

上海PM_{2.5}、NO₂及空气质量指数与小学生因病缺勤的关系

唐颖^{1a}, 陈卓如^{1a}, 高学欢^{1a}, 杨迎春², 顾筱怡³, 朱夏平⁴, 沈杰⁵, 盛海涛⁶, 蔡云飞⁷, 赵卓慧^{1a, 1b, 1c}

1. 复旦大学 a. 公共卫生学院环境卫生教研室 b. 公共卫生安全教育重点实验室 c. 国家卫生健康委员会卫生技术评估重点实验室 (复旦大学), 上海 200032
2. 上海市普陀区恒德小学, 上海 200331
3. 上海市浦东新区观澜小学, 上海 201299
4. 上海市嘉定区望新小学, 上海 201806
5. 上海市嘉定区徐行小学, 上海 201808
6. 上海市沙田学校, 上海 200062
7. 上海市环境监测中心 (上海长三角区域空气质量预测预报中心), 上海 200032

摘要:

[背景] 大气污染可能会增加儿童因病缺勤, 并增加相应的社会医疗和经济负担。

[目的] 探索当前上海市大气污染物及空气质量指数 (AQI) 与小学生因病缺勤的定量关系。

[方法] 抽取上海市嘉定、宝山、浦东及普陀四个区的6所小学, 收集全体在校学生于2017和2018两个完整学年每日缺勤数和缺勤原因 (排除因事或其他突发意外事故), 以及同期六校周边大气监测站点日均空气污染物浓度和气象资料。构建广义相加模型, 开展时间序列分析, 调整温度、相对湿度、降水量、流感暴发时段、星期几效应等混杂因素, 分析大气污染物、流感季节及AQI与小学生缺勤发生数的关系。

[结果] 本研究共纳入分析5746名学生, 在校期间平均每日缺勤人数为12.5人, 六校每日总缺勤率为0.20%, 冬春季高于夏秋季, 流感季节高于非流感季节 (均 $P<0.05$)。研究期间年度日均PM_{2.5}、NO₂分别为(38.7±26.0)、(42.7±18.8) μg·m⁻³。调整混杂因素进行多变量回归分析显示, NO₂每升高10 μg·m⁻³, 因病缺勤人数增加2.3%~3.3%, 且对缺勤人数的单日滞后及累积滞后效应可以持续1周, 而AQI和PM_{2.5}与儿童缺勤的关系不明显。流感分层分析结果表明, PM_{2.5}、NO₂和AQI在非流感季对缺勤影响均有统计学意义, RR (95% CI) 分别为1.021 (1.004~1.039)、1.048 (1.026~1.071) 和1.015 (1.001~1.030)。

[结论] 2017—2018学年上海市大气污染中, NO₂与在校小学生因病缺勤存在关联。能否单纯依据AQI对在校开展学生健康管理, 需进一步探索。

关键词: 空气污染; 小学生; 缺勤; 氮氧化物; 颗粒物

Associations of PM_{2.5}, NO₂, and air quality index (AQI) with sickness absenteeism of primary school students in Shanghai TANG Hao^{1a}, CHEN Zhuoru^{1a}, GAO Xuehuan^{1a}, YANG Yingchun², GU Xiaoyi³, ZHU Xiaping⁴, SHEN Jie⁵, SHENG Haitao⁶, CAI Yunfei⁷, ZHAO Zhuohui^{1a, 1b, 1c} (1.a. Department of Environmental Health, School of Public Health b. Key Laboratory of Public Health Safety of the Ministry of Education c. NHC Key Laboratory of Health Technology Assessment (Fudan University), Fudan University, Shanghai 200032, China; 2. Hengde Primary School, Putuo District, Shanghai 200331, China; 3. Guanlan Primary School, Pudong New Area, Shanghai 201299, China; 4. Wangxin Primary School, Jiading District, Shanghai 201806, China; 5. Xuxing Primary School, Jiading District, Shanghai 201808, China; 6. Shanghai Shatian School, Shanghai 200062, China; 7. Shanghai Environmental Monitoring Center (Shanghai Yangtze River Delta Regional Air Quality Forecast and Forecast Center), Shanghai 200032, China)

Abstract:

[Background] The influences of air pollution on sickness absenteeism among school students could be a huge social medical and economic burden.

[Objective] This study aims to quantify the associations of air pollutants and air quality index (AQI) with sickness absenteeism of primary school students in Shanghai.

