

英国 CRU 高分辨率格点资料揭示的 20 世纪中国气候变化

闻新宇¹ 王绍武¹ 朱锦红^{1, 2} David VINER³

1 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871

2 Illinois State Water Survey, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, USA

3 Climatic Research Unit, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK

摘要 中国覆盖比较完整的台站观测始于 1951 年, 1951 年之前虽然有一些观测记录, 但是残缺不全。所以要建立更长的气候序列就要吸收代用资料, 但是代用资料可能与气候要素仅有一定程度的相关, 不可能一一对应, 因此应用代用资料重建的气候序列有一定的不确定性。英国 East Anglia 大学的 Climatic Research Unit (简称 CRU) 通过整合已有的若干个知名数据库, 重建了一套覆盖完整、高分辨率、且无缺测的月平均地表气候要素数据集, 时间范围覆盖 1901~2003 年, 空间为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 经纬网格覆盖所有陆地。这套资料和中国已有的气候数据相比具有如下优点: 第一, 中国西部 20 世纪前半期非常缺少观测, CRU 资料尽管包含插值带来的误差, 经比较仍可作为有一定信度的参考; 第二, 中国现有的百年温度序列只是年或季分辨率, 而 CRU 资料达到月分辨率; 第三, 建立这个序列仅使用观测结果, 做统计内插, 不包括代用资料所带来的不确定性。因此, CRU 的序列与用代用资料补充得到的序列在资料方面有较大不同, 比较这两个序列, 不仅可以进一步确认中国气候变化的特征, 也可以彼此校正。结果表明: (1) CRU 资料反映的全国年平均温度年际变化和考虑代用资料重建的序列吻合得很好, 相关系数达到 0.84; (2) 区域尺度上, 两者在 10 个典型分区的气温变率也相当一致, 相关整体保持在 0.8 左右, 仅新疆西南部和西藏西北部两者差异较大; (3) CRU 资料揭示的中国年总降水量在 1951~2000 年的变化与 160 站观测吻合, 相关系数达到 0.93; (4) CRU 资料的中国东部四季降水量和重建资料十分一致, 秋季一致性最好, 相关 0.93; (5) CRU 资料和重建的序列比较一致地表现出中国温度和降水年代际变化的主要特征, 其给出的 20 世纪 20 年代中国大旱和 20 世纪 40 年代中国高温的空间分布与作者过去的结论相一致。这表明, 作者过去重建的中国气候序列有比较大的可靠性, 而 CRU 资料也提供了新的信息, 特别是在 20 世纪前半期和中国西部。

关键词 中国气候 20 世纪 高分辨率 温度 降水

文章编号 1006-9895(2006)05-0894-11

中图分类号 P468

文献标识码 A

An Overview of China Climate Change over the 20th Century Using UK UEA/CRU High Resolution Grid Data

WEN Xin-Yu¹, WANG Shao-Wu¹, ZHU Jin-Hong^{1, 2}, and David VINER³

1 Department of Atmospheric Science, School of Physics, Peking University, Beijing 100871

2 Illinois State Water Survey, University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois, USA

3 Climatic Research Unit, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK

Abstract The operational observations in China started in 1951. The availability of instrumental observations is poor in the first half of the 20th century. Therefore, it is difficult to use them in discussing long-term climate change is-

sue. Although a number of proxy data could be used, the deficiencies are apparent, such as the coarse temporal and spatial resolution, etc. The University of East Anglia recently released the latest version of high resolution grid dataset, named as CRU-TS2.1. It is a completely covered monthly dataset of surface climatic variables. Compared with domestic observations, it has some merits concerning China climate change over the 20th century. Firstly, this dataset provides new information of the climate change over western China before 1950. Although it should be noted that the records are interpolated from observations, the results show significant correlation with the observation in the second half of the 20th century. Secondly, CRU dataset provides monthly mean fields, while domestic century-scale series is just annual mean or seasonal mean data in the first half of the 20th century. Moreover, there are not any proxy data included in the construction of this dataset, which can bring noise and uncertainty. Hence, comparison between the CRU dataset and domestic observations is the way to verify the characteristics of China climate change during the 20th century and to validate the quality of the dataset in both China and UK.

The results are as follows: (1) The interannual temperature variation is identical in both datasets. Their positive correlation coefficient is 0.84. They slightly differ from each other in the 1920s, when CRU underestimates the warming change in China, and therefore overestimates the warming trend of the whole century. (2) Even in the given 10 regional scales, both CRU and domestic data exhibit good consistency, apart from Tibet and Xinjiang areas. About one celsius degree bias is estimated by CRU in Tibet during the 1920s, which is the major difference from the reconstructed record. (3) The seasonal variability of precipitation over eastern China is identical in both series. The highest correlation coefficient (0.93) for 100 years among the four seasons is in autumn, while winter is the season that their correlation is the lowest one (0.77). (4) CRU data exhibits appropriate interdecadal variation of temperature and precipitation as shown in China records. Particularly, CRU dataset also presents some primary features before 1951, especially in western China, where and when no observational data can be available. Therefore, CRU high resolution grid data present a more complete picture of climate change in China over the 20th century.

Key words China climate, the 20th century, high resolution, temperature, precipitation

1 引言

研究中国气候总离不开两个基本要素: 温度和降水。温度的空间代表性好, 其冷暖变化往往覆盖上千公里的范围, 异常的热浪或冷冬对各种农作物产量有着很大的影响, 给人们日常生活也带来极大的不便, 因此温度是气候研究中的基本要素。降水是水循环的重要因子, 尽管空间尺度比温度小, 但气候意义上的旱涝范围也常常影响若干省份, 导致重大灾害的发生, 比如最近的 1991 年大水和 1998 年洪涝都备受关注。

系统的中国月气温、降水量资料是国家气候中心 (National Climate Center, 简称 NCC) 的 160 站序列, 但是 1951 年之前的记录残缺不全, 很难进行气候变化研究。张先恭等^[1]最早应用气温等级研究了中国的气候变暖。后来, 不少气象工作者^[2, 3]也试图建立近百年中国的气温变化曲线, 但早期与后期资料覆盖面差别过大, 影响了序列的代表性。任国玉等^[4]和唐国利等^[5]利用最高、最低温的平均值取代早期观测的平均值, 一定程度上避免了序列

