

文章编号: 1000-2022(2005)06-0840-07

长江中下游夏季高温灾害机理及预测

张尚印¹, 张德宽¹, 徐祥德²,
廖要明¹, 沈树勤³, 尹东屏³

(1. 国家气候中心 开放实验室, 北京 100081;

2 中国气象科学研究院, 北京 100081; 3 江苏省气象台, 江苏 南京 210008)

摘要: 利用我国 1961—2003 年夏季 (6—8 月) 高温资料, 建立长江中下游地区主要城市强高温及高温过程较完整的时间序列, 探讨了该地区主要城市高温气候特征。分析该地区南京、杭州、南昌等城市夏季高温灾害机理, 东亚副热带高压是造成长江中下游地区城市夏季高温的主要影响系统。在此基础上用均生函数—最佳子回归集构造预测模型, 预测夏季月高温出现日数, 通过 42 a 高温资料预报检验, 有较好的预测效果, 值得在业务中应用。

关键词: 长江中下游; 高温气候特征; 灾害机理; 预测

中图分类号: P466 **文献标识码:** A

南京、杭州、南昌等位于长江中下游, 每年夏季 6—8 月, 受西太平洋副热带高压控制, 天气晴朗, 太阳辐射强烈, 先后出现异常持续或间断性高温酷热天气。张尚印等^[1]、吴兑等^[2]、刘莉红等^[3]人研究危害性高温, 一般将日平均气温 32℃或极端气温 38℃定为热浪袭击, 可能引起死亡率升高的警戒温度的限值。在国内和世界上许多城市都发布短期高温预报^[4,5], 国家气候中心也开展华北主要城市夏季高温气候特征、评估方法、预测业务和研究^[6-7]。目前针对短期高温预报业务和研究较多, 相对而言, 对高温灾害机理研究和预测月高温日数业务少。随着近年来国际国内对高温灾害的重视, 对长江中下游地区城市高温灾害机理研究和夏季月高温日数的预测业务日趋重要。在江苏省气象灾害重点实验室课题资助下, 我们开展了这项研究, 探讨了长江中下游地区南京、杭州、南昌等主要城市夏季高温气候特征, 分析高温灾害机理, 并在此基础上用最佳子回归集构造预测模型, 预测夏季月高温出现日数, 为预防高温灾害提供依据或参考。

1 资料、方法及高温定义

选取南京、杭州、南昌等城市 1961—2003 年夏季 6—8 月高温、日平均相对湿度、气温、降

收稿日期: 2003-10-03 改回日期: 2004-11-24

基金项目: 江苏省气象灾害重点实验室 (南京信息工程大学) 开放课题 (KJS0303); 国家重点基础研究发展规划项目 (TG1999045700); LCS 开放课题 (2004C-12)

作者简介: 张尚印 (1944-) 男, 山东滕州人, 高级工程师, 学士, 主要从事天气气候业务和研究。

E-mail zhangzy48@sina.com

雨量、日照时数、日平均风速等资料。根据我国气候及环境特点,参照文献[8]方法,将我国每日极端高温分为 3 级: 高温 ($\geq 35^{\circ}\text{C}$), 危害性高温 ($\geq 38^{\circ}\text{C}$), 强危害性高温 ($\geq 40^{\circ}\text{C}$)。每个站连续 3 d 出现 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温或连续 2 d 出现 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 并有 1 d $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 定义为一次高温过程。连续 5 d 出现 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 或连续 2 d 出现 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 高温定义为中等高温过程, 连续 8 d 出现 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 或连续 3 d 出现 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 高温定义为强高温过程。

2 夏季长江中下游地区高温气候特征

2.1 夏季高温总日数变化

图 1 给出 1961—2003 年夏季 6—8 月南京、杭州、南昌市夏季高温 ($\geq 35^{\circ}\text{C}$) 总日数变化。图 1 表明, 南京市夏季高温总日数 60 年代中期、70 年代中期、90 年代中期偏多, 变化幅度大; 70 年代初期、80—90 年代初、90 年代后期偏少, 极小值出现在 1982 年, 高温总日数为零; 极大值出现在 1966 年, 高温总日数为 37 d。杭州市夏季高温总日数 60 年代初偏多, 变化幅度大; 70 年代初、80 年代偏少, 变化幅度小, 极大值出现在 1971 年为 49 d。南昌市夏季高温总日数 60 年代偏多, 变化幅度大; 70 年代初期偏少, 后期偏多, 80 年代初期偏少, 后期偏多, 90 年代变化幅度大, 极小值出现在 1997 年, 为 2 d。分析表明, 长江中下游地区主要城市 2000 年以后高温总日数有上升趋势。南京、杭州、南昌等城市位于长江中下游平原地区, 夏季炎热, 大于等于 35°C 高温日数常年平均南京为 14 d 杭州为 24 d 南昌为 22 d。

