

住宅室内降尘中邻苯二甲酸酯污染特征及暴露评价

王夫美^{1,2}, 陈丽^{1,2}, 焦姣^{1,2}, 张雷波^{1,2}, 姬亚芹^{1,2*}, 白志鹏^{1,2}, 张利文³, 孙增荣³ (1.南开大学环境科学与工程学院, 天津 300071; 2.南开大学, 国家环境保护城市空气颗粒物污染防治重点实验室, 天津 300071; 3.天津医科大学公共卫生学院, 天津 300070)

摘要: 利用 CH_2Cl_2 和超声对天津市 13 户家庭住宅冬季和夏季 26 个室内降尘样品中 6 种邻苯二甲酸酯(DMP、DEP、DBP、BBP、DEHP、DOP)进行提取分离, 并采用气相色谱-质谱定量分析, 研究了邻苯二甲酸酯污染变化特征和暴露风险。结果表明, 冬夏两季, 室内降尘样品均以 DEHP 浓度最大, DBP 第二, 且 DBP 和 DEHP 之和占 ΣPAEs 的比例达到 80.0%以上; 冬季, 各采样点 6 种邻苯二甲酸酯总含量(ΣPAEs) 浓度在 1.498~32.587 $\mu\text{g/g}$ 之间, 平均浓度为 $(6.772 \pm 8.154) \mu\text{g/g}$; 夏季, ΣPAEs 浓度在 1.981~40.041 $\mu\text{g/g}$ 之间, 平均浓度为 $(13.406 \pm 12.911) \mu\text{g/g}$; PAEs 浓度季节变化差异显著, 夏季降尘样品中 PAEs 浓度高于冬季。暴露评价显示儿童和成人的夏季邻苯二甲酸酯总暴露量均大于冬季; 经口暴露水平大于皮肤; 平均儿童的暴露水平是成人的 10 倍左右; 成人和儿童对 4 种物质(DBP、DEHP、DEP、BBP)的总暴露量最大值均出现在夏季; 天津室内降尘暴露量与我国 6 城市室内降尘总暴露水平相当(除 DEHP 外), 与德国和美国的暴露水平相比, 天津儿童和成人的暴露量偏小。但是, 室内环境中 PAEs 污染对人体健康的影响仍要引起重视, 尤其是对低龄儿童的健康危害。

关键词: 室内降尘; 邻苯二甲酸酯; 冬季; 夏季; 暴露; 风险评价

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2012)05-0780-07

Pollution characteristics of phthalate esters derived from household dust and exposure assessment. WANG Fu-mei^{1,2}, CHEN Li^{1,2}, JIAO Jiao^{1,2}, ZHANG Lei-bo^{1,2}, JI Ya-qin^{1,2*}, BAI Zhi-peng^{1,2}, ZHANG Li-wen³, SUN Zeng-rong³ (1.College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China; 2.State Environmental Protection Key Laboratory of Urban Ambient Air Particulate Matter Pollution Prevention and Control, Nankai University, Tianjin 300071, China; 3.School of Public Health, Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China). *China Environmental Science*, 2012,32(5): 780~786

Abstract: The 26 indoor dust samples from 13 households were collected during winter and summer in Tianjin. Using CH_2Cl_2 and ultrasonic extraction for extraction and separation, gas chromatograph-mass spectrometry (GC-MS) method was applied to analyze DMP, DEP, DBP, BBP, DEHP, DOP. And then the pollution characteristics and assessment of human exposure to phthalate esters from indoor dust were studied. The results were as followed: The concentration for DEHP was the highest, and then came DBP in household dust in winter and summer, collectively accounting for more than 80% of the total concentrations in the samples. In winter, the concentrations of ΣPAEs were from 1.498 to 32.587 $\mu\text{g/g}$, the average concentration was $(6.772 \pm 8.154) \mu\text{g/g}$; While in summer, ranging from 1.981 to 40.041 $\mu\text{g/g}$ and $(13.406 \pm 12.911) \mu\text{g/g}$, respectively. The PAEs concentrations in household dust varied significantly, which were higher in summer than those in winter. The total exposures of PAEs (DBP, DEHP, DEP, BBP) for children and adults in summer were higher than those in winter, and also through the mouth than the skin. The exposures of phthalate esters for children were about 10 times higher than those for adults. For adults and children, the highest exposure of PAEs (DBP, DEHP, DEP, BBP) were both found in summer. The PAEs pollution in indoor dust and human exposure in Tianjin were lightly less than in Germany and USA; And in the same level with 6 Chinese cities for total exposure, except DEHP. The importance of young children's exposure to PAEs in indoor environment should be paid more attention.

