

上海热浪与健康监测预警系统*

谈建国¹⁾ 殷鹤宝¹⁾ 林松柏²⁾

L. S. Kalkstein³⁾ 黄家鑫¹⁾ 邵德民¹⁾

¹⁾ (上海市气象科学研究所, 上海 200030)

²⁾ (上海市疾病预防控制中心, 上海 200031)

³⁾ (美国特拉华大学地理系)

提 要

用 1989~1998 年上海逐日 4 次气象观测资料,应用美国特拉华大学的 SSC 天气分类方法确定逐日天气类型,形成了 10 年逐日天气类型日历。并通过天气类型与死亡率的对比分析,确定 MT+ 类型是上海地区形成热浪的“侵入型”气团,是具有最高死亡率的天气类型。采用逐步回归方法建立了 MT+ 类型下因受热浪侵袭而超正常死亡数的回归方程。在此基础上建立了上海热浪与健康监测预警系统。通过 1999 年气象和死亡实况资料检验,系统对热浪及因此引起的死亡具有较好的监测和预警效果。

关键词: 热浪 监测预警 SSC 天气分类 健康

引 言

近年来,由于全球气候变暖和加快发展的城市化进程引起的更加显著的热岛效应,使得全球范围内的热浪日益频繁,许多文献表明热浪导致人群发病率和死亡率增加^[1,2]。在国内和世界上的许多城市都发布高温或热浪警报。按照中国气象局的规定,日最高温度大于 35℃ 发布高温预报;而美国国家天气局则依据综合考虑了温度和相对湿度影响的“热指数”(也称显温, Apparent Temperature)发布高温警报,当白天热指数预计连续两天有 3 h 超过 40.5℃ 或者预计热指数在任一时间超过 46.5℃,美国国家天气局就发布高温警报。然而基于最高温度或热指数的预警系统在很多方面存在缺陷。首先,它假设人体是对温度和相对湿度两个气象要素的综合反应,而没有考虑其它一些气象要素起的重要作用。第 2,没有把连续几个高温日对健康的负面影响考虑进去。也没有考虑发生在初夏的热浪要比发生在夏末的热浪对人体的影响要大得多。第 3,用最高温度或者热指数值确定的高温天气缺乏发病率与死亡率的验证。第 4,仅仅发布高温警报,不可能对发病率或者死亡率作出估计。事实上人体对热浪的反应是许多气象要素综合作用的结果,

* 本文由 WMO/WHO 国际示范项目“上海热浪与健康监测预警系统”提供资助,程戴晖同志参加了部分气象资料的统计工作。

2001-06-11 收到,2001-10-30 收到修改稿。

而非单个气象要素的作用。所以,一个合适的评价天气与健康关系的方法就是对某地进行逐日天气分类,确定对人类健康有负面影响的高危险气团或者说是“侵人型(offensive)”气团,“侵人型”气团控制下的热浪天气和人类死亡率的增加存在直接的联系。在 WMO/WHO 资助下,费城、罗马等地已经建立了基于“侵人型”气团分类的热浪监测预警系统^[3,4]。上海地处中纬度地区,属于易受热浪侵袭的城市,并且积累了较好的气象和死亡率方面的资料,因此在 WMO/WHO 资助下,上海市气象和卫生部门与美国特拉华大学合作,开展“上海热浪与健康监测预警系统”这一示范项目。探讨上海地区极端高温、“侵人型”气团和人类死亡率增加之间存在的密切关系,并在此基础上研制和建立上海热浪与健康监测、预警系统,可以为公众和相应的卫生部门提供信息,预报热浪并采取对策,挽救生命。

1 资料与方法

1.1 气象资料

系统建设所用的气象资料为上海(宝山站)1989~1998年逐日4次(02:00、08:00、14:00、20:00,北京时,下同)地面气象观测资料,包括气温、露点温度、海平面气压、风速、风向和云量等要素,由这24个变量可以确定逐日天气类型。

