

气温及大气颗粒物与慢性阻塞性肺疾病急性加重关系的研究进展



扫码阅读电子版

邱巧静 顾芬

同济大学附属上海市肺科医院肿瘤科 200433

通信作者: 顾芬, Email: gufen927@163.com

【摘要】 大气污染物,特别是细颗粒物($PM_{2.5}$)可损伤呼吸系统、心血管系统及免疫系统等,增加相关发病率及病死率,日益受到重视。气温与 $PM_{2.5}$ 协同作用,对呼吸系统急症风险之间的联系也受到国内外学者的关注。文章回顾了国内外学者关于细颗粒物对人体损伤的认识及各地区对细颗粒物与疾病关系的研究,以便为进一步研究气温及大气污染物协同作用与慢性阻塞性肺疾病急性加重之间的关系提供背景和依据。

【关键词】 肺疾病,慢性阻塞性;气温;细颗粒物

基金项目:上海市肺科医院人才资助计划(HR2016001);上海市卫生计生委委员会科研课题(201640327)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-436X.2019.07.013

Advances in research on the relationship between air temperature and atmospheric particulate matter and acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease

Qiu Qiaojing, Gu Fen

Department of Oncology, Shanghai Lung Hospital Affiliated to Tongji University, Shanghai 200433, China

Corresponding author: Gu Fen, Email: gufen927@163.com

【Abstract】 Air pollutants, especially fine particulate matter ($PM_{2.5}$), can damage the respiratory system, cardiovascular system and immune system, and increase the related morbidity and mortality. The synergistic effect of temperature and $PM_{2.5}$ on the risk of respiratory emergencies has also attracted the attention of scholars at home and abroad. This paper reviewed domestic and foreign scholars' understanding of fine particulate matter damage to human body and regional studies on the relationship between fine particulate matter and disease, in order to provide background and basis for further research on the relationship between the synergistic effects of air temperature and air pollutants and acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease.

【Key words】 Pulmonary disease, chronic obstructive; Air temperature; Fine particles matter

Fund program: Talent Project of Shanghai Pulmonary Hospital (HR2016001); Project of Shanghai Municipal Health and Family Planning Commission (201640327)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-436X.2019.07.013

伴随着工业化和都市化的快速发展,全球气候的异常变化,极端天气气候频发,由颗粒物引发的雾霾天气发生频率也明显增多,对人类的健康造成了一定影响。国内外学者研究相关气温及污染物与人类健康的流行病学也成为热点问题之一^[1]。近年来我国经济日益发达,城市化脚步也日益加快,居民生活日益变好的同时,也更关注居住环境和健康之间的关系。本文旨在综述国内外学者对大气污染物,特别是细颗粒物(fine particles matter, $PM_{2.5}$)对人体造成的损害认识及各地区当地大气污染物与疾病急诊

关系的调查研究,认识大气中污染物的暴露可能增加居民的急救风险,特别是 $PM_{2.5}$ 浓度的升高可能增加呼吸系统疾病的急性加重风险。为环保整治力度,加快能源改革,发展清洁能源,减少大气污染物排放,促进居民健康提供依据。

1 颗粒物的概念及来源

中国研究人员在20世纪80年代开始对大气颗粒物开展研究工作。而2012年2月29日,《环境空气质量标准》(GB3095-2012)作为国家标准才正式发布。为配合其实施,

《环境空气质量指数 (AQI) 技术规定 (试行)》也一同问世。从 2011 年开始被公众关注和热议的 $PM_{2.5}$ 成为国家标准。标准定义颗粒物又称尘, 指大气中的固体或颗粒状物质。 $PM_{2.5}$ 是指空气中直径 $\leq 2.5 \mu m$ 的可吸入颗粒物, 也称为细颗粒物或可入肺颗粒物^[2]。与较粗的大气颗粒物相比, $PM_{2.5}$ 粒径小, 约是头发丝的 1/20, 是肉眼看不到漂浮的颗粒物。颗粒物这个概念于 1997 年由美国最早提出, 当时主要是为了监测工业排放的废气中所含有害的细小颗粒物。 $PM_{2.5}$ 大气污染源主要分为两种, 一是人为因素污染源, 二是自然因素污染源。人为因素的污染源主要指人类的各种生产活动, 这些颗粒主要来源于人类长久发电、工业生产、汽车尾气排放等过程中经过燃放排放的残留物。自然因素污染源主要指细菌、植物花粉、土壤扬尘等, 同时自然灾害事件也会造成 $PM_{2.5}$ 大气污染^[2-3]。

