

· 争鸣与探索 ·

运用热带爪蟾胚胎测定工业废水的发育毒性

杨红伟¹ 黄宏¹ 朱静敏² 胡玲玲² 吴粒较² 薛银刚^{3*}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306; 2. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062; 3. 常州市环境监测中心, 江苏省环境保护水环境生物监测重点实验室, 江苏 常州 213001)

摘要: 采用热带爪蟾胚胎测定江苏省常州市8家典型行业工业废水的发育毒性, 结果显示: 各行业工业废水对爪蟾胚胎的发育均有不同程度的影响, 而印染、啤酒、电镀和化工行业出水的发育毒性更强。试验表明, 理化指标并不能完全反映工业废水的综合毒性, 而热带爪蟾胚胎可有效地表征其发育毒性。比较各行业工业废水的毒性, 初步探讨热带爪蟾胚胎用于工业废水毒性检测的可行性。

关键词: 热带爪蟾; 胚胎; 工业废水; 毒性

中图分类号: X835

文献标识码: B

文章编号: 1006-2009(2014)01-0056-05

Use of *Xenopus Tropicalis* Embryos Screening the Developmental Toxicity of Industrial Wastewater

YANG Hong-wei¹, HUANG Hong¹, ZHU Jing-min², HU Ling-ling², WU Li-jiao², XUE Yin-gang^{3*}

(1. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 3. Key Laboratory of Environmental Protection of Water Environment Biological Monitoring of Jiangsu Province, Changzhou Environmental Monitoring Center, Changzhou, Jiangsu 213001, China)

Abstract: To evaluate the ecological risk of industrial wastewater, the toxicity of effluent from eight different typical industries in Changzhou were monitored. The results showed that different types of wastewater have different degree of toxic effects on *Xenopus tropicalis* embryos. In particular, the effluent of dyeing, beer, electroplating and chemical industry present higher ecological toxicity. This study indicated that the physicochemical indexes couldn't exactly reflect the integrated toxicity of industrial wastewater, while the survival and malformation of *Xenopus tropicalis* embryos can effectively indicate the toxic effects of the wastewater.

Key words: *Xenopus tropicalis*; Embryo; Industrial wastewater; Toxicity

工业废水中往往含有种类繁多或较高浓度的有毒有害污染物, 是造成水环境污染的重要污染源^[1-2]。江苏省常州市是长江中下游地区的重要城市, 工业较发达, 以机电、化工、电镀、纺织等排污较大的企业为主。市内水网密布, 水系发达, 诸多支流连通长江及太湖等饮用水源地^[3], 由于没有较大的水环境容量, 污染物进入城市河道后的自净能力较差^[4], 一旦突发水污染事故, 将严重威胁到人们的生活安全、经济发展和社会稳定。因此, 对毒性大、成分相对复杂的工业废水进行毒性检测,

可确定需优先控制的污染源, 这对常州市的饮用水安全及水环境污染防治有重大意义。目前, 我国环境管理机制中尚缺乏生物毒性指标, 常规的理化监

收稿日期: 2013-09-03; 修订日期: 2013-10-17

基金项目: 江苏省环境监测科研基金资助项目(1106); 江苏省自然科学基金青年基金资助项目(BK2012152); 江苏省环保厅科研基金资助项目(2009027 2012065); 江苏省博士后科研基金资助项目(1202002C)

