

上海市空气污染物与儿童呼吸系统疾病门诊量的时间序列研究

胡翠玲^{1a}, 徐婕^{1a}, 沈国妹^{1b}, 史雨^{1c}, 柳龚堡^{1c}, 葛小玲^{1d}, 安东², 翟晓文^{1a}

1. 复旦大学附属儿科医院 a. 医联体办公室 b. 门急诊管理办公室 c. 医务部 d. 统计和数据管理中心, 上海 201102

2. 复旦大学环境科学与工程系, 上海市大气颗粒物污染防治重点实验室, 上海 200433

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.20136

摘要：

[背景] 空气污染物对呼吸系统健康存在短期影响，而儿童对空气污染物更为敏感。

[目的] 探讨上海市6种常规监测污染物[粗颗粒物(PM₁₀)、细颗粒物(PM_{2.5})、臭氧(O₃)、一氧化碳(CO)、二氧化硫(SO₂)和二氧化氮(NO₂)]与医院儿童呼吸系统疾病门诊量之间的关系。

[方法] 收集2014年1月1日—2016年5月31日复旦大学附属儿科医院呼吸系统疾病门诊量、上海市空气污染物浓度资料和气象资料。采用基于Poisson回归的广义相加模型，在控制门诊量的长期趋势、星期几效应、节假日效应和气象因素等混杂因素的影响下，定量分析6种空气污染物浓度与儿童呼吸系统疾病门诊量之间的关系，并比较污染物对不同性别儿童的影响。

[结果] 研究期间，PM₁₀、PM_{2.5}、O₃、CO、SO₂、NO₂的日均质量浓度(以下简称为浓度)分别为70.5、53.2、101.8、812.7、17.2、46.2 μg·m⁻³，PM₁₀、PM_{2.5}、O₃、NO₂超标率分别为4.20%、20.09%、11.58%、7.04%，SO₂、CO未有超标情况。单污染模型结果显示，PM₁₀、PM_{2.5}、O₃和SO₂浓度每增加10 μg·m⁻³，儿童呼吸系统疾病门诊量的RR值分别为1.002 2(lag4, 95%CI: 1.001 7~1.002 6)、1.001 9(lag4, 95%CI: 1.001 4~1.002 4)、1.001 9(lag2, 95%CI: 1.001 4~1.002 5)和1.005 2(lag4, 95%CI: 1.003 2~1.007 2)。NO₂每增加10 μg·m⁻³，男童门诊量增加0.12%(lag4, RR=1.001 2, 95%CI: 1.000 1~1.002 4)。女童对O₃的暴露(lag2, RR=1.002 7, 95%CI: 1.001 9~1.003 5)较男童(lag2, RR=1.001 8, 95%CI: 1.001 1~1.002 5)更敏感。CO对男童呼吸系统疾病门诊量的影响在lag1、lag2有统计学意义(P<0.05)；对女童在lag1、lag2和lag3有统计学意义(P<0.05)。SO₂对男童呼吸系统疾病门诊量的影响在lag2、lag3和lag4有统计学意义(P<0.05)；对女童仅在lag4有统计学意义(P<0.05)。双污染模型结果显示，将其他五种污染物引入双污染物模型后，O₃的RR值均无明显变化；将PM_{2.5}、PM₁₀引入双污染模型后，除O₃外，其余污染物的效应值都产生较大变化。

[结论] 上海市SO₂、O₃、PM₁₀和PM_{2.5}浓度上升可能导致儿童呼吸系统疾病门诊量增加，且有一定滞后效应。NO₂、O₃、CO和SO₂对男女童呼吸系统疾病门诊量的影响有差异。污染物对儿童呼吸系统健康的影响不是简单的效果叠加，污染物之间可能存在复杂的交互作用。

关键词：空气污染物；儿童呼吸系统疾病；门诊量；广义相加模型；时间序列

Associations between air pollutants and daily hospital visits in children for respiratory disorders in Shanghai: A time-series study HU Cuiling^{1a}, XU Jie^{1a}, SHEN Guomei^{1b}, SHI Yu^{1c}, LIU Gongbao^{1c}, GE Xiaoling^{1d}, AN Dong², ZHAI Xiaowen^{1a} (1.a.Fudan Pediatric Medical Alliance b.Outpatient and Emergency Management Office c.Medical Department d.Statistics and Data Management Center, Children's Hospital of Fudan University, Shanghai 201102, China; 2.Shanghai Key Laboratory of Atmospheric Particle Pollution and Prevention, Department of Environmental Science & Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract:

[Background] Air pollutants have a short-term impact on respiratory health and children are more sensitive to air pollutants.

[Objective] This study investigates the associations between six routine monitoring pollutants [coarse particulate matters (PM₁₀), fine particulate matters (PM_{2.5}), ozone (O₃), carbon dioxide

基金项目

上海市大气颗粒物污染防治重点实验室开放课题(FDLAP17006)

作者简介

并列第一作者。

胡翠玲(1994—)，女，硕士生；

E-mail: hcl2626@126.com

徐婕(1990—)，女，硕士，助理研究员；

E-mail: ekxujie@163.com

通信作者

翟晓文, E-mail: zhaixiaowendy@163.com

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2020-03-28

录用日期 2020-10-26

文章编号 2095-9982(2021)01-0023-07

中图分类号 R122.2

文献标志码 A

►引用

胡翠玲, 徐婕, 沈国妹, 等. 上海市空气污染物与儿童呼吸系统疾病门诊量的时间序列研究[J]. 环境与职业医学, 2021, 38(1): 23-29.

