

吉林省公主岭市青少年头发中多氯联苯污染水平的研究

张利^{1,2}, 陈扬², 刘新会⁴, 徐殿斗², 马玲玲², 石志红^{3*}, 梁刚⁴, 石柳⁴, 欧阳宏²

(1. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093; 2. 中国科学院高能物理研究所核分析技术重点实验室, 北京 100049; 3. 河北大学化学与环境科学学院, 保定 071002; 4. 北京师范大学环境学院, 北京 100875)

摘要:应用气相色谱-质谱(GC-MS)分析了 23 份采自吉林省公主岭市青少年(12~18 岁)头发样品中的 30 种多氯联苯(PCBs), 并对头发样品中 PCBs 的构成和来源进行了解析, 对其与性别的相关性进行了分析. 结果表明, 头发样品中 PCBs 的检测率为 100%, PCBs 总含量 $\sum$ PCBs 为 $(68.85 \pm 36.72) \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 含量范围为 $11.66 \sim 127.86 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, 该地区已经受到一定程度的污染. 其中 CB-28、CB-52、CB-87、CB-82 是头发中 PCBs 的主要同族体, 占 $\sum$ PCBs 的 62%, 五氯联苯含量最高, 占 $\sum$ PCBs 的 39%, 其次是四氯联苯和三氯联苯, 分别占 $\sum$ PCBs 的 29% 和 18%, 高氯代 PCBs 含量较低, 这不仅与人体内部组织中 PCBs 同族体组成有显著差异也有别于大气中 PCBs 的构成, 表明该地区青少年头发中 PCBs 存在饮食等内源性和空气等外源性 2 个暴露途径. PCBs 构成与我国生产和使用 PCBs“指纹谱”相近, 表明该地区 PCBs 来源于工业污染, 与我国 PCBs 的使用历史有关. 该地区女性发样中 PCBs 负荷显著高于男性($P < 0.05$).

关键词:头发; 多氯联苯; 气相色谱-质谱; 吉林公主岭; 来源

中图分类号: X171.5 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)10-3082-06

Levels of Polychlorinated Biphenyls in Adolescents' Hair from Gongzhuling, Jilin

ZHANG Li^{1,2}, CHEN Yang², LIU Xin-hui⁴, XU Dian-dou², MA Ling-ling², SHI Zhi-hong³, LIANG Gang⁴, SHI Liu⁴, OUYANG Hong²

(1. State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 2. Key Laboratory of Nuclear Analytical Techniques, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of Chemistry and Environmental Science, Hebei University, Baoding 071002, China; 4. College of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Adolescents' (12-18) hair samples ($n = 23$) collected from Gongzhuling Jilin were analyzed for 30 polychlorinated biphenyl (PCB) congeners by gas chromatograph-mass spectrometer (GC-MS). The distribution characteristics, sources and relationship with genders of PCBs in adolescents' hair were addressed as well. The results indicated that the detection frequency of PCBs were 100% with average concentration of $(68.85 \pm 36.72) \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ and detection range from $11.66 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$ to $127.86 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$, respectively. This region was contaminated to some extent. CB-28, CB-52, CB-87 and CB-82 were the major congeners which occupied 62%. Penta-CBs were the dominant contributors (39%), followed by tetra-CBs (29%) and tri-CBs (18%). The different distributions of PCBs congeners in hair from other human tissues and the air are believed to be the fact that PCBs in human hair not only came from endogenous dietary uptake of the contaminants, but also from exogenous atmospheric deposition. The results clearly indicated that these pollutants mainly came from industrial pollution. When gender was considered, significantly higher concentrations for most of the investigated contaminants were found in female compared with male.