Key words: indoor dust; phthalate esters; winter; summer; exposure; risk assessment

收稿日期: 2011-09-30

基金项目: 天津市科技支撑计划重点项目(09ZCGYSF01700); 天津医科大学科学基金项目(2010ky13)

* 责任作者, 副教授, jiyaqin@nankai.edu.cn

邻苯二甲酸酯类增塑剂/塑化剂(PAEs)用量大、适用面广,作为增塑剂、调配剂、润滑剂而被广泛用于建筑装饰材料、农膜、油漆、化妆品、塑料制品等行业生产中,作为一类内分泌干扰物,PAEs 具有致癌、致畸、致突变作用;目前,对动物的毒性作用已得到证实。沈婷等^[1]和 Guo 等^[2]的研究表明,北京和乌鲁木齐室内降尘中 PAEs 较我国其他地区略重;而济南和上海等^[2]室内降尘中 PAEs 污染略轻,但均存在不同程度的邻苯二甲酸酯类污染。美国^[3]、德国^[4]、保加利亚^[5]、瑞典^[6]等研究显示,室内降尘中邻苯二甲酸酯类污染较重。

本文对天津 13 户家庭冬季和夏季室内降尘中 6 种邻苯二甲酸酯类进行分析,分别为邻苯二甲酸二甲酯(DMP)、邻苯二甲酸二乙酯(DEP)、邻苯二甲酸二丁酯(DBP)、邻苯二甲酸丁基苄基酯(BBP)、邻苯二甲酸(2-乙基己基)酯(DEHP)和邻苯二甲酸二辛酯(DOP);研究了天津室内降尘中邻苯二甲酸酯类的污染水平、污染来源和季节污染特点;鉴于我国对人群暴露 PAEs 数据的缺乏,参比欧洲和美国等规定的日容许摄入量 TDI 和参考剂量值 RfD 进行了暴露风险评估,对正确评估我国室内降尘中 PAEs 的污染状况与环境健康风险、制订或修订相关标准、控制 PAEs 污染均具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

仪器:KQ-300DE 型数控超声波清洗器、N-EVAP111 氮吹仪、Millipore Express 超纯水系统、Agilent6890N/5975B 气相色谱-质谱仪。

试剂:色谱纯二氯甲烷、德国 DR 的 2 000mg/L(溶于异辛烷)的 6 种 PAEs 混标、5000mg/L(溶于正己烷)的苯甲酸苄酯作为内标溶液。

1.2 GC-MS 分析条件

HP-5MS 色谱柱:30m×0.25mm×0.25μm,升温程序:100℃,保持 1min,以 8℃/min 升至 300℃,保持 3min,进样口温度:250℃,传输线温度:280℃,四级杆温度:150℃,分流进样,分流比 5:1,EI 电离

电压:70eV,进样量:1μL,载气:氮,载气流速:1.0mL/min, SIM 方式检测。根据标准溶液中各物质的保留时间及扫描离子定性,采用内标法定量。在初始校准后每 12h 选用校准曲线的中间点作为连续校准(CC)分析 1 次^[7]。

本实验 DMP、DEP、DBP、BBP、DEHP 和 DOP 的回收率分别为 105.06%、95.95%、113.96%、88.64%、79.78%和 82.19%。除了 DEHP 外,其他 5 种物质的回收率均在 80%~115%之间,满足分析要求。标准溶液的色谱图(图 1)表明,本研究所采取的样品前处理和分析方法可以有效分离 6 种 PAEs。

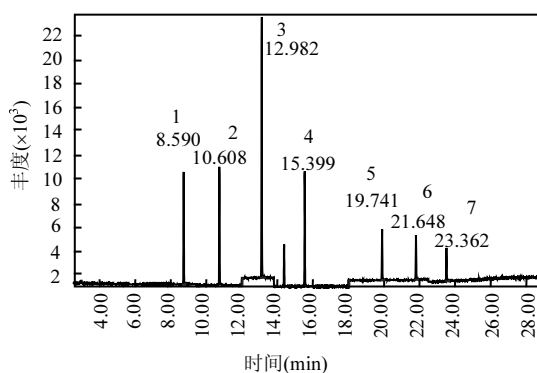


图 1 6 种 PAEs 标准溶液的色谱图

Fig.1 Chromatogram of six kinds of PAEs standard solution

1-DMP,2-DEP,3-内标(苯甲酸苄酯),4-DBP,5-BBP,6-DEHP,7-DOP;
保留时间分别为 8.590,10.608,12.982,15.399,19.741,21.648,
23.362min

