

# 华北地区高温日数的气候特征及变化规律

施 洪 波

(北京市气候中心, 北京 100089)

**摘要:** 基于1960~2009年华北地区90个台站逐日最高气温数据, 采用趋势分析等方法分析近50 a华北地区高温日数的时空变化特征。结果表明, 近50 a华北地区高温日数以海拔高度800 m等值线为界呈现南多北少的分布特点, 南部主要呈减少趋势, 北部主要呈增加趋势。同时它显现出明显的“多—少—多”年代际变化特征, 与1960年代相比, 2000年代高温日数在7月稍增加, 5和8月有所减少。近50 a华北地区累计高温过程频次呈微弱的减少趋势, 南北部高温过程集中的年代和月份也有所不同。

**关 键 词:** 高温日数; 时空变化; 高温过程; 华北地区

**中图分类号:** P467

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0690(2012)07-0866-06

1951~2004年中国年平均地表气温增温速率接近 $0.25^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 比全球或半球同期平均增温速率高得多, 全国大范围增暖主要发生在近20余年, 从1980年代初期开始的明显增暖主要表现在冬季, 但1990年代以来夏季增暖也日趋明显, 而华北是中国大陆地区最明显的增温区域之一<sup>[1,2]</sup>。在此背景下, 近年来华北地区极端高温事件频发, 引起人们的高度关注<sup>[3,4]</sup>。与其它地区相比, 华北地区高温日数对全球变暖响应的不同, 其变化特征也有所差异<sup>[5]</sup>, 这同时也反映在形成高温的天气系统的差异上<sup>[6]</sup>。张尚印等<sup>[7]</sup>分析1961~2000年华北地区北京等主要城市夏季危害性高温气候特征, 探讨主要城市的高温过程, 并指出东亚副热带高压和大陆变性高压的活动是造成华北地区城市夏季危害性高温的主要影响系统。

相对于华东高温特征<sup>[8]</sup>的分析, 前人对华北地区高温特征变化的研究多是针对主要城市的气候统计, 而对其整体性和区域性关注得还不够, 同时所用的数据也不能反映近些年华北地区高温日数时空特征的变化。鉴于以上研究的不足, 本文基于1960~2009年华北地区台站逐日日最高气温资料, 对近50 a华北地区高温日数的时空变化特征进行了详细分析。

## 1 数据、高温定义及分析方法

### 1.1 数据

本文所用的资料为中国气象局国家气象信息中心提供的1960~2009年中国752个台站逐日日最高气温资料。本文研究区域为 $34^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $108^{\circ}\sim 121^{\circ}\text{E}$ 。在对该区域数据进行处理时, 将夏季(6~8月)高温数据缺测值年平均超过1 d的站点剔除, 得到数据比较完整且具有代表性的1960~2009年华北地区90个台站逐日日最高气温数据(图1)。

### 1.2 高温定义和分析方法

定义日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 为1个高温日。参照文献<sup>[7]</sup>的做法, 某站若连续3 d出现 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温或连续2 d出现 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ , 且1 d $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 高温, 定义为一次高温过程; 若连续5 d出现 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温或仅连续2 d出现 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 高温, 定义为一次中等高温过程; 若连续8 d出现 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温或连续3 d $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 高温, 定义为一次强高温过程。本文分析方法包括趋势分析<sup>[9]</sup>和滑动t检验<sup>[9]</sup>等, 取1960~2009年平均为气候值。

