

电子垃圾拆解地野生雄性鲫鱼多氯联苯、卵黄蛋白原及 EROD 水平

蔡德雷, 徐彩莉, 宋燕华, 鹿伟, 沈海涛, 陈苒, 丁钢强

摘要: [目的] 研究电子垃圾拆解地多氯联苯(PCBs)污染对雄性野生鲫鱼血清卵黄蛋白原(VTG)水平和肝脏乙氧基异吩恶唑酮脱乙基酶(EROD)活性的影响。[方法] 分别选择东南沿海有大量电子变压器和电容器拆解业历史及以电子产品生产为主要产业的两地区作为重度、轻度污染区,以无电子拆解业的某地区作为对照区。各地区分别采集5尾野生雄性鲫鱼,并测定鱼肌肉组织中PCBs、肝脏组织中EROD、血清中VTG水平。[结果] 所有雄性野生鲫鱼体内均检测出18种PCBs单体。重度污染区总PCBs质量分数(中位数)为214 138 pg/g,明显高于轻度污染区(8088 pg/g),二者均高于对照区(2968 pg/g)(均 $P<0.05$)。重度污染区野生鲫鱼肝脏EROD活性明显高于对照区和轻度污染区(均 $P<0.05$);血清VTG水平与对照区差异无统计学意义($P>0.05$)。轻度污染区野生鲫鱼血清VTG水平明显高于对照区($P<0.05$);但肝脏EROD活性与对照区差异无统计学意义($P>0.05$)。[结论] 电子垃圾拆解地野生雄性鲫鱼肌肉PCBs水平较高,肝脏EROD活性明显升高,血清VTG水平升高不明显。

关键词: 电子垃圾; 卵黄蛋白原; 多氯联苯; 生物标志; 乙氧基异吩恶唑酮脱乙基酶; 野生雄性鲫鱼

Levels of Polychlorinated Biphenyls, Vitellogenin, and EROD in Wild Male Crucian Carps in Electronic Waste Dismantling Sites CAI De-lei, XU Cai-ju, SONG Yan-hua, LU Wei, SHEN Hai-tao, CHEN Qing, DING Gang-qiang (Physicochemical Inspection and Toxicology Department, Zhejiang Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China) • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To assess the effects of polychlorinated biphenyls (PCBs) contamination from electronic waste dismantling sites on serum vitellogenin (VTG) levels and liver ethoxyresorufin-O-deethylase (EROD) activities in wild male crucian carps. [Methods] Two sampling sites situated in the southeast coastline, one where electric transformers and capacitors were historically dismantled in large quantities and the other where electronics production was a dominant industry, were chosen as highly and mildly polluted areas respectively. A control area without any electronic waste was also selected. Five wild male crucian carps from each site were sampled to measure muscle PCBs, liver EROD, and serum VTG levels. [Results] All wild male crucian carp muscle samples contained detectable levels of 18 PCB congeners. The median of total PCB concentrations of wild male crucian carps in the highly polluted area (214 138 pg/g) was remarkably higher than that in the mildly polluted area (8088 pg/g), and both were significantly higher than that in the control area (2968 pg/g) (both $P<0.05$). The liver EROD of wild male crucian carps in the highly polluted area was significantly higher than that in the control area and the mildly polluted area (both $P<0.05$), and no significant difference in serum VTG was observed between the highly polluted area and the control area ($P>0.05$). The serum VTG of wild male crucian carps in the mildly polluted area was significantly higher than that of the control area ($P<0.05$), but no difference in liver EROD was seen ($P>0.05$). [Conclusion] The wild male crucian carps from electronic waste dismantling sites present high levels of muscle PCBs and activities of liver EROD, but no obvious change in serum VTG is observed.

Key Words: electronic waste; vitellogenin; polychlorinated biphenyls; biomarker; ethoxyresorufin-o-deethylase; wild male crucian carp

近年来,发展中国家国内及非法输入的电子垃圾(e-waste)迅速增加^[1]。回收材料的需求和潜在的经济

DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2016.15109

[基金项目] 浙江省医药卫生科学研究基金资助项目(编号: 2009A041)