►本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20136

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHAI Xiaowen, E-mail: zhaixiaowendy@163.com

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2020-03-28

Accepted 2020-10-26

►To cite

HU Cuiling, XU Jie, SHEN Guomei, et al. Associations between air pollutants and daily hospital visits in children for respiratory disorders in Shanghai: A time-series study[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(1): 23-29.

►Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20136

(CO), sulfur dioxide (SO₂), and nitrogen dioxide (NO₂) and daily hospital visits for childhood respiratory disorders in Shanghai.

[Methods] We collected outpatient visits for childhood respiratory disorders from Children's Hospital of Fudan University, and air pollutant concentration data and meteorological data of Shanghai from January 1, 2014 to May 31, 2016. We used generalized additive model with Poisson regression to quantify the associations between six air pollutants and daily hospital visits for respiratory disorders after adjusting for secular trend, day-of-the-week effect, holiday effect, and meteorological variables. The effects of pollutants on children of different genders were compared as well.

[Results] During the study period, the daily average concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, CO, SO₂, and NO₂ were 70.5, 53.2, 101.8, 812.7, 17.2, and 46.2 µg·m⁻³, respectively; the unqualified rates of PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, NO₂ were 4.20%, 20.09%, 11.58%, and 7.04%, respectively, and SO₂ and CO did not exceed the national limits. The single-pollutant model results showed that with every 10 µg·m⁻³ increase of PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, and SO₂, the RRs of children's respiratory outpatient visits were 1.002 2 (lag4, 95% CI: 1.001 7-1.002 6), 1.001 9 (lag4, 95% CI: 1.001 4-1.002 4), 1.001 9 (lag2, 95% CI: 1.001 4-1.002 5), and 1.005 2 (lag4, 95% CI: 1.003 2-1.007 2), respectively. With every 10 µg·m⁻³ increase of NO₂, the outpatient visits of boys increased by 0.12% (lag2, RR=1.001 2, 95% CI: 1.000 1-1.002 4). Girls (lag4, RR=1.002 7, 95% CI: 1.001 9-1.003 5) were found slightly more sensitive to O₃ exposure than boys (lag2, RR=1.001 8, 95% CI: 1.001 1-1.002 5) in outpatient visits. The effect of CO on boys was statistically significant at lag1 and lag2 (*P*<0.05), while that of girls was statistically significant at lag1, lag2, and lag3 (*P*<0.05). The effect of SO₂ on boys was statistically significant at lag2, lag3, and lag4 (*P*<0.05), but only at lag4 for girls (*P*<0.05). The results of double-pollutant model showed that the RR of O₃ did not change significantly after the other five pollutants were introduced into the model; when PM_{2.5} and PM₁₀ were introduced into the model, the effects of all pollutants except O₃ changed greatly.

[Conclusion] The increase of SO₂, O₃, PM₁₀, and PM_{2.5} concentrations in Shanghai may lead to the increase of daily hospital visits for childhood respiratory disorders with lag effects. NO₂, O₃, CO, and SO₂ have different effects on boys and girls. Air pollutants may have complex effects on children's respiratory health due to their possible interactions.

Keywords: air pollutant; childhood respiratory disorder; hospital visit; generalized additive model; time-series

大气污染已成为全球人类健康的主要危害因素之一,长期暴露于空气污染物会导致呼吸系统受损(通常是慢性、不可逆,在暴露几年后发生)^[1-2]。大量流行病学研究证实,空气污染物浓度对呼吸系统疾病的门诊量、住院量和死亡率存在短期影响(通常是急性、可逆,与每日接触的污染物浓度变化有关,并在暴露几天之内发生)^[3-5]。根据中国环境监测总站(<http://www.cnemc.cn>)发布的74城市空气质量状况报告,在2014年1月—2016年5月期间,上海有22个月的排名在前50%,粗颗粒物(coarse particulate matters, PM₁₀)、细颗粒物(fine particulate matters, PM_{2.5})、臭氧(ozone, O₃)、一氧化碳(carbon monoxide, CO)、二氧化硫(sulfur dioxide, SO₂)和二氧化氮(nitrogen dioxide, NO₂)的日均浓度均未超过GB 3095—2012《环境空气质量标准》。但是低浓度污染仍可能对健康产生影响。伊朗一项研究表明,在空气质量指数(air quality index, AQI)达到危险水平之前,空气污染物就可能对儿童哮喘产生危害^[6]。加拿大多伦多的一项研究发现,较低水平的气态污染物(CO、SO₂和NO₂)与儿童哮喘住院人数之间存在正相关关系,并且某些污染物对男童和女童的影响不同^[7]。儿童由于免疫系统和肺部器官发育不成熟,鼻腔过滤颗粒物的效率较低,因而更容易受到空气污染的损害^[8]。因此,本研究采用国际上广泛应用的广义相加模型(generalized additive model, GAM),定量分析2014年1月—2016

年5月上海市6种常规监测物与儿童呼吸系统疾病门诊量之间的关系,并探讨污染物对不同性别儿童影响的差异。

1 对象与方法

1.1 资料来源

1.1.1 儿童呼吸系统疾病门诊资料 儿童呼吸系统疾病门诊资料来源于复旦大学附属儿科医院。该医院是一家三级甲等综合性儿童专科医院,是上海市最大的儿童专科医院之一。医院位于上海市闵行区,另有门诊部位于上海市徐汇区,医疗服务辐射全上海。因此该院门诊数据对于上海市儿童因呼吸系统疾病就诊的门急诊人次具有较好代表性。本研究根据国际疾病分类第十次修订版(International Classification of Disease 10, ICD10),于该院2014年1月1日—2016年5月31日逐日门诊记录中筛选出14岁以下儿童呼吸系统疾病(ICD10: J00~J98)记录,由外部物质引起的呼吸系统疾病(ICD10: J60~J70)记录已被排除。

