

环境中邻苯二甲酸酯的研究进展

姚圆圆^{1,2}, 贾秀平², 李振国³, 李凯祥³, 邵元凯³, 任晓宁³, 鲁逸人¹

¹天津大学环境科学与工程学院, 天津

²谱尼测试集团股份有限公司, 北京

³移动源污染排放控制技术国家工程实验室, 天津

收稿日期: 2023年11月8日; 录用日期: 2023年12月8日; 发布日期: 2023年12月19日

摘要

邻苯二甲酸酯类物质(PAEs)在环境中广泛存在, 主要是作为增塑剂应用于化妆品和装修材料等工业和日常生活产品中。随着经济的快速发展, 人们处于室内的时间越来越长, 所使用的保养品也越来越多, 且接触频率非常高。因此, 研究环境中PAEs的污染水平, 对人类健康的风险评价有着重要意义。本文介绍了PAEs的应用现状, 综述了其人体健康危害与环境污染分布。同时, 分析讨论了PAEs的室内暴露途径, 并展望其未来的发展趋势。

关键词

邻苯二甲酸酯, 生物毒性, 污染分布, 人体暴露

Research Progress of Phthalates in the Environment

Yuanyuan Yao^{1,2}, Xiuping Jia², Zhenguo Li³, Kaixiang Li³, Yuankai Shao³, Xiaoning Ren³, Yiren Lu¹

¹School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin

²Pony Testing International Group Co. Ltd., Beijing

³National Engineering Laboratory for Mobile Source Emission Control Technology, Tianjin

Received: Nov. 8th, 2023; accepted: Dec. 8th, 2023; published: Dec. 19th, 2023

Abstract

Phthalates (PAEs) widely exist in the environment and are mainly used as plasticizers in industrial and living products, such as cosmetics and decoration materials. With the rapid economic development, people spend more time indoors and use skin care products more frequently. Therefore, it is

文章引用: 姚圆圆, 贾秀平, 李振国, 李凯祥, 邵元凯, 任晓宁, 鲁逸人. 环境中邻苯二甲酸酯的研究进展[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(6): 1281-1287. DOI: 10.12677/aep.2023.136154

of great significance to study the pollution level of PAEs in the environment for risk assessment of human health. This paper introduces the application status of PAEs and summarizes their human health hazards and environmental pollution distribution. Meanwhile, the indoor exposure pathways of PAEs are also analyzed and discussed, and their future development trends have prospected.

Keywords

Phthalates, Biological Toxicity, Pollution Characteristic, Human Exposure

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 背景介绍

2004年5月17日,《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》已正式生效,12种持久性有机污染物被列入首批名单。2009年,新增9种受控物质;2011年,硫丹及其相关异构体被纳入公约;2017年,十溴二苯醚和短链氯化石蜡列入公约附件。邻苯二甲酸酯类(PAEs)作为新型的有机污染物,早在2000年,Jaakkola等[1]在2000年对2568个2~7的儿童进行了横断面研究,发现塑料墙面材料与呼吸道疾病有显著关系。Kolarik等[2]进行了cases-control研究,结果表明DEHP与儿童现患哮喘症状的关联性显著。Newbold[3]提出暴露于内分泌干扰物有可能是导致肥胖症的原因之一。国内研究中,Guo等[4]对上海地区21个灰尘样本进行了分析得到DiBP(中值:33.6 μg/g)、DnBP(中值:26.9 μg/g)、DEHP(中值:319 μg/g)。Bu等[5]对重庆市30户家庭内灰尘样品进行检测分析,其浓度为DiBP(中值:75.4 μg/g)、DnBP(中值:139.3 μg/g)、DEHP(中值:1450 μg/g)。当前的研究已证明其具有生物毒性、难降解、中尺度或大尺度传输的特性[6],而且在我国居民的室内环境灰层中有所分布,PAEs具有被列入持久性有机污染物名录的可能性。

