

林丹短期暴露对斑马鱼生长发育和繁殖的影响

吴迪¹, 单正军^{2①}, 韩志华², 丁科¹ (1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

摘要: 以斑马鱼为受试生物, 研究在低浓度 (0.005, 0.05, 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) 林丹暴露条件下, 林丹对斑马鱼体长、体质量、肝脏指数、性腺指数、产卵量和受精率的影响。结果显示, 经 14 d 暴露后, 处理组斑马鱼体长和体质量与空白对照组或溶剂对照组之间差异不显著; 与空白对照组和溶剂对照组相比, 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组雄性和雌性斑马鱼肝脏指数均显著增加 ($P < 0.05$), 雄性斑马鱼性腺指数显著降低 ($P < 0.05$), 其他处理组无明显变化; 林丹对斑马鱼产卵量和受精率表现出明显的抑制作用, 与空白对照组相比, 0.05 和 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组斑马鱼平均产卵量和受精率均极显著降低 ($P < 0.01$)。该研究表明林丹具有环境内分泌干扰物特性, 在低浓度暴露条件下可对斑马鱼的生长发育和繁殖产生一定抑制影响。

关键词: 林丹; 斑马鱼; 生长; 发育; 繁殖

中图分类号: X174 文献标志码: A 文章编号: 1673-4831(2011)01-0049-05

Effects of Short Term Exposure to Lindane on Growth and Reproduction of Zebrafish WU Di¹, SHAN Zheng-jun², HAN Zhi-hua², DING Ke¹ (1 College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China)

Abstract Effects of exposure to low concentrations (0.005, 0.05, 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) of lindane on body length, body weight, hepatosomatic index (HSI), gonadosomatic index (GSI), spawning and fertilization of zebrafish were studied. Results show that after 14 days of exposure, zebrafish in all the treatments did not have much difference from those in the controls (without lindane and just with solvent) in body length and body weight. But in Treatment 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, the HSI of both male and female zebrafish increased significantly ($P < 0.05$) and only the GSI of male zebrafish decreased significantly ($P < 0.05$), while no obvious changes in the two indices were found in the other treatments. Compared with what was found in the two controls, lindane remarkably inhibited zebrafish reproduction behavior and reduced spawning and fertilization rate, particularly in Treatments 0.05 and 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ($P < 0.01$). The findings demonstrate that lindane in the environment is an endocrine disruptor that inhibits to a certain extent the growth and reproduction of zebrafish at low concentration.

Key words lindane; zebrafish; growth; development; reproduction

环境内分泌干扰物 (endocrine disrupting chemicals, EDCs) 指能干扰生物体内天然激素 (包括雌激素、甲状腺素、儿茶酚胺、睾酮等) 的合成、分泌、运输、结合、作用、代谢或消除, 并对生物个体的生殖发育及行为产生多方面影响的外源化学物质^[1]。由于这类物质对人类及动物生理机能和繁殖发育产生了严重影响, 近年来受到普遍关注, 成为国际研究的热点之一。

斑马鱼是生态毒理学研究中常用的模式生物。近年来, 有关运用斑马鱼研究环境内分泌干扰物的报道很多。VANDEN 等^[2-3] 研究表明, 17 α -乙炔雌二醇 (EE₂) 能强烈抑制斑马鱼的生长发育和雌鱼的生殖力, 使雌鱼卵巢退化, 产卵量减少, 雌雄鱼的性腺指数 (GSI) 下降; 辛基苯酚 (OP) 会影响雌鱼的性

腺指数 (GSI); BRIDN 等^[4] 将斑马鱼暴露在 17 β -雌二醇 (E₂) 下, 发现斑马鱼的产卵量、孵化率等都受到一定程度的影响; WEBER 等^[5] 报道, EE₂ 和壬基酚会导致斑马鱼成熟精子减少, 三丁基锡等内分泌干扰物质会使斑马鱼精子质量下降。多氯联苯 (PCBs) 通过影响甲状腺的合成, 可导致鱼体内甲状腺水平下降, 从而造成鱼类生长缓慢^[6]。

笔者以斑马鱼为研究对象, 以林丹为受试药物, 经过 14 d 的短期暴露, 研究不同暴露浓度下, 林丹

收稿日期: 2010-09-02

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (2007-107); 环保公益性行业科研专项 (200909091)

