

文章编号: 1000-2022(2000)-01-0042-06

全球气候变暖对长江三角洲极端高温事件概率的影响*

邓自旺, 裕国, 陈业国

(南京气象学院环境科学系, 南京 210044)

摘要: 研究了全球气候变暖对长江三角洲极端高温事件(EHTE) 概率的影响。结果表明, 全球增暖将使 EHTE 发生的概率增大。当夏季逐日平均最高气温在现有的基础上升高 $3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后, EHTE 发生的概率将由现在的 0.13 增加到 0.2~0.3, 即夏季出现极端最高气温 $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天数将由现在的 12 d 左右增加到 20~30 d。

关键词: 长江三角洲; 极端高温事件; 概率

中图分类号: P461 **文献标识码:** A

大量研究表明, 二氧化碳等温室气体的增加, 将使全球气候变暖, 二氧化碳倍增将使得全球气温增加 $2.0\sim 5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[1]。因此, 气候变化引起了气象界和各国政府越来越多的关注。对于气候变化问题, 人们普遍从平均逐日最高气温这一角度去研究, 而且方法已经相当成熟。而从极端气温这一角度去研究的相对较少。国外学者对极端气温, 特别是极端最高气温的研究已有不少卓有成效的工作^[2,3]。而在国内, 随着极端气温事件对工业、农业(生产)以及人类健康的影响愈加显著, 不少学者已经开始研究极端最高气温的变化规律, 并取得一定的成果^[4]。以往的研究大多是极端最高气温的变化规律, 而本文将从概率的角度出发, 着重研究长江三角洲夏季极端高温事件(EHTE)(日最高气温 $\geq 35.0\text{ }^{\circ}\text{C}$) 发生概率随逐日最高气温的变化规律。

1 资料与方法

1.1 资料

为研究长江三角洲 EHTE 发生的概率变化规律, 选取了上海、南京和杭州 3 个代表站历年夏季(6~8月)逐日最高气温的观测值作为研究对象。上海资料由 1873~1995 年(其中缺少 1993 和 1994 两年)共 121 年。南京的资料由 1905~1995 年(其中缺少 1906, 1920, 1921, 1923, 1938, 1939, 1940, 1944, 1945, 1993 和 1994 年)共 80 年。杭州的资料由 1971~1995 年(其中缺少 1993 和 1994 年)共 23 年。在进行分析以前将包含缺测 3 d 及以上日最高气温的年份(即括号中所列年份)删去。缺测 1~2 d 的资料进行线性插补。3 站资料的统计特征量见表 1。

1.2 方法

根据国家气象局规定^[5], 极端高温的临界值为 $35.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。如果某一天最高气温 $\geq 35.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 则

* 收稿日期: 1999-04-20; 改回日期: 1999-10-08

基金项目: 江苏省自然科学基金资助课题(BK97183)

作者简介: 邓自旺, 男, 陕西镇安县人, 1965 年 3 月生, 博士生, 讲师。主要研究方向: 气候变化

称该日发生了 EHTe。研究 EHTe 发生的概率的基本方法有两种。一种是利用逐日最高气温的实测资料, 通过计算它的 EHTe 发生的频率来估计相应的 EHTe 发生的概率。此种方法结果的精度依赖于资料长度的大小, 长度越长, 精度越高。本文第 2 部分即用此方法研究。

表 1 各站夏季逐日最高气温序列的统计

Table 1 The statistic values of daily extreme high temperature time series for Shanghai, Nanjing and Hangzhou

站名	年份	资料个数	平均值()	均方差()	自相关系数
上海	1873 ~ 1995	11132	30.8	3.786	0.756
南京	1905 ~ 1995	7360	31.2	3.653	0.75
杭州	1971 ~ 1995	2116	31.2	4.04	0.787

另一种是利用一阶自回归过程产生逐日最高气温时间序列, 然后研究由该序列得到的 EHTe 发生的概率变化规律。此种方法可以产生任意长序列, 克服了方法一的缺陷。本文第 3 部分用本方法进行研究, 所用的概率模式称为马尔柯夫过程^[2], 其表达式为

$$X_t - u = \varphi(X_{t-1} - u) + \epsilon_t \quad (1)$$

其中 u 、 φ 分别表示逐日最高气温序列的平均值和自相关系数。 X_t 为指定某一天的最高气温, X_{t-1} 为其前一天的最高气温, ϵ_t 为随机误差项。此模式的特点是指定的某一天的最高气温 X_t 仅与其前一天的最高气温 X_{t-1} 有关。 φ 表示连续两天的最高气温的自相关系数。若 $\varphi = 0$, 表示 X_t 与 X_{t-1} 无关, 若 $0 < \varphi < 1$, 则表示 X_t 与 X_{t-1} 为一般的正相关。我们假设误差项符合正态分布, 即 $\epsilon_t \sim N(0, \delta^2)$ 由随机数发生器随机产生, 而其中 $\delta^2 = \delta^2(1 - \varphi)$, δ 表示逐日最高气温序列的均方差。