1.3 样品采集

采样时间和地点:2010 年 12 月(冬季,采暖期)和 2011 年 6 月(夏季,非采暖期)采集天津市 4 个普通居民小区共 13 户家庭居室内降尘。四小区分别是南开大学西南村(学校家属院,简称西南村)、咸阳路海洋小区(新建及新装修小区,简称海洋小区)、天骄源小区(普通居民小区,简称天骄源)、海光寺天赐园小区(普通居民小区,简称天赐园),且四小区附近均没有工业污染源。

采样要求:为了避免吸尘器塑料导管的干扰,利用毛刷刷取住宅客厅和卧室地面上的降尘,弃

去降尘样品中大块硬物、毛发等杂质,混合均匀放入纸袋中,带回实验室于 4℃ 下冰箱保存备用。另外,采样期间进行问卷调查,内容主要涉及住宅的一般情况(房龄及装修年份)、室内装修材质(地板和墙壁)、日常化妆品和洗漱用品的使用情况、日常塑料制品的使用量及居民区的环境质量和暴露条件,同时记录采样期间每日温度、湿度、通风量、烹调方式等。

1.4 样品前处理

称取适量降尘样品于离心管中,加入 10mL 二氯甲烷,超声提取 5min,提取液经过滤后收集,重复以上步骤两次,合并提取液,氮吹至 5mL 左右,转移至浓缩管中继续吹至 2 mL 以下,加入内标,用二氯甲烷定容,转移至棕色自动进样瓶中进行 GC-MS 分析。

实验过程中严格控制塑料制品的使用,均使用玻璃仪器,且所有的玻璃制品均先于重铬酸钾与浓硫酸配制的洗液中浸泡 12h,然后分别用自来水、超纯水冲洗干净,再于马弗炉中 400℃ 下烘 12h,降至室温后用铝箔纸密封好,使用之前用二氯甲烷清洗。

1.5 样品定量方法

为了避免在不同时间分析仪器波动对分析结果的影响,在定量时我们采取与样品浓度最接近的标准品进行单点(标准曲线的中间点)校正的方法,以保证定量的准确性。单点校正法的计算见式(1)。

$$C = \frac{V_0 \cdot C_0 \cdot A_i / A_0}{M_1} \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中: C 为每克降尘中含有的邻苯二甲酸酯类物质的质量, $\mu\text{g/g}$; M_1 为降尘的质量, g ; C_0 为标准物质的浓度, $\mu\text{g/L}$; V_0 为定容的体积, mL ; A_0 为标准物质的峰面积; A_i 为样品的峰面积。

1.6 暴露风险评价方法

暴露风险评价的计算公式分别见公式(2)和(3)^[2]。

$$\text{DI}_{\text{经口摄入}} = \frac{C \cdot f_1 \cdot f_2}{BW} \quad (2)$$

式中: $\text{DI}_{\text{经口摄入}}$ 为每人每千克体重每日的吸收量, $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{d})$; C 为每克降尘中含有的邻苯二甲酸

酯类物质的质量, $\mu\text{g/g}$; f_1 为每人每天平均暴露时间比例 80%(一天在室内停留时间); f_2 为降尘的吸收率, mg/d ,成人和儿童平均日摄入量分别为 50,100(US EPA)^[8]; BW 为人体重量, kg ,成人 58.55,儿童 13^[9]。

$$\text{DI}_{\text{皮肤摄入}} = \frac{C \cdot SA \cdot M_2 \cdot f_1 \cdot f_3}{BW} \quad (3)$$

式中: $\text{DI}_{\text{皮肤摄入}}$ 为每人每千克体重每日的皮肤吸收量, $\text{ng}/(\text{kg} \cdot \text{d})$; SA 为皮肤暴露面积, cm^2 ,成人冬季夏季取值分别为 800、4020,儿童分别为 430、2160^[10]; M_2 为降尘对皮肤的吸附系数, mg/cm^2 ,取 0.09^[11]; f_3 为皮肤吸收系数, %,取 1^[11]。

