

引用格式: 望秀丽,全王樵,张霞.微塑料儿童暴露和危害的研究进展[J].标准科学,2025(11):116-120.

WANG Xiuli, QUAN Wangsun, ZHANG Xia. Research Progress in the Exposure and Hazards of Microplastics on Children [J]. Standard Science, 2025(11):116-120.

微塑料儿童暴露和危害的研究进展

望秀丽¹ 全王樵¹ 张霞²

(1.上海海关机电产品检测技术中心; 2.北京中轻联认证中心有限公司)

摘要: 【目的】全世界儿童在生活、玩耍中不可避免要接触塑料材质的物品。自2004年起,经过了20年的研究,科学界进入了认识和治理微塑料关键年。公众对微塑料影响儿童健康的担忧日益加剧。为了解微塑料儿童暴露和危害的研究现状,为未来开展儿童健康评估的研究和监测提供有效参考。【方法】通过研究儿童经空气、饮食、玩具产生微塑料暴露的现状,并对相关健康风险进行归纳和总结。【结果】儿童经空气、饮食、玩具均会接触到微塑料。【结论】微塑料儿童暴露以及产生的危害,需要进一步的研究,并积极推进相关标准的制定。

关键词: 微塑料; 儿童; 暴露; 危害

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2025.11.015

Research Progress in the Exposure and Hazards of Microplastics on Children

WANG Xiuli¹ QUAN Wangsun¹ ZHANG Xia²

(1. Technical Center for Mechanical and Electrical Product Inspection and Testing of Shanghai Customs;
2. Certification Center of Light Industry Council Co., Ltd.)

Abstract: [Objective] Children worldwide are inevitably exposed to plastics in their daily lives and play environments. Following two decades of research since 2004, the scientific community has reached a critical juncture in understanding and managing microplastics. Public concern regarding the impact of microplastics on child health is growing. This review aims to synthesize current research on microplastic exposure and its associated health hazards in children, thereby providing reference for future health assessments and monitoring. [Methods] The study examines the primary pathways of children's exposure to microplastics—namely, through air, diet, and toys—and summarizes the current evidence on related health risks. [Results] The findings confirm that children are exposed to microplastics via all three investigated pathways: air, diet, and toys. [Conclusion] Further research into children's exposure to microplastics and the resulting health effects is imperative. Additionally, there is an urgent need to advance standardization efforts in this field.

Keywords: microplastics; children; exposure; hazards

基金项目: 本文受海关总署科研项目(项目编号: 2024HK187)资助。

作者简介: 望秀丽, 博士, 高级工程师, 研究方向为消费品中有害物质风险评估和检测。

0 引言

儿童的健康成长关系着千家万户的幸福和社会的期望,更关系着国家的未来。今天,塑料材料及制品在工业制造、农业生产和人们的日常生活中都扮演着非常重要的角色。然而,自从塑料问世以来,经过几十年的发展,这些生产出来的塑料给环境带来的污染问题也日益突出。2004年,英国学者第一次提到微塑料对海洋生态环境的影响,自此向人们掀开了微塑料的神秘面纱^[1]。微塑料通常是指直径小于5 mm的塑料颗粒,包括工业生产的原生微塑料和次生微塑料。随着研究的深入,研究人员发现添加的原生微塑料(如化妆品微珠)和塑料降解、摩擦等产生的次生微塑料(如纺织品纤维、轮胎磨损)已扩散到空气、土壤、湖泊、海洋、河流中,会对生物体,包括人类,尤其是儿童的健康产生不利影响^[2]。首先是微塑料本身,可导致生物体消化道阻塞等物理损害。其次是微塑料的表面积大,疏水性强,易吸附环境中的疏水性有机污染物和重金属,同时,塑料添加剂也会浸出,尤其是食品接触用塑料制品中的添加剂可能通过微塑料迁移到食品中^[3]。儿童除了会通过空气、食物和饮水摄入微塑料以外,由于婴幼儿特有的生理特征,如喜欢在地上爬、啃咬塑料玩具,以及家长倾向于给婴幼儿使用轻便耐摔的塑料勺子、碗和奶瓶等,使他们更多暴露在微塑料环境中。2025年,欧盟非食品类危险产品快速预警系统(RAPEX)公布了3例违反REACH法规的玩具产品召回案例,原因是该产品含有过量微塑料,会造成环境毒性,还可能对人体产生致癌性或生殖毒性。文章主要对儿童通过空气、饮食、饮水、玩具造成微塑料暴露的研究现状以及相关健康风险进行归纳和总结,旨在了解微塑料对儿童的影响,为未来开展儿童健康研究和监测提供有效参考。

