代际变率为主。

图4给出近50年气温及降水量变化趋势图^[25]。这是把观测记录插值到 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度格点的结果。图4a表明,近50年气温上升最多的地区是东北、内蒙古、新疆北部及青海。总的来讲,西部地区上升高于东部。特别是长江流域及东南升温很不明显。图4b给出降水量变化趋势。显然,其最主要的特点就是华北降水量减少,以及西部100°E以西降水量普遍增加。进一步分析表明西部降水量的增加与降水频率(>0.1 mm日数)的增加有关,而华北则雨日显著减少。这说明降水量的变化主要与降水频率的变化有关。当然,这里只是给出近50年气候变化的趋势,并不意味着今后继续或者不继续以这种速率变化,也不能直接说明气候变化的原因,尽管有证据表明近代的气候变暖可能与全球气候变暖有关^[26,27]。

6 小结

(1) 全新世中期大约8.5~3.0 kaBP中国存在一个大暖期,大暖期的最盛期气温可能比现代高 2°C 以上。不过最盛期出现的时间及强度可能因地而异。

(2) 尽管全新世的气候特征是暖湿,但其中有明显千年尺度气候振荡,这突出地表现为暖湿期中有短暂的冷事件,如8.2、5.0及3.0千年前。一般冷事件与干旱相对应,但气温与降水量的变化并不总是同步的。

(3) 近千年来气候变化有两个突出的特征时期,即中世纪暖期(公元900~1300年)及小冰期(公元1550~1850年)。中国东部有中世纪暖期,而中国西部则暖期不明显;中国东部有明显的小冰期,但中国西部小冰期的寒冷程度可能不如12世纪上半叶。

(4) 20世纪以来中国气候变暖,考虑了近期资料升温速率达到 $0.44^{\circ}\text{C}/100\text{a}$,而且近20~30年上升明显,与东亚地区的趋势一致。1998年是有观测记录以来最暖的1年,20世纪90年代是最暖的10年,这与全球平均气温变化的趋势一致。

(5) 近40年中国降水量变化的特点是西部增加,东部华北等地减少。有人认为西北地区气候的变暖变湿与全球温室效应加剧有关。从温度变化来看,最低温度的上升明

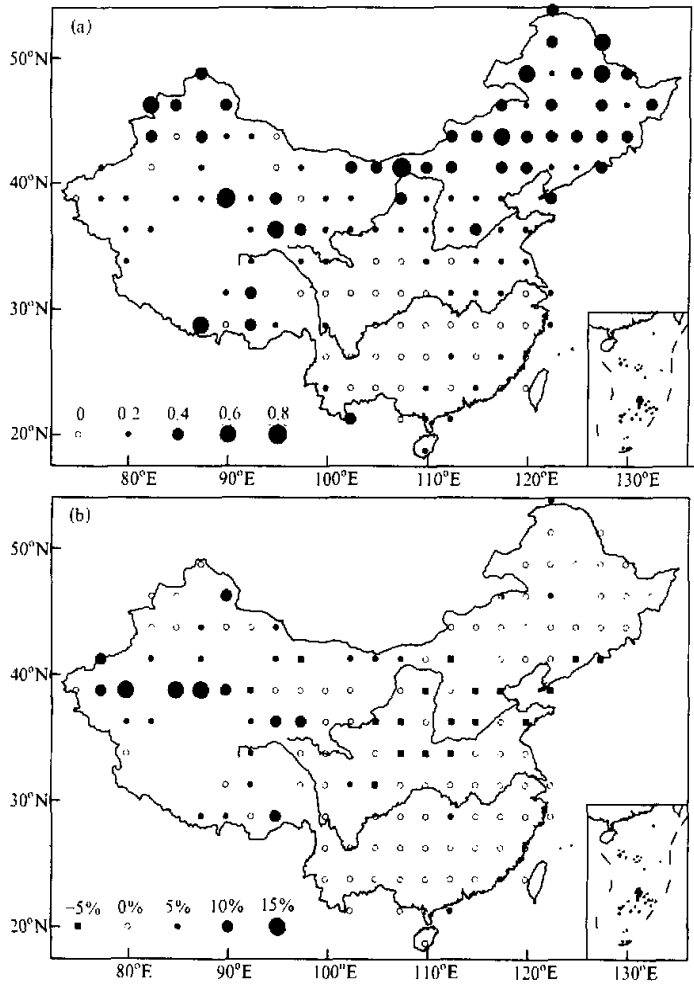


图4 中国 (a) 1951~2000 年年平均气温变化趋势 (°C/10 a) 及 (b) 年降水量变化趋势 (%/10 a)
(引自文献[25])

显高于最高温度可能是温室效应加剧的一个证据。

参 考 文 献

- 1 张兰生、方修琦、任国玉编, 全球变化, 北京: 高等教育出版社, 2000.
- 2 孔昭宸, 杜乃秋, 许清海等, 中国北方全新世大暖期植物群的古气候波动, 中国全新世大暖期气候与环境, 施雅风主编, 北京: 海洋出版社, 1992. 48~65.
- 3 施雅风, 孔昭宸, 王苏民等, 中国全新世大暖期气候与环境的基本特征, 中国全新世大暖期气候与环境, 施