1.2 天气分类

系统采用美国特拉华大学开发研制的 SSC 天气分类方法(Spatial Synoptic Classification)^[5]。和许多其他的气团分类方法不一样,SSC 着眼于气团的气象要素以及变化特征而非气团的地理发源地,它仅仅考虑地面气象条件,而忽略气压形势、锋面及高空气流状况等。SSC 确定的上海地区的主要气团类型及其典型的气象特征见表1。

表1 气团类型及其主要特征

气团类型	代码	主要特征
极地干(dry polar)	DP	大陆极地气团,最冷、最干,北风,天空少云或无云,源自西伯利亚的冷高压平流输送
温带干(dry temperate)	DM	温和、干燥,无传统意义上的源地
热带干(dry tropical)	DT	最干、最热,晴空
极地湿(moist polar)	MP	冷,多云,湿,少量降水
温带湿(moist temperate)	MM	比 MP 要暖、湿一点,多云;或者 MP 变性;暖锋
热带湿(moist tropical)	MT	最热最湿,气团源自热带太平洋,冬季多云,夏季少云,对流雨比较普遍
过渡类型	TR	处于两种天气类型过渡状态

上海夏季高温高湿情况非常普遍,因此对于气团为 MT 类型的日子再划分成两类,把温度和露点均超过 MT 类型的平均值的日子划分为 MT+ 类型,否则仍为 MT 类型。

为了能够把历史上或者未来的某一天归并为表1中的某一气团类型,SSC 关键的工作就是从历史资料中挑选每种气团类型的种子日(seed days),即代表某一气团类型的具有典型气象特征的日子。种子日选择经过以下几步:

a 选择气象变量(4个时次的温度、温度露点差,日平均云量,日平均海平面气压,温度日较差及露点日较差等12个变量);

- b 量化典型气象特征,寻找不同的气团类型在不同月份各气象要素的变化范围;
- c 利用判别函数进行判别分析;
- d 翻阅天气图确认所选择的日子对于某种特定的气团具有代表性;
- e 如果种子日没有代表性,则修改标准,重复上述各步,直至选出为止。

一旦选择好了特定天气类型的种子日,系统通过判别函数分析把历史上或未来的某一天与各天气类型的种子日进行相似性比较,判断某日气象特征与哪个天气类型的种子日最为相似,就将该日归并为此天气类型,由此可以形成天气类型日历。

根据 1989~1998 年气象资料,计算出 10 年逐日天气类型日历,各月气团类型出现的频率见表 2。从表 2 可以看出每个月不同的气团类型出现的频率有很大差异,上海夏季出现的气团类型主要是 MT 和 MM,偶尔也有其他天气类型。而从上海夏季各气团类型气象要素平均值可以看出(表 3),MT+ 相对于其他气团类型具有更高的温度和露点。

表 2 上海各月不同气团类型出现频率(1989~1998 年)

月份	DM	DP	DT	MM	MP	MT	TR	%
1	19.4	16.1	0.0	19.4	36.8	0.3	8.1	
2	27.7	13.1	1.8	23.4	24.8	3.9	5.3	
3	29.0	6.5	0.0	31.9	18.7	4.5	9.4	
4	34.0	5.7	1.7	36.7	2.7	11.3	8.0	
5	26.8	2.3	4.2	38.1	1.6	20.6	6.5	
6	8.7	0.0	0.3	53.7	0.0	32.3	5.0	
7	0.0	0.0	0.0	30.6	0.0	67.4	1.9	
8	1.3	0.0	0.0	29.0	0.0	66.8	2.9	
9	23.0	0.0	0.0	31.3	1.0	38.3	6.3	
10	51.9	1.0	0.0	22.6	1.9	17.1	5.5	
11	38.3	6.0	0.0	25.3	3.7	14.7	12.0	
12	28.7	15.2	0.0	26.8	17.7	3.5	8.1	

