

本文引用:李聪敏,袁明洋,王钰婷,等. 大气细颗粒物所致健康危害及其干预措施研究进展[J]. 新乡医学院学报,2019, 36(6):589-592. DOI:10.7683/xyxyxb.2019.06.023.

### 【综述】

# 大气细颗粒物所致健康危害及其干预措施研究进展

李聪敏<sup>1</sup>, 袁明洋<sup>1</sup>, 王钰婷<sup>1</sup>, 吴卫东<sup>1,2</sup>, 姜碧杰<sup>1,2</sup>

(1. 新乡医学院公共卫生学院, 河南 新乡 453003; 2. 河南省空气污染健康效应与干预国际联合实验室, 河南 新乡 453003)

**摘要:** 随着工业化进程的加快,空气污染情况日益严重。近年来,大气细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)环境污染已成为影响我国空气质量和居民健康的重要因素。PM<sub>2.5</sub>具有粒径小、比表面积大、吸附有毒有害物质多、在空气中悬浮时间久、输送距离远、易进入呼吸道等特点,能导致呼吸系统和心血管系统疾病,造成免疫功能降低、胃肠道功能和神经功能紊乱以及皮肤应激性损伤。采取有效措施干预PM<sub>2.5</sub>引起的健康危害成为目前的一个重要研究方向,众多研究者试图采用个体化措施降低PM<sub>2.5</sub>引起的健康危害。本文就PM<sub>2.5</sub>所致的健康危害及其干预措施进行综述。

**关键词:** 大气细颗粒物;健康危害;干预

中图分类号: R122.7 文献标志码: A 文章编号: 1004-7239(2019)06-0589-04

工业化进程的加快伴随着能源消耗量和交通工具保有量的增加,导致空气污染的情况日益严重,目前我国大气颗粒物污染问题十分严重,其中大气细颗粒物(fine particulate matters,  $PM_{2.5}$ )逐渐成为影响空气质量的主要因素之一。大气颗粒物是大气中存在的各种固态和液态颗粒状物质的总称, $PM_{2.5}$ 是指其中空气动力学直径 $\leq 2.5 \mu m$ 的颗粒物,是大气颗粒物的重要组成部分。 $PM_{2.5}$ 具有粒径小、比表面积大、吸附有毒有害物质多、在空气中悬浮时间久、输送距离远、易进入呼吸道等特点,能导致呼吸系统和心血管系统疾病,造成免疫功能降低、胃肠道功能和神经功能紊乱以及皮肤应激性损伤,因而对人体健康和大气环境质量有较大影响。采取有效措施干预  $PM_{2.5}$ 引起的健康危害是目前的一个重要研究方向。本文就  $PM_{2.5}$ 所致健康危害及其干预措施进行综述

## 1 PM<sub>2.5</sub>的理化性质

### 1.1 PM<sub>2.5</sub>来源及组成成分

PM<sub>2.5</sub>来源较广,自然界来源包括风沙扬尘、森林火灾、火山爆发,但其主要来源是由人为因素所造成,如冬季供暖所燃烧的

DOI:10.7683/xxvxyxb.2019.06.023

收稿日期:2018-11-25

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(编号:81573112,81602828);国家重点研发计划项目(编号:2016YFC0900803);河南省高等学校重点科研计划项目(编号:15A330002);河南省重点科技攻关项目(编号:142102310049);国家级大学生创新项目(编号:201610472022,201710472008)。