由(1)式, 有

$$X_t = u + \varphi(X_{t-1} - u) + \epsilon_t$$

利用上式就可产生逐日最高气温序列了。具体方法如下: 序列的第一个值 X_1 随机产生, 假设它符合正态分布 $N(u, \delta)$, X_2 由 $X_2 = u + \varphi(X_1 - u) + \epsilon_2$ 产生, 依次可产生 X_3, \dots, X_t 。在给定参数下就可以产生任意长度的资料序列。通过适当改变 u 、 φ 和 δ 来产生不同情况下的逐日极端最高气温序列, 进而研究各种情况下 EHTe 发生的概率的变化规律。

2 极端最高气温变化特征分析

2.1 EHTe 发生频数的变化特征

EHTe 发生的频数是指每年夏季 92 天内最高气温大于或等于 35.0 的天数。图 1a、b、c 分别给出了上海、南京和杭州 3 站历年夏季 EHTe 发生的频数年际变化曲线。由图 1a 知, 近 120 年来, 上海 EHTe 频数最大值出现在 1935 年高达 54 d, 频数较大的时段为 1890 ~ 1900 年以及 1930 ~ 1950 年, 说明这两个时段的夏季维持着高温天气。而在其他时段频数则相对较小。1950 年代以后, 上海夏季 EHTe 发生的频数无显著变化, 维持在 10 d 左右, 但 1980 年以来有上升趋势。由图 1b 知, 近 90 年来, 南京夏季 EHTe 发生的频数最大值也发生在 1935 年, 1930 ~ 1980 年频数值较大, 其他时段则相对较小。1980 年以后, 频数有上升趋势。由图 1c 知, 近 30 年来, 杭州夏季 EHTe 发生的频数最大值发生在 1995 年, 1980 年以后频数有上升趋势。

由上可见, 长江三角洲内各站夏季 EHTe 发生的频数变化有较大的一致性, 其变化可以由上海站的序列代表。另外, 许多研究表明^[4,6,7], 上海气温变化不但能代表长江三角洲气温变

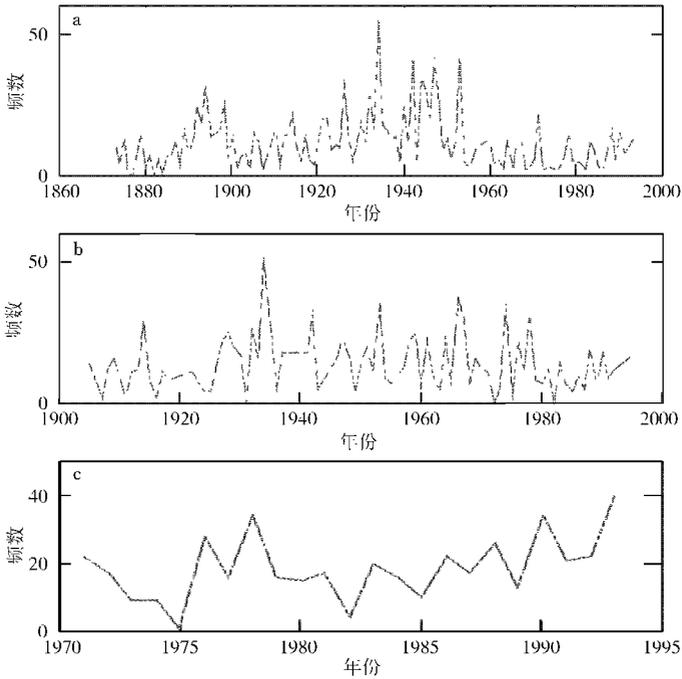


图 1 上海(a)、南京(b)和杭州(c)极端高温事件频数年际变化曲线

Fig. 1 Interannual variation of Ehte happening frequency in Shanghai (a), Nanjing (b) and Hangzhou (c)

