

高温热浪脆弱性与适应性研究进展

杨红龙^{1,2,3}, 许吟隆², 陶生才², 潘婕², 刘珂², 吴美双^{2,4}

1. 兰州大学大气科学学院; 半干旱气候变化教育部重点实验室, 兰州 730000
2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所; 农业部农业环境与气候变化重点开放实验室, 北京 100081
3. 深圳市气象局; 深圳市国家气候观象台, 广东深圳 518040
4. 中山大学大气科学系; 季风与环境研究中心, 广州 510275

摘要 由于全球气候变化和城市热岛效应, 高温热浪成为世界范围内夏季频繁发生的极端灾害天气事件, 这引起了社会各界的广泛的关注。高温热浪对人类生存、社会经济发展、水资源和生态环境造成严重威胁。本文在气候变化的大背景下, 对高温热浪的定义和影响高温热浪脆弱性的主要因素等方面已经开展的研究工作进行了综述, 主要包括影响高温热浪危害程度的因子、高温热浪的敏感性和适应能力三个方面。在综述国内外研究进展的基础上, 对未来应对高温热浪措施和策略进行了初步探讨, 旨在为减轻高温热浪危害, 加强适应和应对气候变化背景下的极端事件的研究。

关键词 高温热浪; 极端事件; 脆弱性

中图分类号 X16

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)19-0098-05

Vulnerability to Heat Waves and Adaptation: A Summary

YANG Honglong^{1,2,3}, XU Yinlong², TAO Shengcai², PAN Jie², LIU Ke², WU Meishuang^{2,4}

1. Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change, Ministry of Education; College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China
2. Key Open Laboratory of Agro-environment and Climate Change, Ministry of Agriculture of China; Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China
3. Shenzhen National Climate Observatory; Shenzhen Meteorological Bureau, Shenzhen 518040, Guangdong Province, China
4. Research Center for Monsoon and Environment; Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract An increase in the frequency and intensity of heat waves is likely to be one effect of global climate change, one which will attract the attention of the broader scientific community. Heat waves have serious impacts on society including probable increases in mortality, strain on infrastructure (power, water and transport) and social disturbance. Wider impacts may include effects on industries, tourism and ecosystems. To date, heat largely has been ignored. To develop better coping strategies, this paper explores the main factors that shape vulnerability to heat waves, the definition of heat waves and initiates an avenue of research to address considerable knowledge gaps in this area. Vulnerability to heat waves includes degree of exposure to the heat hazard, sensitivity to changes in weather/climate and adaptive capacity. Furthermore, based on a broad range of research, this paper outlines some suggestions to decrease the impact of heat waves and explores coping strategies for extreme events in the future. Heat waves do not affect everyone. The most likely to suffer are vulnerable individuals or sectors of society such as those who are elderly, have pre-existing health problems, work in jobs requiring heavy labor, live alone, are immobile or have a low-income. The synergistic effects of such factors may prove fatal for some. Adapting to more frequent heat waves should include soft engineering options and, where possible, avoidance of widespread use of air conditioning.

收稿日期: 2010-02-08; 修回日期: 2010-09-19

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAC03A02); 国家自然科学基金重点项目(70933004); 国家自然科学基金国际合作与交流重大项目(40921140410)

作者简介: 杨红龙, 博士研究生, 研究方向为极端气候事件变化, 电子信箱: yanghl01@163.com; 许吟隆(通信作者), 研究员, 研究方向为区域气候变化, 电子信箱: xuyi@ami.ac.cn

which could prove unsustainable in terms of energy. Strategies for coping with heat include changing the way in which urban areas are developed or re-developed, and setting up heat watch warning systems that integrate weather forecast information with heat warnings and associated intervention strategies.

