

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2014.07.005

多溴联苯醚在环境中的污染现状研究进展*

王维契 周俊丽** 裴淑玮 高 富 刘征涛

(中国环境科学研究院,环境基准与风险评估国家重点实验室,国家环境保护化学品生态效应与风险评估重点实验室,北京,100012)

摘 要 多溴联苯醚(PBDEs)是一类持久性有机污染物,广泛存在于多种环境介质和人体中.由于 PBDEs 具有生物累积性、环境持久性、生物毒性和远距离传输特性,其引起的环境问题已成为当前研究的热点之一.本文针对近年来环境和人体中 PBDEs 的研究进展进行综述,总结了多种环境介质和人体中 PBDEs 的污染水平、污染来源和分布特点,讨论了目前存在的问题,为我国深入开展 PBDEs 研究工作提供参考.

关键词 多溴联苯醚,环境介质,人体,污染现状.

Research progress on status of environmental pollutions of polybrominated diphenyl ethers

WANG Weijie ZHOU Junli** PEI Shuwei GAO Fu LIU Zhengtao

(State Environmental Protection Key Laboratory of Ecological Effects and Risk Assessment of Chemicals,
Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing, 100012, China)

Abstract: Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) are considered as persistent organic pollutants and widely present in various environmental media and human. Due to their bioaccumulation, persistency, and long distance transport properties, the impact of PBDEs on the environment has become a hotspot of the current research. This paper reviews the recent research results on PBDEs and summarizes the pollution levels, sources and distribution characteristics of PBDEs in the environment and human beings. The current existing problems are discussed as well. It is hoped that this review will provide valuable reference for the further researches on PBDEs in China.

Keywords: polybrominated diphenyl ethers, environmental media, human, pollution situation.

多溴联苯醚(Polybrominated diphenyl ethers, PBDEs)是溴系阻燃剂中一类阻燃性能优异的化合物,被广泛应用于纺织品、电路板、油漆等各种工业产品和日用产品中^[1]. PBDEs 作为工业产品,主要分为五溴联苯醚(以四、五溴代联苯醚为主)、八溴联苯醚(以六、七、八溴代联苯醚为主)和十溴联苯醚 3 种.由于 PBDEs 为添加型阻燃剂,主要以混合模式掺杂在产品中,并不与产品形成化学键,因此很容易通过挥发、渗出等方式从产品表面脱落而进入环境,并随着大气和水体的迁移造成广泛污染^[1].研究表明, PBDEs 具有生物积累性、环境持久性和生物毒性,能够随大气进行长距离迁移.目前, PBDEs 已在各种环境介质和生物体中检出.2009 年 5 月,《斯德哥尔摩公约》第 4 次缔约方大会已将五溴联苯醚和八溴联苯醚列为新型持久性有机污染物^[2].近几年, PBDEs 在环境中的典型衍生物——羟基多溴联苯醚(OH-PBDEs)和甲氧基多溴联苯醚(MeO-PBDEs)已在多种生物和环境介质中被检出^[3].

大量毒理研究表明, PBDEs 对哺乳动物、鱼类甚至人体具有多种潜在毒性,如肝脏毒性、生殖毒性、神经毒性等^[4]. PBDEs 的毒性作用主要表现为: PBDEs 可诱导大鼠和小鼠肝脏微粒体酶活性,导致肝脏

2013 年 10 月 25 日收稿.

* 水体污染控制与治理科技重大专项项目(2012ZX07501-003)资助.

** 通讯联系人, Tel: 010-84915295; E-mail: zhoujl@craes.org.cn

肿大^[5-6];鱼类胚胎暴露于 PBDEs 中会导致幼鱼畸形率和死亡率上升,孕妇食用受 PBDEs 污染鱼类则会影响胎儿或新生幼儿的正常发育^[7];PBDEs 可以破坏甲状腺素的平衡状态,进而影响人类和动物脑部与中枢神经系统的正常发育^[8-9]。作为一种内分泌干扰物,PBDEs 还具有类雌激素活性,可导致甲状腺增生和代谢改变^[10]。有关 PBDEs 毒性效应的研究表明,不同 PBDEs 同系物具有类似的毒理学作用,但毒性差别较大,工业产品中五溴联苯醚毒性最大,八溴联苯醚次之,十溴联苯醚虽较其他两类 PBDEs 毒性低,但其容易通过脱溴作用产生低溴代联苯醚,对环境造成潜在危害^[11-12]。

鉴于 PBDEs 的广泛分布和对环境、生物和人体的潜在危害,许多国家和地区对 PBDEs 的生产和使用进行了限制:欧盟分别于 2000 年和 2008 年对五溴联苯醚以及八溴联苯醚和十溴联苯醚实施了禁用。美国于 2004 年对五溴联苯醚以及八溴联苯醚实施了禁用,并计划在 2013 年底对十溴联苯醚的生产和销售进行控制^[13]。我国于 2007 年停止生产五溴联苯醚,但对于十溴联苯醚的生产和使用暂无相关规定进行禁止或限制^[14]。由于历史上 PBDEs 的大量生产和使用,PBDEs 及其衍生物(OH-PBDEs 和 MeO-PBDEs)已普遍存在于各种环境介质中,对人类健康仍存在严重威胁^[15-17]。

近年来,关于 PBDEs 的研究越来越受到重视,我国也开展了一些区域性研究^[18-20]。根据目前国内外的研究情况,本文介绍了 PBDEs 在大气、水体、沉积物、土壤、生物和人体内中的污染程度、分布特征等情况,并对今后的研究方向提出了几点建议。

1 PBDEs 及其衍生物的物理化学性质

PBDEs 的化学通式为 $C_{12}H_{(0-9)}Br_{(1-10)}O$,根据溴原子的数量不同分为 10 组共 209 种同系物^[21]。PBDEs 在室温下有较低的蒸汽压、较高的辛醇-水分配系数和辛醇-空气分配系数,在环境中能发生一些物理化学变化以及生物迁移转化。由于 PBDEs 水溶性较低,因此其主要分布于土壤和沉积物中,且由于其高脂溶性而易于进入生物体内。PBDEs 的主要传播途径是通过附着在空气颗粒物上,经大气干湿沉降作用向土壤和水体转移,其中低溴代联苯醚则可以通过呼吸直接进入人体。OH-PBDEs 和 MeO-PBDEs 的化学结构与 PBDEs 相似,但其生物毒性更大,是具有较强内分泌干扰活性的化合物^[22]。