2 慢性阻塞性肺疾病急性加重 (acute exacerbation chronic obstructive pulmonary disease, AECOPD) 的概念及环境因素

2.1 AECOPD 的概念

COPD 是一种严重危害人类健康的常见病、多发病。《慢性阻塞性肺疾病急性加重诊治中国专家共识 (2017 年更新版)》^[4] 指出, COPD 居全球死亡原因的 4 位, 预计到 2020 年将升至第 3 位。2012 年有超过 300 万的患者死于 COPD, 占全球全部死亡人数的 6%^[5]。而 AECOPD 是 COPD 患者死亡的重要原因。

2.2 AECOPD 的环境因素

流行病学调查发现空气污染尤其是 $10 \mu m$ 和 $2.5 \mu m$ 左右的微颗粒浓度。 PM_{10} (指空气中直径 $\leq 10 \mu m$ 的可吸入颗粒物, 漂浮在空中的固态和液态颗粒物的总称^[2])、 $PM_{2.5}$ 与 AECOPD 发病有关, 研究发现尤其是 $PM_{2.5}$ 与 AECOPD 密切相关。 $PM_{2.5}$ 诱发肺部炎症和系统性炎症, 产生氧化应激反应, 影响患者的呼吸系统的免疫功能、呼吸系统的微生物生态以及心血管系统。陈潇^[3] 研究表明环境空气污染最大的受害者是呼吸系统。大气污染物中的颗粒物 $PM_{2.5}$ 可直接吸入并深透肺泡引起严重的肺功能的紊乱, 并且会沉积于肺泡最深的上皮细胞中, 引起人体的原发性或继发性疾病。但是, $PM_{2.5}$ 的毒理机制尚不明确。研究^[4] 发现 $PM_{2.5}$ 通过上调 IL-6 表达、活性氧产生和凋亡诱导人体支气管上皮细胞炎症反应、氧化损伤和细胞死亡。 $PM_{2.5}$ 特异性诱导一氧化氮合酶 2 的表达和生成, 提高过度自噬, 最后, 破坏一氧化氮合酶 2 信号有效地阻止自体噬细胞体的形成和随后细胞死亡。快速诱导炎症反应, 氧化损伤促使人体支气管上皮细胞死亡^[5-6]。 $PM_{2.5}$ 的暴露是影响呼吸系统健康的一个重要危险因素^[7-8]。AECOPD 诊治中国专家共识 (2017 年更新版) 表示, 今后充分研究 $PM_{2.5}$ 诱发的 AECOPD, 能够优化 AECOPD 的处理, 并可能降低急性加重的风险。对于减少 AECOPD 发生频率和住院次数的预防措施, 除药物预防治疗外, 非药物预防的措施戒烟、控制污染、家庭氧疗等也非常重要。

3 气温及大气颗粒物对 AECOPD 的影响

$PM_{2.5}$ 对人体的危害主要分为三个方面, 一是对人体的危害, $PM_{2.5}$ 大多含有重金属等有毒物质, 吸入人体后直接

进入支气管, 干扰肺部的气体交换, 甚至深入并沉淀在呼吸性细支气管和肺泡, 其中更细小成分甚至可穿透肺泡, 引发包括哮喘、支气管炎和心血管病等方面的疾病, 影响身体健康, 增加病死率。二是对经济的影响, 由于 $PM_{2.5}$ 的原因导致的早死造成了严重的经济损失, 同时也有可能影响我国的对外贸易。三是对交通的影响, $PM_{2.5}$ 能够降低大气能见度, 阻碍交通通畅运行, 严重的可能造成恶性交通事故。近年来由于工业化迅速发展, $PM_{2.5}$ 已经成为全球特别是中国严重的问题。它可能导致各种呼吸系统疾病和住院病死率的增加^[3]。与粗颗粒相比, $PM_{2.5}$ 体积较小, 表面积较大, 更容易运输传播, 这意味着更多的毒性和有害物质可以深入人体。而严寒或酷暑等极端天气与颗粒物协同作用更是对人体的健康, 特别是呼吸、心血管及免疫系统造成很大影响。