Key words: hair; polychlorinated biphenyl (PCB); GC-MS; Gongzhuling, Jilin; source

多氯联苯(PCBs)作为持久性有机污染物, 由于其亲脂性、难降解性和生物累积性, 在环境中可长期残留, 威胁人类和动物的健康, 引起公众的广泛关注^[1]. 人类处于食物链的顶级, PCBs 的蓄积量较大, 研究发现其有可能诱发癌症、神经系统、内分泌系统和生殖系统等疾病^[2~6]. 为掌握 PCBs 在人体内的蓄积情况以及产生的危害, PCBs 在人体内残留量的研究已成为近年来科学界关注的热点之一^[7~13]. 目前常用的生物监测检材为血液^[9,14~18]、母乳^[8,19]、体脂^[20,21]等. 相对于这些人体组织而言, 头发更易

于采集、方便贮存, 无损宿主、不受性别、年龄等的限制, 作为人体的一种代谢器官, 能反映体内元素的代谢情况, 早已用于人体微量元素监测以及有毒重金属污染、毒品吸食的检验. 头发中脂肪含量较高(2%~4%)^[22], 使得这种基质更适合检测脂溶性的持久性有机污染物, 并且有研究显示头发中有机氯

收稿日期: 2010-12-13; 修订日期: 2011-03-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(11075171, 10505023, 10905061); 国家科技支撑计划重点项目(2007BAC27B00)

作者简介: 张利(1983~), 女, 助理工程师, 主要研究方向为生物样品中持久有机污染物的控制, E-mail: lizhang@ibcas.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: shizhihong@hbu.edu.cn

含量仅次于体脂,远高于母乳及血液,可以作为一种生物监测检材^[23~26]。目前国外对头发中 PCBs 残留量已开展了大量研究^[7,22,27,28],但国内仅对北京地区儿童发样^[29]及浙江地区人体发样^[30]中的 PCBs 进行过研究,而有关东北地区头发中 PCBs 的研究还未见报道。

有调查表明我国东部地区环境中 PCBs 污染比较严重^[31],为了解吉林省公主岭市 PCBs 污染水平,本研究分析了该地区 23 份(12~18 岁)青少年头发内的 PCBs 含量及分布规律,并探讨了其与性别的相关性,以期后续该地区风险评估提供参

1 材料与方

1.1 主要试剂与仪器

试剂:正己烷(色谱纯,天津化学试剂公司)、二氯甲烷(色谱纯,天津化学试剂公司);异辛烷(色谱纯,J. T. Baker 公司);浓盐酸(优级纯 36%~38%,北京化工厂);浓硫酸(优级纯 95%~98%,天津化学试剂公司);十二烷基磺酸钠(分析纯,天津光复精细化工研究所);无水硫酸钠(优级纯,650℃烘焙 6 h 后密封备用,天津光复精细化工研究所);碱性氧化铝(分析纯,粒度 0.075~0.15 mm 130℃烘焙 18 h,后密封备用,上海五四化学试剂有限公司);硅胶(分析纯,粒度 0.075~0.15 mm 130℃烘焙 18 h,后密封备用,青岛海洋化工厂分厂);酸性硅胶(活化后的硅胶在玻璃棒搅拌下缓慢滴入浓硫酸制成);实验用水为 Milli-Q 超纯水。

PCB 混合标样:多氯联苯(PCBs)混合标样含有(IUPAC 编号)CB-8 28 52 44 49 37 74 70 66 60 101 99 87 77 82 118 114 153 105 179 158 138 126 166 187 183 128 156 180 169 共 30 种同族体。

PCBs 单标:CB-46, CB-143。

内标:1,2,3,4-tetrachloronaphthalene (TCN)。

以上标准均购自美国 AccuStandard 公司。

仪器:Varian GC 3800, Saturn 2000 质谱仪。

1.2 实验方法

1.2.1 样品的采集和前处理

2009 年 5 月于吉林省公主岭市区采集 12~18 岁青少年后枕部头发,男性 12 份,女性 11 份,共 23 份(采样点尽可能分散),每份头发约 2 g,分装于洁净的信封中,备用。

