

PM₁₀ 短期暴露对人群空腹血糖和血脂的影响

贺颖倩,王敏珍*,郑山,赵亚楠,张露露,刘婧,白亚娜 (兰州大学公共卫生学院,流行病学与卫生统计学研究所,甘肃兰州 730000)

摘要: 为探析 PM₁₀ 短期暴露对不同糖代谢水平人群空腹血糖和血脂的影响,以“金昌队列”为研究平台,收集金昌市 2011~2017 年污染物数据及气象数据.采用近邻模型完成个体 PM₁₀ 暴露评估.运用广义估计方程分析 PM₁₀ 对血糖和血脂指标的影响.采用广义相加混合模型绘制暴露-反应关系曲线.结果表明,PM₁₀ 浓度每增加一个四分位数间距,空腹血糖(FPG)、总胆固醇(TC)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)分别升高 0.58mg/dL(95%CI:0.35,0.82)、0.38mg/dL(95%CI:0.25,0.52)、0.44mg/dL(95%CI:0.31,0.57)和 0.34mg/dL(95%CI:0.29,0.40),甘油三酯(TG)降低 0.67mg/dl(95%CI:-0.86,-0.47).随着 PM₁₀ 浓度升高,FPG、TC、LDL-C 和 HDL-C 均呈上升趋势,TG 呈下降趋势.PM₁₀ 对男性、年龄≥60 岁者血糖和血脂指标影响更显著.因此,PM₁₀ 与不同糖代谢状态人群血糖和血脂水平异常密切相关,男性和老年人应加强自身防护.

关键词: PM₁₀; 2 型糖尿病; 空腹血糖; 血脂

中图分类号: X503.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2022)06-2911-10

Effects of short-term exposure to PM₁₀ on fasting plasma glucose and blood lipids. HE Ying-qian, WANG Min-zhen*, ZHENG Shan, ZHAO Ya-nan, ZHANG Lu-lu, LIU Jing, BAI Ya-na (Institute of Epidemiology and Statistics, School of Public Health, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China). *China Environmental Science*, 2022,42(6): 2911~2920

Abstract: This study was designed to explore the effects of short-term exposure to PM₁₀ on fasting plasma glucose and blood lipids in population with different glucose metabolism levels based on the platform of "Jinchang Cohort". The pollutant and meteorological data in Jinchang city from 2011 to 2017 were collected. Individual exposure levels were estimated by the nearest neighbor model. Generalized estimating equations were employed to analyze relationships between PM₁₀, blood glucose and blood lipids. The exposure-response relationship curves were drawn by generalized additive mixed model. For every IQR increase in PM₁₀ concentration, it was found that FPG, TC, LDL-C and HDL-C increased by 0.58mg/dL (95%CI: 0.35, 0.82), 0.38mg/dL (95%CI: 0.25, 0.52), 0.44mg/dL (95%CI: 0.31, 0.57) and 0.34mg/dL (95%CI: 0.29, 0.40), respectively, TG decreased by 0.67mg/dL (95%CI:-0.86,-0.47). With the increase of PM₁₀ concentration, FPG, TC, LDL-C and HDL-C all showed an upward trend, while TG showed a downward trend. The adverse effects of PM₁₀ on blood glucose and lipid indicators were greater in male and elder people. Findings suggest that PM₁₀ was associated with changed fasting plasma glucose and blood lipid levels among population with different blood glucose states. Male and elder people should pay more attention to personal safety protection.

Key words: PM₁₀; Type 2 diabetes; fasting plasma glucose; blood lipid

随着社会经济的发展,生活方式的改变和人口老龄化,糖尿病已经成为威胁人类生命健康的重要公共卫生问题之一.国际糖尿病联合会(IDF)数据^[1]显示,2021 年全球约 5.37 亿成年人(20~79 岁)患有糖尿病,预计到 2030 年该数字将上升至 6.43 亿,到 2045 年将上升至 7.83 亿;中国糖尿病现患人数为 1.409 亿,位居世界第一.近年来有研究发现,大气颗粒物暴露可增加糖尿病患病率、发病率和死亡率^[2-5].考虑到糖尿病是一种典型的慢性代谢性疾病,血脂和血糖水平异常与其发病密切相关^[6-7].因此从这两个方面探讨大气颗粒物暴露对糖尿病影响的作用机制具有一定的生物学意义.美国一项研究显示 PM₁₀ 暴露可导致总胆固醇(Total cholesterol,TC)、甘油三酯

(Triglyceride,TG)和低密度脂蛋白胆固醇(Low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)显著升高^[8].泰国一项队列研究结果表明,长期暴露于 PM₁₀ 与 LDL-C、空腹血糖(Fasting plasma glucose, FPG)呈正相关,与高密度脂蛋白胆固醇(High density lipoprotein cholesterol, HDL-C)呈负相关^[9].目前对于空气污染与血糖和血脂关联的纵向研究相对有限,且大多是在发达国家及我国东部地区进行,而我国西部地区此类研究相对较少.

金昌市位于中国西北干旱和半干旱区,属大陆

收稿日期: 2021-11-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41705122,41505095)

* 责任作者, 副教授, wangmzh@lzu.edu.cn

性温带干旱气候,常年受沙尘暴天气影响,其地形地貌复杂,南北海拔差达 3000 多米,气候差异较大^[10];

此外,金昌市因矿兴企,金川集团公司镍产量占全国 90%以上,该市是以金川集团公司为依托而发展起来的新型矿业城市,且生产区紧邻生活区^[11].因此,金昌市因自然环境、地理特征和工业污染等因素,其空气污染问题较为突出.2005~2016 年,金昌市首要空气污染物从 SO₂ 转变为 PM₁₀,2010~2014 年,PM₁₀ 年均浓度值超过国家二级空气质量标准,2005~2016 年间 PM₁₀ 浓度总体呈上升趋势^[11-12].

“金昌队列”是以甘肃省金昌市金川集团股份有限公司 5 万职工为基础建立的大样本前瞻性队列^[13].该队列人群 2 型糖尿病和糖尿病前期粗患病率分别为 8.5%和 21.2%,是影响该人群健康的重要疾病之一.因此,本研究将依托“金昌队列”平台,开展大气 PM₁₀ 暴露对人群血糖和血脂指标的影响研究,为进一步揭示 PM₁₀ 致糖尿病的作用机制提供数据支撑.

1 资料与方法

1.1 研究对象

“金昌队列”于 2011~2013 年完成基线调查,随后每两年进行一次随访.本研究以该队列 2011~2017 年纳入的人群为研究对象,剔除家庭住址信息不完整及糖脂代谢指标缺失者,最终纳入 52274 人次,其中基线纳入 24285 人,第一次随访纳入 21703

人,第二次随访纳入 6286 人.本研究由兰州大学公共卫生学院伦理委员会批准(伦理批准代码:2017-01).