表 3 上海夏季各气团类型气象要素特征

气团类型	02:00						14:00					
	温度	露点	气压	U	V	云量	温度	露点	气压	U	V	云量
DM	19.4	15.1	1013.0	-0.2	-0.6	4.5	25.4	13.6	1012.7	-1.7	-1.0	5.0
DP	17.4	10.9	1017.4	-0.7	-0.7	5.0	20.1	13.7	1017.3	-3.2	-0.7	5.0
DT	20.4	12.3	1007.9	0.7	2.7	1.8	30.3	11.0	1005.3	1.2	2.1	3.1
MM	22.3	20.3	1007.7	-1.0	0.0	9.2	24.6	20.6	1007.7	-2.1	-0.5	9.0
MP	16.2	12.8	1015.3	0.6	-0.8	9.6	18.3	13.6	1015.5	0.6	-0.7	9.1
MT	25.3	23.1	1007.1	-0.8	1.1	5.8	29.9	23.3	1006.7	-1.9	0.7	6.1
MT+	28.1	25.0	1004.9	-0.1	2.5	5.3	33.7	25.2	1004.3	0.8	1.4	6.1
TR	23.6	21.3	1004.8	-0.1	0.8	8.2	25.7	19.8	1005.3	-0.1	-0.6	8.3

1.3 死亡率数据

上海市疾病控制与预防中心建立了详细的死亡数据库,并提供了 1989~1998 年逐日死亡资料,包括总死亡数、老年人群(65 岁以上)死亡数、非老年人群(65 岁以下)死亡数、男性死亡数、女性死亡数等。所有死亡数资料随相应时段上海总人口的变化而作了调整,形成上海人口死亡率资料。统计发现 1989~1998 年上海夏季平均死亡数随着年份有增加的趋势,因此我们采用下式将逐日死亡数进行标准化,得到标准化死亡数,并用统计学

方法计算标准偏差。

$$M_s = M_0 - M_c$$

$$M_c = 5.4411(Y - 1988) + 191.89$$

式中 M_s 为标准化死亡数, M_0 为逐日实际死亡数, M_c 为夏季平均死亡数趋势项, Y 为年份。

1.4 气团类型和死亡率的关系

在以上天气分类的基础上,分析在不同气团类型下的人群死亡情况如表 4 所示,从表 4 中可以看出:

(1) MT+ 气团类型具有最高的标准化总死亡数,说明 MT+ 气团类型是上海地区引起热浪的“侵人型”气团,它的一个显著特点就是温度和露点温度高,西南风,多云天气。MT+ 比其他 7 种天气类型具有更大的死亡数,其平均总死亡数比在其他 7 种天气类型下多 35~63 人/天;

(2) 65 岁以上老年人群为热浪的敏感人群,较易受热浪袭击而死亡,死亡数在 MT+ 天气类型下最多,而 65 岁以下人群死亡数在各种天气类型下相差不大,在 MT+ 天气类型下也没有非常明显的增加。

(3) 从性别来看,男性和女性人群均在 MT+ 天气类型下具有较高的死亡数,说明 MT+ 气团类型对于男性和女性具有同样的攻击性。

表 4 天气类型与人群死亡情况

项目	DM	DP	DT	MM	MP	MT	TR	MT+
老年人群	160	134	170	147	148	160	156	198
非老年人群	61	69	61	60	66	62	62	68
男 性	117	91	117	110	112	117	115	134
女 性	104	112	114	97	102	105	103	132
总数	221	203	231	208	214	222	218	266
标准化总数	- 4	0	1	- 12	- 1	- 2	0	42
标准偏差	25	24	24	23	30	25	27	79
日 数	153	2	8	508	6	482	57	174
频率(%)	11.0	0.1	0.6	36.5	0.4	34.7	4.1	12.5