[作者简介] 蔡德雷(1976—),男,硕士,副主任技师;研究方向:卫生毒理和环境毒理;E-mail: dlcai@cdc.zj.cn

[作者单位] 浙江省疾病预防控制中心理化与毒理检验所,浙江 杭州 310051

利益促进了电子垃圾拆解回收工业的发展。电子垃圾所致的多氯联苯(polychlorinated biphenyls, PCBs)污染已经受到普遍的关注。由于回收技术粗糙,大量的PCBs释放入拆解地的环境^[2-3],引起了当地严重的空气^[4-5]、土壤^[6-7]、水^[8]、沉积物^[9-10]和植物污染^[11-12]。PCBs通过水生和陆生生物的生物富集作用^[13-14],污染食品。人体通过食物摄入^[15-17],可导致体内PCBs

负荷升高^[18-20]。电子垃圾拆解地区暴露人群出现了免疫毒性效应^[21],居民甲状腺激素的动态平衡^[22]及胎儿的生长发育^[23]亦受影响。

然而,有关电子垃圾拆解引起的PCBs污染对生物标志的影响报道尚不多见。有研究显示拆解地鲫鱼肝脏乙氧基异吩恶唑酮脱乙基酶(ethoxyresorufin-O-deethylase, EROD)活性升高,水样浓集物Ames试验结果阳性^[24]。雄鱼和幼年鱼血清卵黄蛋白原(vitellogenin, VTG)已成为评估外源性雌激素效应的一个良好的生物标志^[25]。幼年鱼一般多用于实验室研究^[26],而雄鱼常用于评估环境污染物引起的雌激素效应^[25]。因此,本研究以野生雄性鲫鱼作为研究对象,探究电子垃圾拆解地PCBs污染对其血清VTG水平和肝脏EROD活性的影响。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

DY1001电子天平(上海精密科仪公司),5810R高速离心机(德国Eppendorf公司),DK-450B点热恒温水槽(上海森信实验仪器有限公司),precellys 24组织均质器(法国Bertin公司),Agilent 6890N型气相色谱(美国Agilent公司),高分辨双聚焦磁质谱(美国Waters公司)。异吩恶唑、乙氧基异吩恶唑和二喹啉甲酸法(BCA)蛋白定量分析试剂盒(美国Sigma公司),VTG测定试剂盒(日本TransGenic Inc公司),PCBs内标(添加内标Lot No: WPLCS0407;回收内标Lot No: EC9605RS0908),以鲑鱼做的有鉴定证书的标准参考物质(美国Cambridge Isotope Laboratories公司)。其他试剂均为分析纯或分子蒸馏级。

1.2 样品采集

选择有大量的电子变压器和电容器拆解历史的东南沿海某地区作为重度污染区,以同样处于东南沿海的以电子产品生产为主要产业的某地区作为轻度污染区,以无电子拆解业的某地区作为对照区。于2009年3—6月,在三地附近的河流中分别采集野生鲫鱼至少50尾(不论大小),并在充氧的条件下带回实验室。每个地区挑选出5尾雄性鲫鱼进行实验。

1.3 VTG测定

鲫鱼尾静脉取血,4℃静置30 min,106×g低温离心10 min,取血清于液氮中速冻后在-80℃保存备用。VTG测定时,血清用生理盐水稀释10倍后取100 μL,测定方法参考试剂盒。检测时,样品在96孔板进行酶联

免疫吸附试验(ELISA)反应,样品中的VTG和事先包被的VTG抗体反应,然后VTG抗体与辣根过氧化物酶(HRP)标记的二抗反应,最后二抗再和底物反应,用酶标仪测定 D_{492} 。VTG水平计算公式: $y = (-0.0096 + \sqrt{0.00091996 - 0.00004x}) / 0.00004$, $R^2 = 0.9972$, y 为VTG水平(μg/L), x 为光密度值。

1.4 EROD活性测定

鲫鱼解剖后,取肝脏于液氮中速冻后在-80℃保存备用。EROD活性按照文献^[27]的方法进行测定。测定时,肝组织用生理盐水1:10(W/V)匀浆,4℃956×g离心15 min,取上清液待用。蛋白含量以BCA方法进行测定。

1.5 PCBs检测

取鲫鱼背部肌肉组织,搅碎、称重、冻干,复称重后,放入干燥器内,备用。PCBs水平参考文献^[28]的方法进行检测。

1.6 统计学方法

本研究为横断面调查研究。原始数据符合方差齐性者,采用两因素析因设计资料的方差分析、多个均数之间两两比较的 q 检验;原始数据不符合方差齐性者,采用成组设计资料的秩和检验。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 鱼体肌肉组织PCBs水平