PAEs因其自身的特性,在增塑剂中已被大量使用[7]。其中,PAEs已被证实与成年人早期肾损伤之间的关联性,以及对其他不同年龄段生物体具有致癌、致畸变等毒性[8][9]。由此可见,人居环境中PAEs的研究显得尤为重要。而且,PAEs的室内环境暴露及其健康效应是国内外科研机构、公众、政府及媒体关注的焦点,其研究结果对于揭示过敏性疾病和其他“现代疾病”发病率高升的原因起着重要的作用。国对PAEs分析方法和环境污染现状研究正处于起步阶段,目前大部分的研究集中在水体和空气中[10]。统计数据表明平均,每个人一天花费将近21小时的时间在室内活动,但是目前国内对室内灰尘中PAEs的相关的研究较少[10]。鉴于此,本论文浅析了PAEs类持久性有机污染物的国内外研究现状,包括应用现状、生物毒害性、环境污染分布与暴露途径等。

2. 邻苯二甲酸酯的应用现状

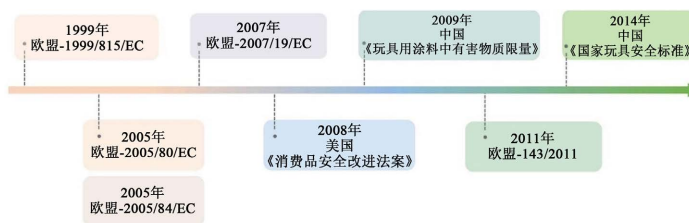


Figure 1. Some important historical events related to the restriction of the use of phthalates (PAEs) at home and abroad

图1. 国内外有关限制邻苯二甲酸酯(PAEs)使用的一些重要的历史事件

PAEs 于 20 世纪 20 年代开始生产, 发展到 30 年代, 人们就发现了 PAEs 添加到材料中可以增强其柔韧性和拉伸性。进入 50 年代, PAEs 达到生产增速最明显的时期, 这期间主要是用于增加 PVC 的弹性[11]。之后的发展时期, PAEs 的应用范围非常广泛, 包括油漆、粘合剂、墙面涂料、发胶、香水、医疗器械、表面活性剂、包装、儿童玩具、印刷用油墨与涂层、药物肠溶衣与赋形剂、食品生产、纺织品、家具等[12] [13] [14] [15]。为得到相应柔软性的塑料制品, 必须加入足够量的增塑剂, 例如玩具类的用品需要用到 PAEs 35~40%的用量, 食品包装制品在 28%左右[12] [13]。为让香水的挥发速度变缓, 指甲油保持时间更加持久, DMP、DEP、DBP 等小分子量的 PAEs 开始作为溶剂应用于化妆品和护理品中。在建筑材料中, BBP 多用于乙烯基地板、合成革以及粘合剂中[16]。

随着 PAEs 的大量使用, 人们逐渐认识到了其暴露对健康的危害。如图 1 所示, 各国陆续颁布相应的法律法规以限制其在生活产品中的超量使用。1999 年, 欧盟率先颁布 1999/815/EC, 限制了 PAEs 在儿童玩具中的使用, 之后一直修订标准。并于 2011 年, 在新法案 143/2011 号规定, 截止至 2015 年 8 月应逐步停止 DEHP、DnBP 和 BBzP 的使用。另外, 美国于 2008 年在《消费品安全改进法案》中规定, 自 2009 年起 PAEs 在儿童玩具中的含量不得超过 0.1%。目前, 我国于 2009 年颁布了《玩具用涂料中有害物质限量》(GB 24613-2009), 于 2014 年又颁布《国家玩具安全标准》(GB 6675-2014), 规定了 PAEs 的限值。这就意味着, 所有玩具产品和涂料, 包括可放入口中的三种增塑剂 DBP、BBP 和 DEHP 总含量 $\leq 0.1\%$, 可放入口中的产品还要额外满足 DiNP、DiDP 和 DnOP 总含量不得超过 0.1%, 并宣布此标准于 2016 年 1 月 1 日执行。相比之下, 我国 PAEs 生产量和使用量巨大, 但是相关法律法规不健全, 导致我国的 PAEs 污染现状严峻。

3. 邻苯二甲酸酯的健康危害

Table 1. Six phthalates (PAEs) and their physicochemical properties

表 1. 六种邻苯二甲酸酯(PAEs)及其理化性质

目标化合物	缩写	分子量	水溶解度(mg/L)	蒸汽压(Pa)
邻苯二甲酸二(2-乙基)己酯	DEHP	391	2.49×10^{-3}	2.52×10^{-5}
邻苯二甲酸二异丁酯	DiBP	278	9.9	4.73×10^{-3}
邻苯二甲酸丁基苄酯	BBP	312	3.8	2.49×10^{-3}
邻苯二甲酸二正丁酯	DBP	278	9.9	4.73×10^{-3}
邻苯二甲酸二甲酯	DMP	194	5220	2.63×10^{-1}
邻苯二甲酸二乙酯	DEP	222	591	6.48×10^{-2}

