

# Research Progress of Organophosphate Flame Retardant in Environmental Dust

Xing Deng, Zhu Cheng, Jie Liu, Qin Ran, Shicheng Liu, Xiaodong Su\*

College of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing  
Email: 790346292@qq.com, \*155194861@qq.com

Received: Apr. 17<sup>th</sup>, 2019; accepted: May 2<sup>nd</sup>, 2019; published: May 9<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

In recent years, polybrominated diphenyl ethers flame retardant has been gradually banned in the world. As the main substitute, organophosphate flame retardant (OPFRs) is widely used in plastics, textiles, electronic equipment, furniture and building materials due to its excellent flame retardant effect. As a new type of persistent organic pollutants, OPFRs has been paid more and more attention by environmental scientists at home and abroad. In this paper, OPFRs toxicity, study on the analytical method of OPFRs, the dust OPFRs detection of indoor and outdoor environment in the research, and different national environmental dust OPFRs distribution were introduced, and summarized the research status quo of the current OPFRs. Furthermore, the future research directions in this field are also prospected, which can provide information and reference for the environmental pollution research of OPFRs and the health risk assessment of human body in China.

## Keywords

Organic Phosphate, Flame Retardant, Dust

# 环境灰尘中有机磷酸酯阻燃剂的研究进展

邓星, 成祝, 刘洁, 冉琴, 刘世成, 苏小东\*

重庆科技学院化学化工学院, 重庆  
Email: 790346292@qq.com, \*155194861@qq.com

收稿日期: 2019年4月17日; 录用日期: 2019年5月2日; 发布日期: 2019年5月9日

## 摘要

近年来, 多溴联苯醚类阻燃剂在世界范围内逐渐被禁用, 有机磷酸酯阻燃剂(OPFRs)作为其主要替代品, 由于其优秀的阻燃效果, 广泛应用于塑料、纺织品、电子设备、家具和建筑材料。OPFRs作为一类新型

\*通讯作者。

持久性有机污染物，已经受到了国内外环境科学工作者越来越多的关注。本文介绍了OPFRs的毒性、OPFRs的分析方法研究、室内和室外环境灰尘中OPFRs的研究以及不同国家环境灰尘中OPFRs的分布情况，综述了当前OPFRs的研究现状，并对该领域今后的主要研究方向提出展望，为我国有机磷酸酯阻燃剂的环境污染研究和对人体的健康风险评估提供信息和借鉴。

## 关键词

有机磷酸酯，阻燃剂，灰尘

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

## 1. 引言

阻燃剂是添加到高分子材料中以防止或延缓火灾的化学品，包括有机阻燃剂和无机阻燃剂。有机磷酸酯阻燃剂(Organophosphate flame retardants, OPFRs)由于具有良好的阻燃效果和低廉的生产成本，以及多溴联苯醚阻燃剂在世界范围内逐渐被禁用，被广泛用作防火剂和增塑剂。近年来世界范围内有机磷酸酯阻燃剂的需求量与生产量都有了大幅度的增加，并广泛应用于塑料、纺织品、电子设备、家具和建筑材料中[1] [2] [3] [4]。

OPFRs 主要以添加方式而非化学键合的方式加入到材料中，这增加了 OPFRs 进入周围环境的机会。人体长期暴露于含有 OPFRs 的环境中会引起皮肤刺激和皮炎、导致神经毒性、致癌性、基因毒性等危害[5] [6] [7] [8] [9]。因此，三(2-氯乙基)磷酸酯(TCEP)被欧盟列为生殖毒性物质，三(2-氯丙基)磷酸酯(TDCP)被欧洲化学品管理局风险评估委员会列入欧盟致癌物质的分类中。

OPFRs 作为一类新型持久性有机污染物，已经受到了国内外环境科学工作者越来越多的关注，近年来，国内外研究人员开展了环境灰尘中 OPFRs 的污染现状研究。本文介绍了环境灰尘中有机磷酸酯阻燃剂的研究进展，希望对我国有机磷酸酯阻燃剂的环境污染研究，以及对人体的健康风险评估提供信息和借鉴。