2 环境中 PBDEs 的含量及分布特征

应用于工业生产的含 PBDEs 产品主要有五溴联苯醚(主要含 BDE-47,-99)、八溴联苯醚和十溴联苯醚(主要含 BDE-209),其中十溴联苯醚用量最大^[23]。低溴代联苯醚(BDE-47,-99,-100)易于迁移、溶解和生物累积,故在水、沉积物和生物体中检出较多。高溴代联苯醚具有较低的挥发性、水溶性和强烈的吸附性,故主要存在于沉积物中。PBDEs 在不同环境介质中的浓度分布各有不同,但整体都呈现出相同的趋势,浓度随着距离城市和工业区距离的增加而降低,说明 PBDEs 的污染源与人类活动密切相关^[24]。

2.1 大气中的 PBDEs

大气是 PBDEs 传播和扩散的重要介质,也是污染物人体暴露的主要途径。城市地区的工业生产、居民消费等人类活动会将 PBDEs 排放至大气中,城市大气中的污染物质会随着大气运动进入到周边地区环境中并沉降和蓄积,从而带来更为深远的影响和危害^[25]。我国对于大气中 PBDEs 的污染状况研究显示,其含量一般在 $pg \cdot m^{-3}$ 水平上^[26]。

污染物在大气中的分布分为气相和颗粒相,PBDEs 在两相中的分布因同系物单体性质不同而存在差异,且不同地区的自然及人为环境因素对其分布也有一定的影响。另外,室内外空气中 PBDEs 的浓度水平也存在差异,一般情况下,室内空气中的 PBDEs 浓度普遍比室外高。总体而言,影响大气中 PBDEs 浓度的主要因素有工业污染、经济水平和人口密度等 3 个方面。

目前,对于室外空气的研究范围已从工业区及其周边地区,扩展到非工业区城镇,甚至偏远地区的乡村。PBDEs 在室外空气中的分布主要遵守以下规律,即工业发达地区及其周边地区的含量水平普遍高于非工业地区,人口密集地区的含量水平普遍高于人口稀少的偏远地区。表 1 中列出了不同地区大气中 PBDEs 的污染情况,通过对比发现,工业污染是大气中 PBDEs 的主要来源。台州作为我国主要的废电器及电子设备拆除地,其大气中 PBDEs 平均浓度显著高于非工业地区。嘉定区是上海市工业相对集中的地区,其大气颗粒相中 PBDEs 的平均浓度是闸北区的 2 倍,更是远离工业影响的黄浦区的 7 倍。沿海地

区大气中污染物浓度普遍较内陆非工业区低,但我国南海北部由于受到沿岸工业区的影响,其大气气相中 PBDEs 的平均浓度高于北京城区,更是莱州湾地区的 26 倍.除工业污染外,人类活动也是影响非工业区大气中 PBDEs 含量的另一重要因素.通过对比西安城区、石河子地区和我国西南地区大气中 PBDEs 含量可以发现,3 个地区随着人口密度的减少,大气中 PBDEs 的平均浓度也呈递减趋势.科威特城区和郊区大气中 PBDEs 含量同样是城区高于郊区.

PBDEs 在大气中的分布除了具有区域特点外,同系物单体在气相和颗粒相中的分布也存在一定规律(见表 1),即低溴代联苯醚主要分布于气相,高溴代联苯醚主要分布于颗粒相.这是因为 PBDEs 的蒸气压随溴含量增加而降低,所以三溴和四溴联苯醚主要存在于气相中,五溴至七溴联苯醚在颗粒相中的含量高于气相,而十溴联苯醚(BDE-209)则主要在颗粒相中检出.随着溴原子个数的增加,PBDE 单体在颗粒相中含量的比重呈现增大趋势.

表 1 PBDEs 在不同地区大气中的含量
Table 1 PBDE concentrations in air from several areas

地区	气相浓度和/或颗粒相浓度 /($\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$)	平均浓度 /($\text{pg}\cdot\text{m}^{-3}$)	PBDEs 同系物	含量较高同系物单体	文献
上海城区		嘉定区:744(颗粒相) 闸北区:367(颗粒相) 黄浦区:108(颗粒相)	BDE-17,-28,-47,-66,-71,-85,-99,-100,-138,-153,-154,-183,-190,-196,-197,-203,-206,-207,-208,-209	BDE-209	[13]
石河子		118(总)	BDE-17,-28,-47,-66,-85,-99,-100,-138,-153,-154,-183,-209	BDE-209	[25]
台州	884—2791(总)	1968(总)	BDE-17,-28,-47,-85,-99,-100,-138,-153,-154,-183,-196,-197,-203,-206,-207,-208,-209	BDE-47,-99,-183,-209	[27]
南海北部	0.07—35.9(气相)	10.1(气相)	BDE-28,-47,-99,-100,-153,-154,-183	BDE-47,-99,-100	[28]
北京城区	0.97—41.1(气相)	7.85(气相)	BDE-17,-28,-47,-66,-71,-85,-99,-100,-138,-153,-154,-183,-190	BDE-28,-47,-153,-183	[29]
莱州湾	0.017—1.17(气相) 0.5—161.1(颗粒相)	0.38(气相) 39(颗粒相)	BDE-28,-47,-99,-100,-153,-154,-183,-206,-207,-208,-209	BDE-28(气相) BDE-206,-207,-208,-209(颗粒相)	[30]
西安城区	37.43—620.3(总)	216.28(总)	BDE-17,-28,-47,-66,-85,-99,-100,-138,-153,-154,-183,-209	BDE-209,-47,-99	[31]
西南地区	1.6—57.5(总)	15.9(总)	BDE-28,-47,-99,-209	BDE-209,-47,-99	[32]
科威特城郊	城区:0.3—445(总) 郊区:2.9—208(总)	城区:57(总) 郊区:32(总)	BDE-17,-28,-47,-66,-71,-99,-100,-138,-153,-154,-183,-190	BDE-47,-99	[33]

PBDEs 在室外空气中的分布主要受工业污染和人类活动的影响,其在室内空气中的分布同样与这两个因有关,且在室内空气中的含量普遍高于室外.香港地区电子生产厂、办公场所和居住场所的室内空气悬浮颗粒物中 PBDEs 的浓度分别为 2120—40200 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 、397—40236 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 685—18385 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$,可见在电子生产厂和办公场所中大量含阻燃剂产品的生产和使用导致 PBDEs 在这两类场所室内空气中的含量明显高于居住场所^[34].在居住场所里,客厅是人们日常活动的主要场所,且客厅中大多放置沙发、电脑和电视等生活用品,其空气中 PBDEs 的平均浓度普遍高于陈设简单的卧室;另外,居室的装修程度越高,其室内空气中 PBDEs 含量也相应越高^[35].