## 2 结果分析

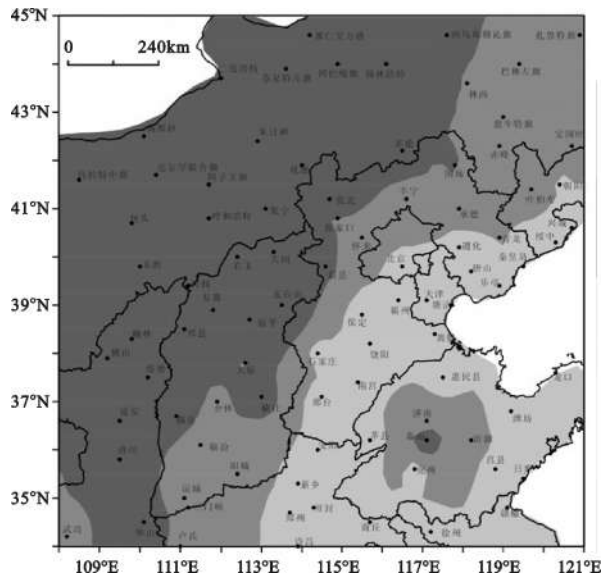
### 2.1 华北地区高温的空间分布

1) 高温日数。1960~2009年华北地区年平均

**收稿日期:** 2011-06-22; **修订日期:** 2011-09-13

**基金项目:** 国家重点基础研究发展规划项目(2010CB428506)、国家科技支撑计划课题(2009BAC51B05)、中国气象局气候变化专项(CCSF2010-1)资助。

**作者简介:** 施洪波(1979-), 男, 湖北枣阳人, 博士, 高级工程师, 主要从事气候变化、气候预测和气候数值模拟研究。E-mail: shb2001\_ren@sohu.com



图中阴影由浅到深分别表示海拔高度<200、<800、>2 000 m

图1 华北地区气象台站及海拔高度(单位:m)空间分布

Fig. 1 The spatial distribution of selected 90 meteorological stations and the corresponding altitude (unit: m)

高温日数以海拔高度 800 m 等值线为界呈现出南多北少的空间分布特征(图 2a)。陕西南部、山西南部、河南北部、河北中南部和山东西部年平均高温日数多介于 6~26 d 间, 华北其它地区年平均高温日数少于 6 d。近 50 a 华北地区有 8 个台站年平均高温日数超过 15 d, 主要分布在河北南宫附近、山西运城附近以及河南郑州附近, 其中年均高温日数最多的台站是运城, 达 25.7 d, 另有 3 个台站未出现过高温, 分别是泰山、五台山和华山, 海拔高度均在 1 500 m 以上。

2) 极端高温。近 50 a 华北地区出现过高温的 87 个台站中, 有 22 个台站年最多高温日数超过 30 d, 主要分布在华北海拔高度 800 m 等值线以南地区, 其中有 9 个台站年最多高温日数超过 40 d, 2 个台站年最多高温日数超过 50 d, 分别是运城(65 d)和临汾(54 d), 均出现在 1997 年(图 2b)。就 87 个台站年最多高温日数出现的年份看, 出现在 1973 年前有 20 个, 1996 年以后有 67 个, 这可能与城市热岛效应有一定关系<sup>[10-12]</sup>。

近 50 a 华北地区出现过高温的 87 个台站中, 极端最高气温超过 41℃ 的台站有 34 个, 主要分布在河南北部、山东、山西西南部、河北中南部、辽宁西部和内蒙古中部偏北地区; 极端最高气温超过 42℃ 的台站有 21 个, 极端最高气温超过 43℃ 的台站有 8 个, 分别是扎鲁特旗、宝国吐、朝阳、承德、安