作者简介: 杨红伟(1987—), 男, 山东泰安人, 在读研究生, 研究方向为生态毒理学。

* 通讯作者: 薛银刚 E-mail: yzyyg@126.com

测指标并不能完全控制废水达到无毒排放^[5-6]。

爪蟾作为发育生物学中的重要模式动物,具有产卵量大、胚胎发育快和对环境污染物较敏感的特点^[7],近年来在生态毒理学中也被广泛应用。爪蟾胚胎致畸实验(FETAX)正是以爪蟾胚胎为受试生物,不断完善并建立起的检测化合物发育毒性的标准方法,通过存活率、畸形率和生长抑制率等指标来表征化合物的毒性强弱^[8-9]。研究证实,FETAX作为一个可供选择的发育毒性筛选试验,比传统的哺乳动物作为发育毒性研究的受试生物更能节约动物数量、时间和资金^[10]。目前,FETAX试验主要应用于室内条件下化学物质的生物毒性及其在生物体内的转移、解毒和作用机制研究^[11-12],并逐渐被应用于环境样品的综合毒性评价中。非洲爪蟾(*Xenopus laevis*)是FETAX的试验动物,作为非洲爪蟾的近亲,热带爪蟾(*Xenopus tropicalis*)具有个体更小、生长周期更短(3~6个月)、产卵量更大(2 000~3 000个)、基因组结构(2倍体)更简单和胚胎发育更快等优点^[13-15]。今

采用热带爪蟾(*X. tropicalis*)胚胎检测工厂水処理系统进出水的发育毒性,为工业废水的监测和治理提供科学依据。

1 试验

1.1 主要仪器与试剂

ZEISS SteREO Discovery V8 体视显微镜和 ZEISS AxioCam ICc 3 显微照相系统,德国 Carl Zeiss 公司;TDZ5-WS 低速离心机,上海卢湘仪离心机仪器有限公司。

间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐(MS-222),Sigma-Aldrich 公司;人绒毛膜促性腺激素(HCG),宁波第二激素厂;其余试剂均为国产分析纯。

1.2 样品的采集

通过对江苏省常州市各典型企业工业污水处理工艺流程、污水处理量以及排放情况进行现场走访调研,选取8家工厂为采样点,企业污水排放状况见表1。采集各工厂污水处理系统的进出水水样,用棕色瓶分装并贴好标签,4℃下保存。

表1 常州市8家企业工业废水排放状况

Table 1 The emission conditions of wastewater from eight different typical industries in Changzhou

采样点	所属行业	废水的主要成分或性质	设计日处理量 Q/t	实际日处理量 Q/t	排放时间	排放去向
S1	电镀	铜、酸性	200	80~100	8:00—19:30	南阳河
S2	电子	碱性、铜、表面活性剂、有机溶剂	1 200		连续	德胜河
S3	啤酒	麦芽、淀粉	5 000	2 500	连续	江边污水厂
S4	电镀		240			南运河
S5	综合	含苯系物	20 000	8 000	间歇	新运河
S6	印染	针织印染废水	10 000	10 000	连续	采菱港
S7	制药	酒精、丙酮	1 000	800	连续	京杭运河
S8	化工	含铁、铜等重金属;含树脂类、苯酚类	2 500	1 000	连续	武宜运河

1.3 工业废水常规项目的测定

现场测量采样点的常规理化数据(温度、pH值、电导率等),并将样品带回实验室,按照《水质 pH值的测定 玻璃电极法》(GB 6920-86)《水质化学需氧量的测定 重铬酸盐法》(GB 11914-89)《水质 五日生化需氧量(BOD₅)的测定 稀释与接种法》(HJ 505-2009)《水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法》(HJ 535-2009)《水和废水监测分析方法》(第4版)分别测定 pH值、COD、BOD₅、氨氮和电导率。

1.4 工业废水发育毒性的测定

1.4.1 热带爪蟾胚胎的获取

挑选实验室养殖的性成熟热带爪蟾15对,采用人工注射人绒毛膜促性腺激素(HCG)的方法诱导产卵,每对爪蟾各注射2次(初次注射20 IU,36 h后注射100 IU)。待爪蟾抱对产卵结束后,从产卵较好的3对爪蟾中,挑选出达到NF10~11阶段且发育正常的胚胎。

1.4.2 暴露实验

采用ringer溶液^[16]作为对照组,与试验组各设4个平行。在24孔板上试验,每孔放入10个胚胎,加入3 mL水样。暴露条件:25℃多功能培养箱24 h后换液,记录孵化个数,并将未孵化的胚胎挑出,48 h后统计死亡个数。