1972 年, 美国国家环境健康科学研究所专门召开了关于 PAEs 的学术会议, 使人们认识到 PAEs 对环境产生污染, 从此, PAEs 的危害开始受到全世界的广泛关注。到目前为止, PAEs 已研发出数种, 如表 1 所示。

3.1. 致癌、致畸、致突变

PAEs 被认为是一种过氧化物酶体增殖剂, 能够对动物细胞的分化产生不利的影 响。使细胞增殖并损害细胞内的 DNA, 导致肿瘤的形成[17]。1982 年, 美国国家毒理规划署实验报道大小白鼠通过饮食, 长期摄入 DEHP 引发肝癌, 而且 DEHP 的单体 MEHP 也会导致睾丸间质细胞内肿瘤。后来研究者通过动物学实验证明, 长期对大小鼠进行慢性毒性实验, 导致细胞癌的发生率明显提高。因此, 美国环保署将其归为 B2 类风险等级(人类可能致癌物), 并制定了癌症危险度评价标准。Agarwal 等[18]发现 DEHP 对小鼠有显性致死和致突变作用, 小鼠暴露在高剂量的 DOP 下, 精子出现畸形的概率显著增加。Anderson 等[19]研究表面明 DEHP 作用下, 使沙门菌属 TA100 发生突变的现象。高丽芳等[20]发现, 长期暴露在

DEHP 环境, 可使胚胎形态发育异常, 产生畸变, 主要体现在其骨骼、神经和心血管系统。

3.2. 生殖毒性

有动物实验表明, 有些种类的 PAEs 有生殖毒性, 主要表现在影响睾丸发育、抑制精子生长, 损害生殖系统机能。Thompson 等[21]研究了 DBP 对大鼠胚胎睾丸的影响。结果表明, 高剂量的 DBP 暴露会降低睾丸酮的合成, 增加雄性生殖系统发育不良的概率。Sailien fait 等[22]研究发现 DBP 的代谢产物 MBP, 对大鼠的胚胎具有毒性, 会导致胚胎生长发育缓慢, 同时对胚胎具有致畸的可能。Ema 等[23]对妊娠期大鼠研究发现, 高浓度的 MBP 对生殖系统影响严重, 使胚胎死亡率显著增加, 而且随 MBP 的浓度增高呈现上升趋势。

3.3. 内分泌系统紊乱

因为和人体内许多种荷尔蒙的结构相似, PAEs 被认为是一种内分泌干扰物(Endocrine disruptors)[24]。Duty 等[25]发现男性血清内生殖系统的荷尔蒙水平会随着 DnBP 和 BBzP 的暴露改变而变化。Fong 等[26]研究发现 DEHP 的暴露水平与体内性荷尔蒙水平呈现正相关, DEHP 可以改变男性体内甲状腺激素的浓度水平。此外, 一些动物实验数据显示暴露在 DEHP 的环境中可以使大鼠的青春期提前[27]。

4. 邻苯二甲酸酯的环境污染分布

由于聚烯烃等塑料分子与 PAEs 之间以氢键或范德华力结合, 因此在生产、使用和堆积的过程中, PAEs 已经愈来愈多的进入到环境中, 继而向水源、土壤、降尘中迁移, 造成 PAEs 的富集。我国地域辽阔, 不同地区生活和生产方式的差别势必导致 PAEs 浓度的差异[28]。Guo 等[29]通过对济南市塑料大棚空气中的 PAEs 的分析, 结果显示密闭塑料大棚中 DBP 和 DEHP 的浓度明显高于外界空气中的浓度。Zeng 等[30]对广州市土壤的分析显示 PAEs 浓度能达到 1.67~322 $\mu\text{g/g}$ 。Chen 等[31]对广州市不同功能区道路灰尘进行研究, 发现 PAEs 的含量较高, 主要为 DEHP、DnBP 和 DiBP。Mo 等对我国多个地区的城市污泥进行了研究, 结果发现大分子的 DOP 在污泥中的含量相对较高, 同时污泥中的 PAEs 类会和水中含量呈动态平衡, 而水中的动植物对 PAEs 具有一定的富集作用, 导致整个水中生态环境的污染。

