

专家介绍



徐健,儿科学博士,主任医师,教授,博士生导师,现任中国福利会/上海交通大学医学院附属国际和平妇幼保健院儿保康复科主任,上海市胚胎源性疾病重点实验室 PI,上海交大医学院公共卫生学院兼职教授及宋庆龄儿童发展中心兼职教授等。曾入选上海市科委“启明星”人才计划、上海市教委“研究型医师”人才计划、上海市东方英才计划拔尖项目等。研究聚焦于生命早期环境对儿童神经认知行为发育的影响,致力于儿童保健和环境健康交叉领域的重点和难点问题,长期进行儿童环境暴露、儿童重金属及微量元素营养、儿童神经行为发育障碍的研究。在 SCI 期刊及核心期刊发表百余篇中英文论文、发表 10 本领域内学术专著及主持数十项国家级和省部级科研项目等。

新时代背景下儿童环境暴露的特点及应对策略

徐健^{1,2,3}

1. 上海交通大学医学院附属国际和平妇幼保健院儿保康复科,上海 200030; 2. 上海市胚胎源性疾病重点实验室,上海 200030; 3. 上海交通大学医学院公共卫生学院妇女儿童健康系,上海 200025

摘要: 儿童处于生长发育的关键期,身心发育未成熟,从生理和行为层面来说,儿童对不良环境暴露极为易感。在快速城市化、新型工业化与数字化网络化深度交织的新时代背景下,儿童在“物理-化学-社会”环境暴露中呈现出广泛低水平暴露和点源性高水平暴露的特点,新环境污染物层出不穷。主要的暴露因素包括夜间光污染、噪声等物理性因素;重金属、多环芳烃、多氯联苯等传统化学污染物及全氟化合物、微塑料等新污染物;以及妊娠期压力、育儿压力、电子媒介高暴露等社会性因素。我国的儿童环境健康应对体系还有待完善。新时代背景下,未来需推动多学科交叉融合,促进全面(政府监管、家校医协同应对等)、精准(精准评估暴露风险、暴露源和暴露水平)、动态的应对策略,并进一步通过高质量研究阐明新污染物与复合暴露的健康效应及机制,为循证决策提供证据支撑。

关键词: 环境暴露; 健康; 新时代; 应对策略; 儿童

中图分类号: R179 文献标识码: A 文章编号: 1008-6579(2026)07-0712-06 doi:10.11852/zgetbjz2026-0117

Characteristics and coping strategies of childhood environmental exposure in the new era

XU Jian^{1,2,3}

1. Department of Children's Healthcare, International Peace Maternity & Child Health Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200030, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Embryo Original Diseases, Shanghai 200030, China; 3. Department of Women's and Children's Health, School of Public Health, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China

Abstract: Children are in a critical period of growth and development, and their physical and mental functions remain immature. From both physiological and behavioral perspectives, children are highly susceptible to adverse environmental exposures. In the new era shaped by rapid urbanization, new industrialization, and the deep integration of digitalization and networking, children experience multidimensional physical-chemical-social exposures characterized by widespread low-level exposure alongside localized high-level point-source exposure, with emerging environmental contaminants continuously increasing. Major exposure factors include physical stressors such as artificial light at night and noise; chemical pollutants including traditional chemical contaminants (e.g., heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons, and polychlorinated biphenyls) as well as emerging contaminants (e.g., perfluorinated compounds and microplastics); and social stressors such

基金项目: 国家自然科学基金(82473657); 2025 上海市东方英才计划拔尖项目(2025067)

as prenatal maternal stress, parenting stress, and pervasive digital media exposure. Children's child environmental health response system in China remains to be strengthened. Looking ahead, interdisciplinary collaboration should be promoted to develop comprehensive (e.g., governmental regulation and coordinated actions across families, schools, and healthcare services), precise (accurate assessment of exposure risk, sources, and levels), and dynamic response strategies. High-quality research is also needed to further elucidate the health effects and underlying mechanisms of emerging contaminants and combined exposures, thereby providing evidence to support evidence-based decision-making.