2 结果与讨论

2.1 室内降尘中邻苯二甲酸酯类总体污染水平

13 户家庭室内冬夏两季降尘中 6 种邻苯二甲酸酯类物质(DMP、DEP、DBP、BBP、DEHP、DOP)在所有样品中均被检出。冬季,各采样点 6 种邻苯二甲酸酯类总含量(ΣPAEs)浓度在 1.498~32.587 $\mu\text{g/g}$ 之间,平均浓度为 $(6.772 \pm 8.154) \mu\text{g/g}$;夏季, ΣPAEs 浓度在 1.981~40.041 $\mu\text{g/g}$ 之间,平均浓度为 $(13.406 \pm 12.911) \mu\text{g/g}$ 。降尘样品中 ΣPAEs 浓度中位值和其平均值均表现出夏季高于冬季的特点,说明夏季气温高,PAEs 更易于挥发释放到环境中,使降尘中的邻苯二甲酸酯含量明显增多。这与赵振华^[12]、曾鸣^[13]、Weschler^[14]等人的研究结果相似。

2.2 邻苯二甲酸酯不同季节污染变化特点

图2所示降尘中6种邻苯二甲酸酯冬夏季浓度变化。可知,降尘中除BBP外的5种邻苯二甲酸酯类物质浓度中位值夏季均高于冬季,这与夏季温度较高有关,也可能与BBP浓度较低有关。冬夏两季,均以DEHP浓度最大,DBP其次。其中,DBP冬季浓度为0.959 $\mu\text{g/g}$,夏季为2.850 $\mu\text{g/g}$;DEHP冬季浓度为2.323 $\mu\text{g/g}$,夏季为6.010 $\mu\text{g/g}$;DBP和DEHP之和冬季占 ΣPAEs 的 82.2%~98.9%,夏季占 ΣPAEs 的 90.1%~99.1%。DMP、DEP、BBP和DOP四种PAEs浓度中位值高低依次如下:冬季 DMP > DEP > DOP > BBP,夏季 DMP > DEP > DOP > BBP。BBP、DOP 冬夏两季浓

度均较低,主要与工业生产中使用较少有关.可见,冬夏两季降尘均以 DEHP 和 DBP 为主要 PAEs 污染物,DBP 和 DEHP 因具有良好的相溶性、较高的塑化效率和低廉的成本,成为我国工业生产中使用最广泛的邻苯二甲酸酯类物质,因此它们 在环境中污染水平较高.

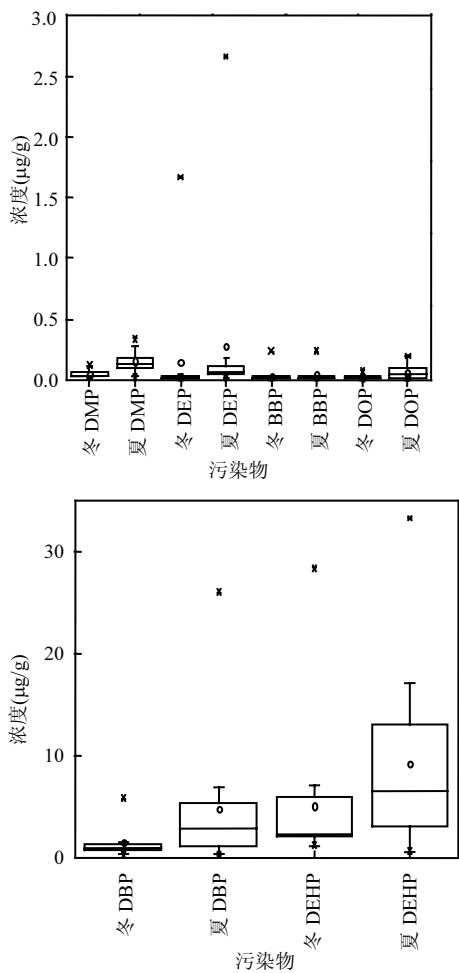


图2 冬夏两季室内降尘中 PAEs 浓度变化
Fig.2 Concentrations of PAEs in household dust in winter and summer

天津室内降尘中 PAEs 与济南^[2]、上海^[2]污染水平相当;北京^[1]DMP(12μg/g)、BBP(5μg/g)、DEHP (1188μg/g)和乌鲁木齐^[2]DBP(170μg/g)、DEHP(563μg/g)污染较天津严重,其余物质较天津略高.与国外相比,保加利亚^[5]污染最严重,尤其是 DBP(9850μg/g)和 DEHP(990μg/g),其余 4 种物

质也是天津的 1000 倍以上.丹麦^[15]DEHP (210μg/g)是天津冬季的 90 倍,BBP(3.7μg/g)是天津冬季的 336 倍,DEP(1.7μg/g)是天津冬季的 85 倍,DBP(1.5μg/g)是天津冬季的 15.6 倍;而美国^[2]和德国^[16]室内降尘中 BBP(分别为 21.1μg/g、29.7μg/g)较天津偏大.