的非均一性。王绍武等^[6, 7]则利用代用资料插补了中国 10 个区完整的年平均气温序列, 使得覆盖面问题和非均一性问题得到了解决, 但代用资料又带来了新的不确定性。近百年中国的降水序列, 比较长的是王绍武等^[8]建立的 1880 年以来中国东部的季降水量。因此, 从以上情况来看, 现有的中国气候序列在 20 世纪前期严重不足, 中国西部尤甚。

英国 East Anglia 大学的 Climatic Reserch Unit (简称 CRU) 通过整合已有的若干个知名数据库, 重建了一套覆盖完整、高分辨率、且无中断的地表气候要素数据集, 时间范围是从 1901 年至 2003 年。这套资料对于以上现有资料的各方面不足都有很大的改进, 成为一套较为完整的中国百年尺度气候变化数据集。本文即是对这套数据集的温度和降水要素做系统的检查, 通过与 NCC 观测以及我们重建序列的比较, 评估其可用性。以下各节内容依次是: 第 2 节简介这套 CRU 资料及本文所用到的数据, 第 3、4 节分别检查温度和降水两个变量, 第 5 节分析 CRU 资料所揭示的 20 世纪中国气候年代际变化的总图景, 最后在第 6 节对结果进

行必要的讨论。

2 资料简介

2005 年, CRU 释放了 Mitchell 等^[9]整理的最新的高分辨率地表气候变量数据集 CRU-TS2.1。该数据集提供了 9 个地表变量的 1901~2003 年月平均场, 空间分辨率达到 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ (约 50 km), 覆盖全球陆地, 无论高原还是沙漠均无缺测。这 9 个变量是: 平均温度、最高温度、最低温度、降水、云量、日较差、水汽压、霜日和露日。该数据集从 2000 年开始释放第一个版本, 其间不断更新观测, 加入第三方数据集并作计算上的调整, 到现在 CRU-TS2.1 已是第五个版本。它包含了国际上有代表性的若干数据集作为其数据源, 主要有 Jones^[10,11]、Hulme^[12]、GHCNv2 等^[13]和 New 等^[14]。该资料不包含卫星观测, 不使用模式同化, 仅使用并不复杂的数学方法对数据源进行整合和插值。详细的数据集介绍可参考文献^[9], 该数据集可以通过申请获得授权后使用^[15]。特别值得说明的是, 其在中国地区使用的台站资料包括了国家气候中心对外发布的 160 个气候基准站的观测资料, 还包括了一些通过个人通讯方式获得的有一定长度的非基准测站资料^[16]。具体的台站数量因变量不同而略有不同, 比如降水的台站多而温度的台站少, 但大体相当。这些台站的空间分布也并不均匀, 中国东部密集而西部相对稀疏, 特别是西藏地区近乎于空白, 但值得庆幸的是, 与青藏高原毗邻的中亚和南亚各国测站密集, 特别是印度, 这些密集的观测会对西藏数据的插值带来有意义的信息。本文使用了 CRU-TS2.1 数据集中的温度、最高温度、最低温度、降水和云量共 5 个变量。

本文使用的中国气候序列有 4 个来源: (1) NCC 的 160 站观测数据 (简称 NCC160), 包括近 50 年的温度和降水, 由 NCC 提供; (2) NCC 的 707 站 1971~2000 年气候态温度和降水 (简称 NCC707), 由 NCC 提供; (3) 在王绍武等^[6]工作基础上重建的 1880 年以来中国 10 区温度序列 (简称

Wang98); (4) 王绍武等^①重建的 1880 年以来中国东部 71 站降水序列。为了尽可能地展现 CRU 资料的质量, 所有用于比对的数据都取 1901~2000 年范围, 使用双线性插值算法, 将 NCC160 数据插值到与 CRU 资料相同的 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 格点, 王绍武等^①重建的中国东部 71 站降水资料也插值到 105° 以东的 CRU $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 格点, 以备下文比较使用。

3 温度

3.1 气候态差异

我们首先对比了 CRU 资料和 NCC707 站资料所描述 1971~2000 年年平均温度和降水气候态分布。两者降水场吻合很好, 温度气候态吻合也很好, 只是在青藏高原西北部存在偏差 (图略), CRU 在那里给出了较 NCC707 站低 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 的冷区。由于那里地处藏北无人区, 气候条件十分恶劣, 因此缺少可靠的观测, 现在还难以给出确切的结论。这里需要指出的是, 与 NCC707 站资料相比, CRU 资料对此处的插值包含了邻国观测的信息, 尤其是印度和哈萨克斯坦都有密集的台站观测, 这可以提高插值的准确性。另外, Jones^②对此问题的回答也指出: CRU 的资料充分考虑了高度订正, 这一地区平均海拔在 3500 m 以上, 出现如此大面积低温是可能的。

3.2 全国与区域的温度变化

张先恭等^[1]和丁一汇等^[17]分别在 20 世纪 80 年代和 90 年代对中国近百年来温度变化做过综述。陈隆勋等^[18]和王遵娅等^[19]也使用更新的资料分别对中国近 80 年和近 50 年的气候变化做了再分析。他们的工作主要有三个结论和待解决的问题: 第一, 中国 40 年代暖期的峰值和 90 年代暖期的峰值可比, 但究竟哪个更高还有争议, 有的学者倾向于 90 年代更暖^[18], 也有学者认为相反^[17]。第二, 西南地区在 50 年代之后持续变冷, 90 年代开始略暖, 其原因是什么也尚未定论。过去人们倾向于对局地气溶胶排放的讨论^[20], 最近李健等^[21]则认为北大西洋涛动信号的东传是重要原因。第三, 高纬度地区, 特别是黑龙江和新疆, 是 20 世纪中国增

① 国家自然科学基金重点项目 (批准号: 49635190) “20 世纪全球与中国气候变率研究” 成果, 由北京大学王绍武等和国家气候中心赵振国等完成。

② 个人通信

暖最显著的地区,但暖期略滞后于全球变暖,机制尚不清楚。限于篇幅,这里不准备详细讨论这些问题,但是,CRU 高分辨率资料可能对认识这些问题有所帮助。

王绍武等^[6]曾根据代表性分析将中国分为 10 个区(如图 1 右下角图所示),每区建立一条 1880 年以来的温度曲线,最后按照面积加权合成中国全国年平均温度变化曲线。现在用 CRU 资料可以用完全一样的方法直接给出这条曲线(如图 1 所示),平均值取 1901~2000 年气候平均。图 1 中同时比较了 CRU 的最高温度和最低温度,分别以阴影的上界和下界表示,为便于显示,实际最高温度应为图中距平加 5.5℃ 的偏移量,最低温度为图中距平减去 5.5℃ 的偏移量。通过两条曲线的对比可以得到如下结论:第一,我国 40 年代的暖期与 90 年代暖期可比,但略低于 90 年代,另外 40 年代暖期的特点是振幅很小,而 90 年代暖期的特点是年际变化振幅很大,有 3 个明显峰值(1990 年、1994 年和 1998 年)。第二,CRU 资料的百年增暖趋势达到 0.72℃,远高于 Wang98 估计的 0.41℃。不同作者应用不同长度的序列对中国 20 世纪变暖趋势的估计大体在 0.5~0.8℃ 之间^[22]。从图 1 中可以看出