①通信作者 E-mail: sz@nies.org

对斑马鱼生长发育、肝脏指数、性腺指数、受精率等的影响。林丹(又称 γ -六六六)半衰期长(在 25 °C 中性水中,半衰期 $> 1\ 000\ d^{[71]}$),是我国地表水中检出率较高的农药品种之一。1998 年被美国环境保护局列入 67 种危害人体和生物的“环境内分泌干扰物”之中。2009 年 5 月在瑞士日内瓦举行的斯德哥尔摩公约缔约方大会第四届会议(COP-4)决定将林丹列入《斯德哥尔摩公约》附录 A。我国曾经是林丹的生产和使用大国,开展林丹对鱼类生长发育及生殖影响的研究,可为林丹的环境管理和污染控制提供相应的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 供试生物

斑马鱼(*Brachydanio rerio*)由国家环境保护农药环境评价与污染控制重点实验室提供。选取同一批卵孵化 120 d 后的性成熟个体作为试验用鱼,试验前将斑马鱼在室温(25 ± 1) °C、 $t(\text{光}):t(\text{暗}) = 16\text{ h}:8\text{ h}$ 条件下驯养 2 周,每天定时定量喂食 3 次,驯养期间斑马鱼死亡率不超过 5%。正式试验前分别测量雌雄鱼体质量和体长,雄鱼平均体质量为(0.43 ± 0.02) g 平均体长为(3.69 ± 0.07) cm,雌鱼平均体质量为(0.70 ± 0.04) g 平均体长为(3.90 ± 0.07) cm。

1.2 供试药品

林丹标准品($w = 98.5\%$)购自德国 DR 公司,丙酮(分析纯)购自国药集团化学试剂有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 暴露处理

采用经济合作与发展组织(OECD)鱼类短期繁殖试验方法^①。为保证试验期间药物对鱼类的安全性,浓度设置要求不超过 $\rho(\text{LC}_{50})$ 的 10%。查阅相关文献[8-9]得知林丹对斑马鱼的 $\rho(96\text{ h LC}_{50})$ 约为 $100\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,笔者主要研究低浓度林丹对斑马鱼生长发育的影响,故处理浓度设置为 0.005、0.05、0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,助溶剂为丙酮,每个浓度设置 3 个平行,并设置空白对照和溶剂对照。在玻璃鱼缸(40 cm × 25 cm × 25 cm)中分别配制上述各浓度的试验液 15 L,各处理组丙酮的最大体积分数应 $< 0.1\%$ 。分别放置 20 条斑马鱼(雌雄各一半)于各处理组及对照组鱼缸中,试验采用每隔 24 h 更换全部药液的半静态方式进行暴露,暴露周期为 14 d 暴露期间每天喂食 3 次,其余条件与驯养期间相同。试验用水为经活性炭过滤并充分曝气的自来水,水温为(25 ± 1) °C, pH 值为 6.5~8.5,溶解

氧)为(8.5 ± 0.5) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

1.3.2 取样及斑马鱼生长发育、繁殖指标的测定

暴露期间,每日待斑马鱼产卵结束后,收集各处理组及对照组的鱼卵,分别记录各组的产卵量和受精率,统计 14 d 暴露期间各组的产卵总数,并计算各组中每对斑马鱼的日平均产卵量。产卵总数为某处理组或对照组 14 d 暴露期间内产卵总粒数。受精率为受精卵占产卵总数的百分比。

14 d 暴露期结束后,于各处理组及对照组鱼缸中分别取 5 尾雌鱼和 5 尾雄鱼,计算平均体质量和平均体长。各处理组及对照组鱼缸中剩余的 5 尾雌鱼和 5 尾雄鱼分别称重后进行解剖,取肝脏及性腺进行称重,并计算肝脏指数(hepaticosomatic index, HSI)和性腺指数(gonadosomatic index, GSI)。肝脏指数和性腺指数的计算公式分别为:肝脏指数 = (肝脏质量 / 体质量) × 100,性腺指数 = (性腺质量 / 体质量) × 100。