样品依次经十二烷基磺酸钠(1%)溶液、蒸馏水洗净去除表面的灰尘和油脂,40℃烘干后剪碎。前

处理参照文献[7]方法,称取约 500 mg 经处理后头发于 20 mL 具塞试管中,加 4 mL 6 mol·L⁻¹盐酸和 3 mL 正己烷/二氯甲烷(4:1),40℃水浴静置过夜,漩涡混合,分离有机相,再用 4 mL 正己烷/二氯甲烷(4:1)萃取 2 次,合并萃取液,经无水硫酸钠脱水后旋转蒸发至 2~3 mL,过层析柱[由下到上依次为:碱性氧化铝(10%)、酸性硅胶、无水硫酸钠],首先用 2 mL 正己烷/二氯甲烷(1:1)润洗柱子,再用 2 mL 正己烷润洗,上样后用 6 mL 正己烷淋洗,洗脱液旋转蒸发至 1~2 mL,转至氮吹瓶,加入内标 TCN,高纯氮气浓缩定容至 200 μL,备 GC-MS 分析测定。

1.2.2 GC-MS 实验条件

ZB-5 MS 熔融石英毛细管柱(φ0.25 mm×60 m,液膜厚 0.25 μm),进样口温度 270℃,检测器温度 320℃。升温程序:初始柱温 80℃保持 1 min,以 20℃·min⁻¹升至 180℃后,以 3℃·min⁻¹升至 280℃,保持 15 min。不分流进样,进样量为 1 μL,载气为高纯氮气,流速为 1.0 mL·min⁻¹。

质谱条件:EI 源,电子能量 70 eV,源温度 250℃,质量扫描范围 m/z 为 60~550,选择离子监测模式(SIS),质谱定性,内标法定量。

1.2.3 质量保证和质量控制(QA/QC)

为了保证样品分析流程的可靠性,监控样品提取和处理分析过程中可能带来的污染,23 份样品分 5 批进行,每批样品做一个过程空白和单样品加标实验,样品中加入 CB-46 和 CB-143 作为添加标准来检测回收率,按照实际样品的处理步骤进行提取、净化和分析, CB-46 的回收率($n=5$)为 80%~92%,相对标准偏差为 7%。CB-143 的回收率($n=5$)为 80%~105%,相对标准偏差为 14%。数据均为经扣除空白并经回收率校正后的结果。仪器检出限为:0.008~0.093 ng·g⁻¹;方法检出限为:0.20~1.21 ng·g⁻¹。

2 结果与讨论

2.1 多氯联苯的污染水平及来源解析

表 1 列出了青少年头发内的 PCBs 同族体的含量及检出率,可以看出,头发样品中 PCBs 的检出率为 100%,PCBs 总含量 $\sum$ PCBs 为(68.85±36.72) ng·g⁻¹,含量范围为 11.66~127.86 ng·g⁻¹。高氯联苯如 CB-158、CB-183、CB-156、CB-169 的检出率低于 50%。CB-28、CB-52、CB-87、CB-82 是头发中 PCBs 的主要同族体,占 $\sum$ PCBs 的 62%,表明该地区青少年头发内 PCBs 以易降解的低氯联苯为主。

这与头发标准参照物(BCR397)^[22]、罗马尼亚人体头发^[27]、美国人体头发^[28]以及北京地区儿童头发^[29]中 PCBs 组成类似,但是不同于人体内部组织中 PCBs 的构成成分. Covaci 等^[7]在对比比利时、罗马尼亚和希腊人体有机氯残留量进行研究时,将头发中 PCBs 与内部组织中 PCBs 的构成作了对比,发现低氯代的 PCBs 如 CB-52 含量明显高于内部组织;何升良等^[9]对母乳和脐血中 PCBs 暴露水平研究表明,母乳和脐血中以高氯代的 CB-138 和 CB-156 为

主;Dirtu 等^[16]对罗马尼亚地区脂肪组织中的有机溴和有机氯的研究表明,以氯代较高的 CB-138、CB-153、CB-170 和 CB-180 为主,占 75%;Altshul 等^[28]将美国人体头发和血液中 PCBs 进行对比研究发现,低氯的易降解的同族体如 CB-52、CB-101、CB-110 和 CB-149 在头发中含量较高,但高氯代 PCBs 如 CB-153、CB-138、CB-180 等在脂肪中含量较高. 表明头发中的 PCBs 可能有不同于人体内部组织的其它暴露途径.