两条曲线的主要差异在于 1920~1940 年间,Wang98 中是明显的正距平,而 CRU 给出了负距平估计,从而增加了趋势的斜率。第三,中国夜间最低温度的增幅远高于白天最高温度的增幅,特别是 80 年代以后,这与翟盘茂等^[23]基于观测资料得到的结论相一致。第四,百年相关 0.84,可见两套来源不同的资料比较一致地反映了中国百年温度的变化过程,甚至在 1950 年之前,两条曲线也相当接近。

在区域尺度上,CRU 资料的质量又如何?按照王绍武等^[6]定义的分区,图 2 展示了这 10 个区域的百年年平均温度曲线和相应的 Wang98 曲线,平均值取 1901~2000 年气候平均。每张分图左上角标记两者相关系数(r),右上角标记 CRU 资料(C)和 Wang98 资料(W)的百年线性趋势(单位:K/100 a),最高温度和最低温度的表示法与图 1 相似。根据相关系数可以发现,新疆和西藏是两个相关最差的区域,分别是 0.59 和 0.49,这可能同时来源于两方面的误差,一方面是 Wang98 在这两个区域应用了古里雅冰芯^[24]和敦德冰芯^[25]以及若干树轮资料,这些代用资料本身就存在误差;另一方面是 CRU 在西部缺少观测资料只能依赖数学插值从而带来虚假信息。其他 8 个区域的相关系

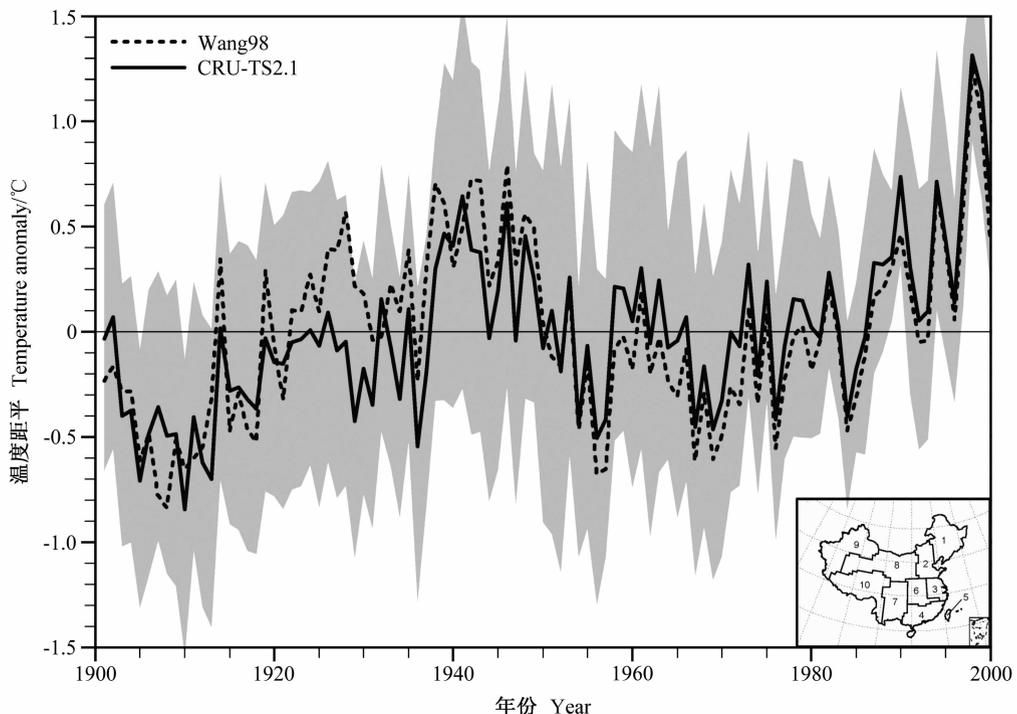


图 1 中国年平均温度距平。阴影上界为 CRU 年平均最高温度,下界为最低温度,修正偏移量±5.5℃

Fig. 1 Anomaly of annual mean temperature in China from 1901 to 2000. The base period is from 1901 to 2000. The top edge of shading represents the maximum temperature of CRU data with 5.5℃ offset, while the bottom edge is the minimum temperature with -5.5℃ offset