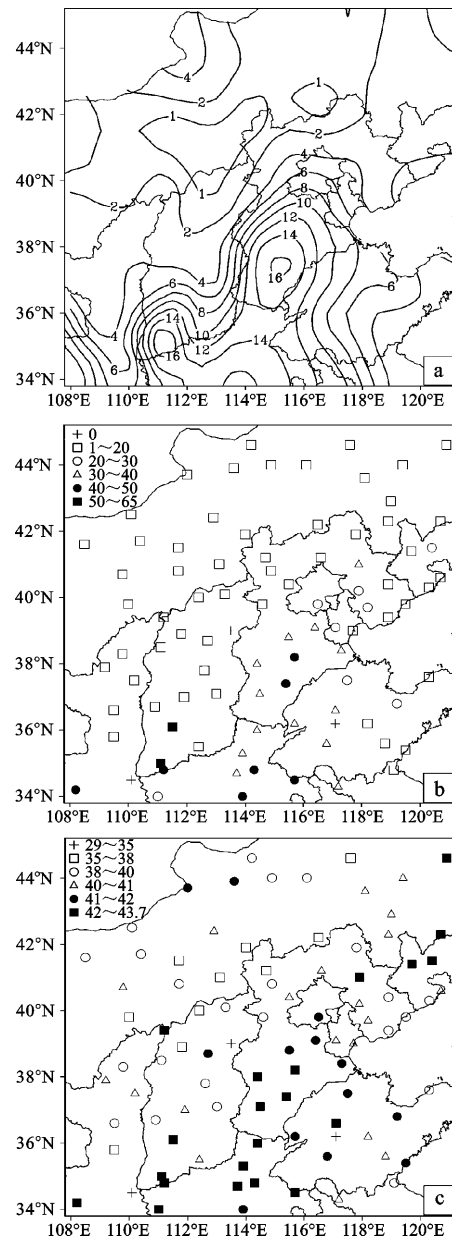


图2 1960~2009年华北地区年均高温日数(a, 单位:d)、年最多高温日数(b, 单位:d)和极端最高气温(c, 单位:℃)空间分布

Fig. 2 The spatial distribution of annual mean high temperature days (HTDs) (a, unit: d), annual most HTDs (b, unit: d) and extreme highest temperature (c, unit: °C) in North China in 1960-2009

阳、三门峡、郑州和商丘, 其中扎鲁特旗极端最高气温高达 43.7℃, 出现在 2007 年 6 月 10 日(图 2c)。

## 2.2 华北地区高温日数的时间变化

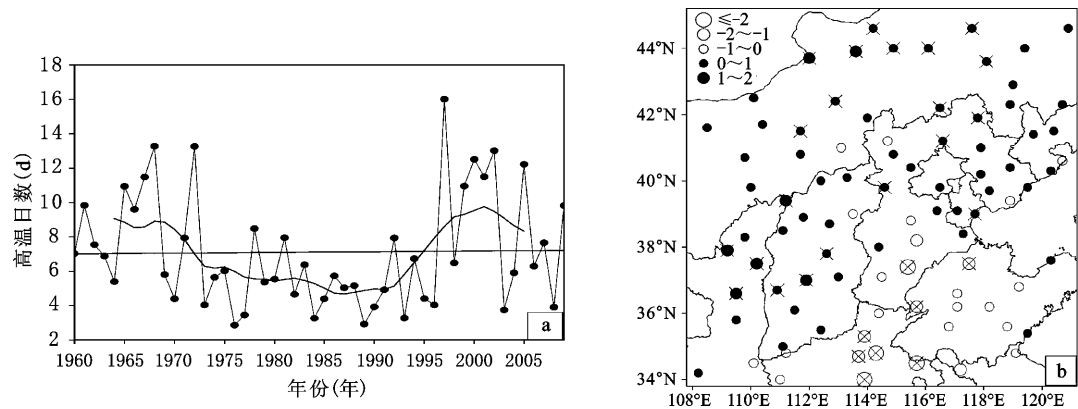
1) 线性趋势。1960~2009 年华北地区年平均高温日数为 7.1 d, 年高温日数以 1997 年最多, 达 16 d, 1976 年最少, 为 2.9 d, 总体上呈微弱的线性增加趋势, 趋势值为 0.041 d/10 a, 没有通过 0.05 的显著性检验(图 3a)。从变化趋势的空间分布看, 山东、河南北部和河北南部高温日数主要呈减少

的趋势,其它大部分地区主要呈增加的趋势。这可能是由于夏季西太平洋副热带高压位置偏东,为大陆副热带高压的东进和加强提供了大尺度背景<sup>[6]</sup>。1990年代末以来,西太平洋副热带高压脊线向北有所扩展<sup>[7]</sup>,使大陆副热带高压影响区域向北移,导致华北北部高温日数明显增加。在出现过高温的87个台站中,有62个台站呈增加趋势,其中趋势值 $\geq 1$  d/10 a的台站有9个,年高温日数增加最明显的台站为山西河曲,趋势值为1.51 d/10 a;有28个台站呈减少趋势,趋势值 $\geq 1$  d/10 a的台站有10个,年高温日数减少最明显的台站为河南开封,趋势值为2.8 d/10 a。这些台站中有32个台站的变化趋势通过0.05的显著性检验(图3b)。

2) 年代际变化。近50 a华北地区高温日数显现出明显的“多—少—多”年代际变化特征(图3a)。通过利用滑动t检验方法对近50 a华北地区高温日数进行突变分析,发现华北地区高温日数分别在1972年和1996年发生明显的突变,即在1972年经历了由多到少的转变,然后在1996年经历由少到多的转变。从不同的时段看,1960~1996年华北地区高温日数呈现出1.33 d/10 a的线性减少趋势,1973~2009年华北地区高温日数呈现出1.27 d/10 a