1 暴露和危害研究

1.1 空气暴露

儿童经呼吸吸入空气中的微塑料占儿童微塑

料暴露的分量不容忽视。次生微塑料(如纺织品中的纤维、轮胎磨损产生的灰尘、施工现场)生成的同时,一部分会直接释放到空气中,每天空气中都会有新生成的微塑料颗粒沉积^[4]。室内空气中微塑料的来源主要包括纺织品、地板、包装材料、建筑材料、玩具等磨损。室外空气中微塑料的来源主要包括道路上轮胎磨损、道路灰尘、农业生产、工业制造、垃圾处理、海洋中微塑料。空气中尺寸小于100 μm 的微塑料可通过空气传播并可被人体吸入。纺织品的磨损和洗涤、干燥会产生微塑料。Sripada等^[5]研究发现室内合成纤维(包括微塑料)的浓度比室外明显高,主要为聚丙烯(PP)和聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)聚合物。值得一提的是,儿童的活动具有在室内时间较长、会进入儿童游乐场的典型特征。而多数儿童游乐场设施使用安全、易塑型的塑料材质,如聚乙烯(PE)和PP等。在儿童玩耍过程中,因摩擦会产生微塑料,使用塑料材质的儿童游乐场的空气中微塑料浓度会明显升高^[6]。耿阳等^[7]用数据集结合中国儿童人群人体呼吸参数,计算中国儿童经空气吸入的微塑料暴露量,我国儿童每年总暴露量为164 635~213 032微塑料。经空气摄入微塑料的总暴露量为5 235~8 395微塑料。

1.2 饮食暴露

通过饮食和饮水摄入的微塑料是儿童微塑料暴露的最大来源。儿童在日常饮食中接触的微塑料,特别是PET、PC等高于成人。不同年龄段的儿童通过饮食暴露微塑料来源不同:婴幼儿阶段主要是通过食用母乳、奶粉、饮用水和使用塑料奶瓶、一次性母乳储存袋等^[8];儿童阶段主要是通过饮食、饮水和使用塑料杯、碗、餐盘等。一方面,微塑料颗粒随着风、水流等进入土壤、水体、空气,最终进入我们的食物链^[9],加工、包装也会进一步加重食品微塑料污染,使人体摄入含有微塑料的食物,目前,母乳中已检出微塑料。婴儿配方奶粉中已检出纤维、碎片和薄膜聚酰胺、聚乙烯、聚丙烯和聚对苯二甲酸乙二醇酯微塑料,估计纯喂养婴儿配方奶粉的6个月以内儿童每天摄入的微塑料

约为 (49 ± 32) MPs^[10]。耿阳等报道了我国儿童每年经食物摄入MPs的总暴露量为159 400~204 637 MPs。浦东新区6~7岁学龄儿童每年经食物摄入MPs总暴露量为118 614 MPs。自来水、海产品、瓶装水分别贡献了食物来源中MPs摄入量的75.6%、19.6%、4.4%。另一方面,由于塑料制品具有低成本、轻质、易加工、耐摔、造型可爱的优点,塑料奶瓶、水杯、餐盘、碗、筷、勺等广受家长和孩子的喜爱。常见的材质有聚丙烯(PP)、聚亚苯基砜(PPSU)等,但是,塑料机械强度低、易老化,在反复开合包装或运输振动的物理作用及紫外线照射化学作用下,尤其是经消毒和高温使用条件下均会释放微塑料^[11]。暴露在高温下的灭菌的奶瓶,其聚丙烯的有序结构和无定型内部结构受到一定破坏,比未灭菌奶瓶释放更多的微塑料颗粒。PP婴儿奶瓶释放的微塑料高达每升16200 000个颗粒。估计12个月以下婴儿的全球潜在暴露量为每人每天14 600至4550 000个颗粒^[12]。郭晴等^[13]报道了聚丙烯、硅橡胶和聚亚苯基砜树脂塑料奶瓶释放的微塑料,粒径在 $0.5 \sim 5 \mu\text{m}$ 的颗粒占比最多,达84.02%。使用上述3种塑料奶瓶的婴儿,平均每日MPs摄入量分别为:2 132.43 particles/kg、2 811.67 particles/kg、1 652.18 particles/kg。这些研究表明微塑料对儿童,特别是婴幼儿造成了潜在的健康风险。