MT+ 天气类型具有最高的死亡数,同时也具有最大的标准偏差,说明在同样的 MT+ 气团类型下,死亡数的差异也是非常显著的。因为在这种“侵人型”气团类型下,还有其他的一些气象或社会、经济等因素影响死亡率的高低,如温度的高低、“侵人型”天气类型持续的时间长短、对高温的适应能力大小等等。为了能够寻找到“侵人型”气团下哪些因素对死亡率的影响比较大,我们采用了逐步回归分析。以死亡数超出常年同期平均值的超额死亡数作为逐步回归分析中的预报量,考虑了以下变量参与逐步回归分析:

(1) 当日和前一日 4 时次(02:00, 08:00, 14:00 和 20:00)的显温及其平均、最高和最低值。显温公式如下所示^[6]:

$$T_{ap} = -2.653 + 0.994 T_a + 0.0153 T_d^2$$

式中: T_{ap} 为显温, T_a 为气温, T_d 为露点温度。

(2) 14:00 温度和露点温度,

- (3) 02 :00 温度,
- (4) 日平均云量,
- (5) 当日和前一日的冷却程度(C),
冷却程度由下式计算:

$$C = (T_{02} - 20) + (T_{08} - 20) + (T_{14} - 20) + (T_{20} - 20)$$

式中: T_{02} 、 T_{08} 、 T_{14} 、 T_{20} 分别为 02 :00、08 :00、14 :00、20 :00 的气温。

- (6) 日序(5 月 15 日为 1, 5 月 16 日为 2, 以此类推),
- (7) 连续出现 MT+ 的日数(D)。

经过逐步回归分析发现,超额死亡数与当日的日平均显温以及连续出现 MT+ 的日数关系最为密切,于是得到因受热浪侵袭而超正常死亡的回归方程为:

$$E = - 430 .8 + (D_5 \times 15 .65) + (T_{apm} \times 11 .71)$$

其中: E 为由于热浪引起的超额死亡数, D_5 为出现 MT+ 天气类型的日数(不大于 5,如第 1 天出现 MT+ 为 1, 第 2 天出现 MT+ 为 2, 第 5 天及 5 天以上为 5), T_{apm} 为 02 :00、08 :00、14 :00、20 :00 四个时次的平均显温。建立此回归方程的样本数为 174,复相关系数 0.51,通过信度为 0.01 的 F 检验。

2 系统结构框架及热浪防御对策

热浪与健康预警系统建成以后,气象部门会同卫生部门将发布相应的热浪与健康警报。热浪与健康警报将立足于预报夏季导致死亡数增加的“侵入型”气团类型的是否以及

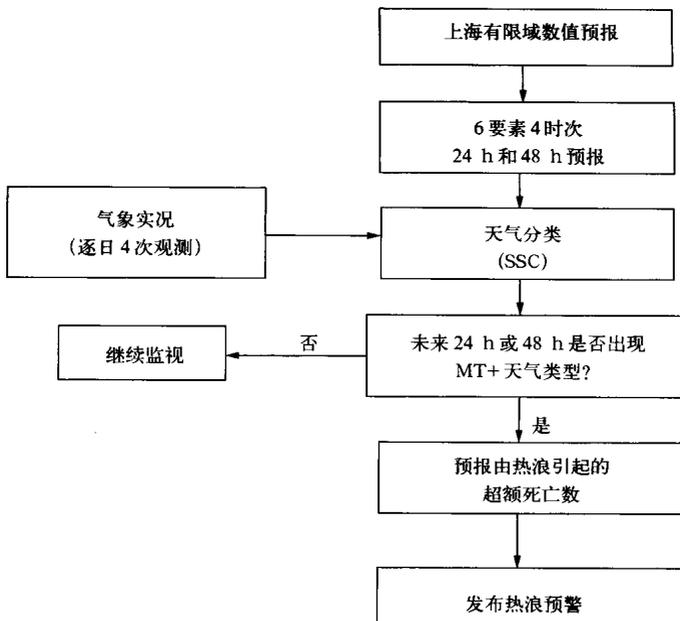


图 1 上海热浪监测预警系统框图

何时到来,热浪对死亡率有多大的影响。上海热浪与健康预警系统采用上海有限域数值预报 48 h 预报结果,可以提前 48 h 预报“侵入型”气团的到来,一旦出现该气团类型,系统将进一步预测由于热浪引起的超额死亡数,并给出热浪影响的相应等级,传送到政府有关部门或者通过媒体对外发布,以便采取措施,减轻热浪影响,从根本上达到挽救生命的目的。