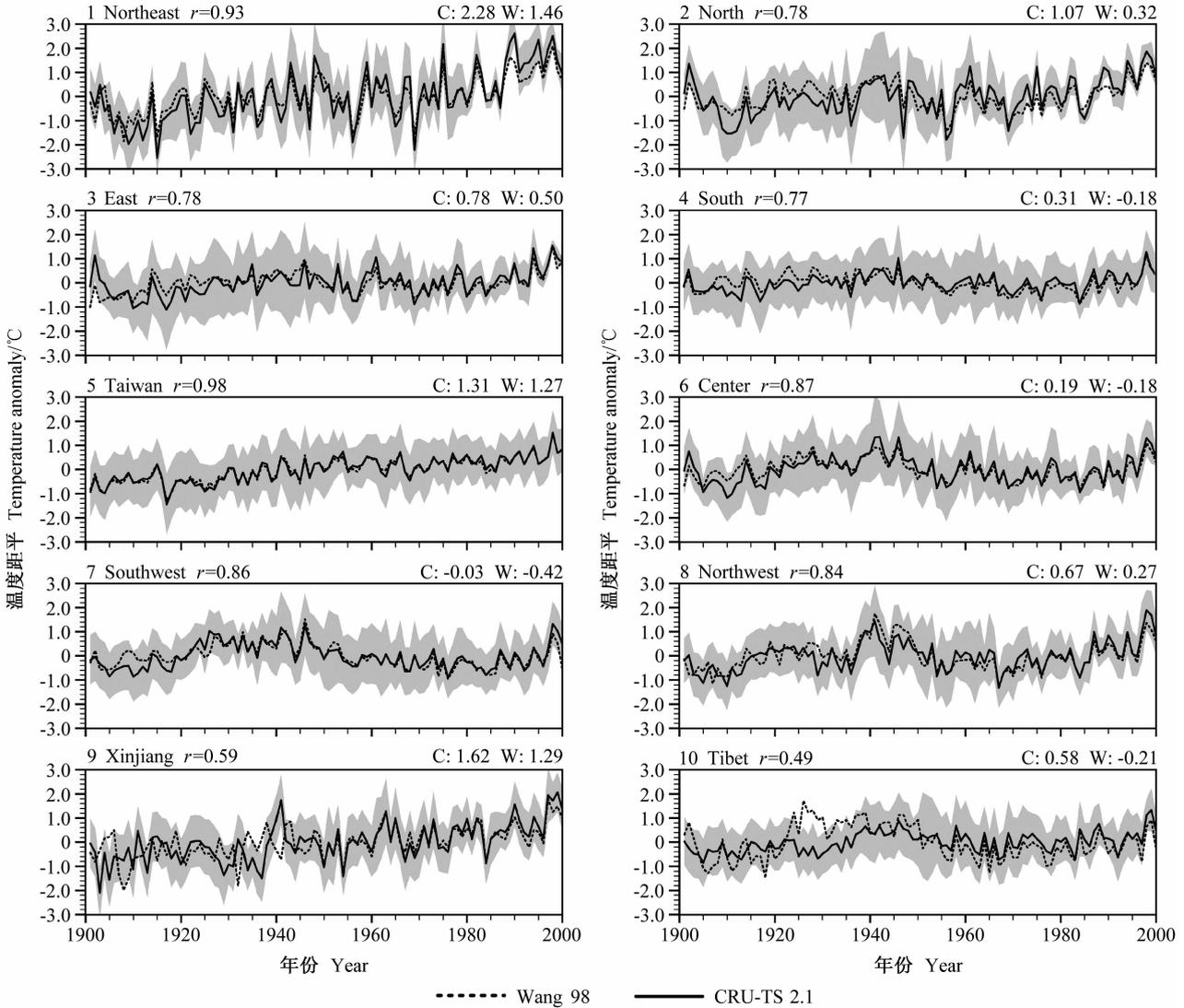


图2 中国10区区域年平均温度距平。灰色阴影上界为CRU年平均最高温度，下界为最低温度，各区修正偏移量依次为：1：±8.42℃，2：±7.15℃，3：±4.25℃，4：±3.35℃，5：±2.92℃，6：±4.16℃，7：±4.43℃，8：±7.98℃，9：±8.30℃，10：±7.21℃

Fig. 2 Anomaly of annual mean temperature in 10 regions of China from 1901 to 2000. The top edge of shading represents the maximum temperature of CRU data, while the bottom edge is the minimum temperature. The offsets for 10 regions: 1: ±8.42℃, 2: ±7.15℃, 3: ±4.25℃, 4: ±3.35℃, 5: ±2.92℃, 6: ±4.16℃, 7: ±4.43℃, 8: ±7.98℃, 9: ±8.30℃, 10: ±7.21℃

数都在0.77以上，最高的区域是台湾，相关竟达到0.98，也许Wang98和CRU在台湾的数据是同源的。另外，从线性趋势可以看出，CRU在北方的区域，如东北和华北等，普遍高估了百年变暖趋势。

另外，两个序列一致表现了各地变暖的非同步性。对于40年代的暖期，西南在1925年前后第一个进入，1938年前后华中、西北、新疆和西藏同时进入；而华北、华东和华南进入的时期则十分不明

显；东北和台湾地区甚至根本就没有这个暖期。对于90年代的暖期，各地进入时间可以分三类：东北、华北、西北和新疆地区于1987后最先进入；华东、华南和台湾地区大致于1990后开始变暖；西藏、西南和华中则是到90年代中期之后才进入暖期。

4 降水的年际变化和季节性差异

由于降水观测的特殊性，长时间降水序列的建

立一直是个难题。王绍武等^①利用史料重建了中国东部 35 站 1880 年至今的季平均降水序列，后来又进一步升级到 71 站，前后覆盖面均匀并达到 120 多年的长度。国外的百年长度降水数据被广泛接受的是英国 Hulme^[12]的资料，贾朋群^[26]曾对 Hulme^[12]

的降水格点资料与我国观测资料进行过对比，结论是虽然分辨率不高但基本保持了近百年中国降水的大尺度特征，说明 Hulme^[12]所掌握的数据源是基本可靠的。而 CRU 这套数据集，降水变量参考了 4 个数据源，其中 Hulme 降水^[12]是最主要的一个。

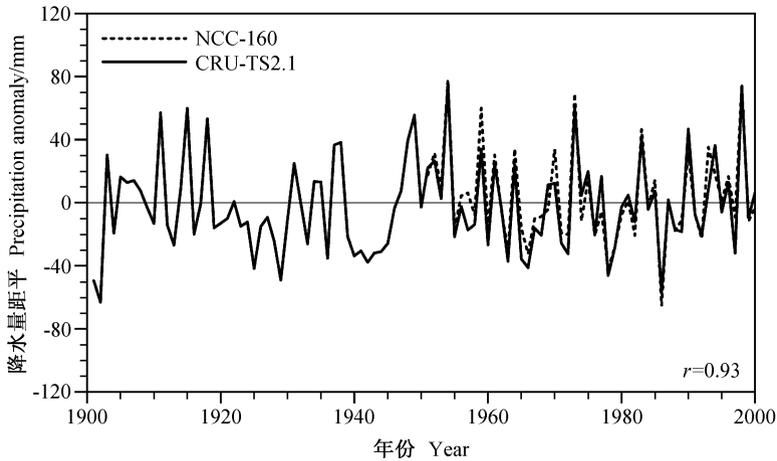


图 3 中国全国年平均降水量距平。平均值取 1951~2000 年气候平均

Fig. 3 Anomaly of annual mean precipitation in China from 1901 to 2000. The base period is from 1951 to 2000

