

夏季学生宿舍室内降尘中 PAEs 污染特征和暴露评价

邹德坤,王夫美,焦 姣,张雷波,姬亚芹*,单春艳 (1.南开大学环境科学与工程学院,天津 300071)

摘要: 利用 CH_2Cl_2 和超声对 35 个南开大学学生宿舍室内降尘样品中的 DMP、DEP、DBP、BBP、DEHP 和 DOP 等 6 种 PAEs 进行提取分离,采用 GC-MS 定量分析,研究了 PAEs 污染变化特征及暴露风险.结果表明,南开大学学生宿舍室内降尘中 PAEs 污染以 DEHP 和 DBP 为主,中位值浓度分别为 $126.916\mu\text{g/g}$ 和 $123.591\mu\text{g/g}$,两者之和占 $\Sigma_6\text{PAEs}$ 浓度的 99%以上,室内降尘中 PAEs 污染程度和类型与室内含增塑剂产品的数量、室内清洁通风情况及成员性别有关;经口暴露水平大于皮肤,其中 DBP、DEHP 的暴露量高于美国,占人体总 PAEs 摄入量比例较高,故学生宿舍降尘中 PAEs 暴露应给予重视.

关键词: 室内降尘; PAEs; 污染特征; 暴露评价

中图分类号: X513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2013)11-2075-06

Pollution characteristics of PAEs derived from indoor settled dust of dormitory and exposure assessment in summer. ZOU De-kun, WANG Fu-mei, JIAO Jiao, ZHANG Lei-bo, JI Ya-qin*, SHAN Chun-yan (1.College of Environmental Science and Engineering, Nankai University, Tianjin 300071, China). *China Environmental Science*, 2013,33(11): 2075~2080

Abstract: 35 indoor dust samples were collected from Nankai University dormitory. 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 and DOP. And then the pollution characteristics and assessment of human exposure to PAEs from indoor dust were studied. The results showed that DEHP and DBP were the main pollutants from indoor settled dust of Nankai University dormitory, their median concentrations were 126.916 and $123.591\mu\text{g/g}$, respectively, the sum accounting for more than 99% of the $\Sigma_6\text{PAEs}$ concentration. The phthalate levels and major characteristics were affected by the quantities of phthalate products, cleaning habits, ventilation and the gender of members. The total exposures of PAEs (DBP, DEHP, DEP, BBP) for students through the mouth were higher than the skin. The exposures of DBP and DEHP which were accounted for a higher proportion of the total intake of PAEs were higher in Tianjin than those in USA. The importance of students' exposure to PAEs in indoor environment should be paid more attention.

Key words: indoor dust; PAEs; pollution characteristics; exposure assessment

邻苯二甲酸酯(PAEs)是生产量大、应用面广的人工合成有机化合物之一,被普遍应用于玩具、食品包装、乙烯地板、壁纸、清洁剂、指甲油、喷雾剂、洗发水和沐浴液等产品中,其中用量最大的是塑料增塑剂^[1].产品中的PAEs会通过呼吸道、消化道和皮肤等途径进入人体,对人体健康造成危害.目前,在大气,土壤,水体,生物和人体等样品中均已发现其存在^[2].Guo 等^[3]和林兴桃等^[4]的研究表明,北京和乌鲁木齐室内降尘中PAEs较我国其他地区略高;而济南和上海等室内降尘中PAEs污染略轻,但均存在不同程度的PAEs污染.美国^[5]、德国^[6]、保加利亚^[7]、瑞典^[8]

等研究显示,室内降尘中PAEs污染较重.

为了了解南开大学学生宿舍室内降尘中PAEs的污染程度和暴露风险,本文对南开大学4栋宿舍楼内35个宿舍室内降尘中6种PAEs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),探讨室内降尘中PAEs的分布特征及主要来源,分析

收稿日期: 2013-03-15

基金项目: 天津市科技支撑计划重点项目(09ZCGYSF01700)

* 责任作者, 副教授, jiyaqin@nankai.edu.cn

不同类型房间 PAEs 分布的差异性,并进行了暴露评价.