1.3 玩具暴露

除上述用途以外,塑料因其耐用性、轻便性和鲜艳的色彩而广泛用于玩具行业。据统计,世界上90%的玩具都是由塑料制成的^[14]。与其他塑料制品一样,塑料玩具在特定条件下可能会释放出微塑料。孩子品尝、舔舐和咀嚼塑料玩具和纺织品是微塑料的潜在接触途径。这也是儿童在日常生活中接触的微塑料量高于成人的原因之一。塑料玩具中塑料微粒的释放可能以多种方式发生。例如,婴幼儿因生理特征,有可能会吃手和啃咬玩具,而玩具使用过程中磨损可能会产生微塑料^[15]。其他类型的机械应力,如挤压、研磨、撕裂和切割,也会导致脱落。微塑料在组装和拆卸过程中,表面上也

会观察到明显的划痕。这些类型的划痕还包含大量小颗粒,从微米到纳米大小不等^[16]。研究发现,聚苯乙烯纳米颗粒(直径为20~200 nm)可以通过猪皮肤表面的毛囊开口,穿过皮肤屏障,渗透到皮肤深层^[17]。对于受损皮肤,纳米粒子穿透皮肤的机会显著增加,尤其是尺寸较小且表面带有正电荷的纳米粒子^[18]。值得一提的是,2025年,欧盟公布3例因含有过量微塑料而被召回的化妆玩具产品。这3例产品中PET微塑料含量均高达95%,远远超出REACH法规的限制要求。该化妆玩具为了增加可玩性和基于美观的考虑,加入了工业生产的彩色原生微塑料,当儿童玩耍时,会产生微塑料暴露,从而可能产生影响身体健康的风险。

1.4 危害研究

微塑料会通过多种途径对儿童健康产生不利的影响。从研究数据可以看出,儿童在高温条件下使用经消毒的塑料奶瓶和日常饮食摄入的微塑料不容忽视。此外,也应该关注通过接触微塑料含量较高的玩具产品可能导致的微塑料暴露。首先,摄入的微塑料颗粒会进入婴儿的消化系统。其次,在婴儿的身体发育过程中,微塑料颗粒可能对其免疫系统和内分泌系统产生不利影响。微塑料还会导致肺部和肝脏毒性^[19]。此外,还可能与逐年增加的儿童过敏相关^[20]。研究表明,暴露于不规则的塑料微粒会激活 ROS/NLRP3/Caspase-1信号通路,引起肠道炎症^[21]。因此,在微塑料已经普遍存在于土壤、水体、空气中的今天,如何去除环境中的微塑料引起了学者的广泛关注,但如何去除人体内的微塑料方面的研究还鲜有报道。研究表明,乳酸菌可降低微塑料引发的毒性:一方面,通过吸附微塑料,已通过粪便排出,另一方面,通过调节肠道菌群,修复肠道。特别是对危害更大的纳米塑料有效^[22]。除益生菌以外,研究还发现,酚类化合物和维生素在减弱微塑料引发的毒性方面有巨大的潜力^[23]。

