

近几十年中国极端气候变化格局*

严中伟 杨 赤

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 以 1951~1997 年间 61 站的逐日气象观测为基础, 揭示了中国区域气候要素极值的变化格局。北方极端最低温普遍上升 5~10℃, 是冬季寒潮减弱的数值化标志; 极端最高温在很多地区都有所降低, 但在高原却普遍上升, 原因待考; 引人注目的北方干旱化问题主要反映在微量降水事件的显著减少, 而在降水量上并无显著反映; 极端风速普遍减弱 1~3 m/s, 反映了剧烈天气活动(如寒潮、台风)强度的减弱。在很多情形下, 极端气候变化可达平均气候变化的 5~10 倍, 而另一些情形下, 极端气候完全逆平均气候而变化, 说明了极端气候独特的研究价值。

关键词: 气象观测; 气候极值; 区域变化

1 引言

气候极值指一定时段内气候要素所达到的极端值, 如日最低温度、季最强风速和年最大降水等。与通常所见的年平均或月平均气候不同, 气候极值更直接地与极端气候事件(如强寒潮、台风、异常高温和洪水等)相联系。极端气候事件是否会随近百年全球变暖而增多或加强, 是各界广泛关注的问题。近年来, 人们试图从一些观测和模拟结果中探寻极端气候变化的迹象, 但限于资料和模式水平而无法取得确凿结论^[1]。进一步的气候极值资料分析和相应的模拟研究是必要的。

就中国区域而言, 不少研究者曾分析季平均或年平均的一些极值要素(如日最低温度和最高温度等)的变化^[2~4]。这种较长时段的平均可能平滑掉一些重要的数值特征, 对极端气候变化的定量评估是不利的。有趣的是, 美国学者 Karl 收集了不少逐日气象观测并计算过中国区域平均的极端气温和降水变化趋势^[5]。但考虑到中国地域之广大和气候之多样性, 大范围平均将抹杀地区分布特征, 也不便于和模拟研究作恰当的比较。本文利用中国近几十年的逐日气象观测, 分析极端最低和最高温度、最大和最小降水及最强风速等极值性要素变化趋势的区域分布, 从一个新的角度对中国近年来的气候变化格局给出定量描述; 同时分析了极端气候变化之于传统研究中平均气候变化的关系, 为进一步的理论和模拟研究奠定基础。

2 资料及其处理

所选 61 站逐日气象观测资料由国家气象中心提供。站点分布与中国科学院大气物

1999-03-26 收到, 1999-06-07 收到修改稿

* 本工作得到国家重点基础发展规划项目(G1999043400)、中国科学院资源与生态环境研究重大项目(KZ951-A1-402)和中国科学院大气物理研究所所长重点基金资助

理研究所为中美气候合作研究而整编的中国 60 站气候资料^[6]的站点基本相同。过去的工作^[7]表明, 该 60 站所反映的大尺度气候变化格局同更多站点资料所反映的结果基本一致。记录时段自建站起至 1997 年底。大部分记录的起始时间为 1951 年, 少数为 50 年代中后期。

基本资料为逐日最高、最低和平均温度、降水量以及日平均风速。它们代表气候研究中的一些最基本要素。其中缺测记录约占 0.5%。这对文中一些量的定义及其趋势估计会有一定影响。为减消其影响, 我们做了专门的补插。将缺测年附近 10 年的当日观测值作为样本, 利用等概率随机数发生器, 随机选取其中一个值代替缺测。这种处理对于本文研究对象及其较长期趋势的估计来说, 结果可能稍偏于保守, 但不至于导致本质的影响^[8]。在用最小二乘线性趋势来表示近几十年来的平均变化程度的同时, 还计算 Mann-Kendall 趋势检验值^[9], 用以判断所得趋势是否仅仅是偶然性的起伏。

3 极端温度和风速的变化格局

考虑单个记录可能存在的偶然性, 我们用每年 10 个最极端记录的平均来表示该年度的极端气候状况。图 1 给出近半个世纪中国极端温度和风速变化线性趋势的分布格局。其中加黑的数值表示 Mann-Kendall 意义上的显著趋势。

极端最低温度普遍增高, 尤其北方广大地区 50 年增长幅度达到 5℃ 以上, 个别站甚至达到 10℃, 是近年来暖冬盛行的一个数值化特征。图 1a 中 5℃ 增温等值线的形态正是中国冬季寒潮最直接影响到的范围, 说明近几十年高纬亚洲大陆冬季强冷空气活动减弱。关于全球温度变化的分析也表明, 近几十年亚洲北部大陆的确是增温最为剧烈的地区^[10], 这是中国特别是北方地区极端气候变化的一大背景。除西南部分地区外, 南方极端最低温度增长 2℃ 左右。