Keywords: environmental exposure; health; new era; response strategies; children

儿童期健康是全生命周期健康的基石与国家未来发展的核心支撑之一。《健康中国 2030》战略将儿童健康置于优先发展的领域。生命早期不良环境对儿童期甚至成年期健康都会产生影响。在儿童期开展积极干预往往可获得较好的健康获益,是实施防控干预的关键窗口期。在新时代背景下,儿童生活、成长、学习和玩耍的环境已经改变,儿童面临的环境暴露模式亦出现深刻变化,给传统应对策略提出了新挑战。《中国儿童发展纲要(2021—2030)》首次单列“儿童与环境”章节,强调优化儿童成长的自然环境和人居环境,并提高儿童的生态环境保护意识。这均提示儿童环境健康已成为儿童发展的重要议题。

1 儿童对不良环境暴露的易感性

在儿童期,组织器官的发育具有较高的可塑性^[1],机体对不良环境暴露诱发的健康风险极为易感。具体原因表现在生理和行为两个层面。

1.1 生理层面 与成人相比,一方面儿童的组织器官尚未发育成熟、代谢解毒能力不足,且儿童期处于神经、免疫、内分泌等系统的发育敏感窗口,对有害环境因素的反应阈值低,即使微量暴露也可能诱发不可逆的健康损害,而多种污染物协同增毒的“鸡尾酒效应”可能进一步增加整体健康风险。另一方面,在相同环境暴露背景下,儿童单位体重的污染物暴露水平高于成人;且儿童期血脑、皮肤屏障发育不完善,使污染物更易穿透并在体内蓄积。

1.2 行为层面 儿童(尤其是婴幼儿和学龄前儿童)手口动作频繁,非饮食途径暴露的占比较高。因此,在生命早期积极采取儿童环境暴露的系统应对措施,能有效降低儿童的暴露水平,优化其健康发育轨迹,为全生命周期健康奠定坚实基础。

2 新时代背景下儿童环境暴露的新特征

2.1 “物理-化学-社会”因素交织的复合暴露 在快速城市化、新型工业化与数字化网络化深度交织的新时代背景下,儿童面临的环境健康挑战日趋复杂。城市扩张及工业发展,不仅加重了噪声、电磁辐射、夜间光污染等物理性环境暴露,也使化学暴露谱从传统的重金属、有机污染物(如铅、汞、多环芳烃、

多氯联苯与二噁英等)拓展为涵盖环境内分泌干扰物,如溴代阻燃剂多溴联苯醚(polybrominated biphenyl ethers, PBDEs)和持久性有机污染物如全氟辛烷磺酰基化合物(perfluorooctane sulphonate, PFOS)、抗生素、微塑料等新化学污染物^[2-3]。这些污染物广泛渗透至饮用水、食品包装等日常生活场景,形成个体层面难以完全规避的暴露环境。与此同时,数字化与网络化的普及显著增加了儿童的屏幕暴露时间。长期高频使用电子产品已成为影响儿童睡眠与情绪调节的重要行为风险因素^[4-7]。更值得关注的是,这种电子产品暴露并非孤立存在,还可能与夜间光暴露、白天室外活动减少等其他风险因素共存,产生叠加或交互效应,进一步放大对儿童健康的影响^[8]。城市化与数字化也导致学习工作压力增加、线下社交不足,容易诱发妊娠期压力、家庭功能障碍等社会性暴露因素,进一步影响儿童的神经行为和体格发育。

2.2 低水平持续暴露与局部性高水平风险并存 不同于工农业发展初期的高水平、面源性暴露,现代生活中儿童的日常环境暴露更多表现为低水平、持续暴露^[9-10],由此诱发的健康风险常常具有隐匿性和累积性。另外,在部分乡村或山区等经济欠发达地区,高水平点源性污染也偶有发生。

2.3 新环境污染物层出不穷 相对于传统污染物,“新污染物”是指近年来在环境中被新发现或新关注的、对人类健康有不利影响但尚未纳入完善常规监测与系统管理的污染物^[11]。主要包括^[12]:1)持久性有机污染物,如全氟/多氟烷基物质(per- and polyfluoroalkyl substances, PFAS)、PBDEs 等;2)内分泌干扰物,如双酚 A 和邻苯二甲酸酯;3)药品及个人护理产品;4)微塑料。新污染物来源复杂、形式多样,其健康损害和致病机制仍有待进一步研究来阐明。