**作者简介:**李聪敏(1994-),女,河南郑州人,硕士研究生在读,研究方向:环境与健康。

通信作者:姜碧杰(1985-),女,河北唐山人,博士,讲师,硕士研究生导师,研究方向:环境与健康;E-mail:jiangbijie1001@163.com。

煤炭、汽车尾气、工业废气等,此类来源的颗粒物常含有特殊的有毒有害物质,如镉、铅、锌等<sup>[1]</sup>。PM<sub>2.5</sub>的成分主要分为有机物和无机物 2 大类,有机物主要包括烃类、酰胺类、醇醛类、病原微生物等;无机物主要包括地壳元素、重金属和无机盐<sup>[2-3]</sup>。PM<sub>2.5</sub>对机体造成危害的主要原因是其所携带的有毒重金属、病原微生物通过呼吸系统进入机体,进一步通过血液循环进入机体其他组织器官,对呼吸系统、心血管系统等造成损伤。受城市能源结构、工业生产、污染控制措施、常年风向风速、日降水量、日照时数等原因影响,不同城市的 PM<sub>2.5</sub>组分来源也不相同,我国北方银川、乌鲁木齐等城市的 PM<sub>2.5</sub>中道路扬尘和风沙所占比例极高,工业化城市如鞍山、攀枝花等城市的 PM<sub>2.5</sub>主要来源于煤炭燃烧。组成成分不同的 PM<sub>2.5</sub>对人群的健康影响不同。

### 1.2 浓度

大气颗粒物浓度包括质量浓度 (mass concentrations, MC) 和数量浓度 (number concentrations, NC), 最新实施的环境空气质量标准规定, 我国的  $\text{PM}_{2.5}$  二级标准日均值和年均值分别为  $75 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $35 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$  [4]。流行病学和毒理学研究发现, 颗粒物的浓度与呼吸系统及心血管系统疾病的发病率、病死率呈正相关, 在易感人群、儿童和老年人群中该现象尤为明显 [5-6]。有研究者在研究空气污染对系统性红斑狼疮的潜在影响时发现,  $\text{PM}_{2.5}$  浓度高时系统性红斑狼疮患者的部分肾炎检测指标异常情况更为严重, 说明高浓度  $\text{PM}_{2.5}$  会影响人体免疫系统功能, 对患有免疫系统疾病的患者影响更为严重 [7]。

## 2 PM<sub>2.5</sub>所致健康危害

**2.1 PM<sub>2.5</sub>对呼吸系统的影响** PM<sub>2.5</sub>通过呼吸系统进入机体,肺部为PM<sub>2.5</sub>与机体接触的第1个靶器官<sup>[8]</sup>,PM<sub>2.5</sub>进入呼吸系统,可导致肺炎<sup>[9-11]</sup>、哮喘、慢性阻塞性肺疾病<sup>[12-13]</sup>、肺间质纤维化甚至肺癌等呼吸系统疾病的发生<sup>[14-15]</sup>,同时也会加速原有疾病进程,增加呼吸系统疾病住院率及病死率<sup>[16]</sup>。PM<sub>2.5</sub>浓度上升易造成呼吸系统疾病发病率和病死率的联动性提升,例如,燃煤取暖等空气污染会在某种程度上损伤儿童的心肺功能。流行病学分析发现,北京地区2013年PM<sub>2.5</sub>的污染程度与当地某医院急诊科接收的呼吸系统疾病发病率显著相关,慢性阻塞性肺疾病急性加重患者的门诊量与PM<sub>2.5</sub>的污染程度显著相关<sup>[17]</sup>。

**2.2 PM<sub>2.5</sub>对心血管系统的影响** PM<sub>2.5</sub>所携带的部分物质如有毒重金属、细菌、真菌等可穿过肺泡间质进入毛细血管网,到达全身各处,造成更多的健康问题。有调查表明,接触PM<sub>2.5</sub>的人群更易患心血管疾病,促发心律失常,加剧高血压症状,增加脑卒中风险<sup>[18]</sup>,增加人群住院率<sup>[19]</sup>,甚至增加居民病死率<sup>[20]</sup>。也有学者研究空气颗粒物引起的肺损伤及血液继发性变化,发现空气颗粒物引起血液黏度增加,并且在存在心血管或呼吸系统疾病的情况下更容易导致心肌梗死<sup>[21]</sup>。严超等<sup>[22]</sup>对长期暴露于PM<sub>2.5</sub>大鼠的各器官进行分析,发现大鼠中长期暴露于来源于汽车尾气的PM<sub>2.5</sub>中可导致其肺、心、肝、脾、肾炎症性损伤,其中肺、心脏及肝脏可见明显的病理损伤。