2.3 邻苯二甲酸酯类四个小区∑PAEs 污染变化特点

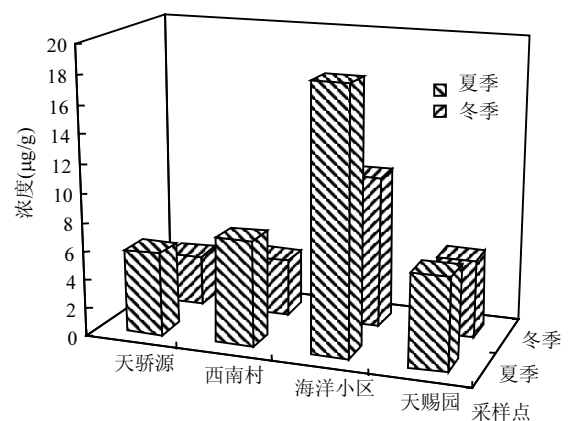


图3 不同采样小区降尘中∑PAEs 污染特点
Fig.3 Characteristics of ∑PAEs in indoor dust at different sampling sites

邻苯二甲酸酯类化合物在不同采样小区降尘中的污染变化特点见图 3.图 3 表明,四小区邻苯二甲酸酯类污染总浓度(∑PAEs)冬季均小于夏季.冬季,海洋小区>天赐园>西南村>天骄源;夏季,海洋小区>西南村>天赐园>天骄源.可知,海洋小区家庭室内降尘中邻苯二甲酸酯类总浓度最高,尤其夏季污染更为突出,天骄源污染最低.通过对四小区暴露环境进行比较,发现海洋小区为新建及新装修小区,建成及装修年限不足 1a,其他三小区家庭装修均在 6a 以上.印春生等^[17]对室内空气 中邻苯二甲酸酯分析表明,新装修房间的涂料是室内空气中邻苯二甲酸酯的主要挥发源.日本对室内空气中 PAEs 污染研究显示,室内空气中 PAEs 污染最严重出现在一所新装修家庭,最高浓度达 6.18μg/m³^[18].说明新建新装修是导致海洋小区室内降尘中 PAEs 浓度较高的原因之一.另外,结合问卷调查,通过对采样小区暴露情

况比较,发现采样家庭室内装修基本没有差别(仅海洋小区 9 号家庭客厅装修壁纸),但是海洋小区均为退休老人家庭,其他三小区均为上班家庭.因此,海洋小区日常烹调方式做饭频率要比其他小区家庭高,家用塑料购物袋、保鲜袋等较多.Weschler 等^[14]研究认为 PAEs 存在室内污染,主要来源于室内吸烟、烹饪和燃料的使用等.因此,多方面因素导致海洋小区整体浓度偏高.

2.4 暴露评价

通常认为,日常饮食是人们暴露摄入 PAEs 的主要途径,室内降尘暴露量相比要小得多^[18].但是,随着现代人生活方式的改变,人们暴露在室内环境中的时间越来越多.因此,室内 PAEs 暴露量是关系到人体健康的重要问题.保加利亚研究表明,室内降尘中 DEHP 的浓度与保加利亚的学前儿童哮喘有一定的关系^[5].对亚洲国家尿液中 PAEs 暴露风险评价研究显示,科威特 DEHP 暴露量最大值为 435 $\mu\text{g}/\text{d}$ ^[19],超过美国环保局(US EPA)规定的参考剂量 RfD 值(400 $\mu\text{g}/\text{d}$).因此,评价室内环境中 PAEs 对人们的健康风险显得尤为重要.