面对影响儿童环境健康的新风险与挑战,传统应对模式难以适配,亟需构建契合新时代特征的保障儿童环境健康的应对策略,为儿童健康成长筑牢安全屏障。

3 儿童环境暴露的主要因素

3.1 物理性暴露因素 物理性暴露因素包括环境噪声^[13]、夜间光污染(artificial light at night, AL-

AN)^[14]、极端冷与高温热浪、电离辐射、环境电磁场暴露等。噪声会影响听力,诱发不良的心理和生理结局。与成人相比,较低的体温调节能力使儿童面对极端温度时更容易出现相关健康问题。儿童也会通过多种途径暴露于环境来源或医源性电离辐射(如氡、X 射线及放射性核素等)、空气污染、气候变化等^[15],对其心理健康及认知发展可能造成不利影响。其中,ALAN 和噪声已成为全球约 80% 的人口面临的环境压力源,因发生率高和近年研究证据的明显增加,已成为当前重点关注的物理性环境暴露因素^[13-14,16-18]。

3.1.1 夜间光污染 ALAN 主要通过干扰昼夜节律介导其健康影响,其潜在致病机制主要涉及视网膜-视交叉上核-松果体轴的功能紊乱所致的昼夜节律失调后的效应,包括:夜间光照,尤其是富含短波蓝光的人造光源,可特异性激活视网膜内源性光敏神经节细胞,进而抑制松果体褪黑激素的夜间生理性分泌,导致内源性昼夜节律稳态失衡,引发糖皮质激素节律异常,最终诱发各器官系统功能障碍^[14,16,19]。流行病学研究也报道了这一健康风险:一项纳入 201 994 名中国儿童的横断面研究显示,ALAN 水平越高,儿童睡眠质量越差,觉醒障碍、入睡和睡眠维持障碍、睡眠呼吸障碍等症状的发生风险也更高^[20]。另一项包括 47 990 名学龄儿童和青少年的研究表明,较高的 ALAN 水平与儿童体质量指数升高及超重/肥胖风险增加显著相关,且该关联在男童中更为显著^[21]。此外,多项研究提示,长期 ALAN 暴露可能与儿童执行功能受损、急性淋巴细胞白血病以及甲状腺疾病风险升高相关^[22-24]。

3.1.2 噪声 噪声是另一种普遍存在的物理性环境暴露,其来源复杂多样,包括交通噪声、建筑噪声、娱乐性噪声及室内设备噪声等,可通过空气传播与结构传播两种途径作用于人体。研究证实,噪声强度与持续时间决定听觉损伤的严重程度^[13]。儿童因听觉系统与神经系统尚未完全发育成熟,更易受到噪声的不良影响,听觉和非听觉(如注意力、认知和执行功能等)的发育可能受到影响^[13]。在生物学层面,噪声可通过多种机制损害儿童健康:1) 噪声损害听觉外周或听觉中枢相关的功能:持续或间断的高强度噪声可导致耳蜗毛细胞代谢紊乱、氧化应激水平升高以及兴奋性神经递质(如谷氨酸)过度释放,引发毛细胞损伤、突触病变或听神经退行性改变^[13,25]。这类损伤若反复发生,会诱发可逆的听阈暂时升高(暂时性阈移),也可能最终演变为永久性听力损失^[13]。而低强度的噪声未必直接损伤耳蜗毛细胞功能,却可能影响听觉中枢并诱发隐性听力损失。2) 噪声可能通过激活下丘脑-垂体-肾上腺

(hypothalamic-pituitary-adrenal, HPA) 轴和交感神经系统,诱发应激激素(如皮质醇、去甲肾上腺素)持续升高,导致心血管系统应激反应增强、睡眠碎片化、生物节律紊乱及认知功能受损^[26-27]。长期高水平噪声暴露还与儿童精神心理问题相关。Newbury 等^[28]基于 9 065 名青少年的纵向研究发现,居住区噪声水平越高,青少年发生抑郁和焦虑的风险越大。基于上述证据,WHO 建议在儿童的卧室中,夜间噪声应维持在 30 dB(A) 以下,以保障儿童睡眠和良好的心理健康发育。