化,而且与我国及北半球平均气温的变化相当一致。因此可以合理地假设长江三角洲夏季平均最高气温与全球平均气温同步增暖。

2.2 平均最高气温及其自相关系数以及均方差的变化特征

图 2a、b 分别给出了上海历年夏季的平均最高气温和自相关系数的年际变化曲线。可见上海的平均最高气温的最大值出现在 1935 年,平均最高气温在 1890~1950 年较高,其他时段则

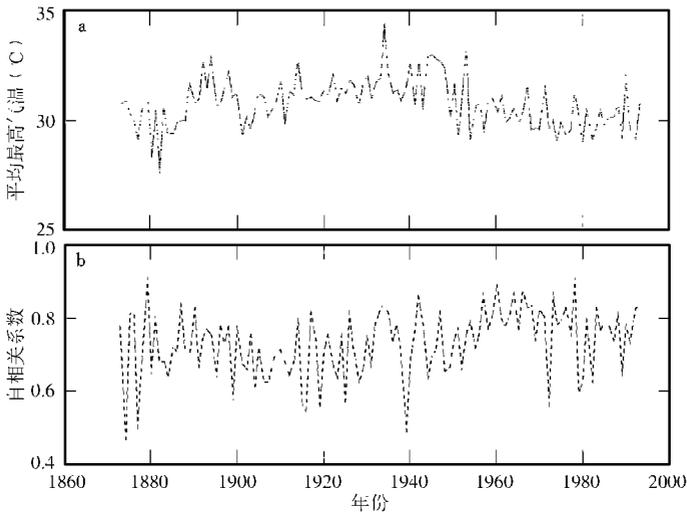


图 2 上海历年夏季极端最高气温平均值(a)和自相关系数(b)

Fig. 2 Time series of mean (a) and auto-correlation coefficient (b) of summer daily extreme high temperature in Shanghai

相对较低。与图 1a 比较一致, 两图之间的相关系数为 0.83。自相关系数最大值达 0.9, 最小值仅为 0.45 左右。近 120 年来, 自相关系数的变化具有阶段性, 其中 1890 年以前增大, 1890 ~ 1920 年减小, 1920 ~ 1960 年增大, 1960 后减小。变化幅度均在 0.1 ~ 0.2 之间。均方差(图略)序列无明显的变化趋势。图 3 为由近 120 年来上海极端最高气温资料算得的 $Q\delta$ 随 u 变化的平滑曲线。由该图可见, 当 u 在 30 ~ 33 之间时, $Q\delta$ 随 u 的变化不大, 当 u 低于 30 或高于 33 时, $Q\delta$ 随 u 增大而明显增大。因此全球增暖不但使 u 增大, 而且也会使 $Q\delta$ 增大。

3 EHTE 发生概率对各参数变化的敏感性研究

3.1 模拟结果与实测资料的比较

为了检验用马尔柯夫过程模拟各参数的变化对 EHTE 发生概率的影响的可行性, 首先利用由各站各年夏季逐日最高气温序列计算所得的 u 、 φ 和 δ 参数, 由马尔柯夫模式产生该年模拟序列, 然后求出 EHTE 发生的频率的理论值, 并将其与由实际观测资料所求得的经验值相比较, 结果如表 2 所示。上海和南京的经验值与理论值相差较小, 仅为 0.004, 杭州的经验值与理论值相差略大一些, 为 0.03, 这是由于杭州的资料年限太短(仅为 23 a)所致。

图 4 为利用上海站实测资料和模拟资料所得的上海近 120 年夏季 EHTE 发生的频率随平均逐日最高气温的变化曲线, 其中进行模拟时所采用的参数为由各年实测资料所算得的 u 、 φ 和 δ 值。可见上海 EHTE 的经验分布曲线与理论分布曲线非常接近。EHTE 发生概率(P) 随 u 升高而增大。例如 u 由 30.8 增大 3, 由实测资料可得 P 由 0.12 增大到 0.38, 由模拟资料可得 P 由 0.13 增大到 0.35。因此用马尔柯夫过程模拟各参数的变化对 EHTE 发生概率的影响是可行的。

