DOI: 10.16506/j.1009－6639.2022.03.003

·论 著·

2014—2019 年临沂市大气颗粒物污染对慢性呼吸道疾病的影响研究

冯美慧[1]，伯鑫[2,3]，杨静[4]，刘思宇[1]，邢芝雯[1]，刘厚凤[1]，吴鑫[4]，李冬[5]，魏敏[1]

1. 山东师范大学地理与环境学院，山东 济南 250358；2. 北京化工大学环境科学与工程系；
3. 北京化工大学北化中国碳中和研究院；4. 临沂市人民医院网络与信息部；
5. 临沂市人民医院睡眠癫痫中心

摘要：目的 探讨大气颗粒物污染对临沂市人群慢性呼吸道疾病的短期暴露效应。**方法** 基于 2014—2019 年临沂市大气颗粒物（$PM_{2.5}$和 PM_{10}）浓度例行监测和同期呼吸道疾病门诊数据，采用分布滞后非线性模型研究颗粒物对慢性呼吸道疾病门诊患者的暴露风险和滞后效应。**结果** $PM_{2.5}$浓度为 86 μg/m³ 时，慢性呼吸道疾病相对危险度（Relative Risk，*RR*）最高，为 1.67（95%*CI*：1.27～2.17）；PM_{10}浓度为 90 μg/m³ 时，*RR* 值最高，为 1.56（95%*CI*：1.25～1.96）；慢性呼吸道疾病门诊量在低-中 PM 浓度（$PM_{2.5}$≤87 μg/m³、PM_{10}≤165 μg/m³），累计滞后风险从 lag03 开始显著，高浓度（$PM_{2.5}$≥166 μg/m³、PM_{10}≥273 μg/m³）时，累积滞后 1 d（lag01）即产生相对风险；性别与年龄的修饰作用，$PM_{2.5}$对男性影响大于女性，PM_{10}对女性影响大于男性；$PM_{2.5}$对≤65 岁人群疾病风险显著，而 PM_{10}对全年龄段人群均存在风险。**结论** 临沂市颗粒物浓度仍处于较高水平，人群暴露及慢性呼吸道疾病风险较高，需严格执行和实施大气污染减排政策及措施。

关键词： 大气颗粒物；慢性呼吸道疾病；门诊量；分布滞后非线性模型；临沂市

中图分类号： R56；X503.1 **文献标识码：** A **文章编号：** 1009-6639（2022）03-0171-09

Association of ambient particulate matter pollution with chronic respiratory disease in Linyi city in 2014—2019

FENG Mei-hui*, BO Xin, YANG Jing, LIU Si-yu, XING Zhi-wen,
LIU Hou-feng, WU Xin, LI Dong, WEI Min

College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan, Shandong 250358, China

Corresponding author: LI Dong, E-mail: 84.winter@163.com

Abstract: Objective To investigate the short-term exposure effect of air particulate matter pollution on chronic respiratory diseases in Linyi city from 2014 to 2019. **Methods** The monitoring data on the concentration of ambient particulate matters ($PM_{2.5}$ and PM_{10}) in Linyi city during 2014 and 2019 and data of outpatients with respiratory diseases were collected. The distributed lag nonlinear model (DLNM) was used to evaluate the exposure risk and lag effect of particulate matter on outpatients' visits. **Results** The highest relative risk of chronic respiratory diseases was observed at $PM_{2.5}$ concentration of 86 μg/m³ (*RR*=1.67, 95%*CI*: 1.27-2.17) and at PM_{10} concentration of 90 μg/m³ (*RR*=1.56, 95%*CI*: 1.25-1.96). The cumulated risk of PM on the number of outpatients with chronic respiratory diseases became significant at lag03 under low-medium PM concertation ($PM_{2.5}$≤87 μg/m³, PM_{10}≤165 μg/m³), whereas it became significant at lag01 under high PM concentration ($PM_{2.5}$≥166 μg/m³, PM_{10}≥273 μg/m³). The *RR* of $PM_{2.5}$ was higher in men than that in women, while the *RR* of PM_{10} was higher in women. The risk of $PM_{2.5}$ was significant for adults under 65 years, while the risk of PM_{10} was significant for people at all age groups. **Conclusions** The concentration of particulate matter in Linyi city is still at a high level (higher than the level 2 standard), and the risk of

基金项目： 国家自然科学基金青年项目（41605113）；国家自然科学基金面上项目（42075183）

作者简介： 冯美慧，硕士研究生，主要从事环境健康影响研究

通信作者： 李冬，E-mail：84.winter@163.com

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

exposure on chronic respiratory diseases is still high. Strict implementation and enforcement of air pollution abatement policies and measures are required.

Key words: Particulate matter; Chronic respiratory diseases; Outpatient visits; Distributed lag non-linear model; Linyi city

空气污染对人群呼吸系统疾病的影响已成为环境流行病学及公共卫生领域关注的热点。2019 年全球疾病负担报告对 204 个国家（地区）人群死亡和疾病原因的调查表明慢性呼吸道疾病（Chronic Respiratory Disease，CRD）已成为第三大致死性疾病[1]，是中国居民主要的死亡原因和疾病负担，同时研究表明空气污染是 CRD 疾病的主要危险因素[2]。2021 年 9 月世界卫生组织（WHO）更新了空气质量指南（Air Quality Guidelines，AQG），收紧了各项污染物长期暴露指标的年均目标值，指出了低浓度污染物暴露的健康风险。目前已有研究证实颗粒物对慢性呼吸道疾病的影响，基于时间序列或病历交叉研究表明，长期暴露于高浓度颗粒物（$PM_{2.5}$、PM_{10}）与慢性呼吸道疾病的发病密切相关[2-4]，美国[5]、葡萄牙[6]、孟加拉国[7]等相关研究表明颗粒物对慢性阻塞性肺炎、慢性支气管炎、哮喘等慢性呼吸道疾病均影响显著，产生效应的累积滞后时间为 lag04～lag07，性别年龄对疾病风险存在修饰效应[6-9]。近年来我国环境空气颗粒物浓度逐年下降，相关研究表明即使长期暴露于低浓度颗粒物，也存在呼吸道疾病发病率增加的风险[10-12]。而国内相关研究多集中于大城市或重污染城市，不同城市大气污染与人群健康效应的研究结果也具有差异性[13-16]。由于不同城市人口密度、经济发展水平、大气污染水平、气象条件等存在地域差异，全国或某一城市大气污染与人群健康效应的研究结果不能直接用于评估其他地区的人群健康风险。

