

何玲玲, 陈正洪. 2009. 武汉市居民中暑与气象因子的统计特点研究 [J]. 气候与环境研究, 14 (5): 531–536. He Lingling, Chen Zhenghong. 2009. Statistical properties of the heat stroke events in Wuhan residents and meteorological factors [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (5): 531–536.

武汉市居民中暑与气象因子的统计特点研究

何玲玲^{1,2} 陈正洪^{1,2}

1 中国地质大学, 武汉 430074

2 武汉区域气候中心, 武汉 430074

摘 要 利用武汉市 1994~2006 年共 13 年 1464 个中暑病例资料和同期逐日气象资料, 分别统计逐日中暑人数、日平均中暑人数与气象因子的线性、非线性相关系数, 筛选出关键气象因子, 建立中暑与多气象因子的非线性模型, 制订中暑气象等级标准。结果表明: 气温是中暑发生的最关键影响因子, 不利气象因子 3 天或 3 天以上的累积效应才能导致中暑群发, 中暑人数与气象因子呈现非线性关系。建立了日平均中暑人数与前 3 日平均气温、前 3 日平均最小相对湿度的指数模型。将日平均中暑人数划分为 5 级, 并应用该等级标准进行历史样本回代检验和独立样本预报检验, 效果较好。

关键词 中暑 气象因子 相关分析 非线性模型 等级划分

文章编号 1006-9585 (2009) 05-0531-06 **中图分类号** X16 **文献标识码** A

Statistical Properties of the Heat Stroke Events in Wuhan Residents and Meteorological Factors

HE Lingling^{1,2} and CHEN Zhenghong^{1,2}

1 China University of Geosciences, Wuhan 430074

2 Wuhan Regional Climate Center, Wuhan 430074

Abstract By using the detailed data of 1464 daily heat stroke cases and daily meteorological factors from 1994 to 2006 in Wuhan, the linear and nonlinear correlation coefficients between the daily number of heat stroke cases and meteorological factors are calculated, the key factors are selected, the nonlinear models are established, and the meteorological grades for heat stroke are divided. The results show: 1) The air temperature is the key factor which leads to the heat stroke events, and the accumulation of meteorological factors in or over three days will be more effective for numerous heat stroke cases; 2) nonlinear correlation will be more suitable for the number of heat stroke cases and meteorological factors. The nonlinear models are established between the daily average number of heat stroke cases and the mean temperature, the minimum relative humidity in the preceding three days (including the present day). The standards of five grades are worked out according to the daily average number of heat stroke cases, the test indicates a good result through historical and independent samples.

Key words heat stroke, meteorological factors, correlation analysis, nonlinear model, grade division

收稿日期 2008-05-25 收到, 2009-08-30 收到修定稿

资助项目 国家科技支撑计划课题 2007BAC29B05-01、中国气象局气候研究开放实验室开放课题 LCS-2006-11 和气象新技术推广项目 CMATG2006M15、武汉区域气象中心科技发展基金重点项目 QY-Z-200807

作者简介 何玲玲, 女, 1982 年出生, 硕士, 主要从事环境工程、医疗气象研究。E-mail: egg2008276@sohu.com

通讯作者 陈正洪, E-mail: chenzh64@126.com

1 引言

中暑是急性热致疾患中最主要的一个病种,是最典型的气象病之一(茅志成等,2000)。每当夏季酷暑来临时,我国及世界上许多地区都会因受到高温影响出现大量中暑病人,甚至大量人员死亡事件(Palecki et al., 1996; Rooney, et al. 1998; 王长来等, 1999; 杨宏青等, 2000; Mich- elozzi et al., 2004; Díaz, et al., 2006)。随着全球气候变暖,高温热浪危害将加剧(Meehl et al., 2004)。近年全国各地,大多开展了中暑气象预报(焦艾彩等, 2001; 陈正洪等, 2002; 谈建国等, 2002, 2004)。武汉市地处长江中游,曾是著名的三大“火炉”之一,随着全球气候变暖和城市热岛效应加剧(陈正洪等, 2007),夏季气候更加极端,如入夏提前,出夏推迟,夏季延长。自1994年以来有5年在9月出现高温热浪,日最低气温 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 的夜晚频繁出现,2003年8月1日出现了1951年以来的极端最高气温(39.6°C),2006年夏季、5~9月平均气温为1951年以来最高,1997年年平均气温为1951年以来最高,近几年中暑人数显著增加(何玲玲等, 2007; 陈正洪等, 2008)。由于武汉较好的地理代表性,研究其中暑气象规律,可为我国各地开展中暑气象预报提供理论依据。