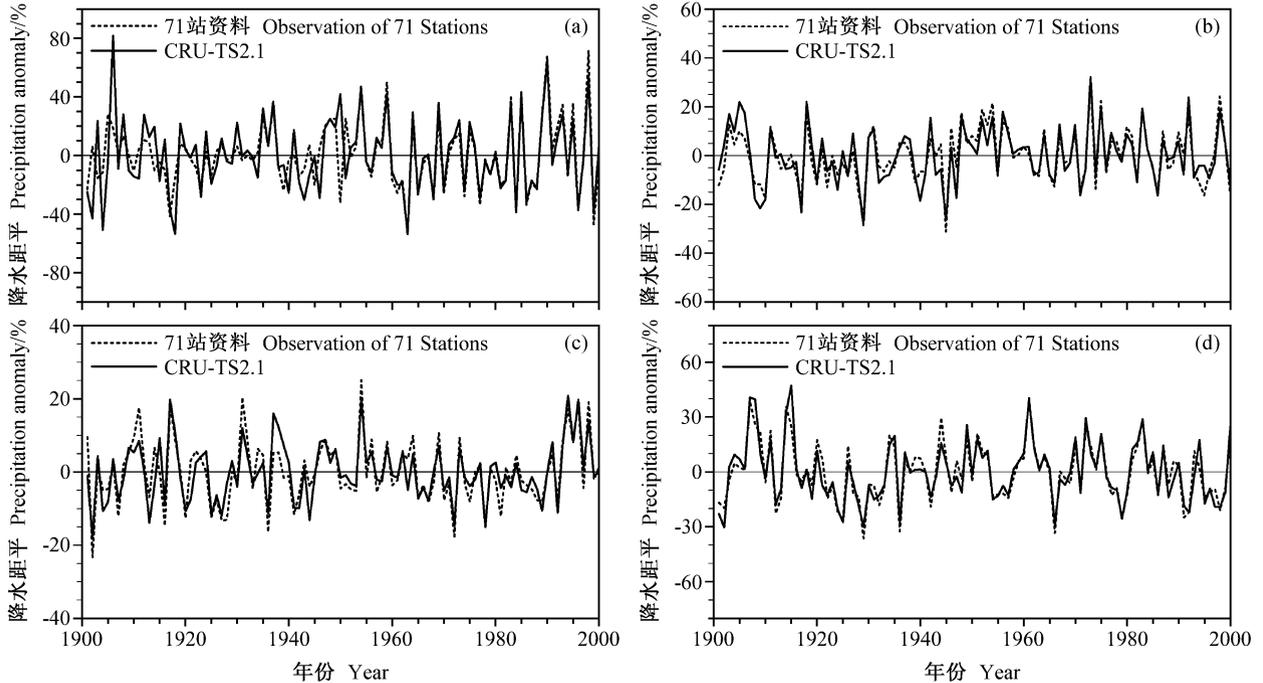


图 4 中国东部（定义为 105°E 以东地区）四季降水量距平：(a) 冬季；(b) 春季；(c) 夏季；(d) 秋季。平均值取 1901~2000 年气候平均

Fig. 4 Anomaly of seasonal precipitation in the eastern part of China (to the east of 105°E): (a) Winter; (b) spring; (c) summer; (d) autumn. The base period is from 1901 to 2000

① 国家自然科学基金重点项目（批准号：49635190）“20 世纪全球与中国气候变率研究”成果，由北京大学王绍武等和国家气候中心赵振国等完成。

与温度相似,一直以来由于缺少资料很难给出 20 世纪中国年平均降水量曲线。而 CRU 数据揭示的该曲线(如图 3 所示)则清晰地表现了中国 20 世纪降水变化的情况,尽管可能存在一定的误差,特别是前半期。通过与 NCC160 资料的对比,两者在后 50 年相关达到 0.93,可以认为 CRU 资料具有相当高的可信度。从图 3 中可以看出中国降水在 20 世纪演变的过程:1901~1920 年全国降水丰沛;20 年代是 20 世纪全国偏旱的 10 年;30 年代又是一个湿润期;40 年代头 5 年全国经历了罕见的连续干旱,其中像 1941 年大旱给当时农业带来严重影响;1947~1957 年是我国又一个湿润期,特别是北方地区尤其明显;60 年代之后,全国降水量并没有长期的干湿期特征,主要是以各种不同的分布型之间的不断转换为特征。从图 3 中根据 CRU 曲线的距平值可以给出中国 20 世纪大涝前 5 名的是:1954 年、1998 年、1973 年、1915 年和 1911 年;大旱前 5 名是:1902 年、1986 年、1929 年、1978 年和 1925 年。

中国东部(105°E 以东)是我国最主要的人口聚居地和农业区,又是典型的季风性气候,因此探讨 20 世纪中国东部四季降水量的变化是有意义的。图 4 是根据 CRU 数据和王绍武等^[8]重建的降水序列计算的 20 世纪中国东部四季降水距平变化图。由于这里只考虑中国东部,因此排除了观测最少的新疆、西藏等地,因而两套资料四季的相关系数都相当高,春秋最好,冬夏较差。根据图 4 总结四季的降水变化特点如下:冬季年代际信号不明显,1960~1990 年略偏少,90 年代偏多,年际变化较明显;春季在 50 年代和 70 年代经历了多雨期,20 年代和 1910 年前后和 1940 年前后经历了少雨期,特别是从 60~70 年代以来,呈减少的趋势,这可能与我国北方春季沙尘暴增多相对应;夏季是有最强年代际变化信号的季节,特别是 1950 年之后,总降水持续减少,直到 90 年代又陡然上升到多雨期,表现了与全国年平均相似的变化特征;秋季在 20 世纪初经历了 10 多年的多雨期,20 年代转入少雨期,1950 年之后有缓慢减少的趋势,90 年代确实是降水明显偏少的。

5 中国气候的年代际变化

本节将讨论温度、降水和云量在年代际尺度上的空间分布的变化情况,这将有助于我们更清楚地理解中国 20 世纪气候变化的全景。王绍武等^[27]和杨保^[28]曾宏观地讨论中国近百年气候变化在全新世和小冰期以来的地位和特点,这里则意在具体描述每 10 年的变化过程。图 5 是每 10 年平均的 3 个要素的距平场,讨论的重点是 1950 年之前的演变情况,其完整的空间覆盖是对过去研究的有益补充。这里之所以除温度和降水外还给出云量,是因为我国 1950 年之前的云量资料几乎空白,而 CRU 数据集含有“云量”这个难得的变量。为了尽可能挖掘 CRU 资料的实际意义,将年代际尺度上的云量与温度和降水相比较,利用三者之间的物理关系来验证云量的可靠性,是一条比较有效的途径。

1901~1910 年是寒冷的 10 年。全国平均温度距平达到 -0.5°C ,这段冷期延续到 1915 年才结束。降水南多北少,江淮流域偏多 5%,东北偏少 10%,西南地区偏少。东北少雨的同时伴随云量减少。