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(昆山舒美公司)、WD-12 水浴氮吹仪(杭州奥盛公司)、超纯水系统(美国 Millipore 公司)、Agilent6890N/5975B 气相色谱-质谱仪(美国 Agilent 公司).

试剂:色谱纯二氯甲烷(天津科威公司)、德国 DR 的 2000mg/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,分流比为 5:1,EI 电离电压:70eV,进样量:1μL,载气:氮气,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,根据内标法定量.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^[9].

1.3 样品采集与保存

2012 年 7 月对南开大学 4 栋学生宿舍楼共 35 个房间的室内降尘进行采集,其中男生宿舍 21 个,女生宿舍 14 个,分别分布在 1 层(11 个)、5 层(14 个)、10 层(5 个)和 15 层(5 个)4 个楼层.为避免吸尘器塑料导管的干扰,利用毛刷刷取宿舍室内地面降尘,除去降尘样品中的大块硬物、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,处理之前过 100 目筛.采样期间进行问卷调查,内容主要涉及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、吸烟情况及宿舍打扫频率,同时记录采样期间通风面积、通风时间、烹调方式.

1.4 样品前处理

将过筛后的降尘样品适量置于离心管中,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 2 次,合并提取液,氮吹至 5mL 左右,转移至浓缩管中继续吹至 2mL 以下,

加入内标,用二氯甲烷定容,转移至自动进样瓶中进行 GC-MS 分析^[10].

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 18h,然后分别用自来水、超纯水冲洗干净,再于烘箱中 100℃ 下烘 2h,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

为避免分析仪器波动对分析结果的影响,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)校正的方法定量,以保证定量的准确性.单点校正法的计算见式(1)^[4].

$$C = \frac{V_0 \cdot C_0 \cdot A_i / A_0}{M_1} \quad (1)$$

式中: C 为每克降尘中含有的 PAEs 的质量,μg/g; M_1 为降尘质量,g; C_0 为标准物质浓度,mg/L; V_0 为定容体积,mL; A_0 为标准物质峰面积; A_i 为样品峰面积.

1.6 统计方法

采用 SPSS 软件非参数检验中威尔科克森符号秩检验(Wilcoxon Signed-Rank test)分别研究男女生宿舍中 PAEs 浓度、处于不同位置的宿舍中 PAEs 浓度、硕士生和本科生宿舍浓度之间的差异,非参数检验 Kruskal-Wallis H 研究低中高不同楼层宿舍内 PAEs 的差异.检验水准均为 0.05.

1.7 暴露风险评价方法

暴露风险评价的计算公式分别见式(2)和式(3)^[3].

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

式中: $DI_{\text{经口摄入}}$ 为每人每千克体重每日的吸收量,ng/(kg·d); C 为每克降尘中含有的 PAEs 物质的质量,μg/g; f_1 为每人每天平均暴露时间比例 80%(1d 在室内停留时间); f_2 为降尘的吸收率,mg/d,成人平均日摄入量 100(US EPA)^[11];BW 为人体重量,kg,成人 58.55^[12].

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

式中:DI_{皮肤摄入}为每人每千克体重每日的皮肤吸收量,ng/(kg·d);SA 为皮肤暴露面积,cm²/d,成人夏季取值为 4020^[13];M₂ 为降尘对皮肤的吸附系数,mg/cm²,取 0.09^[14];f₃ 为皮肤吸收系数,%,取 1^[14].

2 结果与讨论

2.1 PAEs 总体污染水平分析

35 个降尘样品中 DMP、DEP、BBP、DEHP、DBP 和 DOP 等 6 种 PAEs 均被检出,6 种 PAEs 总含量 (Σ₆PAEs) 浓度最低 3.848μg/g,最高 1986.429μg/g,中位值 252.792μg/g,平均值 328.418μg/g,详见表 1.

南开大学学生宿舍室内降尘中 PAEs 以 DEHP 和 DBP 为主.其中,DEHP 中位值为 126.916μg/g, DBP 中位值 123.591μg/g,两者浓度之和占 Σ₆PAEs 浓度的 99%以上,其他 DMP、DEP、BBP 和 DOP 等 4 种 PAEs 浓度均较低.这是由于 DBP

和 DEHP 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 PAEs 物质,因此它们在环境中污染水平较高;而其他物质由于工业上用量较少,故降尘中浓度较低.