2 标准情况

截至目前,已发布的微塑料相关的ISO国际标

准主要为环境方面,涉及环境、饮用水和纺织品,具体包括环境基质中微塑料分析的基本原则,饮用水中微塑料的分析,除此之外,还涉及从纺织品中脱落并在洗涤过程中释放到洗涤水中的微塑料纤维的收集和分析^[24]。国内关于微塑料的统一方法标准尚处于起步阶段。目前,已发布国家标准GB/T 40146—2021《化妆品中塑料微珠的测定》。该标准适用于化妆品中塑料微珠的测定,不适用于彩妆类化妆品中塑料微珠的测定。即该标准可用于儿童用化妆品中塑料微珠的定性分析,将样品分散后,经过滤、烘干再对固体颗粒采用傅立叶变换红外光谱法定性。国内关于微塑料已发布行业标准SN/T 5587—2024《进出口化妆品中塑料微珠的定性测定》。该标准规定了进出口化妆品中塑料微珠的傅立叶变换红外光谱法、热重法、差示扫描量热法定性测定方法。GH/T 1378—2022《农田地膜源微塑料残留量的测定》,该标准适用于聚乙烯类地膜源微塑料残留量的测定,用放大镜测定微塑料数量,干燥恒重后称重。地方标准DB37/T 4323—2021《海水增殖区环境微塑料监测技术规范》规定使用体视显微镜对玻璃纤维滤膜上的微塑料样品进行识别、拍照和计数。利用显微镜CCD镜头进行拍照,并使用相关图像软件计算长度。使用显微傅立叶变换红外光谱仪对微塑料颗粒进行定性。DB21/T 2751—2017《海水中微塑料的测定 傅立叶变换显微红外光谱法》规定使用体视显微镜记录颜色、大小、形状,傅立叶变换显微红外光谱仪对微塑料颗粒进行定性,适用于7种微塑料的测定。此外,还发布了DB37/T 4684—2023

《海滨滩涂微塑料监测技术规范》。上述标准主要涉及检测环境中的微塑料。国家标准方面,已立项的有3项,分别为20231614-T-608《纺织品 来源于纺织品的微塑料 第1部分:织物经水洗后收集物质量的测定》、20231624-T-608《纺织品 来源于纺织品的微塑料 第3部分:纺织最终产品经家庭洗涤后收集物质量的测定》、20250584-T-606《环境中微塑料分析的原则》。

3 展望

本文概述了儿童微塑料暴露的多个影响因素,总结了微塑料对儿童的健康危害,并阐述了目前微塑料相关的国家标准、行业标准和地方标准现状以及研究的相关内容。目前,亟须研究儿童接触微塑料的基础数据,以进一步明确微塑料对儿童健康影响的具体机制和剂量效应。根据上述数据,制定儿童相关产品的微塑料含量或释放量强制标准。与此同时,仍需研究更为规范的标准化操作流程、前处理和检测技术,以提高结果准确性。随着微塑料检测技术日趋标准化,制定儿童相关产品的微塑料含量或释放量的测试方法标准,包括定性和定量方面。未来将发布更多和儿童密切相关的微塑料标准,以解决目前标准缺少的现状,更好地保护儿童的健康成长。与此同时,孕妇微塑料暴露如何通过胎盘或母乳影响胎儿的研究也十分重要。纳米尺度的塑料颗粒检测难题和毒理学评估数据还有待进一步突破。如何降低微塑料对人体健康的影响还亟待解决。

参考文献

- [1] THOMPSON R C, OLSEN Y, MITCHELL R P, et al. Lost at Sea: Where is all the Plastic?[J]. Science, 2004, 304(5672): 838.
- [2] 谢颖,施赞宇,庞皓东,等.微塑料污染现状及检测方法研究进展[J]. 环境科学与管理, 2024, 49(2):105-110.
- [3] 姚晶晶,韦存茜,孙梦捷. 食品接触材料中微塑料的释放及检测[J]. 包装工程, 2023,44(19):33-41.
- [4] THOMPSON R C, COURTENE-JONES W, BOUCHER J, et al. Twenty years of microplastic pollution research—what have we learned?, Journal of Bio-X Research, 2024, 386(6720). Available at: 10.1126/science.adl2746.
- [5] SRIPADA K, WIERZBICKA A, ABASS K, et al. A Children's Health Perspective on Nano- and Microplastics, Environmental Health Perspectives, 2022,