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2021.21059

基金项目

国家自然科学基金 (81861138005)

作者简介

唐颖 (1996—), 男, 硕士生;
E-mail: 19211020050@fudan.edu.cn

通信作者

赵卓慧, E-mail: zhzhao@fudan.edu.cn
蔡云飞, E-mail: caiyf@sheemc.cn

伦理审批 已获取

利益冲突 无申报

收稿日期 2021-02-05

录用日期 2021-05-19

文章编号 2095-9982(2021)08-0847-06

中图分类号 R179

文献标志码 A

补充材料

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.21059

引用

唐颖, 陈卓如, 高学欢, 等. 上海PM_{2.5}、NO₂及空气质量指数与小学生因病缺勤的关系[J]. 环境与职业医学, 2021, 38(8): 847-852.

► 本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2021.21059

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHAO Zhuohui, E-mail: 19211020050@fudan.edu.cn
CAI Yunfei, E-mail: caiyf@sheemc.cn

Ethics approval Obtained

Competing interests None declared

Received 2021-02-05

Accepted 2021-05-19

Supplemental material

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.21059

► To cite

TANG Hao, CHEN Zhuoru, GAO Xuehuan, et al. Associations of PM_{2.5}, NO₂, and air quality index (AQI) with sickness absenteeism of primary school students in Shanghai[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2021, 38(8): 847-852.

► Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2021.21059

[Methods] Six primary schools were selected in four districts of Shanghai (Jiading, Baoshan, Pudong, and Putuo), and data on daily sickness absenteeism and specific causes of sickness (excluding personal reasons or accidental events) were collected in 2017 and 2018 school years from all the students from the six schools, as well as daily levels of air pollutants and meteorological factors from nearest fixed-site monitoring stations. A generalized additive model was constructed to conduct time-series analysis on the associations of air pollutants and AQI with sickness absenteeism after adjusting for confounding factors including temperature, relative humidity, precipitation, influenza outbreak season, and day-of-the-week effect.

[Results] A total of 5 746 students were included in this study. The average daily sickness absenteeism in school days was 12.5, accounting for 0.20% of the total students who were supposed to attend school; the average daily sickness absenteeism in winter and spring was higher than that in summer and autumn; the average daily sickness absenteeism in influenza season was higher than that in non-influenza season (all $P < 0.05$). During the study period, the annual daily average $PM_{2.5}$ and NO_2 concentrations were $(38.7 \pm 26.0) \mu g \cdot m^{-3}$ and $(42.7 \pm 18.8) \mu g \cdot m^{-3}$, respectively. After adjusting for confounding factors, the results of multivariate regression analysis showed that every $10 \mu g \cdot m^{-3}$ increase of NO_2 concentration was associated with an increase of sickness absentees by 2.3%-3.3%, and the effects lasted for at least one week, while AQI and $PM_{2.5}$ had no obvious associations with children's sickness absenteeism. The results of stratification analysis by influenza season showed that $PM_{2.5}$, NO_2 , and AQI had associations with sickness leave in non-influenza season, with RR (95% CI) of 1.021 (1.004-1.039), 1.048 (1.026-1.071), and 1.015 (1.001-1.030), respectively.

[Conclusion] In the 2017–2018 school years in Shanghai, NO_2 is associated with sickness absenteeism in primary school students. Further efforts are needed to figure out whether school children's health can be managed purely by AQI.

Keywords: air pollution; elementary school student; absenteeism; nitride oxides; particulate matter

大气污染物包括二氧化氮 (nitrogen dioxide, NO_2) 和颗粒物等, 可对呼吸系统疾病、心血管疾病以及非意外死亡等产生重要影响^[1]。相比于成人, 正处于发育时期的儿童对空气污染的危害更加易感。学校是学龄儿童的重要活动场所, 市区学校常位于交通繁忙地段, 受汽车尾气排放的影响, 学校周边空气叠加交通尾气可能产生局部严重污染。

已有研究表明交通污染对儿童的呼吸系统健康有不良影响^[2], 大气污染与儿童呼吸系统疾病门诊量、入院率等存在显著关联^[3]。在校生日出勤记录及缺勤病因信息登记, 可反映学生的不适或疾病早期症状, 因而可更早、更灵敏地捕捉在校儿童的健康变化。目前已有空气污染与学生缺勤的相关研究, 但多未考虑流感、降水量等因素的影响^[4-5]。