3.1 细颗粒 $PM_{2.5}$ 对 AECOPD 影响的国内研究

1996 年, 赵毓梅和杨文敏^[9] 开展不同粗细颗粒物对大鼠的肺毒性研究发现, 直径 $< 2.5 \mu m$ 的颗粒物对呼吸系统的损伤最大。徐宏辉等^[10] 于 2014 年 11 月至 2015 年 11 月研究分析了针对浙江省主要的两大城市杭甬地区, 大气气溶胶中含碳气溶胶的季节性变化和它们的来源。含碳气溶胶是大气 $PM_{2.5}$ 的重要成分, 在城区颗粒物中所占比例可达到 40%^[11]。在杭甬地区, 冬季静稳的气象条件下会积累更多的 $PM_{2.5}$ 颗粒物。宁波城区以汽车尾气和化石燃料为主, 化石燃料的燃烧是污染物的主要来源。但是, 浙江地区对碳气溶胶的研究相对比较缺乏。Song 等^[12] 在对人的健康负担研究中, 发现 $PM_{2.5}$ 与病死率有显著相关性。对 2015 年死亡患者中分析, 因 $PM_{2.5}$ 浓度的增加, 导致 COPD 患者死亡的占 18.7%。Lin 等^[13] 在中国 $PM_{2.5}$ 研究新进展的文章中提出, 因为工业化迅速发展, 能耗高, $PM_{2.5}$ 污染已经成为中国严重的问题。它可导致肺源性心脏病、呼吸系统、心血管疾病的发病率增加, 而且研究还得出室内 $PM_{2.5}$ 的浓度与室外的高 $PM_{2.5}$ 浓度相关联。翟文慧等^[14] 收集了 2013 年 3 月至 2014 年 3 月北京多中心临床病例急诊数据与同时期北京环境监测中心的大气细颗粒污染物和气象条件数据资料采用病例交叉设计研究方法进行数据分析表明, $PM_{2.5}$ 与日均气温、相对湿度呈正相关。 $PM_{2.5}$ 污染对慢性支气管炎、哮喘、COPD 急诊影响的 OR 值最大。在调整控制当日气温、相对湿度的影响后, 单向回顾性 1:1 配对病例交叉分析结果 $PM_{2.5}$ 日平均浓度每升高 $10 \mu g/m^3$, OR 值为 1.035。研究^[15] 结果得出大气污染物可以作为刺激物引起呼吸道的防御性反应, 例如刺激其黏液分泌增多以及引起支气管的高反应性, 加重气道不完全可逆性阻塞。 $PM_{2.5}$ 导致肺组织的氧化损伤, 引起肺部炎症和免疫反应。 $PM_{2.5}$ 可以作为潜在的氧化剂而产生自由基引发氧化应激反应而造成肺细胞的损伤。南京一项^[16] 从 2014 年 3 月至 2017 年 2 月对 9 个国家环境监测点收集的 $PM_{2.5}$ 数据应用综合暴露反应模型评估 $PM_{2.5}$ 导致的早死、寿命损失和死亡之间的关联研究表明, 长期暴露在 $PM_{2.5}$ 环境下, 脑卒中、心血管疾病、COPD 疾病病死率高, 且男性和老年人

病死率高于女性和青少年。随着民众健康和环保意识的增强,对空气质量越来越关注,PM_{2.5}的话题迅速升温。而通过对PM_{2.5}现状的分析,及时掌握PM_{2.5}的动态,及时做出防控措施,在一定程度上改善人类的生存环境,尽可能避免对人体造成伤害。

3.2 细颗粒PM_{2.5}对AECOPD影响的国外研究 1952年英国伦敦烟雾事件,使大气颗粒物引起科学工作者的关注。之后的几十年,大量的研究表明颗粒物对呼吸系统有影响。美国的一项36城市的研究表明^[17],在温暖季节,PM₁₀每增加10 g/m³会导致COPD入院率增加0.84%;在波士顿的一项关于大气污染与急诊人次的研究表明^[18],黑碳、PM_{2.5}、CO与肺炎急诊人次的关联有统计学意义。对美国东岸几大州的大区域范围的颗粒物暴露对医院入院就医研究表明^[19],所有呼吸系统疾病、心血管疾病、缺血性心脏病、COPD和中风的入院与PM_{2.5}暴露有关。美国26个社区心血管疾病、心肌梗死、充血性心力衰竭、呼吸系统疾病与急诊入院之间的关联研究^[20],发现其与PM_{2.5}空气污染及其组成有关。对韩国首尔城市空气颗粒物与不明原因病死率的滞后效应模式的差异分析发现^[21-22],呼吸系统死亡的病患受死亡日空气污染水平的影响。暴露于空气污染对健康的不利影响值得我们深入探讨。全球环境变化研究联合中心研究人员^[23]指出,因为城市化和工业化引发的大气污染成为了全球性的问题。2014~2017年对中国、印度和美国的PM_{2.5}和PM₁₀进行了调查显示,美国的颗粒物含量最低,而中国表现出较高的浓度,印度显示最高。中国和印度有较强的季节性趋势,PM_{2.5}浓度遵循明显的年周期,冬季最高,夏季最低。在中国,污染最严重的月份是12月份,7月份最低。不利的气象条件,如慢风、高湿度和低边界高度可促进PM_{2.5}的累积^[23-24]。中国PM_{2.5}与人体健康关系的研究,充分证明了PM_{2.5}可导致肺源性心脏病的发病率增加,呼吸系统疾病和心血管疾病等^[13,25]。中国PM_{2.5}的问题严重,它严重威胁着居民的健康。但是,与发达国家相比,在中国PM_{2.5}和疾病的研究仍落后。