1.4.3 胚胎的观察与分析

将存活胚胎用 100 mg/L MS-222 麻醉处理后固定于 4% 的甲醛溶液中。取出经固定的胚胎,在解剖镜下观察胚胎的发育状况,用显微照相系统(ZEISS AxioCam ICc 3)拍照。相关指标有 4 个:①孵化率(孵化出的幼体占受精卵的百分比);②存活率(胚胎在 48 h 内存活个体数占孵化出总个体数的百分比);③体长(胚胎头部至尾尖的直线长度);④畸形率(48 h 后胚胎畸形个体数占总存活个体数的百分比)。

1.4.4 数据处理

以每孔中的胚胎为一个平行样,数据以平均值±标准差(SD)表示,n=4。用 SPSS 16.0 分析差异性,其中所有百分比数据的差异性均先平方根,反正弦转换后再用 Tukey-test 分析,方差齐时用 Dunnett 检验组间差异,不齐时用 Dunnett's T3

检验。

2 结果

2.1 工业废水水质状况

参照《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB 32/1072-2007)^[17]和《污水综合排放标准》(GB 8978-1996)^[18],通过对比 8 组水样的进出水理化指标(见表 2),发现经污水处理系统处理后,水质明显好转:S1、S2、S3 和 S4 pH 值分别由 1.30、11.97、10.05 和 1.84 恢复到了 6~9 之间;S3、S4、S5 和 S8 的氨氮值以及 S3、S7 和 S8 的 BOD₅ 值均明显下降,满足达标排放标准;COD 值也显著降低,可 S2、S3 和 S6 的 COD 值均已超过太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值,超标量分别为 53.8%、36.2% 和 78.0%。

表 2 各采样点污水处理系统进出水理化指标

Table 2 The physicochemical index of influent and effluent from different wastewater treatment systems

样点	采样位置	pH 值	电导率	氨氮	总磷	COD	BOD ₅
			$\kappa/(mS \cdot m^{-1})$	$\rho/(mg \cdot L^{-1})$	$\rho/(mg \cdot L^{-1})$	$\rho/(mg \cdot L^{-1})$	$\rho/(mg \cdot L^{-1})$
S1	进水	1.30	61	0.515	—	189	70.0
	出水	6.70	32	0.025	—	14.0	2.90
S2	进水	11.97	366	0.949	0.326	161	67.6
	出水	8.76	367	0.039	0.098	123	23.2
S3	进水	10.05	75	110	—	787	262
	出水	7.10	84	3.94	—	109	49.0
S4	进水	1.84	90	21.9	—	126	39.3
	出水	6.15	10	0.0250	—	28.0	4.70
S5	进水	7.20	175	32.5	2.31	191	76.5
	出水	7.37	194	0.115	0.143	35.0	4.90
S6	进水	7.64	86	0.165	0.189	161	63.4
	出水	8.40	195	0.039	0.037	89.0	16.3
S7	进水	7.14	87	0.183	0.371	356	131
	出水	7.51	96	0.044	0.040	15.0	2.00
S8	进水	7.70	321	57.3	1.97	987	360
	出水	7.39	151	1.42	0.088	53	17.0
排放标准值 ^①		6~9		5	0.5	80(50)	150

① pH、氨氮、总磷和 COD 执行文献[17]标准,其中印染行业 S6 执行 COD 排放标准 50 mg/L; BOD₅ 执行文献[18]二级排放标准。

2.2 污水处理系统进出水对热带爪蟾胚胎的影响

热带爪蟾胚胎测定污水处理系统进出水发育毒性,结果见表 3。由表 3 可知,各进水水样测定结果:S1、S2、S4 和 S6 水样中的胚胎均未孵化,S3 的孵化率为 27.5%,S5、S7 和 S8 的胚胎全部孵化;S7 的存活率为 97.5%,其余点位全部死亡。各出水水样测定结果:S1、S2 和 S4 水样中的胚胎孵化

率为 100%,S6 水样中的胚胎孵化率较进水水样增加了 7.5%;S8 水样中出水存活率与进水相比增加了 25%,S5 水样中的胚胎也由进水的全部死亡变为全部存活。各点位水样对胚胎造成不同程度的畸形,主要特征有色素减少、鳍变窄、泄殖腔膨大、体轴弯曲和眼睛畸形等,见图 1。进水中,仅 S7 有存活,畸形率为 2.5%,与对照组相当。出水中,