PBDEs 在大气中的分布还与其长距离迁移能力密切相关.PBDEs 可随大气流动进行长距离迁移,使其在偏远地区也能被检测到.而大气的干湿沉降和温度变化则是影响 PBDEs 长距离迁移的重要因

素^[36].低溴代联苯醚在温度较高地区容易挥发到空气中,并随着空气的流动向远方迁移.当遇到冷空气或者迁移到寒冷地区时,低溴代联苯醚就会凝结并通过干湿沉降进入各种水体,而且通过不断的挥发、凝结、再挥发、再凝结的循环作用,使其污染遍及世界各地.高溴代联苯醚则是通过吸附在空气中的颗粒物上,并随空气流动实现长距离迁移^[24, 37].

2.2 水中的 PBDEs

水体是 PBDEs 迁移和扩散的又一重要介质. PBDEs 通过地表径流等方式进入水体后,一部分会再次挥发到空气中造成污染,另一部分则随水体的流动迁移,最终进入沉积物或土壤中长期存在,或被水生动植物吸收和富集,进而通过食物链进入人体^[38]. 根据 PBDEs 同系物单体的水溶性和吸附性差异,其在水体中分布的一般规律为,水相中以低溴代联苯醚为主,悬浮颗粒相中以高溴代联苯醚为主^[39]. 然而,对于特殊地区的水体, PBDEs 的分布并不完全遵循上述规律. 例如,东江流域水体中 PBDEs 的含量明显高于其他非工业区,这是由于该地区 PBDEs 的主要来源为周围大量电子电器生产厂排放的含高溴代联苯醚废水,该地区水体悬浮颗粒相中,高溴代联苯醚总浓度是低溴代联苯醚总浓度的 5 倍;在水相中,高溴代联苯醚总浓度仍高于低溴代联苯醚总浓度^[40]. 另外,水体中 PBDEs 同系物的分布差异还与当地生产和使用含 PBDEs 产品的类型有关. 我国水体中以高溴代联苯醚(如 BDE-209)为主要污染物组分,如在长江三角洲^[41]、东江^[40]和河套平原黄河农灌地区^[42]的 PBDEs 组成中, BDE-209 均为主要同系物单体,其中河套平原黄河农灌地区地下水中 BDE-209 含量高达 $5300 \text{ ng} \cdot \text{L}^{-1}$. 其他国家水体中 PBDEs 的主要组分则为低溴代联苯醚(如 BDE-47 和 BDE-99),如东格陵兰海地区^[43]和荷兰默兹河地区^[44]. 可见,我国工业生产中以使用高溴代联苯醚为主.

2.3 沉积物中的 PBDEs

沉积物是 PBDEs 的主要存储介质,特别是高亲脂性、高辛醇-水分配系数的高溴代联苯醚极易在沉积物中累积并长期存在. PBDEs 在沉积物中的迁移分布主要受控于其与不同颗粒物之间的相互作用,同时还与沉积物的微观结构和其中有机质的含量有关^[45]. 因此,有效地分析检测河流和海洋沉积物中 PBDEs 含量分布,以及有机质对 PBDEs 的影响,对于研究其在沉积物中的形态和迁移机理,以及治理水体污染都具有重要的意义.

沉积物中 PBDEs 的含量水平因研究区域不同而存在较大差异(见表 2),其中污水处理厂沉积物中 PBDEs 浓度普遍高出河流湖泊地区 2—3 个数量级,而河口地区沉积物中 PBDEs 含量在 3 类地区中最低. 污水处理厂沉积物中 PBDEs 含量与所处理的废水类别有关. 西班牙城区污水主要为生活污水,意大利研究区域污水主要为市政和工业废水,而韩国研究区域则为工业废水,因此 3 个地区沉积物中 PBDEs 含量随所处理污水中工业废水比例的增加而增加. 河流湖泊地区沉积物中 PBDEs 含量与其周边工业情况密切相关. 韩国 Shihwa 湖地区沉积物中 PBDEs 含量远高于韩国固城湾地区,甚至高于一些污水处理厂地区. 这是由于 Shihwa 湖地处韩国大型工业区内且周边多为人口密集型城市,受工业废水和生活污水排放影响严重. 我国东江地区和珠江三角洲地区受到电子电器生产厂和废弃电器拆解厂污染排放的直接影响,而巢湖地区受到沿湖城镇固体废弃物处理厂中电子垃圾渗滤液的间接影响,3 个地区沉积物中 PBDEs 含量均明显高于太湖和珠江地区. 河口地区因海水的冲刷作用,其沉积物中 PBDEs 含量普遍较低,且河口外较河口内更低.

由于 PBDEs 的累积特性及其同系物组成的相对稳定性,柱状沉积物不同层次中污染物的分布差异能够体现该地区各个历史时期的污染情况变化. 太湖的竺山湾、梅梁湾和南太湖地区柱状沉积物中 PBDEs 含量在垂直分布上呈现指数增长的趋势,在 30 cm 柱状样中,下层沉积物(16 cm 以下)反映出 PBDEs 的污染水平在 60、70 年代较低且增加缓慢,而上层沉积物(15 cm 以上)则展现出 80 年代以后 PBDEs 含量的快速增长趋势,其中 0—5 cm 层沉积物中 PBDEs 含量是 5—10 cm 层的 2—4 倍^[56]. 深圳湾^[57]、滇池和巢湖地区^[58]柱状沉积物中 PBDEs 浓度随时间变化的趋势与太湖地区相似. PBDEs 在柱状沉积物中的垂直分布规律与我国各历史时期 PBDEs 阻燃剂生产和使用的情况相吻合,即我国从 80 年代初期开始进行大规模经济改革,含 PBDEs 产品开始大量生产和使用,导致沉积物中 PBDEs 的累积随之增加,特别是近年来经济的快速发展,上层沉积物中 PBDEs 的输入量明显增加.

