

# 上海健康气象预测研究和服务

彭丽<sup>1,3</sup> 许建明<sup>1,3</sup> 耿福海<sup>2,3</sup> 牟喆<sup>1,3</sup> 杨丹丹<sup>1,3</sup> 周骥<sup>1,3</sup> 叶晓芳<sup>1,3</sup>

(1 长三角环境气象预报预警中心, 上海 200035; 2 上海市气象局应急与减灾处, 上海 200035;

3 上海市气象与健康重点实验室, 上海 200035)

**摘要:** 天气气候和大气环境与人们健康息息相关。在了解气象、环境对健康影响的科学事实和规律的基础上, 根据未来天气气候和大气污染状况, 对健康风险进行预测并采取相应的预防措施, 对于减少疾病的发生, 提高市民健康水平都具有重要意义。近年来, 上海市气象工作者研制了上海热浪与健康监测预警系统, 开展了气象、环境条件对上海地区中暑、细菌性食物中毒、感冒、儿童哮喘和慢性阻塞性肺病 (COPD) 等疾病的影响研究, 确定了影响疾病的气象、环境敏感因子及其暴露反应关系, 开发了中暑等疾病气象风险预报产品。研制了人工气候环境暴露仓, 通过毒理学实验研究为健康预报提供理论支持。与卫生、教育等部门合作, 通过短信、邮件、网页、微信等方式, 在试点医院、学校、餐饮单位开展了健康气象预报服务, 并采用横断面研究、干预研究等方法对部分健康气象预报服务进行评估, 获得了较好的用户反馈。

**关键词:** 天气气候, 大气污染, 健康风险, 预报服务, 效果评估

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2017.06.020

## Research of Meteorological-Health Forecast and Service in Shanghai

Peng Li<sup>1,3</sup>, Xu Jianming<sup>1,3</sup>, Geng Fuhai<sup>2,3</sup>, Mou Zhe<sup>1,3</sup>, Yang Dandan<sup>1,3</sup>, Zhou Ji<sup>1,3</sup>, Ye Xiaofang<sup>1,3</sup>

(1 Yangze River Delta Center for Environmental Meteorology Prediction and Warning, Shanghai 200035

2 Department of Emergency Response, Disaster Mitigation and Public Services, Shanghai 200035

3 Shanghai Key Laboratory of Meteorology and Health, Shanghai 200035)

**Abstract:** Weather, climate and atmospheric environment are closely related to public health. Considering the prediction of weather, climate and atmospheric pollution in the future, the meteorological-health forecast can be made on the basis of scientific facts that illuminate impacts of meteorology and atmospheric environment on health. It was proved that meteorological-health forecasts have effects to reduce the occurrence of diseases, and improve the public health. In recent years, Scientists at Shanghai Meteorological Service have developed a heatwave and health monitoring warning system, and have carried out researches on meteorological-health prediction and warning of bacterial food poisoning, heatstroke, common cold, childhood asthma and chronic obstructive pulmonary disease (COPD). The meteorological-health forecast products were developed based on determination of sensitive factors and qualification of exposure-response relationships. The Shanghai meteorological and environmental animal exposure system has been developed, and the toxicology experimental studies have been carried out to provide theoretical support for health forecasting. Shanghai Meteorological Service issued those meteorological-health forecast and warning messages to some hospitals, schools, and catering companies by various media, such as short message service (SMS), E-mail, the internet, WeChat, etc., cooperating with the health departments and education departments. Evaluation of meteorological-health forecasts were investigated by cross-sectional and intervention studies, the feedback of service objects revealed that those forecasts have positive effect on public health.