S2、S5 和 S7 与对照相比无显著差异，S1 的畸形率为 25%，S4 和 S8 则分别达到了 87.5% 和 58.3%，试验表明，经过污水处理系统处理后，出水水质的整体状况变好。

表 3 热带爪蟾胚胎测定污水处理系统进出水发育毒性的结果
Table 3 The developmental toxicity measurement of influent and effluent from wastewater treatment plants by *Xenopus tropicalis* embryos

样点	采样位置	孵化率 / %	存活率 / %	体长 <i>l</i> / mm	畸形率 / %
对照组		100 ± 0	100 ± 0	4.54 ± 0.07	2.5 ± 5.0
S1	进水	0 ± 0 ^①			
	出水	100 ± 0	100 ± 0	3.88 ± 0.05 ^①	25.0 ± 5.8 ^②
S2	进水	0 ± 0 ^①			
	出水	100 ± 0	95.0 ± 5.8	4.35 ± 0.04 ^②	0 ± 0
S3	进水	27.5 ± 5.0	0 ± 0 ^①		
	出水	100 ± 0	0 ± 0 ^①		
S4	进水	0 ± 0 ^①			
	出水	100 ± 0	100 ± 0	3.73 ± 0.07 ^①	87.5 ± 5.0 ^①
S5	进水	100 ± 0	0 ± 0 ^①		
	出水	97.5 ± 5.0	100 ± 0	4.52 ± 0.08	2.5 ± 5.0
S6	进水	0 ± 0 ^①			
	出水	7.5 ± 5.0 ^①	0 ± 0 ^①		
S7	进水	100 ± 0	97.5 ± 5.0	4.39 ± 0.03	2.5 ± 5.0
	出水	100 ± 0	100 ± 0	4.35 ± 0.04 ^②	0 ± 0
S8	进水	100 ± 0	0 ± 0 ^①		
	出水	100 ± 0	25.0 ± 5.8 ^①	3.93 ± 0.05 ^①	58.3 ± 9.6 ^③

①与对照组相比，显著性差异 $P < 0.001$ ；② $P < 0.05$ ；③ $P < 0.01$ 。

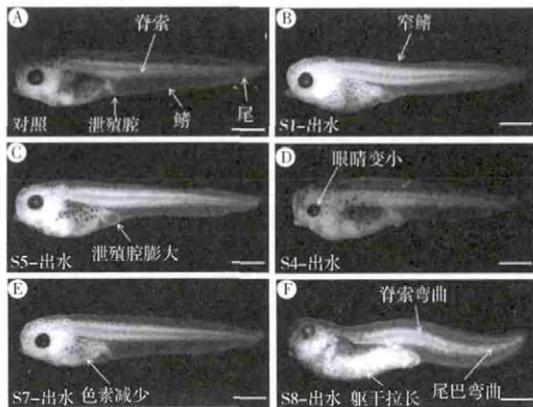


图 1 工厂废水对热带爪蟾胚胎的致畸效应

Fig. 1 Teratogenic effects of effluent from different wastewater treatment plants on *Xenopus tropicalis* embryos

2.3 热带爪蟾胚胎对工业废水毒性的表征

在监测的 8 个点位中，进水水样总体孵化率极低，表明未经处理的工业废水具有很强的生态毒性，严重影响胚胎孵化。电子和电镀行业废水 pH 值过高或过低是导致胚胎均未孵化的主要原因。S5 和 S8 的高氨氮也致使热带爪蟾胚胎在孵化后全部死亡。S6 较 S7 的各项理化指标值均较低，胚

胎孵化率却分别为 0 和 100%，这可能是 S6(印染企业) 的进水中含有较多难降解有毒污染物所致。污水经处理后，S3 和 S6 的出水存活率依然为 0，这与出水中较高的 COD 和 BOD 水平有关。S1、S4 和 S8 出水胚胎畸形率较高，表明废水经污水系统处理后依然具有较强的毒性，而理化指标却显示水样治理效果良好，已达到排放标准。S1 和 S4 出水理化指标值较低，却产生了较高的胚胎畸形率，表明出水水样中可能含有未列入监测范围的有毒污染物，因此常规理化监测有时无法反映废水的毒性。