**2.3 PM<sub>2.5</sub>对生殖系统的影响** 关于PM<sub>2.5</sub>对男性生殖系统影响的流行病学调查研究显示,PM<sub>2.5</sub>导致男性精子参数改变和精子数量显著下降<sup>[23]</sup>。有学者研究了空气污染指数与精子参数的关系,结果显示,在冬季,即PM<sub>2.5</sub>浓度最高的季节,受试对象的精子浓度显著下降,精子活力与PM<sub>2.5</sub>浓度呈负相关<sup>[24]</sup>。动物实验也发现,PM<sub>2.5</sub>对雄性生殖系统有严重损伤<sup>[25]</sup>。严超等<sup>[26]</sup>通过呼吸道染毒构建Sprague Dawley (SD)大鼠PM<sub>2.5</sub>长期暴露模型,研究PM<sub>2.5</sub>长期暴露对SD大鼠生殖功能的影响,结果表明,与对照组雌鼠受孕率(100%)相比,PM<sub>2.5</sub>暴露组雌鼠受孕率(高剂量组50%,低剂量组70%)明显降低;而与对照组雄鼠相比,PM<sub>2.5</sub>暴露组雄鼠附睾精液中精子数量和质量明显下降,精子畸形率升高,生精小管结构紊乱,管腔精子数减少,部分次级精母

细胞脱落至管腔,睾丸组织中Connexin 43蛋白表达下降,血睾屏障破坏,最终导致生殖功能损伤。流行病学调查发现,PM<sub>2.5</sub>对孕妇及其体内胎儿也有显著影响,可能造成孕妇早产、流产、难产甚至死产,也可能造成胎儿宫内发育迟缓、出生体质量偏低、出生缺陷等<sup>[27-28]</sup>。有研究发现,美国4个城市孕妇怀孕期间颗粒物暴露与新生儿出生体质量偏低有关<sup>[29]</sup>。张丰泉等<sup>[30]</sup>将雌性大鼠暴露于PM<sub>2.5</sub>,观察其对大鼠妊娠前后体内激素水平和妊娠结局的影响,结果提示,PM<sub>2.5</sub>可能通过影响机体内分泌激素水平而影响妊娠结局。

**2.4 PM<sub>2.5</sub>对皮肤的影响** PM<sub>2.5</sub>也可直接作用于皮肤组织,影响皮肤的完整性,加速皮肤老化,造成面部色斑形成,加重某些特异性皮炎的临床症状,提高湿疹等疾病的患病率<sup>[31-32]</sup>。有学者评估了空气污染对400名女性白人皮肤老化的影响,内在皮肤和外在皮肤老化评分表明,微粒污染也可能影响皮肤老化<sup>[33]</sup>。KRUTMANN等<sup>[34]</sup>对400名40~90岁中国人的研究发现,高PM<sub>2.5</sub>暴露组老年性雀斑样痣发病率高于低PM<sub>2.5</sub>暴露组,其原因可能是PM<sub>2.5</sub>所携带的有机化合物渗透皮肤,影响角质形成细胞和黑色素细胞的活性。

**2.5 其他** PM<sub>2.5</sub>不仅能够导致人群短期死亡率和长期死亡率增加,长期暴露于其中还能增加各种器官罹患癌症的风险<sup>[35]</sup>,国际癌症研究机构于2013年10月正式将大气颗粒物列为I级致癌物<sup>[36]</sup>。有流行病学实验发现,长期暴露于PM<sub>2.5</sub>环境中会导致人体血压、血糖、血脂升高<sup>[37]</sup>。

