

环境内分泌干扰物的作用机理及其生物检测方法

李 剑, 马 梅, 王子健

(中国科学院生态环境研究中心环境水质学实验室, 北京 100085)

摘 要:环境污染物的内分泌干扰问题近年来引起了极大的关注,大量研究工作集中于对环境内分泌干扰物的作用机理及其生物检测方法的研究。在总结国内外相关研究的基础上,对环境内分泌干扰物的类型及其主要作用机理进行了概括总结;对环境内分泌干扰物的体外生物检测方法的最新研究进展给予了评述;并对环境内分泌干扰物检测技术在环境中的应用进行了探讨;指出有关环境内分泌干扰物作用机理研究的成果能直接导致新的生物检测方法的发展,丰富了环境内分泌干扰物的检测技术类型。

关键词:环境内分泌干扰物;作用机理;生物检测方法

中图分类号: X835

文献标识码: A

文章编号: 1674-6732(2010)-03-0018-06

Action Mechanisms and Bioassays of Environmental Endocrine Disrupting Chemicals

LI Jian, MA Mei, WANG Zi-jian

(State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

ABSTRACT: More and more attention has been paid to the challenging issue on endocrine disruption induced by environmental pollutants in recent years. There has been a great increase in the amount of researches, which focused on the action mechanisms and bioassays of environmental endocrine disrupting chemicals (EDCs). Based on these research results, the different kinds of EDCs and their mainly action mechanisms were reviewed. In this review, the newly progress in bioassays (mainly in vitro bioassays) of EDCs were discussed. And their usages for testing environmental EDCs were analyzed. It is pointed out that the study on action mechanisms of EDCs may lead to the development of new bioassays which can be used for testing more kinds of EDCs.

KEY WORDS: environmental endocrine disrupting chemical; action mechanism; bioassay

一些释放到环境中的污染物能够干扰人类和动物激素调节的生理过程,改变内分泌与生殖系统的正常功能,对人类生存和繁衍构成巨大威胁,这类化合物称为环境内分泌干扰物。环境内分泌干扰物的作用方式之一是模拟或拮抗激素与受体的结合,产生内分泌干扰效应,因此围绕激素受体的检测方法成为检测内分泌干扰效应的重要手段和诊断指标。

1 环境内分泌干扰物分类及其主要作用机理

关于环境内分泌干扰物有不同的定义:①指干扰体内内稳态调节、繁殖、发育行为以及相关激素的合成、分泌、转运、结合、作用或消除的外源因子(USEPA);②可以改变内分泌系统结构或功能,在生物的个体、后代、种群或亚种群水平造成有害效应的外源性化学物质或混合物(USEPA-EDSTAC);③对生物体或其后代具有不良健康效应,会导致内分泌功能变化的外源性物质(EEC)。这几个定义所涉及的化合物种类和作用机制很宽,而我们目前的认知

水平却十分有限,当前关于环境内分泌干扰物的研究重点是环境激素,或称环境荷尔蒙(OECD)。

根据环境内分泌干扰物对内分泌腺及其相关激素的影响,可分为雌激素干扰物、雄激素干扰物、甲状腺激素干扰物、孕激素干扰物、糖皮质激素干扰物、胰岛素干扰物、肾上腺皮质激素干扰物、生长激素干扰物等^[1]。雌激素干扰物是目前研究较多的一类化合物,它是指环境化学物具有与雌激素类似的结构,能够与雌激素受体(ER)相互作用,进入人体后能够模拟或干扰天然雌激素的生理和生化作用^[2]。雄激素干扰物具有类似体内雄激素或抗体内雄激素的作用,如烯菌酮、DDE等,可与雄激素竞争性结合雄激素受体(AR),抑制雄激素活

收稿日期: 2009-10-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(50778180);中国科学院科技创新工程重大项目群项目(KZCXZ-YW-Q02-05)。