关于室内灰尘中 PAEs 的污染状况, 亦有一定的研究报道。Guo 与 Kannan 在 2010 年采集了中国 6 个城市 75 个家庭灰尘样品, 测得 9 种 PAEs 的总浓度范围为 24.4~8590 $\mu\text{g/g}$ [32]; Wang 等于 2010~2011 年间采集了 23 个北京市家庭灰尘样品, 测得 5 种 PAEs 的总浓度范围为 80.8~24600 $\mu\text{g/g}$ [33]; Wang 等 2010 年在广州与香港各采集了 20 个家庭灰尘样品, 测得 13 种 PAEs 的总浓度范围分别为 301~1180 $\mu\text{g/g}$ 与 4.95~2220 $\mu\text{g/g}$ [34]。由于人每天大部分时间在室内活动, 室内环境中的 PAEs 的研究十分重要, 而目前针对室内环境中 PAEs 的研究主要集中在室内空气和降尘。

5. 邻苯二甲酸酯的室内暴露途径

根据世界卫生组织挥发性有机物分类原则, 属于半挥发性有机化合物。由于较低的饱和蒸汽压, 因此易于吸附在室内的颗粒物、灰尘以及各种家具、人体皮肤的表面[35]。目前已经有文献报道, 在日常的家居生活环境中检测并发现了 PAEs, 常见的物品如空气、降尘、食品包装、日通玩具等[14] [5] [36] [37] [38]。值得注意的是, 小分子量的 PAEs 类可以通过挥发进入大气, 大分子量的 PAEs 类主要附着在空气中的颗粒物上, 所以, PAEs 类主要以气溶胶的形式存在于空气中, 空气中的较大颗粒物又会以降尘的形式存在于室内环境中。如图 2 所示, 随着人类的各种活动, 通过人们在日常生活中的行为举止, 可借助自主呼吸、口入和皮肤接触这三种主要的暴露途径由环境介质而进入人体[39]。在随后的人体新陈代谢过程中, 逐步作用于靶器官, 从而导致生命体出现生理平衡状态失调的各种病症。呼吸暴露主要表现为

吸入人体的空气中含有浓度的气相和细小颗粒相的 PAEs；口入暴露，对成人而言，分为食物和水中的 PAEs 直接摄入，以及灰尘和土壤中 PAEs 的间接摄入，对婴幼儿而言，由于心智尚未发育成熟，主要还包括吮吸手指、啃咬玩具等而摄入 PAEs [9] [40]；皮肤暴露主要表现在，气相中的 PAEs 直接被皮肤吸收，经沉降或者黏附于皮肤表面的颗粒物被吸收，皮肤通过与物品表面的接触传递而吸收等。有研究者收集了人体的尿液、血液和粪便等[41]，经分析检测后发现了 PAEs 的代谢产物，说明 PAEs 一经吸收就会分布在人体各组织中并被代谢，由此对人体的健康产生不利影响。

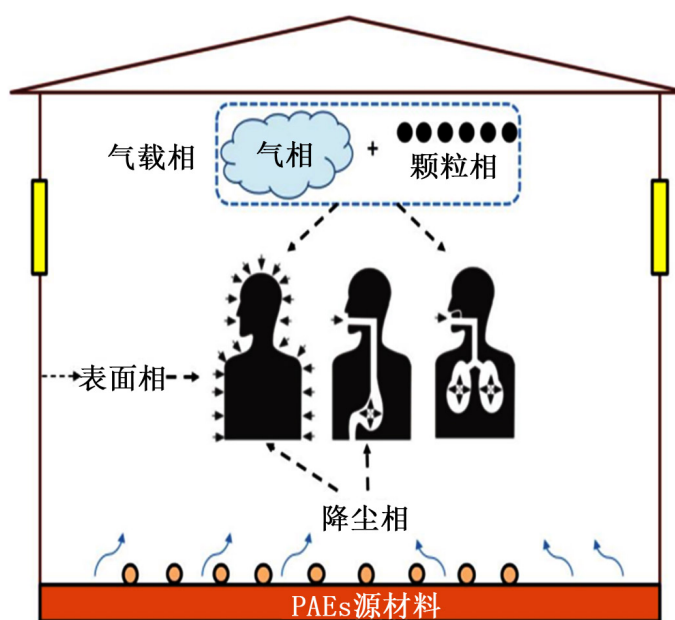


Figure 2. Schematic diagram of the main pathways of exposure to phthalates (PAEs) in indoor environments
图 2. 室内环境邻苯二甲酸酯(PAEs)暴露的主要途径示意图