本研究选取上海市6所小学, 以小学生为研究对象, 探索大气污染物以及空气质量指数 (air quality index, AQI) 与小学生因病缺勤的关联, 同时考虑气象和流感等季节性因素对因病缺勤率变化的重要影响^[6], 比较典型大气污染物及AQI对在校小学生因病缺勤影响的差异, 为提出更加精准的在校儿童健康管理和防护措施, 更好地保护儿童健康提供数据基础。

1 材料与方法

1.1 材料来源

1.1.1 因病缺勤数据 选取上海市嘉定、宝山、浦东以及普陀四个区的6所小学, 收集全体在校学生于2017和2018两个完整学年 (2017年9月—2019年

6月) 每日缺勤数及缺勤原因的信息, 排除因事或其他突发意外事故后的缺勤数为因病缺勤数。缺勤症状和疾病包括感冒、发热、上呼吸道感染、咳嗽、鼻塞、流涕、哮喘、胃痛等。每日因病缺勤数为“新发”病例数, 即因病首次缺勤。所有数据均为各学校医护人员或健康管理工作者登记认可。本研究经过复旦大学公共卫生学院医学研究伦理委员会审批通过 (IRB00002408&FWA00002399)。

1.1.2 大气污染、气象以及流感数据 大气污染数据来源于距离学校最近 (0.25~8.5 km) 的上海市6个市控点监测站 (位置见补充材料图S1)。本研究收集了2017年9月—2019年6月期间的典型空气污染物 ($PM_{2.5}$ 和 NO_2) 的日均值和AQI值。同期的气象数据来源于上海市气象局, 包括温度、相对湿度以及降水量。流感流行时段数据来源于中国流感中心, 采用每周流感随机采样检测阳性率为量化指标, 采样检测阳性率大于0.2为流感流行时段, 即2018年1—2月和2019年1—3月。

1.2 数据分析方法

1.2.1 描述性分析 对六校因病缺勤数及附近大气污染数据和气象数据进行描述性分析, 报告各个指标的日均值及标准差, 并描述数据分布特征。所有统计只针对在校期间, 寒暑假不计入内。

1.2.2 时间序列分析 学生每日因病缺勤数近似于Poisson分布, 因此使用Wilcoxon检验比较缺勤人数在不同学年、季节、流感季及降水量时期的差异; 使用Poisson回归广义相加模型 (generalized additive

model, GAM) 评估 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 及 AQI 与缺勤数的关系。以因病缺勤人数为应变量, 污染物浓度为自变量, 对气象、流感等因素采用平滑样条函数进行拟合, 应用赤池信息量准则选择平滑样条函数最佳自由度。GAM 模型的构建如下: $\lg E(Y_t) = \beta \rho_t + s(t, k) + s(H, k) + s(P, k) + s(R_{flu}, k) + s(V_{dayfromstart}, k) + V_{DOW} + V_{Holiday} + V_{Year} + V_{intercept}$ 式中: $E(Y_t)$ 指在第 t 日因病缺勤发生数; ρ_t 为第 t 日污染物浓度; s 是平滑样条函数; t 为当日平均温度; k 为自由度; H 为当日平均相对湿度; P 为当日平均降水量; β 是暴露-反应关系系数; R_{flu} 为每周南方流感检测阳性率; $V_{dayfromstart}$ 为距开学日的天数; V_{DOW} 为星期几效应; $V_{Holiday}$ 为假期效应; V_{Year} 为学年效应; $V_{intercept}$ 为截距。使用统计软件 R4.0.2, 包括 mgcv、meta 软件包以及 Wilcox.test() 函数, 检验水准 $\alpha=0.05$ 。上述模型首先对 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 和 AQI 开展六校整体人群的单污染 Poisson 多因素回归分析, 其次开展每个污染物 1~7 d 的滞后效应以及累积滞后效应分析, 以相对危险度 (RR) 和 95% CI 表征分析结果, 同时对流感季和季节因素进行分层分析。

1.2.3 敏感性分析 对回归分析的结果进一步开展敏感性分析, 包括: ①针对六校分别单独开展 Poisson 回归, 并对六校分别得到的 RR 和 95% CI 开展 meta 分析; ②针对具有统计学意义的结果, 逐步调整不同的混杂因素 (依次在模型中添加时间、气象以及流感效应因素); ③调整模型中样条函数自由度 ($k=1\sim10$)。