极端最高温度变化趋势较小, 大部分地区不显著。成片的增温主要出现于高原地区, 尽管不都显著。高原站点普遍增温的原因值得进一步研究。中国东部多呈现降温, 这一形态与过去用季和年平均资料分析结果类似^[2], 可能与工业排放气溶胶在日间影响较大且在中国东部的降温效应较大有关^[11]。

极端风速普遍减弱。从西北到东北及东南沿海的一些地区都出现了 50 年间减小 3 m/s 的剧烈变化。北方地区的极端风速主要和强寒潮相联系, 其减小印证了上面提到的冬季强冷空气活动减弱的推断。东南沿海地带的极端风速还与台风等强对流天气活动有关, 其减小可能说明强风暴天气强度有所减弱。最近的研究表明, 近几十年来影响中国的台风数量和强度的确有所减小^[12]。图 1c 从另一侧面给出了这一事实的数值化特征。

4 极端降水事件的变化格局

降水事件并非每天都有, 我们用 1 年内最大的 5 个日降水量记录的平均来表示该年的极端最大降水强度。降水记录中的 0 表示仪器分辨率以下的微量降水 (即俗称的毛毛雨) 事件, 其多寡也从一个极端的侧面反映大气湿润状况。在日分辨率的资料基础上,

以 0 降水日数来表示毛毛雨事件的多寡是自然的。图 2 给出极端降水变化趋势的分布格局。

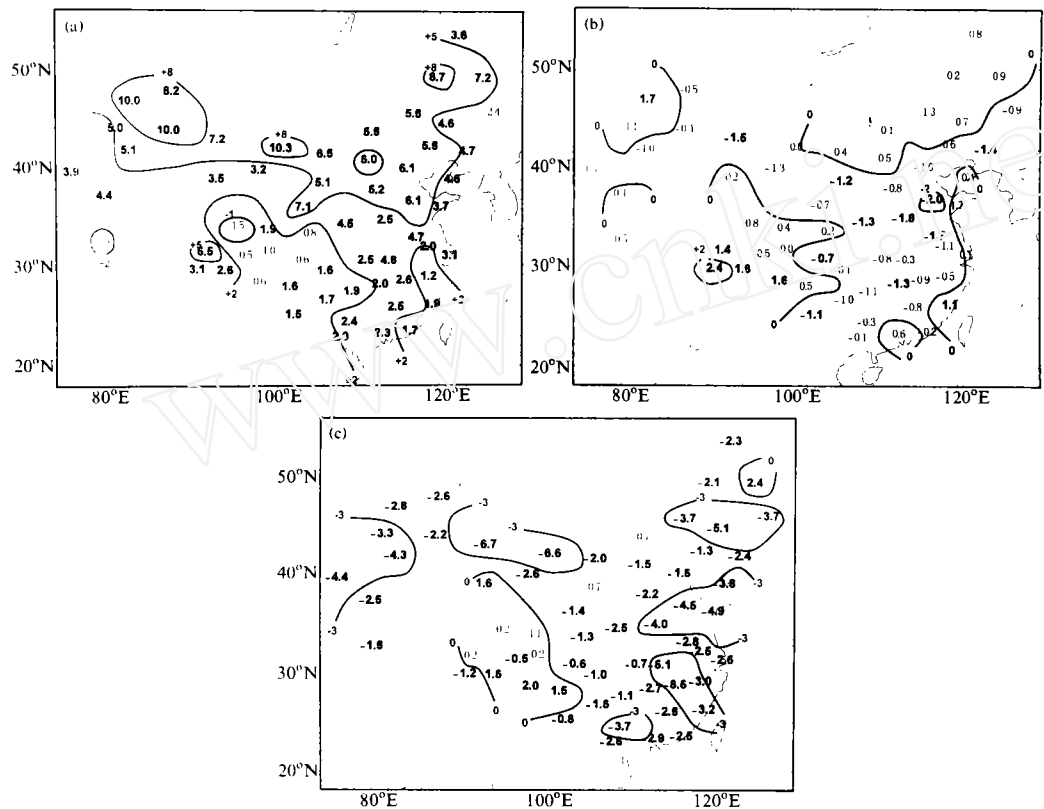


图 1 50 年代以来中国极端最低温度 (a)、最高温度 (b) 和风速 (c) 变化趋势
(a) 和 (b) 中数值单位为 $^{\circ}\text{C}/50\text{ a}$; (c) 中数值单位为 $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})/50\text{ a}$ 。
加黑数值表示超过 Mann-Kendall 检验 5% 信度水平的显著趋势