由于目前我国还没有对室内环境中 PAEs 进行限量规定,所以本文采用了欧洲毒性、生态毒性和环境科学委员会(EU Scientific Committee

for Toxicity, Ecotoxicity and the Environment, EU CSTEE)和 US EPA 规定的 DBP、DEHP、DEP、BBP 等 4 种物质进行暴露风险评价.表 1 列出了利用公式(2)和(3)分别按照儿童、成人经口和皮肤计算的暴露评价结果.可知,儿童和成人的夏季暴露量均大于冬季,这与夏季降尘中 PAEs 浓度较高、气温高、皮肤暴露面积大有关;另外,经口暴露水平大于皮肤,经口和皮肤暴露最大值均出现在夏季儿童 DEHP 暴露,分别为 133.8 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ 、2.6 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$.

按降尘中 PAEs 浓度中位值计算,儿童经口和皮肤的总暴露量夏季 DEHP[37.72 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]和 DBP[17.84 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]是冬季 DEHP[14.36 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]和 DBP[5.92 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]的 2.6 倍和 3.0 倍;儿童的总暴露水平约是成人的 10 倍.与我国 6 城市^[2]儿童总体暴露水平比较,DEHP(311.2 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$)分别约为天津夏季 8 倍,冬季的 22 倍;天津儿童 DBP、DEP、BBP 暴露量略小,但相差不大.德国降尘中 DEHP、DBP、DEP、BBP 对儿童的 DI 值分别为 5970,430,350,660 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$,是成人的 53~66 倍^[16].丹麦降尘中 DEHP 对儿童的 DI 为 1 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ^[15],美国儿童的 DI 为 257~1500 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ ^[2].可见,天津市室内降尘中 DEHP 对儿童的暴露量高于丹麦,低于美国 and 德国.

表 1 室内降尘中邻苯二甲酸酯类暴露量(DI)
Table 1 Daily intakes of several phthalate esters from indoor dust(DI)

污染物	摄入方式	冬季 DI[ng/(kg·d)]				夏季 DI[ng/(kg·d)]				TDI [μg/(kg·d)]	RfD [μg/(kg·d)]
		儿童		成人		儿童		成人			
		中位值	P ₉₅	中位值	P ₉₅	中位值	P ₉₅	中位值	P ₉₅		
DBP	经口摄入	5.9	28.5	0.7	3.2	17.5	89.7	1.9	10	100	100
	皮肤摄入	2.3×10 ⁻²	0.11	9.4×10 ⁻³	4.6×10 ⁻²	0.34	1.7	0.14	0.72		
DEHP	经口摄入	14.3	95.8	1.6	10.6	37	133.8	4.1	14.8	37	20
	皮肤摄入	5.5×10 ⁻²	0.37	2.3×10 ⁻²	0.15	0.72	2.6	0.3	1.1		
DEP	经口摄入	0.1	4.3	1.4×10 ⁻²	0.5	0.4	7.2	4.8×10 ⁻²	0.8	750	800
	皮肤摄入	4.8×10 ⁻⁴	1.7×10 ⁻²	2.0×10 ⁻⁴	6.8×10 ⁻³	8.4×10 ⁻³	0.14	3.5×10 ⁻³	5.8×10 ⁻²		
BBP	经口摄入	0.1	0.7	7.5×10 ⁻³	7.5×10 ⁻²	4.9×10 ⁻²	1.2	5.5×10 ⁻³	0.1	200	200
	皮肤摄入	2.6×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻³	1.1×10 ⁻⁴	1.1×10 ⁻³	9.6×10 ⁻⁴	2.3×10 ⁻²	4.0×10 ⁻⁴	9.4×10 ⁻³		

注:TDI为EU CSTEE规定日容许摄入量,μg/(kg·d);RfD为US EPA规定参考剂量,μg/(kg·d)

按降尘中 PAEs 浓度 P₉₅ 计算,则夏季儿童 4 种物质经口和皮肤的总暴露量达 236.36 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$,成人总暴露量达 27.59 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$.其中,成人

夏季 DEHP 暴露量为 15.9 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$,比美国^[2]成人 DI[206 $\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$]小 13 倍;其他 3 种物质的 DI,美国是天津的 1~15 倍.天津夏季成人 DBP、DEP