3.2 化学性暴露因素

3.2.1 传统化学污染物 大量研究表明,重金属及传统的有机污染物暴露仍然是儿童早期发育过程中需要重点关注的环境健康风险。随着环境治理加强,我国儿童总体化学暴露水平呈下降趋势,但暴露模式正在从过去的高剂量、面源性暴露,转向整体低水平、点源性高水平、新污染物更迭出现为主。污染物低水平暴露依然可能积累在体内、激活氧化应激反应及干扰免疫功能,进而影响儿童的神经发育。例如,长期低剂量铅暴露可能影响神经细胞功能,影响认知和行为发育^[29];长期锰暴露可能会改变神经递质水平、诱发神经炎症,进而影响儿童的运动协调和认知水平^[30]。这些生物学机制表明,持续低剂量暴露仍可能对儿童健康产生不利影响。与此同时,部分欠发达地区零星点源性高水平污染事件仍偶有发生。提示新时代背景下,环境宣教仍然有重要意义。

3.2.2 新化学污染物 新时代背景下产业结构升级也伴随着新污染物的产生,构成儿童环境暴露的新风险源。电子信息、新能源等新兴产业广泛使用电子化学品;同时,含氟材料、微塑料和药品等可能成为新污染物的重要来源^[11]。含氟材料废弃物逐渐成为环境氟化物污染的重要来源。被称为“永久化学品”的 PFAS 在电子设备制造、锂电池、太阳能光伏发电产品制造、新能源汽车材料等新兴产业中广泛应用^[11]。孕期 PFAS 暴露可通过胎盘和胎儿血脑屏障,累积于脑干、海马等部位,并通过干扰钙稳态、神经递质系统(如抑制多巴胺转运体)和甲状腺激素信号,或通过与过氧化物酶体增殖物激活受体相互作用损害胎盘功能,从而对出生前后发育产生不利影响^[31-32]。此外,PFAS 还可通过表观遗传途径改变神经发育相关基因的甲基化状态,并与个体遗传易感性共同作用^[33]。研究证据显示,产前 PFAS 暴露与儿童早期神经认知发育损伤相关^[32],但不同研究结果存在差异,仍需要更多高质量研究厘清其效应机制。微塑料方面,研究表明,女童暴露于聚乙烯和聚氯乙烯微塑料可能通过促进下丘脑促

性腺激素释放激素表达,从而诱发青春期提前^[34]。此外,Zheng 等^[35]在对 5 670 名 7~10 岁儿童的研究中发现,体内微塑料负荷较高者工作记忆表现下降,认知发展受损。

3.3 社会性暴露因素 在新时代背景下,父母及其他家庭成员往往承受较大的压力,主要包括以下几方面。1) 工作和经济压力:劳动强度增加、工作时间延长、就业不稳定性上升以及竞争压力加剧等因素,使得家庭成员可能承受较大的工作和经济压力。2) 育儿压力:指由于承担父母角色而产生的负面情绪体验和状态,包括焦虑不安、恐惧、担忧、疲劳感等^[36]。过高的育儿压力影响父母的身心健康和情绪调控。随着对育儿质量和父母角色的期望日益提高,部分父母在情感、身体和经济层面的投入增加,面临较高的育儿压力。中国家庭往往以孩子为中心,而非以婚姻为中心,讲究“望子成龙”和“望女成凤”,这可能进一步加剧育儿压力,过高的育儿压力又可能引起婚姻关系恶化^[36]。3) 压力排解受限:在现代社会,年轻的父母趋向于回避处理复杂的家庭关系,既往传统的大家庭结构模式逐渐向小家庭、甚至个体化的形式发展,且工作育儿压力也往往带来线下社交不足,这也使得个体面对挫折需要排解压力时获得的社会支持可能有限。4) 电子媒介暴露:在新时代背景下,线上交易、线上娱乐、线上社交与线上教学活动的广泛普及,使得儿童更早、更频繁地接触电子媒介环境。