本研究以人口众多、能源结构偏重的中小型工业城市——临沂市为研究对象，采用基于时间序列的分布滞后非线性模型（DLNM），探讨临沂市大气 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 对不同年龄及性别人群慢性呼吸道疾病门诊量的影响。研究结果可为临沂市中小工业城市大气污染健康效应的评估提供参考，同时为大气污染与敏感人群慢性呼吸道疾病的早期干预提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 资料 呼吸道疾病门诊数据来自临沂市人民医院，该医院为临沂市区内唯一的三级甲等大型综合医院，门诊量占市区门诊量的 80%以上，样本量可代表临沂市区疾病特点（临沂市卫生健康委员会）。门诊数据包含 2014 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日慢性呼吸道疾病患者的日常门诊信息。空气质量数据（PM_{10}、$PM_{2.5}$、SO_2、NO_2、CO、O_3）来源于山东省空气质量例行监测平台，包括四个国控、四个省控监测站点，缺少数据来自真气网（https://www.zq12369.com），每日数据公布前经环境保护部门质量控制后发布。气温、气压、相对湿度、风速等气象数据来源于中国气象局临沂市大气边界层观测站（35.03° N，118.24° E），由气象部门进行质控。

1.2 数据处理 原始门诊数据按照国家三级甲等医院标准进行规范化管理和检查，并由门诊资料管理人员与信息管理人员进行核对及数据清洗，剔除门诊信息不全、重复门诊和诊断不明确的病例。门诊数据处理依据国际疾病分类标准第十版（ICD-10）[17]，选取慢性呼吸道疾病（J40-J47）中慢性阻塞性肺炎（J44）、慢性支气管炎（J45）与哮喘（J41）为健康效应终点。将 2014—2019 年慢性呼吸道疾病门诊人群按照性别分为男、女两个层次，年龄分为≤65 岁和＞65 岁两个层次。选取大气颗粒物 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 日均浓度第 25、50、75 及第 95 百分位数[18]，计算不同滞后天数下 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 对性别及年龄分层下慢性呼吸道疾病门诊量的累积滞后风险。

1.3 统计学处理 采用 Excel 2019 软件进行数据基础统计与筛选处理，采用 SPSS 25.0 软件进行 Shapiro-Wilk 检验得到空气污染物与气象因素均为非正态分布，故采用 Spearman 相关分析空气质量与气象数据的相关性，筛选与慢性呼吸道疾病相关的环境变量。以 VIF＝4 为标准，VIF＞4 表明自变量间存在多重共线性，将其剔除并以逐步回归法得到最优结果；VIF＜4 表明自变量间不存在多重共线性[15]。

采用基于泊松（Poisson）分布的分布滞后非线性模型（Distributed Lag Nonlinear Model，DLNM）定量评估 $PM_{2.5}$、PM_{10} 对临沂市慢性呼吸道疾病的影响。模型建立及统计分析使用 R 4.1.2 软件，数据分析及模型运行采用 R 软件中 mgcv 和 nlme 包，$P<0.05$ 为差异有统计学意义。研究为 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 单独建模，除所研究空气质量因子与每日慢性呼吸道疾病门诊量连接外，其他因素均以

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

自然样条函数的形式纳入模型中作为混杂因素。为控制时间变量的长期趋势，将时间变量以自然样条函数的形式纳入模型，为控制日门诊量的“星期几效应”，星期几变量以哑变量的形式纳入模型，模型表达式如下：

$$lg[E(Y_i)] = \alpha + \beta basis.PM_{ij} + ns(time_i, df) + ns(temp_i, df) + ns(rhum_i, df) + ns(ws_i, df) + \lambda DOW \quad (1)$$

式中，Yi 是第 i 天门诊人数；α 为截距；$basis.PM$ 是通过 DLNM 模型中的“$cross$-$basis$”函数获得的所研究空气质量因素的二维矩阵，β：矩阵的系数；$time_i$ 是新设的时间序列变量，用于控制长期趋势，$temp$、$rhum$ 与 ws 分别为温度、湿度与最大风速协变量；DOW_i 为第 i 天是星期几的哑变量；df 代表自由度。通过调整相关变量的自由度，并结合模型的赤池信息量准则[15]（Akaike Information Criterion，AIC），得到气象因素自由度为 3，时间变量自由度为 7 年，最大滞后天数定为 14 d，并通过改变自由度及滞后时间检验模型的稳定性。危险度的评估采用式（1）计算获得的回归系数 β 代入式（2），计算 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 浓度变化每 10 个单位时，慢性呼吸道疾病门诊量改变的百分比，即自然对数相对危险度（relative risk，RR）及 95%置信区间（CI）。

$$RR = e^{10\beta} \quad (2)$$

$$95\%CI = exp[(\beta \pm 1.96SE)] \quad (3)$$

式中，β 为回归系数；CI 为 95%置信区间；SE 为标准差。根据式（2）、（3）计算 RR 值及 $95\%CI$，统计检验均采用双侧检验，$P<0.05$ 时，污染物暴露的健康效应差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 慢性呼吸道疾病特征 2014—2019 年临沂市人民医院共报告慢性呼吸道疾病门诊病例 52 617 例，见表 1，慢性呼吸道疾病发病率为 366.51/10 万。其中，慢性阻塞性肺炎、慢性支气管炎及哮喘门诊量分别为 12 811 例（29.81%）、15 684 例（24.35%）及 24 122 例（45.84%）。慢性呼吸道疾病总门诊中男性 29 625 例（56.29%），发病率 205.37/10 万，女性 22 992 例（43.71%），发病率为 161.03/10 万。慢性呼吸道疾病总门诊就诊人群中≤65 岁病例为 37 637 例（71.53%），>65 岁病例为 14 980 例（28.47%）。2014—2019 年临沂市慢性呼吸道疾病门诊量及发病率总体呈上升趋势，2018 年门诊量最高（15 125 例）。