的线性增加趋势,分别达到0.001和0.01的显著性水平。具体到不同年代来看,除1960年代和2000年代高温日数相当且为正距平外,其它年代华北地区高温日数均为负距平,1980年代高温日数最少,仅5.1 d。分析显示,华北南、北部高温日数的变化有明显差异,下面将选择三个典型台站(郑州、北京和二连浩特)进行对比。位于南部的郑州仅在1960年代为正距平,其它年代均为负距平,而1980年代最少,为11.6 d;位于中部的北京,1960年代和2000年代高温日数为正距平,2000年代高温日数比1960年代偏多1 d,1970年代最少,仅为3.4 d;位于北部的二连浩特高温日数在1990年代和2000年代为正距平,其它三个年代高温日数相当,1980年代最少,为4.5 d(表1)。

3) 月尺度变化。从气候平均上看,华北地区高温天气主要集中在6和7月,均为2.8 d,共占年高温日数的79%,8和5月高温日数分别为0.9和0.5 d。由图4可以看到,1960年代华北地区各月高温日数距平均为正,2000年代华北地区5~7月高温日数距平均为正,8月高温日数与气候值持平;6、7和8月高温日数均在1980年代最少,5月高温日数在1990年代最少。与1960年代相比,2000年代华北



图a中,直线表示线性趋势,曲线表示9点平滑;b中,×表示变化趋势通过0.05的显著性检验  
图3 1960~2009年华北地区高温日数年际变化(a,单位d)及其变化趋势(b,单位d/10 a)的空间分布  
Fig. 3 The interannual variation (a,unit: d) of HTDs in North China in 1960-2009 and the spatial distribution (b,unit: d/10 a) of the corresponding linear trends

表1 1960~2009年不同年代高温日数(d)

年份(年)	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~1999	2000~2009	1960~2009
华北	8.8	6.2	5.1	6.9	8.7	7.1
郑州	25.4	16.4	11.6	14.3	16.1	16.8
北京	10.5	3.4	4.8	7.3	11.5	7.5
二连浩特	4.9	4.6	4.5	6.5	9.5	6.0

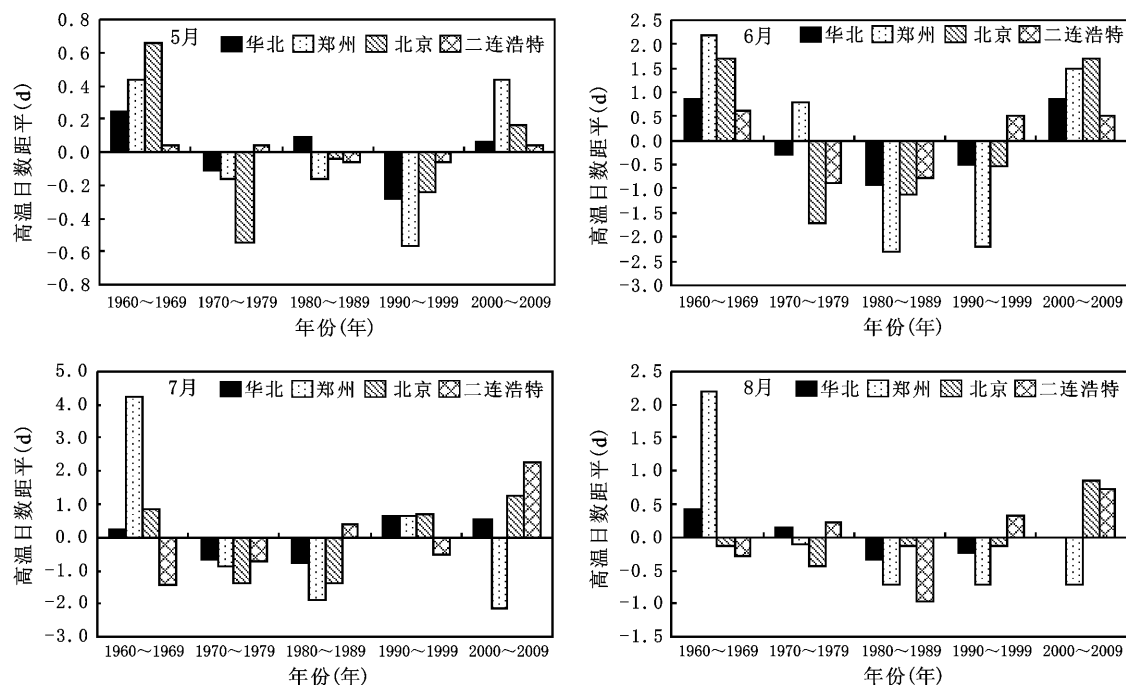


图4 华北、郑州、北京和二连浩特 1960~2009 年不同年代 5~8 月高温日数距平(d)