**Keywords:** weather and climate, atmospheric pollution, health risk, forecast and service, effectiveness evaluation

### 0 引言

气象条件的变化会对人类健康产生直接和间接的影响。高温热浪、寒潮等极端温度事件会造成呼吸系统和心脑血管等多种疾病的发病率和死亡率增加<sup>[1-2]</sup>,

气候变化还会对病毒、细菌、昆虫等传染媒介产生影响, 导致传染病发生和流行范围改变<sup>[3]</sup>。随着我国经济的发展和城市化进程的加速, 大气污染及其带来的健康危害越来越受到关注, 国内外大量的科学研究证实了大气污染物会对人体健康造成急性和慢性危害<sup>[4-5]</sup>, 儿童、老人和慢性病患者受到的影响更为严重<sup>[6-7]</sup>。为了更好地适应天气气候变化, 减少大气污染的健康危害, 国内外科研工作者基于气象、环境对人

收稿日期: 2017年7月17日; 修回日期: 2017年10月27日

第一作者: 彭丽 (1979—), Email: phyllis\_pl@163.com

资助信息: 公益性行业 (气象) 科研专项 (GYHY201206027)

体健康影响的科学事实,结合天气气候和大气污染预测开展健康预测服务,为疾病预防提供参考。极端温度事件的健康风险评估和预警最为广泛关注,2003年欧洲高温热浪事件中,数万人被夺去生命。此后,欧洲各国普遍建立了热浪预警系统<sup>[8]</sup>,有效增强了高温热浪的风险防御能力。

近年来,我国研究人员在自然灾害风险分析方法基础上,综合考量高温热浪的危险性、暴露度以及敏感性和适应性因子,用自然环境、社会经济等多方面指标评估居民高温热浪灾害风险<sup>[9-10]</sup>。世界各国在减缓气候变化影响方面都开展了很多工作,世界卫生组织、联合国发展规划署等机构共同制定疟疾早期预警计划,利用寄生虫监测、疟疾发病率等公共卫生状况监测以及季节性气候预报来预测非洲疟疾的爆发和流行,并采取早期防治措施进行有效应对<sup>[11-12]</sup>。国内研究人员开展了细菌性痢疾<sup>[13]</sup>、感染性腹泻<sup>[14]</sup>、麻疹<sup>[15]</sup>、流行性乙型脑炎<sup>[16]</sup>、流行性脑脊髓膜炎<sup>[17]</sup>、流行性出血热<sup>[18]</sup>、手足口病<sup>[19]</sup>等多种传染病的气候变化影响和预测研究。在慢性疾病方面,我国多个城市也开展了呼吸系统疾病、心脑血管疾病的预测研究<sup>[20-22]</sup>。基于花粉浓度观测的花粉等级预报和花粉过敏疾病预测也在多地开展<sup>[23-24]</sup>。总体上,我国健康气象预报还处于探索发展阶段。本文介绍了上海市气象局近年来开展的健康气象预报业务、主要技术方法和服务效果评估工作,以及对未来工作的展望。

## 1 基于气象、环境影响的健康风险预报

探讨气象、环境因素与健康的关系,了解哪些要素对疾病有较高的敏感性并确定其定量影响关系,是开展健康预测的科学基础。上海市气象局自上世纪九十年代起,开始研究气象、大气环境对健康的影响和应用服务,研制了上海热浪与健康监测预警系统,逐步建立了细菌性食物中毒预警模型以及中暑、感冒、儿童哮喘和COPD等疾病的风险预报模型,通过短信、邮件、网页、微信等方式向公众和易感人群进行服务。

### 1.1 高温热浪及热相关疾病预报

高温热浪能够造成严重的健康事件,甚至导致死亡。上海市气象局研究人员分析了我国主要省会城市高温热浪的长期变化趋势和地区差异<sup>[25]</sup>,研究了上海地区城市热岛效应对温度的影响,发现城区与近远郊区的高温日数、极端高温、高温持续时间存在差别<sup>[26]</sup>,并采用TM卫星遥感和地面观测资料,研究上海区域不同地表类型的热环境差异,从能量分配机制上解释了城市热岛效应产生的原因<sup>[27]</sup>。为了合理评价

天气系统对人类健康的影响,在世界气象组织和世界卫生组织的推动下,上海市气象和卫生部门与美国特拉华大学合作开展示范项目(上海热浪与健康监测预警系统),探讨极端高温、“侵入型”气团和死亡率增加之间的关联,在此基础上建立上海热浪与健康监测、预警系统<sup>[28]</sup>,基于天气数值预报结果,预测“侵入型”气团和热浪引起的超额死亡数,并给出热浪影响的相应等级,提醒公众采取合理措施预防热浪。