邹叶娜等^[19]采用成组生物毒性测试(包括发光细菌急性毒性实验、大型蚤急性毒性试验和单细胞凝胶电泳试验) 研究了常州市典型企业污水处理厂进出水的综合毒性，同样表明理化指标达到排放标准的出水，却仍然具有较大的急性毒性和遗传毒性。这些工厂的废水直接排入城市河道，势必会对城市水生生态系统和水质安全产生威胁。

综上所述，S3、S4、S6 和 S8 的出水发育毒性明显大于其他各样点，毒性大小顺序为 S6 > S3 > S8 > S4。S3、S4 和 S6 分别为啤酒、电镀和印染工业，

尽管我国也制定了相应的行业污染物排放标准^[20-22],可相应的理化指标并不能反映出废水排放到自然环境中对生物的综合毒性^[23]。热带爪蟾胚胎检测结果利用胚胎孵化率、死亡率、畸形率以及畸形类型等指标可以对不同点位的工业废水水样进行毒性表征。

2.4 热带爪蟾胚胎在工业废水监测中应用的可行性

目前我国仍没有工业废水毒性测试方法及毒性排放控制标准。虽然,利用生物检测技术评价工业废水的毒性已有大量试验基础^[24-25],但仍需筛选多种代表性敏感水生生物才能更加客观准确地评价废水毒性。FETAX 对低浓度的污染物表现出较强的敏感性^[26-29],已作为评价化合物发育毒性的有效方法,被用于多种不同类型环境样品的生态毒性检测,为工业废水的毒性检测提供了一种快速有效的毒性监测方法。此外,已有研究表明,不同的污染物导致热带爪蟾胚胎畸形现象也不一样,且某些污染物能导致爪蟾胚胎产生独特的畸形表型,如用环境浓度三丁基氯化锡(50 ng/L ~ 400 ng/L TBTCI)对热带爪蟾胚胎进行 24 h、36 h 和 48 h 暴露能够导致胚胎眼睛异常、泄殖腔突出和鳍变窄等多种畸形现象^[30]。随着对不同污染物致畸机制的深入研究,热带爪蟾胚胎的畸形表型可为污染物识别提供帮助^[31-32]。

尽管将热带爪蟾胚胎应用于工业废水的生物监测尚处于起步阶段,但其所需要的时间短、经济成本低,暴露 48 h 便可获得各项评价指标,操作简便易行,表现出巨大优势。目前,仅参照现有的指标无法进一步区分不同工厂污水的水质状况,在以后的研究中应考虑将畸形指标量化、各个类型的畸形程度等级化,并结合不同器官的致畸权重系数评判致畸等级。总之,热带爪蟾作为一种评价环境样品毒性的生物已得到越来越多的认可^[33],随着热带爪蟾模式生物在各领域研究的发展,其在工业废水监测中的应用也会更加广泛深入。

3 结语

运用热带爪蟾胚胎检测常州 8 家典型行业工业废水的发育毒性,结果热带爪蟾胚胎对不同点位水样具有表现出不同毒性的效应,可以较好地应用于废水发育毒性的检测。单纯的理化指标已不能

满足当今水质评价的要求,将理化检测与毒理学检测相结合,是综合评价水体质量的有效方法。

[参考文献]