1.2 现场调查

1.2.1 流行病学调查 采用自行设计的结构化调查问卷,由统一培训的调查员在获得研究对象知情同意后,以面对面访谈形式开展调查.主要信息包括一般人口社会学特征(性别、年龄、职业、婚姻状况、文化程度、家庭收入等)、生活行为习惯(吸烟、饮酒、体育锻炼等)、既往疾病史(心脑血管疾病史、癌症史和内分泌代谢性疾病史)及疾病家族史等.

1.2.2 健康体检与生化指标检测 研究对象体格检查与生化指标检测由金川公司职工医院专业人员完成.在体检当天采集研究对象空腹静脉血,由 Hitachi 日立公司全自动生化分析仪(型号:7600-020)对 FPG、TC、TG、LDL-C、HDL-C 指标进行检测.

1.3 环境数据来源

1.3.1 大气污染和气象要素 数据来源从金昌市环境监测站收集四个环境监测站点(新川苑、运输部、市科委和公司二招)2011 年 1 月 1 日~2017 年 12 月 31 日逐日 PM₁₀、SO₂ 和 NO₂ 地面监测数据;同时从金昌市气象局采集同期气象观测数据,包括最高气温、最低气温、日平均气温、相对湿度等.采用环境监测站邻近点均值对缺失数据进行填补.以研究对象健康体检时间为匹配变量,匹配体检时间前 7d 大气污染物及气象要素数据的平均值.

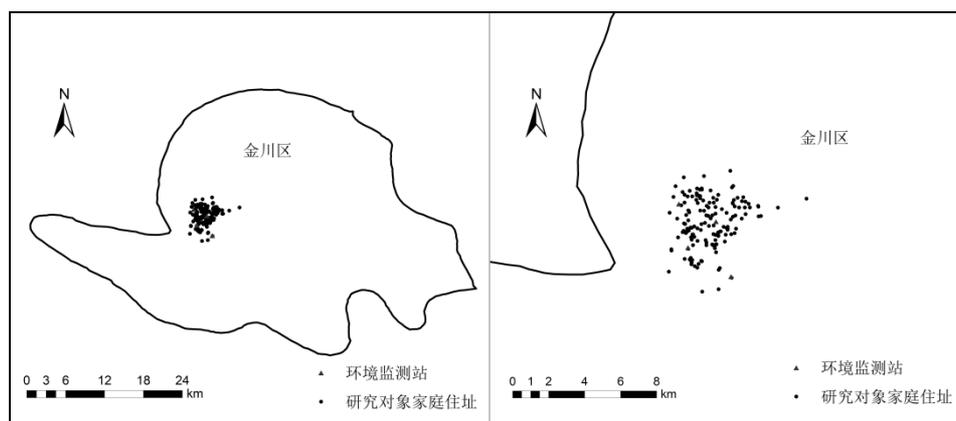


图 1 金昌市 4 个环境污染监测站点和研究对象家庭住址地理分布

Fig.1 Geographical distribution plot of 4 environmental pollutant monitoring stations in Jinchang city and the residential addresses of the research subjects

1.3.2 个体 PM₁₀ 暴露水平估计 本研究应用近邻模型来评估个体暴露水平,该模型的原理是根据个

体住宅最近监测点测量的空气污染水平来评估个体暴露水平^[14-15].根据每一位研究对象家庭住址以

及金昌市 4 个环境监测站点位置,应用 Google 地图软件批量查询每个研究对象居住地点以及 4 个监测站点所处经纬度,利用 ArcGIS10.3 软件分别计算每个研究对象居住点与 4 个监测点的距离,选择距离研究对象最近的监测站点,然后依次匹配环境监测数据,如果在最近的监测站点未获得相关测量数据,则从第 2 相近的站点检测,直到获得确切监测数据来评估个体污染物的暴露^[16]。研究对象与监测点的分布情况如图 1。

1.4 疾病诊断标准

糖尿病:根据美国糖尿病协会指南^[17],将 FPG \geq 7.0mmol/L 或自述临床诊断为糖尿病(需要患者提供具体诊断医院)或正在使用降糖类药物定义为 2 型糖尿病。将空腹血糖受损(5.6mmol/L \leq FPG $<$ 7.0mmol/L)定义为糖尿病前期。

高血压:根据《中国高血压防治指南(2018 修订版)》^[18],将高血压定义为在未服用任何降压药物的情况下,收缩压(SBP) \geq 140mmHg 和(或)舒张压(DBP) \geq 90mmHg;或自述既往有高血压病史;或正在服用降压药物。

血脂异常:根据《中国成人血脂异常防治指南(2016 年修订版)》^[19], TC \geq 5.18mmol/L, TG \geq 1.70mmol/L, LDL-C \geq 3.37mmol/L, HDL-C $<$ 1.04mmol/L, 以及自述临床诊断为血脂异常,符合以上任何一项即诊断为血脂异常。

1.5 统计学分析

计量资料采用均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用方差分析;计数资料以 $n(\%)$ 表示,组间比较采用 χ^2 检验。

采用广义估计方程(Generalized estimating equations, GEE)纵向分析 PM₁₀ 短期暴露对血糖、血脂指标的效应^[20]。模型 1:纳入年龄和性别因素;模型 2:在模型 1 基础上纳入婚姻状况、文化程度、家庭人均月收入、职业、吸烟饮酒状况、体育锻炼、高

血压、BMI、蔬菜水果摄入情况、糖尿病家族史、血脂异常家族史、降脂(糖)药使用情况、血脂(TC、TG、LDL-C 和 HDL-C,对血糖的影响)/FPG(对血脂指标的影响)因素;模型 3:模型 2 基础上纳入 SO₂、NO₂、平均气温、平均相对湿度和季节因素。根据赤池信息准则(Akaike's information criterion, AIC),采用自由度为 4 的自然样条函数调整模型 3 中的平均气温及平均相对湿度从而控制其非线性影响^[21]。运用广义相加混合模型(Generalized additive mixed model, GAMM),调整混杂因素后绘制 PM₁₀ 与血糖和血脂指标间的暴露-反应关系曲线^[22]。此外,按照性别和年龄进行分层分析。

数据分析采用 SPSS24.0 及 R3.6.1 软件。采用双侧检验,检验水准为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基线特征