表 1 学生宿舍室内降尘中 PAEs 含量(μg/g)

Table 1 The concentrations of PAEs derived from indoor settled dust of student dormitories (μg/g)

污染物	最小值	中位值	平均值	最大值
DMP	0.003	0.109	0.189	1.509
DEP	0.002	0.048	0.088	0.818
DBP	2.031	123.591	186.892	1131.276
BBP	0.002	0.145	0.230	0.965
DEHP	1.791	126.916	194.913	852.348
DOP	0.002	0.064	0.106	0.754
Σ ₆ PAEs	3.848	252.792	328.418	1986.429

2.2 男女生宿舍降尘中 PAEs 的含量

表 2 男女生宿舍降尘中 PAEs 非参数检验结果

Table 2 Nonparametric test results of PAEs in indoor dust of male and female student dormitories

检验方法	参数	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DOP
Mann-Whitney Test	曼-惠特尼 U 检验	121.000	132.000	110.000	144.000	102.000	80.000
	威尔科克森秩检验	352.000	363.000	341.000	375.000	333.000	311.000
	Z	-0.875	-0.505	-1.246	-0.101	-1.515	-2.256
	渐近显著性(双侧)	0.381	0.614	0.213	0.920	0.130	0.024
	精确显著性[2*(单侧显著性)]	0.396	0.630	0.222	0.934	0.135	0.024
Moses Test	控制组观察跨度	35	35	35	35	35	34
	显著性(单侧)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.647
	修整的控制组跨度	29	30	31	30	33	28
	显著性(单侧)	0.270	0.456	0.679	0.456	1.000	0.143
Two-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	最极端绝对值	0.238	0.214	0.381	0.190	0.381	0.381
	正差别	0.238	0.214	0.381	0.190	0.381	0.381
	负差别	-0.048	-0.071	-0.048	-0.119	-0.143	0.000
Kolmogorov-Smirnov Test	柯尔莫哥罗夫-斯米尔诺夫检验	0.690	0.621	1.104	0.552	1.104	1.104
	渐近显著性(双侧)	0.728	0.835	0.175	0.921	0.175	0.175

男生宿舍降尘中 PAEs 浓度中位值分别如下:DMP 为 0.103μg/g, DEP 为 0.048μg/g, DBP 为 90.570μg/g, BBP 为 0.094μg/g, DEHP 为 71.961μg/g, DOP 为 0.047μg/g.女生宿舍降尘中 PAEs 中位值分别如下:DMP 为 0.129μg/g, DEP 为 0.051μg/g, DBP 为 133.736μg/g, BBP 为 0.177μg/g, DEHP 为

144.281μg/g, DOP 为 0.096μg/g.可见,女生宿舍降尘中的 6 种 PAEs 浓度中位值均高于男生宿舍.对于学生公寓来说,由于学生年龄相仿,宿舍成员生活习惯基本相似,PAEs 污染类型相似.宿舍环境调查发现,除去类似的环境因素,如墙面涂料和其他装饰品外,约有 74.5%的女生和 29.0%的男

生使用化妆品,女生较男生使用人数多,并且女生宿舍内存放有更多的塑料产品,如大量的饮料瓶、塑料袋等,而 97.22%的塑料包装品中含有大量的 PAEs^[15].研究表明^[16],化妆品中多含有 PAEs,而劣质的化妆品中 PAEs 的添加量更多.这可能是导致女生宿舍的 6 种 PAEs 浓度均高于男生宿舍的主要原因.

男女生宿舍降尘中 PAEs 的两组独立样本非参数检验结果如表 2 所示,Mann-Whitney Test 中, DMP($P=0.396$)、DEP($P=0.630$)、DBP($P=0.222$)、BBP($P=0.934$)、DEHP($P=0.135$)均大于 0.05,差异无统计学意义,而 DOP($P=0.024$)小于 0.05,但 Moses Test 和 Two-Sample Kolmogorov-Smirnov Test 中均大于 0.05,无统计学意义.即 6 种物质均无统计学意义.