1.1.2 空气污染物浓度资料 空气污染物浓度资料来源于上海市生态环境局(<https://sthj.sh.gov.cn/>)2014年1月1日—2016年5月31日公布的空气质量数据,数据为全市9个监测站点数据的算数平均值。收集PM₁₀、PM_{2.5}、CO、SO₂、NO₂的日均浓度和O₃的8h最大浓度。

1.1.3 气象资料 气象因素监测资料来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)地面气象资料中的中国

地面国际交换站气候资料日值数据,收集了上海市2014年1月1日—2016年5月31日的常规气象资料,包括日平均气温和日平均相对湿度。

1.2 统计学分析

相对于总人口而言,到医院就诊的呼吸系统疾病患者实际分布近似于Poisson分布^[9]。本研究利用R3.4.2软件,采用基于Poisson回归的GAM进行时间序列分析,在控制门诊量的长期趋势、星期几效应、节假日效应和气象因素等混杂因素的影响下,定量研究空气污染对儿童呼吸系统疾病门诊量的影响及滞后效应。具体公式如下:

$\ln[E(Y_t)] = \beta Z_t + s(X_t, df) + s(t, df) + v_{dow} + v_{holiday} + \alpha$ 式中,
 Y_t : t 日门诊量; $E(Y_t)$: t 日预期门诊量; β : 回归模型系数; Z_t : t 日空气污染物浓度,包括PM₁₀、PM_{2.5}、O₃、CO、SO₂和NO₂; s : 非参数自然样条平滑函数; X_t : t 日气象因素,包括日平均气温和日平均相对湿度; t : 时间变量; df : 自由度; v_{dow} : 反映星期几的哑元变量; $v_{holiday}$: 节假日变量; α : 截距。

采用自然样条平滑函数控制气象因素(日平均气温和日平均相对湿度)、星期几效应、节假日效应和长期趋势的影响,建立GAM模型,计算污染物浓度对儿童呼吸系统疾病门诊量的净效应。首先建立仅包含混杂因素的基础模型,根据偏自相关函数系数绝对值最小的原则确定长期趋势的自由度(10·年⁻¹),并确定日平均温度的自由度为6和日平均相对湿度的自由度为3^[10-11]。然后将滞后0~5 d (lag0~lag5) 的空气污染物和气象因素分别引入模型,建立单因素污染模型,根据拟合结果的回归系数计算出效应指标相对危险度(relative risk, RR)和95%置信区间(95% confidence interval, 95% CI)。最后根据单污染模型中各污染物对儿童呼吸系统疾病门诊量有统计学意义的危害效应最大值(或保护效应最小值)所对应的滞后日,将其他相应滞后日的污染物分别逐个引入模型,进行双污染模型拟合。使用按性别分层的数据重复上述统计,比较空气污染物对男童和女童影响的差异。

2 结果

2.1 描述性分析

2014年1月1日—2016年5月31日复旦大学附属儿科医院儿童呼吸系统疾病门诊量、空气污染物质量浓度(以下简称为浓度)及气象因素分布情况见表1。研究期间,复旦大学附属儿科医院儿童呼吸系统疾病总

门诊量为1610403人次,日均门诊量为(1827.9±534.8)人次;其中男童972288人次,日均(1103.6±318.1)人次,女童681015人次,日均(773.0±242.3)人次。同期空气污染物PM₁₀、PM_{2.5}、O₃、CO、SO₂、NO₂的日均浓度分别为70.5、53.2、101.8、812.7、17.2、46.2 μg·m⁻³,均未超过国家GB 3095—2012《环境空气质量标准》二类标准。PM₁₀、PM_{2.5}、O₃、NO₂分别超标37、177、102、62 d,超标率分别为4.20%、20.09%、11.58%、7.04%;SO₂、CO未有超标情况。同期上海市日平均气温、日平均相对湿度分别为16.2℃和73.0%,最小值分别为-6.1℃和35.0%,最大值分别为33.3℃和98.0%。