大型活动由于人员众多、活动范围集中,常带来一些公共卫生安全隐患。2010年上海世博会期间,研究人员分析了气象因素对中暑发病的影响,采用逐步回归、最优子集回归、岭回归等方法构建了多种中暑预报模型。考虑不同地区人们对热的感受不同,在展会期间采用湿热指数模型<sup>[29]</sup>、生理等效温度模型<sup>[30]</sup>和净有效温度模型<sup>[31]</sup>等不同的热标准向不同气候区的游客进行预报。由于早期研究主要从气象学角度探讨高温热浪的成因和时空分布特征,分析温度对死亡和发病的影响,缺乏高温热浪灾害对于居民健康、社会经济影响的综合分析,未来还需进一步加强高温对健康影响的机理研究,探讨不同人群的易感性差异,确定居住环境、经济状况、医疗卫生条件等地区适应性能力在热风险评估中发挥的作用。

### 1.2 呼吸系统疾病气象风险预报

呼吸系统疾病是我国的常见病,也是人群的主要死因之一。上海市气象局研究人员采用时间序列、病例交叉方法分析了气象条件对上海地区感冒、儿童哮喘和COPD等呼吸系统疾病门诊急诊就诊的影响,疾病数据来自上海市医疗保险事业管理中心和多家三甲医院。研究发现,温度和湿度是影响上述呼吸系统的主要气象因素,温度与感冒就诊人数有着非线性的负相关关系,不同年龄层对温度的耐受力不同,儿童对温度的耐受力更差<sup>[32]</sup>,冷空气会诱发哮喘发作<sup>[33-34]</sup>。由于COPD患者大部分时间在室内度过,上海市气象局和多家医院合作开展了为期一年的随访研究,探讨室内外温湿度对COPD患者的影响,发现湿冷的室内环境会使COPD患者症状加重,室内温湿度对COPD症状有显著的协同效应,高湿天气会成倍增加低温的健康风险<sup>[35]</sup>。研究还发现颗粒物和反应性气体是呼吸系统疾病的危险因子,PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub>、黑炭、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>与儿童哮喘的就诊人数有着近似线性的暴露-反应关系<sup>[34,36]</sup>。对于不同性别和年龄的人群,大气污染导致的呼吸疾病风险有差异,女性,儿童和老人更易受大气污染物的影响<sup>[37]</sup>。根据气象条件、大气污染物对感冒、儿童哮喘和COPD的健康风险评估结果,确定

各影响因素对上述呼吸系统疾病发病或加重的贡献和作用差异，以贡献比为权重对各要素作用进行综合判断，构建了感冒、儿童哮喘和COPD等疾病的风险预报等级标准，针对不同呼吸系统疾病编制预防指引。感冒、儿童哮喘、COPD气象风险预报在上海地区进

行了广泛的推广应用（图1），面向公众和易感人群在多家学校、医院、社区服务中心常态化开展。其中儿童哮喘气象风险预报产品还通过儿童专科医院的微信和APP提醒患儿家长及时防范极端天气和大气污染的健康危害。



图1 “健康气象”微信公众号发布呼吸系统疾病气象风险预报产品

Fig. 1 Meteorological risk forecast for respiratory diseases on WeChat “Health and Meteorology”

### 1.3 细菌性食物中毒预警

细菌性食物中毒是上海地区最为常见的食物中毒种类，上海市气象局和上海市食品药品监督管理局研究人员对上海地区细菌性食物中毒发生的地区、行业分布、食品、致病菌种类和气候特征进行分析。发现，发生细菌性食物中毒的行业、食品和致病菌较为集中，餐饮业发生最多，5—10月是上海地区细菌性食物中毒的高发季节。食品中细菌生长繁殖受到温度和水分的影响，细菌性食物中毒年均月度发生起数与平均气温、相对湿度呈明显的正相关<sup>[38]</sup>。研究人员将细菌性食物中毒的逐日发生概率作为预报对象，选择平均气温和相对湿度作为预报因子，用概率预报法建立逐日细菌性食物中毒发生风险的预报模型。模型考虑了不同月份气象因素影响的差别，由于五一、十一黄金周中毒发生概率显著高于其他日期，对假期附加项进行了修正，按照中毒事件发生的预报概率构建预警等级标准<sup>[39-40]</sup>。合作双方共建了上海市细菌性食物中毒预警信息发布网站，自2009年开始，每年4—10月期间，每日发布未来3天的细菌性食物中毒风险等级，提醒市民和食品生产经营单位采取相应的食品安全管理措施。