表 2 PBDEs 在不同地区沉积物中的含量
Table 2 PBDE concentrations in sediments from several areas

类型	地区	浓度围/ (ng·g ⁻¹ dw)	PBDEs 同系物	含量较高 同系物单体	文献
污水处理厂	西班牙城区	57.5—2606	BDE-28,-47,-66,-85,-99,-100,-153,-154,-156,-183,-184,-191,-196,-197,-206,-207,-209	BDE-209	[46]
	意大利	158.3—9427	BDE-17,-28,-47,-66,-71,-85,-99,-100,-138,-153,-154,-183,-209	BDE-209	[47]
	韩国	298—48000	BDE-17,-28,-47,-66,-71,-85,-99,-100,-119,-126,-138,-153,-154,-183,-184,-190,-191,-196,-197,-206,-207,-209	BDE-209	[48]
河流湖泊	东江地区	0.45—2500	BDE-28,-47,-66,-99,-100,-153,-154,-183,-208,-207,-206,-209	BDE-209	[40]
	韩国 Shihwa 湖	1.3—18700	BDE-17,-28,-47,-49,-66,-71,-85,-99,-100,-119,-126,-138,-153,-154,-156,-183,-184,-191,-196,-197,-206,-207,-209	BDE-209	[49]
	韩国固城湾	0.18—13.95	BDE-17,-28,-47,-66,-99,-100,-138,-153,-154,-183,-196,-197,-201,-202,-203,-206,-207,-208,-209	BDE-209	[50]
	珠江三角洲	3.67—2520	BDE-28,-47,-66,-100,-99,-154,-153,-138,-183,-197,-203,-196,-208,-207,-206,-209	BDE-209	[51]
	巢湖	236.7—1373.4	BDEs 17,-28,-47,-66,-71,-85,-99,-100,-138,-153,-154,-183,-190,-209	BDE-47	[52]
	太湖	0.39—34.44	BDE-7,-10,-12,-13,-15,-17,-18,-25,-28,-30,-35,-37,-47,-49,-66,-77,-99,-100,-118,-119,-138,-153,-154,-183,-190,-209	BDE-47,-99	[53]
	珠江	0.78—49.28	BDE-28,-47,-66,-99,-100,-138,-153,-154,-183,-209	BDE-209	[54]
河口地区	珠江口	0.33—21.83	BDE-28,-47,-66,-99,-100,-138,-153,-154,-183,-209	BDE-209	
	辽河河口	内:1.98(平均) 外:0.13(平均)	BDE-15,-28,-47,-49,-66,-99,-100,-153,-183,-209	BDE-209	[55]

注:dw,干重.

2.4 土壤中的 PBDEs

土壤中 PBDEs 含量分布与其在室外空气中的分布具有相同的规律,即距离污染源越远,PBDEs 含量水平越低.我国北方某典型废旧塑料资源化处置地和工业集中的莱州湾地区土壤中 PBDEs 含量分别为 1.25—3673.4 ng·g⁻¹ dw 和 73—2629 ng·g⁻¹ dw^[30, 59].位于废电器电子产品拆解厂周边的台州地区农田,其土壤中 PBDEs 浓度为 2.96—200 ng·g⁻¹ dw,明显低于污染源地区土壤中 PBDEs 含量^[27].对于远离工业污染的城市地区,其土壤中 PBDEs 的含量则更低,例如上海城区土壤中 PBDEs 的浓度仅为 0.024—3.797 ng·g⁻¹ dw^[60].除此之外,PBDEs 已通过远距离迁移传播至更为偏远的地区,如西藏高原的土壤中已有 14 种 PBDEs 检出,其总量为 0.004—0.035 ng·g⁻¹ dw^[61].由此可见,目前土壤中 PBDEs 的主要来源仍为工业污染,其中包括工业废水和废气的排放对土壤的影响.

根据污染来源不同,土壤中含量最高 PBDEs 同系物单体分布也有所差异.例如,废旧塑料处置地土壤中 PBDEs 的主要来源为含十溴联苯醚的塑料添加剂,而河套平原黄河农灌区土壤中 PBDEs 的主要来源则是含低溴代联苯醚的农用地膜^[42,59].西藏高原地区人口稀少且远离工业污染源,其污染主要来自 PBDEs 随大气流动的长距离传输,因此其土壤中 PBDEs 多为气相中的低溴代联苯醚,如 BDE-47^[61].

2.5 生物中的 PBDEs

PBDEs 在生物体内的含量水平除了与研究区域环境污染情况有关外,还与生物种类有关,其中水生生物中多以低溴代联苯醚为主且含量较低,而陆生动植物中则以高溴代联苯醚为主,并且由于生物累积和放大作用,陆生动物体内 PBDEs 含量显著高于水生生物.PBDEs 在生物体间通过食物链进行迁移,或者通过鸟和鱼等动物的移居进行迁移,虽然上述方式所带来的迁移量与物理运动(如大气运动和水体流动)相比很小,但是由于这个过程涉及食物链,且与人体污染物摄入密切相关,故该过程非常重要^[62].

水生生物能够直接从水和沉积物中或通过食物链吸收并富集可生物累积的污染物,因此它们是环境污染最好的指示物^[63].我国东江^[40]地区因水体污染严重,导致 PBDEs 在该地区鱼类中的含量显著高于英国格伦河^[64]、韩国^[65]和瑞士西岸^[66]地区,但 BDE-47 在上述 4 个地区的鱼体内均为含量最高的 PBDEs 同系物单体.我国青藏高原地区的鱼类体内也已有 PBDEs 检出,其含量最高同系物单体仍为 BDE-47,其可能的原因是 PBDEs 随大气的远距离迁移所致,但由于该地区周边没有持续的大量化工污染,故 PBDEs 在该地区的含量较低^[67].由于水生生物对于低溴代联苯醚的吸收强且代谢慢、生物富集性强,因此水生生物体内的 PBDEs 同系组成较为相似,即水生生物体内主要含有 BDE-47,-99,-100,-153 和-154,且多以 BDE-47 和-99 为主.各物种中 PBDEs 同系物单体含量分布则根据各物种对 BDE-99 的转换能力以及对 BDE-47 的选择性不同略有差异.例如,东江中鲮鱼和罗非鱼体内均以 BDE-47 为主要的 PBDEs 同系物单体,分别占 PBDEs 总量的 65.8%和 64.6%;而在鲑鱼体内 BDE-47 和 BDE-99 的含量则相当,分别占 PBDEs 总量的 36.2%和 32.2%^[40].