1.4 数据分析

试验数据均用平均值 ± 标准差表示,采用 SPSS 13.0 统计软件进行单因素方差分析。

2 结果与讨论

2.1 林丹对斑马鱼生长发育的影响

内分泌干扰物质会影响动物的正常生长发育,特别是对动物的早期生长发育影响比较明显^[10-12],其可通过作用于斑马鱼神经内分泌系统,扰乱生长激素的合成与分泌。笔者研究结果(表 1)表明,暴露于不同浓度林丹下,在 14 d 内斑马鱼体长和体质量与对照组之间无显著差异($P > 0.05$)。产生此现象的原因可能与试验用鱼为成熟期斑马鱼,而内分泌干扰物质会显著阻碍斑马鱼幼鱼的生长有关;也可能是由于试验的诱导时间只有 14 d 而短期诱导对成熟期斑马鱼体长和体质量的影响并不显著。

2.2 林丹对斑马鱼肝脏指数(HSI)的影响

在毒理学试验中 HSI 常常作为研究药物对动物毒性作用的重要指标。暴露于林丹下 14 d 后,0.005、0.05 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组斑马鱼 HSI 与对照组相比均无显著变化,而 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组雄鱼、雌鱼的 HSI 均显著高于对照组($P < 0.05$)和 0.005、0.05 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组($P < 0.05$),且雄鱼、雌鱼 HSI 分别比空白对照组增加 16.2% 和 23.5% (图 1)。HSI 增大可能是由于暴露于林丹下斑马鱼肝脏受损,肝细

① OECD Guidelines for Testing of Chemicals 2009. Effects on Biotic Systems Method 229. Fish Short Term Reproduction Assay. Adopted Sep. 7, 2009.

胞出现空泡、肿大、胞质疏松等变化。内分泌干扰物可使鱼类的肝组织受到损害,部分肝细胞肿大,细胞核萎缩变形,空泡增加等^[8,13],从而使鱼类的 HSI 显著升高。明玺等^[8]对暴露于林丹下的斑马鱼进行了组织学观察,发现暴露于 1.0 和 10 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 林丹下 36 d 后,斑马鱼肝脏组织结构发生了明显变化,

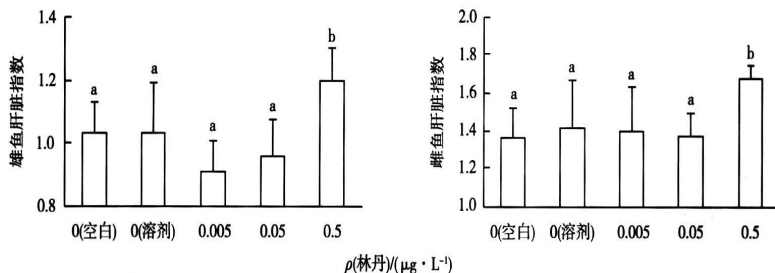
表现为部分肝细胞肿大,细胞核萎缩变形,胞质疏松,空泡明显增加,细胞质中出现脂沉积等;暴露于林丹下的虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*) 也出现肝糖原减少、分散高尔基体改变、次级溶酶体累积等现象^[14],这些结果都表明林丹对斑马鱼肝脏有一定影响。

表 1 不同暴露浓度下林丹对斑马鱼体长和体质量的影响

Table 1 Effects of exposure to lindane different in concentration on body length and weight of zebrafish

$\rho(\text{林丹}) /$ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	雄鱼		雌鱼	
	体长 /cm	体质量 /g	体长 /cm	体质量 /g
0(空白)	3.90 \pm 0.14 ^a	0.46 \pm 0.07 ^a	4.02 \pm 0.24 ^a	0.68 \pm 0.09 ^a
0(溶剂)	3.82 \pm 0.19 ^a	0.42 \pm 0.05 ^a	4.00 \pm 0.16 ^a	0.65 \pm 0.06 ^a
0.005	3.82 \pm 0.16 ^a	0.42 \pm 0.06 ^a	3.92 \pm 0.21 ^a	0.63 \pm 0.09 ^a
0.05	3.74 \pm 0.11 ^a	0.45 \pm 0.06 ^a	4.02 \pm 0.14 ^a	0.70 \pm 0.02 ^a
0.5	3.78 \pm 0.21 ^a	0.39 \pm 0.05 ^a	3.98 \pm 0.08 ^a	0.64 \pm 0.02 ^a

同一列英文小写字母不同表示处理间某指标差异显著 ($P < 0.05$), 反之则差异不显著 ($P > 0.05$)。



同一幅图中英文小写字母不同表示处理间某指标差异显著 ($P < 0.05$), 反之则差异不显著 ($P > 0.05$)。

图 1 林丹对斑马鱼肝脏指数的影响

Fig 1 Effects of exposure to lindane on hepatic somatotropic index (HSI) of zebrafish