和 BBP 暴露量与我国 6 城市^[2]成人总体的暴露水平相当,DEHP 则低于我国 6 城市总体成人暴露水平的 36.4 倍。

Guo 等^[20]调查显示中国人群 DEP、DBP、DEHP 的平均日摄入量为 $3.8\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ 、 $12.2\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ 和 $5\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ 。若以该研究数据为我国人群 PAEs 每日总摄入量,则天津室内降尘中儿童 DEP、DBP 和 DEHP 的暴露量占总摄入量的 0.002%~0.2%、0.05%~0.7%和 0.3%~3%;成人的比例较小均不足 0.5%。可知,对于儿童和成人,天津市室内降尘中 PAEs 暴露量占总摄入量的比例较小。但是目前许多研究已经证明室内降尘中 PAEs 能够导致儿童哮喘、鼻炎、湿疹、呼吸道感染、过敏等疾病^[21-24],而天津及我国室内降尘中 PAEs 的暴露评价也显示降尘中 DEHP 对儿童暴露量也达到了一定程度。因此,室内降尘中 PAEs 需要引起关注,尤其要关注对低龄儿童的健康危害。

3 结论

3.1 冬夏季,天津室内降尘中 PAEs 均以 DEHP 浓度最大,DBP 其次,且 DBP 和 DEHP 之和占 ΣPAEs 的比例均在 80.0%~99.0%之间;各采样点 6 种邻苯二甲酸酯总含量(ΣPAEs)浓度中位值冬季为 $4.214\mu\text{g}/\text{g}$,夏季为 $9.953\mu\text{g}/\text{g}$ 。与国内外地区相比,天津室内降尘中 PAEs 污染较轻。

3.2 PAEs 浓度季节变化差异显著,夏季浓度明显高于冬季。说明室内降尘中邻苯二甲酸酯类的浓度受温度影响显著,气温高使塑料制品中的 PAEs 更易于挥发释放,使降尘中的 PAEs 含量明显增高。另外,还受新建及新装修、塑料制品使用量、烹饪和燃料的使用等其他因素影响。

3.3 PAEs 暴露和风险评价结果表明,儿童和成人的夏季暴露量均大于冬季;经口暴露水平大于皮肤。儿童 DI 的最大值出现在夏季 DEHP(按中位值计算为 $37.72\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$,按 P_{95} 计算为 $136.40\text{ng}/(\text{kg}\cdot\text{d})$);儿童暴露平均水平大约是成人的 10 倍。天津室内降尘暴露量与我国 6 城市室内降尘总体暴露水平相当(除 DEHP 外),而略低于德国和美国的暴露水平,但是室内降尘中 DEHP

污染应引起重视,尤其是对低龄儿童的健康危害。

参考文献:

- [1] 林兴桃,沈 婷,禹晓磊,等.室内降尘中邻苯二甲酸酯污染特征分析 [J]. 环境与健康杂志, 2009,26(12):1109-1111.
- [2] Guo Ying, Kannan Kurunthachalam. Comparative assessment of human exposure to phthalate esters from house dust in China and the United States [J]. Environ Sci. Technol, 2011,45(8):3788-3794.
- [3] Rudel R A, Camann D E, Spengler J D, et al. Phthalates, alkylphenols, pesticides, polybrominated diphenyl ethers, and other endocrine-disrupting compounds in indoor air and dust [J]. Environ Sci. Technol, 2003,37(20):4543-4553.
- [4] Becker K, Seiwert M, Angerer J, et al. DEHP metabolites in urine of children and DEHP in house dust [J]. Int J Hyg Environ Health, 2004,207(5): 409-417.
- [5] Kolarik B, Naydenov K, Larsson M, et al. The association between phthalates in dust and allergic diseases among Bulgarian children [J]. Environmental Health Perspectives, 2008,116(1): 98-103.
- [6] Bornehag CG, Lundgren B, Weschler C J, et al. Phthalates in indoor dust and their association with building characteristics [J]. Environmental Health Perspectives, 2005,113(10):1399-1404.
- [7] 吴宇峰,李利荣,时庭锐,等.大气总悬浮颗粒物中半挥发性有机物的测定 [J]. 安全与环境学报, 2006,6(3):86-89.
- [8] USEPA. Exposure Factors Handbook. http://epa.gov/oppt/exposure/pubs/usepa_1997_efh.pdf (accessed December, 2010).
- [9] 王宗爽,段小丽,刘 平,等.环境健康风险评价中我国居民暴露参数探讨 [J]. 环境科学研究, 2009,22(10):1164-1170.
- [10] 王 喆,刘少卿,陈晓民,等.健康风险评价中中国人皮肤暴露面积的估算 [J]. 安全与环境学报, 2008,8(4):152-156.
- [11] HJ/T25-1999 工业企业土壤环境质量风险评价基准 [S].
- [12] 赵振华,全文熠,田德海,等.北京市大气飘尘中酞酸酯的污染 [J]. 环境化学, 1987,6(1):29-33.
- [13] 曾 鸣,吕 喆,解淑艳,等.夏季大气中酞酸酯类污染物分析及污染源探讨 [J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2006,30(4): 88-90.
- [14] Weschler C J, Nazaroff W W. Semivolatile organic compounds in indoor environments [J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(40):9018-9040.
- [15] Sarka Langer, Charles J Weschler, Andreas Fischer, et al. Phthalate and PAH concentrations in dust collected from Danish homes and daycare centers [J]. Atmospheric Environment, 2010,44(19):2294-2301.
- [16] Fromme H, Lahrz T, Piloty M, et al. Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin (Germany) [J]. Indoor Air, 2004,14(3):