2.3 硕博宿舍室内降尘中 PAEs 浓度比较

图 1 表明,硕士生宿舍内 DMP、DEP、DBP、BBP、DEHP 浓度中位值均高于本科生宿舍,调查问卷显示,约有 83.3%的硕士生使用香水、化妆品、空气清新剂等,而本科生中,只有 28.6%的人员使用这些物质,这些物质中又含有较多的 PAEs,导致硕士生宿舍内 PAEs 浓度较高.而本科生宿舍中 DOP 的浓度中位值高于硕士生,可能是因为 PAEs 分子量越大,在颗粒态上分布越多,DBP、DEHP、DOP 分子量均较大,故在颗粒态上分布较多,硕士生较本科生打扫更为频繁,导致浓度下降,而化妆品中含有大量的 DBP 和 DEHP,但 DOP 含量基本没有或者很少量,故硕士生宿舍 DOP 浓度较低,而其他 5 种物质浓度较高.

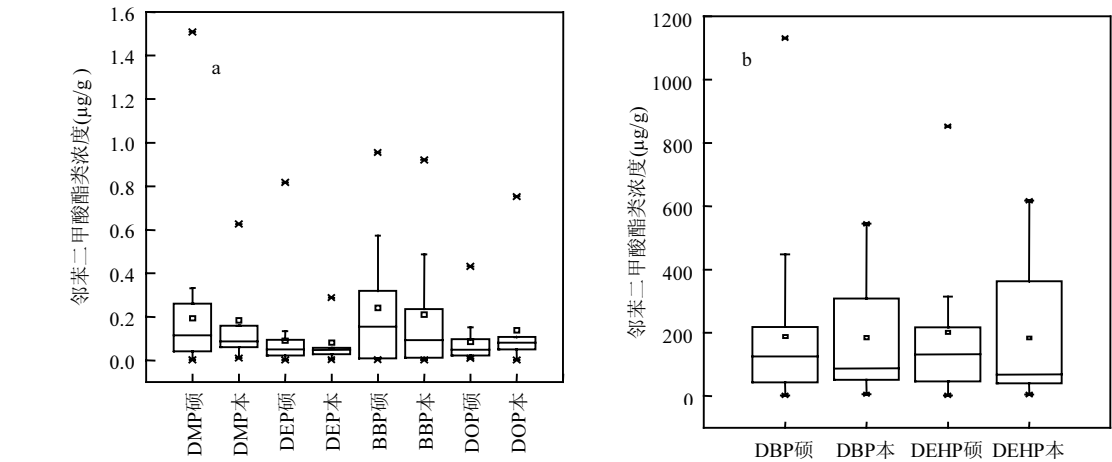


图 1 硕士生与本科生宿舍室内降尘中 PAEs 含量

Fig.1 The concentrations of PAEs in indoor dust from graduate and undergraduate student dormitories

硕士生和本科生宿舍中 PAEs 浓度非参数检验(检验方法:Mann-Whitney U)结果(表 3)表明,6 种物质的 P 值均大于 0.05,分别为 DMP($P=$

0.993)、DEP($P=0.960$)、DBP($P=0.987$)、BBP($P=1.000$)、DEHP($P=0.674$)、DOP($P=0.448$),差异无统计学意义.

表 3 硕士生与本科生宿舍室内降尘中 PAEs 非参数检验结果

Table 3 Nonparametric test results of PAEs in indoor dust at graduate and undergraduate student dormitories

参数	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DOP
曼-惠特尼 U 检验	140.000	141.000	142.000	143.000	130.000	120.000
威尔科克森秩检验	393.000	232.000	395.000	234.000	221.000	373.000
Z	-0.102	-0.068	-0.034	0.000	-0.444	-0.785
渐近显著性(双侧)	0.918	0.946	0.973	1.000	0.657	0.432
精确显著性[2×(单侧显著性)]	0.933	0.960	0.987	1.000	0.674	0.448

2.4 垂直分布对 PAEs 浓度的影响

考虑室外大气中 PAEs 在垂直方向上的分布特点及其对室内浓度的可能影响,采样点布设在每栋楼的低层(1 楼)、中层(5 楼)、中高层(10 楼)及高层(15 楼).对其数据进行分析如图 2 所示,按中位值比较,PAEs 浓度从低到高表现为:5 楼(102.53μg/g)<1 楼(252.79μg/g)<10 楼(312.07μg/g)<15 楼(423.99μg/g).呈现出低层和高层浓度较高,中层浓度略低的特点.