2.3 林丹对斑马鱼性腺指数 (GSI) 的影响

GSI 是衡量鱼类生殖功能的重要指标,适用于卵生鱼种的雌雄两性。暴露 14 d 后,不同浓度林丹对雌性斑马鱼的 GSI 影响不显著,而雄性斑马鱼的 GSI 随着林丹暴露浓度的增加呈下降趋势,即使在 0.005 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 较低暴露浓度下也表现出抑制作用,0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组斑马鱼的 GSI 比空白对照组下降 37.2%, 达显著水平 ($P < 0.05$) (图 2)。该结果与前人研究结果一致, SULTAN 等^[15]研究表明,内分泌干扰物可使成年斑马鱼雄鱼 GSI 降低,说明斑马鱼的下丘脑、垂体或者性腺活动性下降。组织学研究表明,内分泌干扰物质可抑制雄鱼的性腺发育,使间质细胞增生,精子数量减少。内分泌干扰物会对雄性斑马鱼精巢的发育产生一定程度的抑制作用,精巢结构发生变化对精子的质量和数量具有直接影响,从而使斑马鱼繁殖能力下降。但 CHIKAE 等^[16]将鱼苗期的青鳉 (*Oryzias latipes*) 暴露于林丹下 21 d 发现雄鱼和雌鱼的 GSI 都显著降低^[16], 表

明林丹对雄鱼和雌鱼的性腺均有一定影响。与笔者试验结果略有差异。

2.4 林丹对斑马鱼产卵量和受精率的影响

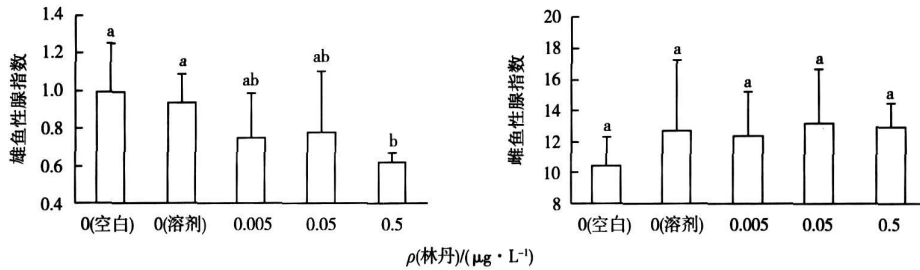
产卵量和受精率是衡量鱼类繁殖能力的重要指标,能够直接反映外源化合物对鱼类繁殖能力的影响。由图 3 可知,经林丹暴露 14 d 后 0.005 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组斑马鱼产卵量与对照组相比无显著差异。而 0.05 和 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组产卵量均极显著低于空白对照组 ($P < 0.01$) 和 0.005 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组 ($P < 0.05$), 产卵量分别比空白对照组下降 59.9% 和 79.0%。

由图 3 可知,经林丹暴露 14 d 后,0.005 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组斑马鱼受精率显著下降 ($P < 0.05$), 0.05 和 0.5 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理组与空白对照组相比差异极显著 ($P < 0.01$), 受精率分别降低 28.5% 和 40.4%。随林丹暴露浓度的升高,斑马鱼受精率呈逐步降低趋势。

国内外关于林丹对水生生物生殖能力影响的研

究也有一些报道。环境内分泌干扰物会对鱼类的繁殖产生较大影响,使鱼类成熟精子的数量减少,雌鱼生殖力降低,产卵量下降^[17-19]。暴露于林丹中 4 周,会使鲫鱼 (*Carassius auratus*) 的睾酮生成量减少, GSI 和促性腺素分泌量下降,而促性腺素分泌量的下降会抑制鲫鱼性腺的再生^[20]。林丹对绿虾 (*Neocarilina denticulata*) 的影响表现为可以引起一些生殖障碍和内分泌功能的紊乱^[21]。另外,对海胆