作者简介: 李剑(1980—),女,讲师,博士,主要从事水生态毒理学研究工作。

性^[3]。甲状腺是人体非常重要的内分泌器官,它分泌的多种激素对机体的生长发育、器官分化、基础代谢有重要的调控作用^[4]。研究发现,一些环境污染物包括重金属、农药、持久性有机污染物(POPs)等,会影响甲状腺功能,如导致甲状腺肿大,抑制甲状腺对碘的吸收,抑制甲状腺激素合成,降低血液中甲状腺激素浓度等^[5]。这类环境污染物通称为甲状腺激素干扰物。此外,还有能够干扰内分泌系统其他功能的环境化合物,如具有干扰孕激素活性的五氯酚;干扰维甲酸活性的氯酚类化合物;干扰儿茶酚胺活性的铅、可卡因、去甲可卡因、二硫化碳等;干扰促卵泡激素(FSH)、促黄体生成激素(LH)的二硫化碳、铅等^[6]。

环境激素按其来源可分为天然和人工合成化合物两大类。天然激素是指人体或生物体正常分泌的激素类物质,该类物质主要通过污水和污泥排放进入环境。以目前研究较多的环境雌激素为例,动物和人体内正常分泌的雌激素一般包括雌二醇(Estrogen)、雌酮(Estrone)和雌三醇(Estriol),其中以雌二醇活性最强,会导致水生生物雌性化;还包括一些植物性雌激素和真菌性雌激素。植物性雌激素(Phytoestrogens)是一组在植物中天然存在,本身或其代谢产物能够与ER结合,诱导产生弱雌激素作用的非甾体结构的植物化合物^[7];真菌性雌激素(Mycoestrogens)是由环境中的霉菌毒素产生,进入人体内也能够与ER结合,诱导ER依赖的基因转录,从而产生类雌激素效应^[1]。人工合成的类雌激素化合物也可分为人工合成的雌激素及环境化学污染物两大类。人工合成雌激素通常用作药物,如口服避孕药和一些用于促进家畜生长的激素药物,环境中常有检出的包括乙烯雌酚(DES)、乙烷雌酚、炔雌醇等。具有雌激素干扰活性的环境化学污染物与上述其他几类物质相比,具有结构复杂、种类繁多的特点。目前已证实的具有雌激素干扰活性的化合物有六七十种,其中农药及其代谢物约占60%,以杀虫剂居多,部分杀菌剂、除草剂也具有雌激素干扰活性^[8,9]。除了农药外,常见的环境雌激素干扰化合物还有:环境中的卤代芳烃或卤代环烃,如二噁英,多氯联苯;去污剂或洗涤剂中的表面活性剂,如烷基酚聚氧乙烯醚(APEs)等;酚类化合物,如壬基酚、辛基酚、双酚A、双酚F等。此外,一些重金属如铅、汞、有机锡等均具有不同程度的雌激素干扰作用^[1]。

环境激素通过模拟天然激素对生物体产生作用,例如PCDD/Fs、PCBs、PAHs、OCPs以及邻苯二甲酸酯等具有与体内激素类似的结构^[10-12],可以与这些受体之间产生相互作用,引起一系列生物学效应,如免疫抑制、内分泌干扰、致癌和发育毒性等。目前环境研究关注的激素受体主要包括雌激素受体(ER)、雄激素受体(AR)、甲状腺素受体(TR)、维甲酸受体(RAR, RXR)、过氧化物酶激活受体(PPAR)和芳烃受体(AhR)^[13]等。环境类激素与这些受体结合形成复合物,干扰正常的内分泌系统功能。有研究表明,DDT及其代谢产物(o, p'-DDT或 p, p'-DDE)能够同AR结合,双酚A、3-羟基-苯基苯酚和4-羟基-苯基苯酚等表现为雄激素的竞争性抑制剂^[14,15];硫丹、灭蚁灵等能够通过单氧化酶作用,调节雄激素的代谢^[16];许多POPs以及其他环境污染物在较低浓度下就能够影响鸟类、鱼类甚至人类血清中正常的甲状腺激素水平,诱导甲状腺组织病变^[17];TCBPA、一些羟基多氯联苯、多溴联苯类化合物能够直接与TR结合^[18];五氯酚和壬基酚能够抑制孕酮与孕激素受体的结合,表现为孕激素抑制剂^[19];TBPA对ERR有很强的结合能力,因此认为BPA的内分泌干扰作用可能与ERR有关^[20]。表1是不同污染物与不同受体相互作用的研究结果。