## 2. OPFRs 毒性

OPFRs 具有致癌性、神经毒性、生殖毒性和基因毒性。如磷酸三(1,3-二氯-2-丙基) (TDCPP)、TCEP、三丁基磷酸酯(TNBP)可能具有致癌性，TNBP、磷酸三苯酯(TPHP)、磷酸三甲苯酯(TCP)对动物具有神经毒性[6] [7]。Glazer L [5]等研究发现斑马鱼在发育过程中，暴露于低浓度的有机磷酸酯阻燃剂会导致其终生的行为改变。Guanliang Chen 等[8]研究了雄性小鼠在不同浓度的 TCEP 环境中和暴露在不同时间，对小鼠产生的影响，实验在浓度为 0 ng/g、100 ng/g、300 ng/g 的 TCEP 的暴露环境下观察了 36 天，结果显示小鼠的肝脏、睾丸以及身体的重量均有所下降，揭示了 OPFRs 对哺乳类动物具有的潜在危害。Farhat 等[9]对雄性鸡胚肝脏组织中的 mRNA 表达进行了研究，实验表明，TDCPP 降低了血浆甲状腺素水平和生长参数，并减少了鸡胚的胆囊大小。Zhong 等[10]等研究发现 TDCPP 的暴露将通过 Nrf2-VEGF 途径诱导斑马鱼和人脐血管内皮细胞的血管毒性，TDCPP 的浓度为 300  $\mu\text{g/L}$ ~500  $\mu\text{g/L}$  会阻碍 ISV 的生长。也有研究表明磷酸三(2-丁氧基)乙酯(TBOEP)对人体激素分泌和免疫应答的激活、调节和调节均有影响[11]。

现有的研究数据表明,环境中的有机磷酸酯的浓度水平还较低,目前尚不足以引起明显的生物效应,但有机磷酸酯阻燃剂是一类难以降解的有机污染物,需要高度重视并长期关注。

### 3. OPFRs 的分析方法研究

近年来,OPFRs 在环境中的污染现状、迁移转化以及风险评价已成为国内外相关机构关注的焦点,同时国内外研究人员也纷纷致力于对多种环境介质中 OPFRs 分析方法的研究与创新。

为了开展 OPFRs 的污染状况研究,研究工作者开发了不同介质中 OPFRs 的检测方法研究,如印红玲等人[12]实现了超声萃取-层析净化,利用气相色谱/质谱联用技术定量分析了成都高校和居民住宅各室内环境灰尘中 7 种典型有机磷酸酯阻燃剂的浓度及分布;徐亮等人[13]采用超声提取技术结合固相萃取方法,利用气相色谱质谱联用分析检测技术,分析检测了 12 个上海市政污水处理厂外排污泥中的 8 种常见有机磷酸酯的浓度水平以及分布特征。温裕云等人[14]利用微波辅助溶剂提取技术,结合超高效液相色谱质谱联用技术,建立了纺织品中 9 种有机磷酸酯类阻燃剂的快速测定方法,对纺织品的质量保证体系的建设及健康环境的建立提供技术支撑。索莉莉等人[15]利用超声辅助萃取技术,结合高效液相色谱质谱联用技术,建立同时快速提取和测定水产品中 11 种有机磷酸酯阻燃剂的分析检测方法,为人们的健康生活提供保障。

对于有机磷酸酯阻燃剂的分析检测方法的研究,无论是样品前处理还是仪器分析检测方法,国内外都取得了多元化快速的发展,为探索环境中有机磷酸酯阻燃剂的污染提供技术支撑。

### 4. 室内环境灰尘中 OPFRs 的研究

室内各种电子产品、塑料、装潢材料等的大量使用,必然增加了有机磷酸酯阻燃剂的含量。室内是人类工作生活的主要场所,据估计,人类大概有 70%~90%的时间是在室内度过的,因而室内污染正日益受到人们的关注。有研究表明各种装潢材料与塑料制品是室内 OPFRs 的主要来源,造成室内灰尘中含高浓度的 OPFRs,其中 TCEP 的浓度最高可达 6000 ng/g [16] [17]。