表 1 PCBs 同族体的含量和检出率¹⁾/ng·g⁻¹
Table 1 Concentrations and detecting frequencies of select PCBs in human hair/ng·g⁻¹

PCBs	平均值±SD(检出率/%)		
	女性(n=11)	男性(n=12)	合计总体(n=23)
CB8	1.99±0.41(100)	1.66±0.55(100)	1.82±0.50(100)
CB28	14.18±7.57(100)	8.65±9.88(100)	11.30±9.10(100)
CB52	19.82±6.58(100)	12.85±6.39(100)	16.18±7.26(100)
CB44	ND	ND	ND
CB49	0.54±0.48(100)	0.31±0.22(83)	0.42±0.38(91)
CB37	1.31±0.41(100)	0.78±0.33(100)	1.03±0.45(100)
CB74	ND	ND	ND
CB70	2.70±1.58(91)	0.27±0.54(25)	1.43±1.68(56)
CB66	ND	ND	ND
CB60	0.92±0.39(100)	0.56±0.21(100)	0.73±0.36(100)
CB101	0.98±0.44(100)	0.64±0.39(100)	0.80±0.45(100)
CB99	1.07±0.52(100)	0.75±0.47(100)	0.90±0.51(100)
CB87	9.44±6.95(100)	4.87±5.77(100)	7.06±6.63(100)
CB77	1.43±0.45(100)	0.75±0.33(100)	1.08±0.52(100)
CB82	11.20±6.92(100)	4.40±5.39(100)	7.65±6.95(100)
CB118	4.04±2.42(82)	1.13±1.50(42)	2.52±2.45(61)
CB114	4.53±3.18(91)	1.88±2.91(42)	3.15±3.27(65)
CB153	0.50±0.18(100)	0.50±0.17(100)	0.50±0.17(100)
CB105	0.95±0.30(100)	0.64±0.28(100)	0.79±0.33(100)
CB179	0.23±0.35(73)	0.18±0.12(100)	0.21±0.25(87)
CB138	0.59±0.37(82)	0.21±0.23(50)	0.39±0.36(65)
CB158	0.04±0.15(9)	ND	0.02±0.10(4)
CB126	4.91±2.33(100)	2.83±2.26(100)	3.83±2.48(100)
CB166+187	0.62±0.49(73)	0.55±0.52(67)	0.58±0.50(70)
CB183	0.03±0.10(9)	ND	0.01±0.07(4)
CB128	ND	ND	ND
CB156	0.19±0.42(18)	0.44±0.68(33)	0.32±0.57(26)
CB180	6.55±3.58(91)	3.86±4.42(92)	5.15±4.18(91)
CB169	1.09±2.02(27)	0.86±1.55(25)	0.97±1.75(26)
∑ PCBs	89.89±28.02(100)	49.56±33.68(100)	68.85±36.72(100)

1)ND 代表未检出

此外,按照苯环上取代氯原子的个数将 PCBs 同族体进行分类,可将研究检测的 PCBs 同族体分为 2~7 氯代 PCBs. 图 1 列出了头发样品中 PCBs 的组成分布,可以看出在所分析的 PCBs 同族体中以低氯代 PCBs 为主,五氯代联苯含量最高占 ∑ PCBs 的 39%,其次是四氯代联苯和三氯联苯,分别占