表1 不同类型污染物的主要内分泌干扰效应

内分泌干扰类别	主要 污 染 物
干扰雌激素	多氯联苯化合物(PCBs)、烷基酚类、邻苯二甲酸酯类(PAEs)、二苯烷烃(diphenylkanes)、双酚化合物(biphenols, BPs)、有机氯杀虫剂,以及除草剂、植物雌激素(PEs)、真菌雌激素、某些金属类(如铅、镍)等
干扰睾酮	氟他胺、利谷隆、苯乙烯、二硫化碳、邻苯二甲酸酯、林丹和铅等
干扰甲状腺素	二硫代氨基甲酸酯类(DCs)和多卤芳烃类
干扰甲状腺功能、甲状腺素代谢酶及血浆甲状腺素的转运	多卤芳烃、多溴联苯均能大大降低血清T3、T4水平,并降低大鼠促甲状腺素对T3、T4的调节作用
干扰其他内分泌功能	铅、可卡因、去甲可卡因、二硫化碳均可干扰儿茶酚胺,升高动物或人血清肾上腺皮质激素水平;铅还能影响生长激素抑制激素,植物雌激素能刺激催乳素合成与分泌

2 内分泌干扰物的体外生物检测方法

环境内分泌干扰物分布广泛,种类繁多,随着工业化的进程,环境内分泌干扰物的污染还有进一步扩大的趋势,不仅成为人类健康的潜在威胁因素,也威胁到生物种族的存亡。因此,必须建立快速简便、科学灵敏的环境内分泌干扰物检测方法,对危害水平作出科学的综合评价。

目前对环境内分泌干扰物的检测方法包括仪器分析测试和生物检测两大类,不同种方法的适用范围、方法敏感度存在差异。化学方法适用于已知内分泌干扰物,生物学方法适用于针对多个内分泌干扰物的综合毒性。

生物检测技术研究在不同污染物或环境样品作用下生物体内各种指标的变化,如基因表达的上调或下抑、蛋白合成的改变、细胞的增殖甚至组织的病变等,通过检测这些生物学指标的改变能够评价某化合物或环境样品的内分泌干扰活性,反映污染可能对生物体带来的危害。已经有文章对不同的生物检测方法进行了概述^[21]。与仪器分析方法相比,生物检测方法具有操作简单、快速、经济、高效的优点,并且能够直接测定环境样品的内分泌干扰活性,表征潜在的生态和健康毒性,因此成为近年来环境内分泌干扰领域的研究热点。当然,该类方法也存在不足。首先,任何一种单一的生物检测方法都只能提供有限的证据。由于不同国家各实验室所用动物或细胞来源不同,同一物质的雌激素活性及其强度可能会出现不同甚至是相反的结果。其次,生物检测只能回答综合效应,不能明确导致效应的污染物种类,因此需要和化学分析或毒性甄别方法联合应用,来解析因果关系。

已经建立了大量的生物毒性测试方法用以筛选经ER介导的类/抗雌激素化合物,并对环境化合物以及复杂环境样品的类/抗雌激素效应进行评估^[22]。例如传统的细胞增殖方法,它是基于特定的富含ER的细胞系(如MCF-7、T47D和ZR-75)具有雌激素依赖性增殖的特点,对环境样品进行检测^[23]。目前还建立了利用报告基因检测ER介导反应的方法^[24],应用最广泛的是转染了ERE及荧光素酶报告基因的MCF-7细胞方法^[10]、采用含荧光素酶报告基因的人宫颈癌细胞HeLa及卵巢癌细胞BG-1^[24]的方法^[25]。还有文献报道转染绿色染料蛋白(GFP)报告基因的MCF-7细胞方法^[26]。

重组雌激素受体基因酵母方法将 β -半乳糖苷酶或荧光素酶基因和ER同时转入酵母细胞,用于雌激素活性物质的筛选。该方法具有很多优点:易于培养,操作简单、快速、高效,并且排除了其他核受体干扰,因此作为环境类/抗雌激素类化合物的快速筛选方法被广泛使用^[27]。检测抗雌激素效应通常采用与类雌激素效应相同的方法,不同的是抗雌激素效应需要添加E2同时暴露,通过E2介导的效应的减弱来测试其抗雌激素效应。