3.3 气温对AECOPD影响的相关研究 国内外研究表明,AECOPD与气象因素也有很密切的关联,且存在明显的季节变化。美国一项^[26]大样本数据研究,气温被认为是呼吸系统疾病恶化的一个危险因素。急性呼吸事件和原有呼吸系统疾病的加重更可能发生在极端温度期间。随着高温和寒潮,AECOPD的患者病情加重和/或死亡频率增加。国内多个省份有类似的研究结果,陈新等^[27]、刘宏伟和马江伟^[28]、王哲等^[29]、赵雨馨^[30]、李亚琳和杨艳丽^[31]研究发现当地的气候对COPD的影响,具有紧密的相关性,气温降低的冬春季是AECOPD的重要诱因。

3.4 气温及PM_{2.5}协同作用与COPD关系的研究进展 张莹等^[32]对北京3家三甲综合医院2009年1月1日至2011年12月31日急诊科病例资料分类整理,结合大气环境监测和气象资料数据,发现全急诊人数,呼吸系统和循环系统疾病患者急诊就诊人数高峰均出现在气温高且PM_{2.5}高浓度的情况下,由此可见,高温和PM_{2.5}对人群健康的影

响存在协同加强效应。低温和温差较大时,颗粒物可增加呼吸系统急症的风险。苏畅等^[33]开展的大气污染物与呼吸系统疾病急诊就诊关系的病例交叉研究显示,大气污染物浓度的升高可以导致呼吸系统疾病急诊人次的增加。中国台湾地区^[34]的一项研究也证实,日温差可以增加COPD患者的发病风险。北京市、深圳市和淄博市的调查研究日均气温协同颗粒物与呼吸系统疾病急诊人次之间呈“V”字相关,急诊人次会随着日均气温的变化而变化,都会增加呼吸系统的疾病急诊风险^[34-36]。

4 思考与展望

PM_{2.5}不仅是环境问题,而且也是经济、社会和民生问题,乃至政治问题^[37]。空气污染物及其对人群健康的危害并不是孤立存在的,而是特定的气象条件下发生的^[38]。我国大气污染的发生是长期大气污染排放增加和短期气象条件变化共同作用下促发的,对人体健康的影响也是长期慢性影响和短期急诊危害共存、污染和气象因素交叉作用复杂,其中仍有很多未知的科学问题值得密切关注和不断深入研究和探索。关于气温及颗粒物浓度对AECOPD影响的研究仍较少,大气颗粒物对机体的影响不同,在不同地区、同一地区不同季节其成分差异很大。浙江省宁波市长三角南翼经济中心,经济日益发达,城市化脚步也日益加快,有必要以浙江省宁波市为研究城市,探讨颗粒物暴露对AECOPD的影响,为大气污染对居民健康影响及其治理提供理论依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] 李斌莲,管峰,蒋建华.浅析中国PM_{2.5}现状及防控措施[J].能源与节能,2012,17(6):54,71. DOI:10.3969/j.issn.2095-0802.2012.06.029.
- [2] 阚海东.《环境空气质量标准》(GB3095-2012)细颗粒物(PM_{2.5})标准解毒[J].中华预防医学杂志,2012,46(5):396-398. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2012.05.004.
- [3] 陈潇.论可入肺颗粒物PM_{2.5}污染控制的一般模式[J].现代商业,2012,7(18):285. DOI:10.3969/j.issn.1673-5889.2012.18.203.
- [4] 慢性阻塞性肺疾病急性加重(AECOPD)诊治专家组.慢性阻塞性肺疾病急性加重(AECOPD)诊治中国专家共识(2017年更新版)[J].国际呼吸杂志,2017,37(14):1041-1057. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-436X.2017.14.001.
- [5] 徐建军,张志红,耿红,等.不同工作环境人群PM_{2.5}暴露水平与肺功能的研究[J].环境与健康杂志,2013,30(1):1-4. DOI:10.16241/j.cnki.1001-5914.2013.01.013.
- [6] Ni L, Chuang CC, Zuo L. Fine particulate matter in acute exacerbation of COPD[J]. Front Physiol, 2015, 6: 294. DOI: 10.3389/fphys.2015.00294.
- [7] Köktürk N, Gürgün A, Şen E, et al. The View of the Turkish Thoracic Society on the Report of the GOLD 2017 Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of COPD[J]. Turk Thorax J, 2017, 18(2): 57-64. DOI: 10.5152/TurkThoraxJ.2017.060417.
- [8] Li MH, Fan LC, Mao B, et al. Short-term Exposure to Ambient Fine Particulate Matter Increases Hospitalizations and Mortality in COPD: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. Chest, 2016, 149(2): 447-458. DOI: 10.1378/