- [1] 於方,张强,过孝民. 中国主要工业废水排放行业的污染特征与行业治理重点[J]. 环境保护 2003(10): 38-44.
- [2] 胡洪营,吴乾元,杨扬,等. 面向毒性控制的工业废水水质安全评价与管理方法[J]. 环境工程技术学报,2011(1): 46-51.
- [3] 尹亮,逢勇,潘晨,等. 常州市水源地水污染风险等级判定[J]. 水资源保护 2013 29(2): 28-32.
- [4] 张文艺,王立岩,李定龙,等. 加工工业城市-常州市城市生态安全评价[J]. 中国安全科学学报 2010 20(2): 155-159.
- [5] 国家环保总局,国家质量监督检验检疫总局. GB 3838-2002 地表水环境质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社 2002.
- [6] 陈建,韩小波,金洪钧. 工业废水和城市综合污水的环境风险管理[J]. 水科学进展 2007 18(4): 614-622.
- [7] 秦占芬,徐晓白. 非洲爪蟾在生态毒理学研究中的应用: 概述和实验动物质量控制[J]. 科学通报 2006 51(8): 873-887.
- [8] American Society for Testing and Materials (ASTM). Standard guide for conducting the frog embryo teratogenesis assay-Xenopus (FETAX), E1439-91. In: Annual Book of ASTM Standards [M]. Philadelphia: ASTM, 1998: 826-836.
- [9] FORT ROGERS D J, PAUL R L, et al. Effects of pond water, sediment and sediment extract samples from New Hampshire, USA on early *Xenopus* development and metamorphosis: Comparison to native species [J]. Journal of Applied Toxicology 2001, 21: 199-209.
- [10] CARDELLINI P, OMETTO L. Teratogenic and toxic effects of alcohol ethoxylate and alcohol ethoxy sulfate surfactants on *Xenopus laevis* embryos and tadpoles [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety 2001 48(2): 170-177.
- [11] CHENON P, GAUTHIER L, LOUBIERES P, et al. Evaluation of the genotoxic and teratogenic potential of a municipal sludge and sludge-amended soil using the amphibian *Xenopus laevis* and the tobacco: *Nicotiana tabacum* L. var. *xanthi* Dulieu [J]. Science of the Total Environment 2003 301(1-3): 139-150.
- [12] DI R F, BACCHETTA R, BIZZO A, et al. Is the amphibian *X. laevis* WEC a good alternative method to rodent WEC teratogenicity assay? The example of the three triazole derivative fungicides triadimefon, tebuconazole, cyproconazole [J]. Reproductive Toxicology 2011 32(2): 220-226.
- [13] 来松涛,魏于全,邓洪新,等. 模式生物——爪蟾在生物医学上的应用[J]. 自然科学进展 2006 16(9): 1074-1078.
- [14] EMBRY M R, BELANGER S E, BBAUNBECK T A, et al. The fish embryo toxicity test as an animal alternative method in hazard and risk assessment and scientific research [J]. Aquatic Toxicology 2010 2(15): 79-87.

(下转第 70 页)

5 结论

①电厂燃煤煤质、除尘器、除雾器以及锅炉运行工况负荷是影响 K 值的外界条件,但这些影响条件都是通过改变脱硫进口颗粒物浓度值来影响 K 值的。②当脱硫进口颗粒物浓度较低、波动范围较小时,其 K 值也维持相对稳定的状态;当脱硫进口颗粒物浓度较高、波动范围较大时,其 K 值也会发生较大的变化。③一般情况下,当脱硫进口颗粒物浓度升高时, K 值会有所下降,但脱硫进口颗粒物浓度过高时,因超出脱硫系统对颗粒物脱除的承受能力,造成出口颗粒物浓度较高, K 值也会相应变大。

[参考文献]

[1] 国家环境保护总局. HJ /T 75 - 2007 固定污染源烟气排放

(上接第 60 页)

- [15] ELLSTEN U ,HARLAND R M ,GILCHRIST M J ,et al. The genome of the western clawed frog *Xenopus tropicalis* [J]. Science , 2010 ,328: 633 -636.
- [16] SIVE H L ,GRAINGER R M ,HARLAND R M. Early development of *Xenopus laevis*: a laboratory manual [M]. NY : Cold Spring Harbor Laboratory Press 2000: 285.
- [17] 江苏省环保厅,江苏省质量技术监督局. DB 32/1072 - 2007 太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值[S]. 北京: 中国环境科学出版社 2007.
- [18] 国家环境保护局,国家技术监督局. GB 8978 - 1996 污水综合排放标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [19] 邹叶娜,蔡焕兴,薛银刚,等. 成组生物毒性测试法综合评价典型工业废水毒性[J]. 生态毒理学报, 2012, 7(4): 381 - 388.
- [20] 国家环境保护部,国家质量监督检验检疫总局. GB 19821 - 2005 啤酒工业污染物排放标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社 2005.
- [21] 国家环境保护局,国家技术监督局. GB 4287 - 92 纺织染整工业水污染物排放标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.
- [22] 国家环境保护部,国家质量监督检验检疫总局. GB 21900 - 2008 电镀污染物排放标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社 2008.
- [23] 王子健,骆坚平,查金苗. 水体沉积物毒性鉴别与评价研究进展[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(12): 35 - 41.
- [24] WANG L S ,HU H Y ,WANG C. Effect of ammonia nitrogen and dissolved organic matter fractions on the genotoxicity of wastewater effluent during chlorine disinfection[J]. Environmental Science & Technology 2007 41 (1): 160 - 165.
- [25] MA T W ,WAN X Q ,HUANG Q H ,et al. Biomarker responses and reproductive toxicity of the effluent from a Chinese large sewer