所有野生雄性鲫鱼体内中均检测出18种PCBs单体(同系物)。重度污染区总PCBs质量分数的中位数为214 138 pg/g(185 881~2 524 980 pg/g),高于轻度污染区(8 088 pg/g, 5 112~10 000 pg/g),二者均高于对照区(2 968 pg/g, 2 063~6 931 pg/g)(秩和检验,均 $P < 0.05$),见表1。对照区、轻度污染区野生雄性鲫鱼体内水平较高的PCBs单体均为PCB28、PCB138、PCB153,分别占总量的26%、20%、13%,35%、16%、10%。重度污染区鲫鱼体内水平较高的PCBs单体为PCB28、PCB52、PCB138,分别占总量的63%、15%、8%。

2.2 肝脏EROD活性和血清VTG水平

重度污染区:野生鲫鱼体重低于对照区(q 检验, $P < 0.05$);肝脏EROD活性高于对照区和轻度污染区(q 检验, $P < 0.05$);血清VTG水平与对照区比较差异无统计学意义(秩和检验, $P > 0.05$),低于轻度污染区(秩和检验, $P < 0.05$)。轻度污染区:野生鲫鱼体重和肝脏EROD活性与对照区比较差异无统计学意义(q 检验, $P > 0.05$),血清VTG水平明显高于对照区(秩

和检验, $P<0.05$)(表2)。

表1 不同电子垃圾拆解地区雄性野生鲫鱼PCBs水平 (pg/g)
Table 1 PCBs levels in male wild crucian carps from
three e-waste sites

单体 Congener	对照区 (n=5) Control site		轻度污染区 (n=5) Mildly polluted site		重度污染区 (n=5) Highly polluted site	
	范围 Range	中位数 Median	范围 Range	中位数 Median	范围 Range	中位数 Median
PCB28	563~1834	773	2368~3683	2858	81840~205636	135558
PCB52	185~686	258	705~1208	801	27331~233513	31328
PCB77	33.5~245	91.6	70.8~105	84.5	404~31248	698
PCB81	3.1~15.7	5.72	9.3~22.3	15.7	70.2~4289	139
PCB101	131~519	201	315~1106	643	4333~165802.4	8559
PCB105	57.7~353	133	188~518	370	1349~120691	3494
PCB114	3.1~24.3	15.2	18~51	36.5	70.2~10242	258
PCB118	120~759	234	344~1257	804	3354~187845	6495
PCB123	19.7~142	66.6	33.5~120	80.2	422~34045	671
PCB126	4.7~28.2	10.9	6.6~15	10.5	25.4~1117	61
PCB138	153~2063	606	395~2045	1268	4387~1163336	17123
PCB153	127~919	393	351~1129	836	3430~404868	7915
PCB156	12.5~85.1	48.2	22.5~104	54.5	170~25121	487
PCB157	3.0~17.9	8.3	9.3~30.5	19.8	67~5105	126
PCB167	8.2~69.6	28.5	17.6~53.2	35.7	143~15499	203
PCB169	0.2~1.4	0.5	0.6~1.8	1.1	0.7~89.3	3.7
PCB180	33.6~318	90.5	75.5~256	163	267~39678	987
PCB189	2.0~7.4	4.1	1.9~10.2	6.2	26.7~726	31.9
总PCB Total PCBs	2063~6931	2968	5112~10000	8088*	185881~2524980	214138**

[注]*: 与对照区比较, 秩和检验, $n=5$, $P<0.05$ 。#: 与轻度污染区比较, 秩和检验, $n=5$, $P<0.05$ 。
[Note]*: Compared with the control site, Kruskal-Wallis Test, $n=5$, $P<0.05$ 。#: Compared with the mildly polluted site, Kruskal-Wallis Test, $n=5$, $P<0.05$ 。

**表2 不同电子垃圾拆解地区雄性鲫鱼肝脏
EROD活性和血清VTG水平**
Table 2 Liver EROD activities and serum VTG levels in wild male
crucian carps from three e-waste sites

地区 Site	n	体重(g) Body weight	肝脏EROD活性 (nmol/g·min) Liver EROD activity	血清VTG(μg/L) Serum VTG
对照区 Control	5	190.8 ± 57.6	2.48 ± 1.04	83.7 ± 17.5
轻度污染区 Mildly polluted	5	119.9 ± 29.4	3.86 ± 1.86	647.4 ± 468.7*
重度污染区 Highly polluted	5	79.6 ± 31.2*	10.46 ± 3.75**	138.0 ± 219.9*
统计量值 Statistic	—	$F=9.228$	$F=14.651$	$H=9.380$
P	—	0.004	0.001	0.009