表 2 EHTE 发生概率的经验值与理论值的比较

Table 2 Experiential and theoretical probabilities of EHTE

站名	经验值	理论值
上海	0.13	0.134
南京	0.153	0.149
杭州	0.203	0.173

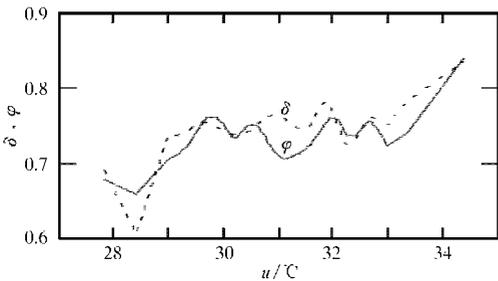


图 3 上海日极端最高气温资料的 $Q\delta$ 随 u 的变化(其中 δ 为实际值/4.8)

Fig. 3 Variation of $Q\delta$ of daily extreme high temperature in Shanghai with u (δ has been divided by 4.8)

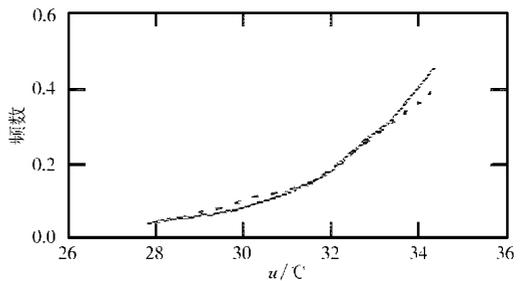


图 4 上海 EHTE 频率实测值(实线)和模拟值(虚线)随平均逐日最高气温的变化

Fig. 4 Variation of real (solid line) and simulated (dashed line) EHTE frequency with averaged daily extreme high temperature in Shanghai

3.2 均方差的改变对极端高温概率的影响

由马尔柯夫模式可知, u 、 φ 和 δ 的改变对 X_t 有影响, 从而影响 EHTE 发生的概率。为了研究均方差 δ 对 EHTE 发生概率的影响考虑 3 种情况: δ 保持现有的平均值、 δ 减小 1 和 δ 增加 1。 φ 取平均值保持不变, u 的取值范围根据实测资料确定。图 5a 给出了上海在上述 3 种

情况下由马尔柯夫模式模拟出来的 EHTe 发生的概率随平均逐日最高气温的变化曲线。可以看出, δ 减小的曲线处于 δ 不变的曲线之下, 而 δ 增加的曲线处在 δ 不变的曲线之上, 这说明在 u 相同的情况下均方差 δ 减小, EHTe 的概率减小, 均方差 δ 增加, EHTe 概率也相应增加。

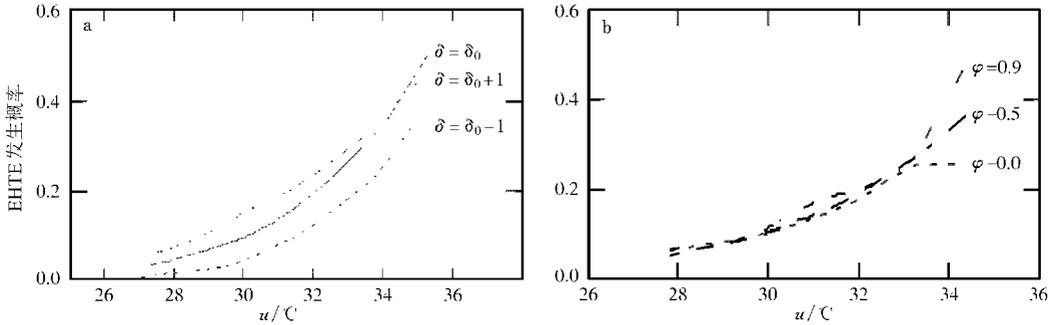


图5 不同的均方差(a)和自相关系数(b)时上海 EHTe 的概率随平均逐日最高气温的变化曲线

Fig. 5 EHTe's probability variation with averaged daily extreme high temperature under different standard deviates (a) and auto-correlation coefficients (b)

3.3 自相关系数的改变对极端高温概率的影响

气温时间序列受到自相关系数 φ 的影响很大。图 5b 给出了在 δ 保持不变的情况下, 自相关系数 φ 取 0.0、0.5 和 0.9 时, 上海夏季 EHTe 发生的概率随平均逐日最高气温的变化曲线。从图中可以看出, 在平均逐日最高气温 < 33.0 的区域里, 三条曲线相差不大, 而在 $u > 33.0$ 的区域, 3 条曲线有明显的差别。其中 $\varphi = 0.9$ 的曲线在另外两条曲线之上随 u 变化较快, 而 $\varphi = 0.0$ 的曲线在另外两条曲线之下变化较小。可见 u 越大 φ 的变化对 EHTe 概率的影响越显著。当 u 较小时 φ 的差异对 EHTe 概率影响不大。在 u 相同的条件下自相关系数越大, EHTe 概率越大。