6. 结语

邻苯二甲酸酯(Phthalate acid esters, 简称 PAEs)是一类广泛添加于日常消费品的增塑剂。在此，本文介绍了 PAEs 的应用现状，综述了其人体健康危害与环境污染分布。研究表明：

(1) 我国 PAEs 的用量很大、使用范围广、接触人口多，但是相关法律法规不健全，导致我国的 PAEs 污染现状严峻；

(2) 随着塑料制品的广泛普及，人们已认识到 PAEs 的暴露对生殖系统和内分泌系统等均会产生不良影响，具有明显的致突变性、致癌性和致畸性等特殊毒性；

(3) PAEs 已经愈来愈多的进入到环境中，继而向水源、土壤、降尘中迁移。其中，水中的动植物对 PAEs 具有一定的富集作用，导致整个水中生态环境的污染；

(4) 室内环境中 PAEs 暴露可借助自主呼吸、口入和皮肤接触，这三种主要的暴露途径由环境介质而进入人体。

为了减缓 PAEs 对生态环境和生物体的负面效应，应加强对其生态安全性的评价，并加快研究和开发环境中邻苯二甲酸酯污染的控制和治理技术。

基金项目

天津市重点研发计划(No. 19YFZCSF00830)。

参考文献

- [1] (2011) Plastic Wall Materials in the Home and Respiratory Health in Young Children. *American Journal of Public Health*, **90**, 797-799. <https://doi.org/10.2105/AJPH.90.5.797>
- [2] Kolarik, B., Naydenov, K., Larsson, M., Bornehag, C.G. and Sundell, J. (2008) The Association between Phthalates in Dust and Allergic Diseases among Bulgarian Children. *Environmental Health Perspectives*, **116**, 98-103. <https://doi.org/10.1289/ehp.10498>
- [3] Newbold, R.R., Padilla-Banks, E., Snyder, R.J., Phillips, T.M. and Jefferson, W.N. (2007) Developmental Exposure to Endocrine Disruptors and the Obesity Epidemic. *Reproductive Toxicology*, **23**, 290-296. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2006.12.010>
- [4] Guo, Y. and Kannan, K. (2011) Comparative Assessment of Human Exposure to Phthalate Esters from House Dust in China and the United States. *Environmental Science & Technology*, **45**, 3788-3794. <https://doi.org/10.1021/es2002106>
- [5] Bu, Z., Zhang, Y., Mmerekki, D., et al. (2016) Indoor Phthalate Concentration in Residential Apartments in Chongqing, China: Implications for Preschool Children's Exposure and Risk Assessment. *Atmospheric Environment*, **127**, 34-45. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.12.010>
- [6] Mondal, T., Mondal, S., Ghosh, S.K., et al. (2022) Phthalates—A Family of Plasticizers, Their Health Risks, Phytotoxic Effects, and Microbial Bioaugmentation Approaches. *Environmental Research*, **214**, Article ID: 114059. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114059>
- [7] Angnunavuri, P.N., Attiogbe, F. and Mensah, B. (2022) Effect of Storage on the Levels of Phthalates in High-Density Polyethylene (HDPE) Film-Packaged Drinking Water. *Science of the Total Environment*, **845**, Article ID: 157347. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157347>
- [8] Liu, S., Yang, R., Yang, Q., et al. (2022) The Independent and Interactive Effects of Phthalates Exposure and Hypertension on the Indicators of Early Renal Injury in US Adults: Evidence from NHANES 2001-2004. *Environmental Research*, **213**, Article ID: 113733. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113733>