Keywords heat wave; extreme events; vulnerability

0 引言

近年来,随着全球气候变暖和加速发展的城市化进程引起的更加显著的热岛效应,使得全球范围内的酷热日益频繁,高温热浪事件越来越突出,正逐渐成为一种严重气象灾害^[1-4]。这种灾害不仅影响工农业生产,还直接危害到广大人民的身体健康,同时造成供水、供电紧张,并加剧光化学污染,严重威胁到广大人民的生存和生活质量。此外,高温热浪对农业生产的影响也特别严重,持续高温少雨,极易造成干旱,影响作物生长发育,使农林牧业的产量和品质下降,当高温天气频繁发生,大气降水量就会明显减少,高温还加快了土壤水分蒸发速度,使土壤含水量迅速下降,夏季高温酷暑天气伴随着大气干旱和土壤干旱同时发生,从而造成严重干旱的发生或加重干旱的严重程度,使农作物严重受损^[5-7],也极易引发森林或草原火灾。持续高温天气还可引发大面积蓝藻发生,导致水源污染。对军事活动有很大影响,由于酷暑导致失败的战例也不少。

近 50 年来,中国区域的年平均地表气温上升 1.1°C ,增温速率为 $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,比全球或北半球同期平均高得多^[8]。随着温室气体浓度的增加,未来情景下中国区域平均温度可能继续升高^[9]。平均温度的升高不仅引起了最高温度和最低温度平均值的增加,而且也使它们统计分布的两端发生改变^[10]。Gao 等^[11]和 Zhang 等^[12]的结果表明,未来情景下中国区域极端高温气候事件呈现增加趋势,低温冷害事件可能减少。极端事件的这种变化趋势暗示了未来中国区域高温热浪事件可能增加^[13]。相对于其他极端气候事件,高温热浪受到的关注较少。国外对高温热浪已经开展了诸多研究,而国内在这方面的研究较少,高温热浪的脆弱性研究、预测和预警水平,以及适应、减灾技术等方面的研究尚未完全开展。因此,总结国内外对高温热浪研究的方法和进展,对开展未来的预估研究、脆弱性及适应性研究都有重要意义。本文从影响高温热浪危害程度的因子、高温热浪的敏感性和适应能力三个方面综述和分析国内外关于高温热浪脆弱性的研究,并在此基础上探讨应对高温热浪的适应措施和策略,为研究高温热浪脆弱性和适应性研究提供科学参考,同时为制定高温热浪的适应政策和措施提供科学依据。

1 高温热浪的定义及其标准

高温热浪主要是由于空气温度高,且这样的高温持续时间较长,引起人、动物、植物不能适应的一种天气过程。

根据高温热浪的定义,高温热浪的标准主要依据高温对人体产生影响或危害的量值制定。由于高温热浪灾害的出现

受地理、社会和经济等多方面的影响,世界各国和地区研究高温热浪所采取的方法不同,高温热浪的标准也有很大差异。目前,国际上还没有统一而明确的高温热浪标准。世界气象组织(WMO)建议高温热浪的标准为:日最高气温高于 32°C ,且持续 3d 以上。荷兰皇家气象研究所则定为:日最高气温高于 25°C ,且持续 5d 以上,其中至少有 3d 最高气温高于 30°C 。美国、加拿大、以色列等国家气象部门都依据温度和相对湿度影响的热指数(显温)发布高温警报。发布标准是:当白天热指数连续两天有 3h 超过 40.5°C 或者预计热指数在任一时间超过 46.5°C ,发布高温警报。德国科学家基于人体热量平衡模型,制定了人体生理等效温度(PET)。当 PET 超过 41°C ,热死亡率显著上升。因此,以 $PET > 41^{\circ}\text{C}$ 为高温热浪预警标准。

中国一般把日最高气温达到或超过 35°C 时称为高温,连续数天(3d 以上)的高温天气过程称之为高温热浪(或称之为高温酷暑)。由于近年来高温热浪天气的频繁出现,高温带来的灾害日益严重。为此,中国气象部门制定了高温天气的防御,特别制定了高温预警信号。高温对其他生物影响的标准可依据达到危害时的量值制定。

高温热浪的出现一般与大气环流异常相联系,通常表现为 500hPa 高度场的正距平^[13-15]。西太平洋副热带高压的持续稳定且加强,季风低压偏弱偏西,西风环流指数、极涡强度都小于历史平均值等,是引发高温热浪出现的有利环流形势^[16-19]。