有机磷酸酯阻燃剂主要以物理混合方式而非化学键结合方式加入到材料中,使其增大了进入环境的概率;另外,由于大多数 OPFRs 具有半挥发性的特征,可通过挥发进入大气环境中。目前,已有大量研究证明在室内空气、悬浮颗粒物和灰尘中检出较高浓度的 OPFRs,其浓度水平甚至超过溴代阻燃剂。由于采用主动采样方式,大部分研究检测的是室内空气和悬浮颗粒物中 OPFRs 浓度的总和。Lingli Zhou 等[18]等研究了建筑材料市场、私家车、托儿中心、私人住宅、地板/地毯商店、办公室和学校等 7 个微环境中的有机磷酸酯阻燃剂,其中某些微环境中的有机磷酸酯阻燃剂的检出率超过 97%,OPFRs 的总浓度高达 4800  $\mu\text{g/g}$ 。Brommer 等[19]在车厢灰尘中检出高浓度的 OPFRs,其中 TDCPP 浓度水平甚至达到 130,000 ng/g,远远高于其他室内灰尘中 OPFRs 浓度水平,室内灰尘中大量存在的 OPFRs 直接增加了其进入人体的概率。Yang 等[20]研究报道了办公室室内悬浮颗粒物中 OPFRs 的污染水平,其中主要以氯代 OPFRs 为主,TCPP 的平均浓度最高为 24.2 ng/m<sup>3</sup>,研究发现办公室环境中 OPFRs 浓度水平一般高于居室内浓度水平。Marklund 等[21]在办公室、图书馆、医院病房和保龄球馆等室内空气中检测到氯代 OPFRs 的总浓度超过 500 ng/m<sup>3</sup>,远远超过家庭卧室和客厅中氯代 OPFRs 的浓度水平。

不同室内环境中 OPFRs 的种类与浓度水平差异主要是由于其在材料中的添加种类和添加量不同所造成的。例如,电脑屏幕和电视机是室内环境中 TPHP 的主要释放源,地板蜡是磷酸三(丁氧基乙基)酯(TBEP)的主要来源,而聚氨酯绝缘材料和墙纸则是室内环境中氯代 OPFRs 的主要来源[18]。由于氯代 OPFRs 作为阻燃剂在床垫中大量集中使用,使得氯代 OPFRs 在医院病房和监狱室内环境中具有较高的污染水平[21]。

## 5. 室外环境灰尘中 OPFRs 的研究

各种材料和制品中 OPFRs 可以通过磨损、挥发和渗滤作用慢慢释放到室内环境中,进而慢慢扩散到室外环境。虽然室外大气中 OPFRs 的浓度水平低于室内环境,但其污染状况仍不容忽视。

有研究证明城市交通会释放大量 OPFRs 物质,因此交通可能是室外空气中有机磷酸酯阻燃剂又一来源。研究发现,交通工具中 OPFRs 的浓度非常高,其中 TCPP 的浓度达到了上千个纳克每立方米(比车外高出 3 个数量级) [22] [23] [24]。Tokumura 等[22]研究了日本汽车中的灰尘,其中座椅上的灰尘中的 TCPP 和汽车地板上的灰尘中的 TEHP 含量高达 390 ug/g 和 640 ug/g。Hartmann 等[23]研究发现旧车中 OPFRs 浓度明显高于新车,使用 1 年的车中各种 OPFRs 的浓度为 ND~9.4 ng/m<sup>3</sup>,而使用 9 年的车中各 OPFRs 浓度为 ND~260 ng/m<sup>3</sup>。Staaf 等[24]研究表明不同机动车中 OPFRs 的水平相差不大,地铁内 OPFRs 的浓度为 2~2000 ng/m<sup>3</sup> (地铁外: 1~64 ng/m<sup>3</sup>), 公交车内 OPFRs 的浓度为 6~2300 ng/m<sup>3</sup> (车外: 2~5 ng/m<sup>3</sup>), 小汽车内 OPFRs 的浓度为 15~1800 ng/m<sup>3</sup> (车外: 2~320 ng/m<sup>3</sup>)。

由于部分 OPFRs 具有半挥发性和持久性的性质,使其可通过大气传输过程造成全球范围的分布和污染问题,已有研究证明在室外大气悬浮颗粒物以及降尘中检出 OPFRs 的存在[25] [26]。Moller 等[25]在北太平洋和印度洋一直到极地地区大气尘粒中检测到 OPFRs 的存在,以氯代 OPFRs 为主,证明了 OPFRs 随大气向南极和北极地区的长距离传输。Salamova 等[26]在欧洲北极地区,大气颗粒物中检测到 13 种 OPFRs 总浓度为 33~1450 pg/m<sup>3</sup>,比多溴联苯醚(PBDEs)总浓度水平高 1~2 个数量级。