- chest. 15-0513.
- [9] 赵毓梅, 杨文敏. 大气粗细颗粒物的成分分析及其肺毒性研究[J]. 卫生研究, 1996, 25(2): 89-91.
- [10] 徐宏辉, 徐婧莎, 何俊, 等. 杭甬地区大气中含碳气溶胶特征及来源分析[J]. 环境科学, 2018, 43(8): 1-10. DOI: 10.13227/j.hjxx.201712245.
- [11] 李立伟, 戴启立, 毕晓辉, 等. 杭州市冬季环境空气 PM_{2.5} 中碳组分污染特征及来源[J]. 环境科学研究, 2017, 30(3): 340-348. DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2017.01.57.
- [12] Song C, He J, Wu L, et al. Health burden attributable to ambient PM_{2.5} in China[J]. Environ Pollut, 2017, 223: 575-586. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.01.060.
- [13] Lin Y, Zou J, Yang W, et al. A Review of Recent Advances in Research on PM_{2.5} in China[J]. Int J Environ Res Public Health, 2018, 15 (3). pii: E438. DOI: 10.3390/ijerph15030438.
- [14] 翟文慧, 黄志刚, 路晶凯, 等. 北京市大气细颗粒污染物与老年呼吸系统疾病急诊就医关系的病例交叉研究[J]. 现代生物医学进展, 2015, 15 (8): 1461-1464. DOI: 10.13241/j.cnki.pmb.2015.08.015.
- [15] 余小龙, 沈芳, 张晋芳. 影响悬浮颗粒物吸收系数测量的相关因素研究[J]. 环境科学, 2013, 34 (5): 1745-1753. DOI: 10.13227/j.hjxx.2013.05.030.
- [16] Nie D, Chen M, Wu Y, et al. Characterization of Fine Particulate Matter and Associated Health Burden in Nanjing[J]. Int J Environ Res Public Health, 2018, 15(4). pii: E602. DOI: 10.3390/ijerph15040602.
- [17] Medina-Ramón M, Zanobetti A, Schwartz J. The effect of ozone and PM₁₀ on hospital admissions for pneumonia and chronic obstructive pulmonary disease: a national multicity study[J]. Am J Epidemiol, 2006, 163(6): 579-588. Epub 2006 Jan 27. DOI: 10.1093/aje/kwj078.
- [18] Zanobetti A, Schwartz J. Air pollution and emergency admissions in Boston, MA [J]. J Epidemiol Community Health, 2006, 60 (10): 890-895. DOI: 10.1136/jech.2005.039834.
- [19] Kloog I, Nordio F, Coull BA, et al. Incorporating local land use regression and satellite aerosol optical depth in a hybrid model of spatiotemporal PM_{2.5} exposures in the Mid-Atlantic states[J]. Environ Sci Technol, 2012, 46 (21): 11913-11921. DOI: 10.1021/es302673e.
- [20] Zanobetti A, Franklin M, Koutrakis P, et al. Fine particulate air pollution and its components in association with cause-specific emergency admissions [J]. Environ Health, 2009, 8: 58. DOI: 10.1186/1476-069X-8-58.
- [21] Kim H, Kim Y, Hong YC. The lag-effect pattern in the relationship of particulate air pollution to daily mortality in Seoul, Korea[J]. Int J Biometeorol, 2003, 48(1): 25-30. DOI: 10.1007/s00484-003-0176-0.
