

中华预防医学会科学技术奖项目公示内容

一、项目名称：空气污染发育及代谢毒性的分子机制解析及防控策略研究

二、推荐单位及推荐意见

推荐单位：上海市预防医学会

推荐意见：项目围绕空气污染的人群健康影响，通过整合人群流行病学研究、动物实验及分子机制探索，系统揭示了PM_{2.5}与O₃暴露对发育和代谢健康的复杂影响及其生物学通路，并提出了针对性的综合防治策略。该成果的创新点包括：开发高精度PM_{2.5}和O₃浓度时空预测模型；系统评估空气污染的发育和代谢毒性效应；发现了分子靶点IKK及miR-146a-5p并用于综合防治策略。研究成果发表在Environ Health Perspect、Part Fibre Toxicol、Environ Sci Technol等高水平期刊，20篇代表作被引用923次，其中中科院1区10篇，WOS高被引1篇，出版1部科普读物，获得1项软件著作权登记，成果应用推广至我国多地区的多家卫生机构的健康教育和医师专题培训，为环境健康风险管理及精准干预提供了重要科学依据。同意推荐2025年中华预防医学会科学技术奖。

三、项目简介(项目简要介绍，技术路线，创新点及项目产出)

随着全球工业化和城市化进程加速，空气污染对公共健康的威胁日益凸显，其中细颗粒物(PM_{2.5})和臭氧(O₃)因其强氧化性与穿透性，成为影响代谢功能、生殖健康的关键环境风险因子。本项目通过开展人群流行病学队列研究、多组学数据整合分析以及动物细胞实验

验证，系统揭示了 $PM_{2.5}$ 与 O_3 暴露对发育和代谢健康的复杂影响及其生物学机制，并提出了针对性的综合防治策略，为环境健康风险管理与精准干预提供了重要科学依据。主要创新成果包括：

1. 开发了基于卫星遥感与地面监测的高精度 $PM_{2.5}$ 和 O_3 浓度时空预测模型，结合个体监测，综合评估了我国长三角地区人群空气污染暴露状况；并首次量化了长三角地区实施蓝天保卫战期间 O_3 浓度时空分布及人群健康效益，发现该地区暖季 O_3 浓度改善所带来的健康经济收益为 261.98 亿元，占国民生产总值的 0.11%，与 O_3 主要前体物削减成本相比，费效比为 1:1.67-3.23。

2. 系统评估空气污染暴露的发育及代谢毒性效应，发现孕期 $PM_{2.5}$ 暴露显著增加妊娠高血压、子痫前期及妊娠糖尿病风险，且 O_3 暴露独立影响孕妇血压调节与胎儿生长轨迹； $PM_{2.5}$ 暴露通过干扰母体甲状腺功能、诱导胎盘氧化应激及表观遗传异常，导致胎儿生长受限与神经发育延迟，并干扰糖脂代谢增加成年期糖尿病、胰岛素抵抗、非酒精性脂肪肝的患病风险。研究还明确了性别差异与暴露窗口期对健康效应的调控作用，为高危人群精准防护提供了理论指导。

3. 揭示空气污染发育及代谢毒性的多维机制，发现 $PM_{2.5}$ 暴露通过激活下丘脑 $IKK\beta/NF-\kappa B$ 炎症通路加剧胰岛素抵抗，并破坏肝脏脂质稳态，表现为脂肪酸合成增强与 β 氧化抑制的“双刃剑”效应，且雄性个体更易出现肝脂代谢紊乱；长期暴露可干扰骨细胞分化与矿化平衡，导致骨密度下降； $PM_{2.5}$ 无机组分（黑碳、重金属）可经胎盘转移，通过氧化应激与 DNA 甲基化修饰干扰胎儿编程，并通过胎盘小细胞外

囊泡来源 miRNA 影响胎儿神经发育。

4. 建立空气污染的综合防治策略，发现靶向抑制中枢炎症通路（如 IKK2 抑制剂）或补充维生素 D 可部分逆转 PM_{2.5} 诱导的糖脂代谢异常；在暴露管理层面，孕早期加强 PM_{2.5} 防护可使胎儿出生体重增加 8%-12%，室内空气净化设备可显著降低妊娠期代谢紊乱风险。