2 高温热浪的脆弱性分析

高温热浪的脆弱性可以定义为热浪的危害程度、对气候或天气变化的敏感程度(气候变化时个人或群体的响应,包括有利和不利影响)和适应能力(高温热浪来临时个人或群体通过调整行动或创造条件减缓或消除不利影响的能力)的函数^[20]:

$$\text{脆弱性} = f(\text{危害}, \text{敏感程度}, \text{适应能力})$$

2.1 影响高温热浪危害程度的因子

高温热浪的危害程度取决于连续异常天气的持续时间和异常程度。热浪可以发生在室内也可以发生在户外。夜间室内的温度尤其重要,如晚上人们可以得到休息,就可以减缓白天的影响。但是目前关于夜间屋内温度的资料很少,因此目前很难估计出夜间温度与人体健康的关系。2003 年伦敦高温热浪期间尽管白天最高温出现了降低,但夜间却连续出现高温,且持续一周以上。因此连续夜间高温可能是热浪脆弱性的重要方面。

如果假设室内和户外的温度存在线性关系,热浪发生期

间,即使通风很好的建筑物室内温度也大大超过了人体舒适温度范围(18~24℃)。如果室内外都持续高温,就减少了室内外温度梯度,导致建筑物与大气之间的热量交换减少,因此白天热浪的影响没有缓解,人体的不舒适感觉将持续。

人为热源,尤其是空调和汽车排放的人为热量加重了热浪的危害。对城市居民来说,在高温热浪期间城市热岛效应提供了额外的风险。Graves等^[21]的观测表明,伦敦由于热岛效应,温度增加了7℃。还有研究表明,上海、天津、兰州、广州等城市的城市热岛效应也不断增强^[22-25]。

气候学上来说,城市热岛效应在6—9月达到最大。根据城市和郊区观测站点的比较,伦敦每月由于城市热岛效应引起的3℃以上的温度距平发生次数为15d/mon, Wilby^[26]的研究表明城市热岛效应具有周循环现象。伦敦城市热岛效应主要发生在夜间,峰值在02:00—04:00,下午时刻城市和郊区站点的温度差别可以忽略,甚至有时城市站点的温度还低于郊区,这暗示了城市热岛对最高温度影响很小。相反,2个站点的夜间温度相差较大。白虎志^[22]分析兰州地区的热岛效应日变化时发现,热岛效应在02:00最为明显,而14:00较小。Graves^[21]指出,伦敦城市周围的热岛效应的影响随着离城市中心的距离而减小。此外建筑物覆盖对城市热岛有明显的影 响。绿色公园对温度场有着明显的影响,午后公园半径200~400m范围内相对于附近街道可以降温1~3℃。然而,也有研究表明绿地对高温的缓解作用可能会由于集中绿地相对湿度较高而被抵消^[27]。此外,城市干岛效应可能会缓解由于气温变暖和城市热岛增强引起的热浪脆弱性^[28]。

大量的研究试图找出城市地区热浪对人体健康影响的阈值。虽然阈值可能被其他气象变量混淆,但不同的阈值对应于不同的死亡原因。例如,王丽荣等^[29]在研究天气变化对人口死亡率的影响时,以上海、广州为例,得出广州循环系统疾病和呼吸系统疾病的阈值温度均为36℃,而上海循环系统疾病为33℃,呼吸系统疾病为35℃,两个地区相差很大。阈值对于不同年龄也不同,尤其是对一个地区的老年人来说最容易受到温度变化的影响。

研究还发现,相对于冷环境,较暖的环境中与高温热浪相关的死亡率的阈值较高。例如广州、上海两地夏季总死亡数的临界值为34℃,英格兰东南部最小死亡率对应的温度是15~18℃,而希腊对应的温度是22.7~25.7℃。随着温度增加,气候温暖地区的温度和死亡率关系梯度比冷地方更小^[30-33]。常见的温度-死亡率的分布形状呈U或者V^[31,34-36]形状,但是一些地区由于处于比较暖或冷的环境中还没有适应从而出现了J形状。例如,Cuniero等^[37]研究显示在处于暖气候环境的美国南部城市温度-死亡率的分布形状呈J形,而相对处于冷环境的北部城市呈现U形。