上海热浪监测预警系统结构框架如图 1 所示。一旦发布热浪预警,上海市卫生部门会同有关部门一起,采取一系列措施来应对和减少热浪侵袭的影响。与电台、电视台、报纸等媒体联系,使公众能够及时得到热浪警报;公共卫生部门本身及通过媒体增加有关热浪知识的宣传教育,宣传如何防御热浪,避免致病,特别是对易受热浪侵袭的危险人群加强宣传和服务工作;医院、社区服务做好充足准备;供电、供水部门保证热浪警报期间足够的电力和水源供应;提醒居民热浪来临时应尽可能打开空调或到较凉爽环境下避暑等等,尽量减少因受热浪影响而致死致病的人数。

3 系统评价

1989~1998 年上海夏季的死亡数其标准差(σ)为 39 人,日超额死亡数大于 1σ 的日子认为是高死亡的日子,对照形成的天气类型日历,得出了上海夏季(5 月 15 日~9 月 30 日)引起高死亡的气团类型如表 5 所示,超额死亡数在 39 人($>1\sigma$)以上的日子共有 125 天,MT+ 气团类型占了相对多的频率(51%),而死亡数大于 79 人($>2\sigma$)的日子共有 27 天,MT+ 气团类型便占了 96%,气团类型与死亡数升高具有非常密切的关系,因此基于天气分类建立热浪与健康预警是可行的。

表 5 上海夏季高死亡日各天气类型出现的频数、频率(1989~1998 年)

超额死亡数	标准差	DM	DP	DT	MM	MP	MT	MT+	TR
>79	$>2\sigma$						1 (4)	26 (96)	
59~78	$1.5\sim 2\sigma$	1 (3)			2 (7)		5 (17)	19 (66)	2 (7)
39~58	$1\sim 1.5\sigma$	7 (10)			12 (17)	1 (1)	27 (39)	19 (28)	3 (4)
>39	$>1\sigma$	8 (6)			14 (11)	1 (1)	33 (26)	64 (51)	5 (4)

注:括号中的数值为频率,单位:%。

1998 年上海出现了历史上罕见的热浪天气,按照国家基本站宝山站的观测资料,上海最高气温 $>35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天数为 19 天,极端最高气温达 $37.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (市区徐家汇为 $39.4\text{ }^{\circ}\text{C}$),其中 7 月 8~20 日,8 月 1~3 日,8 月 7~17 日,8 月 21~23 日出现 4 次 3 天以上的热浪过程,尤其 7 月 7~17 日和 8 月 7~17 日这两次热浪过程温度高,持续时间长,死亡率明显增加。最高温度 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的高温日,系统都把该日判定为“侵入型”的 MT+ 气团类型,可以发布热浪警报,并且系统对虽然没有达到 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 但同样具有高死亡数的热浪也有预警功能(这样的情况 1998 年有 8 天)。超额死亡数的预报值与实况的相关系数为 0.64(通

过了 0.001 信度检验)。

为了检验系统的可预报性,我们利用 1999 年的实测气象资料和相应时段的死亡数资料对上海热浪与健康监测预警系统进行了检验,1999 年上海属于高温日较少的年份,全年仅 9 月 11 日 1 天最高气温超过 35℃,系统监测到了 9 月 8~13 日这一段热浪过程,系统预测这期间热浪引起的超额死亡数累计值为 346 人,实况为 271 人。可以看出系统对热浪具有较好的监测和预警效果。系统目前正在进一步检验和完善之中,2001 年夏季投入试验运行,上海气象与卫生部门可望于 2002 年起正式对外发布热浪警报。