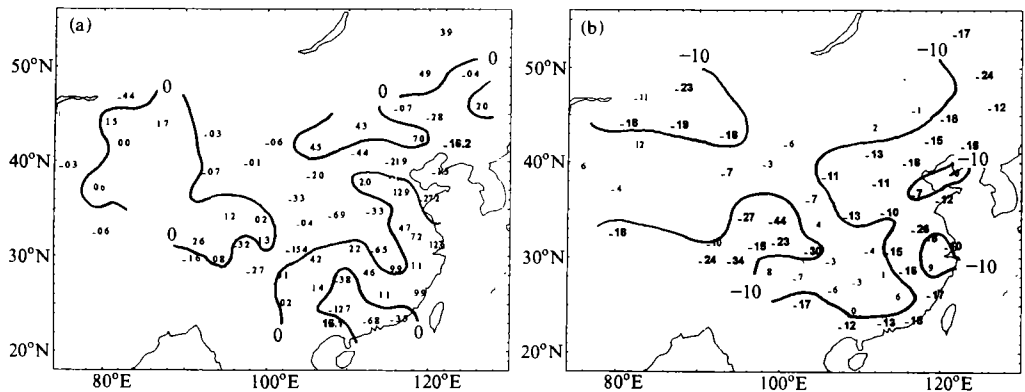


图 2 50 年代以来中国极端最大日降水 (a) 和微量降水事件数 (b) 变化趋势
(a) 中数值单位为 $\text{mm}/50\text{ a}$; (b) 中数值单位为 $\text{天}/50\text{ a}$ 。
加黑数值表示超过 Mann-Kendall 检验 5% 信度水平的显著趋势

可见,除个别站外,极端最大降水并无显著变化。有些站变化量虽大,但结果不显著,原因在于极端降水年间变化大,个别特大事件可严重影响整个序列趋势走向。如北京趋势达到 $-22\text{ mm}/50\text{ a}$ (序列平均值为 56 mm),量值不小,但查验原资料,发现主要因1959年值达到 153 mm ,大大高于其他年份,如去掉此记录,则整个序列几无趋势。统计学上看,这种个别记录导致的“趋势”是偶然性的。其实,鉴于降水记录的独特性,趋势检验即使在平均降水气候变化趋势的判断中也是十分必要的。过去一些工作不经检验,只看量值,结果难免似是而非。我们对61站的年平均降水序列也做过分析,具有显著趋势者的确不多。

另一方面,图2b表明,微量降水事件却普遍减少。特别是北方大范围内毛毛雨日数50年减少幅度达十数天,十分显著。由于毛毛雨难以计量,其对总降水变化没有影响。但毛毛雨事件的显著减少,无疑是大气环境干旱化的一个事实写照,因为只有足够湿润的大气环境中,一些微小扰动才导致毛毛雨。如果说近年中国特别是北方干旱化的话,那么它更多地体现在微量降水事件的减少。极大降水无显著变化这一分析结果则与近年来中国涝灾并没有随干旱化而减少的事实相吻合(如江淮流域近年来发生涝灾的倾向就不比早年小)。需要指出,涝灾更多地和强天气现象相联系,毛毛雨事件的多寡则反映背景性的大气湿润程度。中国大气湿润程度普遍减小的事实与某些地区涝灾程度不减的事实并不矛盾。

5 极端气候与平均气候变化的比较

从上述分析判断,极端气候变化可以和平均气候变化大不相同。本文从趋势比较的角度来做点定量讨论。定义 R 为本文所取极端气候序列趋势与同一要素年平均序列趋势之比,则 $R=1$ 表明极端气候与平均气候趋势一致; $R>1$ 表明气候变化更多地反映在极端气候状态上; $R<0$ 表明极端气候与平均气候变化大相径庭。为讨论方便,表1分别考虑正、负 R 的多站平均情形,但不计两序列趋势都不显著的站点。

表1 各种极端要素的多站平均 R 值
(括号里为参与统计的站点数)

极端要素名	最低温度	最高温度	最大风速
$R<0$ 情形	$-10.8(5)$	$-30.3(9)$	$-13.5(4)$
$R>0$ 情形	$5.7(51)$	$9.1(22)$	$4.5(53)$