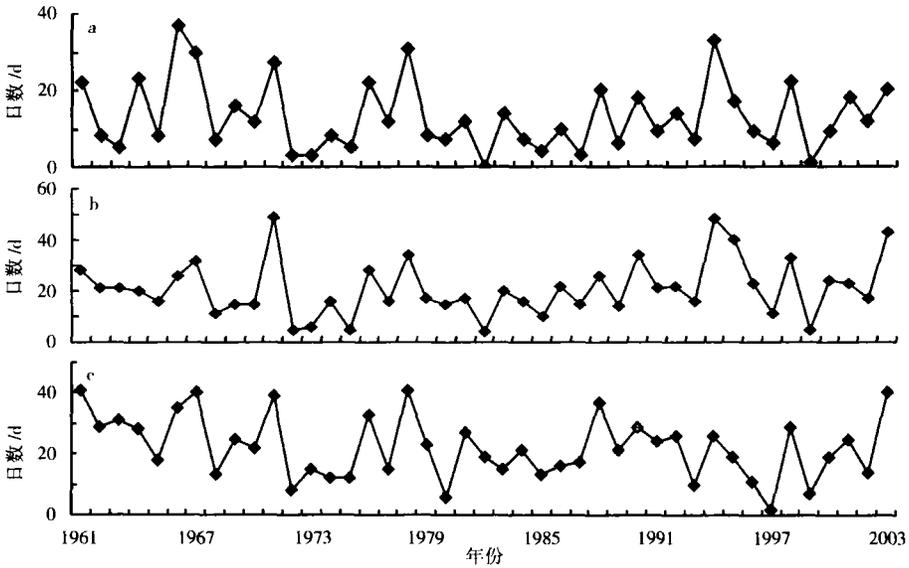


图 1 南京 (a)、杭州 (b)、南昌 (c) 夏季高温 ($\geq 35^{\circ}\text{C}$) 总日数变化

Fig. 1 Interannual variations of high temperature days ($T_{\max} \geq 35^{\circ}\text{C}$)

in summer for 1961—2003 in Nanjing (a), Hangzhou (b) and Nanchang (c)

2.2 强高温过程期间气候特征分析

(1) 强高温过程年际变化

普查 1961—2003 年夏季 6—8 月高温资料发现 (表略), 南京站 6 月底—7 月初有 2 次强高温过程, 7 月有 6 次, 7 月底—8 月初有 4 次, 8 月有 4 次。杭州站 6 月底—7 月初有 2 次强高温过程, 7 月有 22 次, 7 月底—8 月初有 7 次, 8 月有 9 次。南昌站 6 月有 1 次强高温过程, 6 月

底—七月初有 2 次, 7 月有 18 次, 7 月底—八月初有 8 次, 8 月有 11 次。长江中下游地区强高温过程主要出现在 7 月, 6 月最少; 南京强高温过程少, 杭州和南昌地区强高温过程多。分析 3 个城市年代际变化特征, 南京 80 年代强高温过程偏少, 70 年代、90 年代偏多; 杭州 60—70 年代强高温过程偏多, 80 年代偏少, 90 年代明显偏多; 南昌 60 年代强高温过程明显偏多, 70—90 年代明显偏少。

(2) 强高温过程持续天数和强度

南京站强高温过程一般持续 8~16 d 最长达 28 d 日极端最高气温一般为 36.0~39.7 °C, 最高达 40.5 °C。杭州站强高温过程一般持续 8~23 d 最长达 29~30 d 1994 年 7 月 9 日—8 月 7 日, 持续 30 d 日极端最高气温一般为 35.0~39.0 °C, 最高达 40.0 °C, 1978 年 7 月 38.0~40.0 °C 高温持续 10 d 40.0 °C 高温持续 3 d。南昌站强高温过程一般持续 8~22 d 2003 年最长达 32 d 日极端最高气温一般为 36.6~40.0 °C, 最高达 41.0 °C。观测表明, 长江中下游主要城市强高温过程持续时间长, 极端气温高。