本研究共纳入基线人群 24285 人,其中血糖正常 17502 人、糖尿病前期 4717 人、2 型糖尿病患者 2066 人。糖尿病患者中男性 1432 人(占 69.31%),女性 634 人(占 30.69%)。血糖正常、糖尿病前期与糖尿病患者平均年龄为(47.96 \pm 8.11),(51.81 \pm 8.84),(55.19 \pm 8.34)岁,平均 BMI 分别为(23.77 \pm 5.61),(25.22 \pm 6.69),(25.81 \pm 7.80)kg/m²,差异有统计学意义。三类人群家庭人均月收入在 5000 元以下、文化程度在初中及以下、职业为工人的占比较高;糖尿病患者吸烟、饮酒、有糖尿病家族史以及患高血压比例分别为 55.52%、31.56%、22.60%和 58.28%,均高于血糖正常与糖尿病前期人群,差异有统计学意义($P<0.001$)。FPG、TC、TG、LDL-C 和 HDL-C 在血糖正常者的平均值分别为 89.42,85.21,32.25,52.88,25.10mg/dL,在糖尿病前期人群中为 107.13,87.99,37.64,51.31,23.64mg/dL,在糖尿病人群中为 163.84,87.69,45.39,50.03,21.88mg/dL(表 1)。

表 1 基线不同糖代谢水平人群的基本特征

Table 1 General characteristics of population with different glucose metabolism levels at baseline

变量		正常	糖尿病前期	2 型糖尿病	<i>P</i>
性别	男	9512(54.35%)	3006(63.73%)	1432 (69.31%)	0.003
	女	7990(45.65%)	1711(36.27%)	634 (30.69%)	
年龄(岁)		47.96 \pm 8.11	51.81 \pm 8.84	55.19 \pm 8.34	<0.001
	<60	15055(86.02%)	3412(72.33%)	1253(60.65%)	<0.001

续表 1

变量	正常	糖尿病前期	2 型糖尿病	P	
	>60	2447(13.98%)	1305(27.67%)	813(39.35%)	
BMI (kg/m ²)		23.77±5.61	25.22±6.69	25.81±7.80	<0.001
	<24.0	10265(58.65%)	1998(42.36%)	703 (34.03%)	
	24~28	5934(33.90%)	2024(42.91%)	1000 (48.40%)	<0.001
	>28.0	1303(7.45%)	695(14.73%)	363 (17.57%)	
家庭人均月收入(元)	<2000	9059(51.76%)	2350(49.82%)	922 (44.63%)	
	2000~4999	8148(46.55%)	2266(48.04%)	1109 (53.68%)	<0.001
	>5000	295(1.69%)	101(2.14%)	35 (1.69%)	
文化水平	初中及以下	7388(42.21%)	2466(52.28%)	1243 (60.16%)	
	高中/中专	5262(30.07%)	1289(27.33%)	489 (23.67%)	<0.001
	本科及以上	4852(27.72%)	962(20.39%)	334 (16.17%)	
职业	干部	2368(13.53%)	593(12.57%)	285 (13.79%)	
	技术人员	578(3.30%)	149(3.16%)	72 (3.48%)	<0.001
	后勤	925(5.29%)	328(6.95%)	197 (9.54%)	
	工人	13631(77.88%)	3647(77.32%)	1512 (73.19%)	
吸烟	否	10034(57.33%)	2461(52.17%)	919 (44.48%)	
	是	7468(42.67%)	2256(47.83%)	1147 (55.52%)	<0.001
饮酒	否	13245(75.68%)	3275(69.43%)	1414 (68.44%)	
	是	4257(24.32%)	1442(30.57%)	652 (31.56%)	<0.001
糖尿病家族史	无	15287(87.34%)	4025(85.33%)	1599 (77.40%)	
	有	2215(12.66%)	692(14.67%)	467 (22.60%)	<0.001
高血压	否	13066(74.65%)	2673(56.67%)	862 (41.72%)	
	是	4436(25.35%)	2044(43.33%)	1204 (58.28%)	<0.001
血糖与血脂	FPG(mg/dL)	89.42±6.98	107.13±8.10	163.84±55.83	<0.001
	TC(mg/dL)	85.21±15.55	87.99±16.80	87.69±18.93	<0.001
	TG(mg/dL)	32.25±24.30	37.64±28.08	45.39±37.13	<0.001
	LDL-C(mg/dL)	52.88±14.96	51.31±17.32	50.03±17.96	<0.001
	HDL-C(mg/dL)	25.10±6.70	23.64±6.57	21.88±5.74	<0.001

注:表中变量表述为“n(%), $\bar{x} \pm s$ ”,n(%)表示各糖代谢状态人群中不同基本特征人群的人数及所占比例。 $\bar{x} \pm s$ 表示各糖代谢状态人群中基本特征为连续型变量时的均数±标准差.mg/dL 为毫克/分升。

2.2 PM₁₀ 对血糖、血脂的影响

如表 2 所示,PM₁₀ 可使人群 FPG、TC、LDL-C 和 HDL-C 水平升高,TG 水平下降.调整混杂因素后,PM₁₀ 浓度每增加一个四分位数间距(Inter-quartile range,IQR),总人群 FPG、TC、LDL-C 和 HDL-C 分别升高 0.58mg/dL (95%CI:0.35,0.82)、0.38mg/dL (95%CI:0.25,0.52)、0.44mg/dL(95%CI: 0.31,0.57)和 0.34mg/dL(95%CI:0.29,0.40),而 TG 降低 0.67mg/dL (95%CI:-0.86,-0.47)。

暴露-反应关系图显示,在调整混杂因素后,总人群与血糖正常人群中,随着 PM₁₀ 浓度的升高,FPG、TC、LDL-C 和 HDL-C 呈上升趋势,TG 呈下降趋势,且 PM₁₀ 对 TC 的暴露-反应关系曲线存在阈值,在 PM₁₀ 浓度为 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,TC 出现较明显拐点;糖尿病前期人群中,TC、LDL-C 和 HDL-C 呈上升趋势,TG 呈下降趋势;糖尿病人群中,FPG、LDL-C 和 HDL-C 呈上升趋势,TG 呈下降趋势。

表 2 PM₁₀ 浓度每增加一个四分位数间距与血糖和血脂变化的关系

Table 2 Changes in blood glucose and blood lipids associated with an IQR increase of PM₁₀ concentration

模型	正常	糖尿病前期	2 型糖尿病	合计
	change (95%CI)	change(95%CI)	change(95%CI)	change(95%CI)
FPG				
模型 1	0.34(0.28,0.40)**	0.07(-0.04,0.19)	1.06(-0.29,2.42)	0.44(0.24,0.64)**
模型 2	0.30(0.24,0.36)**	0.18(0.07,0.30)*	1.11(-0.12,2.33)	0.41(0.20,0.61)**
模型 3	0.22(0.16,0.29)**	0.06(-0.06,0.19)	0.71(-0.68,2.09)	0.58(0.35,0.82)**
TC				
模型 1	0.58(0.44,0.72)**	0.69(0.44,0.94)**	0.50(0.05,0.94)*	0.64(0.52,0.76)**
模型 2	0.46(0.32,0.59)**	0.67(0.42,0.92)**	0.36(-0.09,0.81)	0.56(0.45,0.68)**
模型 3	0.33(0.17,0.49)**	0.40(0.12,0.68)*	0.07(-0.44,0.57)	0.38(0.25,0.52)**
TG				