2 结果

2.1 各小学缺勤状况

本研究共纳入分析 5 746 名学生, 在校期间平均每日缺勤人数为 12.5 人, 占全体应到学校人数的 0.20%。六校总缺勤发生数 2018 学年大于 2017 学年, 冬春季高于夏秋季, 流感季高于非流感季 (均 $P<0.05$), 六校缺勤率在不同降水量时期差异没有统计学意义 ($P>0.05$), 各校学生缺勤情况见表 1。

2.2 大气污染物及气象因素

研究期间, 六校周边大气 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 、AQI、温度和相对湿度日均值分别 $38.7 \mu g \cdot m^{-3}$ 、 $42.7 \mu g \cdot m^{-3}$ 、60.4、 $16.5^\circ C$ 及 74.9% (表 2)。

2.3 大气污染物与小学生因病缺勤的关联性

六校小学生每日因病缺勤人数与 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 及 AQI 之间呈明显的时序动态相关特征 (图 1)。4 个学期中的秋冬季和春夏季学期, 均呈现一个污染物高峰,

表 1 上海市 6 所小学 2017 和 2018 学年日均因病缺勤情况 [n (%)]

因素	总计	A	B	C	D	E	F
学年							
2017	10.9 (0.2)	1 (0.1)	1.9 (0.2)	0.4 (0)	3.2 (0.2)	3.4 (0.5)	1.1 (0.2)
2018	14.2 (0.2) *	1.6 (0.2) *	2.5 (0.3)	2.2 (0.2) *	2.4 (0.2)	3.8 (0.5)	1.4 (0.3) *
季节							
冬春季	14.3 (0.2) *	1.5 (0.2) *	2.7 (0.3) *	1.9 (0.1) *	3.0 (0.2)	3.9 (0.5)	1.3 (0.3)
夏秋季	10.0 (0.2)	1.0 (0.1)	1.6 (0.2)	0.6 (0.0)	2.4 (0.2)	3.2 (0.5)	1.2 (0.2)
流感季							
是	21.6 (0.4) *	2.3 (0.3) *	4.7 (0.5) *	4.5 (0.3) *	3.9 (0.3)	5.4 (0.8) *	1.2 (0.2)
否	10.9 (0.2)	1.1 (0.2)	1.8 (0.2)	0.8 (0.1)	2.6 (0.2)	3.3 (0.5)	1.3 (0.2)
降水量/mm							
>1	13.7 (0.2)	1.3 (0.2)	2.2 (0.2)	1.5 (0.1)	3.4 (0.2)	3.7 (0.5)	1.4 (0.3)
≤1	12.1 (0.2)	1.3 (0.2)	2.2 (0.2)	1.3 (0.1)	2.5 (0.2)	3.6 (0.5)	1.2 (0.2)
总体样本	12.5 (0.2)	1.3 (0.2)	2.2 (0.2)	1.3 (0.1)	2.8 (0.2)	3.6 (0.5)	1.3 (0.2)

[注] *: 同一因素的分层比较, $P<0.05$ 。冬春季: 2017.11—2018.04, 2018.11—2019.04; 夏秋季: 2017.09—2017.10, 2018.05—2018.10, 2019.05—2019.06; 流感季: 2018.01—2018.02, 2019.01—2019.03; 非流感季: 2017.09—2017.12, 2018.03—2018.12, 2019.04—2019.06。

表 2 上海市 6 所小学 2017 和 2018 学年周边大气日均 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 、AQI 和温湿度 ($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Daily mean $PM_{2.5}$, NO_2 , AQI, temperature, and humidity surrounding the six primary schools in Shanghai in 2017 and 2018 school years ($\bar{x} \pm s$)

区域	学校	$\rho (PM_{2.5}) / (\mu g \cdot m^{-3})$	$\rho (NO_2) / (\mu g \cdot m^{-3})$	AQI	温度/ $^\circ C$	相对湿度/%
嘉定	A	42.6±28.1	44.0±23.9	64.9±34.0	16.3±8.5	75.3±12.8
	B	42.0±27.9	38.3±19.7	65.2±33.6	16.3±8.5	75.3±12.8
浦东	C	36.5±25.3	41.9±19.3	58.0±30.3	16.5±8.2	76.2±13.0
	D	31.8±23.5	31.4±17.8	52.1±27.9	16.5±8.2	76.2±13.0
普陀	E	40.8±27.0	50.2±21.6	63.6±32.2	16.8±8.4	75.0±12.4
宝山	F	38.1±27.1	50.9±21.1	58.9±31.1	16.5±8.4	73.4±12.2
总计	—	38.7±26.0	42.7±18.8	60.4±30.9	16.5±8.4	74.9±12.5