- 130(1): 15001.
- [6] KOUTNIK V S, LEONARD J, EL RASSI L A, et al. Children's playgrounds contain more microplastics than other areas in urban parks[J]. *Science of The Total Environment*, 2023, (854): 1–8.
- [7] 耿阳,张艳飞,胡曼,等.儿童微塑料经食品与空气暴露特征分析[J]. *上海预防医学*, 2022,34(1):50–55.
- [8] MIŠLANOVÁ C, VALACHOVIČOVÁ M, SLEZÁKOVÁ Z, An Overview of the Possible Exposure of Infants to Microplastics[J]. *Life*, 2024, 14(3), 371; <https://doi.org/10.3390/life14030371>.
- [9] LI Y, ZHANG J J, XU L, et al. Leaf absorption contributes to accumulation of microplastics in plants[J]. *Nature*, Published 09 April 2025, DOI <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08831-4>
- [10] KADAC-CZAPSKA K, TRZEBIATOWSKA P J, MAZURKIEWICZ M, et al. Isolation and identification of microplastics in infant formulas – A potential health risk for children [J]. *Food Chemistry*, 2024, 440: 1–10.
- [11] (WHO, 2022) Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health (<https://www.who.int/publications/i/item/9789240054608>)
- [12] LI D, SHI Y, YANG L, et al. Microplastic release from the degradation of polypropylene feeding bottles during infant formula preparation[J]. *nature food*, 2020, 1: 746–754.
- [13] 郭晴,王艳华,杨硕,等.塑料奶瓶中的隐秘威胁:微塑料释放特征与风险评估[J]. *中国无机分析化学*, 2024,14(8): 1079–1090.
- [14] FACHINA S, ARARIPE E, ZUIN ZEIDLER V G. Defining greener, healthier and more sustainable toys: A case study of L.O.L. Surprise! [J]. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 2024, (41): 1–10.
- [15] SIPE J M, BOSSA N, BERGER W, et al. From bottle to microplastics: Can we estimate how our plastic products are breaking down? .*Science of The Total Environment*, 2022(814): 1–9.
- [16] LUO Y L, NAIDU R , FANG C. Toy building bricks as a potential source of microplastics and nanoplastics[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2024, 471: 1–9.
- [17] ALVAREZ-ROMAÑ R, NAIK A, KALIA Y N, et al. Skin penetration and distribution of polymeric nanoparticles [J]. *Journal of Controlled Release*, 2004,99(1):53–62.
- [18] MARQUART H, PARK M V D Z, GIANNAKOU C, et al. A critical review of the factors determining dermal absorption of nanomaterials and available tools for the assessment of dermal absorption[EB/OL]. European Chemicals Agency (2020), <http://hdl.handle.net/10029/624894>
- [19] ZHA H, LI Q, WANG Q, et al. Hazardous potential assessment of airborne and foodborne polyvinyl alcohol and polyhydroxyalkanoates nanoplastics: Comparison with polyvinyl chloride nanoplastics[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2024,485:1–17.
- [20] 李明菊,李卓,白英龙,等.微塑料对儿童健康的影响[J]. *中国学校卫生*, 2022,43(2):316–320.
- [21] XU Z M, SHEN J M, LIN L H. Exposure to irregular microplastic shed from baby bottles activates the ROS/NLRP3/Caspase-1 signaling pathway, causing intestinal inflammation[J]. *Environment International*, 2023, (181) : 108296.
- [22] SHI L T, WANG L L, TENG X, et al. Lactic acid bacteria reduce polystyrene micro- and nanoplastics-induced toxicity through their bio-binding capacity and gut environment repair ability[J]. *Environmental Pollution*, 2025, 366: 1–12.
- [23] CHENG J, LI J H, XIONG R G, et al. Potentially harmful effects of micro-/nanoplastics on humans as well as protective actions of dietary natural products[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2025,156:1–16.
- [24] 王佳敏,高峡.微塑料检测技术进展及国内外标准现状[J/OL]. *分析测试学报*. <https://link.cnki.net/urlid/44.1318.TH.20250124.1611.001>.