## 6. 不同国家环境灰尘中 OPFRs 的分布情况

国内外对环境灰尘中有机磷酸酯阻燃剂的研究较多,但不同国家的有机磷酸酯阻燃剂的含量及分布呈现较大的区域性差异(见表 1),可能与当地限制阻燃剂使用的法律法规不同。

**Table 1.** Average concentration and maximum monomer concentration of OPFRs in environmental dust in different countries  
**表 1.** 不同国家环境灰尘中 OPFRs 的平均浓度及最高单体浓度

国家	中国	新西兰	沙特阿拉伯	比利时	美国	西班牙	瑞典	巴基斯坦
OPFRs 的平均浓度(ng/g)	1326.28	3250	3750	4630	9288	14,536	19,200	124
最高单体浓度(ng/g)	937.26	4020	7800	2030	7360	9400	6900	80

刘琴等[23]研究中国成都各室内环境的灰尘中 OPFRs 的浓度范围为 317.44 ng/g~2566.97 ng/g,有机磷酸酯的平均浓度为 1326.28 ng/g,与新西兰(3250 ng/g) [27]、沙特阿拉伯(3750 ng/g) [28]和比利时(4630 ng/g) [29]的浓度水平相当,但显著低于美国(9288 ng/g) [4]、西班牙(14,536 ng/g) [30]、瑞典(19,200 ng/g) [31]等发达国家,高于巴基斯坦(124ng/g) [32]。OPFRs 的总浓度普遍在几千 ng/g 水平,呈现出发达国家高于发展中国家的现象。说明室内灰尘中 OPFRs 的污染水平与人群活动频率区域以及国家经济发展水平有一定关系。

从单体水平上看,不同国家也存在差异。中国[23]以高校室内灰尘中以 TPhP 单体为主(937.26 ng/g),新西兰[27]在室内灰尘中检测出主要的污染物为 TBEP (4020 ng/g),沙特阿拉伯[28]在空调过滤器中检测出以 TDCPP 单体最高(7800 ng/g),比利时[29]、西班牙[30]室内灰尘以 TBEP 为主要污染物(2030 ng/g、9400 ng/g),巴基斯坦[32]和美国[4]浓度最高的单体为 TPhP,其浓度分别为 80 ng/g 和 7360 ng/g,瑞典[24]室内灰尘(6900 ng/g)以单体 TCEP 为主。

OPFRs 由于取代基不同,可分为氯代磷酸酯阻燃剂、芳基磷酸酯阻燃剂、烷基磷酸酯阻燃剂。新西

兰、比利时、西班牙和瑞典家中灰尘均以烷基磷酸酯阻燃剂为主[27] [29] [30] [31], 其比例占 60%左右, 其中瑞典[31]工作环境中, 室内灰尘中烷基磷酸酯所占百分比为 78%, 而氯代磷酸酯所占百分比却只有 12%。美国[4]和巴基斯坦[32]则以苯基磷酸酯为主, 其比例分别为 64%和 75%, 但巴基斯坦苯基磷酸酯的浓度水平较美国低两个数量级。

## 7. 展望

近年来, OPFRs 的生产及使用快速增长, 应用领域不断扩大, 作为一类新型且难降解的有机污染物, OPFRs 已分布于各种环境介质中, 对生态系统和人体健康将造成巨大的威胁与影响。目前, 国内外开展环境灰尘中有关 OPFRs 的研究, 已取得初步的成果, 但是尚有很多不足, 一些建议将可以促进相关的研究进展: 1) 在研究室内灰尘时, 微环境种类的选取具有主观性; 2) 每个微环境灰尘样品的采集点数量少, 具有局限性。