∑ PCBs 的 29% 和 18%,高氯代含量较低. 与 Zhang 等^[29]对人发中持久有机氯污染物研究时得出的结论一致,与我国生产和使用 PCBs“指纹谱”相近^[32],表明该地区人体头发中 PCBs 主要来源于工业污染,这与我国 PCBs 的使用历史有关. 在我国,1965~1974 年大约生产了 10 000 t PCBs,其中约

9 000 t 三氯联苯主要用于电力电容器的浸渍剂,约 1 000 t 五氯联苯主要用于油漆的添加剂,据粗略统计,在吉林使用的密度约为 2.86 kg/km²[31]。

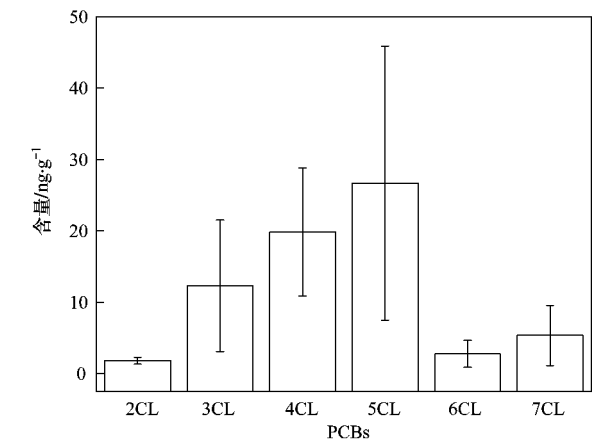


图 1 头发中各种氯代 PCBs 的组成分布
Fig.1 Distribution of PCBs congeners in human hair

有研究显示,除职业暴露人群外,对于普通人群饮食是 PCBs 进入人体的主要途径,其中通过肉类、鱼类、奶制品和脂肪摄入 PCBs 的量占总摄入量的 80% [13]。随着人们生活水平的提高,海产品、奶制品及肉制品的食用量逐渐增大,并有研究表明,我国海产品和奶制品中高氯联苯含量较高 [33-35],这与人体内部组织中 PCBs 的构成相似,说明饮食等可能是人体内部组织中 PCBs 的主要来源。又因为头发根部有很多毛细血管,使得体内物质不停地与头发中的物质进行交换,这样体内的污染物包括 PCBs 很容易进入头发,所以饮食等是头发中 PCBs 的内

源性暴露途径,这也是头发可以作为一种生物监测检材的原因所在。

但是头发作为一种暴露于环境中的人体生物材料,同时受身体内环境和生活外环境的双重影响,有别于仅受身体内环境影响的体内组织器官。空气中的有机物包括 PCBs 很容易被吸附在头发皮脂腺分泌的皮脂中,故头发还存在空气等外源暴露途径 [7]。低氯代的易挥发的 PCBs 蒸气压高,较高氯代 PCBs 更易挥发残留在空气中。于丽娜等 [36] 对中国北方(采样点包括东北)大气中 84 种 PCBs 同族体研究表明,大气中主要以低氯代 PCBs 为主,二氯代占 41%,三氯代占 43%;李淑珍等 [37] 对北京石景山区大气中气态样品和颗粒态样品 84 种多氯联苯同族体研究表明,所有样品都是四氯代物所占比例最大;李燕 [38] 对大连市大气中多氯联苯的研究表明大气中以三、四氯的低氯联苯为主。公主岭市青少年发样中低氯联苯含量较高,以 3~5 氯为主,但与大气中 PCBs 的构成相比,有些偏向高氯代,说明头发中 PCBs 是外源性暴露和内源性暴露综合作用的结果。