续表 2

模型	正常	糖尿病前期	2 型糖尿病	合计
	change(95%CI)	change(95%CI)	change(95%CI)	change(95%CI)
模型 1	-0.53(-0.71,-0.35)**	-0.68(-1.04,-0.32)**	-1.63(-2.35,-0.91)**	-0.59(-0.75,-0.43)**
模型 2	-0.74(-0.92,-0.56)**	-0.67(-1.02,-0.32)**	-1.85(-2.57,-1.12)**	-0.78(-0.95,-0.62)**
模型 3	-0.55(-0.76,-0.34)**	-0.85(-1.27,-0.44)**	-1.65(-1.67,-1.64)**	-0.67(-0.86,-0.47)**
LDL-C				
模型 1	1.00(0.87,1.14)**	1.42(1.16,1.67)**	1.42(1.02,1.83)**	1.25(1.13,1.37)**
模型 2	0.88(0.75,1.02)**	1.53(1.28,1.79)**	1.50(1.10,1.91)**	1.16(1.05,1.28)**
模型 3	0.38(0.23,0.52)**	0.35(0.06,0.63)*	0.30(-0.16,0.77)	0.44(0.31,0.57)**
HDL-C				
模型 1	0.37(0.31,0.43)**	0.39(0.29,0.48)**	0.49(0.34,0.65)**	0.40(0.35,0.44)**
模型 2	0.37(0.31,0.43)**	0.42(0.32,0.51)**	0.47(0.32,0.63)**	0.40(0.35,0.45)**
模型 3	0.36(0.29,0.43)**	0.25(0.14,0.35)**	0.34(0.16,0.52)**	0.34(0.29,0.40)**

注:模型1:调整年龄、性别;模型2:模型1+婚姻、文化程度、家庭人均月收入、职业、吸烟饮酒、锻炼、BMI、蔬菜水果摄入情况、高血压、糖尿病家族史、血脂异常家族史、降脂(糖)药使用情况、血脂(对血糖的影响)/FPG(对血脂的影响);模型3:模型2+气温、湿度、NO₂、SO₂和季节。* P<0.05,** P<0.001. change: PM₁₀浓度每增加一个IQR, FPG,TC,TGLDL-C和HDL-C变化情况。

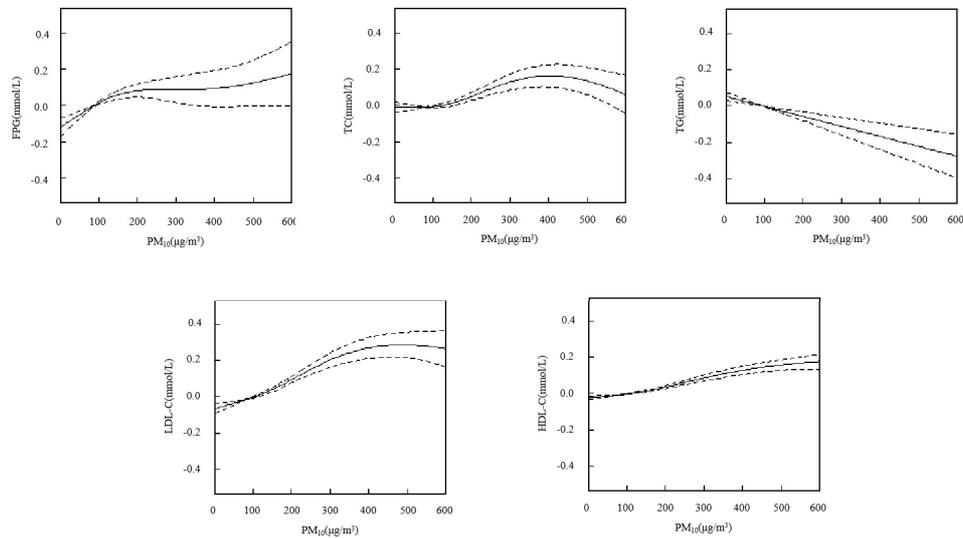


图 2 PM₁₀ 与总人群血糖和血脂的暴露反应关系

Fig.2 Exposure-response relationship between PM₁₀ and blood glucose and lipids in total population

调整因素同表 2 模型 3

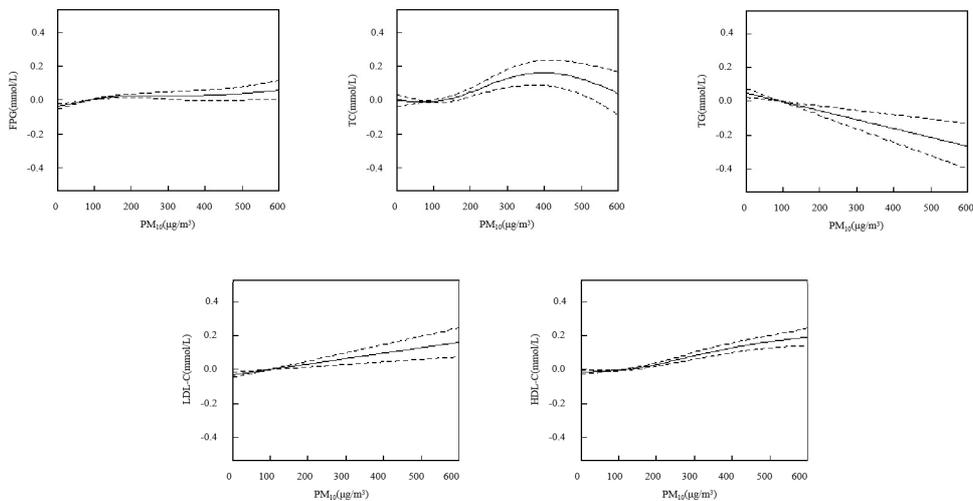


图 3 PM₁₀ 与血糖正常人群血糖和血脂的暴露反应关系

Fig.3 Exposure-response relationship between PM₁₀ and blood glucose and lipids in normoglycemic population