连续监测技术规范(试行) [S]. 北京: 中国环境科学出版社 2007.

- [2] 裴冰, 万方. CEMS 比对监测相关问题探讨[J]. 环境监测管理 2010 22(2): 8 - 10.
- [3] 潘柳青. CEMS 比对监测要求探讨[J]. 环境监测管理 2008 20(3): 58 - 59.
- [4] 王琿,宋蕾,姚强,等. 电厂湿法脱硫系统对烟气中细颗粒物脱出作用的实验研究[J]. 中国机电工程学报, 2008 28(5): 1 - 7.
- [5] 郭玉泉,姬中国,郝卫东,等. 燃煤电厂煤质波动的影响与对策分析[J]. 煤质技术 2007 5(3): 1 - 2.
- [6] 刘振琪. 煤质变化对锅炉机组运行状况的影响[J]. 锅炉制造 2003 2(1): 15 - 16.
- [7] 沈桂南. 煤质变化对锅炉经济型的影响[J]. 华东电力 2005 (3): 29 - 31.

本栏目责任编辑 陈宝琳 吴珊 姚朝英

age treatment plant in Japanese medaka (*Oryzias latipes*) [J]. Chemosphere 2005 59(2): 281 - 288.

- [26] MANTECCA P ,GUALTIERI M ,ANDRIOLETTI M ,et al. Tire debris organic extract affects *Xenopus* development [J]. Environment International 2007 33(5): 642 - 648.
- [27] GUTLEB A C ,MOSSINK L ,SCHRIKS M ,et al. Delayed effects of environmentally relevant concentrations of 3,3',4,4'-tetrachlorobiphenyl (PCB-77) and non-polar sediment extracts detected in the prolonged-FETAX [J]. Science of the Total Environment , 2007 381(1-3): 307 - 315.
- [28] 薛银刚,蔡焕兴,徐东炯,等. 热带爪蟾胚胎在水质监测中的应用[J]. 环境监控与预警 2012 4(4): 20 - 23.
- [29] FORT D J ,THOMAS J H ,ROGERS R L ,et al. Evaluation of the developmental and reproductive toxicity of methoxychlor using an anuran (*Xenopus tropicalis*) chronic exposure model [J]. Oxford Journals 2004 81(2): 443 - 453.
- [30] GUO S Z ,QIAN L J ,SHI H H ,et al. Effects of tributyltin (TBT) on *Xenopus tropicalis* embryos at environmentally relevant concentrations [J]. Chemosphere 2010 79(5): 529 - 533.
- [31] GYLLENHAMMAR I ,HOLM L ,EKLUND R ,et al. Reproductive toxicity in *Xenopus tropicalis* after developmental exposure to environmental concentrations of ethynylestradiol [J]. Aquatic Toxicology 2009 91(2): 171 - 178.
- [32] SHI H H ,YANG B ,HUANG M S ,et al. The toxicity of sediments from the black-odors river of Wenzhou, China, to the embryos of *Xenopus tropicalis* [J]. Fresenius Environment Bulletin 2012 21 (12B): 3952 - 3958.
- [33] BERGA C ,GYLLENHAMMARA I ,KVARNRYDA M. *Xenopus tropicalis* as a test system for developmental and reproductive toxicity [J]. Journal of Toxicology and Environmental Health 2009 , 72(3-4): 219 - 225.