2.2 头发中 PCBs 的蓄积量与性别的关系

尽管样品采自同一个地区,男性和女性的饮食结构差异不大,但是从表 1 和图 2 可以明显看出,女性发样中的部分 PCBs 的含量高于男性,t-检验 (two populations t-test) 表明不同性别发样中 PCBs 存在显著性差异 ($P<0.05$)。这种结论与 Covaci 等 [27] 对罗马尼亚人体头发样品 PCBs 以及 Dirtu 等 [16] 对同地区血液样品中 PCBs 研究结论一致,Altshul 等 [28] 对

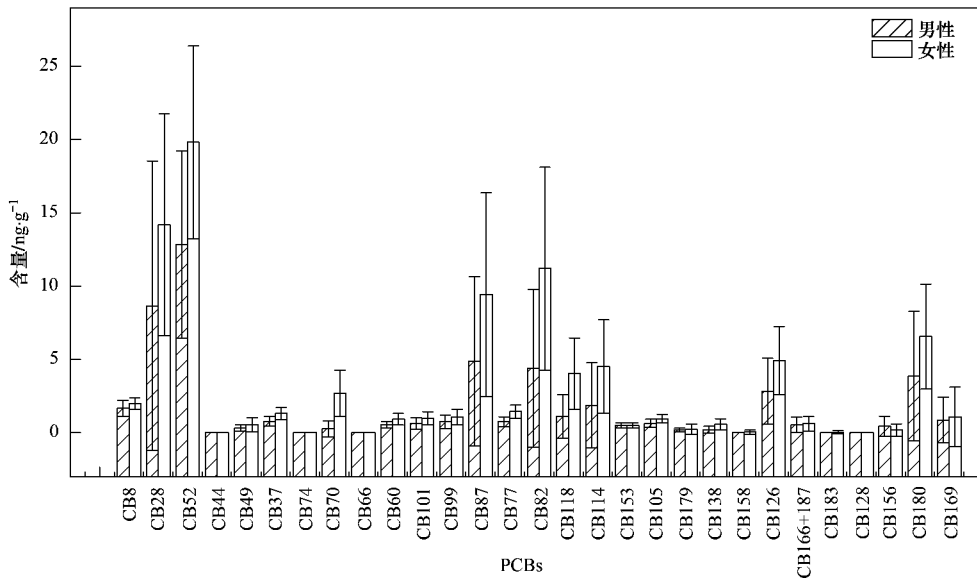


图 2 不同性别发中多氯联苯平均值
Fig.2 Mean levels of PCBs in females versus males

人体头发和血液中 PCBs 和有机氯的研究也得到了类似结论. 以下 3 个原因可解释这种现象: ①头发中的 PCBs 不再代谢和排泄, 可以长期积累^[39], 女性的头发较长, 故反映长期的暴露; ②生理方面的差异. 有研究表明男性体内与女性相比含水量高, 而脂肪比重却偏低, 因 PCBs 是脂溶性物质, 故更容易在女性体内蓄积^[40]. ③女性与男性相比, 使用护发产品比率更高, 使得头发表层脂的含量较大, 更易吸附脂溶性物质, 这也可能是女发中 PCBs 含量大于男发的一种原因.

3 结论

(1) 该地区青少年头发样品中 PCBs 的检出率为 100%, 说明该地区在一定程度上已经受到 PCBs 的污染.

(2) 3~5 氯的低氯联苯是该地区 PCBs 污染物的主要成分, 这与我国 PCBs 的使用历史有关.

(3) 头发中 PCBs 的构成与人体内部组织显著不同, 与大气中 PCBs 相比, 氯代偏高, 表明头发中的 PCBs 不仅来源于饮食等内源性暴露, 也来源于空气等外源性暴露.

(4) 头发中 PCBs 的含量与性别有关, 大部分同族体在女性体内的含量高于男性.