- [9] Zhu, C., Sun, Y., Zhao, Y., et al. (2022) Associations between Children's Asthma and Allergic Symptoms and Phthalates in Dust in Metropolitan Tianjin, China. *Chemosphere*, **302**, Article ID: 134786. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134786>
- [10] Hua, L., Guo, S., Xu, J., et al. (2022) Phthalates in Dormitory Dust and Human Urine: A Study of Exposure Characteristics and Risk Assessments of University Students. *Science of the Total Environment*, **845**, Article ID: 157251. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157251>
- [11] Simoneit, B., Medeiros, P.M. and Didyk, B.M. (2005) Combustion Products of Plastics as Indicators for Refuse Burning in the Atmosphere. *Environmental Science & Technology*, **39**, 6961-6970. <https://doi.org/10.1021/es050767x>
- [12] Schettler, T. (2006) Human Exposure to Phthalates via Consumer Products. *International Journal of Andrology*, **29**, 134-139. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2605.2005.00567.x>
- [13] Net, S., Sempere, R., Delmont, A., et al. (2015) Occurrence, Fate, Behavior and Ecotoxicological State of Phthalates in Different Environmental Matrices. *Environmental Science & Technology*, **49**, 4019-4035. <https://doi.org/10.1021/es505233b>
- [14] Guo, Y. and Kannan, K. (2013) A Survey of Phthalates and Parabens in Personal Care Products from the United States and Its Implications for Human Exposure. *Environmental Science & Technology*, **47**, 14442-14449. <https://doi.org/10.1021/es4042034>
- [15] Koniecki, D., Rong, W., Moody, R.P. and Zhu, J.P. (2011) Phthalates in Cosmetic and Personal Care Products: Concentrations and Possible Dermal Exposure. *Environmental Research*, **111**, 329-336. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.01.013>
- [16] McDonald, A. (1995) Some Industrial Chemicals: IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol 60. *Occupational & Environmental Medicine*, **52**, 360. <https://doi.org/10.1136/oem.52.5.360-a>
- [17] 张蕴晖. 邻苯二甲酸二乙基己酯对环境和生物体的危害[J]. 环境卫生学杂志, 2002, 29(2): 73-77.
- [18] Wei, X., Wan, H.T., Zhao, Y.G., et al. (2011) Effects of Perinatal Exposure to Bisphenol A and Di(2-Ethylhexyl)-Phthalate on Gonadal Development of Male Mice. *Environmental Science & Pollution Research*, **19**, 2515-2527. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0827-y>
- [19] Anderson, D., Yu, T.W. and Hinal, F. (1999) Effect of Some Phthalate Esters in Human Cells in the Comet Assay. *Teratogenesis Carcinogenesis and Mutagenesis*, **19**, 275-280. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6866\(1999\)19:4<275::AID-TCM4>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6866(1999)19:4<275::AID-TCM4>3.0.CO;2-1)
- [20] 高丽芳, 李勇, 苏忆兰. 邻苯二甲酸二-(2-乙基己基)酯对小鼠胚胎致畸作用和心肌细胞的毒性[J]. 毒理学杂志, 2005, 19(2): 123-124.