调整因素同表 2 模型 3

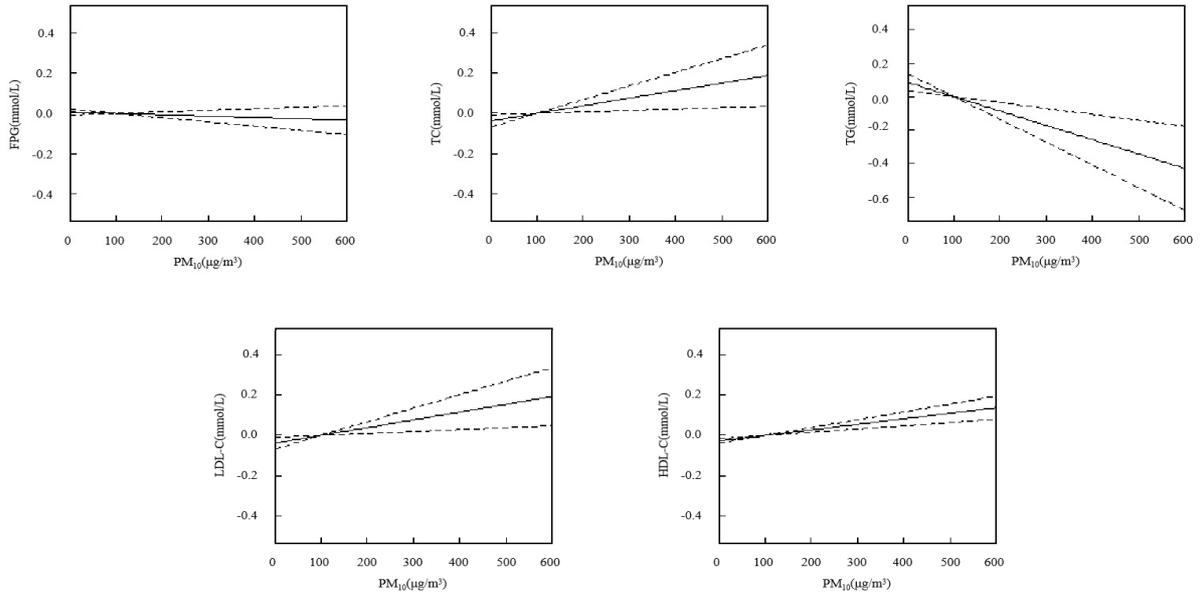


图4 PM₁₀与糖尿病前期人群血糖和血脂的暴露反应关系

Fig.4 Exposure-response relationship between PM₁₀ and blood glucose and lipids in prediabetic population

调整因素同表2模型3

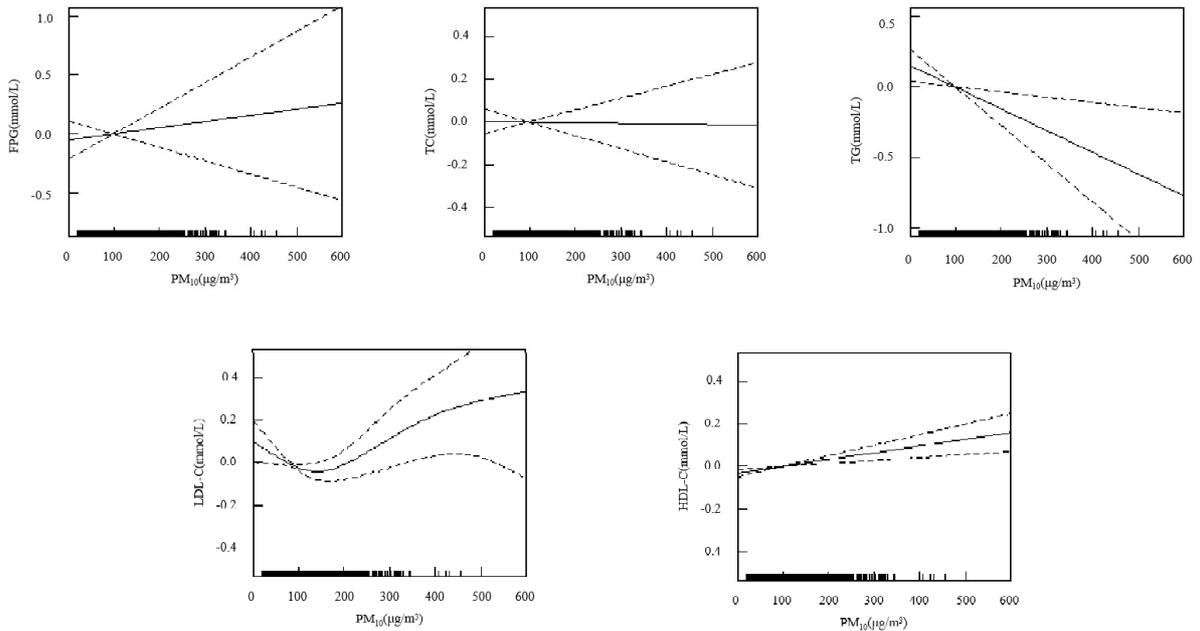


图5 PM₁₀与糖尿病人群血糖和血脂的暴露反应关系

Fig.5 Exposure-response relationship between PM₁₀ and blood glucose and lipids in nondiabetic population

调整因素同表2模型3

2.3 亚组分析

性别分层分析显示,调整潜在混杂因素后,PM₁₀浓度每增加一个 IQR,男性人群 FPG、TC、LDL-C 和 HDL-C 分别升高 0.58mg/dL(95%CI: 0.23, 0.92)、0.37mg/dL(95%CI:0.19,0.54)、0.51mg/dL(95%CI: 0.35, 0.68)和 0.35mg/dL(95%CI:0.28, 0.41), TG 降低 0.80mg/dL(95%CI:-1.08%,-0.52%);

女性人群 FPG、TC、LDL-C 和 HDL-C 分别升高 0.54mg/dL(95%CI:0.26,0.82)、0.42mg/dL(95%CI: 0.20,0.64)、0.27mg/dL(95%CI:0.07,0.47)和 0.30mg/dL(95%CI:0.21,0.39),TG 则降低 0.40mg/dL(95%CI: -0.63,-0.18)(表 3)。

年龄分层分析显示:调整潜在混杂因素后,PM₁₀浓度每增加一个 IQR,年龄<60 岁人群 FPG、TC、

LDL-C 和 HDL-C 分别升高 0.58mg/dL(95%CI:0.33, 0.83)、0.22mg/dL(95%CI:0.08,0.36)、0.19mg/dL(95%CI:0.05,0.32) 和 0.30mg/dL(95%CI:0.24,0.36), TG 则降低 0.76mg/dL(95%CI:-0.98,-0.55);年龄≥60

岁人群 TC、LDL-C 和 HDL-C 分别升高 0.96mg/dL(95%CI:0.56,1.36)、0.66mg/dL(95%CI:0.31,1.01) 和 0.39mg/dL(95%CI:0.25,0.52),FPG 与 TG 的变化无统计学意义(表 3)。

表 3 PM₁₀ 浓度每增加一个四分位间距与不同亚组人群血糖和血脂变化的关系

Table 3 Changes in blood glucose and blood lipids in different subgroups associated with an IQR increase of PM₁₀ concentration