2 资料与方法

武汉市1994~2006年共13年1464个中暑病例资料由武汉市劳动职业病防治院提供,据此统计逐日中暑人数。由于非典发生后对中暑上报更加重视,2003年后记录中暑人数显著增多,但由于采用了区间统计,对统计结果不会有影响。对1994~2005年(缺2001年)共11年的中暑病例数统计表明(何玲玲等, 2007),中暑一般集中在6~8月,尤其是7、8月,5月和9月偶有发生,所以研究期间为6~8月。同期逐日气象资料来源于湖北省气象档案馆。

参考气象及医学部门已有的研究成果,选择11个当日气象因子及与前1~4天平均所衍生出的44个气象因子(表1),以日中暑人数 y 为因变量,气象因子 x_i ($i=1, 2, \dots, 55$)为自变量,计算相关系数(r),样本数为1464,信度为0.001、0.01、0.05的临界值分别为0.104、0.067、0.051。

对中暑人数和55个气象因子进行一、二维区间统计,以日平均中暑人数 y_1 为因变量,对应的55项气象因子的区间中值 x_i ($i=1, 2, \dots, 55$)为自变量,计算它们之间的相关系数和非线性相关系数,比较其效果差异。其中二维区间统计主要考虑3天平均气温和3天平均相对湿度的组合。

表1 55个气象因子及其定义
Table 1 55 meteorological factors and their definitions

气象因子	定义	单位	气象因子	定义	单位
x_1	日平均气温	$^{\circ}\text{C}$	x_2, x_3, x_4, x_5	当日及发病前1~4天的平均气温	$^{\circ}\text{C}$
x_6	日最高气温	$^{\circ}\text{C}$	x_7, x_8, x_9, x_{10}	当日及发病前1~4天的平均最高气温	$^{\circ}\text{C}$
x_{11}	日最低气温	$^{\circ}\text{C}$	$x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}$	当日及发病前1~4天的平均最低气温	$^{\circ}\text{C}$
x_{16}	日平均相对湿度	(%)	$x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20}$	当日及发病前1~4天的平均相对湿度	(%)
x_{21}	日最小相对湿度	(%)	$x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25}$	当日及发病前1~4天的最小相对湿度	(%)
x_{26}	日平均降水量	mm	$x_{27}, x_{28}, x_{29}, x_{30}$	当日及发病前1~4天的平均降水量	mm
x_{31}	日平均水汽压	hPa	$x_{32}, x_{33}, x_{34}, x_{35}$	当日及发病前1~4天的平均水汽压	hPa
x_{36}	日平均风速	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$x_{37}, x_{38}, x_{39}, x_{40}$	当日及发病前1~4天的平均风速	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
x_{41}	日平均日照时数	h	$x_{42}, x_{43}, x_{44}, x_{45}$	当日及发病前1~4天的平均日照时数	h
x_{46}	日总云量		$x_{47}, x_{48}, x_{49}, x_{50}$	当日及发病前1~4天的平均总云量	
x_{51}	日低云量		$x_{52}, x_{53}, x_{54}, x_{55}$	当日及发病前1~4天的平均低云量	

注:各因子区间间隔分别是,气温 0.5°C 、相对湿度5%、降水量10 mm、水汽压1 hPa、风速 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、日照时数2 h、云量1。