- 雅风主编,北京:海洋出版社,1992,1~18.
- 4 王绍武,龚道溢,全新世几个特征时期的中国气温,自然科学进展,2000,10(4),325~332
- 5 Bond, G. C., W. Showers and M. Elhot et al., The North Atlantic's 1-2 kyr climate rhythm. Relation to Heinrich events, Dansgaard / Oeschger cycles and the Little Ice Age, In: *Mechanisms of Global Climate Change at Millennial Time Scales*, Clark, P., R. S. Webb and L. D. Keigwin, Eds., 1999, 35~58
- 6 Hameed, S., 龚高法,中国历史时期温度的变化、气候变化及其影响,张翼等主编,北京:气象出版社,1993,57~69.
- 7 安芷生,肖举乐,张景阳等,季风与最近13万年黄土高原的气候历史,黄土·第四纪地质·全球变化(1),刘东生主编,北京:科学出版社,1990,108~114.
- 8 工苏民,末次冰期以来沿海环境变化与古气候,第四纪研究,1990,10(3),223~232.
- 9 姚檀栋,施雅凤,祁连山敦德冰芯记录的全新世气候变化,中国全新世大暖期气候与环境,施雅凤主编,北京:海洋出版社,1992,206~211.
- 10 陈吉阳,天山乌鲁木齐河源全新世冰川变化的地衣学若干问题初步研究,中国科学:(B辑),1988,(4),95~104.
- 11 李吉均,西藏冰川的基本特征,西藏冰川,李吉均主编,北京:科学出版社,1986,37~66.
- 12 徐国昌,姚辉,李珊等编著,中国干旱半干旱区气候变化,北京:气象出版社,1997.
- 13 方修琦,天山托木尔峰地区7500年以来的气候变化,干旱区地理,1988,12(1),6~10.
- 14 竺可桢,中国近五千年来气候变迁的初步研究,考古学报,1972,2(1),15~38.
- 15 满志敏,张玮,中国东部4000 aBP以来的气候冷暖变化,中国历史气候变化,总主编施雅凤,本卷主编张不远,济南:山东科学技术出版社,1996,281~300.
- 16 张德二,朱淑兰,近五百年来我国南部冬季温度状况的初步分析,全国气候变化学术会议文集,中央气象局气象科学研究院天气气候研究所主编,北京:科学出版社,1981,64~70.
- 17 王绍武,叶瑾琳,龚道溢,中国小冰期的气候,第四纪研究,1998,18(1),54~63.
- 18 王绍武,赵宗慈,陈振华,公元950~1991年的旱涝型,长江黄河旱涝灾害发生规律及其经济影响的诊断研究,王绍武,黄朝迎等编著,北京:气象出版社,1993,55~66.
- 19 张先恭,赵濂,徐瑞珍,祁连山圆柏年轮与我国气候变化趋势,全国气候变化学术会议文集,中央气象局天气气候研究所主编,北京:科学出版社,1981,26~35.
- 20 陈玉琼,丁梅,近百年来我国年季气候的变化,气候变化规律及其数值模拟研究论文(第一集),85-913项目02课题论文编委会编,北京:气象出版社,1996,178~185.
- 21 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),392~401.
- 22 王绍武,龚道溢,叶瑾琳等,1880年以来中国东部四季降水量序列及其变率,地理学报,2000,55(3),281~293.
- 23 王伯民,我国降水标准序列的趋势变化分析,气候变化规律及其数值模拟研究论文(第一集),85-913项目02课题论文编委会编,北京:气象出版社,1996,200~206.
- 24 章名立,中国东部近百年雨量变化,大气科学,1993,17(4),451~461.
- 25 王绍武,龚道溢,翟益茂等,气候变化,中国西部气候·生态·环境演变评估(第一卷),秦大河主编,北京:科学出版社,2002,29~70.
- 26 陈隆勋,邵永宁,张清芬等,近四十年我国气候变化的初步分析,应用气象学报,1991,2(2),164~173.
- 27 赵宗慈,未来五十年温室效应对中国气候变化的可能影响,气候变化规律及其数值模拟研究论文(第一集),85-913项目02课题论文编委会编,北京:气象出版社,1996,170~178.

Studies on Climate Change in China

Wang Shaowu, Cai Jingning, Zhu Jinhong

(Department of Atmospheric Science, School of Physics, Beijing University, Beijing 100871)

Gong Daoyi

*(Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Institute of Resources Science,
Beijing Normal University, Beijing 100875)*

Abstract Studies on climate change in China carried out during the last decade or so were reviewed. An analysis was made on different time scales of temperature changes in China. Manifestation of millennial time scale oscillations, Megathermal, Mediaeval Warm Period, Little Ice Age, Modern Warming in the 20th century in China were examined.

Key words: climate change in China; Megathermal; Mediaeval Warm Period; Little Ice Age