参考文献:

- [1] Colborn T, Smolen M J, Rolland R. Environmental neurotoxic effects; The search for new protocols in functional teratology [J]. *Toxicology and Industrial Health*, 1998, **14**(1-2): 9-23.
- [2] 姚永革. 多氯联苯对生殖系统影响的研究进展 [J]. *预防医学情报*, 2004, **20**(2): 129-131.
- [3] 胡华, 王政华. 多氯联苯类污染物对人类健康的影响 [J]. *长沙民政职业技术学院学报*, 2007, **14**(1): 121-123.
- [4] 高宇. 多氯联苯对儿童神经毒性的研究进展 [J]. *国外医学卫生学分册*, 2004, **33**(1): 37-40.
- [5] 焦力. 多氯联苯对儿童发育生长的影响 [J]. *国外医学卫生学分册*, 2000, **27**(2): 83-88.
- [6] 聂湘平. 多氯联苯的环境毒理研究动态 [J]. *生态科学*, 2003, **22**(2): 171-176.
- [7] Covaci A, Schepens P. Chromatographic aspects of the analysis of selected persistent organochlorine pollutants in human hair [J]. *Chromatographia Supplement*, 2001, **53**: 366-371.
- [8] 俞苏霞, 柴剑荣, 蒋世熙, 等. 人乳中多氯联苯的测定 [J]. *中国公共卫生*, 2004, **20**(8): 934-935.
- [9] 何升良, 韩关根, 李朝林, 等. 母乳和脐血中多氯联苯暴露水平研究 [J]. *中国预防医学*, 2006, **7**(4): 334-336.
- [10] 韩关根, 楼晓明, 李霜, 等. 我国东南部地区妇幼人群静脉血多氯联苯水平及危险性研究 [J]. *中国预防医学*, 2009, **10**(1): 1-4.
- [11] Tsang H L, Wu S C, Leung C K M, *et al.* Body burden of POPs of Hong Kong residents, based on human milk, maternal and cord serum [J]. *Environment International*, 2011, **37**(1): 142-151.
- [12] Jotaki T, Fukata H, Mori C. Confirmation of polychlorinated biphenyl (PCB) distribution in the blood and verification of simple quantitative method for PCBs based on specific congeners [J]. *Chemosphere*, 2011, **82**(1): 107-113.
- [13] Agudo A, Goni F, Etzeandia A, *et al.* Polychlorinated biphenyls in Spanish adults: Determinants of serum concentrations [J]. *Environmental Research*, 2009, **109**(5): 620-628.
- [14] Covaci A, Jorens P, Jacquemyn Y, *et al.* Distribution of PCBs and organochlorine pesticides in umbilical cord and maternal serum [J]. *Science of the Total Environment*, 2002, **298**(1-3): 45-53.
- [15] Korrick S A, Altshul L M, Tolbert P E, *et al.* Measurement of PCBs, DDE, and hexachlorobenzene in cord blood from infants born in towns adjacent to a PCB-contaminated waste site [J]. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 2000, **10**(6): 743-754.
- [16] Dirtu A C, Roberta C, Dragan D, *et al.* Organohalogenated pollutants in human serum from Iassy, Romania and their relation with age and gender [J]. *Environment International*, 2006, **32**(6): 797-803.
- [17] 屈伟月. 广东省特殊人群血液和母乳中多溴联苯醚、有机氯农药和多氯联苯的初步研究 [D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2007.
- [18] Shen H, Ding G, Han G, *et al.* Distribution of PCDD/Fs, PCBs, PBDEs and organochlorine residues in children's blood from Zhejiang, China [J]. *Chemosphere*, 2010, **80**(2): 170-175.
- [19] Johansen H R, Becher G, Polder A, *et al.* Congener-specific determination of polychlorinated-biphenyls and organochlorine pesticides in human-milk from norwegian mothers living in Oslo [J]. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 1994, **42**(2): 157-171.
- [20] Covaci A, de Boer J, Ryan J J, *et al.* Distribution of organobrominated and organochlorinated contaminants in Belgian human adipose tissue [J]. *Environmental Research*, 2002, **88**(3): 210-218.
- [21] Pauwels A, Covaci A, Weyler J, *et al.* Comparison of persistent organic pollutant residues in serum and adipose tissue in a female population in Belgium, 1996-1998 [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2000, **39**(2): 265-270.
- [22] Gill U, Covaci A, Ryan J J, *et al.* Determination of persistent organohalogenated pollutants in human hair reference material (BCR 397): an interlaboratory study [J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2004, **380**(7-8): 924-929.
- [23] 殷斌志, 姜朴, 陶登彩, 等. 毛发有机氯农药残留量与皮下脂肪有机氯蓄积量相关性研究 [J]. *华中科技大学学报 (医学版)*, 1987, (2): 102-104.
- [24] 龙碧琦, 曾秀林, 谢署光. 人体生物样品中有机氯农药的含量 [J]. *环境与健康*, 1991, **8**(3): 134-135.
- [25] 赵美英, 夏世钧. 体脂与头发中有机氯杀虫剂蓄积的相互关