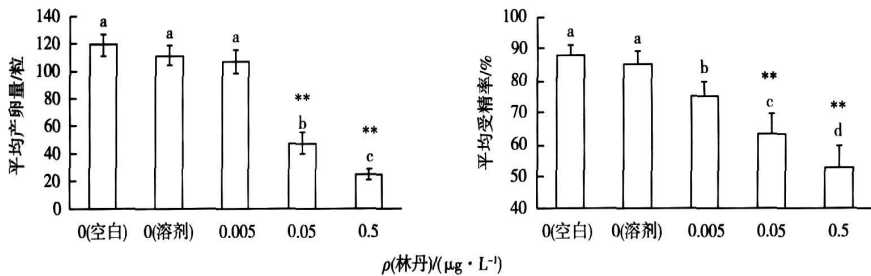
(*Paracentrotus lividus*) 生殖影响的研究表明,林丹暴露会损坏海胆的精子,从而降低受精率,并会改变一些卵细胞内控制有丝分裂和早期生长发育的生化途径^[22]。笔者试验结果表明林丹对斑马鱼的产卵量和受精率都有显著的抑制作用,可以推测,林丹影响了雄性斑马鱼的正常交配行为或精子质量,从而导致受精率下降,或是直接或间接抑制了雌鱼卵母细胞的发育。



同一幅图中英文小写字母不同表示处理间某指标差异显著 ($P < 0.05$), 反之则差异不显著 ($P > 0.05$)。

图 2 林丹对斑马鱼性腺指数的影响

Fig 2 Effects of exposure to lindane on gonadosomatic index (GSI) of zebrafish



同一幅图中英文小写字母不同表示处理间某指标差异显著 ($P < 0.05$), 反之则差异不显著 ($P > 0.05$)。

** 与空白对照组间差异极显著 ($P < 0.01$)。

图 3 林丹对斑马鱼产卵量和受精率的影响

Fig 3 Effects of exposure to lindane on spawning and fertilization rates of zebrafish

3 结论

(1) 在低浓度 (0.005, 0.05, 0.5 μg·L⁻¹) 林丹下暴露 14 d, 成熟期斑马鱼的体长和体质量与对照组相比无显著差异 ($P > 0.05$)。

(2) 在林丹下暴露 14 d 与空白对照组或溶剂对照组相比, 0.5 μg·L⁻¹ 处理组雄性和雌性斑马鱼肝脏指数均显著增加 ($P < 0.05$), 表明肝脏功能受到一定损害, 而 0.005, 0.05 μg·L⁻¹ 暴露组斑马鱼肝脏指数无显著变化 ($P > 0.05$)。

(3) 经林丹暴露 14 d 后, 雄性斑马鱼性腺指数随着林丹暴露浓度的增加呈下降趋势, 即使在 0.005 μg·L⁻¹ 较低暴露浓度下也表现出抑制作用, 与空白和溶剂对照组相比, 0.5 μg·L⁻¹ 处理组雄鱼

性腺指数显著降低 ($P < 0.05$)。

(4) 经林丹暴露 14 d 后, 0.05 和 0.5 μg·L⁻¹ 处理组斑马鱼平均产卵量和受精率与空白和溶剂对照组相比均极显著降低 ($P < 0.01$), 并且随着林丹暴露浓度的升高呈逐步降低趋势。林丹对斑马鱼产卵量和受精率表现出明显的抑制作用。

(5) 在低浓度暴露条件下, 林丹对斑马鱼的生长和繁殖产生一定影响, 表现出内分泌干扰物特性。

参考文献:

[1] 刘德英, 张剑波, 丁剑. 我国农药类环境内分泌干扰物使用现状和对策 [J]. 环境保护, 2005(6): 45-50.
 [2] VANDEN B K, VERHEYEN R, W ITERS H. Effects of 17α-ethynylestradiol in a Partial Life-Cycle Test With Zebrafish (*Danio rerio*): Effects on Growth, Gonads and Female Reproductive Suc