从表1可见,大多数站点 R 值大于0,表明极端气候变化多与平均气候变化同相。从量上看,前者可达后者的5~10倍,说明气候变化的确经常更为强烈地表现在极端现象上。 R 小于0的站数不多,量值很大,达 -10 甚至

-30 。主要是因为这种情形中站点的平均气候变化趋势往往较小。这从另一个角度说明了极值研究的必要性,因为气候变化有时并不反映在平均状况中。

6 小结

本文首次系统地分析了中国近50年来日分辨率的极端气候变化趋势的分布格局。主要结果如下:

(1) 北方极端最低温度普遍上升 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$, 是近年来暖冬盛行的一个数值化特征; 极端最高温度在东部普遍下降, 可能与工业气溶胶影响有关; 但在青藏高原上却普遍上升, 原因待考。

(2) 极端降水事件强度变化不大, 但微量降水(毛毛雨)事件普遍减少, 特别是北方很多地区毛毛雨记录减少十数天, 是近年来干旱化趋势的一个重要特点。中国的极端降水变化与北美地区迥异, 那里主要表现为极大降水强度增强^[7], 反映出鲜明的区域性色彩。

(3) 极大风速普遍减小 $1\sim 3\text{ m/s}$, 在北方反映了冬季强冷空气活动(寒潮)减弱, 而在东南近海地区则可能对应台风等强风暴天气现象的减弱。

(4) 气候变化更强烈地表现在极端气候中, 近 50 年来中国区域极端气候趋势大都可以 $5\sim 10$ 倍于平均气候趋势; 而有些站点极端气候则显示出与平均气候迥然不同的趋势, 主要表现为平均气候变化不大而极端气候反相变化显著。这表明平均气候远远不能完全描述气候变化的真实过程。本文的分析结果将为进一步的理论和模拟研究提供基础。

致 谢 本文在写作过程中得到叶笃正院士的有益指导, 谨致谢

参 考 文 献

- 1 Houghton J. et al., *Climate Change 1995*, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of IPCC, Cambridge University Press, 1996.
- 2 Yan Zhongwei and Zhang Mingli, On the trends of temperature and daily range in China, *Chinese Science Bulletin*, 1993, **38**, 54~58.
- 3 任福民, 翟盘茂, 1951~1990 年中国极端气温变化分析, *大气科学*, 1998, **22**(2), 217~227.
- 4 陈隆勋等, 中国近 45 年来气候变化的研究, *气象学报*, 1998, **56**(3), 257~271.
- 5 Karl T. et al., Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century, *Nature*, 1995, **377**, 217~220.
- 6 Tao S. et al., Two Long-Term Instrumental Climate Data Bases of the People's Republic of China, Oak Ridge National Laboratory, 1991.
- 7 Zeng Zhaomei et al., Temperature and precipitation fluctuations in China, In: *Climatic Changes and Their Impacts*, Preprints of Beijing International Symposium on Climatic Change, August 9~12, 1990.
- 8 Karl T. et al., Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States, *Bulletin of American Meteorological Society*, 1998, **79**(2), 231~241.
- 9 Sneyers R., On the Statistical Analysis of Series of Observations, World Meteorological Organization, 1990.
- 10 曾昭美, 严中伟, 本世纪全球变暖的显著性分析, *应用气象学报(增刊)*, 1999, **10**, 23~33.
- 11 钱云等, 工业 SO_2 排放对我国和东亚温度变化的影响, *气候与环境研究*, 1996, **1**(2), 143~149.
- 12 陈兴芳, 晁淑懿, 台风活动的气候突变, *热带气象学报*, 1997, **13**(2), 97~104.

Geographic Patterns of Extreme Climate Changes in China during 1951~1997

Yan Zhongwei and Yang Chi

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Abstract Based on daily observations of 61 stations, we found that the annual lowest temperature (a mean of the 10 lowest records) has increased by 5~10°C and the strongest wind speed has decreased by about 3 m/s in the northern China. This quantitatively indicates the weakening winter cold surges from Siberia in the last few decades. The well-known aridification in the northern China has not been accompanied with any significant change in extreme rainfall, but may have been linked with a decrease in frequency of drizzles (recorded as 0 mm of rainfall). The highest temperature has decreased over most of the country, except for the Tibetan Plateau. The strongest wind has weakened also in the southeastern China, perhaps relating to weakening typhoons or tropical storms in summer. In a large number of cases, the extreme climate change has been 5~10 times of the mean climate change. In some cases, the extreme climate change has been opposite to the mean.

Key words: meteorological observation; extreme climate; regional variation