1911~1920 年,全国温度开始回升,但东部依然寒冷。江南大部多雨,长江以北特别是东北北部和新疆少雨,呈南多北少的分布。云量特征和降水不匹配,可能存在一定问题。

1921~1930 年是大旱的 10 年。除东北、新疆和西藏外,中国大部地区温度开始增暖。降水全国偏少,从华南到东北形成一大片的旱区,个别地区如长江中下游旱情严重。云量和降水一致,整个东部云量严重偏少 10%。根据王绍武等^①整合观测和代用资料得到的序列(用相同的分析给出图 6),也存在东部一整片旱区,西南略湿,新疆和西藏的干湿不确定性较大。两套资料是基本相似的。

1931~1940 年,以西南地区为中心,全国温度继续回升。全国降水正常略偏多,像 1931 年大水是 20 世纪中国排名第三的洪涝。东部表现为长江黄河和东北多雨。云量表现为南北两支雨带型,即江南和华北少云,黄河长江之间、以及东北多云。图 6 的重建资料也表明,黄河长江和东北是这十年

① 国家自然科学基金重点项目(批准号:49635190)“20 世纪全球与中国气候变率研究”成果,由北京大学王绍武等和国家气候中心赵振国等完成。

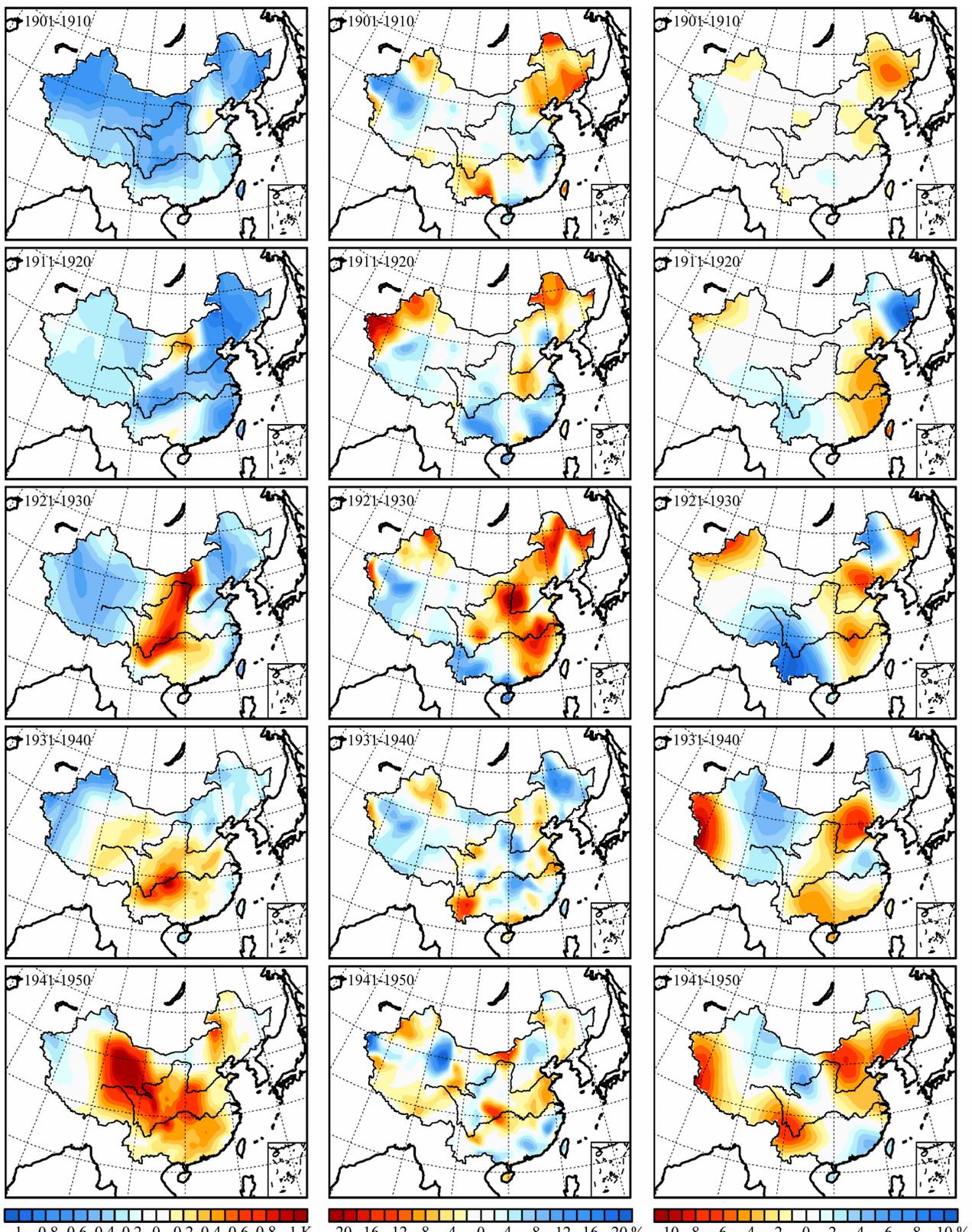


图 5 中国年代际温度、降水量和云量距平空间分布的演变：左边是温度距平场；中间是降水距平百分率场；右边是云量距平百分率场。

平均值取 1901~2000 年气候平均

Fig. 5 Decadal variations of temperature (left), precipitation (middle) and cloud cover (right) in China. The mean is taken as 1901 - 2000 climate mean

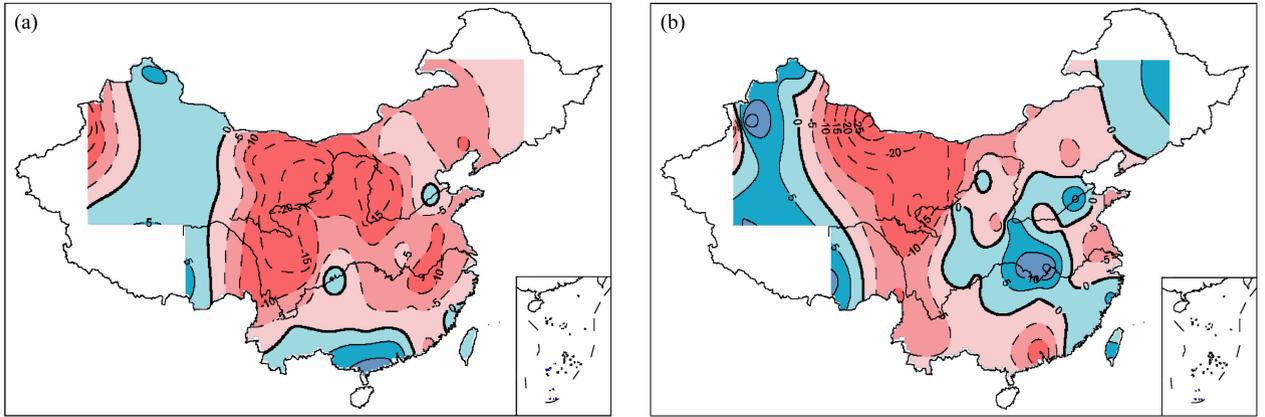


图6 中国20世纪20年代(a)和30年代(b)的降水距平百分率。平均值取1961~1990年气候平均(引自文献[34])