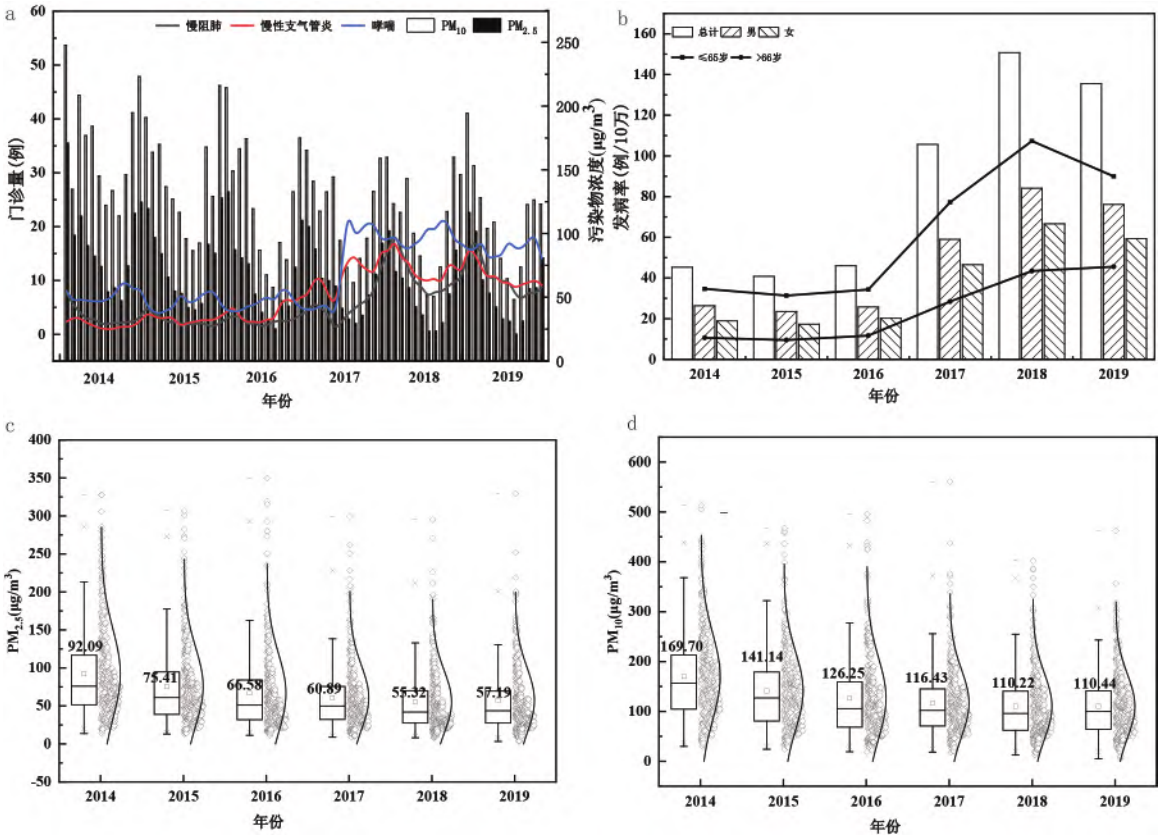
2.2 颗粒物污染特征 2014—2019 年临沂市颗粒物浓度呈逐年下降趋势，$PM_{2.5}$ 由 92.09 $\mu g/m^3$ 下将至 57.19 $\mu g/m^3$，PM_{10} 由 169.70 $\mu g/m^3$ 下降至 110.44 $\mu g/m^3$，但均未达到国家环境空气质量标准年均浓度二级限值（$PM_{2.5}$，35 $\mu g/m^3$ 和 PM_{10}，70 $\mu g/m^3$），见图 1。慢性呼吸道疾病时间序列见图 1（a），病例多集中在 12 月至次年 2 月，3—6 月门诊量明显减少，与 PM_{10} 与 $PM_{2.5}$ 浓度的变化趋势较一致，大气污染物浓度的变化与慢性呼吸道疾病的发病密切相关。

2.3 大气污染物与气象因素相关性分析 Spearman 秩相关见表 2，方差膨胀因子 VIF 计算结果显示，颗粒物与其他污染物之间存在共线性，同时排除具有共线性的其他环境因子。经计算，日均 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10}、SO_2、NO_2、CO 四种空气污染物的 VIF>4（VIF 分别为 4.46、4.08、4.93、6.27），与气象因素中平均气温、平均湿度、平均最大风速的 VIF<4，与平均气压的 VIF 为 4.46。PM_{10} 与 $PM_{2.5}$、SO_2、NO_2、CO 四种空气污染物的 VIF>4（VIF 分别为 5.67、4.12、4.76、7.16），与气象因素中平均气温、平均湿度、平均最大风速的 VIF<4，与平均气压的 VIF 为 4.07。VIF>4 说明同时纳入两个变量会导致自变量共线性，模型运行结果不稳定或出现意外结果。最终纳入 DLNM 模型的为平均气温、平均湿度与平均最大风速为协变量，并使用自然立方样条函数加以控制。大气污染物与气象因素均存在相关性。