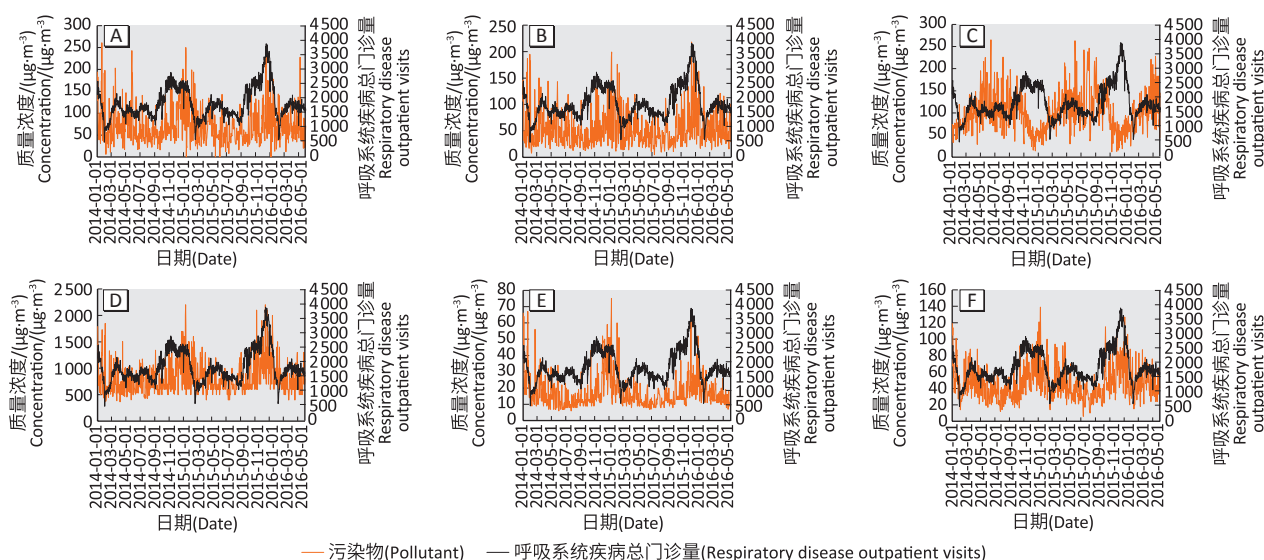
表1 2014年1月1日—2016年5月31日上海市复旦大学附属儿科医院儿童呼吸系统疾病日均门诊量、空气污染物浓度及气象因素

Table 1 Descriptive statistics on daily mean outpatient visits for respiratory disease in Children's Hospital of Fudan University, air pollutant levels, and meteorological variables in Shanghai from January 1, 2014 to May 31, 2016

指标 (Index)	$\bar{x}$	SD	Min	P ₂₅	P ₅₀	P ₇₅	Max
呼吸系统疾病门诊量 Respiratory disease outpatient visits							
总计 (Total)	1827.9	534.8	509.0	1485.0	1691.0	2166.0	3875.0
男童 (Boys)	1103.6	318.1	296.0	897.0	1028.0	1286.0	2231.0
女童 (Girls)	773.0	242.3	215.0	612.0	714.0	916.0	1739.0
空气污染物质量浓度 / (μg·m ⁻³) Air pollutant concentration / (μg·m ⁻³)							
PM ₁₀	70.5	39.3	6.0	43.0	60.0	89.0	261.0
PM _{2.5}	53.2	32.7	5.0	30.0	45.0	68.0	218.0
O ₃	101.8	43.1	12.0	71.5	96.0	126.5	265.0
CO	812.7	293.6	364.0	600.0	714.0	951.0	2200.0
SO ₂	17.2	9.6	6.0	11.0	14.0	20.0	75.0
NO ₂	46.2	20.1	6.0	31.0	43.0	56.5	139.0
气象因素 Meteorological factor							
日平均气温/℃ Daily mean air temperature/℃	16.2	8.2	-6.1	8.5	16.8	22.9	33.3
日平均相对湿度/% Daily mean relative humidity/%	73.0	112.8	35.0	64.0	75.0	83.0	98.0

2.2 空气污染物浓度与儿童呼吸系统疾病总门诊量的关系

研究期间空气污染物浓度与儿童呼吸系统疾病总门诊量的变化趋势见图1。PM₁₀、PM_{2.5}、CO、SO₂、NO₂与呼吸系统疾病总门诊量之间都存在共变趋势,污染物浓度高峰和儿童呼吸系统疾病门诊量的高峰基本重合;O₃与呼吸系统疾病总门诊量之间也存在一定的共变趋势,但两者在冬季的变化趋势相差较大。



[注 (Note)] A: PM₁₀; B: PM_{2.5}; C: O₃; D: CO; E: SO₂; F: NO₂。

图1 2014年1月1日—2016年5月31日上海市空气污染物浓度与儿童呼吸系统疾病总门诊量的变化趋势

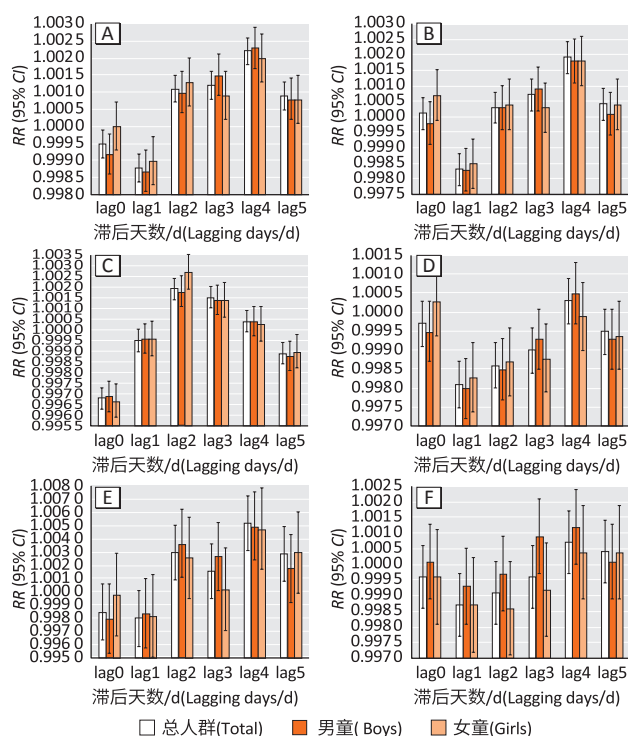
Figure 1 Variation trends of air pollutant concentrations and children's respiratory disease outpatient visits in Shanghai from January 1, 2014 to May 31, 2016