[注] 六校温度和相对湿度为每个区一组数据, 污染物为每个学校一组数据。

分别在 11—12 月份和 3—4 月份。

经单污染 GAM 模型 Poisson 回归针对六校全体人群开展分析, 发现调整了温度、相对湿度、南方流感检测阳性率、降水量、星期几效应和假期效应后, NO_2 在当天及滞后 1~7 d 内对缺勤发生数有影响, 而 $PM_{2.5}$ 和 AQI 在当天及滞后 1~7 d 内对因病缺勤发生数都未产生影响。比较 7 d 污染物指标的关联系数, 发现 NO_2 滞后 4 d 时 (lag4), 对缺勤的影响效应最大, RR (95% CI) 为 1.033 (1.012~1.055) (表 3)。本研究同时分析了 0~1、0~3、0~5 和 0~7 d (lag0-1、lag0-3、lag0-5、lag0-7) 的累积滞后效应, 结果显示 NO_2 对缺勤发生数影响均有统计学意义, 且均为正向影响 (表 3)。流感分层分析结

果表明, $PM_{2.5}$ 、 NO_2 和 AQI 在非流感季对缺勤影响均有统计学意义, RR (95% CI) 分别为: 1.021 (1.004~1.039)、1.048 (1.026~1.071) 和 1.015 (1.001~1.030); 季节分层后均无统计学意义 (见补充材料表 S1)。

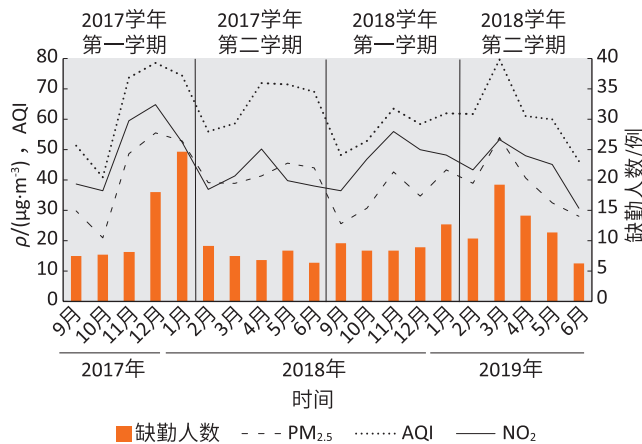


图1 上海市6所小学2017和2018学年总因病缺勤人数与 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 及 AQI 随时间分布图

Figure 1 Timeline trend of total sickness absenteeism numbers, $PM_{2.5}$, NO_2 and AQI of six primary schools in Shanghai in 2017 and 2018 school years

表3 上海市6所小学2017和2018学年每日因病缺勤总人数与大气污染物的 Poisson 回归分析 [RR (95% CI)]

Table 3 Poisson regression analysis on total daily sickness absenteeism and air pollutants of six primary schools in Shanghai in 2017 and 2018 school years [RR (95% CI)]

滞后天数	$PM_{2.5}$	NO_2	AQI
lag0	1.003 (0.989~1.018)	1.031 (1.009~1.054) *	1.000 (0.987~1.012)
lag1	0.988 (0.976~1.000)	1.029 (1.007~1.052) *	0.991 (0.980~1.001)
lag2	1.001 (0.988~1.014)	1.023 (1.001~1.046) *	1.003 (0.992~1.014)
lag3	1.005 (0.991~1.018)	1.031 (1.008~1.054) *	1.004 (0.993~1.016)
lag4	1.011 (0.998~1.023)	1.033 (1.012~1.055) *	1.008 (0.998~1.019)
lag5	1.002 (0.989~1.015)	1.029 (1.008~1.051) *	1.004 (0.994~1.015)
lag6	0.997 (0.983~1.012)	1.029 (1.008~1.051) *	0.998 (0.985~1.011)
lag7	0.998 (0.983~1.013)	1.025 (1.004~1.046) *	0.998 (0.986~1.011)
lag0-1	0.991 (0.978~1.005)	1.041 (1.015~1.067) *	0.989 (0.973~1.006)
lag0-3	0.997 (0.979~1.016)	1.053 (1.022~1.086) *	0.993 (0.973~1.016)
lag0-5	1.000 (0.984~1.032)	1.078 (1.040~1.116) *	1.004 (0.976~1.016)
lag0-7	1.006 (0.979~1.033)	1.089 (1.048~1.131) *	1.001 (0.969~1.034)