## 2 人工气候环境暴露仓和机理研究

毒理学实验研究为流行病学研究所发现的健康效应提供了深入研究的可能和机理解释，为健康预测提供理论支持。在上海市气象与健康重点实验室开放基金支持下，研究人员开展了气温对变态反应性哮喘发病的实验研究，发现哮喘引发的免疫应答及肺部出现的病理改变与温度呈负相关，低温环境更容易引发过敏性哮喘并可加重哮喘<sup>[41]</sup>。此外，PM<sub>2.5</sub>暴露会下调肺免疫防御机制，导致小鼠炎症损伤并引发流感感染<sup>[42]</sup>。目前大气污染物暴露的染毒方式主要有被动式和吸入式，颗粒物染毒大多通过气管滴注方式实现，实验方法有一定局限性，不能真实地反映实验动物自然吸入的污染物暴露量。上海市气象局与企业合作，在国内首次研制了将“温湿度调控”、“有害气体微量控制系统”、“虚拟粒子撞击浓缩器”系统性集成于一体的人工气候环境暴露仓（专利号201510453600.8）。暴露仓由控制系统、对照仓和实验仓三部分构成，对照仓具有温湿度调控和颗粒物高效率过滤作用，确保对照舱内为洁净大气，实验仓在调节温湿度的同时，使动物通过自然呼吸摄入达到暴露目的，可实现PM<sub>2.5</sub>和CO、SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>等有害气体的多

因素暴露，可开展极端天气和重污染对实验动物的协同作用实验。该设备面向科研机构开放运行，目前已经与复旦大学、上海市第一妇婴保健院、上海儿童医学中心等机构合作开展冷空气与PM<sub>2.5</sub>交互作用的动物实验，以及PM<sub>2.5</sub>暴露对糖尿病大鼠子代、孕期、鼻炎和认知行为影响的实验研究。

### 3 健康气象服务评估研究

开展气象服务评估是气象部门了解社会群体需求，查找服务不足的有效途径。气象服务效益评估采用定量和定性相结合的方法，主要从社会效益和经济效益的角度开展评价工作<sup>[43]</sup>。社会公众对气象服务的关注集中体现在气象服务的“实用性”、“准确性”、“时效性”和“便易性”方面<sup>[44]</sup>，目前大部分研究倾向于对气象服务的满意度调查<sup>[45-46]</sup>。健康气象服务属于气象与健康交叉学科的应用基础研究，服务评估效果指标的测量涉及“健康结局”，单纯采用传统的气象服务评估方法很难全面和客观地反映健康气象服务的效果和效益，需要数理统计学、社会学和医学等学科理论和技术方法的支撑。

上海市气象局与复旦大学合作，以气象服务评估体系为基础，结合曾使用于社区卫生服务评估的逻辑框架模型理论，从服务可及性、依从性、满意度和服务效果效益等方面建立细菌性食物中毒预警评价指标。通过文献资料分析法、访谈法和小组讨论法确定细菌性食物中毒预警服务评价量表，开展横断面预调查研究，通过预调查对量表进行信效度评价，验证量表理论结构的合理性并进行修正，最终形成有效可靠的评价指标体系<sup>[47]</sup>。以上海市常住人口为调查对象开展横断面研究，调查发现细菌性食物中毒预警信息的可及性不高，超过三分之一的被调查者能收到该预警服务，并关注该服务，也对服务表示满意。46.8%的被调查者认为服务确实减少发生腹泻的次数，增加细菌性食物中毒预警的信息发布渠道，让公众能够更方便地获取信息，同时丰富预警信息内容，增加更专业化的指导是提升该服务的必要措施<sup>[48]</sup>。