## 基金项目

重庆科技学院科技创新(YKJCX1720513)。

## 参考文献

- [1] 周小丽, 郭珩, 李芹, 等. 气相色谱 - 质谱法测定塑料中 7 种有机磷酸酯阻燃剂的含量[J]. 理化检验(化学分册), 2018, 54(1): 64-68.
- [2] 林殷, 温尔英, 苏思杰, 等. 纺织品中多种有机磷酸酯化合物的 GC/MS 法测定[J]. 印染, 2018, 44(3): 54-57.
- [3] Li, H., Mark, J.L.G., Liu, H., *et al.* (2019) Brominated and Organophosphate Flame Retardants along a Sediment Transect Encompassing the Guiyu, China e-Waste Recycling Zone. *Science of the Total Environment*, **646**, 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.276>
- [4] Stapleton, H.M., Klosterhaus, S., Eagle, S., *et al.* (2009) Detection of Organophosphate Flame Retardants in Furniture Foam and US House Dust. *Environmental Science and Technology*, **43**, 7490-7495. <https://doi.org/10.1021/es9014019>
- [5] Glazer, L., *et al.* (2018) Developmental Exposure to Low Concentrations of Organophosphate Flame Retardants Causes Life-Long Behavioral Alterations in Zebrafish. *Toxicological Sciences*, **165**, 487-498. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfy173>
- [6] Kim, J.W., Isobe, T., Chang, K.H., *et al.* (2011) Levels and Distribution of Organophosphorus Flame Retardants and Plasticizers in Fishes from Manila Bay, the Philippines. *Environmental Pollution*, **159**, 3653-3659. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.07.020>
- [7] Nele, V.D.E., Maho, W., Erratico, C., *et al.* (2013) First Insights in the Metabolism of Phosphate Flame Retardants and Plasticizers Using Human Liver Fractions. *Toxicology Letters*, **223**, 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2013.08.012>
- [8] Chen, G., Jin, Y., Wu, Y., *et al.* (2015) Exposure of Male Mice to Two Kinds of Organophosphate Flame Retardants (OPFRs) Induced Oxidative Stress and Endocrine Disruption. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **40**, 310-318. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2015.06.021>
- [9] Farhat, A., Buick, J.K., Williams, A., *et al.* (2014) Tris(1,3-Dichloro-2-Propyl) Phosphate Perturbs the Expression of Genes Involved in Immune Response and Lipid and Steroid Metabolism in Chicken Embryos. *Toxicology and Applied Pharmacology*, **275**, 104-112. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2013.12.020>
- [10] Zhong, X., *et al.* (2019) Exposure to Tris(1,3-Dichloro-2-Propyl) Phosphate (TDCPP) Induces Vascular Toxicity through Nrf2-VEGF Pathway in Zebrafish and Human Umbilical Vein Endothelial Cells. *Environmental Pollution*, **247**, 293-301. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.12.066>
- [11] Krivoshiev, B.V., *et al.* (2018) Toxicogenomics of the Flame Retardant Tris(2-Butoxyethyl) Phosphate in HepG2 Cells Using RNA-seq. *Toxicology in Vitro*, **46**, 178-188. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2017.10.011>
- [12] 刘琴, 印红玲, 李蝶, 等. 室内灰尘中有机磷酸酯的分布及其健康风险[J]. 中国环境科学, 2017, 37(8): 2831-2839.
- [13] 徐亮, 胡琼璞, 刘静, 等. 上海城市污泥中有机磷酸酯阻燃剂/增塑剂分布的初步研究[J]. 环境化学, 2018, 37(8): 1699-1705.
- [14] 温裕云, 陈志华, 欧延, 等. 纺织品中 9 种有机磷酸酯类阻燃剂的超高效液相色谱 - 串联质谱快速测定方法[J].

分析化学, 2015, 43(9): 1342-1348.