[注] RR 指 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 每升高 $10\mu g\cdot m^{-3}$, AQI 每升高 10 对应的相对风险。
*: $P<0.05$; 使用广义相加模型, 并调整了南方流感检测阳性率、降水量、温湿度、星期几效应、距开学日天数、假期效应和年份效应。

2.4 敏感性分析

2.4.1 meta 分析 结果显示, 与 $PM_{2.5}$ 和 AQI 相比, NO_2 与儿童因病缺勤的 RR 值最大 ($RR=1.036$, 95% CI : 0.997~1.076), meta 分析的结果接近显著。见表 4。

表4 上海市6所小学2017和2018学年各学校每日因病缺勤人数与大气污染物的 Poisson 回归分析及 meta 分析 [RR (95% CI)]

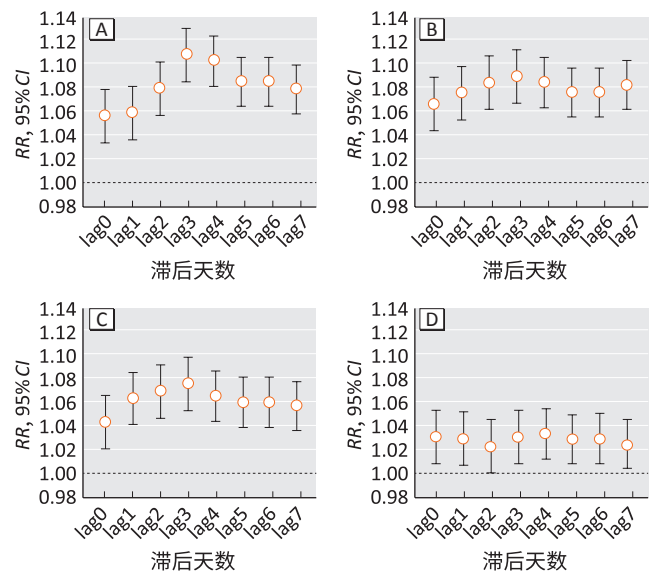
Table 4 Poisson regression analysis and meta-analysis on sickness absenteeism and air pollutants of six primary schools in Shanghai in 2017 and 2018 school years [RR (95% CI)]

学校	$PM_{2.5}$	NO_2	AQI
A	0.968 (0.924~1.013)	0.972 (0.924~1.022)	0.971 (0.934~1.009)
B	1.064 (1.032~1.097) *	1.026 (0.982~1.073)	1.054 (1.027~1.081) *
C	1.015 (0.971~1.062)	1.156 (1.077~1.240) *	1.014 (0.975~1.054)
D	0.990 (0.955~1.027)	1.073 (1.021~1.127) *	0.986 (0.956~1.017)
E	0.984 (0.957~1.011)	1.021 (0.984~1.060)	0.991 (0.968~1.015)
F	0.992 (0.949~1.037)	1.009 (0.953~1.068)	1.003 (0.965~1.044)
meta 分析	1.003 (0.973~1.033)	1.036 (0.997~1.076)	1.004 (0.979~1.029)

[注] RR 指 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 每升高 $10\mu g\cdot m^{-3}$, AQI 每升高 10 对应的相对风险。

*: $P<0.05$; 使用广义相加模型, 并调整了南方流感检测阳性率、降水量、温湿度、星期几效应等效应。

2.4.2 混杂因素调整 针对 NO_2 对六校全体学生缺勤的显著效应, 分别调整不同变量进行敏感性分析, 对构建的 a、b、c、d 四个模型对比发现: 0~7 d 滞后均有统计学效应, 且前三个模型效应相差较小, 均在滞后 3 d 达到效应最大值; 而模型 d 中 NO_2 对缺勤人数的效应降低, 在 0~7 d 的滞后期, 效应系数平均降低了 53.4%; 但是各模型均未改变 NO_2 对缺勤影响的统计学意义。见图 2。



[注] A: a 模型, 调整缺勤人数~ NO_2 ; B: b 模型, 在 a 模型的基础上调整距开学日天数、假期效应、星期几效应和年份变量; C: c 模型, 在 b 模型的基础上调整降水量、温度和相对湿度变量; D: d 模型, 在 c 模型的基础上调整南方流感检测阳性率变量。