[注]*: 与对照区比较, $P<0.05$ 。#: 与轻度污染区比较, $P<0.05$ 。
[Note]*: Compared with the control site, $P<0.05$ 。#: Compared with the mildly polluted site, $P<0.05$ 。

3 讨论

本课题组前期研究已经发现, 在该地轻度污染区河水中检测出11种PCBs单体, 而重度污染区和对照区均检测出10种; 重度污染区河水中PCBs水平最高为3009pg/L, 是对照区PCBs水平(24pg/L)的127倍; 轻度污染区河水PCBs的水平为119pg/L, 是对照区的5倍^[8]。本研究显示, 通过生物蓄积, 18种PCBs异构体在野生鲫鱼体内均有检出, 轻度、重度污染区野生鲫鱼PCBs的平均水平分别为8088、214138pg/g, 分别约为对照区(2968pg/g)的3倍、72倍。前期工作发现, 重度污染区河水检测出的PCBs异构体中, 以PCB138和PCB153居多, 占到总PCBs含量的70%以上; 轻度污染区河水中PCB118和PCB180两种异构体约占总PCBs水平的72%; 对照区PCBs水平以PCB105和PCB118为多, 分别约占总PCBs的24%和20%^[8]。对照区和轻度污染区野生鲫鱼中含量较高的PCBs单体均为PCB28、PCB138、PCB153, 约占PCBs总量的60%。重度污染区野生鲫鱼含量较高的单体为PCB28、PCB52、PCB138, 总共约占总量的80%。PCB28、PCB52、PCB138、PCB153等均为指示型PCBs, 检出含量较高, 与宋扬等^[28]的研究结果一致。有研究显示含有多个氯原子的PCBs(如PCB138、PCB153)难以降解和挥发, 更易于在食物链中生物富集和放大^[29]。这与本研究显示重度污染区野生鲫鱼中蓄积最多的单体为低相对分子质量的PCB28、PCB52不一致。这可能与本研究雄性野生鲫鱼数量较少(5条), 而PCBs的变异度较大以及百分数的计算方式有关: PCB138、PCB153的百分数是用中位数计算的, 它们的变化范围较大, 分别为4387~1163336、3430~404868pg/g。

鱼类细胞色素P4501A1(CYP1A1)的诱导常常作为水环境有机污染物暴露的生物标志^[30], EROD活性能够反映CYP1A1的诱导。VTG是卵黄的前体, VTG水平在雌鱼体内很高, 被视为正常的生物学现象, 而雄鱼和不成熟的雌鱼在正常情况下检测不到VTG, 但受到雌激素刺激时可合成与分泌这种蛋白, 因此雄鱼和幼年鱼VTG已经成为评估外源性雌激素效应的强大而良好的生物标志^[25], 并已应用于现场检测^[31]。PCBs具有弱的内分泌干扰作用, 体外研究显示各种商品化的PCBs具有雌激素和抗雌激素活性, 可以与雌激素受体结合诱导VTG的表达与合成, 雄鱼EROD活性与VTG合成呈线性相关关系; 也可以诱导CYP1A1和EROD而抑制雌激素受体的表达和VTG的产生^[32-34]。

因此本研究对雄性鲫鱼PCBs、VTG水平和EROD活性同时进行研究,以期探讨这些指标之间是否存在一定的关系。重度污染区野生鲫鱼总PCBs水平、肝脏EROD活性明显高于对照区,而血清VTG水平升高不明显,提示重度污染区河水受到PCBs的严重污染,野生鲫鱼PCBs内暴露剂量较高,过高水平的PCBs诱导EROD,而抑制VTG的产生,表现出抗雌激素活性,VTG升高不明显。这与Palumbo等^[35]的研究结果相似,环境污染物在激活芳烃受体时可能抑制VTG的合成。轻度污染区野生鲫鱼总PCBs水平、血清VTG明显高于对照区,而肝脏EROD活性升高不明显,提示轻度污染区河水受到一定的PCBs污染,野生鲫鱼PCBs内暴露剂量升高,较低浓度的PCBs在未明显诱导EROD时,诱导VTG的表达,表现出雌激素活性。这与Kirby等^[36]的研究结果相似,雌激素活性化合物(乙炔雌二醇、壬基酚)在诱导VTG的水平时能抑制多环芳烃介导EROD的诱导作用。研究显示雄鱼在<200mg/L的五氯苯酚作用下血浆VTG升高,在≥200mg/L时雄鱼VTG水平下降^[37]。