- [21] Thompson, C.J., Ross, S.M. and Gaido, K.W. (2004) Di(n-Butyl) Phthalate Impairs Cholesterol Transport and Steroidogenesis in the Fetal Rat Testis through a Rapid and Reversible Mechanism. *Endocrinology*, **3**, 1227-1237. <https://doi.org/10.1210/en.2003-1475>
- [22] Saillenfait, A.M., Langonné, I. and Leheup, B. (2010) Effects of Mono-n-Butyl Phthalate on the Development of Rat Embryos: *In vivo* and *in vitro* Observations. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, **89**, 104-112. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0773.2001.890207.x>
- [23] Ema, M. and Miyawaki, E. (2001) Adverse Effects on Development of the Reproductive System in Male Offspring of Rats Given Monobutyl Phthalate, a Metabolite of Dibutyl Phthalate, during late Pregnancy. *Reproductive Toxicology*, **15**, 189-194. [https://doi.org/10.1016/S0890-6238\(01\)00111-3](https://doi.org/10.1016/S0890-6238(01)00111-3)
- [24] Bornehag, C.G., Sundell, J., Weschler, C.J., *et al.* (2004) The Association between Asthma and Allergic Symptoms in Children and Phthalates in House Dust: A Nested Case-Control Study. *Environmental Health Perspectives*, **112**, 1393-1397. <https://doi.org/10.1289/ehp.7187>
- [25] Stahlhut, R.W., Wijngaarden, E.V., Dye, T.D., *et al.* (2007) Concentrations of Urinary Phthalate Metabolites Are Associated with Increased Waist Circumference and Insulin Resistance in Adult U.S. Males. *Environmental Health Perspectives*, **115**, 876-882. <https://doi.org/10.1289/ehp.9882>
- [26] Swan, S.H., Main, K.M., Fan, L., *et al.* (2005) Decrease in Anogenital Distance among Male Infants with Prenatal Phthalate Exposure. *Environmental Health Perspectives*, **113**, 1056-1061. <https://doi.org/10.1289/ehp.8100>
- [27] Kanazawa, A., Saito, I., Araki, A., *et al.* (2010) Association between Indoor Exposure to Semi-Volatile Organic Compounds and Building-Related Symptoms among the Occupants of Residential Dwellings. *Indoor Air*, **20**, 72-84. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2009.00629.x>
- [28] Zhang, Y., Jiao, Y., Li, Z., *et al.* (2021) Hazards of Phthalates (PAEs) Exposure: A Review of Aquatic Animal Toxicology Studies. *Science of the Total Environment*, **771**, Article ID: 145418. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145418>
- [29] Guo, W. (1997) Analysis of Phthalate Esters in Urban Air and Plastic Greenhouse Air. *Environmental Chemistry*, **13**, 557-560.
- [30] Feng, Z., Cui, K., Xie, Z., *et al.* (2009) Distribution of Phthalate Esters in Urban Soils of Subtropical City, Guangzhou, China. *Journal of Hazardous Materials*, **164**, 1171-1178. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.029>
- [31] 陈丽旋, 曾锋, 罗丹玲. 城市道路灰尘中邻苯二甲酸酯污染特征研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(3): 409-413.
- [32] Nanni, N., Fiselier, K., Grob, K., *et al.* (2011) Contamination of Vegetable Oils Marketed in Italy by Phthalic Acid Esters. *Food Control*, **22**, 209-214. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.05.022>
- [33] Ying, X.U., Hual, E.A.C., Clausen, P.A. and Little, J.C. (2009) Predicting Residential Exposure to Phthalate Plasticizer Emitted from Vinyl Flooring: A Mechanistic Analysis. *Environmental Science & Technology*, **43**, 2374-2380. <https://doi.org/10.1021/es801354f>
- [34] Wei, W., Wu, F.Y., Huang, M.J., *et al.* (2013) Size Fraction Effect on Phthalate Esters Accumulation, Bioaccessibility and *in vitro* Cytotoxicity of Indoor/Outdoor Dust, and Risk Assessment of Human Exposure. *Journal of Hazardous Materials*, **261**, 753-762. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.04.039>
- [35] Weschler, C.J. and Nazaroff, W.W. (2008) Semivolatile Organic Compounds in Indoor Environments. *Atmospheric Environment*, **42**, 9018-9040. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.052>
- [36] Wang, X., Wei, T., Xu, Y., Feng, J.T. and Wang, F.H. (2014) Indoor Phthalate Concentration and Exposure in Residential and Office Buildings in Xi'an, China. *Atmospheric Environment*, **87**, 146-152. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.01.018>
- [37] Clark, K.E., David, R.M., Guinn, R., *et al.* (2011) Modeling Human Exposure to Phthalate Esters: A Comparison of Indirect and Biomonitoring Estimation Methods. *Human & Ecological Risk Assessment: An International Journal*, **17**, 923-965. <https://doi.org/10.1080/10807039.2011.588157>
- [38] Guney, M. and Zagury, G.J. (2011) Toxic Chemicals in Toys and Children's Products. *Environmental Science & Technology*, **45**, 3819. <https://doi.org/10.1021/es200810s>
- [39] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (1992) Public Health Assessment Guidance Manual. *Chemosphere*, **31**, 2437-2454.
- [40] Gabriel, B., Weschler, C.J., Sarka, L., *et al.* (2013) Children's Phthalate Intakes and Resultant Cumulative Exposures Estimated from Urine Compared with Estimates from Dust Ingestion, Inhalation and Dermal Absorption in Their Homes and Daycare Centers. *PLOS ONE*, **8**, e62442. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062442>
- [41] Fromme, H., Lahrz, T., Kraft, M., *et al.* (2013) Phthalates in German Daycare Centers: Occurrence in Air and Dust and the Excretion of Their Metabolites by Children (LUPE 3). *Environment International*, **61**, 64-72. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.09.006>