变量	血糖正常	糖尿病前期	2 型糖尿病	合计
	change(95%CI)	change(95%CI)	change(95%CI)	change(95%CI)
FPG				
男性	0.13(0.04,0.22)*	0.01(-0.14,0.15)	0.84(-0.83,2.51)	0.58(0.23,0.92)*
女性	0.32(0.22,0.42)** [#]	0.32(0.08,0.55)** [#]	0.29(-2.11,2.69)	0.54(0.26,0.82)**
<60 岁	0.19(0.12,0.27)**	0.01(-0.12,0.14)	0.09(-1.63,1.80)	0.58(0.33,0.83)**
≥60 岁	0.36(0.14,0.58)*	0.38(0.04,0.73)** [#]	2.40(0.09,4.70)*	0.65(-0.07,1.37)
TC				
男性	0.26(0.04,0.47)*	0.47(0.14,0.80)*	0.16(-0.41,0.73)	0.37(0.19,0.54)**
女性	0.42(0.18,0.66)**	0.14(-0.42,0.70)	-0.23(-1.30,0.85)	0.42(0.20,0.64)**
<60 岁	0.20(0.04,0.37)*	0.26(-0.05,0.57)	-0.16(-0.73,0.4)	0.22(0.08,0.36)*
≥60 岁	0.92(0.39,1.44)** [#]	1.05(0.30,1.80)*	0.48(-0.61,1.57)	0.96(0.56,1.36)** [#]
TG				
男性	-0.69(-1.03,-0.36)** [#]	-0.91(-1.44,-0.39)**	-1.66(-2.71,-0.61)*	-0.80(-1.08,-0.52)** [#]
女性	-0.39(-0.62,-0.16)*	-0.66(-1.28,-0.03)*	-0.97(-2.38,0.45)	-0.40(-0.63,-0.18)**
<60 岁	-0.61(-0.84,-0.39)**	-0.98(-1.44,-0.51)**	-1.70(-2.72,-0.67)*	-0.76(-0.98,-0.55)**
≥60 岁	-0.26(-0.81,0.29)	-0.19(-1.1,0.80)	-1.29(-2.96,0.38)	-0.44(-0.93,0.05)
LDL-C				
男性	0.37(0.17,0.57)**	0.49(0.17,0.82)** [#]	0.58(0.06,1.09)** [#]	0.51(0.35,0.68)** [#]
女性	0.34(0.13,0.56)*	-0.08(-0.67,0.51)	-0.77(-1.68,0.15)	0.27(0.07,0.47)*
<60 岁	0.15(-0.01,0.30)	0.11(-0.21,0.42)	0.21(-0.33,0.75)	0.19(0.05,0.32)*
≥60 岁	0.57(0.10,1.03)*	1.20(0.51,1.89)** [#]	-0.11(-1.00,0.79)	0.66(0.31,1.01)** [#]
HDL-C				
男性	0.37(0.28,0.46)**	0.24(0.12,0.36)**	0.37(0.17,0.58)**	0.35(0.28,0.41)**
女性	0.33(0.22,0.43)**	0.25(0.06,0.44)*	0.18(-0.18,0.53)	0.30(0.21,0.39)**
<60 岁	0.31(0.23,0.38)**	0.23(0.12,0.34)**	0.32(0.11,0.53)*	0.30(0.24,0.36)**
≥60 岁	0.43(0.24,0.61)**	0.26(0.03,0.50)*	0.36(0.02,0.70)*	0.39(0.25,0.52)**

注:调整因素同表 2 模型 3,* P<0.05,** P<0.001,[#]:亚组间差异有统计学意义。change: PM₁₀ 浓度每增加一个 IQR, FPG,TC,TG,LDL-C 和 HDL-C 变化情况。

3 讨论

本研究以金昌队列人群为研究对象,采用纵向研究揭示了 PM₁₀ 短期暴露可引起不同血糖代谢状态人群空腹血糖和血脂水平紊乱,其中与 FPG、TC、LDL-C 及 HDL-C 呈正相关,与 TG 呈负相关,男性和 ≥60 岁者易感性较高。

3.1 PM₁₀ 可导致人群血糖和血脂水平异常

我国一项基于开滦队列的研究数据表明,PM₁₀ 浓度每增加 100μg/m³,FPG 增加 0.11mmol/L(95%CI: 0.07,0.15)^[20];欧洲 Lifelines 队列研究结果显示,PM₁₀ 浓度与 FPG 水平升高显著相关^[23];这与本研究结果一致。台湾一项研究表明,PM₁₀ 每增加一个

IQR,TG 升高 2.96mg/dL(95%CI:-0.07,5.99), HDL-C 降低 0.90mg/dL(95%CI:-1.46,-0.34)^[24]。河南省农村的一项队列研究表明,较高浓度的 PM₁₀ 暴露导致 TC 和 LDL-C 升高,使 TG 和 HDL-C 降低^[25]。伊朗一项研究结果显示,空气质量指数(AQI)与 TC、LDL-C 和 TG 呈显著正相关,与 HDL-C 呈负相关^[26]。以色列南部的一项回顾性队列研究发现,PM₁₀ 中期暴露致使 FPG 升高 0.30%(95%CI:0.15,0.45),LDL-C 升高 2.32%(95%CI:2.15,2.49),TG 升高 0.23%(95%CI: 0.02,0.42),HDL-C 降低 1.13%(95%CI:-1.23,-1.03);但急性暴露于 PM₁₀ 与 FPG、TG、LDL-C 及 HDL-C 之间没有关联^[27]。一项对儿童和青少年的研究表明,PM₁₀ 暴露与 TC、HDL-C 水平呈正相关^[28]。交通

相关污染物与 LDL-C 和 TG 之间有显著正向关联^[29]。以上研究在 TC 与 LDL-C 的变化趋势上与本研究结果一致,但 TG 与 HDL-C 的变化存在差异。

空气污染导致血糖和血脂指标异常的生物学机制尚不十分清楚,但有研究提出了以下几种可能的途径。一些研究表明,吸入空气颗粒物会引发炎症反应、氧化应激及自主神经失衡,进而影响胰岛素抵抗水平、脂质代谢及氧化,最终导致血脂代谢紊乱和高血糖^[26,30-33]。实验研究也发现空气污染物还可能通过降低 DNA 甲基转移酶的活性而导致异常的 DNA 甲基化,从而影响脂质代谢与炎症反应^[34-35]。

3.2 不同血糖代调整混杂因素后,谢状态对 PM₁₀ 暴露效应存在差异

本研究发现,调整混杂因素后,血糖正常人群中 PM₁₀ 暴露对血糖及血脂指标均有影响,糖尿病前期人群中 PM₁₀ 与 FPG 无关联,糖尿病人群中 PM₁₀ 对 FPG、TG 和 LDL-C 的效应均无统计学意义;NHIS-NSC 队列研究表明^[36],PM_{2.5} 暴露对 FPG 或 LDL-C 水平异常者的 FPG 和 LDL-C 影响无统计学意义,但在指标正常者中 PM_{2.5} 与 FPG 和 LDL-C 水平显著相关。可能是因为糖尿病前期及糖尿病人群存在不同程度糖代谢与脂代谢紊乱,从而对外环境暴露的敏感性降低。