2.2 高温热浪的敏感性

敏感性指异常高温时心理和行为上的反应。大量研究发现,有些人群相对于其他人更易受热浪影响。相对于年轻人,老年人(65岁以上)由于身体调节功能失调等原因,更容易受

到高温热浪的影响。流行性病学专家指出,老年人(65岁以上)、生活在城市中心、低收入地区体力劳动者,在高温热浪来临时死亡的危险最大^[32,38]。2003年的法国热浪事件中,死亡率与职业类型、自理程度(卧病在床,不能自理)、健康状况(心血管、精神和神经系统患者)和房屋隔热能力显著相关。

虽然儿童可能是另外一个潜在危险团体,但是2003年的高温热浪事件对儿童影响并不太大。此外,还不能确定由于天气炎热引起的一系列原因,包括损伤、事故。

热浪导致死亡最主要的原因是心血管、脑和呼吸血管等疾病^[38],尤其是心肺病患者。事实上,心血管和呼吸血管病人的死亡与温度的变化紧密联系^[39-40]。老龄化增加了与热浪有关的疾病和死亡的风险^[41]。例如,1976年英国热浪期间老年病医院住院病人死亡率增加了近2倍^[42]。

空调可以很好地缓减高温热浪的影响^[43-45]。在英国,空调的大量使用减少了死亡人数。但是作为适应战略,空调是被极力反对的,它可以增加能源消耗,产生人为热源,从而增加城市热岛效应。

财富是热浪敏感性的一个基本因素。但是由于衡量经济财富的很多潜在因子很复杂,从而限制了它的解释效应。通过很好的管理和当地机构资助可以减缓脆弱性;通过城市管理、公共健康和社会管理,紧急医疗机构的多机构资源共享,制定综合预防计划有效的减缓脆弱性。

2.3 适应能力

Adger等^[46]认为适应能力是首先认识到调整的必要性,相信适应是可实现的和可取的,愿意适应,可以利用可用的资源实施适应,且以适当的方式利用资源去实施适应措施。

在热浪适应能力方面,认知是最重要的。由于缺少对适应能力的认识,更多人可能面临死亡。虽然缺少空调和廉价的能源,但仍然相信适应是可实现的,必须愿意采取适应。根据100位专家的调查,在经济方面,适应能力不仅仅依靠收入,而且还取决于一个地区收入分配。Shevky等^[47]指出,对社会行动/活动空间来说,居民区的社会状况非常重要,其影响群体适应能力:两团体或个人之间空间距离越短,接触更多和社会距离更短,联系越多。这些已经被芝加哥1995年的热浪事件证明。拉丁裔人在1995年热浪期间死亡率最低,主要原因是严格的社会联系、强烈的家庭联系使得他们更有能力去抵御高温热浪。

空调是用于适应高温热浪的一种常见方式。环保组织非常反对使用空调,因为其广泛使用将加强城市的热岛效应。通常认为空调能够减缓高温影响,但Chappells等^[48]研究发现,通过空调调节室内气候条件可能违背社会可持续发展的能源使用模式。因此,必须调整生活方式和建筑设计,以缓解气候变化和极端热事件引起更高的室内温度的危害。

3 降低热浪影响的相关措施

1) 建立高温热浪的预警体系。预警是减少风险战略的核心,一定保证预警的可信度。

2) 加强高温热浪脆弱性的评估,以及对不同领域、不同行业的影响。

3) 建立健全应对高温热浪事件的技术体系。在热浪来临之前,应审查城市的供水系统和通信基础设施,确保热浪发生时城市基础设施的正常运行,避免放大影响,尤其是断电导致运输和供水系统的瘫痪。