非线性相关系数的计算方法：以日平均气温为例，日平均气温和日平均中暑人数之间的曲线关系比较类似于指数函数 $y=ae^{bx}$ ，因此进行两边取对数，得到 $\ln y=\ln a+bx$ ，令 $\ln y=y'$ ， $\ln a=a'$ ，即可得到线性方程 $y'=a'+bx$ ，求 y' 和 x 之间的相关系数。以日平均中暑人数的对数 y' 为因变量，对应的 55 项气象因子 x_i ($i=1, 2, \cdots, 55$) 为自变量，计算它们之间的相关系数，并与表 1 中的各项相关系数进行比较。

用 1994~2005 年的资料进行建模，2006 年的资料进行预报检验。

3 结果分析

3.1 逐日中暑人数和气象因子的相关分析

中暑人数和 55 个气象因子的简单及一维区间统计后的相关结果见表 2。可见：

(1) 所有气象因子在考虑了发病前 1~4 天的累积效应后基本会比仅考虑当日气象因子的相关系数大，表明人体受热中暑在很大程度上是一种高热量的累积效用。所以同时考虑气象因子前期和当日的共同作用十分必要。

(2) 中暑人数与日平均气温、日最高气温、日最低气温、日平均水汽压、日平均日照时数的正相关性都达到极显著。尤其是与三项气温相关最显著，表明高温热浪是引发大量中暑的最重要的因子。

(3) 中暑人数与日平均相对湿度、日最小相对湿度的负相关性也较显著。夏季高温和低湿有很好的负相关，所以中暑人数与相对湿度的负相关，其实就是与气温的正相关。分析表明，湿度大导致闷热，湿度达到极端时还指示着天气将发生转折即出现降雨，高温暑热会得到缓解，则不会发生严重中暑。

(4) 中暑人数与平均总云量负相关显著，但与低云量的相关性不大。总云量大，最高气温往往会降低，不利于中暑发生。

3.2 (区间) 日平均中暑人数和气象因子的相关分析

日平均中暑人数和 55 个气象因子的两种相关结果见表 3。可见：

(1) 区间统计后的相关系数都有明显提高，这是因为消除了频次不均匀的干扰，但显著性检验并没有明显改善，因为样本数大为减少。

表 2 逐日中暑人数与 55 个气象因子的相关系数 (线性)
Table 2 The correlation coefficient between daily heat stroke cases and 55 meteorological factors

气象因子	相关系数	气象因子	相关系数	气象因子	相关系数	气象因子	相关系数
x_1	0.254 ^a	x_{16}	-0.148 ^a	x_{31}	0.174 ^a	x_{46}	-0.114 ^a
x_2	0.258 ^a	x_{17}	-0.163 ^a	x_{32}	0.167 ^a	x_{47}	-0.136 ^a
x_3	0.25 ^a	x_{18}	-0.168 ^a	x_{33}	0.162 ^a	x_{48}	-0.138 ^a
x_4	0.254 ^a	x_{19}	-0.169 ^a	x_{34}	0.159 ^a	x_{49}	-0.133 ^a
x_5	0.252 ^a	x_{20}	-0.169 ^a	x_{35}	0.157 ^a	x_{50}	-0.130 ^a
x_6	0.212 ^a	x_{21}	-0.109 ^a	x_{36}	-0.026	x_{51}	-0.069 ^b
x_7	0.217 ^a	x_{22}	-0.119 ^a	x_{37}	-0.026	x_{52}	-0.089 ^b
x_8	0.217 ^a	x_{23}	-0.122 ^a	x_{38}	-0.026	x_{53}	-0.097 ^b
x_9	0.216 ^a	x_{24}	-0.122 ^a	x_{39}	-0.026	x_{54}	-0.100 ^b
x_{10}	0.214 ^a	x_{25}	-0.122 ^a	x_{40}	-0.026	x_{55}	-0.104 ^a
x_{11}	0.247 ^a	x_{26}	-0.021	x_{41}	0.116 ^a		
x_{12}	0.251 ^a	x_{27}	-0.032	x_{42}	0.142 ^a		
x_{13}	0.250 ^a	x_{28}	-0.034	x_{43}	0.153 ^a		
x_{14}	0.248 ^a	x_{29}	-0.029	x_{44}	0.162 ^a		
x_{15}	0.246 ^a	x_{30}	-0.027	x_{45}	0.170 ^a		