在胚胎发育阶段,妊娠期压力可能与职场竞争、经济压力、家庭不协调、妊娠反应等相关,若长期存在且缺乏有效应对,会对胎儿的发育造成不良影响。妊娠期压力可能增加早产、低出生体重等不良出生结局的风险,也可能与子代的神经认知发育障碍和过敏性疾病风险增加相关,其机制可能涉及母体应激导致的子代神经内分泌代谢改变(如诱发子代 HPA 轴功能失调、影响子代多巴胺能系统等)、影响胎盘功能和表观遗传学调控等^[37-38]。

在儿童成长过程中,父母的工作压力可能导致父母陪伴儿童的时间较少,以及相对疏离的亲子关系;父母一方或双方的育儿压力过高可能加剧家庭互动紧张,且与婚姻关系恶化和家庭功能障碍明显相关,从而增加儿童焦虑、抑郁、社交障碍等一系列心理行为问题的发生风险^[39],以及睡眠障碍和营养问题等不良体格发育的发生风险^[40]。有研究随访了安徽省 470 名小学生的父母样本,发现父母的高育儿压力与自身及其伴侣的婚姻满意度较低相关,且这种负面影响主要是由父母自身的情绪失调介导的^[36]。因此,建议父母建立合理的育儿预期,加强与伴侣沟通及情绪管理,提升家庭功能,促进儿童的

身心发展。

此外,第 54 次《中国互联网络发展状况统计报告》显示,截至 2024 年 6 月,我国 10 岁以下及 10~19 岁网民数量分别占 3.5%(约 3 800 万人)及 13.6%(约 1.5 亿人)^[41]。短视频是儿童接触较多的屏幕内容之一。有研究招募了 15 965 名幼儿园儿童并随访后发现:在总的屏幕接触时间固定的情况下,接触不同的屏幕内容对应的儿童心理健康问题风险不同^[42]。具体而言,教育类内容与较低的儿童心理健康问题的风险相关。但无论屏幕内容如何,总屏幕时间的增加均与儿童心理健康问题的风险升高相关。

4 目前儿童环境暴露应对策略的短板

尽管儿童环境健康的重要性日益受到重视,目前儿童环境暴露应对策略仍存在多重短板:1) 前瞻性不足。应对策略以“被动应对”为主,多在不良暴露发生后被动干预,对儿童环境暴露风险的前瞻性识别和干预尚不足;2) 系统化不足。全面系统应对需要政府、家庭、学校、医院、社区的协同监管和干预,涉及从风险监测到干预的全链条管理。不同年龄段儿童的高危因素、暴露途径、暴露源、监护人、管理主体均存在差异,应对策略也需分层分龄设计。3) 精准评估与干预不足。高效精准应对是对新时代背景下儿童环境暴露应对的更高要求。精准的评估是积极干预的基础,对后续进一步的预防再暴露和治疗已有的健康损害都有意义。4) 儿童复合暴露研究相对滞后。为更真实地反映现实世界的暴露情境,复合暴露研究逐渐成为环境健康研究的新趋势。例如,儿童同时暴露于 PFAS、甲基汞和邻苯二甲酸酯时,三者可能协同破坏 HPA 轴稳定性、共同干扰神经细胞钙稳态,并加剧表观遗传修饰异常,使认知发育和注意力损伤相关风险显著高于单一暴露^[31-33,43]。此外,与单一重金属暴露相比,多种重金属共同暴露与儿童认知发育损伤、多动/注意力不集中以及神经行为缺陷更高的风险相关^[44]。美国国立卫生研究院的环境对儿童健康结局的影响(ECH-O)项目^[45],通过大型前瞻性队列系统地评估了空气污染物、重金属、持久性有机污染物及塑化剂等多污染物的复合暴露谱,揭示复合暴露对儿童出生肥胖、神经发育和呼吸道健康等的综合影响。5) 对污染物(特别是新污染物)的健康效应和机制证据仍不充分。亟需进一步深入研究,以适应新时代背景下儿童环境健康风险防控的新需求。