野生鲫鱼PCBs水平升高是否由电子垃圾拆解引起,应确定电子垃圾是否为主要的污染源。本研究实地调查显示,重度污染区主要污染来自电子垃圾拆解业,而轻度污染区的主要污染来自电子产品生产有关的行业。由于在重度污染区电子垃圾拆解地附近的河道污染严重,野生鲫鱼在污染的河流中生长可能受到限制,因此鲫鱼数量稀少,体重偏小,而且本研究要使用雄性的野生鲫鱼,而环境中雌性鱼体占绝大部分(约占90%,数据未列出),所以符合要求的鲫鱼数量更少,导致研究数据变异度较大,特别是VTG水平。这是本研究的不足之处。由于VTG测定成本较高,因而没有测定占多数的雌性个体(本底高,而敏感度不高),这也是VTG作为生物标志应用的局限性。

本研究显示,电子垃圾拆解地野生雄性鲫鱼体内PCBs水平较高,其肝脏EROD活性明显升高,但血清VTG水平升高不明显。研究提示,PCBs的内分泌干扰作用可能对电子垃圾拆解地水生生物造成影响,进而通过生物蓄积对人体健康产生潜在的影响,应该引起普遍关注。

·作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

[1] Breivik K, Gioia R, Chakraborty P, et al. Are reductions in

industrial organic contaminants emissions in rich countries achieved partly by export of toxicwastes? [J]. Environ Sci Technol, 2011, 45(21): 9154-9160.

[2] Liu H X, Zhou Q F, Wang Y W, et al. E-waste recycling induced polybrominated diphenyl ethers, polychlorinated biphenyls, polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans pollution in the ambient environment [J]. Environ Int, 2008, 34(1): 67-72.

[3] Wu J P, Luo X J, Zhang Y, et al. Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in wild aquatic species from an electronic waste (e-waste) recycling site in South China [J]. Environ Int, 2008, 34(8): 1109-1113.

[4] Han W, Feng J, Gu Z, et al. Polychlorinated biphenyls in the atmosphere of Taizhou, a major e-waste dismantling area in China [J]. J Environ Sci, 2010, 22(4): 589-597.

[5] Xing G H, Liang Y, Chen L X, et al. Exposure to PCBs, through inhalation, dermal contact and dust ingestion at Taizhou, China-a major site for recycling transformers [J]. Chemosphere, 2011, 83(4): 605-611.

[6] 邵科, 尹文华, 朱国华, 等. 电子垃圾拆解地周边土壤中二噁英和二噁英类多氯联苯的浓度水平 [J]. 环境科学, 2013, 34(11): 4434-4439.

[7] Wang P, Zhang H, Fu J, et al. Temporal trends of PCBs, PCDD/Fs and PBDEs in soils from an e-waste dismantling area in East China [J]. Environ Sci Proc Impacts, 2013, 15(10): 1897-1903.

[8] 王晓峰, 楼晓明, 韩关根, 等. 浙江省电子垃圾拆解地区环境中多氯联苯污染特征研究 [J]. 卫生研究, 2011, 40(5): 583-586, 590.

[9] Chen L, Yu C, Shen C, et al. Occurrence of (anti)estrogenic effects in surface sediment from an e-waste disassembly region in East China [J]. B Environ Contam Tox, 2012, 89(1): 161-165.

[10] Zhou S, Shao L, Yang H, et al. Residues and sources recognition of polychlorinated biphenyls in surface sediments of Jiaojiang Estuary, East China Sea [J]. Mar Pollut Bull, 2012, 64(3): 539-545.