注：上标 a、b 分别表示通过了信度为 0.001、0.01 的显著性检验。

表 3 日平均中暑人数与 55 个气象因子的相关系数 (R_1 : 线性, R_2 : 非线性)Table 3 The correlation coefficient between mean daily heat stroke cases and 55 meteorological factors (R_1 : linear, R_2 : nonlinear)

气象因子	R_1	R_2	气象因子	R_1	R_2	气象因子	R_1	R_2	气象因子	R_1	R_2
x_1	0.557 ^b	0.841 ^a	x_{16}	-0.463	-0.527	x_{31}	0.580 ^b	0.851 ^a	x_{46}	-0.758 ^b	-0.408 ^c ↓
x_2	0.511 ^b	0.942 ^a	x_{17}	-0.367	-0.360	x_{32}	0.795 ^a	0.905 ^a	x_{47}	-0.517	-0.220 ↓
x_3	0.561 ^b	0.943 ^a	x_{18}	-0.500	-0.535	x_{33}	0.857 ^a	0.918 ^a	x_{48}	-0.243	-0.155 ↓
x_4	0.574 ^b	0.940 ^a	x_{19}	-0.487	-0.518	x_{34}	0.716 ^b	0.789 ^a	x_{49}	-0.209	-0.068 ↓
x_5	0.608 ^b	0.837 ^a	x_{20}	-0.486	-0.512	x_{35}	0.813 ^a	0.888 ^a	x_{50}	-0.104	-0.104
x_6	0.434 ^c	0.739 ^a	x_{21}	-0.223	-0.203 ↓	x_{36}	0.524	0.509 ↓	x_{51}	-0.908 ^a	-0.922 ^a
x_7	0.445 ^c	0.726 ^a	x_{22}	-0.433	-0.450	x_{37}	0.549	0.484 ↓	x_{52}	-0.856 ^a	-0.894 ^a
x_8	0.488 ^b	0.865 ^a	x_{23}	-0.586 ^c	-0.626 ^c	x_{38}	0.790 ^b	0.812 ^b	x_{53}	-0.793 ^b	-0.872 ^a
x_9	0.439 ^c	0.849 ^a	x_{24}	-0.580 ^c	-0.604 ^c	x_{39}	0.777 ^b	0.817 ^b	x_{54}	-0.728 ^b	-0.842 ^a
x_{10}	0.485 ^b	0.728 ^a	x_{25}	-0.585 ^c	-0.569 ^c ↓	x_{40}	0.768 ^c	0.844 ^b	x_{55}	-0.697 ^b	-0.825 ^b
x_{11}	0.545 ^b	0.827 ^a	x_{26}	-0.135	-0.255	x_{41}	0.889 ^a	0.929 ^a			
x_{12}	0.583 ^b	0.843 ^a	x_{27}	-0.613	-0.636 ^c	x_{42}	0.888 ^a	0.964 ^a			
x_{13}	0.531 ^b	0.835 ^a	x_{28}	-0.565	-0.606 ^c	x_{43}	0.836 ^b	0.959 ^a			
x_{14}	0.600 ^b	0.846 ^a	x_{29}	-0.518	-0.587 ^c	x_{44}	0.835 ^b	0.974 ^a			
x_{15}	0.526 ^b	0.828 ^a	x_{30}	-0.419	-0.504	x_{45}	0.832 ^b	0.893 ^a			

注: 上标 a、b、c 分别表示通过了信度为 0.001、0.01、0.05 的显著性检验; ↓ 表示非线性拟合后相关系数减小, 否则为提高。

(2) 非线性处理后的日平均中暑人数和 55 个气象因子的相关结果表明: 除了 x_{17} 、 x_{21} 、 x_{25} 、 x_{36} 、 x_{46} 、 x_{47} 、 x_{48} 、 x_{49} 、 x_{50} 等 9 个因子外, 其余因子与日均中暑人数的相关性都有明显的提高, 中暑发生与气象因子间的关系更符合非线性。其中提高最大的为气温因子, 从而为提高建模和预报效果打下了基础。