5 新时代背景下儿童环境暴露应对策略的展望

基于新时代背景下儿童环境暴露的特点,未来

需推动儿科学、预防医学、环境科学、毒理学、围产医学等多学科交叉融合,实现全面、精准、动态的儿童环境暴露应对策略,持续开展相关科学研究,为循证决策提供证据支撑。

5.1 全面的应对策略 建立多部门协同的管理体系,为儿童提供全方位的环境健康保护。构建全面的儿童环境暴露防控体系,需要从医务人员或环境管理人员健康教育、政府监管以及家校社(区)协同治理三个层面共同推进。医务人员或疾控人员可面向家长、教师及其他照护者,通过多元化传播方式将专业知识转化为可操作的行为指南,开展如环保建材选择、室内污染控制、电子设备合理使用等场景化培训,提高公众对儿童环境暴露风险的识别与应对能力。在政府监管层面,可以考虑优化学校、儿童活动空间与居民区的布局,确保与高风险污染源保持安全距离。在学校层面,可以推进绿色健康校园建设,定期监测声、光、空气、水、食物等关键环境指标,并强化环境健康教育;社区层面则可设立健康咨询服务点,开展电子垃圾规范回收、美好小区建设等行动,形成基层治理与家庭参与相结合的防护网络。

5.2 精准的应对策略 精准的暴露风险、暴露水平和暴露来源评估是制定分级、针对性强的应对措施的基础,可最大限度降低儿童的再暴露风险和改善健康预后,降低环境暴露对儿童健康轨迹的干扰。如针对重金属、ALAN、噪声等环境暴露,一方面可以通过生物(如血铅血汞等检测)或物理(照度计、声级计、X射线荧光光谱分析仪等专业设备检测)手段精准评估儿童的暴露水平和暴露源溯源分析,另一方面可结合补充性问卷采集儿童的暴露信息(包括生活习惯、暴露途径等),进行精准评估。

5.3 动态的应对策略 对儿童,特别是高暴露或高风险儿童,动态监测环境暴露对儿童生理、行为与发育状况的潜在影响,确保能够在风险出现早期即采取干预措施,及防止再次暴露。

5.4 通过科学研究持续探究环境暴露对儿童健康的影响 依托大规模出生队列,系统评估新污染物健康效应及传统污染物新的健康效应,并深入解析其内在生物学机制,为制定针对性干预策略与标准限值提供理论基础。推动环境监测与风险预警的融合,如借助人工智能技术融合环境监测、生物样本检测与电子健康档案等多源数据,构建儿童环境健康风险的智能评估与预测平台。