- [15] 索莉莉, 朱群英, 胡美华, 等. 超声辅助萃取-液相色谱-串联质谱法同时检测水产品中 11 种有机磷酸酯类阻燃剂[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 210-216.
- [16] Carlsson, H., Ulrika Nilsson, A. and Östman, C. (2000) Video Display Units: An Emission Source of the Contact Allergenic Flame Retardant Triphenyl Phosphate in the Indoor Environment. *Environmental Science & Technology*, **34**, 3885-3889. <https://doi.org/10.1021/es990768n>
- [17] Ingerowski, G., Friedle, A. and Thumulla, J. (2001) Chlorinated Ethyl and Isopropyl Phosphoric Acid Triesters in the Indoor Environment—An Inter-Laboratory Exposure Study. *Indoor Air*, **11**, 145-149. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2001.011003145.x>
- [18] Zhou, L., Hiltcher, M. and Püttmann, W. (2017) Occurrence and Human Exposure Assessment of Organophosphate Flame Retardants (OPFRs) in Indoor Dust from Various Microenvironments of the Rhine/Main Region, Germany. *Indoor Air*, **27**, 1113-1127. <https://doi.org/10.1111/ina.12397>
- [19] Brommer, S., Harrad, S., Eede, N.V.D., et al. (2012) Concentrations of Organophosphate Esters and Brominated Flame Retardants in German Indoor Dust Samples. *Journal of Environmental Monitoring*, **14**, 2482-2487. <https://doi.org/10.1039/c2em30303e>
- [20] Yang, F., Ding, J., Huang, W., et al. (2014) Particle Size-Specific Distributions and Preliminary Exposure Assessments of Organophosphate Flame Retardants in Office Air Particulate Matter. *Environmental Science & Technology*, **48**, 63-70. <https://doi.org/10.1021/es403186z>
- [21] Marklund, A., Andersson, B. and Haglund, P. (2005) Organophosphorus Flame Retardants and Plasticizers in Air from Various Indoor Environments. *Journal of Environmental Monitoring*, **7**, 814-819. <https://doi.org/10.1039/b505587c>
- [22] Tokumura, M., Hatayama, R., Tatsu, K., et al. (2017) Organophosphate Flame Retardants in the Indoor Air and Dust in Cars in Japan. *Environmental Monitoring and Assessment*, **189**, 48. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5725-1>
- [23] Hartmann, P.C., Bürgi, D. and Giger, W. (2004) Organophosphate Flame Retardants and Plasticizers in Indoor Air. *Chemosphere*, **57**, 781-787. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.08.051>
- [24] Staaf, T., et al. (2005) Organophosphate Triesters in Indoor Environments. *Journal of Environmental Monitoring*, **7**, 883-887. <https://doi.org/10.1039/b506631j>
- [25] Lai, S., Xie, Z., Song, T., et al. (2015) Occurrence and Dry Deposition of Organophosphate Esters in Atmospheric Particles over the Northern South China Sea. *Chemosphere*, **127**, 195-200. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.02.015>
- [26] Salamova, A., Hermanson, M.H. and Hites, R.A. (2014) Organophosphate and Halogenated Flame Retardants in Atmospheric Particles from a European Arctic Site. *Environmental Science & Technology*, **48**, 6133-6140. <https://doi.org/10.1021/es500911d>
- [27] Ali, N., Dirtu, A.C., Eede, N.V.D., et al. (2012) Occurrence of Alternative Flame Retardants in Indoor Dust from New Zealand: Indoor Sources and Human Exposure Assessment. *Chemosphere*, **88**, 1276-1282. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.03.100>
- [28] Ali, N., Eqani, S.A.M.A.S., Ismail, I.M.I., et al. (2016) Brominated and Organophosphate Flame Retardants in Indoor Dust of Jeddah, Kingdom of Saudi Arabia: Implications for Human Exposure. *Science of the Total Environment*, **569-570**, 269-277. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.093>
- [29] Van, d.E.N., Dirtu, A.C., Neels, H., et al. (2011) Analytical Developments and Preliminary Assessment of Human Exposure to Organophosphate Flame Retardants from Indoor Dust. *Environment International*, **37**, 454-461. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.11.010>
- [30] Cristale, J., Hurtado, A., Gómez-Canela, C., et al. (2016) Occurrence and Sources of Brominated and Organophosphorus Flame Retardants in Dust from Different Indoor Environments in Barcelona, Spain. *Environmental Research*, **149**, 66-76. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.05.001>
- [31] Bergh, C., Torgrip, R., Emenius, G., et al. (2010) Organophosphate and Phthalate Esters in Air and Settled Dust—A Multi-Location Indoor Study. *Indoor Air*, **21**, 67-76. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2010.00684.x>
- [32] Ali, N., Eede, N.V.D., Dirtu, A.C., et al. (2012) Assessment of Human Exposure to Indoor Organic Contaminants via Dust Ingestion in Pakistan. *Indoor Air*, **22**, 200-211. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00757.x>

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-1557，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[aac@hanspub.org](mailto:aac@hanspub.org)