3.3 中暑人数和气象因子的二维联合区间统计分析

以上分析发现, 中暑人数与日平均气温、日

平均最小湿度的相关系数一直都很高, 尤其是 3 天累积日平均气温和 3 天累积日平均最小湿度的相关性更高。选择这两个因子进行区间统计, 结果见表 4。可见, 中暑发生几率大有两个特征, 3 日平均气温高 ($\geq 29^\circ\text{C}$, 尤其是 $33\sim 35^\circ\text{C}$) 与 3 日平均最小相对湿度小 ($\leq 60\%$, 尤其是 $50\%\sim 40\%$); 或者 3 日平均气温高不高 ($25\sim 26.5^\circ\text{C}$), 但 3 日平均最小相对湿度很大 ($75\%\sim 80\%$)。显然前者危害更为突出。

表 4 日平均中暑人数与 3 日平均气温 (x_3 , 单位: $^\circ\text{C}$)、3 日平均最小相对湿度 (x_{23}) 联合区间统计Table 4 The relationship between the number of daily mean heat stroke cases and mean air temperature (x_3) and the mean minimum relative humidity (x_{23}) in the three days

x_{23}	$x_3/^{\circ}\text{C}$																																				
	24	24.5	25	25.5	26	26.5	27	27.5	28	28.5	29	29.5	30	30.5	31	31.5	32	32.5	33	33.5	34	34.5	35	35.5													
85%	0*	0*	0*		0*		0*																														
80%	0*	0*	0*	0	1.5	0	0*																														
75%	0	0	0.11	2.8	0.42	0.67		0	0.17																												
70%	0	0	0.06	0.62	0	0.08	0	0.2	0.5	0.5	0*																										
65%	0	0.36	0.33	0	0	0.15	0.47	0.59	0	0.69	0	0.17	0.2																								
60%	0	0	0	0	0.09	0.78	0	0.18	0.39	0.46	1	0.45	0.67	0.76	0.5*	1*																					
55%	0	0	0	0	0	0	0.23	0.12	0.06	0.08	0.38	0.48	0.44	1.71	0.56	1.89	0.93	3	2*																		
50%	0*	0	0	0.22	0.33	0	0	0	0.2	0	0.08	1.18	0.56	0.55	1.14	2.05	2.36	2.52	2.87	4.5																	
45%	0*	0	0	0.25	1*	0	0	0	0.17	0	0	0.43	1.17	0.6	1.75	1.83	2.42	3.42	5.5	6.45	13*	37*															
40%	0*	0	0	0	0	0.17	0	0	0	0	0	0.2	0*	1.2		0.5*	0	2.67	4.75	3.5*	20*	35*	97*	112*													
35%	0	0	0*	0		0	0	0.25	0*	0		0*	0*	0*	0*																						
30%	0*		0		0*	0		0*		0*																											

注: * 表示样本数量少 (仅 1~2 天), 日平均中暑人数的统计结果随机性大。考虑气温对中暑的绝对重要作用, 对日平均气温 $T \geq 31^\circ\text{C}$ 的高温情况下的统计结果仍然会被采纳。

3.4 建模和中暑等级划分

3.4.1 线性模型的建立

日平均中暑人数与 3 日平均气温 (x_3) 和 3 日平均最小相对湿度 (x_{23}) 的线性模型:

$$y = -49.128 + 1.914x_3 - 0.039x_{23} (R=0.439, F=16.364, n=140),$$

其中 R 为复相关系数, F 为统计检验值, n 为样本数, 下同。

3.4.2 非线性模型的建立

日平均中暑人数与 3 日平均气温 (x_3) 和 3 日平均最小相对湿度 (x_{23}) 的非线性模型:

$$y' = \ln(y+1) = -5.862 + 0.217x_3 + 0.004x_{23} (R=0.740, F=82.785, n=140).$$

由此可以得到非线性方程:

$$y = -1 + 0.003 \times e^{0.22x^3} \times e^{0.004x^{23}}$$

3.4.3 中暑等级划分

为了便于开展预报服务和综合评估, 需要制订一套高温中暑等级标准, 参考前期文献中气象专家对中暑指数的等级划分 (杨宏青等, 2000; 陈正洪等, 2002), 并经过反复的调试, 以保证等级分布的合理性 (准正态分布, 即两头小中间大), 将平均中暑人数 y 划分为 5 级, 其指标范围见表 5。