(3) 强高温过程期间日平均风速变化

南京站日平均风速一般为 0.8~4.3 m/s 最小为 0.5 m/s 最大为 6.5 m/s。杭州站日平均风速一般为 0.2~4.2 m/s 最小为 0.0 m/s 最大为 4.8 m/s。南昌站日平均风速一般为 0.5~5.8 m/s 最小为 0.0 m/s 最大为 6.0 m/s。以上分析表明, 强高温过程期间日平均风速小, 一般为 0.5~5.8 m/s 最小为 0.0 m/s 最大为 6.5 m/s。

(4) 强高温过程期间日平均相对湿度变化

南京测站日平均相对湿度为 62%~80%, 最小为 57%, 仅 1 d 最大为 86%。杭州测站日平均相对湿度为 57%~84%, 最小为 53%, 仅 1 d 最大为 86%。南昌测站日平均相对湿度为 58%~80%, 最小为 53%, 最大为 89%。分析表明, 长江中下游主要城市强高温过程期间日平均相对湿度大, 闷热天气持续时期长。

3 高温灾害机理分析

3.1 夏季月平均气温的变化

图 2 给出南京、杭州、南昌市 1961—2003 年月平均气温曲线。图 2 表明, 南京夏季 6—8 月平均气温近 40 a 来变化幅度大, 60、70、90 年代偏高, 80 年代偏低, 仅 1980 年和 1999 年最小为 25.1 °C, 极大值 28.4 °C, 出现在 1978 年。杭州夏季 6—8 月月平均气温 60、90 年代偏高, 变化幅度大, 1999 年出现 40 a 来最小值 25.4 °C, 70—80 年代变化幅度小, 90 年代后期月平均气温升高, 变温幅度大, 特别是 2003 年杭州升温显著, 强高温过程明显偏多。南昌月平均气温 60 年代初, 70 年代后期和 80 年代初偏高, 80 年代后期和 90 年代初偏高, 变化幅度大。长江中下游主要城市 2000 年以后月平均气温逐渐增高^[9-10]。

3.2 夏季月平均日照时数的变化

近年来长江中下游地区主要城市夏季月平均日照时数(图 3)在减少, 南京市夏季月平均日照时数 60—70 年代偏多, 最多出现在 1964 年, 为 91 h 80—90 年代夏季月平均日照时数减少, 1980 年夏季出现近 40 a 来最小值, 为 40 h 80 年代波动幅度小, 90 年代波动幅度大, 强高温过程增多。杭州市夏季月平均日照时数 60—70 年代初偏多, 最多出现在 1971 年, 为 90 h 自 1971 年以后逐渐减少, 1999 年出现近 40 a 以来最小值, 为 35 h。南昌市夏季月平均日照时数 60—80 年代偏多, 最多出现在 1971 年, 为 93 h 80 年代后期月平均日照时数逐渐减少, 1999 年夏季出现近 40 a 来最小值, 为 41 h 2000 年以后逐渐增多。分析表明, 近 40 a 来日照