[11] Wen S, Yang F X, 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.
- [12] Chen S, Tian M, Zheng J, et al. Elevated levels of polychlorinated biphenyls in plants, air, and soils at an e-waste site in Southern China and enantioselective biotransformation of chiral PCBs in plants[J]. Environ Sci Technol, 2014, 48(7): 3847-3855.
- [13] Wu J P, Luo X J, Zhang Y, et al. Bioaccumulation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in wild aquatic species from an electronic waste (e-waste) recycling site in South China[J]. Environ Int, 2008, 34(8): 1109-1113.
- [14] Zeng Y H, Luo X J, Yu L H, et al. Using compound-specific stable carbon isotope analysis to trace metabolism and trophic transfer of PCBs and PBDEs in fish from an e-waste site, South China[J]. Environ Sci Technol, 2013, 47(9): 4062-4068.
- [15] Fu J, Wang T, Wang P, et al. Temporal trends (2005-2009) of PCDD/Fs, PCBs, PBDEs in rice hulls from an e-waste dismantling area after stricter environmental regulations[J]. Chemosphere, 2012, 88(3): 330-335.
- [16] Xing G H, Wu S C, Wong M H. Dietary exposure to PCBs based on food consumption survey and food basket analysis at Taizhou, China-The World's major site for recycling transformers[J]. Chemosphere, 2010, 81(10): 1239-1244.
- [17] 徐承敏, 俞苏霞, 柴剑荣, 等. 某废旧电器拆解场家禽和农产品类二恶英多氯联苯含量及人体摄入量[J]. 环境与职业医学, 2013, 30(9): 690-693.
- [18] Zhao X R, Qin Z F, Yang Z Z, et al. Dual body burdens of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers among local residents in an e-waste recycling region in Southeast China[J]. Chemosphere, 2010, 78(6): 659-666.
- [19] Wen S, Yang F X, Gong Y, et al. Elevated levels of urinary 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine in male electrical and electronic equipment dismantling workers exposed to high concentrations of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans, polybrominated diphenyl ethers, and polychlorinated biphenyls[J]. Environ Sci Technol, 2008, 42(11): 4202-4207.
- [20] Zheng J, Yan X, Chen S J, et al. Polychlorinated biphenyls in human hair at an e-waste site in China: Composition profiles and chiral signatures in comparison to dust[J]. Environ Int, 2013, 54: 128-133.
- [21] 章荣华, 徐彩菊, 沈海涛, 等. 电子废物暴露人群氧化损伤及免疫毒性效应研究[J]. 卫生研究, 2012, 41(2): 199-203.
- [22] Zhang J, Jiang Y, Zhou J, et al. Elevated body burdens of PBDEs, dioxins, and PCBs on thyroid hormone homeostasis at an electronic waste recycling site in China[J]. Environ Sci Technol, 2010, 44(10): 3956-3962.
- [23] 陆绍琦, 徐锡金, 刘俊晓, 等. 电子垃圾拆解区多氯联苯暴露对新生儿生长发育的影响[J]. 汕头大学医学院学报, 2012, 25(3): 135-137.
- [24] 鹿伟, 徐彩菊, 章荣华, 等. 废旧电器拆解地区水环境毒理学评价[J]. 中国公共卫生, 2011, 27(11): 1402-1404.
- [25] Liao T, Jin S, Yang F X, et al. An enzyme-linked immunosorbent assay for rare minnow (*Gobiocypris rarus*) vitellogenin and comparison of vitellogenin responses in rare minnow and zebrafish (*Danio rerio*) [J]. Sci Total Environ, 2006, 364(1/2/3): 284-294.
- [26] Calò M, Casella S, Panzera M, et al. Activation of the Ahr signalling pathway by polychlorobiphenyls causes a marked induction of cytochrome P450 only after depletion of vitellogenin in *Sparus aurata* [J]. Environ Toxicol Phar, 2012, 34(3): 735-742.
- [27] 蔡德雷, 徐立红, 王晓峰, 等. 餐具洗洁精对小鼠肝脏解毒功能的影响[J]. 环境与职业医学, 2004, 21(4): 267-269.
- [28] 宋杨, 吴南翔, 韩见龙, 等. 某电子垃圾拆解地鲫鱼和鸡蛋中二噁英和多氯联苯的污染状况研究[J]. 环境与健康杂志, 2011, 28(4): 328-331.
- [29] Breivik K, Sweetman A, Pacyna J M, et al. Towards a global historical emission inventory for selected PCB congeners-a mass balance approach: global production and consumption [J]. Sci Total Environ, 2002, 290(1/2/3): 181-198.
- [30] Whyte J J, Jung R E, Schmitt C J, et al. Ethoxyresorufin-O-deethylase (EROD) activity in fish as a biomarker of chemical exposure[J]. Crit Rev Toxicol, 2000, 30(4): 347-570.
- [31] Carballo M, Aguayo S, Torre A, et al. Plasma vitellogenin levels and gonadal morphology of wild carp (*Cyprinus carpio* L.) in a receiving rivers downstream of Sewage Treatment Plants[J]. Sci Total Environ, 2005, 341(1/2/3): 71-79.
- [32] Vega-López A, Jiménez-Orozco F A, Ramón-Gallegos E, et al. Estrogenic effects of polychlorinated biphenyls and relation to cytochrome P4501a activity in the endangered goodeid fish *Ameiops splendens* [J]. Environ Toxicol Chem, 2008, 27(4): 963-969.
- [33] Valdehita A, Fernández-Cruz M L, Torrent F, et al.