利益冲突声明 本文不存在利益冲突

数据可用性声明 本研究未生成新的数据,对于纳入的每项研究均已在参考文献列表中列出。

参考文献

- [1] Brines J, Rigourd V, Billeaud C. The first 1 000 days of infant[J]. Healthcare (Basel), 2022, 10(1):106.
- [2] Zajac L, Landrigan PJ. Environmental issues in global pediatric health: Technical report[J]. Pediatrics, 2025, 155(2): e2024070076.
- [3] Parvez SM, Jahan F, Brune MN, et al. Health consequences of exposure to e-waste: An updated systematic review[J]. Lancet Planet Health, 2021, 5(12): e905-e920.
- [4] Li T, Liu X, Cao C, et al. Association between screen time, homework and reading duration, sleep duration, social jetlag and mental health among Chinese children and adolescents [J]. BMC Psychiatry, 2024, 24(1):781.
- [5] Brosnan B, Haszard JJ, Meredith-Jones KA, et al. Screen use at bedtime and sleep duration and quality among youths [J]. JAMA Pediatr, 2024, 178(11):1147-1154.
- [6] Zhu R, Fang H, Chen M, et al. Screen time and sleep disorder in preschool children: Identifying the safe threshold in a digital world[J]. Public Health, 2020, 186:204-210.
- [7] Xu Y, Qiao L. Digital screen exposure and emotional symptoms in preschool children: Mediation by parent-child relationship and moderation by peer relationships[J]. Front Psychol, 2025, 16:1584919.
- [8] Ricketts EJ, Joyce DS, Rissman AJ, et al. Electric lighting, adolescent sleep and circadian outcomes, and recommendations for improving light health[J]. Sleep Med Rev, 2022, 64:101667.
- [9] Yan CH, Xu J, Shen XM. Childhood lead poisoning in China: Challenges and opportunities[J]. Environ Health Perspect, 2013, 121(10): A294.
- [10] Li MM, Gao ZY, Dong CY, et al. Contemporary blood lead levels of children aged 0-84 months in China: A national cross-sectional study [J]. Environ Int, 2020, 134:105288.
- [11] 王小刚,王斌,衡利苹,等.发展新质生产力背景下的新污染物治理研究[J].中国工程科学,2025,27(3):142-151.
Wang XG, Wang B, Heng LP, et al. Emerging contaminant control in the context of developing new-quality productivity[J]. Strategic Study of CAE, 2025, 27(3):142-151. (in Chinese)
- [12] Wang B, Sui Q, Liu H, et al. Promoting environmental risk assessment and control of emerging contaminants in China[J]. Engineering, 2024(37): 13-17.
- [13] Kitama T, Nishiyama T, Hosoya M, et al. Noise-induced hearing loss: Overview and future prospects for research on oxidative stress[J]. Int J Mol Sci, 2025, 26(10):4927.
- [14] 王佳丽,张学红,王文利,等.妊娠期夜间长期低剂量光污染对子代健康的影响[J].中国儿童保健杂志,2025,33(10):1061-1065.
Wang JL, Zhang XH, Wang WL, et al. Impacts of long-term exposure to low-level artificial light at night during pregnancy on offspring health[J]. Chin J Child Health Care, 2025, 33(10): 1061-1065. (in Chinese)
- [15] Yu T, Zhou L, Xu J, et al. Effects of prenatal exposures to air sulfur dioxide/nitrogen dioxide on toddler neurodevelopment and effect modification by ambient temperature[J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2022, 230:113118.
- [16] Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, et al. The new world atlas of artificial night sky brightness[J]. Sci Adv, 2016, 2