2.3 单污染物模型结果

基于 Poisson 回归分析的 GAM 单污染物模型结果见图2 (数据见补充材料 www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.20136)。对儿童呼吸疾病系统总门诊量而言, PM₁₀ 的影响在 lag0~lag5 有统计学意义 ($P<0.05$), PM_{2.5} 在 lag1、lag3、lag4 有统计学意义 ($P<0.05$), O₃ 在 lag0、lag2、lag3、lag5 有统计学意义 ($P<0.05$), CO 在 lag1~lag3 有统计学意义 ($P<0.05$), SO₂ 在 lag2、lag4、lag5 有统计学意义 ($P<0.05$), NO₂ 仅在 lag1 有统计学意义 ($P<0.05$)。PM₁₀、PM_{2.5}、O₃、CO、SO₂、NO₂ 的滞后效应分别在 lag4、lag4、lag2、lag3、lag4 和 lag1 最为明显, 污染物浓度每增加 10 µg·m⁻³ (CO 每增加 100 µg·m⁻³), 其对应的 RR (95% CI) 分别为 1.002 2 (1.001 7~1.002 6)、1.001 9 (1.001 4~1.002 4)、1.001 9 (1.001 4~1.002 5)、0.998 1 (0.997 5~0.998 7)、1.005 2 (1.003 2~1.007 2) 和 0.999 0 (0.998 4~0.999 6)。

按性别分组来看, O₃、CO、SO₂ 和 NO₂ 对不同性别的儿童有不同的滞后效应。lag2 时, 女童对 O₃ 的暴露 ($RR=1.002 7$, 95% CI: 1.001 9~1.003 5) 较男童 ($RR=1.001 8$, 95% CI: 1.001 1~1.002 5) 更敏感。CO 对男童呼吸系统疾病门诊量的影响在 lag1、lag2 有统计学意义 ($P<0.05$); CO 对女童呼吸系统疾病门诊量的影响在 lag1、lag2 和 lag3 有统计学意义 ($P<0.05$)。SO₂ 对男童呼吸系统疾病门诊量的影响在 lag2、lag3 和 lag4 有统计学意义 ($P<0.05$); SO₂ 对女童呼吸系统疾病门诊量的影响仅在 lag4 有统计学意义 ($P<0.05$)。此

外, NO₂ 对男童呼吸系统疾病门诊量的影响在 lag4 最强 ($RR=1.001 2$, 95% CI: 1.000 1~1.002 4), 对女童的影响皆不具有统计学意义。



[注] A: PM₁₀; B: PM_{2.5}; C: O₃; D: CO; E: SO₂; F: NO₂。CO 每增加 100 µg·m⁻³, 其他空气污染物每增加 10 µg·m⁻³。

[Note] A: PM₁₀; B: PM_{2.5}; C: O₃; D: CO; E: SO₂; F: NO₂. For each 100 µg·m⁻³ increase of CO and 10 µg·m⁻³ increase of other air pollutants.

图2 2014年1月1日—2016年5月31日上海市空气污染物引起儿童呼吸系统疾病门诊量的变化

Figure 2 Changes of children's respiratory disease outpatient visits associated specific air pollutants in Shanghai from January 1, 2014 to May 31, 2016

2.4 双污染模型结果

由于PM₁₀与PM_{2.5}为包含关系,因此对PM₁₀拟合双污染模型时,不引入PM_{2.5};对PM_{2.5}拟合双污染模型时,引入的PM₁₀实际值为PM₁₀-PM_{2.5}的浓度值。由表2可见,与单污染物模型相比,对PM₁₀而言,当将CO、SO₂和NO₂引入模型中后,PM₁₀的效应值升高($P<0.05$)。对PM_{2.5}而言,引入PM₁₀(实际值为PM₁₀-PM_{2.5}的浓度值)后,PM_{2.5}的效应值降低($P<0.05$);引入CO和NO₂后,PM_{2.5}的效应值升高($P<0.05$),尤其是引入CO后效应值升高明显。对O₃而言,在模型中引入其

他调整因子后,O₃的效应没有明显变化($P<0.05$)。对CO而言,引入PM₁₀和PM_{2.5}之后效应值变动较大($P<0.05$)。对SO₂而言,引入PM₁₀后,SO₂与门诊量的关系由正相关转为负相关($P<0.05$);引入PM_{2.5}后,SO₂与门诊量的关联消失;引入CO和NO₂后,SO₂的效应值升高($P<0.05$)。对NO₂而言,引入PM_{2.5}和CO后,NO₂与总门诊量的关系由负相关转为正相关($P<0.05$);引入PM₁₀和PM_{2.5}后,NO₂与男童门诊量的关系由正相关转为负相关($P<0.05$);引入PM₁₀、PM_{2.5}、O₃和SO₂后,NO₂与女童门诊量的关系具有统计学意义($P<0.05$)。

表2 空气污染物引起儿童呼吸系统疾病门诊量的变化 [RR (95% CI)]

Table 2 Changes of children's respiratory disease outpatient visits associated with air pollutants [RR (95% CI)]