陆生植物与水生生物相比可以接触更多类型的环境介质,且更容易接触到高溴代联苯醚,因此陆生植物中 PBDEs 含量普遍较水生生物高,且组成多以 BDE-209 为主^[68].例如,PBDEs 在江苏苏州、南通和无锡香樟树皮中的浓度为东江鲑鱼体内浓度的 13 倍,其中 BDE-209 是最主要的同系物单体,占 PBDEs 总浓度的 65.7%—99.6%^[69].浙江电子垃圾回收地区树皮中 PBDEs 的平均浓度也较水生生物高,且同系物单体仍以 BDE-209 为主^[70].但喜马拉雅山地区例外,该地区茺籽草和棘豆中检出的含量最高的 PBDEs 同系物单体为 BDE-28,其含量占 PBDEs 总浓度的 45%以上,这是由于该地区远离工业污染且人类活动较少,植物中 PBDEs 主要来自大气气相中的低溴代联苯醚^[71].

陆生动物多以植物或其他动物为食,并且由于 PBDEs 具有生物累积和放大的性质,使得 PBDEs 在陆生动物体内的含量普遍高于陆生植物,且明显高于水生生物.PBDEs 在浙江温岭地区鸡的器官组织中浓度高达 15—3138 ng·g⁻¹ lw(脂重),高出东江鱼类体内相应浓度 1 个数量级^[72].以其他水鸟蛋为食的北极鸥与以鱼类为食的瑞士海鸥相比,北极鸥体内 PBDEs 含量是瑞士海鸥的 70 倍^[66].而高等动物体内 PBDEs 的含量更是高出鱼类 2—3 个数量级^[73].

2.6 人体中的 PBDEs

人体中的 PBDEs 主要是通过饮食摄入,以及呼吸作用和皮肤接触等暴露途径摄入.对于一般人群来说,食物摄入被认为是 PBDEs 进入人体内的主要的途径.而对于特殊职业人群来说,呼吸作用和皮肤接触则是 PBDEs 进入人体的主要途径.目前对于人体内 PBDEs 含量的研究主要通过血液、母乳和头发等介质来进行检测.

表 3 中列出了 PBDEs 在不同人体介质中的含量水平.由于饮食习惯、生活环境和从事行业等因素的差异,不同地区和职业人群体内 PBDEs 的含量和来源也有所不同,但工业污染是多种人体介质中 PBDEs 的主要来源.人体血液中 PBDEs 的含量与研究地区工业污染情况紧密相关.例如,PBDEs 在我国台州地区人体血液中的含量分别是美国德克萨斯州和韩国部分地区人体血液中的 2.6 倍和 9 倍.原因在于,我国台州地区目前仍建有大量电子垃圾回收厂,较为严重的工业污染是该地区人体血液中 PBDEs 含量较高的主要原因;美国德克萨斯州目前虽然已停止生产含 PBDEs 的产品,但是由于 PBDEs 的积累性特点使其在环境中依然存在,成为该地区人体血液中 PBDEs 的主要来源;韩国部分地区远离工业污染源,且韩国人饮食以蔬菜和谷物为主,因此该地区受工业污染和生物积累效应的影响较小,导致 PBDEs 在该地区人体血液中的含量较低^[75,79-80].关于人体母乳中 PBDEs 含量的研究结果显示,美国德克萨斯州人体母乳中 PBDEs 的主要来源是该地区较为严重的工业污染.对于非工业区的北海道、冲绳和香港地区,人体母乳中 PBDEs 含量较低,这是因为这些地区人体母乳中 PBDEs 的主要来源是室内的粉尘污染以及当地饮食习惯中海鲜类食物的摄入^[74,78].人体头发中 PBDEs 的主要来源为空气污染,其浓度与人体暴露环境相关.特殊职业人群因长期暴露于含较高浓度 PBDEs 的环境中,导致该类人群头发中 PBDEs 的浓度通常较普通人群高.如台州电子垃圾拆解厂工人头发中 PBDEs 的平均浓度是香港地区居民头发中的 70 倍.PBDEs 同系物单体在人体介质中的组成分布主要取决于研究地区的污染源类型.我国台州地区和北方地区 PBDEs 的主要来源均为处理或使用含阻燃剂产品时向环境中释放的高溴代联苯醚,因此这两个地区多种人体介质(血液、精液、头发和甲状腺)中含量较高 PBDEs 同系物单体均

为 BDE-209.在其他非工业区中,人体中 PBDEs 的主要来源为空气中的粉尘和食物,故该类地区人体介质中以 PBDEs 同系物单体以低溴代联苯醚为主,如 BDE-47、-99 和-153.

表 3 PBDEs 在人体中的分布
Table 3 PBDEs concentrations in human

地区	研究介质	平均浓度 /(pg·g ⁻¹)	含量较高同系物单体	文献
香港	头发	2.25	BDE-47	[34]
	母乳	3.4	BDE-47	[74]
台州	血液	72.3	BDE-209	[75]
	精液	31.2	BDE-209	[75]
北方地区	头发	157	BDE-209	[76]
	甲状腺	7.2	BDE-209	[77]
北海道(日本)	母乳	2.1	BDE-47,-153	[78]
冲绳(日本)	母乳	4.3	BDE-47,-153	[78]
德克萨斯州(美国)	血液	27.8	BDE-47	[79]
	母乳	39.7	BDE-47,-153	[79]
韩国部分地区	血液	8.06	BDE-47,-99,-153	[80]

3 结论与展望

近年来,关于 PBDEs 在不同地区和环境介质中的含量调查、污染来源等研究已取得了一定进展. PBDEs 已广泛存在于多种环境介质、生物体和人体中,并且通过挥发、溶解、吸附/解吸、生物富集和代谢等作用在各种介质中进行迁移和转化.

尽管目前已有大量文献报道,积累了大量研究数据,但研究介质主要集中于大气和沉积物,关于水体和土壤的研究相对有限.而关于人体暴露水平方面的研究,则主要集中于特定区域和特定人群,其结果缺乏普遍性和代表性.因此,鉴于室内污染可能是普通人群人体暴露 PBDEs 的主要途径,今后还需对室内 PBDEs 进入人体的途径进行深入研究,同时扩大研究范围,开展普查性调查.这对于确定环境中 PBDEs 的安全浓度,评价其生态风险和健康风险具有重要意义.另外,在研究 PBDEs 分布规律的基础上,对其迁移转化规律以及衍生物的转化机制方面的研究也应有所加强.