表 1 2014—2019 年临沂市慢性呼吸道系统疾病日门诊量（例）

疾病分类	总和	日均就诊（$\bar{x}\pm s$）	最小	最大	百分位数			
					25th	50th	75th	95th
总门诊量	52 617	24.02±0.37	0	124	10	19	36	56
慢性阻塞性肺炎	12 811	5.85±0.13	0	55	2	4	8	17
慢性支气管炎	15 684	7.16±0.16	0	53	2	5	10	22
哮喘	24 122	11.01±0.17	0	90	5	9	16	26
男性	29 625	13.52±0.21	0	64	6	11	20	32
女性	22 992	10.49±0.17	0	69	4	8	16	26
≤65 岁	37 637	17.17±0.27	0	99	7	14	25	40
>65 岁	14 980	6.84±0.13	0	40	2	5	10	19

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



注：a 为慢性呼吸疾病；b 为不同年龄性别发病率；c 为 $PM_{2.5}$ 年均浓度变化；d 为 PM_{10} 年均浓度变化。

图 1 2014—2019 年临沂市慢性呼吸道疾病时间序列和年均浓度变化趋势

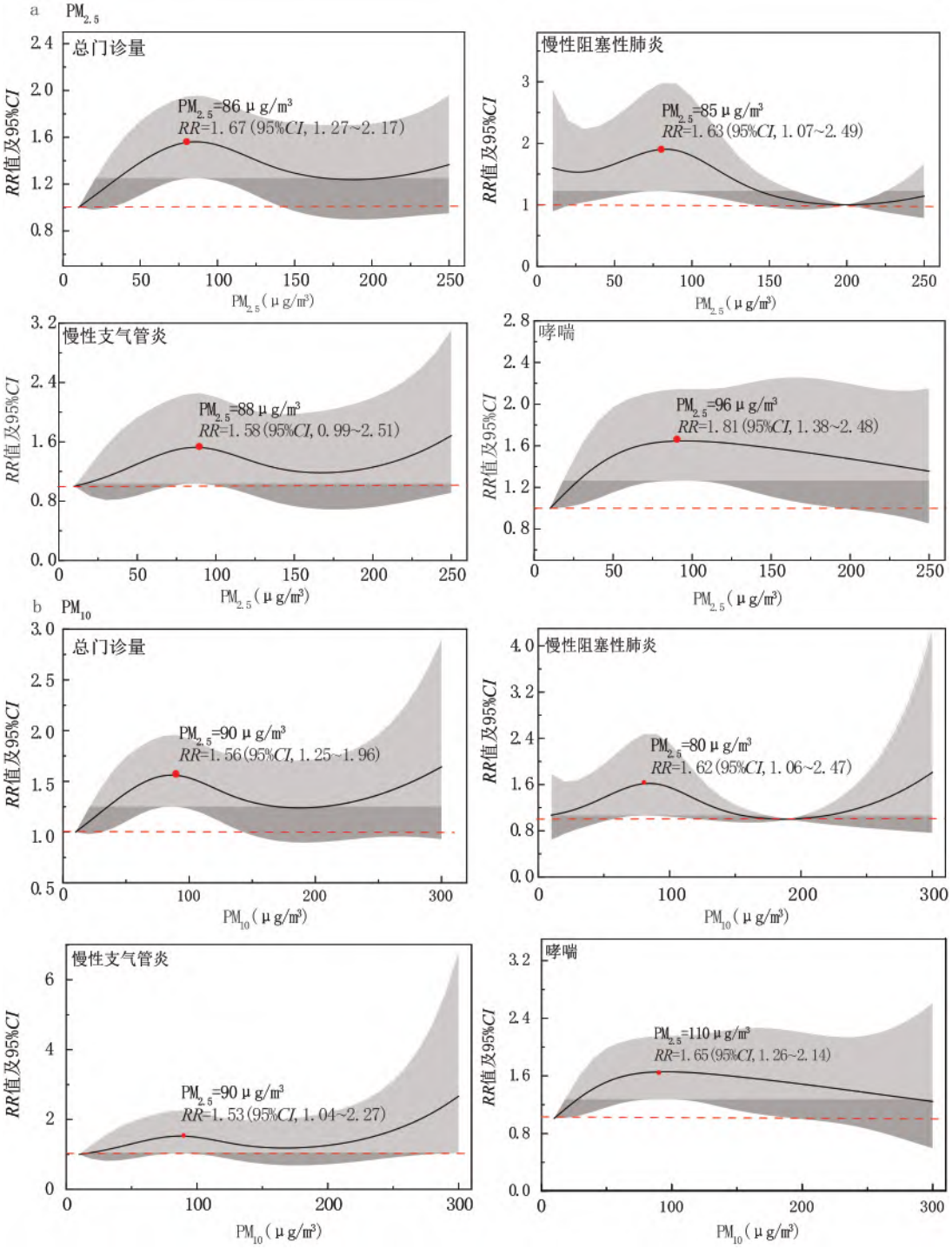
表 2 大气污染物与气象因素的 Spearman 相关矩阵

变量	$PM_{2.5}$（$\mu g/m^3$）	PM_{10}（$\mu g/m^3$）	O_3（$\mu g/m^3$）	NO_2（$\mu g/m^3$）	SO_2（$\mu g/m^3$）	CO（mg/m^3）	平均气温（℃）	平均气压（hPa）	平均最大湿度（%）	最大风速（m/s）
$PM_{2.5}$（$\mu g/m^3$）	1.000	0.942	−0.256	0.812	0.708	0.826	−0.437	0.414	−0.139	−0.253
PM_{10}（$\mu g/m^3$）		1.000	−0.153	0.822	0.734	0.776	−0.338	0.339	−0.283	−0.212
O_3（$\mu g/m^3$）			1.000	−0.326	−0.289	−0.294	0.749	−0.671	−0.130	0.026
NO_2（$\mu g/m^3$）				1.000	0.781	0.326	−0.440	0.487	−0.288	−0.319
SO_2（$\mu g/m^3$）					1.000	0.764	−0.437	0.549	−0.420	−0.221
CO（mg/m^3）						1.000	−0.310	0.397	−0.021	−0.367
平均气温（℃）							1.000	−0.840	0.255	−0.042
平均气压（hPa）								1.000	−0.284	−0.120
平均最大湿度（%）									1.000	−0.203
最大风速（m/s）										1.000