性,他们容易形成职业的“暂时性”心理^[3],而产生自我对职业安全健康的“忽视”;同时,农民工群体教育程度相对较低,自我保护意识较差,其对用工风险、安全和健康防护认知不足,对企业所制定和执行的管理制度容易产生不积极、不关心、不过问的心态。上述问题不仅会危害农民工的切身利益,也会给企业的职业安全健康服务带来阻碍。

国家统计局发布的“全国农民工调查监测报告”显示,2014年我国农民工总量达27395万人^[4]。他们为我国经济发展提供了大批劳动力,填补了制造业、建筑业、批发和零售业、餐饮业等劳动密集型产业的岗位空缺,为社会创造了大量财富,劳动力转移的经济效益明显^[5]。然而,农民工所从事的职业,大多数劳动强度大,工作环境恶劣,是职业病的高危人群。降低农民工职业伤害,维护其职业安全,既是保障劳动者生命权、劳动权等合法权利实现和劳动者职业安全治理的重要前提^[6-7],也是中国社会发展和中国企业战略发展的必然要求^[8]。

•作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献

[1]新华社,中共中央,国务院.关于构建和谐劳动关系的意见

[EB/OL].[2015-04-08].http://news.xinhuanet.com/2015-04/08/c_11114906835.htm.

[2]王彦斌,李云霞.制度安排与实践运作——对企业职业健康服务社会责任的社会学思考[J].江海学刊,2014,2: 85-94.

[3]国家统计局.2013年全国农民工调查监测报告[EB/OL].(2014-05-12)[2015-06-24].http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201405/t20140512_551585.html.

[4]国家统计局.2014年全国农民工监测调查报告[EB/OL].(2015-04-29)[2015-06-24].http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201504/t20150429_797821.html.

[5]沈汉溪,林坚.农民工对中国经济的贡献测算[J].中国农业大学学报(社会科学版),2007,24(1): 114-121.

[6]郝万奇.劳权保障:安全生产回归职业安全[J].长沙大学学报,2010,24(1): 60-62.

[7]舒德峰.问题与对策:我国劳动者职业健康权保护探讨[J].山东大学学报(哲学社会科学版),2012(3): 125-129.

[8]王彦斌.农民工职业健康服务管理的企业社会责任——基于企业战略性社会责任观点的讨论[J].思想战线,2011,3(37): 33-36.

(收稿日期:2015-06-24)

(英文编辑:汪源;编辑:张晶、洪琪;校对:丁瑾瑜)

(上接第28页)

Differences in the induction of cyp1A and related genes in cultured rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. Additional considerations for the use of EROD activity as a biomarker[J]. J Fish Biol, 2012, 81(1): 270-287.

[34]Calo M, Alberghina D, Bitto A, et al. Estrogenic followed by anti-estrogenic effects of PCBs exposure in juvenil fish (*Spaurus aurata*)[J]. Food Chem Toxicol, 2010, 48(8/9): 2458-2463.

[35]Palumbo AJ, Denison MS, Doroshov SI, et al. Reduction of vitellogenin synthesis by an aryl hydrocarbon receptor agonist in the white sturgeon (*Acipenser transmontamus*)[J].

Environ Toxicol Chem, 2009, 28(8): 1749-1755.

[36]Kirby MF, Smith AJ, Rooke J, et al. Ethoxyresorufin-O-deethylase (EROD) and vitellogenin (VTG) in flounder (*Platichthys flesus*): system interaction, crosstalk and implications for monitoring[J]. Aquat Toxicol, 2007, 81(3): 233-44.

[37]Zha J, Wang Z, Schlenk D. Effects of pentachlorophenol on the reproduction of Japanese medaka (*Oryzias latipes*)[J]. Chem Biol Interact, 2006, 161(1): 26-36.

(收稿日期:2015-01-06)

(英文编辑:汪源;编辑:王晓宇;校对:丁瑾瑜)