鉴于越来越多的雄激素干扰物被发现,雄激素干扰现象引起了科学家们广泛的关注,建立起越来越多的生物毒性测试方法。Hershberger测试是评价雄激素效应最广泛应用的方法。此法在被阉割的大鼠中进行,化合物或环境样品暴露处理4~10d,检测腹部及背外侧前列腺、精囊腺、阴茎、肛提肌等的质量^[16]。活体实验通常还采用检测血清中的雄激素水平的方法,筛选雄激素干扰化合物。体外测试方法中较为常用的是前列腺癌细胞(如PC3)增殖实验,原理是PC3细胞中富含AR,因此该细胞具有雄激素依赖性增殖的特点^[28]。一些学者还建立了PC3细胞和胸腺癌细胞T47D细胞标记荧光素酶基因的方法,用以检测环境类/抗雄激素化合物。此外,重组AR基因杂交酵母方法也被开发出来^[29]。与雌激素干扰物筛选方法相比,对雄激素干扰物的筛选方法种类和数量都偏少,研究明显处于起步阶段。且由于国际上缺乏统一、确定的标准而无法得到一致的结果。一些重要的环境污染物,如PAHs和PCBs的体外毒性测试证明,这些污染物在 $\mu\text{mol/L}$ 水平即可表现出抗雄激素活性,但是这些化合物的作用模式至今还不清楚。

关于检测甲状腺激素干扰效应的生物毒性测试方法的报道相对较少。目前常用的生物活体检测方法主要是测定暴露动物或人体血清中甲状腺激素水平并观察生物体甲状腺组织学改变。另一种方法是检测与T4竞争性结合甲状腺激素结合蛋白的能力,用以评价外源化合物可能对甲状腺激素转运的影响。对TR干扰作用的考察,主要采用大鼠垂体瘤细胞GH3的增殖测试,该细胞系富含TR,具有甲状腺激素依赖性的增殖活性。此外,大鼠甲状腺瘤细胞系FRTL-5、WRT、PCC13也被用于检测甲状腺干扰效应的细胞增殖试验。李剑等将TR及其共激活因子的DNA片段整合到质粒

中,并转染酵母细胞,同时表达质粒上还带有能编码 β -半乳糖苷酶的报告基因 LacZ^[18]。在这个系统中,与甲状腺激素或甲状腺激素干扰物结合后的受体复合物能与转录因子和其他转录成分反应,以此来调节基因的转录,引起报告基因 LacZ 的表达。

3 内分泌干扰物检测的环境应用

环境样品中具有内分泌干扰效应的污染物通常浓度很低,需要从复杂基质的样品中对这些目标化合物进行提取、纯化和浓缩等前处理。对液体基质样品的前处理方法主要有液液萃取以及近年新发展起来的固相萃取(SPE)和固相微萃取(SPME)等;对固体基质样品的处理方法主要有索氏提取、快速溶剂提取(ASE)、超声提取以及超临界提取(SEE)和微波辅助提取(MAE)等。

以环境水样为例,目前采用有固相萃取、有机溶剂洗脱的前处理方法进行初步富集、分离。根据实验中目标化合物的不同,萃取步骤可以更换不同的萃取柱填料,洗脱有机溶剂也可以调整。常用的固相萃取柱 C18 柱,适合于萃取非极性到中等极性的化合物,如抗菌素、药物、染料、芳香油、脂溶性维生素、杀真菌剂、锄草剂、农药、碳水化合物、对羟基苯甲酸取代酯、苯酚、邻苯二甲酸酯、类固醇、表面活性剂、水溶性维生素等。另一种常用的固相萃取柱是 HLB 柱,比 C18 柱具有更高而稳定的回收率及高吸附容量,30 mg HLB 的吸附容量,相当于 100 mg C18 的,并且对极性和非极性化合物具有较均衡的吸附作用且操作简便,即使柱床干涸,回收率也不受影响。

大气颗粒物、土壤或沉积物样品常用索氏提取法和超声提取法等进行初步富集、分离,再用柱层析、双柱层析、薄层层析或微型硅胶柱层析进行预分离。索氏提取是经典的提取方法,因其提取效率高而常作为国标中的标准提取方法,缺点是溶剂消耗量大、提取时间较长。超声提取法省时、溶剂用量相对较少,且萃取效率高,是目前发展较快的一种样品前处理方法。

对环境样品的综合毒性进行检测,还需要考虑以下 3 个问题^[21]:

(1) 环境样品的综合毒性是由多个作用模式相似的污染物共同形成的,这些污染物各自的贡献取决于其在样品中浓度及其与受体的作用强度。环境

样品是一个复杂体系,同时存在协同或拮抗效应。

(2) 利用生物检测技术检测内分泌干扰效应时,需要检测其受体介导的诱导效应和可能的抑制效应。以双杂交酵母测试为例,诱导效应对应加入样品后报道基因表达产生的酶活性值;抑制效应则按比例同时添加待测样品和一定浓度的天然激素(受体的天然配体),观察环境样品对天然激素所诱导的酶活性值的降低值。许多样品既表现出类激素效应,亦表现出抗激素效应。

(3) 在测试中引入代谢活化系统,考察那些需要代谢活化的间接激素干扰物。目前使用较多的方法包括:①经典的代谢活化方法——大鼠肝脏微粒体酶系统(S9)代谢方法^[30];②细胞代谢活化方法。例如运用鼠肝癌细胞(H4IIE)作为代谢体系的方法,保证了代谢体系既包含所需的各种酶类,又同时包含细胞内部的各种辅助调控因子,与其他几种代谢方式相比更加接近体内代谢的真实情况^[31]。一些疏水性有机污染物只有在代谢活化后才表现出类/抗激素效应。

生物监测技术能够在很多方面弥补化学监测技术的不足,已经普遍用作区域环境质量评价和污染源排放监测的重要辅助技术。图 1 是利用酵母双杂交技术对太湖梅梁湾沉积物中类雌激素物质综合效应的表征结果。可以看出主要污染源及污染扩散过程。

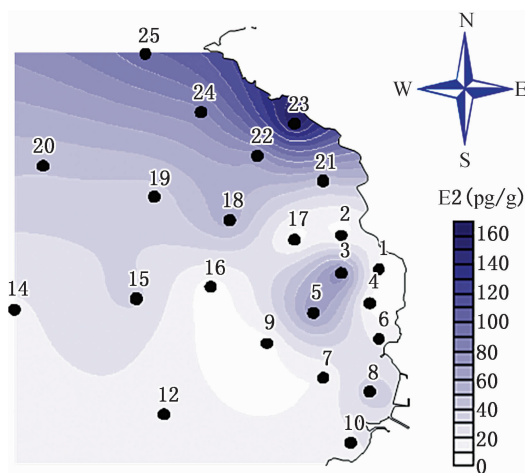


图 1 太湖梅梁湾沉积物中类雌激素物质综合效应的空间分布

表 2 是 2005 年对北京市化工行业类雌激素物质排放及其来源的调查结果,可以看出不同化工行业雌激素的排放强度、主要来源及处理效率等。

表2 北京市化工行业类雌激素物质排放及其来源

监测点位	pmol/L		
	非极性组分	极性组分	
北京化工二厂	1#污水外排口	4.7	7.0
	2#污水外排口	0.9	4.7
北京化工四厂	DOP 车间废水	48.7	46.2
	污水处理车间进水	9.1	11.7
	污水处理车间出水	2.1	2.9
东方化工厂	烯烃车间	16.0	3.8
	丙烯酸车间	11.3	1.1
	污水处理车间进水	7.1	9.1
有机化工厂	污水处理车间出水	0.7	0.3
	厂排水	8.1	2.2
	污水进水	0.4	0.8
燕山石化一厂	污水出水	0.1	0.2
	南排口	1.7	15.5
燕山石化二厂	车间废水	4.9	17.5
	车间废水	4.0	6.9
燕山石化三厂	外排口	0.7	2.6
	车间废水	6.7	13.4
聚酯厂	车间废水	2.6	3.7
污水处理厂	外排口	4.2	3.6

注: 2005年调查数据, 采用重组基因酵母测试技术。

4 结 语

环境内分泌干扰物是一类作用于生物体内分泌系统, 并对生物个体及其后代造成危害的外源性化学物质或混合物。近年来, 研究工作正逐步由环境污染物对类/抗雌激素效应的研究, 拓宽到对性激素代谢的影响, 以及与核受体超家族之间的相互作用。有关作用机理研究的成果直接导致新的生物检测方法的发展, 丰富了环境内分泌干扰物的检测技术类型和检测深度。部分环境内分泌干扰物检测技术已经应用于环境管理, 在化学品安全评价、水源地安全评价、环境激素污染源调查, 以及环境激素污染的因果关系分析中发挥了作用。

[参考文献]

[1] 刘先利, 刘彬, 邓南圣. 环境内分泌干扰物研究进展[J]. 上海环境科学, 2003, 22(1): 57-63.