我国是溴系阻燃剂的生产和使用大国,同时也是承接发达国家电子垃圾的主要国家,可见在未来一定时期内,我国环境中 PBDEs 的污染水平可能仍保持增加的趋势.因此,我国应更加积极地开展 PBDEs 在环境中污染状况的监测工作,特别是针对电器电子产品发达的工业地区、电子垃圾回收地区等典型污染区域的监测,以此来建立符合我国国情的控制和治理政策.

参 考 文 献

[1] Wit C A D, Herzke D, Vorkamp K. Brominated flame retardants in the Arctic environment-trends and new candidates[J]. Science of the Total Environment, 2010, 408: 2885-2918

[2] Qiu X H, Zhu T, Hu J X. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and other flame retardants in the atmosphere and water from Taihu Lake, east China[J]. Chemosphere, 2010, 80: 1207-1212

[3] 张清, 刘希涛, 焦颖. 羟基取代和甲氧基取代多溴联苯醚的存在特征和源解析研究进展[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 773-778

[4] 杜苗苗, 张炯, 颜昌宙. 溴系阻燃剂的毒理学研究进展[J]. 生态毒理学报, 2012, 7(6): 575-584

[5] Hallgren S, Sinjari T, Hakansson H, et al. Effects of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) on thyroid hormone and vitamin A levels in rats and mice[J]. Archives of Toxicology, 2001, 75(4): 200-208

[6] Hooper K, McDonald T A. The PBDEs: An emerging environmental challenge and another reason for breast-milk monitoring programs[J]. Environmental Health Perspectives, 2000, 108(5): 387-392

[7] Bruce E D, Usenko C Y, Robinson E M, et al. PBDE developmental effects on embryonic zebrafish[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2011, 30(8): 1865-1872

[8] Whalen M M, Hurd T. Tetrabromobisphenol A decreases cell-surface proteins involved in human natural killer (NK) cell-dependent target cell lysis[J]. Journal of Immunotoxicology, 2011, 8(3): 219-227

[9] Park J S, She J W, Holden A, et al. High postnatal exposures to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls

- (PCBs) via breast milk in California: Does BDE-209 transfer to breast milk? [J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(10): 4579-4585
- [10] 万斌,郭良宏.多溴联苯醚的环境毒理学研究进展[J]. *环境化学*, 2011, 30(1): 143-152
- [11] Dingemans M M L, Van Den Berg M, Westerink R H S. Neurotoxicity of brominated flame retardants: (In) direct effects of parent and hydroxylated polybrominated diphenyl ethers on the (developing) nervous system [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2011, 119(7): 900-907
- [12] Stapleton H M, Brazil B, Holbrook R D, et al. *In vivo* and *in vitro* debromination of decabromodiphenyl ether (BDE 209) by juvenile rainbow trout and common carp [J]. *Environmental Science and Technology*, 2006, 40: 4653-4658
- [13] Yu Z Q, Liao R E, Mo L G, et al. Particle-bound dechlorane plus and polybrominated diphenyl ethers in ambient air around Shanghai, China [J]. *Environmental Pollution*, 2011, 159: 2982-2988
- [14] 金军,王英,刘志伟.莱州湾地区土壤及底泥中多溴联苯醚水平及其分布[J]. *环境科学学报*, 2008, 28: 1463-1468
- [15] Tomy G T, Pleskach K, Ismanil N, et al. Isomers of dechlorane plus in lake Winnipeg and lake Ontario food webs [J]. *Environmental Science and Technology*, 2007, 41: 2249-2254
- [16] Nakari T, Hujtala S. Comparison of toxicity of congener- 153 of PCB, PBB, and PBDE to daphnia magna [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2008, 71: 514-518
- [17] Fromme H, KÖRner W, Shahin N, et al. Human exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDE), as evidenced by data from a duplicate diet study, indoor air, house dust, and biomonitoring in Germany [J]. *Environment International*, 2009, 35: 1125-1135
- [18] 杨岩岩,刘连友,王焕芝.室内尘土的研究进展[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2013, 49(1): 51-56
- [19] Pamela M Dinn, Sophia C Johannessen, Peter S Ross, et al. PBDE and PCB accumulation in benthos near marine wastewater outfalls: The role of sediment organic carbon [J]. *Environmental Pollution*, 2012, 171: 241-248
- [20] 黄飞飞,李敬光,赵云峰,等.我国沿海地区贝类样品中十溴联苯醚污染水平分析[J]. *环境化学*, 2011, 30(2): 418-422
- [21] Yang M, Jia H L, Ma W L, et al. Levels, compositions, and gas- particle partitioning of polybrominated diphenyl ethers and dechlorane plus in air in a Chinese northeastern city [J]. *Atmospheric Environment*, 2012, 55: 73-79
- [22] Kojima H, Takeuchi S, Uramaru N, et al. Nuclear hormone receptor activity of polybrominated diphenyl ethers and their hydroxylated and methoxylated metabolites in transactivation assays using Chinese hamster ovary cells [J]. *Environmental Health Perspectives*, 2009, 117(8): 1210-1218
- [23] 金军,安秀吉.多溴代二苯醚化合物的研究进展[J]. *上海环境化学*, 2003, 22(12): 855-859
- [24] 张娴,高亚杰,颜昌宙.多溴联苯醚在环境中迁移转化的研究进展[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(2): 761-770
- [25] 杨萌,谢慧琴,贾宏亮,等.石河子市大气中多溴联苯醚的含量组成及气粒分配[J]. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2013, 44(2): 219-224
- [26] 刘宗峰,郎印海,曹正梅,等.环境中多溴联苯醚(PBDEs)分布特征研究进展[J]. *土壤通报*, 2007, 38(6): 1227-1233
- [27] Dong Y, Li L, Bie P J, et al. Polybrominated diphenyl ethers in farmland soils: Source characterization, deposition contribution and apportionment [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 466-467: 524-532
- [28] 李琦路,李军,刘向,等.南海北部大气气相多溴联苯醚的含量及来源[J]. *环境科学*, 2012, 33(8): 2533-2537
- [29] 胡永彪,李英明,耿大玮,等.北京冬季大气中多溴联苯醚的污染水平和分布特征[J]. *中国环境科学*, 2013, 9: 13
- [30] Jin J, Wang Y, Liu W Z, et al. Polybrominated diphenyl ethers in atmosphere and soil of a production area in China: Levels and partitioning [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2011, 23(3): 427-433
- [31] 蒋君丽,张承中,马万里,等.西安城区秋季大气中多溴联苯醚的污染特征及来源分析[J]. *环境科学*, 2011, 32(8): 2226-2230
- [32] Xu Y, Zhang G, Li J, et al. Atmospheric polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and Pb isotopes at a remote site in Southwestern China: Implications for monsoon-associated transport [J]. *Science of the Total Environment*, 2006, 409(21): 4564-4571
- [33] Gevaio B, Ghadban A N, Porcelli M, et al. Seasonal variations in the atmospheric concentrations of polybrominated diphenyl ethers in Kuwait [J]. *Science of the Total Environment*, 2013, 454-455: 534-541
- [34] Kang Y, Wang H S, Cheung K C, et al. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in indoor dust and human hair [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, 45(14): 2386-2393
- [35] 孙鑫,陈颖,王云华,等.杭州市家庭室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征[J]. *环境科学学报*, 2013, 33(2): 364-369
- [36] Vonderheide A P, Mueller K E, Meija, et al. Polybrominated diphenyl ethers: Causes for concern and knowledge gaps regarding environmental distribution, fate and toxicity [J]. *Science of the Total Environment*, 2008, 400(1/3): 425-436
- [37] Breivik K, Wania F, Muir D C G, et al. Empirical and modeling evidence of the long-range atmospheric transport of decabromodiphenyl ether [J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(15): 4612-4618
- [38] Streets S S, Henderson S A, Stoner A D, et al. Partitioning and bioaccumulation of PBDEs and PCBs in Lake Michigan [J]. *Environmental Science & Technology*, 2006, 40(23): 7263-7269
- [39] 刘汉霞,张庆华,江桂斌.多溴联苯醚及其环境问题[J]. *化学进展*, 2005, 17: 554-562
- [40] He M J, Luo X Jun, Chen M Y, et al. Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers and decabromodiphenyl ethane in fish from a river system in a highly industrialized area, South China [J]. *Science of the Total Environment*, 2012, 419: 109-115