2.4 基于 DLNM 模型的 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 对临沂市慢性呼吸道疾病风险 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 浓度升高均会增加慢性呼吸道疾病、慢性阻塞性肺炎、慢性支气管炎与哮喘相对风险，见图 2。$PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 在浓度为 90 $\mu g/m^3$ 左右时，*RR* 值存在峰值。随 PM 浓度增加，如 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 浓度高于 200 $\mu g/m^3$ 时，风险预测值上升。$PM_{2.5}$ 对慢性呼吸道疾病的风险效应表明，慢性阻塞性肺炎在 $PM_{2.5}$ 浓度为 85 $\mu g/m^3$ 时，*RR* 值最大为 1.63（95%*CI*：1.07～2.49），浓度大于 85 $\mu g/m^3$ 时，*RR* 值随浓度增加逐渐减小，存在收获效应[19-20]。慢性支气管炎 *RR* 值在 $PM_{2.5}$ 浓度 88 $\mu g/m^3$ 时最高，为 1.58（95%*CI*：0.99～2.51）。哮喘 *RR* 值随 $PM_{2.5}$ 浓度上升呈现先上升后趋于平稳趋势，$PM_{2.5}$ 浓度为 96 $\mu g/m^3$ 时，*RR* 值最高，为 1.81（95%*CI*：1.38～2.48）。PM_{10} 对慢性呼吸道疾病的风险效应表明，慢性阻塞性肺炎在日均浓度为 80 $\mu g/m^3$ 时，*RR* 值最大为 1.62（95%*CI*：1.06～2.47），浓度为 90 $\mu g/m^3$ 时慢性支气管炎 *RR* 值最大，为 1.53（95%*CI*：1.04～2.27），浓度为 110 $\mu g/m^3$ 时哮喘 *RR* 值最大，为 1.65（95%*CI*：1.26～2.14）。

2.5 不同浓度 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 对慢性呼吸道疾病门诊量的累积滞后效应 颗粒物浓度越高，越早产生风险效应，且 $PM_{2.5}$ 风险值高于 PM_{10}，见图 3。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



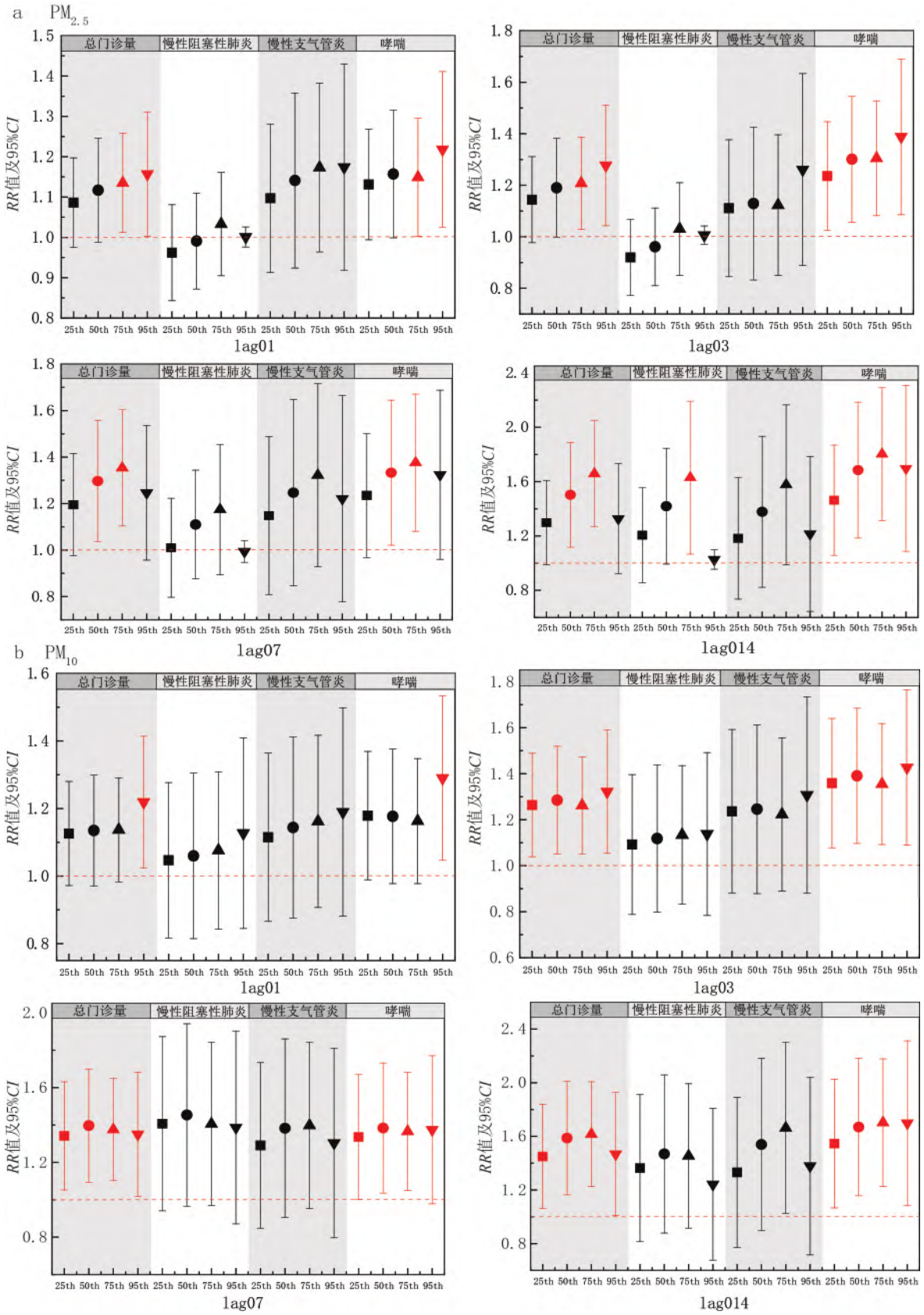
注：a 表示 $PM_{2.5}$；b 表示 PM_{10}。

图 2 2014—2019 年临沂市慢性呼吸道疾病总门诊量、慢性阻塞性肺炎、慢性支气管炎、哮喘累积滞后 14 d 效应曲线

$PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 浓度变化对慢性呼吸道疾病总门诊量和哮喘累积滞后效应显著。$PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 低-中浓度时（25th，50th），对总门诊及哮喘的风险在 lag03 开始风险显著，而在高浓度时，如第 95 百分位数（95th），$PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 对总门诊量及哮喘均在 lag01 开始相对风险显著。