时数减弱幅度明显, 2000 年以后逐渐增多。

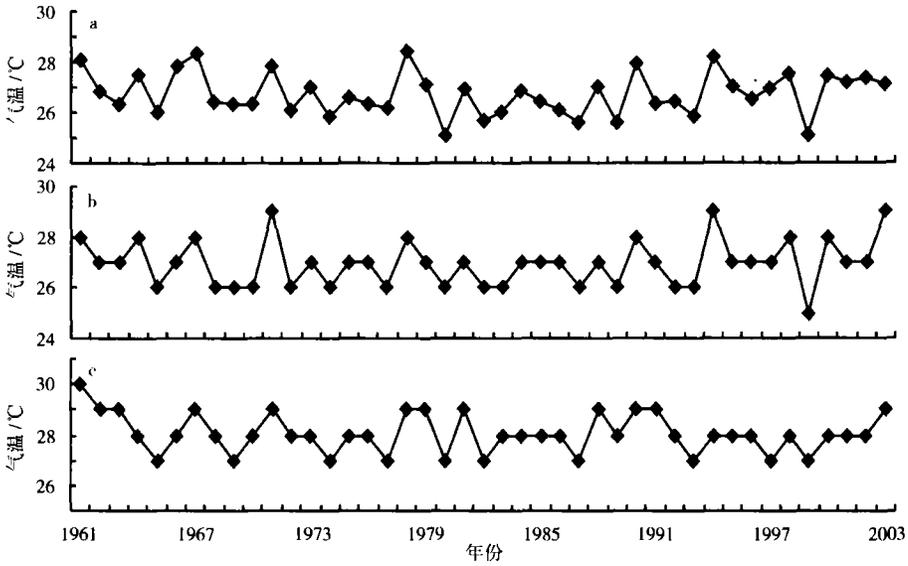


图 2 南京 (a)、杭州 (b)、南昌市 (c)夏季月平均气温曲线

Fig. 2 Interannual variations of the monthly mean temperature in summer from 1961—2003 in Nanjing (a), Hangzhou (b) and Nanchang (c)

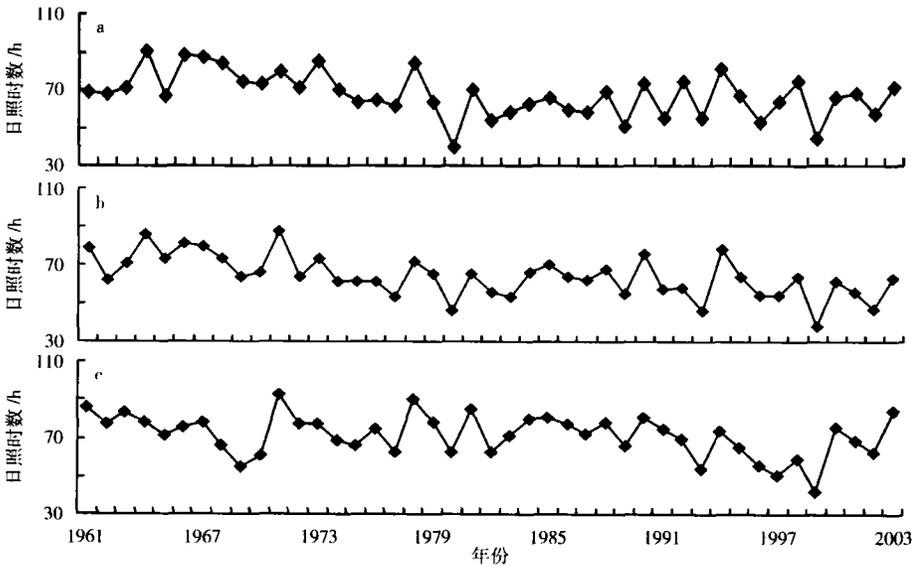


图 3 南京 (a)、杭州 (b)、南昌 (c)夏季月平均日照时数曲线

Fig. 3 Interannual variations of monthly mean sunshine duration during summer from 1961—2003 in Nanjing (a), Hangzhou (b) and Nanchang (c)

3.3 东亚副热带高压控制下的高温闷热天气

东亚副热带高压是一个深厚的暖性高压系统,它是夏季影响我国长江中下游地区高温闷热天气的主要系统。每年夏季 6—8 月份东亚副热带高压盘居在该地区上空,该地区以闷热少雨天气为主,日平均相对湿度偏大,一般在 60% ~ 86% 之间,日平均风速小,一般在 0.8~

5.0 m/s。夏季风含有丰富水汽,它进入大陆后,受到夏季大陆辐射加热作用和副高脊线附近的下沉增温,温度急升,于是形成高温高湿的闷热天气,强盛的副高控制是上述地区高温酷热的主要原因。副热带高压与东亚大陆副热带夏季风强度有密切的关系,夏季风偏强的年份,强高温过程偏多,强度偏强。

3.4 2003年夏季高温灾害机理

(1) 西风带环流特点

2003年夏季南方出现了持续高温($\geq 35^\circ\text{C}$)天气,历时40多天,持续时间之长、范围之广、强度之强,均为近几十年来罕见。7—8月中旬副热带高压强盛,我国南方产生夏季高温天气几率大大增强。

(2) 副高脊线变化

7月上中旬,副热带高压脊线在 24°N 附近摆动,7月下旬—8月上旬脊线位置稳定在 30°N 附近,我国南方处在副热带高压下沉辐散气流控制下,太阳辐射强烈,升温快,气温高。