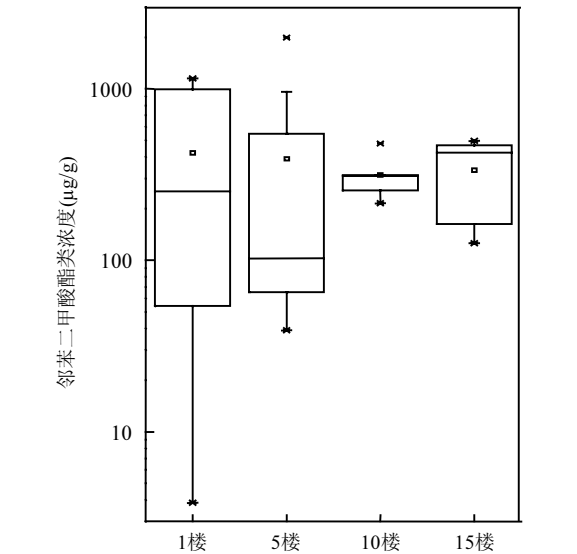


图 2 不同楼层宿舍降尘中 PAEs 的含量
Fig.2 The concentrations of PAEs in indoor dust at different floors

多组独立样本非参数检验结果如表 4 所示, DMP($P=0.238$)、DEP($P=0.568$)、DBP($P=0.749$)、BBP($P=0.074$)、DEHP($P=0.681$)、DOP($P=0.254$)的 P 值均大于 0.05,差异无统计学意义.

表 4 宿舍降尘中 PAEs 不同楼层非参数检验结果
Table 4 Nonparametric test results of PAEs in indoor dust at different floors

参数	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP	DOP
卡方	4.227	2.022	1.216	6.948	1.506	4.067
自由度	3	3	3	3	3	3
渐近显著性	0.238	0.568	0.749	0.074	0.681	0.254

2.5 暴露评价

人们在室内度过的时间通常占 80%以上.因此,室内降尘中 PAEs 暴露已是关系到人体健康的重要问题.Kolarik 等^[7]的研究表明,保加利亚室内降尘中 DEHP 的浓度与学前儿童哮喘有一定关系.Guo 等^[17]对亚洲国家人群尿液中 PAEs 暴露风险评价结果显示,科威特 DEHP 暴露量最大值为 435μg/d,超过美国环境保护局(US EPA)规定的参考剂量 RfD 值(400μg/d).而王夫美等^[10]对天津居民区室内降尘中 PAEs 的暴露评价也显示,天津居民区室内降尘中 PAEs 对儿童暴露量也达到了一定程度.因此,评价室内环境中 PAEs 对人们的健康风险显得尤为重要.

目前,我国还没有对室内环境中的 PAEs 进行限量规定,故本文采用欧洲毒性、生态毒性和环境科学委员会(EU CSTEE)及美国 EPA 规定的 DBP、DEHP、DEP、BBP 等 4 种物质限值进行暴露风险评价.表 5 列出了利用式(2)和式(3) 计算降尘中 PAEs 对成人经口和皮肤摄入的暴露评价结果.

表 5 室内降尘中 PAEs 暴露量(DI)
Table 5 Daily intakes of PAEs from indoor dust(DI)

污染物	摄入方式	中位值 [ng/(kg·d)]	P_{95} [ng/(kg·d)]	TDI [μg/(kg·d)]	RfD [μg/(kg·d)]
DBP	经口摄入	168.87	904.39	100	100
	皮肤摄入	7.60	40.70		
DEHP	经口摄入	173.4	1000.8	37	20
	皮肤摄入	7.8	45.0		
DEP	经口摄入	6.58×10^{-2}	0.54	750	800
	皮肤摄入	3.0×10^{-3}	2.4×10^{-2}		
BBP	经口摄入	0.2	1.3	200	200
	皮肤摄入	8.9×10^{-3}	5.7×10^{-2}		