- [22] Han C, Kim S, Lim YH, et al. Spatial and Temporal Trends of Number of Deaths Attributable to Ambient PM_{2.5} in the Korea[J]. J Korean Med Sci, 2018, 33(30): e193. DOI: 10.3346/jkms.2018.33.e193.
- [23] Yang X, Jiang L, Zhao W, et al. Comparison of Ground-Based PM_{2.5} and PM₁₀ Concentrations in China, India, and the U.S [J]. Int J Environ Res Public Health, 2018, 15 (7). pii: E1382. DOI: 10.3390/ijerph15071382.
- [24] Xu HH, Xu JS, He J, et al. Characteristics and source analysis of atmospheric carbonaceous aerosols in the cities of Hangzhou and Ningbo[J]. Huan Jing Ke Xue, 2018, 39(8): 3511-3517. DOI: 10.13227/j.hjxx.201712245.
- [25] 顾雯雯, 杨洛贤, 程庆林. 大气 PM_{2.5} 对呼吸系统疾病死亡率影响的 Meta 分析[J]. 预防医学, 2018, 30 (11): 1100-1105, 1111. DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2018.11.006.
- [26] Hansel NN, McCormack MC, Kim V. The Effects of Air Pollution and Temperature on COPD [J]. COPD, 2016, 13 (3): 372-379. DOI: 10.3109/15412555.2015.1089846.
- [27] 陈新, 刘特, 王树越, 等. 日平均气温对医院慢性阻塞性肺疾病急性加重患者住院人次的影响[J]. 吉林大学学报(医学版), 2015, 41 (2): 389-392. DOI: 10.13481/j.1671-587x.20150236.
- [28] 刘宏伟, 马江伟. 空气质量、气象因子等环境因素对慢性阻塞性肺疾病、冠心病患者住院的影响[J]. 临床肺科杂志, 2015, 20(6): 1040-1043. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6663.2015.06.023.
- [29] 王哲, 李琳, 王凯, 等. 基于关联规则分析的慢阻肺就诊人数与气象空气条件关系研究[J]. 中国数字医学, 2018, 13(4): 2-4, 47.
- [30] 赵雨馨. 长春市气温变化和天气环流型对慢性阻塞性肺疾病的影响研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [31] 李亚琳, 杨艳丽. 慢性阻塞性肺病与气候因素研究[J]. 中国卫生产业, 2014, 11(32): 167-168. DOI: 10.16659/j.cnki.1672-5654.2014.32.056.
- [32] 张莹, 王式功, 贾旭伟, 等. 气温与 PM_{2.5} 协同作用对疾病急诊就诊人数的影响[J]. 中国环境科学, 2017, 37(8): 3175-3182. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6923.2017.08.044.
- [33] 苏畅, 郭玉明, 潘小川. 大气污染物与呼吸系统疾病急诊就诊关系的病例交叉研究[J]. 中华流行病学杂志, 2010, 31(8): 845-849. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.08.002.
- [34] Liang WM, Liu WP, Kuo HW. Diurnal temperature range and emergency room admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Taiwan [J]. Int J Biometeorol, 2009, 53 (1): 17-23. DOI: 10.1007/s00484-008-0187-y.
- [35] 莫运政, 郑亚安, 陶辉, 等. 日均气温与呼吸系统疾病急诊人次相关性的时间序列分析[J]. 北京大学学报(医学版), 2012, 44 (3): 416-420. DOI: 10.3969/j.issn.1671-167X.2012.03.018.
- [36] 陈宝芬. 日均气温与呼吸系统疾病急诊人次相关性的时间序列观察分析[J]. 中国现代药物应用, 2017, 11(17): 83-84. DOI: 10.14164/j.cnki.cn11-5581/r.2017.17.046.
- [37] 顾锦龙. PM_{2.5} 监测与防控任重道远[J]. 环境研究与监测, 2012, 31(2): 80-84, 46.
- [38] 刘晓利, 刘芳盈, 孟超, 等. 淄博市大气污染物浓度与急救人次关联的时间序列分析[J]. 山东大学学报(医学版), 2018, 56 (11): 42-47. DOI: 10.6040/j.issn.1671-7554.0.2018.309.

(收稿日期: 2018-08-30)