- 188-195.
- [17] 印春生. SPME-GC/MS 分析室内空气中邻苯二甲酸酯 [C]//持久性有机污染物论坛.2006 暨第一届持久性有机污染物全国学术研讨会论文集, 2006:65-68.
- [18] Takamitsu Otake, Jun Yoshinaga, Yukio Yanagisawa. Exposure to phthalate esters from indoor environment [J]. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 2004,14(7),524-528.
- [19] Guo Ying, Husam Alomirah, Hyeon-Seo Cho, et al. Occurrence of Phthalate metabolites in human urine from several asian countries [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 2011,45(7):3138-3144.
- [20] Guo Ying, Wu Qian, Kannan Kurunthachalam. Phthalate metabolites in urine from China, and implications for human exposures [J]. *Environment International*, 2011,37(5):893-898.
- [21] Bornehag C G, Sundell J, Sigsgaard T. Dampness in buildings and health(DBH): Report from an ongoing epidemiological investigation on the association between indoor environmental factors and health effects among children in Sweden [J]. *Indoor Air*, 2004, 14(suppl 7):59-66.
- [22] Jaakkola J J, Oie L, Nafstad P, et al. Interior surface materials in the home and the development of bronchial obstruction in young children in Oslo, Norway [J]. *American Journal of Public Health*, 1999,89(2): 188-192.
- [23] Kiril G Naydenov. On the association between home exposure and asthma and allergies among children in Bulgaria /The ALLHOME study/ with special reference to dampness, smoking, pet-keeping and phthalates [M]. Department of Mechanical Engineering, DTU.2007,28.
- [24] Carl-Gustaf Bornehag, Jan Sundell, Charles J Weschler, et al. The association between asthma and allergic symptoms in children and phthalates in house dust: A nested case-control study [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2004,112(14):1393-1397.
- 作者简介:** 王夫美(1986-),女,山东临沂人,南开大学环境科学与工程学院硕士研究生,主要从事大气颗粒物污染防治理论与技术研究。

天津市年内实施空气质量新标准

根据日前原则通过的《天津市 2012~2020 年大气污染治理措施》,天津市将于今年率先实施环境空气质量新标准。

天津市长黄兴国日前主持召开天津市政府常务会议,着重研究大气污染治理等工作,审议并原则通过了这一文件。

黄兴国强调,加强大气污染防治工作是贯彻落实国务院第 194 次常务会和第七次全国环保大会精神的重要举措,是推进节能减排、建设生态城市的必然要求,是一项重大民心工程.各部门要提高认识,以更大的决心、更高的标准、更有力的措施,切实加大污染防治力度。

根据部署,天津市将严格控制新建燃煤电厂,到 2015 年煤炭新增量控制在 1500 万 t 以内,到 2020 年力争实现“零增长”。调整城市布局,加快小城镇建设,到 2015 年,全市新增城镇常住人口控制在 300 万以内,严格环境准入,制定产业准入目录,加快淘汰火电、钢铁、水泥等产业。

会议原则通过的文件要求,开展燃煤供热锅炉热电联产替代或改燃,加强扬尘污染管理.深度治理小火电机组,加强工业企业烟气脱硫、脱硝和烟粉尘治理.全面开展“黄标车”治理,大力发展新能源汽车,2015 年,市内运行纯电动公交车达到 2000 辆。

会议强调,要全面开展 PM_{2.5} 监测和信息发布,今年底前完成全市自动监测站点改造;2013 年 2 月前,分阶段、分站点、分区域逐步将 PM_{2.5} 监测数据实时发布范围扩大至全市。

摘自《中国环境报》

2012-04-13