- (6): e1600377.
- [17] Kyba CCM, Altıntaş YÖ, Walker CE, et al. Citizen scientists report global rapid reductions in the visibility of stars from 2011 to 2022 [J]. *Science*, 2023, 379 (6629): 265-268.
- [18] Gupta A, Gupta A, Jain K, et al. Noise pollution and impact on children health[J]. *Indian J Pediatr*, 2018, 85(4): 300-306.
- [19] Fleury G, Masis-Vargas A, Kalsbeek A. Metabolic implications of exposure to light at night: Lessons from animal and human studies[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2020, 28 (Suppl):18-28.
- [20] Wang LB, Gong YC, Fang QL, et al. Association between exposure to outdoor artificial light at night and sleep disorders among children in China [J]. *JAMA Netw Open*, 2022, 5(5):e2213247.
- [21] Lin LZ, Zeng XW, Deb B, et al. Outdoor light at night, overweight, and obesity in school-aged children and adolescents[J]. *Environ Pollut*, 2022, 305:119306.
- [22] Zhong C, Wang R, Morimoto LM, et al. Outdoor artificial light at night, air pollution, and risk of childhood acute lymphoblastic leukemia in the California Linkage Study of Early-Onset Cancers[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1):583.
- [23] Yang HY, Wu SH, Zhang S, et al. Association between outdoor light at night exposure and executive function in Chinese children[J]. *Environ Res*, 2024, 257:119286.
- [24] Deziel NC, Wang R, Warren JL, et al. Perinatal exposures to ambient fine particulate matter and outdoor artificial light at night and risk of pediatric papillary thyroid cancer [J]. *Environ Health Perspect*, 2025, 133(5):57026.
- [25] Kurabi A, Keithley EM, Housley GD, et al. Cellular mechanisms of noise-induced hearing loss[J]. *Hear Res*, 2017, 349:129-137.
- [26] Roca-Barceló A, Nardocci A, de Aguiar BS, et al. Risk of cardiovascular mortality, stroke and coronary heart mortality associated with aircraft noise around Congonhas airport, São Paulo, Brazil: A small-area study[J]. *Environ Health*, 2021, 20(1):59.
- [27] Hahad O, Bayo Jimenez MT, Kuntic M, et al. Cerebral consequences of environmental noise exposure[J]. *Environ Int*, 2022, 165:107306.
- [28] Newbury JB, Heron J, Kirkbride JB, et al. Air and noise pollution exposure in early life and mental health from adolescence to young adulthood[J]. *JAMA Netw Open*, 2024, 7(5):e2412169.
- [29] Xu J, Hu H, Wright R, et al. Prenatal lead exposure modifies the impact of maternal self-esteem on children's inattention behavior[J]. *J Pediatr*, 2015, 167(2):435-441.
- [30] Guo X, Xu J, Tian Y, et al. Interaction of prenatal maternal selenium and manganese levels on child neurodevelopmental trajectories—The Shanghai birth cohort study[J]. *Sci Total Environ*, 2024, 915:170095.
- [31] Szilagyi JT, Avula V, Fry RC. Perfluoroalkyl substances (PFAS) and their effects on the placenta, pregnancy, and child development: A potential mechanistic role for placental peroxisome proliferator-activated receptors (PPARs) [J]. *Curr Environ Health Rep*, 2020, 7(3):222-230.
- [32] Luo F, Chen Q, Yu G, et al. Exposure to perfluoroalkyl substances and neurodevelopment in 2-year-old children: A prospective cohort study [J]. *Environ Int*, 2022, 166: 107384.
- [33] Xie Z, Jin L, Wu Q, et al. Maternal per- and polyfluoroalkyl substance concentrations and placental DNA methylation of thyroid hormone-related genes[J]. *J Hazard Mater*, 2025, 489:137545.
- [34] Zang S, Wang F, Ouyang Y, et al. Exposure to polyethylene and polyvinylchloride microplastics caused advanced puberty onset in females through promoting hypothalamic GnRH expression [J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2025, 291:117906.
- [35] Zheng D, Wang D, Zhang S, et al. Impact of urinary microplastic exposure on cognitive function in primary school children[J]. *Ecotoxicol Environ Saf*, 2025, 302:118532.
- [36] Wu L, Xie R, Zhang Y, et al. Actor-partner interdependence of parents' parenting stress on marital satisfaction: The mediating role of emotion dysregulation[J]. *J Affect Disord*, 2026, 397:120831.
- [37] 徐健. 妊娠期压力与子代发育[J]. *中华围产医学杂志*, 2018, 21(2): 90-93.
- [38] Lin Y, Xu J, Huang J, et al. Effects of prenatal and postnatal maternal emotional stress on toddlers' cognitive and temperamental development [J]. *J Affect Disord*, 2017, 207:9-17.
- [39] Yang Y, Liu Q, Wang Z. The relationship between family functioning and adolescents' symptoms of generalized stress response: The mediating roles of character strengths and perceived stress[J]. *J Adolesc*, 2025, 97(5):1186-1199.
- [40] Mazandarani AA, Zare Bahramadbad M. Maternal self-efficacy as a moderator in the relationship between infant/toddler sleep and maternal mental health[J]. *Behav Sleep Med*, 2025, 23(4):515-525.
- [41] 中国互联网信息中心. 第 54 次中国互联网络发展状况统计报告 [EB/OL]. (2024-08) [2026-01-28]. <https://www.100ec.cn/Public/Upload/file/20240909/1725843463763813.pdf>.
- [42] Wang H, Zhao J, Yu Z, et al. Types of on-screen content and mental health in kindergarten children[J]. *JAMA Pediatr*, 2024, 178(2):125-132.
- [43] Maxwell DL, Oluwayiose OA, Houle E, et al. Mixtures of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) alter sperm methylation and long-term reprogramming of offspring liver and fat transcriptome[J]. *Environ Int*, 2024, 186:108577.
- [44] Sanders AP, Claus Henn B, Wright RO. Perinatal and childhood exposure to cadmium, manganese, and metal mixtures and effects on cognition and behavior: A review of recent literature[J]. *Curr Environ Health Rep*, 2015, 2(3): 284-294.
- [45] Knapp EA, Kress AM, Parker CB, et al. The environmental influences on child health outcomes (ECHO)-wide cohort[J]. *Am J Epidemiol*, 2023, 192(8):1249-1263.