4) 绿化城市,包括屋顶绿化空间,虽然人口密集的市中心街区可能空间较少,但通过绿化可以控制热量的潜能。

5) 计划和维持公众教育和宣传,对迫在眉睫的危害发出预警,同时又不造成不必要的公众恐慌。

6) 热浪发生前,还应落实政策和数据收集系统,以便热浪后的经验总结。

4 结论

本文从影响高温热浪危害程度的因子、高温热浪的敏感性和适应能力 3 个方面综述和分析国内外关于高温热浪脆弱性的研究,并在此基础上探讨了高温热浪的适应措施:

1) 连续夜间高温可能是热浪脆弱性的重要方面,同时城市热岛效应可能加剧热浪的影响。

2) 高温热浪能够造成发病率和死亡率的提高,尤其是对老年人群和低收入地区体力劳动者影响更为显著,同时它也会加重患有心血管疾病、呼吸系统疾病患者的病情而造成提前死亡。

3) 认知是热浪适应能力的最重要方面。由于缺少对适应能力的认识,更多人可能面临死亡。

4) 高温热浪的危害十分严重,采取积极有效的适应措施可以降低其影响。

参考文献 (References)

- [1] 李庆祥,李伟,鞠晓慧. 1998 年以来中国气温持续极端偏暖的事实[J]. 科技导报, 2006, 24(4): 37-40.
Li Qingxiang, Li Wei, Ju Xiaohui. *Science & Technology Review*, 2006, 24(4): 37-40.
- [2] 季崇萍,刘伟东,轩春怡. 北京城市化进程对城市热岛的影响研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 69-77.
Ji Chongping, Liu Weidong, Xuan Chunyi. *Chinese Journal Geophysics*, 2006, 49(1): 69-77.
- [3] 谈建国,郑有飞,彭丽,等. 城市热岛对上海夏季高温热浪的影响[J]. 高原气象, 2008, 27(B12): 144-149.
Tan Jianguo, Zheng Youfei, Peng Li, et al. *Plateau Meteorology*, 2008, 27(B12): 144-149.
- [4] 赵宗慈,王绍武,罗勇,等. 近百年气候变暖的不确定性分析 [J]. 科技导报, 2009, 27(23): 41-48.
Zhao Zongci, Wang Shaowu, Luo Yong, et al. *Science & Technology Review*, 2009, 27(23): 41-48.
- [5] Rooney C, McMichael A, Kovat R. Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heat wave [J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 1998, 52(8): 482-486.
- [6] 谢庄,崔继良,刘海涛,等. 华北和北京的酷暑天气 I. 历史概况及个案

分析[J]. 气候与环境研究, 1999, 4(3): 323-333.

Xie Zhuang, Cui Jiliang, Liu Haitao, et al. *Climatic and Environmental Research*, 1999, 4(3): 323-333.