横断面研究的不足在于无法确定服务质量和效果之间的因果关系。研究人员采用整群随机干预设计，在上海市十家幼儿园开展了感冒气象风险预报的服务效果评估研究。从儿童生活质量、服务满意度和效果效益等方面内容建立评价指标，幼儿园整群随机分配入干预组和对照组，共1608名儿童及其监护人参与完成该评估研究（图2）。在干预研究初始阶段，对被调查儿童进行基线调查，包括年龄、性别、身高、体重、家庭一般状态、病史和儿童的生活质量。在研究

实施过程中，幼儿园教师每天记录感冒缺课人数，上海市气象局通过短信和电邮给干预组儿童家长提供感冒风险等级预报信息，经过一年的服务，对干预组进行问卷调查。超过一半的受访者认为感冒预报比较准确，可以减少家庭医疗费用，65%的受访者对其表示满意。干预组比对照组的感冒缺课平均降低了10%，干预研究结果表明感冒气象风险预报服务对公众健康有积极影响。

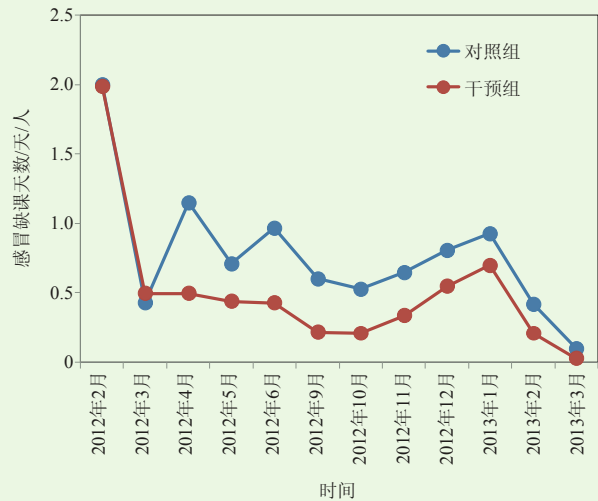


图2 对照组和干预组每月人均感冒缺课天数

Fig. 2 Monthly school absent days due to cold for each child in the control group and the intervention group

### 4 小结

随着社会对气象服务需求的逐渐多元化，气象服务产品领域不断拓展，当前天气气候、大气环境与健康问题成为人们关注的热点，相关的研究和专业气象服务也越来越受到气象、卫生等部门的重视，我国气象工作者和研究人员在健康气象预测和服务方面已经有了一些研究和应用成果，作者认为以下方面值得我国学者予以关注：

1) 加强部门合作。当前医疗气象学尚未形成完整体系，需要广大气象、环境和卫生等领域的专家学者共同努力，正确认识天气气候、大气环境与健康之间的因果联系，推进学科建设，为健康气象预测提供理论支撑。此外，研究所需数据和预报预警服务的推广都离不开多部门的共同支持。

2) 加强气候变化对人类健康的影响研究。分析气候变化影响传染性疾病的发生与传播机制，研究地域性气候变化造成的差异，识别受气候变化影响的脆弱人群特征，积极发展疾病预防战略，减少气候变化对疾病的可能影响。

3) 加强气象与疾病发生的机理研究。气象、环

境与人体健康的机理研究多集中在环境毒理学方面,气象对人体健康影响的机理研究比较少,还需加强实验室研究,探讨各种气象因素对人体生理、病理的影响。

4) 研究气象因素与大气污染的交互作用。人体健康不仅受气象条件的影响也与环境因素密切相关,应加强多因素联合作用的研究,研究大气复合污染在气象因素对健康的影响中是否存在交互作用及其影响程度。

5) 发展健康气象预测和预警研究。现阶段健康气象服务产品多以指数类或风险等级类形式表现,适用于公众或某类人群,服务针对性不强,还需充分挖掘潜在的社会需求,将健康气象服务与用户需求紧密结合起来,研发个性化的服务产品,充分发挥健康气象服务的社会价值和经济价值。