Fig. 4 The decadal anomaly of monthly HTDs during May to August (unit: d) of North China, Zhengzhou, Beijing and Erenhot in 1960-2009

地区高温日数在 5 和 8 月有所减少, 7 月稍增加, 6 月无明显变化, 其中郑州高温日数在 7 和 8 月明显减少, 北京高温日数在 7 月稍增加, 8 月明显增加, 二连浩特高温日数在 7 和 8 月均明显增加。

### 2.3 华北地区高温过程及其持续性

近 50 a 华北地区累计高温过程频次呈微弱的减少趋势, 趋势值为  $-0.48$  次/10 a, 年累计高温过程频次最多为 154 次, 出现在 1972 年, 最少为 12 次, 出现在 1984 和 1989 年, 其中 90 次以上的年份有 12 a, 有 5 a 在 1973 年之前, 7 a 在 1996 年之后(图 5a)。中等高温过程频次呈增多趋势, 趋势值为 1 次/10 a, 2005 年最多, 为 75 次。强高温过程频次并没有明显的变化趋势, 1997 年频次最多, 达 30 次。

空间分布上, 华北地区高温过程频次表现为中南部多、北部和沿海少的分布特征。陕西南部、山西西南部、河南北部、河北南部和山东西部累计高温过程在 50 次以上, 其中河北南部、山西西南部以及河南的安阳、三门峡、郑州和许昌超过 100 次, 山西运城最多, 达 193 次; 内蒙古中东部大部分地区、山西北部、陕西北部、河北北部以及山东东部部分地区较少出现高温过程, 在 20 次以下; 京津及附近地区高温过程在 20~50 次之间(图 5b)。

华北地区高温过程频次也表现出明显的年代

际变化。1960 年代华北地区共出现 812 次高温过程, 2000 年代为 783 次, 1970 和 1990 年代相当, 约 550 次, 1980 年代最少, 为 381 次。与 1960 年代相比, 2000 年代郑州高温过程频次减少 19 次, 北京增加 1 次, 二连浩特增加 7 次。就中等高温过程频次而言, 华北地区 2000 年代最多, 为 309 次, 比 1960 年代多 34 次。华北地区强高温过程频次在 1960 年代最多, 为 90 次, 比 2000 年代多 13 次。其中, 郑州共出现 10 次强高温过程, 有 6 次出现在 1973 年之前, 4 次出现在 1996 年之后, 北京出现 3 次, 均在 1996 年后, 二连浩特除在 1996 年后出现 3 次强高温过程外, 1981 年也出现过 1 次。

由于持续性高温对人体健康和供水供电等有直接的影响, 前人对北京夏季高温的持续性进行了分析<sup>[3]</sup>。为更好地了解华北地区南北部高温天气的持续性, 下面将选择郑州、北京和二连浩特这三个台站进行比较。据统计, 1960~2009 年北京持续日数  $\geq 3$  d 的高温过程出现 36 次, 二连浩特与北京相当, 为 32 次, 郑州高达 92 次, 为北京的 2.6 倍; 对于持续日数  $\geq 5$  d 的高温过程而言, 北京有 7 次, 二连浩特比北京多 2 次, 郑州高达 23 次, 为北京的 3.3 倍(表 2)。从持续时间  $\geq 5$  d 的高温过程出现的年代看, 郑州主要集中在 1960 年代至 1970 年代前