2.6 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 影响下性别与年龄对慢性呼吸道疾病的修饰作用 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 日均浓度第 25、50、75 及第 95 百分位浓度下，不同滞后天数对性别及年龄分层下慢性呼吸道疾病门诊量的累积滞后效应见图 4。$PM_{2.5}$ 对性别及年龄分层的累积滞后效应如下。按性别分层，$PM_{2.5}$ 对男性慢性呼吸道疾病门诊影响大于女性，且在累积滞后 14 d 时风险值最高。以 75th（87 μg/m³）浓度为例，

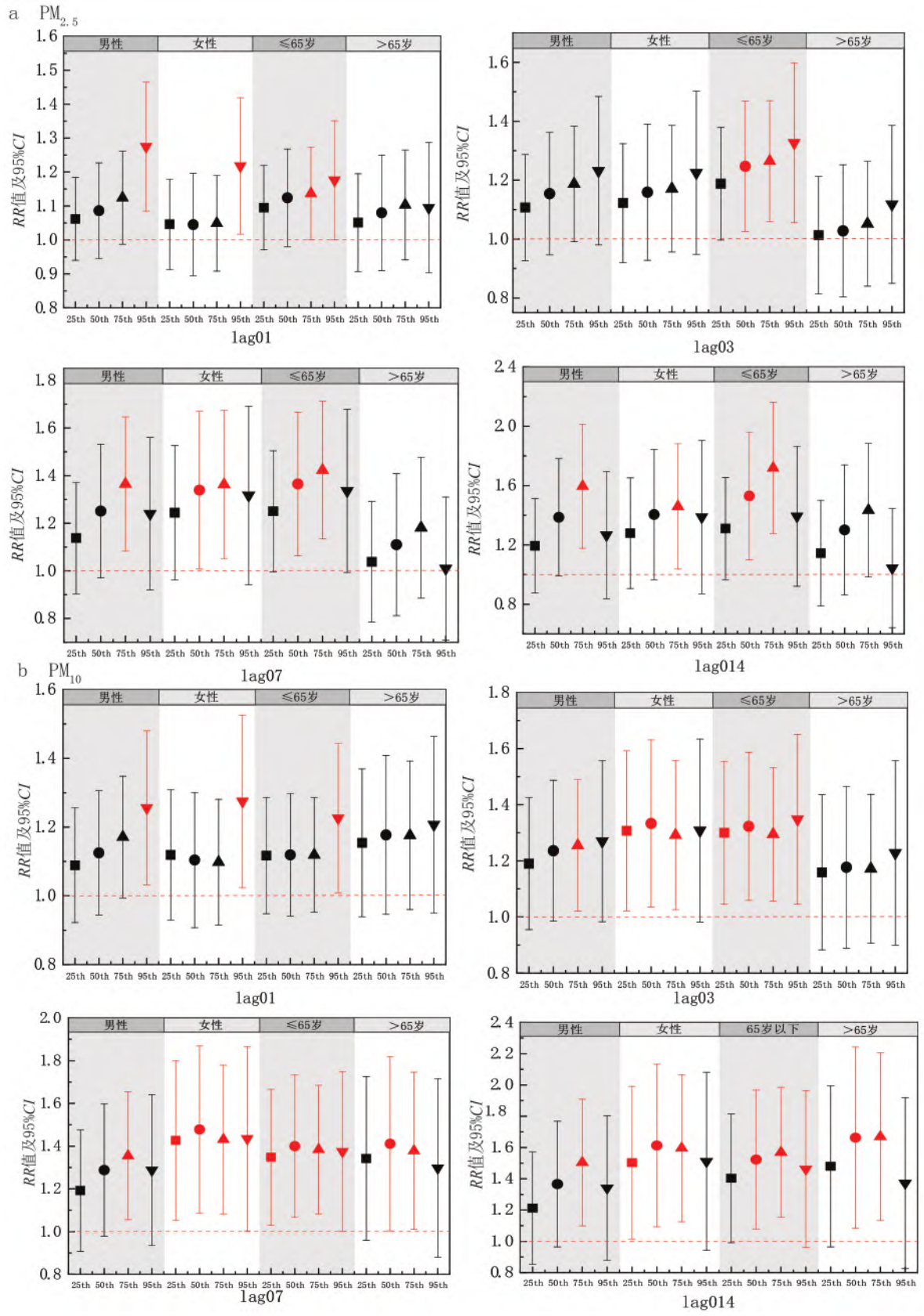
(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



注：a 为 $PM_{2.5}$；b 为 PM_{10} 的累积滞后效应。

图 3 不同浓度 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 对慢性呼吸道疾病的累积滞后效应 *RR* 值及 95%*CI*