### 参考文献

- [1] Sun X, Sun Q, Zhou X, et al. Heat wave impact on mortality in Pudong New Area, China in 2013. *Science of the Total Environment*, 2014, 493(5): 789-794.
- [2] Ma W, Xu X, Peng L, et al. Impact of extreme temperature on hospital admission in Shanghai, China. *Science of the Total Environment*, 2011, 409(19): 3634-3637.
- [3] 刘起勇. 气候变化对媒介生物性传染病的影响. *中华卫生杀虫药械*, 2013, 19(1): 1-7.
- [4] Kan H, Chen B. A case-crossover and time-series study of ambient air pollution and daily mortality in Shanghai, China. *Epidemiology*, 2004, 15(4): 17-78.
- [5] Ye X, Peng L, Kan H, et al. Acute Effects of Particulate Air Pollution on the Incidence of Coronary Heart Disease in Shanghai, China. *PLoS ONE*, 2016, 11(3): e0151119.
- [6] Robert A, Silverman, Kazuhiko Ito. Age-related association of fine particles and ozone with severe acute asthma in New York City. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2010, 125(2): 367-373.
- [7] Namdeo A, Tiwary A, Farrow E. Estimation of age-related vulnerability to air pollution: assessment of respiratory health at local scale. *Environment International*, 2011, 37(5): 829-837.
- [8] Abrahamson V, Raine R. Health and social care responses to the Department of Health Heatwave Plan. *J Public Health*, 2009, 31(4): 478-489.
- [9] 罗晓玲, 杜尧东, 郑璟. 广东高温热浪致人体健康风险区划. *气候变化研究进展*, 2016, 12(2): 139-146.
- [10] 谢盼, 王仰麟, 刘焱芬, 等. 基于社会脆弱性的中国高温灾害人群健康风险评估. *地理学报*, 2015, 70(7): 1041-1051.
- [11] Thomson M C, Connor S J. The development of Malaria Early Warning Systems for Africa. *Trends in Parasitology*, 2001, 17(9): 438.
- [12] Thomson M C, Doblaz-Reyes F J, Mason S J, et al. Malaria early warnings based on seasonal climate forecasts from multi-model ensembles. *Nature*, 2006, 439(7076): 576-579.
- [13] 张姝丽, 孙培源, 张德山, 等. 北京地区细菌性痢疾医疗气象预报模式及流行风险水平评估. *气候与环境研究*, 2009, 14(6): 673-677.
- [14] 张德山, 孙培源, 赵娜, 等. 北京市感染性腹泻疾病的医疗气象预报与应用研究. *气象*, 2008, 34(10): 90-95.
- [15] 从靖, 马玉霞, 曹刚, 等. 张掖地区气候因素与麻疹发病的相关性. *环境与职业医学*, 2015, 32(2): 104-107.
- [16] 曲波, 郭海强, 关鹏, 等. 气象因素对流行性乙型脑炎发病率影响的研究. *中华流行病学杂志*, 2006, 27(2): 179-179.
- [17] 曲波, 黄德生, 郭海强, 等. 流行性脑脊髓膜炎与气象因素关系的BP神经网络模型研究. *中国医科大学学报*, 2006, 35(2): 158-159.
- [18] 从靖, 马玉霞, 王式功. 甘南地区流行性出血热发病的气象条件分析. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2014, 50(1): 71-74.
- [19] 李丽丽, 董瑞强, 黄少平, 等. 手足口病气象预报模式的建立与验证. *职业与健康*, 2016, 32(2): 201-204.
- [20] 张书余, 王宝鉴, 谢静芳, 等. 吉林省心脑血管疾病与气象条件关系分析和预报研究. *气象*, 2010, 36(9): 106-110.
- [21] 黄玉霞, 许东蓓, 王宝鉴, 等. 兰州市医疗气象综合预报服务系统. *气象*, 2002, 28(8): 56-57.
- [22] 陈正洪, 杨宏青, 张鸿雁, 等. 武汉市呼吸道和心脑血管疾病气象预报研究. *湖北中医药大学学报*, 2001, 3(2): 15-17.
- [23] 白玉荣, 段丽瑶, 吴振玲, 等. 花粉浓度等级划分探讨. *气象*, 2007, 33(9): 112-117.