Fig. 6 Anomaly percentage of 10-year averaged precipitation in China for the 1920s (a) and the 1930s (b) (from reference [34]). The base period is from 1961 to 1990

的多雨区,与CRU资料一致。

1941~1950年,是20世纪前半期最热的10年,其热的程度可与90年代相比。不同的是,这一时期的暖中心在我国中部地区,而90年代变暖的暖中心在东北、内蒙古和新疆地区。40年代前5年,全国连年大旱,但后5年降水显著增加,因此10年平均的特征并不明显,只表现为南北两支雨带型。而云量却表现出南多北少的分布。

1951年后,除西南地区外,全国其他地区逐渐变暖,特别是东北、华北和新疆增温显著。新疆地区的由干转湿,东北地区经历了由湿变干再变湿的过程,华北和黄淮在经历了50~60年代的多雨期后持续减少,长江和江南在90年代显著增加。我国东部地区云量以华北为中心先多后少,西部地区云量逐渐增多。这段时期此类研究工作^[29~33]很多,结论也比较一致。

6 结论

探讨中国气候变化,首先遇到的是资料问题。我国在20世纪前半期十分缺少观测资料,西部地区尤甚,而CRU这套高分辨率版格点数据集给了我们一个容易接受的选择。经本文初步评估认为:CRU高分辨率版格点资料,有较高的可信度,比较完整地描述了中国20世纪气候变化的基本特征。具体而言,有以下结论:

(1) CRU序列和使用代用资料重建的序列一致表现出中国40年代暖期和90年代暖期具有可比性,90年代略高。但空间分布型不一样,40年代

以中部地区暖为主,这可能与大气环流本身的自然变化有关;而90年代暖期以东北、内蒙古和新疆地区暖为主,现在认为主要由人类活动引起^[35]。

(2) 从区域尺度上看,CRU资料和重建序列都表现出各地年代际变化的不一致性。对于40年代的暖期,西南在1925年前后第一个进入,1938年前后华中、西北、新疆和西藏同时进入;而华北、华东和华南进入的时期则十分不明显;东北和台湾地区甚至根本就没有这个暖期。对于90年代的暖期,各地进入时间可以分三类:东北、华北、西北和新疆地区于1987后最先进入;华东、华南和台湾地区大致于1990后开始变暖;西藏、西南和华中则是到90年代中期之后才进入暖期。

(3) CRU给出的全国降水量的年代际变化明显。1901~1920年全国降水丰沛;20年代是20世纪全国大旱的10年;30年代又是一个湿润期;40年代头5年全国经历了罕见的连续干旱;1947~1957年是我国又一个湿润期,特别是北方地区尤其明显;60年代之后,全国降水量并没有长期的干湿趋势。

(4) CRU序列和重建的中国东部夏季降水序列都有很强的年代际变化信号。特别是1950年之后,由于华北降水不断减少,东部总降水量也持续减少,直到90年代,由于长江和江南进入多雨期,东部降水量便陡然上升。

(5) 从资料上说,CRU序列和重建的序列所描述的中国20世纪气候变化的过程有相当大的一致性。只是西藏和新疆差别稍大,特别是西藏于20

世纪 20 年代两者差异比较显著, 这直接导致了二者对百年变暖趋势的不同估计。这可能反应了代用资料的不确定性, 也可能是由于缺少观测记录导致的内插结果误差较大。无论如何, 两个序列在这些地区的差异表明它们尚有一定的不确定性。

(6) 然而, 并不能认为 CRU 序列是完美无缺、完全准确的。特别在 20 世纪前半期的中国西部, 该序列也是通过观测资料插值得到的。如图 6 就显示出使用代用资料重建的数据与 CRU 的结果有所不同。因此, 继续开发新的代用资料, 仍然不失为一个重要的重建过去气候的途径。但毫无疑问, CRU 序列在充分应用观测资料方面是一个良好的范例。

参考文献 (References)

[1] 张先恭, 李小泉. 本世纪中国气温变化的某些特征. 气象学报, 1982, **40**: 198~208
Zhang Xiangong, Li Xiaoquan. The variation characteristics of temperature in China in this century. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1982, **40**: 198~208

[2] 屠其璞. 近百年以来我国气温变化的趋势和周期. 南京气象学院学报, 1984, **2**: 151~162
Tu Qipu. Trend and periodicity of temperature change in China during the past hundred years. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1984, **2**: 151~162

[3] 唐国利, 林学椿. 1921-1990 年我国气温序列及变化趋势. 气象, 1992, **18**: 3~6
Tang Guoli, Lin Xuechun. Average air temperature series and its variations in China in 1921-1990. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1992, **18**: 3~6

[4] 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展. 气候与环境研究, 2005, **10** (4): 701~716
Ren Guoyu, Chu Ziyang, Zhou Yaqing, et al. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (4): 701~716

[5] 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
Tang Guoli, Ren Guoyu. Reanalysis of surface air temperature change of the last 100 years over China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (4): 791~798

[6] 王绍武. 近百年以来我国气温变化的趋势和周期. 气象, 1990, **16** (2): 11~15
Wang Shaowu. Variations of temperature in China for the 100 year period in comparison with global temperatures. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1990, **16** (2): 11~15

[7] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢. 近百年中国气温序列的建立. 应

用气象学报, 1998, **9**: 392~401
Wang Shaowu, Ye Jinlin, Gong Daoyi. Construction of mean annual temperature series for the last one hundred years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1998, **9**: 392~401

[8] 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**: 281~293
Wang Shaowu, Gong Daoyi, Ye Jinlin, et al. Seasonal precipitation series of eastern China since 1880 and the variability. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2000, **55**: 281~293

[9] Mitchell T, Jones P D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int. J. Climatol.*, 2005, **25**: 693~712