人群 Crowd	最佳 滞后日 Optimal lag	污染物 Pollutant	单污染物模型 Single pollutant model	调整因素 Adjustment factors					
				PM ₁₀	PM _{2.5}	O ₃	CO	SO ₂	NO ₂
总计 Total	lag4	PM ₁₀	1.0022 (1.0017~1.0026) *	—	—	1.0023 (1.0018~1.0027) *	1.0048 (1.0041~1.0055) *	1.0035 (1.0028~1.0042) *	1.0033 (1.0027~1.0039) *
	lag4	PM _{2.5}	1.0019 (1.0014~1.0024) *	1.0011 (1.0006~1.0017) *	—	1.0019 (1.0014~1.0024) *	1.0073 (1.0062~1.0084) *	1.0020 (1.0012~1.0028) *	1.0029 (1.0022~1.0036) *
	lag2	O ₃	1.0019 (1.0014~1.0025) *	1.0017 (1.0011~1.0023) *	1.0020 (1.0015~1.0025) *	—	1.0020 (1.0015~1.0025) *	1.0019 (1.0013~1.0024) *	1.0020 (1.0015~1.0025) *
	lag3	CO	0.9990 (0.9984~0.9996) *	0.9947 (0.9937~0.9956) *	0.9929 (0.9916~0.9941) *	0.9989 (0.9983~0.9995) *	—	0.9974 (0.9966~0.9983) *	0.9979 (0.9970~0.9988) *
	lag4	SO ₂	1.0052 (1.0032~1.0072) *	0.9925 (0.9891~0.9958) *	0.9994 (0.9964~1.0025) *	1.0051 (1.0030~1.0071) *	1.0091 (1.0062~1.0112) *	—	1.0072 (1.0046~1.0098) *
	lag1	NO ₂	0.9987 (0.9977~0.9997) *	1.0009 (0.9996~1.0022) *	1.0014 (1.0001~1.0028) *	0.9987 (0.9977~0.9997) *	1.0024 (1.0009~1.0038) *	0.9987 (0.9974~1.0001) *	—
男童 Boys	lag4	PM ₁₀	1.0023 (1.0017~1.0028) *	—	—	1.0024 (1.0018~1.0030) *	1.0048 (1.0039~1.0056) *	1.0038 (1.0029~1.0048) *	1.0032 (1.0025~1.0039) *
	lag4	PM _{2.5}	1.0018 (1.0011~1.0025) *	1.0010 (1.0002~1.0017) *	—	1.0018 (1.0011~1.0025) *	1.0064 (1.0050~1.0078) *	1.0019 (1.0009~1.0029) *	1.0024 (1.0015~1.0033) *
	lag2	O ₃	1.0018 (1.0011~1.0025) *	1.0016 (1.0009~1.0023) *	1.0018 (1.0012~1.0025) *	—	1.0019 (1.0012~1.0025) *	1.0017 (1.0010~1.0024) *	1.0018 (1.0012~1.0025) *
	lag2	CO	0.9985 (0.9978~0.9993) *	0.9940 (0.9928~0.9952) *	0.9922 (0.9906~0.9939) *	0.9984 (0.9976~0.9992) *	—	0.9956 (0.9945~0.9967) *	0.9970 (0.9958~0.9982) *
	lag4	SO ₂	1.0050 (1.0025~1.0076) *	0.9910 (0.9868~0.9953) *	0.9996 (0.9957~1.0035) *	1.0049 (1.0023~1.0076) *	1.0079 (1.0043~1.0116) *	—	1.0058 (1.0024~1.0092) *
	lag4	NO ₂	1.0012 (1.0001~1.0024) *	0.9968 (0.9952~0.9984) *	0.9983 (0.9967~0.9999) *	1.0012 (1.0000~1.0024) *	1.0015 (0.9997~1.0033) *	0.9995 (0.9979~1.0010) *	—
女童 Girls	lag4	PM ₁₀	1.0020 (1.0013~1.0026) *	—	—	1.0021 (1.0014~1.0028) *	1.0048 (1.0038~1.0059) *	1.0032 (1.0020~1.0043) *	1.0032 (1.0023~1.0040) *
	lag4	PM _{2.5}	1.0018 (1.0010~1.0026) *	1.0011 (1.0002~1.0020) *	—	1.0019 (1.0010~1.0027) *	1.0083 (1.0067~1.0100) *	1.0020 (1.0008~1.0032) *	1.0030 (1.0020~1.0041) *
	lag2	O ₃	1.0027 (1.0019~1.0035) *	1.0024 (1.0016~1.0033) *	1.0027 (1.0019~1.0036) *	—	1.0027 (1.0019~1.0035) *	1.0026 (1.0018~1.0035) *	1.0027 (1.0019~1.0035) *
	lag3	CO	0.9988 (0.9978~0.9997) *	0.9947 (0.9933~0.9962) *	0.9932 (0.9913~0.9951) *	0.9987 (0.9978~0.9996) *	—	0.9975 (0.9962~0.9988) *	0.9981 (0.9967~0.9995) *
	lag4	SO ₂	1.0048 (1.0017~1.0078) *	0.9932 (0.9881~0.9983) *	0.9989 (0.9943~1.0035) *	1.0047 (1.0016~1.0078) *	1.0100 (1.0057~1.0143) *	—	1.0074 (1.0034~1.0114) *
	lag2	NO ₂	0.9986 (0.9971~1.0001) *	0.9944 (0.9925~0.9963) *	0.9965 (0.9945~0.9985) *	0.9983 (0.9969~0.9998) *	1.0004 (0.9982~1.0026) *	0.9961 (0.9941~0.9980) *	—

[注] CO 每增加 100 μg·m⁻³, 其他空气污染物每增加 10 μg·m⁻³。PM_{2.5} 引入的 PM₁₀ 实际值为 PM₁₀-PM_{2.5}。* : $P<0.05$ 。

[Note] For each 100 μg·m⁻³ increase of CO and 10 μg·m⁻³ increase of other air pollutants. The actual value of PM₁₀ introduced into PM_{2.5} is PM₁₀-PM_{2.5}.*: $P<0.05$.