图2 不同模型中大气 NO_2 (每升高 $10\mu g\cdot m^{-3}$) 与上海市6所小学2017和2018学年小学生因病缺勤效应的敏感性分析

Figure 2 Sensitivity analyses on the association of atmospheric NO_2 (per $10\mu g\cdot m^{-3}$ increase) with primary school students' sickness absenteeism in 2017 and 2018 school years in different models

2.4.3 平滑样条函数自由度调整 通过调整距开学天数、降水量、相对湿度和温度平滑样条函数自由度 ($k=1\sim10$) 进行敏感性分析, 结果显示 NO_2 对缺勤的影响没有明显变化, 流感监测阳性率自由度在 $1\sim6$ 时差异无统计学意义, $7\sim10$ 差异有统计学意义。最后, 应用赤池信息量准则选择最优模型, 最终确定距开学天数 ($k=8$)、流感监测阳性率 ($k=8$)、降水量 ($k=8$)、相对湿度 ($k=3$) 和温度 ($k=7$) 因素平滑样条函数自由度 (结果见补充材料表 S2)。

3 讨论

本研究显示, 2017—2019 年上海市小学周边大气 NO_2 与在校小学生因病缺勤存在关联, $\text{PM}_{2.5}$ 和 AQI 与小学生因病缺勤的关系不明显。

机动车尾气是城市 NO_2 的主要来源之一, 大多地处市区的学校, 通常靠近交通干道。本研究提示以 NO_2 为代表的氮氧化物污染物对小学生因病缺勤可能有潜在风险, 而表征综合空气质量的 AQI 不一定给出恰当的指示和预测。

因病缺勤率可以敏感地反映小学生的健康状态, 是小学生健康受影响的一个重要指标^[7]。本研究探索 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO_2 以及 AQI 和缺勤之间的关系, 发现当日 NO_2 暴露和缺勤之间呈现正向关联, NO_2 每升高 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 缺勤人数可增加 3.1%, 且 $1\sim7\text{d}$ 及累积滞后拥有同样正向效应。张喆等^[4] 研究发现上海市 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 和 NO_2 日均浓度每增加 $1.0\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 中小学生对呼吸系统症状缺勤率分别上升 0.54‰、0.51‰、0.70‰ 和 0.94‰; 北京市丰台区研究显示, 空气中 SO_2 、 NO_2 和 PM_{10} 浓度每增加 $10\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 基于“中小学因病缺勤症状监测系统”的呼吸道症状发生率分别增加 4.0%、3.0%、1.0%; 其中, NO_2 与在校生成缺勤的效应关联具有统计学意义^[8]。在两个已报道的研究中, NO_2 与因病缺勤都呈现比颗粒物污染更强的关联, 说明 NO_2 作为城市典型的气态污染物, 与小学生的健康效应关联需要引起重视。

本研究发现, 上海市小学生因病缺勤率呈现明显的季节规律, 冬春季学生因病缺勤率高于夏秋季, 与杨敏娟等^[5] 研究结果一致。这可能与冬春季的空气污染较重、气温较低及流感容易暴发等气象特征都有一定关系, 且本研究进行季节分层后分析, 均没有统计学意义。本研究的统计模型对以上因素都予以收集并调整, 针对 NO_2 的多因素分步模型调整发现, 流感季

是重要的混杂因素, 可以显著降低空气污染的效应; 且在分层分析中, 非流感季的空气污染效应保持显著, 而流感季的显著性关联消失。这进一步提示, 针对空气污染与在校生成缺勤影响的研究中, 流感季效应须同时予以考虑, 这在此前已发表的几项研究中尚未看到^[5, 8]。除以上因素以外, 本研究同时考虑了假期和周末对缺勤的影响, 即假期启动和结束的前后对在校生成缺勤的混杂影响, 并同时调整了年份和星期几效应^[9-10]。针对每个学校单独进行了时间序列分析, 并对效应结果进行 meta 分析之后, 发现 NO_2 与儿童因病缺勤的关联未达统计学显著。

本研究针对滞后效应开展了进一步分析, 当日和滞后 $1\sim7\text{d}$ NO_2 的效应对因病缺勤仍然有影响, 且 NO_2 在滞后 4d 时达到最强。滞后效应的时长与国外同类研究中报道的 7d 达到最强效应的结果并不完全一致^[7], 可能与分析模型不同, 大气污染物暴露水平差异和人群易感性不同等因素有关, 但二者指向空气污染与儿童因病缺勤的正向关联保持一致^[11]。