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



注：a 为 $PM_{2.5}$ 的累积滞后效应；b 为 PM_{10} 的累积滞后效应。

图 4 $PM_{2.5}$ 与 PM_{10} 对慢性呼吸道疾病门诊量不同性别及年龄人群的累积滞后效应 *RR* 值及 95%*CI*

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

累计滞后 14 d 时（lag014），男性 $RR=1.60$（95% CI：1.18～2.16）高于女性 $RR=1.46$（95% CI：1.04～2.05）。按年龄分层，$PM_{2.5}$ 对≤65 岁人群风险值高于＞66 岁人群，在 $PM_{2.5}$ 中-高浓度（50th，75th，95th）时，≤65 岁风险值显著，而＞65 岁差异无统计意义。以 $PM_{2.5}$ 75th 浓度为例，lag014 时≤65 岁 RR 值为 1.72（95% CI：1.28～2.31），而＞65 岁无统计意义。PM_{10} 对性别及年龄分层的累积滞后效应如下。按性别分层，PM_{10} 对女性慢性呼吸道疾病门诊量的影响大于男性，在 PM_{10} 中浓度（50th，75th）时风险效应显著，且 lag014 时 RR 值最大，男性 RR 值为 1.50（95% CI：1.10～2.06），女性为 1.61（95% CI：1.09～2.38）。按年龄分层，PM_{10} 对≤65 岁人群，低-中-高浓度均存在风险，而对＞65 岁人群在中浓度时风险值显著。

3 讨 论

2014—2019 年临沂市大气颗粒物浓度呈逐年下降趋势，但年均浓度尚未达到国家环境空气质量二级限值，同时慢性呼吸道疾病门诊量呈逐年增加趋势，人群慢性呼吸道疾病的暴露风险依然较高。刁贝娣[21]对中国 338 个城市 $PM_{2.5}$ 浓度及医疗消费关系的评估认为在我国 $PM_{2.5}$ 浓度总体下降的趋势下，仍有超过 65% 的城市和 75% 的人口暴露于 $PM_{2.5}$ 浓度超过 35 $\mu g/m^3$ 的环境中，由 $PM_{2.5}$ 导致的过早死亡、慢性支气管炎、急性支气管炎、哮喘患者人数仍居高不下。周历媛[22]对山东省慢性呼吸道疾病发病率及死亡率的研究表明，在总呼吸道疾病发病率、死亡率呈现下降的趋势下，慢性呼吸道疾病呈现“先减缓后增加的趋势”，与工业经济发展造成的空气污染密切相关。

$PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 浓度增加均会导致慢性呼吸道疾病、慢性阻塞性肺炎、慢性支气管炎与哮喘疾病 RR 值增加。颗粒物浓度越高，越早产生风险效应，且 $PM_{2.5}$ 风险值高于 PM_{10}，与 $PM_{2.5}$ 含有更多毒性物质有关，$PM_{2.5}$ 空气动力学直径小于 PM_{10}，在空气中悬浮时间较长，可吸附多种重金属，直达肺泡深处，诱发肺泡巨噬细胞损伤、肺细胞 DNA 损伤和肺纤维原细胞增值周期的改变，此外，$PM_{2.5}$ 组分的复杂性也导致其在病理生理学中比 PM_{10} 毒性效应更强[23]。相关研究也表明随 $PM_{2.5}$ 浓度的升高，城市居民呼吸系统疾病发病风险呈上升趋势。如陈晨等[14]对北京市 $PM_{2.5}$ 持续高暴露对居民因病住院的急性影响研究表明在 $PM_{2.5}$＞150 $\mu g/m^3$ 且持续时间≥2 d 的情景下，0～64 岁人群的发病风险显著增加 3.4%。李洪枚等[24]对 2015 年大气污染物与临沂市居民呼吸系统疾病门诊人次暴露-反应关系的研究结果与本研究较一致，污染物浓度的增加导致呼吸系统疾病门诊人次增加。赵雪艳等[25]对临沂市大气污染源的解析表明，烟煤尘、冶炼尘是主要的大气污染源，颗粒物仍然是临沂市冬季环境空气首要污染物。对目前大气颗粒物浓度仍处于较高水平的临沂市来说，颗粒物的管控政策和措施仍需严格执行，以进一步降低人群暴露的疾病风险。

性别分组结果表明 $PM_{2.5}$ 对男性慢性呼吸道疾病风险高于女性，PM_{10} 对女性风险高于男性。吕晨光[26]关于 $PM_{2.5}$ 对慢性阻塞性肺病急性加重影响的研究发现 $PM_{2.5}$ 对男性慢性阻塞性肺病的影响更为明显，与男女生理结构特点、日常生活习惯有关。Wang 等[11]对我国慢阻肺发病率的研究也表明吸烟和空气污染是男性慢阻肺发病率较高的主要危险因素。女性主要采用胸式呼吸，与男性腹式呼吸相比，大颗粒物更容易在肺部沉积[27-28]。年龄分组结果表明，$PM_{2.5}$ 对≤65 岁人群存在风险，而 PM_{10} 对全年龄段人群均存在风险。相比于成人及老人，≤65 岁人群，尤其是儿童呼吸及免疫系统发育不成熟，对 $PM_{2.5}$ 暴露更敏感，在≤65 岁人群统计时，≤14 岁的儿童呼吸道疾病数量及发病率显著高于＞66 岁人群[29]。这项研究结果与以往结果存在差异，洪也等[30]对沈阳市大气污染物对呼吸系统疾病门诊人数的影响研究发现 $PM_{2.5}$ 每增加 10 $\mu g/m^3$，＞66 岁人群门诊量增加 0.66%。一般研究认为颗粒物对老年人呼吸系统疾病风险较高，本研究结果建议≤65 岁人群需加强对慢性呼吸道疾病的关注，重视慢性呼吸道疾病的早期发现和干预。

参考文献

[1] Measuring universal health coverage based on an index of effective coverage of health services in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. Lancet, 2020, 396 (10258): 1250-1284.

[2] 钟南山，曾广翘. 慢性呼吸疾病的防治策略[J]. 中国临床保健杂志，2020，23（1）：1-4.

[3] Pang N, Gao J, Zhu G, *et al*. Impact of clean air action on the $PM_{2.5}$ pollution in Beijing, China: insights gained from two heating seasons measurements [J]. Chemosphere, 2021, 263: 127991.

[4] Hu F, Guo Y. Health impacts of air pollution in China [J].