## 3 PM<sub>2.5</sub>健康危害的干预研究进展

### 3.1 中草药在PM<sub>2.5</sub>所致健康危害干预中的运用

如今很多研究者开始采用个体化措施降低PM<sub>2.5</sub>引起的健康危害。中药是中国的传统药物,部分中药有消炎、抗氧化、抗癌等功效,可用于预防和治疗PM<sub>2.5</sub>引起的健康危害。翁晓芹等<sup>[38]</sup>利用不同浓度的丹皮酚干预受PM<sub>2.5</sub>刺激的BASE-2B细胞,发现丹皮酚干预可抑制PM<sub>2.5</sub>引起的血管内皮生长因子的表达,且丹皮酚浓度越高抑制效果越明显。吴晓芳等<sup>[39]</sup>通过研究不同浓度PM<sub>2.5</sub>及不同浓度芍药苷对支气管上皮细胞的交互影响,发现芍药苷对PM<sub>2.5</sub>所致BASE-2B细胞生长抑制有一定的保护作用。有研究发现,蝉芩颗粒可通过抑制神经生长因子表达而减轻PM<sub>2.5</sub>所致呼吸道神经源性炎症<sup>[40]</sup>。也有研究表明,补肺活血胶囊可降低PM<sub>2.5</sub>所致小鼠肺组

织中炎性介质的表达,缓解小鼠肺组织中的炎症反应程度<sup>[41]</sup>。

虽然 PM<sub>2.5</sub>对心肺疾病患者、年老体弱者危害较明显,但是考虑到健康人群的人口基数较大,因此,PM<sub>2.5</sub>对健康人群的危害也不容小觑。叶国生<sup>[42]</sup>依据自己从医多年的经验发明了一种抗 PM<sub>2.5</sub>茶饮,该茶饮采用石胡荽、芦根、桑叶等中草药原料混合制成,具有消除呼吸道炎症,提高肺部氧气利用率,提高呼吸道拦截 PM<sub>2.5</sub>能力,清除呼吸道内附着的 PM<sub>2.5</sub>沉积物,增强肺部抵抗力,减少呼吸系统疾病发生等功能,且不损伤身体,可以达到提高肺部抵抗力,预防因 PM<sub>2.5</sub>引起的咳嗽、哮喘以及支气管炎等症状的目的。

**3.2 临床护理干预对 PM<sub>2.5</sub>所致疾病的影响** 采取针对性护理干预措施能够有效延缓 PM<sub>2.5</sub>所引起的疾病和症状。房锐等<sup>[43]</sup>采用流行病学方法探讨综合护理干预对 PM<sub>2.5</sub>诱发慢性阻塞性肺疾病患者呼吸功能的影响,发现开展 PM<sub>2.5</sub>专项综合护理患者的治疗效果较常规内科护理显著。有学者使用随机交叉试验设计观察佩戴高效口罩能否降低冠状动脉粥样硬化性心脏病患者在城市中的暴露剂量,研究发现,佩戴高效口罩可以减轻个人暴露,从而减少冠状动脉粥样硬化性心脏病患者的临床症状,减慢疾病进程<sup>[44]</sup>。有研究表明,氢气能够预防和治疗由炎症导致的肺部疾病<sup>[45]</sup>,陈国强<sup>[46]</sup>将 PM<sub>2.5</sub>导致的哮喘模型大鼠连续 30 d 每天 2 h 暴露于含体积分数为 66% H<sub>2</sub> 的氢氧混合气中,结果显示, H<sub>2</sub> 能够减轻模型大鼠的炎症反应,因而在一定程度上可以改善呼吸道高反应症状。