本研究中仍有几点不足之处: (1) 有文献表明, 不同年级、性别确实会影响大气污染物和缺勤率之间的关联性^[12-13], 但此次调查未收集此类信息, 暂无法纳入考虑; (2) 选取的环境监测站点不能精准替代学生的真实暴露; (3) 选取的学校数量有限, 后期可进一步加大学校抽样数量和总的人群样本量, 加以验证。

AQI 基于大气监测中的多个空气污染物的权重和各污染物的分指数计算而来, 是一个综合反映空气质量总体情况的指数, 它仍然是目前上海市针对在校生成健康管理的主要参考依据。但本研究提示, 部分特定空气污染物, 如 NO_2 , 受其排放源位置和扩散距离的影响, 对在校生的因病缺勤的影响更加显著。据此, 单纯依据 AQI 对在校生成开展学生健康管理, 还有进一步细分和精细化提升的空间。

(志谢: 感谢所有参与收集整理数据的老师以及同学的配合和支持。)

参考文献

- [1] 杨静. 空气污染对人群死亡的影响——京津冀地区大气污染治理政策评价研究 [D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2019.
- YANG J. Effects of air pollution on human mortality [D]. Beijing: Chinese Center for Disease Control and

- Prevention, 2019.
- [2] SCHULTZ ES, LITONJUA AA, MELÉN E. Effects of long-term exposure to traffic-related air pollution on lung function in children [J]. *Curr Allergy Asthma Rep*, 2017, 17 (6) : 41.
- [3] KERMANI M, DOWLATI M, JAFARI AJ, et al. The association of hospital emergency admissions due to respiratory-cardiovascular diseases and acute myocardial infarction with air pollution in Tehran during 2005-2014 [J]. *Med J Islam Repub Iran*, 2018, 32 : 76.
- [4] 张喆, 虞瑾, 罗春燕, 等. 上海市中小学生对因呼吸系统症状缺课与大气污染物的关联 [J]. *环境与职业医学*, 2018, 35 (1) : 29-32.
- ZHANG Z, YU J, LUO CY, et al. Associations between absenteeism caused by respiratory symptoms and air pollutants among primary and middle school students in Shanghai [J]. *J Environ Occup Med*, 2018, 35 (1) : 29-32.
- [5] 杨敏娟, 王文朋, 解惠坚, 等. 上海市浦东新区PM_{2.5}对小学生因病缺课影响的时间序列研究 [J]. *环境与职业医学*, 2018, 35 (11) : 973-978.
- YANG MJ, WANG WP, JIE HJ, et al. Effects of PM_{2.5} on elementary school students' sickness absenteeism in Pudong New Area, Shanghai : A time-series analysis [J]. *J Environ Occup Med*, 2018, 35 (11) : 973-978.
- [6] LIU H, SALVO A. Severe air pollution and child absences when schools and parents respond [J]. *J Environ Econ Manage*, 2018, 92 : 300-330.
- [7] MACNAUGHTON P, EITLAND E, KLOOG I, et al. Impact of particulate matter exposure and surrounding "greenness" on chronic absenteeism in Massachusetts public schools [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2017, 14 (2) : 207.
- [8] BERMAN JD, MCCORMACK MC, KOEHLER KA, et al. School environmental conditions and links to academic performance and absenteeism in urban, mid-Atlantic public schools [J]. *Int J Hyg Environ Health*, 2018, 221 (5) : 800-808.
- [9] RICE MB, RIFAS-SHIMAN SL, LITONJUA AA, et al. Lifetime exposure to ambient pollution and lung function in children [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2016, 193 (8) : 881-888.
- [10] ALLEN JG, MACNAUGHTON P, LAURENT JGC, et al. Green buildings and health [J]. *Curr Environ Health Rep*, 2015, 2 (3) : 250-258.
- [11] HUA J, ZHANG Y, DE FOY B, et al. Competing PM_{2.5} and NO₂ holiday effects in the Beijing area vary locally due to differences in residential coal burning and traffic patterns [J]. *Sci Total Environ*, 2021, 750 : 141575.
- [12] GILLILAND FD, BERHANE K, RAPPAPORT EB, et al. The effects of ambient air pollution on school absenteeism due to respiratory illnesses [J]. *Epidemiology*, 2001, 12 (1) : 43-54.
- [13] ROMIEU I, LUGO MC, VELASCO SR, et al. Air pollution and school absenteeism among children in Mexico City [J]. *Am J Epidemiol*, 1992, 136 (12) : 1524-1531.

(英文编辑：汪源；责任编辑：王晓宇)