- [7] 孙智辉,王春乙. 气候变化对中国农业的影响 [J]. 科技导报, 2010, 28(4): 110-117.
Sun Zhihui, Wang Chunyi. *Science & Technology Review*, 2010, 28(4): 110-117.
- [8] 丁一汇,何建坤,林而达. 中国气候变化: 科学、影响、适应及对策研究 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
Ding Yihui, He Jiangkun, Lin Eeda. *Climate change research over China: Science, impact, adaptation and strategy policy* [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2009.
- [9] 许吟隆,张勇,林一骅,等. 利用 PRECIS 分析 SRES B2 情景下中国区域的气候变化响应[J]. 科学通报, 2006, 51(17): 2068-2074.
Xu, Yinlong, Zhang Yong, Lin Yihua, et al. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(17): 2068-2074.
- [10] 张勇,许吟隆,董文杰,等. SRESB2 情景下中国区域最高、最低气温及日较差变化分布特征初步分析 [J]. 地球物理学报, 2007, 50(3): 714-723.
Zhang Yong, Xu Yinlong, Dong Wenjie, et al. *Chinese Journal Geophysics*, 2007, 50(3): 714-723.
- [11] Gao X, Zhao Z, Giorgi F. Changes of extreme events in regional climate simulations over East Asia[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2002, 19(5): 927-942.
- [12] Zhang Y, Xu Y, Dong W, et al. A future climate scenario of regional changes in extreme climate events over China using the PRECIS climate model [J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33: L24702, doi: 10.1029/2006GL027229.
- [13] Yang H, Xu Y, Zhang L, et al. Projected change in heat waves over China using the PRECIS climate model[J]. *Climate Research*, 2010, 42: 79-88.
- [14] Xoplaki E, Gonzalez-Rouco J F, Luterbacher J, et al. Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large-scale atmospheric circulation and SSTs [J]. *Climate Dynamics*, 2003, 20(7): 723-739.
- [15] Fischer E M, Seneviratne S I, Vidale P L, et al. Soil moisture atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave[J]. *Journal of Climate*, 2007, 20(20): 5081-5099.
- [16] 杨辉,李崇银. 2003 年夏季中国江南异常高温的分析研究[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(1): 80-85.
Yang Hui, Li Chongyin. *Climatic and Environmental Research*, 2005, 10(1): 80-85.
- [17] 廉毅,沈柏竹,高枳亭. 中国气候过渡带干旱化发展趋势与东亚夏季风、极涡活动相关研究[J]. 气象学报, 2005, 63(5): 740-749.
Lian Yi, Shen Baizhu, Gao Congting. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(5): 740-749.
- [18] 黄忠,熊亚丽,林良勋. 广州市 37℃以上酷热天气形势及相关要素分析[J]. 气象, 2005, 31(7): 24-27.
Huang Zhong, Xiong Yali, Lin Liangxun. *Meteorology*, 2005, 31(7): 24-27.
- [19] 赵庆云,赵红岩,王勇. 甘肃省夏季异常高温及其环流特征分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 639-643.
Zhao Qingyun, Zhao Hongyan, Wang Yong. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(4): 639-643.
- [20] Solomon S, Qin D, Manning M, et al. Climate change 2007: The physical science basis [M]/Contribution of Working Group I to the

- Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge. New York: Cambridge University Press, 2007: 996.
- [21] Graves H, Watkins R, Westbury P, *et al.* Cooling buildings in London: Overcoming the heat island[R]. Building Research Establishment Report 431, London: CRC Ltd, 2001.
- [22] 白虎志, 任国玉, 方锋. 兰州城市热岛效应特征及其影响因子研究[J]. 气象科技, 2005, 33(6): 492-495.
Bai Huzhia, Ren Guoyu, Fang Feng. *Meteorological Science and Technology*, 2005, 33(6): 492-495.
- [23] 季崇萍, 刘伟东, 轩春怡. 北京城市化进程对城市热岛的影响研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 69-77.
Ji Chongping, Liu Weidong, Xuan Chunyi. *Chinese Journal Geophysics*, 2006, 49(1): 69-77.
- [24] 谈建国, 郑有飞, 彭丽, 等. 城市热岛对上海夏季高温热浪的影响[J]. 高原气象, 2008, 27(12): 144-149.
Tan Jianguo, Zheng Youfei, Peng Li, *et al.* *Plateau Meteorology*, 2008, 27(12): 144-149.
- [25] 王喜全, 王自发, 郭虎. 北京“城市热岛”效应现状及特征[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(5): 627-636.
Wang Xiquan, Wang Zifa, Guo Hu. *Climatic and Environmental Research*, 2006, 11(5): 627-636.
- [26] Wilby R. Past and projected trends in London's urban heat island[J]. *Weather*, 2003, 58: 251-260.
- [27] 王喜全, 王自发, 郭虎, 等. 北京集中绿化区气温对夏季高温天气的响应[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(1): 39-44.
Wang Xiquan, Wang Zifa, Guo Hu, *et al.* *Climatic and Environmental Research*, 2008, 13(1): 39-44.
- [28] 王喜全, 龚晏邦. “城市热岛”对北京夏季高温闷热天气的影响[J]. 科学通报, 2010, 55(11): 1043-1047.
Wang Xiquan, Gong Yanbang. *Chinese Science Bulletin*, 2010, 55(11): 1043-1047.
- [29] 王丽荣, 雷隆鸿. 天气变化对人口死亡率的影响——以广州市和上海市为例[J]. 生态科学, 1997, 16(2): 81-86.
Wang Lirong, Lei Longhong. *Ecological Science*, 1997, 16(2): 81-86.
- [30] Donaldson G, Keatinge W, Näyhä S. Changes in summer temperature and heat-related mortality since 1971 in North Carolina, South Finland, and South East England[J]. *Environmental Research*, 2003, 91(1): 1-7.
- [31] Pattenden S, Nikiforo B, Armstrong B. Mortality and temperature in Sofia and London [J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2003, 57(8): 628-633.
- [32] Keatinge W, Donaldson G, Cordioli E, *et al.* Heat-related mortality in warm and cold regions of Europe: Observational study[J]. *British Medical Journal*, 2000, 321(7262): 670-673.
- [33] The Eurowinter Group. Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe[J]. *The Lancet*, 1997, 349(9062): 1341-1346.
- [34] Páldy A, Bobvos J, Vámos A, *et al.* The effect of temperature and heat waves on daily mortality in Budapest, Hungary, 1970-2000 [M]. Kirch W, Menne B, Bertolini R. Extreme weather events and public health responses. New York: Springer, 2005: 99-107.
- [35] Huynen M, Martens P, Schram D, *et al.* The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2001, 109(5): 463-470.
- [36] Ballester F, Corella D, Perez-Hoyos S, *et al.* Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain, 1991-1993 [J]. *International Journal of Epidemiology*, 1997, 26(3): 551-561.
- [37] Curriero F, Heiner K, Samet J. Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States [J]. *American Journal of Epidemiology*, 2002, 155(1): 80-87.
- [38] Basu K, Samet J. Relation between elevated ambient temperature and mortality: A review of the epidemiologic evidence [J]. *Epidemiological Review*, 2002, 24(2): 190-202.
- [39] Ballester F, Michelozzi P, Iniguez C. Weather, climate, and public health[J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2003, 57(10): 759-760.
- [40] O'Neill M, Zanobetti S, Schwartz J. Modifiers of the temperature and mortality association in seven US cities[J]. *American Journal of Epidemiology*, 2003, 157: 1074-1082.
- [41] Faunt J, Wilkinson T, Aplin P, *et al.* The effete in the heat: Heat-related hospital presentations during a ten-day heat wave [J]. *Australian and New Zealand Journal of Medicine*, 1995, 25(2): 117-120.
- [42] Lye M, Kamal A. Effects of a heat wave on mortality rates in elderly inpatients[J]. *The Lancet*, 1977, 309(8010): 529-531.
- [43] Kilbourne E, Choi T, Jones P D. Risk factors for heatstroke. A case-control study [J]. *Journal of American Medical Association*, 1982, 247(24): 3332-3336.
- [44] Rogot E, Sorlie P, Backlund E. Air-conditioning and mortality in hot weather[J]. *American Journal of Epidemiology*, 1992, 136(1): 106-116.
- [45] Smoyer K. Putting risk in its place: Methodological considerations for investigating extreme event health risk[J]. *Social Science and Medicine*, 1998, 47(11): 1809-1824.
- [46] Adger N, Brooks N, Bentham G, *et al.* New indicators of vulnerability and adaptive capacity [R]. Tyndall Centre for Climate Change Research, 2004.
- [47] Shevky E, Bell W. Social area analysis[M]. Stanford, CA: Stanford University Press, 1955:28-53
- [48] Chappells H, Shove E. Comfort: A review of philosophies and paradigms [R/OL]. [2009-12-20]. http://www.lancs.ac.uk/fass/projects/futcom/fc_litfinal1.pdf.

(责任编辑 朱宇)

《科技导报》“研究论文”栏目征稿

《科技导报》以发表国内外科学技术各学科专业原创性学术论文为主,同时刊登阶段性最新科研成果报告,以及国内外重大科技新闻,快速、全方位、高密度、大容量提供科技信息。“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文,要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性,同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰,并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。本栏目欢迎广大一线科技工作者投稿。投稿网址:www.kjdb.org;投稿信箱:kjdbjb@cast.org.cn。