**3.3 营养保健品对 PM<sub>2.5</sub>所致健康危害的干预作用** 李航等<sup>[47]</sup>研究发现,鱼油能减少呼吸道炎症因子释放,对 PM<sub>2.5</sub>所致大鼠呼吸道损伤有明显的保护作用。杜喜浩等<sup>[48]</sup>发现,给 SD 大鼠补充维生素 E 和脂肪酸可以提高体内超氧化物歧化酶及谷胱甘肽过氧化物酶的活性,从而拮抗 PM<sub>2.5</sub>对机体所造成的心肺系统反应和氧化应激损伤。张凡等<sup>[49]</sup>对兼有食用药用价值的动植物资源进行了探索研究,发现琐琐葡萄多糖能够改善肺通透性,从而对 PM<sub>2.5</sub>诱导的肺损伤大鼠具有一定保护作用。

4 总结

近年来,为了解空气造成的健康危害,研究人员在多个方向进行了探索和尝试,目前认为 PM<sub>2.5</sub>通过炎症及氧化应激对机体造成损伤,可以通

过减少机体炎症反应、降低机体氧化损伤的措施干预大气污染造成的健康危害。虽然空气污染导致机体健康危害的研究已取得一些进展,但采取有效措施降低空气污染所致危害的研究仍较少,有待进一步加强。

参考文献:

[1] 胡子梅,王军,陶征楷,等.上海市 PM<sub>2.5</sub>重金属污染水平与健康风险评价[J].环境科学学报,2013,33(12):3399-3406.

[2] WU S, DENG F, WEI H, et al. Association of cardiopulmonary health effects with source-appointed ambient fine particulate in Beijing, China: a combined analysis from the Healthy Volunteer Natural Relocation (HVNRR) study [J]. *Environ Sci Technol*, 2014, 48(6):3438-3448.

[3] OGINO K, ZHANG R, TAKAHASHI H, et al. Allergic airway inflammation by nasal inoculation of particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in NC/Nga mice [J]. *PLoS One*, 2014, 9(3):e92710.

[4] 温玲,徐建平.中欧环境空气质量标准比较分析研究[J].环境科学与管理,2017,42(9):76-80.

[5] CYRYS J, PETERS A, SOENTGEN J, et al. Low emission zones reduce PM10 mass concentrations and diesel soot in German cities [J]. *J Air Waste Manag Assoc*, 2014, 64(4):481-487.

[6] PRICE H D, JONES T P, BÉRUBÉ K A J S O T T E. Resolution of the mediators of *in vitro* oxidative reactivity in size-segregated fractions that may be masked in the urban PM 10 cocktail [J]. *Sci Total Environ*, 2014, 484:588-595.

[7] BERNATSKY S, FOURNIER M, PINEAU C A, et al. Associations between ambient fine particulate levels and disease activity in patients with systemic lupus erythematosus (SLE) [J]. *Environ Health Perspect*, 2011, 119(1):45-49.

[8] BÉRUBÉ K, BALHARRY D, SEXTON K, et al. Combustion-derived nanoparticles: mechanisms of pulmonary toxicity [J]. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 2010, 34(10):1044-1050.

[9] 马慧,沈永明,司萍.天津市住院儿童肺炎支原体和乙型流感病毒感染情况及其与空气污染相关性的初步研究[J].环境与健康杂志,2018,35(3):230-234.

[10] 肖长春,唐静,李玉荣,等.合肥市空气污染与某儿童医院肺炎门诊量关系的时间序列分析[J].山东大学学报(医学版),2018,56(11):76-83.

[11] 张新星,顾文婧,陈正荣,等.苏州地区儿童呼吸道感染肺炎链球菌流行特点及与空气污染物的相关性[J].中华实用儿科临床杂志,2018,33(22):1707-1710.

[12] 杨露,袁雅冬. PM<sub>2.5</sub>的氧化损伤机制及其与呼吸系统疾病关系[J].临床荟萃,2016,31(4):433-438.

[13] 赵凤琴,王新华.空气污染与慢性阻塞性肺疾病病情相关性的研究进展[J].医学综述,2018,24(19):3868-3872.