本成果首次阐明了 PM_{2.5} 与 O₃ 通过多维机制影响代谢与发育，研究成果发表在 *Environ Health Perspect*、*Part Fibre Toxicol*、*Environ Sci Technol* 等高水平期刊，20 篇代表作被引用 923 次，其中中科院 1 区 10 篇，WOS 高被引 1 篇，出版 1 部科普读物《霾单》，获得 1 项软件著作权登记“环境空气质量标准数据集平台”。研究成果应用推广至我国多地区卫生机构的健康教育和医师专题培训，实现基于人群风险分层的环境健康管理范式创新，助力空气污染的精准防控。

四、主要支撑材料目录（被引用论文题目及作者）

1. Ge Q, Yang S, Qian Y, Chen J, Yuan W, Li S, Wang P, Li R, Zhang L, Chen G, Kan H, Rajagopalan S, Sun Q, Zheng HF, Jin H, Liu C. Ambient PM_{2.5} Exposure and Bone Homeostasis: Analysis of UK Biobank Data and Experimental Studies in Mice and in Vitro. *Environ Health Perspect*. 2023;131(10):107002.
2. Hu R, Zhang L, Qin L, Ding H, Li R, Gu W, Chen R, Zhang Y, Rajagopalan S, Zhang K, Sun Q, Liu C. Airborne PM_{2.5} pollution: A double-edged sword modulating hepatic lipid metabolism in middle-aged male mice. *Environ Pollut*. 2023;324:121347.
3. Cheng YK, Wang PP, Zhang LY, Shi HJ, Li JF, Meng X, Xiao XR, Dai HX, Zhang YH. Ozone exposure during pregnancy and risk of gestational hypertension or preeclampsia in China. *JAMA Netw Open*. 2023; 6(4): e236347.
4. Zhang LY, Wang PP, Zhou YH, Cheng YK, Li JL, Xiao XR, Yin CM, Li JF, Meng X, Zhang YH. Associations of ozone exposure with gestational diabetes mellitus and glucose homeostasis: Evidence from a birth cohort in Shanghai, China. *Sci Total Environ*. 2023; 857: 159184.
5. 程育恺, 戴海夏, 张蕴晖*, 乔利平, 马英歌, 安静宇, 黄成. 长三角地区2017-2020

年臭氧浓度时空分布与人群健康效益评估. 环境科学. 2023, 44(2): 719-729.