[10] Jones P D. Hemispheric surface air temperature variations: A reanalysis and update to 1993. *J. Climate*, 1994, **7**: 1794~1802

[11] Jones P D, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *J. Climate*, 2003, **16**: 206~223

[12] Hulme M. A 1951-80 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models. *Climate Dynamics*, 1992, **7**: 57~72

[13] Peterson T C, Vose R, Schmoyer R, et al. Global Historical Climatology Network (GHCN) quality control of monthly temperature data. *International J. Climatology*, 1998, **18**: 1169~1179

[14] New M, Hulme M, Jones P D. Representing twentieth century space-time climate variability. Part 2: Development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate. *J. Climate*, 2000, **13**: 2217~2238

[15] http://www.cru.uea.ac.uk/~timm/grid/CRU_TS_2_1.html

[16] New M, Hulme M, Jones P D. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part 1: Development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. *J. Climate*, 1999, **12**: 829~856

[17] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化. 气象, 1994, **20**: 19~26
Ding Yihui, Dai Xiaosu. Temperature variation in China during the last 100 years. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1994, **20**: 19~26

[18] 陈隆勋, 周秀骥, 李维亮. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制. 气象学报, 2004, **62**: 634~646
Chen Longxun, Zhou Xiuji, Li Weiliang. Characteristics of the climate change and its formation mechanism in China in last 80 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2004, **62**: 634~646

[19] 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析. 气象学报, 2004, **62**: 228~236

- Wang Zunya, Ding Yihui, He Jinhai, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2004, **62**: 228~236
- [20] 罗云峰, 吕达人, 李维亮. 近 30 年来中国地区大气气溶胶光学厚度的变化特征. *科学通报*, 2000, **45**: 549~554
- Luo Yunfeng, Lv Daren, Li Weiliang. The variation characteristics of the optical distance of atmospheric aerosols in China during the past 30 years. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 2000, **45**: 549~554
- [21] Li Jian, Yu R, Zhou T, et al. Why is there an early spring cooling shift downstream of the Tibetan Plateau? *J. Climate*, 2005, **18**: 4660~4668
- [22] 王绍武, 伍荣生, 杨修群. 第二章: 中国的气候变化. 见: 秦大河编. 中国气候与环境演变(上卷), 气候与环境的演变及预测. 北京: 科学出版社, 2005. 63~103
- Wang Shaowu, Wu Rongsheng, Yang Xiuqun. Chapter 2: Climate change in China. *Climate and Environment Changes in China*, Vol. I: *Climate and Environment Changes in China and Their Predictions*, Qin Dahe, Ed. Beijing: Science Press, 2005. 63~103
- [23] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化. *气象学报*, 1997, **55**: 418~429
- Zhai Panmao, Ren Fumin. On changes of China's maximum and minimum temperatures in the recent 40 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1997, **55**: 418~429
- [24] 姚檀栋, 焦克勤, 杨梅学. 古里雅冰芯中小冰期以来的气候变化. *中国科学(B)*, 1995, **10**: 1108~1114
- Yao Tandong, Jiao Keqin, Yang Meixue. Climate change since Little Ice Age in Gulia ice-core record. *Science in China* (Ser. B) (in Chinese), 1995, **10**: 1108~1114
- [25] 霍文冕, 姚檀栋. 敦德冰芯 19 世纪中叶以来的环境记录, *地球化学*, 2001, **30**: 203~207
- Huo Wenmian, Yao Tandong. Environmental record in the Dundee ice core since the middle of the 19th century. *Geochimica* (in Chinese), 2001, **30**: 203~207
- [26] 贾朋群. 近百年中国降水的测站资料和格点化资料对比. *应用气象学报*, 1999, **10**: 181~189
- Jia Pengqun. Comparison between observational data and grid data of precipitation for the last one hundred years in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1999, **10**: 181~189
- [27] 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**: 325~332
- Wang Shaowu, Gong Daoyi. Temperature in China in some specific periods of Holocene. *Progress in Natural Sciences* (in Chinese), 2000, **10**: 325~332
- [28] 杨保. 小冰期以来中国十年尺度气候变化时空分布特征的初步研究. *干旱区地理*, 2001, **24**: 67~73
- Yang Bao. Preliminary study on the temporal and spatial distribution of climatic variations in a decadal resolution since the Little Ice Age. *Arid Land Geography* (in Chinese), 2001, **24**: 67~73
- [29] 李克让, 王维强. 近四十年来中国气温的长期变化趋势. *地理研究*, 1990, **4**: 26~37
- Li Kerang, Wang Weiqiang. The long-range variational trend of temperature in China from 1951 to 1988. *Geographical Research* (in Chinese), 1990, **4**: 26~37
- [30] 林学椿, 于淑秋. 近 40 年中国气候趋势. *气象*, 1990, **10**: 16~21
- Lin Xuechun, Yu Shuqiu. The climate trend in China in recent 40 years. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1990, **10**: 16~21
- [31] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬, 等. 近四十年来中国气候变化的初步分析. *应用气象学报*, 1991, **2**: 164~173
- Chen Longxun, Shao Yongning, Zhang Qingfen. A basic analysis of climate change in China in recent 40 years. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1991, **2**: 164~173
- [32] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际及华北干旱化趋势. *高原气象*, 1999, **18**: 465~476
- Huang Ronghui, Xu Yuhong, Zhou Liantong. The interdecadal variation of summer precipitations in China and the drought trend in northern China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18**: 465~476
- [33] 魏凤英, 曹鸿兴, 王丽萍. 20 世纪 80-90 年代我国气候增暖进程的统计事实. *应用气象学报*, 2003, **14**: 79~86
- Wei Fengying, Cao Hongxing, Wang Liping. Climatic warming process during 1980s-1990s in China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2003, **14**: 79~86
- [34] 王绍武, 蔡静宁, 朱锦红. 19 世纪 80 年代到 20 世纪 90 年代中国年降水量的年代际变化. *气象学报*, 2002, **60**(5): 637~639
- Wang Shaowu, Cai Jingning, Zhu Jinhong. The interdecadal variations of annual precipitation in China during 1880's-1990's. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2002, **60**(5): 637~639
- [35] 王永光, 龚振淞, 许力, 等. 中国温度、降水的长期气候趋势及其影响因子分析. *应用气象学报*, 2005, **16** (Suppl.): 85~91
- Wang Yongguang, Gong Zhensong, Xu Li, et al. Analysis of long trend of temperature and precipitation in China and its influencing factors. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2005, **16** (Suppl.): 85~91