表 5 中暑人数等级划分
Table 5 The grading of heat stroke cases

1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
$y \leq 0$	$0 < y \leq 0.5$	$0.5 < y \leq 1$	$1 < y \leq 4$	$y > 4$
无	少	中等	多	很多

3.4.4 模型的检验

从表 6、7 中可以看出, 随着中暑人数等级从低到高, 中暑几率上升, 日均中暑人数增加。在 1994~2005 年 7~8 月进行回代的 744 天中, 中暑指数在 3 级以上的共有 552 天, 而在这 552 天中, 实际有 234 天有中暑发生, 中暑几率为 42.39%, 中暑人数为 1187 人, 占总数 1230 人的 96.50%; 在 2006 年 7 月 1~16 日和 8 月 1~16 日试报的 32 天中, 中暑指数在 3 级以上的共有 30 天, 而在这 30 天中, 实际有 21 天有中暑发生, 中暑几率为 70%, 中暑人数为 101 人, 占总数 102 人的 99.02%。可见, 日均中暑人数 5 级划分较为合

理, 可以对广大市民的防暑工作具有一定的指导意义。

表 6 历史样本回代检验 (1994~2005 年 7~8 月, 共 744 天)

Table 6 The test result for historical samples (July to August from 1994 to 2005, 744 days)

	预报天数	实有天数	中暑几率	中暑总人数	日均中暑人数
1 级	85	4	4.71%	5	0.06
2 级	107	14	13.08%	38	0.36
3 级	127	21	16.54%	42	0.33
4 级	398	188	47.24%	584	1.47
5 级	27	25	92.59%	561	20.78

表 7 独立样本试报检验 (2006 年 7 月 1~16 日、8 月 1~16 日, 共 32 天)

Table 7 The test result for independent samples (1-16 July and 1-16 August in 2006, 32 days)

	预报天数	实有天数	中暑几率	中暑总人数	日均中暑人数
1 级					
2 级	2	1	50%	1	0.5
3 级	9	4	44.44%	5	0.56
4 级	16	12	75%	66	4.13
5 级	5	5	100%	30	6

4 小结与讨论

(1) 无论温度、湿度在考虑前 1~4 天的平均情况后, 与中暑人数的相关系数均比只用当天的温、湿度的情况明显提高; 另外中暑人数与气温的正相关性最高, 表明高温是引起中暑的最主要因子。

(2) 大量试验证明, 高湿、高温对中暑的发生具有协同作用, 但实际天气中高温往往对应低湿, 才出现中暑人数与湿度的负相关, 与试验结果并不矛盾。

(3) 区间统计后相关系数明显增大, 尤其是非线性处理后, 相关系数进一步大幅变大, 表明中暑人数与气象因子间符合的非线性关系。

(4) 选择 3 日平均气温、3 日平均最小相对湿度作为关键气象因子, 尝试建立了模型, 并进行了中暑等级划分, 回代试验和预报检验效果较好。

参考文献 (References)