(3) 高温灾害机理分析

2003年7月21日—8月7日,江苏省各地出现了13~22 d高温($\geq 35^\circ\text{C}$)天气,沿江和苏南地区出现了长达15 d的区域性连续高温晴热天气,主要是空气温度高,湿度大,风速小,气压低所致。7月24日—8月8日相对湿度普遍在55%~90%,日平均温度在 33°C 左右,温度日较差在 7°C 左右(表略)。高温期间逐日逐小时高温($\geq 35^\circ\text{C}$)出现时间变化大,最早上午9时出现高温,最迟下午2时出现高温;结束时间变化大,最早12时结束,最迟下午9时结束。8月1日11时—21时高温($\geq 35^\circ\text{C}$)持续8 h,下午4时最高气温 39.0°C 。极端最高气温出现在下午3时有8 d,出现在下午4时有5 d,出现在下午5时有1 d。风速一般为 $0.1\sim 4.0\text{ m/s}$,最小为 0 m/s ,最大为 5.0 m/s 。风向一般为SWSW,有时为SES或无风。相对湿度一般为41%~56%,最小37%,最大68%。总云量一般为1~9,最少0,最多10,低云量一般为1~5,最少0,最多6。能见度大于1000 m。高云状一般为Ci或无云,低云状为Fc。最低气压1000 hPa。

4 构建夏季高温日数预测模型

4.1 资料及方法

本文以南京、杭州、南昌等城市1961—2003年夏季月高温日数为计算样本,用均生函数—最佳子集回归^[11]建立月预测模型,然后根据这些月预测模型分别预测上述城市月高温日数。

4.2 建模

(1) 预报因子的产生方法

为了建立预报效果更好的模型,除了将资料原序列为预报因子备选外,还需对派生的均生函数,即把原序列作差分变换并计算相应的均生函数,一阶差分序列,二阶差分序列,累加延拓序列作为预报因子备选(作法省略)。

(2) 预报因子的选取

通过上述(1),共产生 $4 \times 14 = 56$ 个自变量,数量显然太多,应筛选与预报量关系较好的自变量作为预报因子,令 $\alpha = 0.05$,查相关系数临界值表可知当相关系数 ≥ 0.32 时为显著相关,这样从56个自变量中选出11个自变量符合此条件,依次命名为 $x_1 \sim x_{11}$,预报量(高温日数)序列以 y 表示。

(3) 最佳子集回归

在所有可能子集回归方程中, 效果最好的一个子集回归称为最佳子集回归。这里采用兼顾趋势和数量的双评分准则 (CSC) 来识别模型, 即

$$C_{SC} = S_1 + S_2 \quad (1)$$

式中, S_1 为数量评分, S_2 为趋势评分。

$$S_1 = nR^2 \quad (2)$$

其中, R 为复相关系数。

$$S_2 = 2I \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^I n_{ij} \ln n_{ij} + n \ln n - \left(\sum_{i=1}^I n_i \ln n_i + \sum_{j=1}^I n_j \ln n_j \right) \quad (3)$$

式中, I 为预报趋势类别数, n_{ij} 为 i 类事件 j 类估计事件的个数。

通过最佳子集回归的筛选 (表略), 由 9 个自变量组成的子集回归 CSC 值最大, 随着自变量个数增加, 不但 CSC 值不增大, 复相关系数也没有提高, 由此确定最佳子集回归方程为:

$$y = -1.004 + 0.354x_1 + 0.401x_2 + 0.237x_3 + 0.275x_4 + 0.208x_5 + 0.508x_6 + 0.511x_7 - 0.105x_9 - 0.209x_{10} \quad (4)$$

将 1961—2003 年观测值构成的 9 个均生函数延拓序列代入 (4) 式可得到南京 6 月高温日数的拟合值, 拟合均方根误差为 0.55。用同样的方法, 分别获得杭州、南昌等站夏季 6—8 月高温日数的拟合值、预测值及实测值。

4.3 分析和预报检验

(1) 分析

南京 1961—2003 年 6 月、7 月、8 月最佳子集回归方程的均方根误差分别为 0.55、2.64、2.32, 复相关系数 R 分别为 0.90、0.87 和 0.89。采用同样的方法, 分别获得杭州、南昌等站夏季 6—8 月各月最佳子集回归方程的均方根误差和复相关系数。