- [24] 张德山, 海玉龙, 冯涛, 等. 北京地区1~4天花粉浓度预报的应用研究. *气象*, 2010, 36(5): 128-132.
- [25] 谈建国, 郑有飞. 我国主要城市高温热浪时空分布特征. *气象科技*, 2013, 41(2): 347-351.
- [26] 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. *高原气象*, 2008(s1): 144-149.
- [27] 王桂玲, 谈建国, 崔林丽, 等. 基于TM资料对上海区域热环境特征的分析. *环境监测与预警*, 2012, 4(6): 10-13.
- [28] 谈建国, 殷鹤宝, 林松伯. 上海热浪与健康监测预警系统. *应用气象学报*, 2002, 13(3): 356-363.
- [29] Santee W R, Wallace R F. Comparison of weather service heat indices using a thermal model. *Journal of Thermal Biology*, 2005, 30(1): 65-72.
- [30] Peter Höppe. The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 1999, 43(2): 71-75.
- [31] Li P, Chan S. Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in Hong Kong. *Meteorological Applications*, 2000, 7(4): 369-375.
- [32] 牟喆, 彭丽, 花静, 等. 上海市温湿度与感冒就诊人次的时间序列研究. *中国卫生统计*, 2013, 30(2): 237-239.
- [33] Zhang Y, Peng L, Kan H, et al. Effects of Meteorological factors on Daily Hospital Admissions for Asthma in Adults: A Time-Series Analysis. *PLoS ONE*, 2014, 9(7): e102475.
- [34] 牟喆, 彭丽, 杨丹丹, 等. 上海市天气和污染对儿童哮喘就诊人次的影响. *中国卫生统计*, 2014, 31(5): 827-829.
- [35] Mu Z, Chen P L, Geng F H, et al. Synergistic effects of temperature and humidity on the symptoms of COPD patients. *International Journal of Biometeorology*, 2017, 61(11): 1919-1925.
- [36] Hua J, Yin Y, Peng L, et al. Acute effects of black carbon and PM2.5 on children asthma admissions: a time-series study in a Chinese city. *Science of the Total Environment*, 2014, 481(2): 433-438.
- [37] 牟喆, 耿福海, 叶晓芳, 等. 上海市大气污染对不同特征居民呼吸疾病就诊人数影响. *中国公共卫生*, 2016, 32(4): 513-516.
- [38] 张磊, 穆海振, 陆怡, 等. 上海地区细菌性食物中毒季节和气候特征分析. *上海预防医学*, 2009, 21(7): 330-332.
- [39] 穆海振, 张磊, 周伟东, 等. 基于气象因素的细菌性食物中毒预警系统的建立. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(11): 4659-4666.
- [40] 郑雷军, 穆海振, 张磊, 等. 上海地区细菌性食物中毒预警模型研究. *中国科技成果*, 2014, 17: 41-44.
- [41] 蔡磊, 朱莹, 孔永, 王婧, 等. 温度对小鼠哮喘模型免疫细胞活化及肺组织损伤的影响. *现代免疫学*, 2013, 33(5): 375-380.
- [42] Ma J, Song S, Guo M, et al. Long-term exposure to PM2.5 lowers influenza virus resistance via down-regulating pulmonary macrophage Kdm6a and mediates histones modification in IL-6 and IFN- $\beta$  promoter regions. *Biochemical & Biophysical Research Communications*, 2017, 493(2): 1122-1128.
- [43] 邓玲, 朱定真. 我国气象服务理论研究综述. *气象与减灾研究*, 2015, 38(2): 1-7.
- [44] 王仕星, 雷俊, 方英, 等. 公共气象服务满意度调查评估体系初探. *浙江气象*, 2009, 30(4): 20-24.
- [45] 黄治勇, 王丽, 王仁乔, 柯怡明. 公众气象服务质量评价方法研究. *湖北气象*, 2002, 21(2): 30-32.
- [46] 姚秀萍, 吕明辉, 张晓美, 等. 气象服务效益评估研究和业务进展. *气象科技进展*, 2012, 02(3): 39-44.
- [47] 花静, 耿福海, 许建明, 等. 细菌性食物中毒预警服务评价量表编制及评价. *中国公共卫生*, 2013, 29(3): 408-412.
- [48] 曹萌, 花静, 吴耀春. 细菌性食物中毒预警服务公众评价情况分析. *中国公共卫生*, 2012, 28(增): 180-183.