3.3 男性和老年人的易感性较高

男性、年龄≥60 岁者更容易受到 PM₁₀ 的不良影响。相关队列研究 meta 分析结果显示,长期暴露于空气污染中,女性患 2 型糖尿病的风险高于男性^[37]。石家庄一项研究结果表明,在老年人群中空气污染对血脂水平异常的影响更明显^[38]。美国一项研究表明,年龄没有显著改变 PM₁₀ 与 TC、TG 的关联,PM₁₀ 与 TG 和 TC 相关性在男性中更强^[8]。Sørensen 等^[39]研究发现,在年龄和性别分层分析中,PM_{2.5} 对 TC 的影响没有差异。由此可见,大气颗粒物暴露对不同性别和年龄人群的影响存在异质性。男性不良健康生活方式的暴露相比女性更加显著,如吸烟、饮酒、缺乏锻炼、摄入高糖、高脂的食物等,这可能会引发全身炎症和氧化应激^[40];此外,本研究中男性工人占比较高,工人从事重体力活动可增加肺活量,在相同的环境浓度下,体力活动者的肺组织对颗粒物的暴露水平更高。老年人群的生理机能不断退化,代谢性疾病、心血管疾病与呼吸系统疾病患病率高,因此更易

受到空气污染的影响;此外,老年人群的某些社会学特征能间接影响空气污染物的健康效应,研究显示^[41],老年人因缺乏健康素养,导致医疗卫生服务利用水平较低,可能会加剧空气污染物对血脂和血糖代谢的不利影响。

3.4 局限性

尽管本研究基于大样本队列人群,探讨短期暴露于大气 PM₁₀ 对人群血糖和血脂的影响,发现了有意义的研究结果,但仍存在一定的局限性,首先,未纳入 PM_{2.5} 与 O₃ 作为混杂因素。其次,因为空气污染数据收集的局限性,没有考虑人群流动性所造成的暴露,只是根据个体住宅最近监测点测量的空气污染水平来评估个体暴露水平,无法测量工作环境和室外活动的颗粒物暴露,这可能导致 PM₁₀ 的健康效应被低估,需要在未来实施进一步的研究。最后,尽管本研究调整了潜在混杂因素,但是仍存在一些无法衡量的残余混杂,包括绿化状况、交通相关污染物和噪声暴露等。

4 结论

4.1 大气 PM₁₀ 每增加一个四分位数间距,可导致总人群 FPG、TC、LDL-C 及 HDL-C 分别升高 0.58mg/dL、0.38mg/dL、0.44mg/dL 和 0.34mg/dL, TG 降低 0.67mg/dL;血糖正常人群 FPG、TC、LDL-C 及 HDL-C 分别升高 0.22mg/dL、0.33mg/dL、0.38mg/dL 和 0.36mg/dL, TG 降低 0.55mg/dL;糖尿病前期人群 TC、LDL-C 及 HDL-C 分别升高 0.40mg/dL、0.35mg/dL 和 0.25mg/dL, TG 降低 0.85mg/dL;糖尿病人群 HDL-C 升高 0.34mg/dL, TG 降低 1.65mg/dL。

4.2 性别与年龄分层分析结果提示,男性、年龄>60 岁者对 PM₁₀ 暴露较为敏感。

4.3 暴露-反应关系曲线表明,随着 PM₁₀ 浓度升高, FPG、TC、LDL-C 及 HDL-C 呈上升趋势, TG 呈下降趋势。因此,加强环境保护和治理,减轻空气污染对人体的危害,降低与空气污染有关的糖尿病发病率具有重要意义。

参考文献:

- [1] IDF Diabetes Atlas: Diabetes around the world in 2021. International Diabetes Federation [EB/OL]. <http://www.diabetesatlas.org/>, [2021-