3.4 平均逐日最高气温增加 3.0 对极端高温概率的影响

表 3 给出了 u 增加 3.0 时, 各种参数取固定值情况下模拟得到的 EHTe 的概率。

表 3 上海平均逐日最高气温增加 3.0 的情况下 EHTe 的概率

Table 3 EHTe's probabilities with increment of 3.0 for averaged daily high temperature in Shanghai

参数变化 说明	参数取值			概率 P
	u	δ	f	
u, δ, φ 不变	30.8	3.786	0.756	0.13
u 增加 3.0, δ, φ 不变	33.8	3.786	0.756	0.239
u 增加 3.0, δ 减小, φ 不变	33.8	2.886	0.756	0.171
u 增加 3.0, δ 增加, φ 不变	33.8	4.886	0.756	0.257
u 增加 3.0, δ 不变, φ 减小	33.8	3.786	0.5	0.234
u 增加 3.0, δ 不变, φ 增加	33.8	3.786	0.9	0.285
u 增加 3.0, δ 增加, φ 增加	33.8	4.886	0.9	0.331

从表 3 可以看出, 平均逐日最高气温 u 增加后, 各种情况下的 EHTe 的概率都变大了。对均方差 δ 而言, δ 增加, EHTe 的概率 P 增加, δ 减小, P 亦减小。对自相关系数 φ 而言, φ 增加,

EHTE 的概率 P 增加, φ 减小, P 减小, 这些与前文分析所得到的结果相一致。由前文的实际资料分析知, u 增大后 δ , φ 也将会随之增大, 因此在三参数同时增大的作用下, 将会使 EHTE 发生的概率显著增大。

4 结 论

(1) 1890~1900 年、1930~1950 年是近 120 年来长江三角洲极端高温事件多发期。1980 年以来随着全球气候的快速增暖, EHTE 发生的频数有增加的趋势。

(2) 平均最高气温的升高也引起 δ 、 φ 相应地升高。 u 、 δ 、 φ 中任意一个参数增大, 都将使 EHTE 发生的概率增大。因此 u 增大将使其他两参数 δ 和 φ 同时增大, 在它们的共同作用下, 将使 EHTE 发生的可能性显著增大。

(3) 当 u 在现有的情况下升高 3.0 后, EHTE 发生的概率将由现在的 0.13 增加到 0.2~0.3。

参考文献

- [1] 唐 鑫, 丁裕国. 我国冬半年局地气温对北半球增暖响应的特征分析[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(2): 259~264
- [2] MEARUS L O, KATY R W. Extreme high-temperature events: changes in their probabilities with changes in mean temperature[J]. J Climate and Appl Meteo, 1984, 23(2): 1601~1613
- [3] KARL T R, KUKLA G, RAZUVAYEV V N, et al. Global warming: evidence for asymmetric diurnal temperature change[J]. Geophys Res Lett, 1991, 18(12): 2253~2256
- [4] 任福民, 翟盘茂. 1951~1990 中国极端气温变化分析[J]. 大气科学, 1998, 22(2): 217~227
- [5] 李长伦. 南宁市高温天气分析[J]. 广西气象, 1997, 18(2): 25~31
- [6] 陈隆勋, 朱文琴, 王 文. 中国近 45 年气候变化的研究[J]. 气象学报, 1998, 56(3): 257~271
- [7] 屠其璞, 邓自旺, 周晓兰. 中国近 117 年年平均气温变化的区域特征研究[J]. 应用气象学报, 1999, 10(增刊): 34~42

Effects of global warming on the probability of extreme high temperature event in the Yangtze Delta

DENG Zi-wang, DING Yu-guo, CHENG Ye-guo

(Department of Environmental Sciences, NIM, Nanjing 210044)

Abstract: The effects of global warming on the probability of extreme high temperature event (EHTE) in the Yangtze Delta are studied. It shows that the probability of EHTE will increase with global warming. When averaged daily extreme high temperature in summer increases 3.0, the probability will rise from 0.13 to 0.2~0.3, it means the days that daily extreme high temperature is equal or greater than 35 will rise from 12 now to 20~30 in the future.

Key words Yangtze Delta; extreme high temperature event; probability