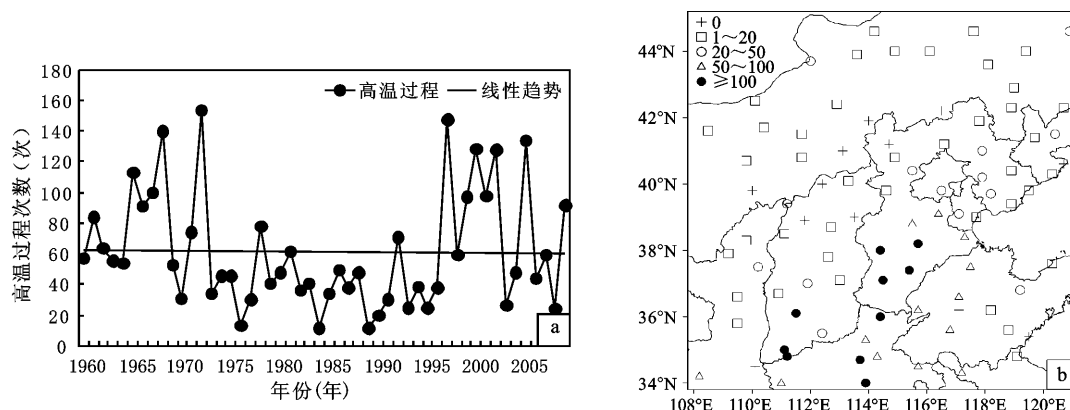


图5 1960~2009年华北地区累计高温过程频次(单位:次)的年际变化(a)和空间分布(b)

Fig. 5 The interannual variation (a) and spatial distribution (b) of accumulated high temperature process (HTP) number in North China in 1960-2009

表2 1960~2009年郑州、北京和二连浩特持续时间 $\geq 5$  d的高温过程的起始日期

Table 2 The starting date of HTP with the lasting time more than 5 days in Zhengzhou, Beijing and Erenhot in 1960-2009

高温持续时间(d)	郑 州	北 京	二连浩特
$\geq 9$	1961-7-18, 1966-7-12, 1972-6-9	1999-6-24	无
8	2002-5-31, 2002-7-10	1997-7-8	1981-7-15
7	1971-7-13, 1997-7-26, 2005-6-11	1999-7-23	无
6	1968-7-23, 1978-8-1, 1979-6-12, 1981-6-14, 1992-7-24, 2006-6-15	2002-7-11	2000-7-10, 2005-7-14
5	1964-7-6, 1965-6-26, 1966-6-19, 1967-6-2, 1967-6-14, 1967-8-6, 1968-6-2, 1969-7-25, 2009-6-23	1965-6-21, 2000-7-22, 2001-6-1	1977-7-16, 1980-7-27, 1987-7-25, 1991-8-19, 1999-7-25, 2008-7-22

期和1996年以后,北京主要出现在1996年之后,二连浩特则出现在1970年代后期至1980年代以及1996年之后;从其出现的月份看,郑州多出现在6、7月,但6月中旬更为集中,北京多出现在6月下旬和7月中下旬,二连浩特集中于7月中下旬,且最晚曾出现在8月19日(1991年)。近50 a北京高温最长持续天数为9 d(1999年6月24日至7月5日),二连浩特为8 d(1981年7月15~22日),郑州长达12 d(1961年7月18~29日)。

### 3 结 论

1) 近50 a华北地区高温日数以海拔高度800 m等值线为界总体呈现南多北少的分布特点,有两个高值中心,位于河北南部和山西西南部至河南郑州及许昌附近,其中山西运城年平均高温日数最多,达25.7 d,年最多高温日数达65 d。

2) 近50 a华北地区年高温日数呈微弱的线性增加趋势,其中南部高温日数主要呈减少趋势,开封高温日数减少最为明显,趋势值为 $-2.8$  d/10 a,北部高温日数主要呈增加趋势,河曲高温日数增加最为明显,趋势值为 $1.51$  d/10 a。华北地区南

北部高温日数的这种反向变化可能与近些年夏季西太平洋副热带高压脊线的向北扩展有关。

3) 近50 a华北地区高温日数呈现出明显的“多—少—多”年代际变化特征。华北地区高温主要集中在5~8月,尤其是6和7月。与1960年代相比,2000年代高温日数在7月稍有增加,5和8月有所减少,但南北部高温日数的变化存在着区域差异。

4) 近50 a华北地区累计高温过程频次在空间分布上与高温日数类似,在时间上呈微弱的减少趋势,1972年高温过程频次最多,达154次,1984和1989年最少,仅12次,但中等高温过程频次呈微弱的增加趋势。对于持续时间 $\geq 5$  d的高温过程频次,中部的北京比北部的二连浩特少,郑州是北京3.3倍,且南北部高温过程集中的年代和月份也有所不同。