[2] 王答兰. 环境雌激素与妇女健康[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2001, 19(2): 148-149.

[3] 张国军. 环境抗雄激素检测方法[J]. 国外医学: 卫生学分册, 2003, 3(2): 83-86.

[4] 杨刚. 内分泌生理与病理生理学[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1994: 199.

[5] 许广涛, 许德顺, 周凌. 地方性甲状腺肿重患区饮食致大鼠甲状腺肿碘代谢的实验研究[J]. 中国地方病杂志, 1984, 10(4): 219-221.

[6] 井长勤, 穆灵敏, 张光谋. 环境内分泌干扰物研究进展[J]. 新乡医学院学报, 2005, 22(6): 627-629.

[7] 祝红红. 植物性雌激素对人类的潜在影响[J]. 国外医学: 卫生学分册, 1996, 23(4): 234-237.

[8] 农科. 被怀疑为干扰内分泌作用的农药及其代谢物[J]. 农药科学与管理, 2000, 21(2): 10-12.

[9] 宋宏宇, 王捷. 环境内分泌干扰物与农药[J]. 农药科学与管理, 2001, 22(2): 23-25.

[10] HILSCHEVA K, MACHALA M, KANNAN K, et al. Cell bioassay for detection of aryl hydrocarbon (AhR) and estrogen receptor (ER) mediated activity in environmental samples-review [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2000, 7(3): 159-171.

[11] LI J, MA M, GIESY P, et al. In vitro profiling of endocrine disrupting potency of organochlorine pesticides[J]. Toxicology Letter. 2008, 183(1-3): 65-71.

[12] NAKAI M, TABIRA Y, ASAI D, et al. Binding characteristics of dialkyl phthalates for the estrogen receptor[J]. Biochemical and Biophysical Research Communication, 1999, 254(2): 311-314.

[13] 徐仁宝. 核受体家族研究的进展[J]. 第二军医大学学报, 2001, 22(11): 1053-1054.

[14] KELCE W R, WILSON E M. Environmental antiandrogens: developmental effects, molecular mechanisms, and clinical implications[J]. Journal of Molecular Medicine, 1997, 75(3): 198-207.

[15] PARIS F, BALAGUER P, TEROUANNE B, et al. Phenylphenols, biphenols, bisphenol-A and 4-tert-octylphenol exhibit α and β estrogen activities and antiandrogen activity in reporter cell lines [J]. Molecular and Cellular Endocrinology, 2002, 193(1-2): 43-49.

[16] CAI Y, KONISHI T, HAN G, et al. The role of hepatocyte RXR α in xenobiotic-sensing nuclear receptor-mediated pathways [J]. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 2002, 15(1): 89-96.

[17] COLBORN T. Clues from wildlife to create an assay for thyroid system disruption [J]. Environmental Health Perspectives, 2002, 110(3): 363-367.

[18] LI J, MA M, LIU Y, et al. A rapid two-hybrid yeast assay to quantify functional potentiating, antagonistic and thyroid hormone-like activities of a series of xenobiotics[J]. Environmental Toxicology and Chemistry. 2008, 27: 196-205.

[19] 李剑, 崔青, 马梅, 等. 应用重组孕激素受体基因酵母测定饮用水中内分泌干扰物的方法[J]. 环境科学, 2006, 27(12): 2463-2466.

(下转第25页)

非常重要。对于无组织排放,应有持续的、可操作的方法来加强控制与管理。验收工作则应更加贴近实际工作的内容。还可以现场演练的方式,来模拟事故的处置工作,检验风险防范体系的有效性。切实保证各类预案及制度真实可行。

3 建立长期有效的监管体系

验收只是保证设施长期稳定运行、稳定排放的一个手段,欲达此目标主要还取决于企业自己的日常管理及完善的监管体系。现有的监管体系局限于对常规污染源的监管,定期或不定期的监督监测、安装在线监控系统等,仅监测一些常规指标,对许多特征污染物(多环芳烃类、重金属、二噁英等)的监测频次不足;监测内容及方式与实际需求不符,消耗较多的人力、物力而说不清污染状况,建议适当增加一些科学快速的方式。例如结合以往的验收或监督监测数据,检测焚烧炉一燃室与二燃室的温度,分析排口的CO及O₂含量,现场核查处理设施的运行情况(当时焚烧危废的种类与比例、气态污染物吸收剂的添加量、急冷设施出口的烟气温度等)。利用这些快速的方式,能够从侧面反应排