- 陈正洪, 王祖承, 杨宏青, 等. 2002. 城市暑热危险度统计预报模型 [J]. 气象科技, 30 (2): 98 - 101, 104. Chen Zhenghong, Wang Zucheng, Yang Hongqing, et al. 2002. Statistical analysis and meteorological forecast of heatstroke death events in Wuhan [J]. Meteorological Science and Technology (in Chinese), 30 (2): 98 - 101, 104.
- 陈正洪, 王海军, 任国玉. 2007. 武汉市热岛强度非对称变化趋势研究 [J]. 气候变化研究进展, 3 (5): 282 - 286. Chen Zhenghong, Wang Haijun, Ren Guoyu. 2007. Research on a symmetrical change of urban heat island intensity in Wuhan, China [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese), 3 (5): 282 - 286.
- 陈正洪, 史瑞琴, 李松汉, 等. 2008. 改进的武汉中暑气象模型及中暑指数等级标准研究 [J]. 气象, 34 (8): 32 - 36. Chen Zhenghong, Shi Ruiqin, Li Songhan, et al. 2008. Developed model between heatstroke and meteorological factors and standard for heatstroke index ratings in Wuhan [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (8): 32 - 36.
- Díaz J, García-Herrera R, Trigo R M, et al. 2006. The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: How should we measure it? [J]. International Journal of Biometeorology, 50 (3): 159 - 166.
- 何玲玲, 陈正洪, 李松汉, 等. 2007. 武汉市居民中暑流行病学特征及与主要气象因子的关系初探 [J]. 暴雨灾害, 26 (3): 271 - 274. He Lingling, Chen Zhenghong, Li Songhan, et al. 2007. Research on the epidemiologic characteristic of heat stroke events in Wuhan and its relationship with meteorological factors [J]. Torrential Rain and Disasters (in Chinese), 26 (3): 271 - 274.
- Meehl G A, Tebaldi C. 2004. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st Century [J]. Science, 305: 994 - 997.
- 焦艾彩, 朱定真, 茅志成, 等. 2001. 南京地区中暑天气条件指数研究预报. 气象科学 [J], 21 (2): 246 - 251. Jiao Aichai, Zhu Dingzhen, Mao Zhicheng, et al. 2001. The research and prediction for heat illness weather condition index in Nanjing region [J]. Scientia Meteorological Sinica (in Chinese), 21 (2): 246 - 251.
- 茅志成, 郭堂春. 2000. 现代中暑诊断治疗学 [M]. 北京: 人民军医出版社, 38 - 42. Mao Zhicheng, Wu Tanchun. 2000. Modern Diagnosis and Treatment for Heat Stroke [M] (in Chinese). Beijing: People's Military Medical Press, 38 - 42.
- Micheloizzi P, Fano V, Forastiere F, et al. 2000. Weather conditions and elderly mortality in Rome during summer. WMO Bulletin, 49 (4): 348 - 355.
- Palecki M A, Changnon S A, Kunkel K E, et al. 1996. The nature and impacts of the July 1999 heat wave in the midwestern United States: Learning from the lessons of 1995. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77 (7): 1353 - 1367.
- Rooney C, McMichael A J, Kovats R S, et al. 1998. Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heatwave. Journal of Epidemiol and Community Health, 52: 482 - 486.
- 谈建国, 殷鹤宝, 林松柏, 等. 2002. 上海热浪与健康监测预警系统 [J]. 应用气象学报, 13 (5): 356 - 363. Tan Jianguo, Yin Hebao, Lin Songbai, et al. 2002. Shanghai heat wave/health warning system [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 13 (5): 356 - 363.
- 谈建国, 黄家鑫. 2004. 热浪对人体健康的影响及其研究方法 [J]. 气候与环境研究, 9 (4): 680 - 686. Tan Jianguo, Huang Jiaxin. 2004. The impacts of heat waves on human health and its research methods [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 9 (4): 680 - 686.
- 王长来, 茅志成, 程极壮. 1999. 气象因素与中暑发生的关系 [J]. 气候与环境研究, 4 (1): 40 - 43. Wang Changlai, Mao Zhicheng, Chen Jizhuang. 1999. The relationship between meteorological factors and heatstroke events [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 4 (1): 40 - 43.
- 杨宏青, 陈正洪, 刘建安, 等. 2000. 武汉市中暑发病的流行病学分析及统计预报模型的建立 [J]. 湖北中医学院学报, 3 (2): 51 - 52, 62. Yang Hongqing, Chen Zhenghong, Liu Jjianan, et al. 2000. The analysis to epidemiological properties of heatstroke events and its statistical forecast model in Wuhan [J]. Journal of Hubei College of Traditional Chinese Medicine (in Chinese), 3 (2): 51 - 52, 62.