- cess[J]. *The Science of the Total Environment* 2003, 309(1/2/3): 127-137.
- [3] VANDEN B K, VERHEYEN R, WITTELS H. Reproductive Effects of Ethynylestradiol and 4-n-Octylphenol on the Zebrafish (*Danio rerio*) [J]. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2001, 41(4): 458-467.
- [4] BRIDN E, TYLER C R, PALAZZINI, *et al*. Impacts of 17 β -Estradiol Including Environmentally Relevant Concentrations on Reproduction After Exposure During Embryo-larval, Juvenile and Adult Life Stages in Zebrafish [J]. *Aquatic Toxicology*, 2004, 68(3): 193-217.
- [5] WEBER P L, HILL L R, JANZ M D. Developmental Estrogenic Exposure in Zebrafish (*Danio rerio*): II. Histological Evaluation of Gametogenesis and Organ Toxicity [J]. *Aquatic Toxicology*, 2003, 63(4): 431-446.
- [6] 姜雪, 汝少国, 田华. 内分泌扰乱化学物质对斑马鱼生长发育影响研究进展 [J]. *科技导报*, 2008, 26(23): 94-98.
- [7] 刘相梅, 彭平安, 黄伟林, 等. 酸度对林丹水解的影响 [J]. *中国环境科学*, 2002, 22(6): 485-489.
- [8] 明玺, 吴玲玲, 陈玲, 等. 林丹短期暴露下的斑马鱼组织学变化 [J]. *生态毒理学报*, 2006, 1(3): 243-248.
- [9] ENSENBACH U, NAGEL R. Toxicity of Complex Chemical Mixtures: Acute and Long-Term Effects on Different Life Stage of Zebrafish (*Brachydanio rerio*) [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1995, 30(2): 151-157.
- [10] HILL R L, JANZ M D. Developmental Estrogenic Exposure in Zebrafish (*Danio rerio*): I. Effects on Sex Ratio and Breeding Success [J]. *Aquatic Toxicology*, 2003, 63(4): 417-429.
- [11] 李洁斐, 李卫华, 杨健, 等. 17 α -雌二醇对斑马鱼的卵黄蛋白原及性腺发育的影响 [J]. *毒理学杂志*, 2006, 20(1): 9-12.
- [12] ALBONM B. An Endocrine Disrupter Increases Growth and Risky Behavior in Threespined Stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) [J]. *Hormones and Behavior*, 2004, 45(2): 108-114.
- [13] 吴翠翠. 己烯雌酚和辛基酚对真鲷幼鱼的雌激素效应研究 [J]. *水产科学*, 2008, 27(12): 611-614.
- [14] SYLVIE B R, PAIRAULT C, VERNET G, *et al*. Effect of Lindane on the Ultrastructure of the Liver of the Rainbow Trout *Oncorhynchus mykiss* Sac-Fry [J]. *Chemosphere*, 1996, 33(10): 2065-2079.
- [15] SULTAN C, BALAGUER P, TEROUANNE B, *et al*. Environmental Xenoestrogens, Antiandrogens and Disorders of Male Sexual Differentiation [J]. *Molecular Cellular Endocrinology*, 2001, 178(1/2): 78-105.
- [16] CHIKAE M, IKEDA R, HATANNO Y, *et al*. Effects of Bis(2-Ethylhexyl) phthalate, γ -Hexachlorocyclohexane, and 17 β -Estradiol on the Fry Stage of Medaka (*Oryzias latipes*) [J]. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2004, 18(1): 9-12.
- [17] 沈万赞, 周忠良, 李祥军. 双酚 A 和壬基酚长期暴露对斑马鱼繁殖的影响 [J]. *水产学报*, 2007, 31(增刊): 59-64.
- [18] 胡晓晴, 李卫华, 田芳, 等. 邻苯二甲酸二丁酯对 F1 代雄性斑马鱼性腺发育影响的研究 [J]. *卫生研究*, 2010, 39(2): 231-234.
- [19] IKEDA R, HIROFUMI Y, YUJIO Q, *et al*. Effects of 17 β -Estradiol on the Reproduction of Japanese Medaka (*Oryzias latipes*) [J]. *Chemosphere*, 2002, 47(1): 71-80.
- [20] SINGH P B, KMEDE E, EPLER P, *et al*. Impact of γ -Hexachlorocyclohexane Exposure on Plasma Gonadotropin Levels and in Vitro Stimulation of Gonadal Steroid Production by Carp Hypophysal Homogenate in *Carassius auratus* [J]. *Journal of Fish Biology*, 1994, 44(2): 195-204.
- [21] HUANG D J, CHEN H C, WU J P, *et al*. Reproduction Obstacles for the Female Green Neon Shrimp (*Neocaridina dentata*) After Exposure to Chlordane and Lindane [J]. *Chemosphere*, 2006, 64(1): 11-16.
- [22] PESANDO D, ROBERT S, HUITOREL P, *et al*. Effects of Methoxychlor, Dieldrin, and Lindane on Sea Urchin Fertilization and Early Development [J]. *Aquatic Toxicology*, 2004, 66(3): 225-239.

作者简介: 吴迪 (1986—), 女, 安徽宿州人, 硕士生, 主要从事农药环境安全评价和毒理学方面的研究。Email: rudy86688@163.com; wd86688@sohu.com