3 讨论

国内外大量相关研究发现,PM_{2.5}、PM₁₀和SO₂等空气污染物对儿童呼吸系统健康存在短期效应^[6, 9, 12]。各研究结果呈现的效应值略有不同,这可能与地区污染状况、人群易感性、资料来源、统计方法的差异有关。本研究采用广义相加 Poisson 回归模型的时间序列分析,在控制时间长期趋势、星期几效应、节假日效应和气象因素的影响下,定量分析了上海市空气污染物与儿童呼吸系统疾病门诊量之间的关系。

本研究结果显示,SO₂、O₃、PM₁₀和PM_{2.5}的浓度升高可能引起儿童呼吸系统疾病门诊量增加,并存在

滞后效应,除O₃在滞后2d时效应值最大,其余三者皆在滞后4d时效应值达到最大。既往研究得出,郑州市PM₁₀、PM_{2.5}以及SO₂对呼吸系统疾病门诊量的最强效应均在滞后0d,即当日^[13];盐城市SO₂的最强效应在滞后3d、O₃的最强效应在滞后5d^[14],可见各地污染物的最佳滞后日是有所差别的。考虑原因可能与各地污染物化学成分与浓度不同、人群易感性不同等因素有关^[15]。

SO₂对儿童呼吸系统疾病门诊量的短期效应最大,SO₂浓度每增加10 μg·m⁻³,儿童呼吸系统疾病总门诊量增加0.52%,与既往研究结果类似。上海市崇明

岛的一项时间序列研究发现, SO_2 浓度每升高 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 呼吸系统疾病门诊量增加 1.61%, 比其他污染物的短期效应都大^[16]。 SO_2 具有化学刺激性, 能够加重过敏性炎症, 导致儿童呼吸道对其极为敏感^[17]。因此, 尽管研究期间上海 SO_2 并没有超过 GB 3095—2012《环境空气质量标准》所规定的浓度标准, 但是仍对儿童呼吸系统健康有较强的负面影响。

PM_{10} ($RR=1.0022$) 对儿童呼吸系统疾病门诊量的短期影响略强于 $\text{PM}_{2.5}$ ($RR=1.0019$)。这与杭州的一项研究结果类似: PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度每增加 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 对儿童呼吸系统疾病门诊量的 RR 值分别为 1.0479 和 1.0241^[18]。武汉的一项研究也表明, 考虑累积滞后效应, PM_{10} (浓度每上升一个四分位数间距, 儿童呼吸系统疾病总门诊量上升的超额危险度为 3.48%, 大于 $\text{PM}_{2.5}$ 导致的超额危险度 (1.78%)^[9]。这些结果都证实了颗粒物对呼吸系统健康的危害。

空气污染物对男童和女童呼吸系统疾病门诊量的影响存在差异。 NO_2 浓度每增加 $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, lag4 时男童门诊量增加 0.12%, 而女童门诊量变化无统计学意义。lag2 时女童对 O_3 暴露比男童更敏感。此外, SO_2 与 CO 对男女童呼吸系统疾病门诊量影响的滞后日期也有所不同。这可能与男女童免疫和炎症反应的差异^[12] 以及激素差异^[8] 有关。

与单污染物模型相比, 将其他五种污染物引入双污染物模型后, O_3 的 RR 值均无明显变化, 与 Jiang 等^[19] 研究结果一致。这表明 O_3 可能对儿童呼吸系统健康存在独立的短期效应。将 PM_{10} 引入双污染模型后, 除 O_3 外, 其余污染物的效应值都有所降低甚至关联消失。考虑原因可能是人群长期暴露于较高浓度的 PM_{10} 中, 可能产生耐受, 因此当引入 PM_{10} 后其他污染物的效应下降^[15]。当将 CO 和 NO_2 引入双污染模型中后, PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 和 SO_2 的效应扩大。既往研究也表明, 颗粒物与气态空气污染物具有较强的相关性^[20-21]。双污染物模型结果表明, 污染物对健康的影响不是简单的效果叠加, 6 种污染物之间可能存在复杂的拮抗作用或协同作用。污染物之间的强共线性将增加多污染物模型拟合结果的标准差, 这也是本研究未使用多污染物模型结果的原因。

综上所述, 空气污染物对儿童呼吸系统健康存在短期效应, PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 O_3 和 SO_2 浓度升高将导致儿童呼吸系统疾病门诊量增加; NO_2 和 O_3 的浓度变化对男童和女童呼吸系统健康的影响存在差异; 污染