- [41] Xiang N,Zhao X H,Meng X Z,et al.Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in a conventional wastewater treatment plant (WWTP) from Shanghai, the Yangtze River Delta;Implication for input source and mass loading[J].Science of the Total Environment,2013,461-462:391-396
- [42] 单慧媚,马腾,杜尧,等.多溴联苯醚在河套农灌区土壤和水体中的分布特征[J].环境科学与技术,2013,36(6):37-41
- [43] Möller A,Xie Z Y,Sturm R,et al.Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and alternative brominated flame retardants in air and seawater of the European Arctic[J].Environmental Pollution,2011,159(6):1577-1583
- [44] Hanke G,Polesello S,Mariani G,et al.Chemical-monitoring on-site exercises to harmonize analytical methods for priority substances in the European Union[J].TrAC Trends in Analytical Chemistry,2012,36:25-35
- [45] 张伟,刘丛强,梁小兵,等.沉积物中 PCBs 分析测定与迁移转化研究进展[J].矿物岩石地球化学通报,2007,26:300-306
- [46] Torre A D,Alonso E,Concejero M A,et al.Sources and behavior of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) in Spanish sewage sludge[J].Waste Management,2011,31(6):1277-1284
- [47] Cincinelli A,Martellini T,Misuri L,et al.PBDEs in Italian sewage sludge and environmental risk of using sewage sludge for land application [J].Environmental Pollution,2012,161:229-234
- [48] Lee S,Song G J,Kurunthachalam K,et al.Occurrence of PBDEs and other alternative brominated flame retardants in sludge from wastewater treatment plants in Korea[J].Science of the Total Environment,2014,470-471:1422-1429
- [49] Moon H B,Choi M,Yu J,et al.Contamination and potential sources of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in water and sediment from the artificial Lake Shihwa, Korea[J].Chemosphere,2012, 88:837-843
- [50] Lee H J,An S,Kim G B.Background level and composition of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in creek and subtidal sediments in a rural area of Korea[J].Science of the Total Environment,2014,470-471:1479-1484
- [51] Chen S J,Feng A H,He M J,et al.Current levels and composition profiles of PBDEs and alternative flame retardants in surface sediments from the Pearl River Delta, southern China:Comparison with historical data[J].Science of the Total Environment,2013,444:205-211
- [52] He W,Qin Ni,Kong X Z,et al.Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in the surface sediments and suspended particulate matter (SPM) from Lake Chaohu, a large shallow Chinese lake[J].Science of the Total Environment,2013,463-464:1163-1173
- [53] Zhou P,Lin K F,Zhou X Y,et al.Distribution of polybrominated diphenyl ethers in the surface sediments of the Taihu Lake, China[J].Chemosphere,2012,88:1375-1382
- [54] 陈社军,麦碧娴,曾永平,等.珠江三角洲及南海北部海域表层沉积物中多溴联苯醚的分布特征[J].环境科学学报,2005,25(9):1265-1271
- [55] Zhao X F,Zhang H J,Ni Y W,et al.Polybrominated diphenyl ethers in sediments of the Daliao River Estuary, China: Levels, distribution and their influencing factors[J].Chemosphere,2011,82(9):1262-1267
- [56] 马召辉,金军,元奎奎,等.太湖沉积物中多溴联苯醚和类二英多氯联苯的水平垂直分布[J].环境科学,2013,34(3):1136-1141
- [57] 丘耀文,张干,郭玲利,等.深圳湾海域多溴联苯醚(PBDEs)生物累积及其高分辨沉积记录[J].海洋与湖沼,2009,40(3):261-268
- [58] 张亮,郭建,廖海清,等.湖泊沉积柱中的高溴联苯醚及其在环境中的降解[J].环境科学研究,2011,24(9):988-994
- [59] 曾甯,姚建,唐阵武,等.典型废旧塑料处置地土壤中多溴联苯醚污染特征[J].环境科学研究,2013,26(4):432-438
- [60] Jiang Y F,Wang X T,Zhu K,et al.Occurrence, compositional profiles and possible sources of polybrominated diphenyl ethers in urban soils of Shanghai, China[J].Chemosphere,2010,80(2):131-136
- [61] Wang P,Zhang Q H,Wang Y W,et al.Altitude dependence of polychlorinated biphenyls (PCBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in surface soil from Tibetan Plateau, China[J].Chemosphere,2009,76(11):1498-1504
- [62] Blais J M,Macdonald R W,Mackay D,et al.Biologically mediated transport of contaminants to aquatic systems[J].Environmental Science & Technology,2007,41(4):1075-1084
- [63] Wang Y W,Jiang G B,Lam P K S,et al.Polybrominated diphenyl ether in the East Asian environment:A critical review[J].Environment International,2007,33:963-973
- [64] Jürgens M D,Johnson A C,Jones K C,et al.The presence of EU priority substances mercury, hexachlorobenzene, hexachlorobutadiene and PBDEs in wild fish from four English rivers[J].Science of the Total Environment,2013,461-462:441-452
- [65] Lee S,Kannan K,Moon H B.Assessment of exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) via seafood consumption and dust ingestion in Korea[J].Science of the Total Environment,2013,443:24-30
- [66] Carlsson P,Herzke D,Wedborg M,et al.Environmental pollutants in the Swedish marine ecosystem, with special emphasis on polybrominated diphenyl ethers (PBDE) [J].Chemosphere,2011,82:1286-1292
- [67] Yang R Q,Jing C Y,Zhang Q H.Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and mercury in fish from lakes of the Tibetan Plateau[J].Chemosphere,2011,83(6):862-867
- [68] Takumi T,Kurunthachalam S R,Hiroaki T.Impact of fermented brown rice with *Aspergillus oryzae* (FEBRA) intake and concentrations of polybrominated diphenylethers (PBDEs) in blood of humans from Japan[J].Chemosphere,2004,57(8):795-811
- [69] 史双昕,曾良子,周丽,等.江苏经济高速发展城市香樟树皮中的多溴联苯醚[J].环境科学,2011,32(9):2654-2660
- [70] Wen S,Yang F,Li J G,et al.Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxin and dibenzofurans (PCDD/Fs), polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), and polychlorinated biphenyls (PCBs) monitored by tree bark in an E-waste recycling area[J].Chemosphere,2009,74(7):981-987