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Front Environ Sci Eng, 2021, 15 (4): 74.

[5] Alhanti BA, Chang HH, Winquist A, *et al*. Ambient air pollution and emergency department visits for asthma: a multi-city assessment of effect modification by age [J]. J Exposure Sci Environ Epidemiol, 2016, 26 (2): 180-188.

[6] Rodrigues M, Natario I, Martins MDD. Estimate the effects of environmental determining factors on childhood asthma hospital admissions in Lisbon, Portugal: a time series modelling study [J]. Theor Appl Climatol, 2021, 143 (1-2): 809-821.

[7] Mostafijur RM, Kamrun N, Bilkis AB, *et al*. Respiratory emergency department visits associations with exposures to $PM_{2.5}$ mass, constituents, and sources in Dhaka, Bangladesh air pollution [J]. Ann Am Thorac Soc, 2021, 19 (1): 28-38.

[8] Tian Y, Xiang X, Juan J, *et al*. Fine particulate air pollution and hospital visits for asthma in Beijing, China [J]. Environ Pollut, 2017, 230: 227-233.

[9] Xu W, Xu ZW, Hong S, *et al*. Ambient particulate matter (PM_1, $PM_{2.5}$, PM_{10}) and childhood pneumonia: the smaller particle, the greater short-term impact? [J]. Sci Total Environ, 2021, 772: 145509.

[10] **咸平, 闫梦璠, 李耀妍, 等**. PM_{10}**长期暴露与中国北方城市居民慢性支气管炎发病风险的回顾性队列研究**[J]. **环境与职业医学**, 2020, 37 (2): 95-102.

[11] Wang C, Xu J, Yang L, *et al*. Prevalence and risk factors of chronic obstructive pulmonary disease in China [the China Pulmonary Health (CPH) study]: a national cross-sectional study [J]. Lancet, 2018, 391 (10131): 1706-1717.

[12] Huang HC, Lin FC, Wu MF, *et al*. Association between chronic obstructive pulmonary disease and $PM_{2.5}$ in Taiwanese nonsmokers [J]. Int J Hyg Environ Health, 2019, 222 (5): 884-888.

[13] **步犁, 范淑君, 蒋琴琴, 等**. 2018 **年广州市空气污染物对居民日急救人数影响的短期效应**[J]. **职业与健康**, 2021, 37 (3): 379-382, 387.

[14] **陈晨, 仲宇, 刘园园, 等**. 2013—2018 **年北京市大气** $PM_{2.5}$ **持续高暴露对居民因病入院的急性影响**[J]. **环境科学研究**, 2021, 34 (1): 213-219.

[15] **赵琦, 李珊珊, 郭玉明. 随时间变化的分布滞后非线性模型应用介绍: 以气温与死亡关系为例**[J]. **环境与职业医学**, 2020, 37 (1): 9-14.

[16] **刘卫艳, 程庆林, 张磊, 等. 杭州市大气污染物对儿童呼吸系统疾病影响研究**[J]. **中国预防医学杂志**, 2017, 18 (1): 6-10.

[17] Hao J, Yang Z, Yang W, *et al*. Impact of ambient temperature and relative humidity on the incidence of hand-foot-mouth disease in Wuhan, China [J]. Int J Environ Res Public Health, 2020, 17 (2): 428.

[18] Chang Q, Liu S, Chen Z, *et al*. Association between air pollutants and outpatient and emergency hospital visits for childhood asthma in Shenyang city of China [J]. Int J Biometeorol, 2020, 64 (9): 1539-1548.

[19] **姜彩霞, 朱冰, 张龙**. 2013—2014 **年杭州市大气** $PM_{2.5}$ **与呼吸系统疾病就诊人次的时间序列研究**[J]. **环境与职业医学**, 2018, 35 (7): 589-595.

[20] **叶润泽. 济南市** $PM_{2.5}$ **暴露与居民相关死亡关系的研究**[D]. **济南: 山东大学**, 2020.

[21] **刁贝娣. 不同城市化水平下** $PM_{2.5}$ **污染健康风险评估及补偿机制研究**[D]. **武汉: 中国地质大学**, 2020.

[22] **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.

[23] **何晓庆, 王小红, 罗进斌. 大气** PM_{10} **与呼吸系统疾病死亡的关系研究**[J]. **预防医学**, 2019, 31 (10): 987-991.

[24] **李洪枚, 伍鹏程, 伯鑫, 等. 临沂市区主要大气污染物的污染特征及其对居民健康的影响**[J]. **环境科学学报**, 2020, 40 (8): 2919-2934.

[25] **赵雪艳, 杨文, 王静, 等. 典型物流城市 2016 年冬季 2 次污染过程** $PM_{2.5}$ **污染特征及来源解析**[J]. **环境科学**, 2019, 40 (3): 1052-1061.

[26] **吕晨光. 济南大气污染物与呼吸及心脑血管疾病患者入院风险的时间序列研究**[D]. **济南: 山东大学**, 2018.

[27] **王子豪, 沈卓之, 吴芸芸, 等. 重庆市主城区域 2014-2018 年大气污染物** $PM_{2.5}$ **对居民呼吸系统疾病死亡影响的时间序列研究**[J]. **重庆医学**, 2020, 49 (22): 3688-3692.

[28] She W, Jia S, Hua Y, *et al*. The effect of nitrogen dioxide and atmospheric pressure on hospitalization risk for chronic obstructive pulmonary disease in Guangzhou, China [J]. Respir Med, 2021, 182: 106424.

[29] **刘金悦. 济南市大气污染与儿童呼吸系统疾病住院量的相关性分析**[D]. **济南: 济南大学**, 2019.

[30] **洪也, 张莹, 马雁军, 等. 沈阳大气污染物与气象因素对呼吸疾病门诊数的影响**[J]. **中国环境科学**, 2020, 40 (9): 4077-4090.

收稿日期:2022-01-02 **修回日期**:2022-03-20 **本文编辑**:徐晶

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net