物之间可能存在复杂的拮抗或协同作用。

参考文献

- [1] HYSTAD P, DEMERS PA, JOHNSON KC, et al. Long-term residential exposure to air pollution and lung cancer risk [J]. *Epidemiology*, 2013, 24 (5) : 762-772.
- [2] ZANOBETTI A, BIND MA, SCHWARTZ J. Particulate air pollution and survival in a COPD cohort [J]. *Environ Health*, 2008, 7 : 48.
- [3] PHUNG D, HIEN TT, LINH HN, et al. Air pollution and risk of respiratory and cardiovascular hospitalizations in the most populous city in Vietnam [J]. *Sci Total Environ*, 2016, 557-558 : 322-330.
- [4] CRUZ AM, SARMENTO S, ALMEIDA SM, et al. Association between atmospheric pollutants and hospital admissions in Lisbon [J]. *Environ Sci Pollut Res*, 2015, 22 (7) : 5500-5510.
- [5] LIU Y, LIU J, CHEN F, et al. Coal mine air pollution and number of children hospitalizations because of respiratory tract infection : a time series analysis [J]. *J Environ Public Health*, 2015, 2015 : 649706.
- [6] ALIZADEH M, HASHTROODI LG, CHAVOSHADEH Z, et al. Effect of air pollution in frequency of hospitalizations in asthmatic children [J]. *Acta Med Iran*, 2016, 54 (8) : 542-546.
- [7] LIN M, CHEN Y, BURNETT RT, et al. Effect of short-term exposure to gaseous pollution on asthma hospitalisation in children : a bi-directional case-crossover analysis [J]. *J Epidemiol Community Health*, 2003, 57 (1) : 50-55.
- [8] CHEN C, LI C, LI Y, et al. Short-term effects of ambient air pollution exposure on lung function : a longitudinal study among healthy primary school children in China [J]. *Sci Total Environ*, 2018, 645 : 1014-1020.
- [9] 刘准, 陈丹, 霍细香, 等. 武汉市大气污染物水平与儿童呼吸道疾病门诊量的滞后效应分析 [J]. *环境与职业医学*, 2018, 35 (2) : 124-130.
LIU Z, CHEN D, HUO XX, et al. Lag effects of air pollutant levels on pediatric respiratory disease outpatient visits in Wuhan [J]. *J Environ Occup Med*, 2018, 35 (2) : 124-130. doi : 10.13213/j.cnki.jeom.2018.17650.
- [10] 顾怡勤, 陈仁杰, 陈丽, 等. 上海市闵行区大气污染与早产的相关性 [J]. *环境与职业医学*, 2019, 36 (2) : 106-

111.
GU Y Q, CHEN R J, CHEN L, et al. Associations between ambient air pollution and preterm birth in Minhang District, Shanghai [J]. *J Environ Occup Med*, 2019, 36 (2) : 106-111.
- [11] 奉琪, 苏莎, 张劲夫, 等. 长沙市城区大气PM_{2.5}浓度与居民每日死亡关系研究 [J]. *环境与职业医学*, 2018, 35 (2) : 131-136.
FENG Q, SU S, ZHANG J F, et al. Association between PM_{2.5} concentration and daily resident mortality in urban area of Changsha [J]. *J Environ Occup Med*, 2018, 35 (2) : 131-136.
- [12] LI D, WANG J B, ZHANG Z Y, et al. Effects of air pollution on hospital visits for pneumonia in children : a two-year analysis from China [J]. *Environ Sci Pollut Res*, 2018, 25 (10) : 10049-10057.
- [13] 王永星, 杨似玉, 张杰, 等. 郑州市空气污染与儿童医院呼吸系统日门诊量的相关性 [J]. *环境卫生学杂志*, 2019, 9 (6) : 583-588.
WANG Y X, YANG S Y, ZHANG J, et al. Association between air pollution and daily outpatient visits of respiratory system in children hospital of Zhengzhou [J]. *J Environ Hyg*, 2019, 9 (6) : 583-588.
- [14] 赵有政, 汤权, 沈进进, 等. 盐城市空气污染对呼吸系统日门诊量关系的时间序列分析 [J]. *环境监控与预警*, 2020, 12 (3) : 43-47.
ZHAO Y Z, TANG Q, SHEN J J, et al. A time series analysis of effects of air pollution on daily hospital outpatients with respiratory diseases in Yancheng City [J]. *Environ Monitoring Forewarning*, 2020, 12 (3) : 43-47.
- [15] 贾云飞, 韦丽, 唐彦钊, 等. 2015—2017年南京市大气污染物对儿童内科门诊量影响的时间序列分析 [J]. *职业与健康*, 2020, 36 (5) : 666-669, 673.
JIA Y F, WEI L, TANG Y Z, et al. Time-series analysis on effects of air pollutant on pediatric internal medicine outpatient visits in Nanjing City from 2015-2017 [J]. *Occup Health*, 2020, 36 (5) : 666-669, 673.
- [16] 张标, 王锦香. 上海市崇明区大气污染物与医院门诊量关系的时间序列研究 [J]. *环境与职业医学*, 2019, 36 (4) : 376-380.
ZHANG B, WANG J X. Time-series study on relationship between air pollutants and outpatient visits in Chongming District of Shanghai [J]. *J Environ Occup Med*, 2019, 36 (4) : 376-380.
- [17] RENO A L, BROOKS E G, AMEREDES B T. Mechanisms of heightened airway sensitivity and responses to inhaled SO₂ in asthmatics [J]. *Environ Health Insights*, 2015, 9 (S1) : 13-25.
- [18] 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.
LIU W Y, CHENG Q L, ZHANG L, et al. The influence of air pollutants on respiratory diseases of children in Hangzhou [J]. *China Preventive Med*, 2017, 18 (1) : 6-10.
- [19] JIANG Y, CHEN J, WU C, et al. Temporal cross-correlations between air pollutants and outpatient visits for respiratory and circulatory system diseases in Fuzhou, China [J]. *BMC Public Health*, 2020, 20 (1) : 1131.
- [20] WANG Y, ZU Y, HUANG L, et al. Associations between daily outpatient visits for respiratory diseases and ambient fine particulate matter and ozone levels in Shanghai, China [J]. *Environ Pollut*, 2018, 240 : 754-763.
- [21] WANG C, FENG L, CHEN K. The impact of ambient particulate matter on hospital outpatient visits for respiratory and circulatory system disease in an urban Chinese population [J]. *Sci Total Environ*, 2019, 666 : 672-679.

(英文编辑：汪源；责任编辑：汪源)