- 12-06/2022-04-11].
- [2] Eze I C, Schaffner E, Fischer E, et al. Long-term air pollution exposure and diabetes in a population-based Swiss cohort [J]. *Environment International*, 2014,70:95-105.
- [3] Strak M, Janssen N, Beelen R, et al. Long-term exposure to particulate matter, NO₂ and the oxidative potential of particulates and diabetes prevalence in a large national health survey [J]. *Environment International*, 2017,108:228-236.
- [4] Liu C, Yang C, Zhao Y, et al. Associations between long-term exposure to ambient particulate air pollution and type 2 diabetes prevalence, blood glucose and glycosylated hemoglobin levels in China [J]. *Environment International*, 2016,92-93:416-421.
- [5] Liang F, Yang X, Liu F, et al. Long-term exposure to ambient fine particulate matter and incidence of diabetes in China: A cohort study [J]. *Environment International*, 2019,126:568-575.
- [6] Cui J, Sun J, Wang W, et al. The association of triglycerides and total cholesterol concentrations with newly diagnosed diabetes in adults in China [J]. *Oncotarget*, 2017,8(61):103477-103485.
- [7] Moro E, Gallina P, Pais M, et al. Hypertriglyceridemia is associated with increased insulin resistance in subjects with normal glucose tolerance: Evaluation in a large cohort of subjects assessed with the 1999 World Health Organization criteria for the classification of diabetes [J]. *Metabolism*, 2003,52(5):616-619.
- [8] Shanley R P, Hayes R B, Cromar K R, et al. Particulate air pollution and clinical cardiovascular disease risk factors [J]. *Epidemiology*, 2016,27(2):291-298.
- [9] Paooin K, Ueda K, Vathesatogkit P, et al. Long-term air pollution exposure and serum lipids and blood sugar: A longitudinal cohort study from the electricity generating authority of Thailand study [J]. *Atmospheric Environment*, 2021,236:113790.
- [10] 冉利群. 金昌市人居环境空气质量评价及预测研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
Ran L Q. The assessment and prediction of living environmental air quality in Jinchang City [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2013.
- [11] 王文路. 甘肃省城市环境空气质量 2005~2014 年(10 年)变化趋势研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
Wang W L. The change trend of urban ambient air quality from 2005 to 2014 (10years) in Gansu Province [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2016.
- [12] 丁杰萍, 张亚群, 周静, 等. 甘肃省主要城市环境空气质量变化趋势分析研究 [J]. *甘肃科技*, 2018,34(14):1-4,128.
Ding J P, Zhang Y Q, Zhou J, et al. Trend analysis of environmental air quality in major cities in Gansu Province [J]. *Gansu Science and Technology*, 2018,34(14):1-4,128.
- [13] Bai Y, Yang A, Pu H, et al. Cohort profile: The China metal-exposed workers cohort study (Jinchang cohort) [J]. *International Journal of Epidemiology*, 2017,46(4):1095-1096.
- [14] Xu X, Hu H, Ha S, et al. Ambient air pollution and hypertensive disorder of pregnancy [J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2014,68(1):13-20.
- [15] 曹蕾, 王婷, 王丽君, 等. 邯郸市妇女空气污染暴露与妊娠期高血压 [J]. *中国环境科学*, 2021,21(2):161-164.
Cao L, Wang T, Wang L J, et al. Maternal exposure to ambient air pollution and gestational hypertension in Handan [J]. *China Environmental Science*, 2021,21(2):161-164.
- [16] 施淼, 刘超斌, 陈晓秋, 等. 大气可吸入颗粒物暴露致胎儿畸形的病例对照研究 [J]. *中华围产医学杂志*, 2013,16(4):200-205.
Shi M, Liu C B, Chen X Q, et al. Fetal congenital deformity resulting from ambient inhalable particulate matters: A case-control study [J]. *Chinese Journal of Perinatal Medicine*, 2013,16(4):200-205.
- [17] American Diabetes Association 2. Classification and diagnosis of diabetes: standards of medical care in diabetes-2019 [J]. *Diabetes Care*, 2019,42(Suppl 1):S13-S28.
- [18] 刘力生. 中国高血压防治指南(2018 年修订版) [J]. *中国心血管杂志*, 2019,24(1):24-55.
Liu L S. 2018 Chinese guidelines for the management of hypertension [J]. *Chinese Journal of Cardiovascular Medicine*, 2019,24(1):24-55.
- [19] 诸骏仁, 高润霖, 赵水平, 等. 中国成人血脂异常防治指南(2016 年修订版) [J]. *中国循环杂志*, 2016,31(10):937-953.
Chu J R, Gao R L, Zhao S P. 2016 Chinese guidelines for the management of dyslipidemia in adults [J]. *Chinese Circulation Journal*, 2016,31(10):937-953.
- [20] Chen L, Zhou Y, Li S, et al. Air pollution and fasting blood glucose: A longitudinal study in China [J]. *Science of The Total Environment*, 2016,541:750-755.
- [21] Guo P, Feng W, Zheng M, et al. Short-term associations of ambient air pollution and cause-specific emergency department visits in Guangzhou, China [J]. *Science of The Total Environment*, 2018,613-614:306-313.
- [22] Zhang W, Wang Y, Li W, et al. The Association between the baseline and the change in neutrophil-to-lymphocyte ratio and short-term mortality in patients with acute respiratory distress syndrome [J]. *Frontiers in Medicine*, 2021,8:636869.
- [23] Cai Y, Hansell A L, Blangiardo M, et al. Long-term exposure to road traffic noise, ambient air pollution, and cardiovascular risk factors in the HUNT and lifelines cohorts [J]. *European Heart Journal*, 2017,38(29):2290-2296.
- [24] Chuang K J, Yan Y H, Cheng T J. Effect of air pollution on blood pressure, blood lipids, and blood sugar: A population-based approach [J]. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 2010,52(3):258-262.
- [25] Mao S, Chen G, Liu F, et al. Long-term effects of ambient air pollutants to blood lipids and dyslipidemias in a Chinese rural population [J]. *Environmental Pollution*, 2020,256(C):113403.
- [26] Poursafa P, Mansourian M, Motlagh M E, et al. Is air quality index associated with cardiometabolic risk factors in adolescents? The CASPIAN-III Study [J]. *Environmental Research*, 2014,134:105-109.
- [27] Yitshak Sade M, Kloog I, Liberty I F, et al. The association between air pollution exposure and glucose and lipids levels [J]. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 2016,101(6):2460-2467.
- [28] Gui Z H, Yang B Y, Zou Z Y, et al. Exposure to ambient air pollution and blood lipids in children and adolescents: A national population based study in China [J]. *Environmental Pollution*, 2020,266(Pt 3):115422.
- [29] Bind M A, Peters A, Koutrakis P, et al. Quantile regression analysis of the distributional effects of air pollution on blood pressure, heart rate

- variability, blood lipids, and biomarkers of inflammation in elderly American men: The normative aging study [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2016,124(8):1189-1198.
- [30] Rajagopalan S, Brook R D. Air pollution and type 2diabetes: Mechanistic insights [J]. *Diabetes*, 2012,61(12):3037-3045.
- [31] Bourdrel T, Bind M A, Bejot Y, et al. Cardiovascular effects of air pollution [J]. *Archives of Cardiovascular Diseases*, 2017,110(11):634-642.
- [32] Yang B Y, Bloom M S, Markevych I, et al. Exposure to ambient air pollution and blood lipids in adults: The 33Communities Chinese Health Study [J]. *Environment International*, 2018,119:485-492.
- [33] Brook R D, Rajagopalan S, Pope C A, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association [J]. *Circulation*, 2010,121(21):2331-2378.
- [34] Chen R, Meng X, Zhao A, et al. DNA hypomethylation and its mediation in the effects of fine particulate air pollution on cardiovascular biomarkers: A randomized crossover trial [J]. *Environment International*, 2016,94:614-619.
- [35] Li H, Chen R, Cai J, et al. Short-term exposure to fine particulate air pollution and genome-wide DNA methylation: A randomized, double-blind, crossover trial [J]. *Environment International*, 2018,120:130-136.
- [36] Shin W Y, Kim J H, Lee G, et al. Exposure to ambient fine particulate matter is associated with changes in fasting glucose and lipid profiles: A nationwide cohort study [J]. *BMC Public Health*, 2020,20(1):430.
- [37] Wang B, Xu D, Jing Z, et al. Effect of long-term exposure to air pollution on type 2diabetes mellitus risk: A systemic review and meta-analysis of cohort studies [J]. *European Journal of Endocrinology*, 2014,171(5):R173-182.
- [38] Zhang K, Wang H, He W, et al. The association between ambient air pollution and blood lipids: A longitudinal study in Shijiazhuang, China [J]. *Science of The Total Environment*, 2021,752:141648.
- [39] Sorensen M, Hjortebjerg D, Eriksen K T, et al. Exposure to long-term air pollution and road traffic noise in relation to cholesterol: A cross-sectional study [J]. *Environment International*, 2015,85:238-243.
- [40] Lin H, Guo Y, Zheng Y, et al. Long-term effects of ambient PM_{2.5} on hypertension and blood pressure and attributable risk among older chinese adults [J]. *Hypertension*, 2017,69(5):806-812.
- [41] Zhang X, Yu B, He T, et al. Status and determinants of health services utilization among elderly migrants in China [J]. *Global Health Research and Policy*, 2018,3(6):8.

作者简介: 贺颖倩(1998-),女,四川达州人,兰州大学硕士研究生,主要从事环境流行病学研究.