4 结论与讨论

(1) 仅用温度和显温来预测热浪对人体健康的影响是不全面的,必须考虑其他因素的影响。

(2) 应用 SSC 天气分类方法进行逐日天气分类建立天气类型日历,结合死亡资料分析得出气团类型与死亡率具有非常密切的关系。基于 SSC 天气分类方法建立热浪与健康监测预警系统是可行的。

(3) 在上海地区 MT+ 气团类型是引起热浪的“侵人型”气团,这种天气类型下具有最高的夏季死亡率,65 岁以上的老年人群为易感人群。在 MT+ 气团类型下,日平均显温和连续出现 MT+ 气团类型的天数与超额死亡数具有最密切的关系。

(4) 用 1989~1998 年上海气象和死亡资料建立了因受热浪侵袭而超正常死亡数的回归方程,用 1999 年资料进行检验,结果表明该系统对热浪具有较好的监测和预警效果。

本系统与气象部门的高温警报并不矛盾,MT+ 气团类型包含了高温日,而且可提供对死亡率影响信息。系统对整个热浪期间超额死亡数的预测结果令人满意。但由于热浪引起的超额死亡有时间滞后,因此具体到某一天的超额死亡数估计尚需进一步研究和完善。

参考文献

- 1 Seichi Nakai, Toshiyuki Itoh, Taketoshi Morimoto. Deaths from heat-stroke in Japan:1968 - 1994. *Int. J. Biometeor.*, 1999, **43**(2):124 - 127.
- 2 Smoyer K E. A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri—1980 and 1995. *Int. J. Biometeor.*, 1998, **42**(1): 44 - 50.
- 3 Kalkstein L S, Jamason P F, Greene J S, et al. The Philadelphia hot weather-health watch/ warning system: development and application, Summer 1995. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**(7): 1519 - 1528.
- 4 Kalkstein L S. Activities with study group 6 of the international society of biometeorology. *Int. J. Biometeor.*, 1998, **42**(1):8 - 9.
- 5 Kalkstein L S, Nichols M C, Barthel C D, et al. A new spatial synoptic classification: Application to air mass analysis. *International Journal of Climatology*, 1996, **16**: 983 - 1004.
- 6 Kalkstein L S, Valimont K M. An evaluation of summer discomfort in the United States using a relative climatological Index. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1986, **67**(7): 842 - 848.

SHANGHAI HEAT WAVE/ HEALTH WARNING SYSTEM

Tan Jianguo¹⁾ Yin Hebao¹⁾ Lin Songbai²⁾
L. S. Kalkstein³⁾ Huang Jiabin¹⁾ Shao De min¹⁾

¹⁾ (*Shanghai Meteorological Institute, Shanghai 200030*)

²⁾ (*Shanghai Municipal Center for Disease Control & Prevention, Shanghai 200031*)

³⁾ (*University of Delaware, USA, Newark, DE 19716*)

Abstract

The Shanghai heat wave/ health warning system is introduced. The Spatial Synoptic Classification (SSC) is used as the methodology for determination of the air mass classification using the daily meteorological observation data (1989 - 1998) in the system, and the ten-year-long air mass calendars is established. Through the comparative analysis of the daily air masses and their corresponding mortality, the MT+-pattern air mass is identified as the "offensive" air mass, which is related with the high mortality in heat wave periods in Shanghai. The equation was also produced for the prediction of excessive death by step-wise regression. The system test with actual meteorological data and mortality data in 1999 indicates that the Shanghai Heat/ Health warning system has the good capability of warning excessive heat-related deaths.

Key words: Heat wave Watch and warning Spatial synoptic classification Health