本文详细分析了近50 a华北地区高温日数和高温过程的变化,有助于认识华北高温的区域性特征,但对于华北高温过程的维持机制还没有涉及。有人指出大陆副热带高压是造成华北高温的主要天气系统<sup>[9]</sup>,还有人认为中国北方地区夏季温

度异常的发生在很大程度上是由西太平洋副热带高压的东西向位置异常所决定<sup>[6]</sup>。然而,西太平洋副热带高压与大陆性高压是如何相互作用形成华北高温,需要深入研究。

## 参考文献:

- [1] 任国玉,郭 军,徐铭志,等.近 50 a 来中国地面气候变化基本特征[J].气象学报,2005,63(6):942~956.
- [2] 高 蓉,郭忠祥,陈少勇,等.近 46 年来中国东部季风区夏季气温变化特征分析[J].地理科学,2009,29(2): 255~261.
- [3] 谢 庄,崔继良,刘海涛,等.华北和北京的酷暑天气 I.历史概况及个例分析[J].气候与环境研究,1999,4(4): 323~333.
- [4] 卫 捷,孙建华.华北地区夏季高温闷热天气特征的分析[J].气候与环境研究,2007,12(3):453~463.
- [5] 高 荣,王 凌,高 歌.1956~2006 年中国高温日数的变化趋势[J].气候变化研究进展,2008,4(3):177~181.
- [6] 卫 捷,杨 辉,孙淑清.西太平洋副热带高压东西位置异常与华北夏季酷暑[J].气象学报,2004,62(3): 308~316.
- [7] 张尚印,宋艳玲,张德宽,等.华北主要城市夏季高温气候特征及评估方法[J].地理学报,2004,59(3):383~390.
- [8] 史 军,丁一汇,崔林丽.华东地区夏季高温期的气候特征及其变化规律[J].地理学报,2008,63(3):237~246.
- [9] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术(第二版) [M].北京:气象出版社,2007.
- [10] 崔林丽,史 军,周伟东.上海极端气温变化特征及其对城市化的响应[J].地理科学,2009,29(1):93~97.
- [11] 李国栋,王乃昂,张俊华,等.兰州市城区夏季热场分布与热岛效应研究[J].地理科学,2008,28(5):709~714.
- [12] 邓玉娇,匡耀求,黄宁生,等.温室效应增强背景下城市热环境变化的遥感分析——以广东省东莞市为例[J].地理科学,2008, 28(6): 814~819.

## Climatic Characteristics and the Spatio-temporal Variation of High Temperature Days in North China in 1960-2009

SHI Hong-bo

(Beijing Municipal Climate Center, Beijing 100089, China)

**Abstract:** Based on the daily maximum air temperature data from 90 meteorological stations in the period 1960-2009, the climatic characteristics and the spatio-temporal variation of high temperature days (HTDs) in North China were analyzed by using the statistical methods including trend analysis. The results show that the HTDs are more in the south and less in the north on conditions that 800-meters elevation contour serves the boundary. There exist two high value centers, which is located in the south of Hebei Province and the regions from southwest of Shanxi Province to Zhengzhou and Xuchang of Henan Province respectively. The most annual mean HTDs reach 25.7d, which occurs in Yuncheng of Shanxi Province. The HTDs are mainly on the decrease in the south of North China and on the increase in the north. The most obvious decrease in HTDs occurs in Kaifeng of Henan Province and the linear trend is -2.8d/10a. The most obvious increase in HTDs occurs in Hequ of Shanxi Province and the linear trend is 1.51d/10a. The HTDs in recent 50 years has a distinct decadal evolution of increasing-decreasing-increasing. The high temperature mainly occurs during May to August, especially in June and July. Compared with the HTDs in the 1960s, those in the 2000s are slightly on the increase during July and on the decrease during May and August. The accumulated high temperature process (HTP) is on the detectable decrease, while the moderate HTP is on the detectable increase. As far as the HTP lasting day number more than 5 days is concerned, the number in Beijing is less than Erenhot and the number in Zhengzhou is 3.3 times as many as that in Beijing. There exist some difference in the era and month of HTP between the south and the north.

**Key words:** high temperature day; spatio-temporal variation; high temperature process; North China