(2) 预报检验

南京站 1961—2003 年高温日数预测值和实测值及误差 (表略), 从 43 a 6 月的预测误差来看, 预测误差为 0 的有 38 a, 预测误差为 1 d 有 5 a, 预测误差在 1 d 之内约占 88%。从 7 月预测误差来看, 有 13 a 超过 2 d, 其余年均在 2 d 之内, 预测误差在 2 d 之内约占 70%, 预测误差在 3 d 之内约占 90%。从 8 月的预测误差来看, 预测误差在 2 d 之内有 35 a, 约占 90%。从南昌 6 月的预测误差来看, 有 1 a 预测误差为 2 d, 有 3 a 预测误差为 1 d, 其余年预测误差 0。从 7 和 8 月的预测误差来看, 有 6 a 超过 3 d 外, 其余年均在 3 d 之内, 预测误差在 3 d 之内约占 86%。采用同样的方法, 获得杭州等站夏季 6—8 月月高温日数的预测值, 表明预测模型具有一定的预测能力, 各站的预测误差不大, 值得在业务中应用。

5 结 论

(1) 强高温过程期间闷热天气持续时间长, 极端气温高, 日平均风速小, 日平均相对湿度大。副热带高压是形成上述地区城市高温的主要天气系统。长江中下游地区城市 2000 年以后升温显著。近 40 a 来该地区夏季月平均日照时数减少, 但上述地区城市 2000 年以后日照时数逐渐增多。

(2) 长江中下游城市高温持续时间比较长, 大于等于 38 °C 或 40 °C 极端高温持续时间短; 高温出现和结束时间变化大, 极端最高气温有时出现在下午 5 时; 高温最迟下午 9 时结束。

(3) 预测模型预测夏季月高温出现日数, 通过 40 a 高温资料预报检验, 有较好的预测效

果, 各站的预测误差不大, 值得在业务中应用。

参考文献:

- [1] 张尚印, 宋艳玲. 夏季高温及其影响 [C]. 2001 年全国气候影响评价. 北京: 气象出版社, 2002: 41-44.
- [2] 吴 兑, 邓雪娇. 环境气象学与特种气象预报 [M]. 北京: 气象出版社, 2001: 15-20.
- [3] 刘莉红, 郑祖光. 近百余年我国气温变化的突变点分析 [J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(3): 78-383.
- [4] 谈建国, 殷鹤宝, 林松柏. 上海热浪与健康监测预警系统 [J]. 应用气象学报, 2002, 13(3): 356-363
- [5] Kalkstein L S, Jamason P F, Greene J S et al The Philadelphia hot weather-health watch/warning system; development and application Summer1995 [J]. Bull Amer Meteorol Soc 1996, 77(7): 1519-1528.
- [6] 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
- [7] 张尚印. 北方气旋的若干统计特征及其发展的天气学分析 [J]. 高原气象, 1984, B(3): 83-89
- [8] Kalkstein L S. Activities with study group 6 of the international society of biometeorology [J]. Int J Biometeor 1998, 42(1): 8-9.
- [9] 张 艳, 闵绵忠, 王体健. 南京城区夏季低层逆温对人体舒适度状况影响初探 [J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(3): 413-419.
- [10] 温 敏, 何金海. 夏季西太平洋副高脊线的活动特征及其可能的机制 [J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(3): 289-297.
- [11] 张德宽, 杨贤为, 邹旭恺. 均生函数—最优子集回归在高温极值预测中的应用 [J]. 气象, 2003, 29(4): 44-47.

Study on the Mechanism and Forecasting Method of High Temperature Disaster in Summer in the Large Cities of the Yangtze River Basin

ZHANG Shang-yin¹, ZHANG De-kuan¹, XU Xiang-de²,
LAO Yao-ming¹ SHEN Shu-qin³, YIN Dong-ping³

(1. National Climate Center, Beijing 100081, China)

2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

3. Jiangsu Province Meteorological Office, Nanjing 210008, China)

Abstract Based on Monthly high temperature data in summer (JJA) from 1961 to 2003 at Nanjing, Hangzhou and Nanchang stations, quite complete time series of severe high temperature are established and the climatic characteristics and disaster mechanism of high temperature in these areas are analyzed. The observed data in these areas show that oppressive weather lasted for a long time, extreme high temperature was high, daily average wind speed relatively low and daily average humidity higher during the high temperature process. The subtropical high over East Asia is the main climatic system that induced the summer high temperature disaster in these areas. A forecasting model of high temperature days is established using the methods of mean generating function and optimal subset regression. The verification of the 42 years historical records shows that the model can forecast high temperature in these areas successfully. Therefore it can be applied in climate operation.

Key words Yangtze River Basin; climatic characteristics of high temperature; analysis of disasters mechanism; forecasting method