- 系[J]. 中国公共卫生学报,1991,10(5):278-280.
- [26] 金莎丽,杨跃林,范莉,等. 头发作为有机氯农药污染生物监测检材的可行性研究[J]. 中国工业医学,2002,15(4):205-207.
- [27] Covaci A, Hura C, Gheorghe A, *et al.* Organochlorine contaminants in hair of adolescents from Iassy, Romania[J]. *Chemosphere*,2008,72(1):16-20.
- [28] Altshul L, Covaci A, Hauser R. The relationship between levels of PCBs and pesticides in human hair and blood: Preliminary results [J]. *Environmental Health Perspectives*,2004,112(11):1193-1199.
- [29] Zhang H, Chai Z F, Sun H B. Human hair as a potential biomonitor for assessing persistent organic pollutants [J]. *Environment International*,2007,33(5):685-693.
- [30] Zhao G F, Wang Z J, Dong M H, *et al.* PBBs, PBDEs, and PCBs levels in hair of residents around e-waste disassembly sites in Zhejiang Province, China, and their potential sources [J]. *Science of the Total Environment*, 2008,397(1-3):46-57.
- [31] Xing Y, Lu Y, Dawson R W, *et al.* A spatial temporal assessment of pollution from PCBs in China [J]. *Chemosphere*, 2005, 60(6):731-739.
- [32] 降巧龙,周海燕,徐殿斗,等. 国产变压器油中多氯联苯及其异构体分布特征[J]. 中国环境科学,2007, 27(5):608-612.
- [33] 陈蓉芳,彭少杰,田明胜,等. 市售海水产品中指示性多氯联苯污染及膳食暴露情况[J]. 上海预防医学杂志, 2009,21(7):333-335.
- [34] Yang N, Matsuda M, Kawano M, *et al.* PCBs and organochlorine pesticides (OCPs) in edible fish and shellfish from China [J]. *Chemosphere*,2006, 63(8):1342-1352.
- [35] 张鸿,柴之芳,孙慧斌,等. 酸奶中持久性有机氯污染物的残留特征及其成因分析[J]. 食品科学,2004, 25(9):162-165.
- [36] 于丽娜,降巧龙,张志,等. 中国北方大气中有机卤素污染物的污染水平[J]. 核化学与放射化学,2008, 30(3):146-151.
- [37] 李淑珍,徐殿斗,许国飞,等. 北京石景山区大气中多氯联苯的研究[J]. 安徽理工大学学报(自然科学版), 2009, 29(2):9-12.
- [38] 李燕. 大连市大气中多氯联苯的时空分布与组分特征研究[D]. 大连:大连海事大学, 2009.
- [39] Schramm K W. Hair: A matrix for non-invasive biomonitoring of organic chemicals in mammals [J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*,1997,59(3):396-402.
- [40] Butter M E. Are women more vulnerable to environmental pollution? [J]. *Journal of Human Ecology*, 2006,20(3):221-226.