[71] 高永飞,王璞,陈卫海,等.喜马拉雅山区莱籽草和棘豆样品中 PCBs、PBDEs 和 PCDD/Fs 的分析[J].环境化学,2012,31(1):26-30

[72] Qin X F,Qin Z F,Li Y, et al.Polybrominated diphenyl ethers in chicken tissues and eggs from an electronic waste recycling area in southeast China[J].Journal of Environmental Sciences,2011,23(1):133-138

[73] Shaw S D,Berger M L,Weijs L, et al.Tissue-specific accumulation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) including Deca-BDE and hexabromocyclododecanes (HBCDs) in harbor seals from the northwest Atlantic[J]. Environment International,2012,44:1-6

[74] Hedley A J,Hui L L,Kypke K, et al.Residues of persistent organic pollutants (POPs) in human milk in Hong Kong[J].Chemosphere,2010,79:259-265

[75] Liu P Y,Zhao Y X,Zhu Y Y, et al.Determination of polybrominated diphenyl ethers in human semen[J].Environment International,2012,42:132-137

[76] Ma J,Cheng J P,Wang W H, et al.Elevated concentrations of polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and polychlorinated dibenzofurans and polybrominated diphenyl ethers in hair from workers at an electronic waste recycling facility in Eastern China[J].Journal of Hazardous Materials,2011,186(2/3):1966-1971

[77] Huang F F,Wen S,Li J G, et al.The human body burden of polybrominated diphenyl ethers and their relationships with thyroid hormones in the general population in Northern China[J].Science of the Total Environment,2014,466-467:609-615

[78] Fujii Y,Ito Y,Harada K H, et al.Regional variation and possible sources of brominated contaminants in breast milk from Japan[J].Environmental Pollution,2012,162:269-274

[79] Schechter A,Colacino J,Sjodin A, et al.Partitioning of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in serum and milk from the same mothers [J].Chemosphere,2010,78:1279-1284

[80] Kim J,Kang J H,Park H, et al.Assessment of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in serum from the Korean general population[J].Environmental Pollution,2012,164:46-52



第 33 届中国质谱学术年会 AB Sciex 发布两款新一代质谱产品

由中国质谱学会主办,北京大学化学与分子工程学院承办的“第 5 届亚洲与大洋洲质谱会议 (AOMSC)暨第 33 届中国质谱学会学术年会”于 2014 年 7 月 17 日至 18 日北京大学英杰交流中心召开。AB SCIEX 作为本次大会的金牌赞助企业参会,并在会议同期隆重发布 Triple Quad™ 3500 和 TripleTOF® 6600两款质谱系统。

Triple Quad™3500 采用了 AB SCIEX 公司专有的 Turbo V™离子源技术和气帘气™接口技术,使得实验室在较长的运行时间内可以获得一致性的数据,并减少停机时间.而且该款仪器通过 Scheduled MRM™ Pro 算法,提高了数据质量和通量,采用 MultiQuant™软件简化了数据处理流程. Triple Quad™3500 秉承 X500 系统所具有的最优性能,并采用了更先进的电子器件设计,其功能得到大大增强:采用弯曲 LINAC® 碰撞池,一次进样可以采集更多对 MRMs,节省空间;高压 Q0 和 QJET® 离子导入设计,通过更有效的离子聚焦提高灵敏度;快速的 eQTM 电子系统,兼容快速 LC,并可实现更广泛的化合物覆盖;AcQuRate® 脉冲技术检测器,可检测化合物质量范围为 5—2000 Da.

另外,AB SCIEX 不仅仅发布了 TripleTOF® 6600 新产品,同时也是新一代蛋白质组学平台.该组学平台由 TripleTOF® 6600 系统、SWATH™ 2.0 采集技术、ProteinPilot™ 5.0 软件及 Eksigent nanoLC 400 系统组成,从硬件到软件工作流程都进行了改进和提升,使得研究人员每次实验都可以监测到所有的多肽和蛋白质,让所有信息“一览无余”.TripleTOF® 6600 拓展了 AB SCIEX TripleTOF 技术的特性和功能,相比以前系统很多性能得到提升:增强的检测器技术使得线性动态范围达到了 5 个数量级,可以检测到更多低丰度蛋白质和肽段;Q1 母离子选择的最大质荷比从 1250 提升至 2250,可覆盖更多高质荷比的化合物;更快的采集速度可以实现更高品质的定量,每个 SWATH 循环最快可实现分成 200 个采集窗口的速度,使得更多肽段和蛋白质得以定量.