[14] 何粤发.空气主要污染因子对常见呼吸系统疾病影响调查[J].佛山科学技术学院学报(自然科学版),2017,35(3):52-55.

[15] 周历媛.济南市空气污染与慢性呼吸道疾病的关系研究[D].济南:山东师范大学,2016.

- [16] 丁中印,高辉,范计朋,等. 某市空气污染对慢性阻塞性肺部疾病住院人数的发病影响研究[J]. 中国卫生信息管理杂志, 2018,15(6):619-624.
- [17] XU Q, LI X, WANG S, *et al.* Fine particulate air pollution and hospital emergency room visits for respiratory disease in urban areas in Beijing, China, in 2013 [J]. *PLoS One*, 2016, 11(4): e0153099.
- [18] 鲁晓春,李小鹰. 空气污染与心血管疾病[J]. 中华老年医学杂志, 2015, 34(6):583-586.
- [19] 李炜,黄倩. 基于医疗大数据的空气污染类疾病信息分析研究[J]. 环境科学与管理, 2018, 43(6):145-149.
- [20] 刘维婕,唐伟,王威. 空气污染与中枢神经系统退行性病变[J]. 中国老年学杂志, 2018, 38(17):4333-4335.
- [21] EVANS S A, AL-MOSAWI A, ADAMS R A, *et al.* Inflammation, edema, and peripheral blood changes in lung-compromised rats after instillation with combustion-derived and manufactured nanoparticles[J]. *Exp Lung Res*, 2006, 32(8):363-378.
- [22] 严超,曹希宁,沈炼桔,等. 汽车尾气来源PM<sub>2.5</sub>长期暴露导致大鼠多器官损害[J]. 重庆医科大学学报, 2015, 40(6):844-849.
- [23] ZHOU N, CUI Z, YANG S, *et al.* Air pollution and decreased semen quality: a comparative study of Chongqing urban and rural areas [J]. *Environ Pollut*, 2014, 187(8):145-152.
- [24] HAMMOUD A, CARRELL D T, GIBSON M J F, *et al.* Decreased sperm motility is associated with air pollution in Salt Lake City [J]. *Fertil Steril*, 2010, 93(6):1875-1879.
- [25] 王二辉,王亚,翟德胜,等. 大气细颗粒物暴露致雄性生殖功能损伤研究进展[J]. 新乡医学院学报, 2018, 35(11):1036-1038.
- [26] 严超,曹希宁,沈炼桔,等. 汽车尾气来源PM<sub>2.5</sub>颗粒物长期暴露导致SD雄鼠生殖功能损害[J]. 中华男科学杂志, 2016, 22(2):104-109.
- [27] PERIN P M, MALUF M, CZERESNIA C E, *et al.* Effects of exposure to high levels of particulate air pollution during the follicular phase of the conception cycle on pregnancy outcome in couples undergoing *in vitro* fertilization and embryo transfer[J]. *Fertil Steril*, 2010, 93(1):301-303.
- [28] LEGRO R S, SAUER M V, MOTTLA G L, *et al.* Effect of air quality on assisted human reproduction [J]. *Human Reprod*, 2010, 25(5):1317-1324.
- [29] BELL M L, BELANGER K, EBISU K, *et al.* Prenatal exposure to fine particulate matter and birth weight: variations by particulate constituents and sources [J]. *Epidemiology*, 2010, 21(6):884-891.
- [30] 张丰泉,董恩恒,王茂,等. PM<sub>2.5</sub>对雌鼠生殖内分泌水平和妊娠结局的影响[J]. 中国实验动物学报, 2017, 25(4):455-460.
- [31] KIM J, KIM E H, OH I, *et al.* Symptoms of atopic dermatitis are influenced by outdoor air pollution [J]. *J Allergy Clin Immunol*, 2013, 132(2):495-498.