6. Li R, Peng J, Zhang W, Wu Y, Hu R, Chen R, Gu W, Zhang L, Qin L, Zhong M, Chen LC, Sun Q, Liu C. Ambient fine particulate matter exposure disrupts placental autophagy and fetal development in gestational mice. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2022;239:113680.
7. Wang PP, Zhou YH, Zhao YY, Zhao WX, Wang H, Li JH, Zhang LY, Wu M, Xiao XR, Shi HJ, Ma WJ, Zhang YH. Prenatal fine particulate matter exposure associated with placental small extracellular vesicle derived microRNA and child neurodevelopmental delays. *Sci Total Environ.* 2022; 841: 156747.
8. Zhou YH, Zhu QQ, Wang PP, Li JL, Luo RR, Zhao WX, Zhang LY, Shi HJ, Zhang YH. Early pregnancy PM_{2.5} exposure and its inorganic constituents affect fetal growth by interrupting maternal thyroid function. *Environ Pollut.* 2022; 307: 119481.
9. Li JL, Xiao XR, Wang PP, Meng X, Zhou YH, Shi HJ, Yin CM, Zhang YH. PM_{2.5} exposure and maternal glucose metabolism in early pregnancy: associations and potential mediation of 25-hydroxyvitamin D. *Ecotoxicol Environ Safe.* 2021; 224: 112645.
10. Meng X, Liu C, Zhang LN, Wang WD, Stowell J, Kan HD, Liu Y. Estimating PM_{2.5} concentrations in Northeastern China with full spatiotemporal coverage, 2005-2016. *Remote Sens Environ.* 2021;253:112203.
11. Zhao YY, Wang PP, Zhou YH, Xia B, Zhu QY, Ge WZ, Li JL, Shi HJ, Xiao XR, Zhang YH. Prenatal fine particulate matter exposure, placental DNA methylation changes, and fetal growth. *Environ Int.* 2021; 147: 106313.
12. Li R, Wang Y, Hou B, Lam SM, Zhang W, Chen R, Shui G, Sun Q, Qiang G, Liu C. Lipidomics insight into chronic exposure to ambient air pollution in mice. *Environ Pollut.* 2020 ;262:114668.
13. Li R, Sun Q, Lam SM, Chen R, Zhu J, Gu W, Zhang L, Tian H, Zhang K, Chen LC, Sun Q, Shui G, Liu C. Sex-dependent effects of ambient PM_{2.5} pollution on insulin sensitivity and hepatic lipid metabolism in mice. *Part Fibre Toxicol.* 2020;17(1):14.
14. Xia B, Zhou YH, Zhu QY, Zhao YY, Wang Y, Ge WJ, Yang Q, Zhao Y, Wang PP, Si JY, Li JL, Shi HJ, Zhang YH. Personal exposure to PM_{2.5} constituents associated with gestational blood pressure and endothelial dysfunction. *Environ Pollut.* 2019; 250: 346-356.
15. Sun Q, Zhang G, Chen R, Li R, Wang H, Jiang A, Li Z, Kong L, Fonken LK, Rajagopalan S, Sun Q, Liu C. Central IKK2 Inhibition Ameliorates Air Pollution-Mediated Hepatic Glucose and Lipid Metabolism Dysfunction in Mice With Type II Diabetes. *Toxicol Sci.* 2018;164(1):240-249.
16. Liu C, Xu X, Bai Y, Zhong J, Wang A, Sun L, Kong L, Ying Z, Sun Q, Rajagopalan S. Particulate Air pollution mediated effects on insulin resistance in mice are independent of CCR2. *Part Fibre Toxicol.* 2017;14(1):6.
17. Chen R, Qiao L, Li H, Zhao Y, Zhang Y, Xu W, Wang C, Wang H, Zhao Z, Xu X, Hu H, Kan H. Fine particulate matter constituents, nitric oxide synthase DNA methylation and exhaled nitric oxide. *Environ Sci Technol.* 2015; 49(19): 11859-11865.

18. Liu C, Fonken LK, Wang A, Maiseyeu A, Bai Y, Wang TY, Maurya S, Ko YA, Periasamy M, Dvonch T, Morishita M, Brook RD, Harkema J, Ying Z, Mukherjee B, Sun Q, Nelson RJ, Rajagopalan S. Central IKK β inhibition prevents air pollution mediated peripheral inflammation and exaggeration of type II diabetes. Part Fibre Toxicol. 2014;11:53.
19. Liu C, Bai Y, Xu X, Sun L, Wang A, Wang TY, Maurya SK, Periasamy M, Morishita M, Harkema J, Ying Z, Sun Q, Rajagopalan S. Exaggerated effects of particulate matter air pollution in genetic type II diabetes mellitus. Part Fibre Toxicol. 2014;11:27.
20. Liu C, Xu X, Bai Y, Wang TY, Rao X, Wang A, Sun L, Ying Z, Gushchina L, Maiseyeu A, Morishita M, Sun Q, Harkema JR, Rajagopalan S. Air pollution-mediated susceptibility to inflammation and insulin resistance: influence of CCR2 pathways in mice. Environ Health Perspect. 2014;122(1):17-26.

五、主要完成人及完成单位情况

排名	姓名	单位
1	张蕴晖	复旦大学
2	刘翠清	浙江中医药大学
3	史慧静	复旦大学
4	戴海夏	上海市环境科学研究院
5	李冉	浙江中医药大学
6	孟夏	复旦大学
7	王彭彭	复旦大学
8	赵迎亚	复旦大学
9	杨青	上海市松江区妇幼保健院
10	张李一	复旦大学
11	胡人杰	浙江中医药大学
12	马文娟	复旦大学

六、主要完成单位及排名情况

排名	单位名称
1	复旦大学
2	浙江中医药大学
3	上海市环境科学研究院
4	上海市松江区妇幼保健院

公示单位：上海市预防医学会 签章



2025年4月23日