放状况,而且较常规监测速度快、投入小、工作效率高。

危废焚烧处置设施的验收工作有别于其他类建设项目验收,是一项系统工程。目前尚无明确、细化的验收技术规范,验收工作难以把握尺度,亦会给环境管理带来许多后续问题。在危险废物焚烧处置项目竣工环境保护验收监测过程中,应当重视上述问题,依据相关法律法规,公正、科学、真实、可靠地提供保证质量、全面规范的验收监测报告^[5]。更好地服务于环境保护工作,为环境管理提供重要的技术依据。

[参考文献]

- [1] 胡华龙,温雪峰,罗庆明,等. 废物焚烧-综合污染预防与控制最佳可行技术[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [2] 国家环境保护总局. 建设项目环境保护设施竣工验收监测技术要求(试行)[S]. 2000.
- [3] GB 18484—2001 危险废物焚烧污染控制标准[S].
- [4] 柴晓利,赵爱华,赵由采,等. 固体废物焚烧技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [5] 徐玉宏. 建设项目竣工环境保护验收监测中的有关问题[J]. 江苏环境科技,2007,20(1):51-52.
- (上接第22页)
- [20] TAKAYANAGI S, TOKUNAGA T, LIU X, et al. Endocrine disruptor bisphenol A strongly binds to human estrogen-related receptor γ (ERR γ) with high constitutive activity[J]. Toxicol Lett. 2006,167(2):95-105.
- [21] 李剑,饶凯锋,马梅,等. 核受体超家族及其酵母双杂交检测技术[J]. 生态毒理学报,2008,3(6):521-532.
- [22] VILLENEUVE D L, KHIM J S, KANNAN K, et al. Relative potencies of individual polycyclic aromatic hydrocarbons to induce dioxinlike and estrogenic responses in three cell lines[J]. Environmental Toxicology, 2002,17(2):128-137.
- [23] COMBES R D. Endocrine disruptors: A critical review of in vitro and in vivo testing strategies for assessing their toxic hazard to humans[J]. ATLA-Alternatives to Laboratory Animals, 2000,28(1):81-118.
- [24] GIESY J P, HILSCHEROVA K, JONES P D, et al. Cell bioassays for detection of aryl hydrocarbon (AhR) and estrogen receptor (ER) mediated activity in environmental samples[J]. Marine Pollution Bulletin, 2002,45(1-12):3-16.
- [25] BALAGUER P, FRANCOIS F, COMUNALE F, et al. Reporter cell lines to study the estrogenic effects of xenoestrogens[J]. The Science of the Total Environment, 1999,233(1-3):47-56.
- [26] ROGERS J M, DENISON M S. Recombinant cell bioassays for endocrine disruptors: development of a stably transfected human varian cell line for the detection of estrogenic and anti-estrogenic chemicals[J]. In Vitro and Molecular Toxicology-Journal of Basic and Applied Research, 2000,13(1):67-82.
- [27] JUNGBAUER A, BECK V. Yeast reporter system for rapid determination of estrogenic activity[J]. Journal of Chromatography B, 2002,777(1-2):167-178.
- [28] VELDSCHOLTE J, BERREVOETS C A, MULDER E. Studies on the human prostatic cancer cell line LNCaP[J]. The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology, 1994,49(4-6):341-346.
- [29] LEE H J, LEE Y S, KWON H B, et al. Novel yeast bioassay system for detection of androgenic and antiandrogenic compounds[J]. Toxicology in Vitro, 2003,17(2):237-244.
- [30] 崔青,李剑,马梅,等. 利用重组基因酵母法和S9代谢活化检测饮用水雌激素物质[J]. 高技术通讯,2007,17(6):643-647.
- [31] 李剑,崔青,马梅,等. 基于H4IIE细胞株测试间接雌激素效应物质的代谢活化方法[J]. 环境科学学报,2006,28(8):1320-1325.