- [32] KRÄMER U, SUGIRI D, RANFT U, *et al.* Eczema, respiratory allergies, and traffic-related air pollution in birth cohorts from small-town areas [J]. *J Dermatol Sci*, 2009, 56(2):99-105.
- [33] VIERKÖTTER A, SCHIKOWSKI T, RANFT U, *et al.* Airborne particle exposure and extrinsic skin aging [J]. *J Invest Dermatol*, 2010, 130(12):2719-2726.
- [34] KRUTMANN J, LIU W, LI L, *et al.* Pollution and skin: from epidemiological and mechanistic studies to clinical implications [J]. *J Dermatol Sci*, 2014, 76(3):163-168.
- [35] WONG C M, TSANG H, LAI H K, *et al.* Cancer mortality risks from long-term exposure to ambient fine particle [J]. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 2016, 25(5):839-845.
- [36] LOOMIS D, GROSSE Y, LAUBY-SECRETAN B, *et al.* The carcinogenicity of outdoor air pollution [J]. *Lancet Oncol*, 2013, 14(13):1262-1263.
- [37] CHUANG K J, YAN Y H, CHIU S Y, *et al.* Long-term air pollution exposure and risk factors for cardiovascular diseases among the elderly in Taiwan [J]. *Occup Environ Med*, 2011, 68(1):64-68.
- [38] 翁晓芹,杜强,冯盱珠,等. 丹皮酚抑制PM<sub>2.5</sub>诱导的人支气管上皮细胞VEGF表达的研究[J]. 临床肺科杂志, 2017, 22(11):1968-1971.
- [39] 吴晓芳,王丽云,易建华,等. 芍药苷对PM<sub>2.5</sub>诱导BEAS-2B细胞损害的保护作用[J]. 南方医科大学学报, 2018, 38(2):168-173.
- [40] 沈若冰,余小萍,何铭晟. 蝉芩颗粒对感染后咳嗽患者气道神经源性炎症影响[J]. 辽宁中医药大学学报, 2017, 19(2):93-96.
- [41] 敬岳,唐诗环,金津,等. 补肺活血胶囊对颗粒物致小鼠肺纤维化样变的影响[J]. 世界中西医结合杂志, 2017, 12(6):774-778.
- [42] 叶国生. 抗PM<sub>2.5</sub>茶饮:中国, CN105746811A [P]. 2016-07-13.
- [43] 房锐. 综合护理干预对PM<sub>2.5</sub>诱发慢性阻塞性肺疾病患者呼吸功能的影响[J]. 齐鲁护理杂志, 2014, 20(24):23-26.
- [44] LI J, LI L, MILLS N L, *et al.* Reducing personal exposure to particulate air pollution improves cardiovascular health in patients with coronary heart disease [J]. *Environ Health Perspect*, 2012, 120(3):367-372.
- [45] MAO Y F, ZHENG X F, CAI J M, *et al.* Hydrogen-rich saline reduces lung injury induced by intestinal ischemia/reperfusion in rats [J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2009, 381(4):602-605.
- [46] 陈国强. PM<sub>2.5</sub>对大鼠哮喘形成及发展的影响及氢气的治疗效果[D]. 石家庄:河北医科大学, 2017.
- [47] 李航,郭伟丽,安珍,等. 鱼油对PM<sub>2.5</sub>所致大鼠肺损伤的干预作用[J]. 新乡医学院学报, 2017, 34(1):4-9.
- [48] 杜喜浩,蒋硕,薄亮,等. 维生素E和ω-3脂肪酸对大气PM<sub>2.5</sub>心肺损伤的干预研究[J]. 卫生研究, 2017, 46(4):517-526, 537.
- [49] 张凡,苏德奇. 琐琐葡萄多糖对PM<sub>2.5</sub>致大鼠肺损伤保护作用研究[J]. 新疆医科大学学报, 2017, 40(4):460-463.

(本文编辑:李胜利)