表 5 表明,降尘中 PAEs 经口暴露水平大于皮肤暴露水平,降尘中 DEHP 经口和皮肤的暴露量均最大,中位值浓度分别为 173.4ng/(kg·d)、7.8ng/(kg·d).按 PAEs 浓度中位值计算,则宿舍内 4 种 PAEs(DBP、DEHP、DEP、BBP)经口和皮肤的总暴露量达 367.95ng/(kg·d).其中,DEHP 暴露量为 181.2ng/(kg·d),是美国^[3]成人 DI[206ng/(kg·d)]的 0.88 倍;DBP 的暴露量为 176.47ng/

(kg·d),是美国成人 DI(8.8ng/(kg·d))的 20.05 倍; DEP 暴露量为 0.0688ng/(kg·d),是美国 DI(1.4ng/(kg·d))的 0.05 倍;而 BBP 暴露量 0.2089ng/(kg·d),为美国 DI(14.3ng/(kg·d))的 0.015 倍.4 种 PAEs 暴露量均未超过 TDI(欧洲日均最大容许量)和 RfD(美国日均参考量)值.

Guo 等^[18]的调查显示中国人群 DEP、DBP、DEHP 的平均日摄入量分别为 3.8μg/(kg·d)、12.2μg/(kg·d)和 5μg/(kg·d).若以该研究数据为我国人群 PAEs 每日总摄入量,以 PAEs 浓度中位值计算,则南开大学学生宿舍室内降尘中 DBP 和 DEHP 的暴露量分别占它们平均日摄入量的 1.4%和 3.6%.若以 PAEs 浓度 P_{95} 计算,则南开大学学生宿舍室内降尘中 DBP 和 DEHP 的暴露量分别占其平均日摄入量的 7.7%和 20.9%.因此,学生宿舍室内降尘中 PAEs 污染需引起关注.

3 结 论

3.1 学生宿舍室内降尘中 PAEs 污染以 DEHP 和 DBP 为主,这与我国目前 PAEs 生产消费情况相符.

3.2 女生宿舍中 6 种 PAEs 污染物浓度中位值均较男生宿舍高,这可能与女生化妆品和塑料制品用量较大有关.

3.3 硕士生宿舍内 DMP、DEP、DBP、BBP、DEHP 的浓度中位值均高于本科生宿舍,而 DOP 浓度中位值则相反.PAEs 污染与室内环境中人的个人习惯、化妆品的使用、人口密度及打扫和通风频率有关.

3.4 PAEs 浓度随高度不同,呈现出低层和高层浓度较高,中层浓度略低的特点.

3.5 暴露风险评价表明,经口暴露水平大于皮肤.其中 DBP、DEHP 的暴露量高于美国,占人体总 PAEs 摄入量比例较高,故室内降尘中 PAEs 污染应给予重视.

参考文献:

- [1] 邓 臣,罗定贵,陈迪云,等.邻苯二甲酸酯在包气带土壤中的迁移模拟研究 [J]. 中国环境科学, 2011,31(12):2018–2022.
- [2] 杨 彦,于云江,李定龙,等.太湖流域(苏南地区)农业活动区人

群 PAEs 健康风险评估 [J]. 中国环境科学, 2013,33(6): 1097–1105.

- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Bornehag C G, 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.
- [9] 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.
- [10] 王夫美,陈 丽,焦 姣,等.住宅室内降尘中邻苯二甲酸酯污染特征及暴露评价 [J]. 中国环境科学, 2012,32(5):780–786.
- [11] USEPA. Exposure Factors Handbook. http://epa.gov/oppt/exposure/pubs/usepa_1997_ehf.pdf(accessed December, 2010)[Z].
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] HJ/T25–1999 工业企业土壤环境质量风险评价基准 [S].
- [15] 郑 仲,何晶晶,邵立明.塑料包装物中邻苯二甲酸酯的分布统计分析 [J]. 中国环境科学, 2006,26(5):637–640.
- [16] 李 洁,郑和辉,柳玉红.化妆品中检出邻苯二甲酸酯情况的调查 [J]. 首都公共卫生, 2010,4(1):39–40.
- [17] 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.
- [18] 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.

作者简介: 邹德坤(1990–),男,辽宁朝阳人,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.