

文章编号: 1674 - 5566(2015)05 - 0712 - 07

## 印染排放尾水对几种海洋生物幼体的毒性研究

李磊, 蒋玫, 沈新强, 王云龙

(中国水产科学研究院东海水产研究所, 上海 200090)

**摘要:** 为了评估某印染工业园区印染排放尾水对海洋生物的毒性, 以甲壳类(脊尾白虾、三疣梭子蟹)、鱼类(半滑舌鳎、鲻鱼)、贝类(缢蛭)、螺类(泥螺)幼体为实验对象, 在 96 h 急性毒性实验的基础上, 结合毒性单位分级体系、潜在生态毒性效应指数法研究了印染排放尾水对海洋生物幼体的毒性。结果表明, 本实验印染废水经过污水处理厂处理后, 仅苯胺的含量超过了《纺织染整工业水污染物排放标准》, 但符合《污水综合排放标准》, 其余水质指标均符合两类排放标准。本实验的印染排放尾水对受试海洋生物幼体的 96 h-LC<sub>50</sub> 顺序为: 半滑舌鳎 > 脊尾白虾 > 鲻鱼 > 三疣梭子蟹 > 缢蛭 > 泥螺; 对受试生物幼体的毒性单位平均值为 4.16, 属于中毒水平; 对受试生物幼体的潜在生态毒性值为 4.72, 属于高毒水平。

**研究亮点:** 本文选择经污水处理厂处理后的印染排放尾水为染毒物质, 毒性效应研究对象涵盖了海洋水生生态系统中各水层的经济物种, 研究结果表明处理后的印染排放尾水依然对研究对象具有不同程度的毒性效应, 其中对海洋生物毒性单位分级评价结果为中毒水平, 潜在生态毒性效应评估结果则为高毒。

**关键词:** 印染排放尾水; 海洋生物幼体; 毒性

**中图分类号:** X171

**文献标志码:** A

印染废水是指纺织、印染加工过程中产生的混合废水, 主要由预处理废水、染色废水、印花废水和冲洗废水组成<sup>[1-2]</sup>。印染废水属于含有大量悬浮固体和难生化降解物质的有机废水, 成分复杂, 特别是近年来, 新型浆料、助剂等难以生化降解的有机物大量进入印染废水, 更是给废水处理增加了难度<sup>[3-5]</sup>。由于印染废水的复杂化学特性, 现有的废水处理工艺并不能将各类污染物完全去除, 当印染排放尾水排入水体后, 会导致水体溶解氧、透明度降低, 水体富营养化, 扰乱水生生态系统等一系列危害<sup>[6-7]</sup>, 甚至可能危及水生生物的生存<sup>[8-10]</sup>。目前, 废水的检测、评价手段主要是理化检测分析方法, 但识别废水中所有的有毒物质是相当困难的, 有限的理化指标也不能全面地反映废水的复合生物毒性, 生物毒性测试则能够弥补理化检测在这方面的不足, 在国内外已经得到了广泛的应用。FISHER 等<sup>[11]</sup>利用鳊鱼

(*Cyprinodon variegates*) 和巴西拟糠虾 (*Mysidopsis bahia*) 研究了工业和市政废水的急性和慢性毒性; RODRIGUEZ 等<sup>[12]</sup>利用大型蚤 (*Daphnia magna Straus*) 评价了工业和市政废水的毒性; 原居林等利用花鲢鱼类 (*Hemibarbus maculatus*) 评价了纺织印染废水的毒性<sup>[13]</sup>。印染废水对水生生物能够产生毒性效应已经取得了公认且有众多研究佐证, 但在正规实际操作中, 印染废水均经过了各类处理工艺处理后再排入水体, 而现有针对废水毒性的研究不能代表处理后的排放水的生态风险, 因此, 需要单独对经处理后直接排入水体的废水的生态安全性进行评估。

本研究以某印染工业园区经过污水处理厂处理后的印染排放尾水为染毒污染物, 受试对象包括海洋底栖甲壳类脊尾白虾 (*Exopalaemon carinicauda*)、三疣梭子蟹 (*Portunus trituberculatus*)、底层鱼类半滑舌鳎 (*Cynoglossus*

收稿日期: 2015-04-08 修回日期: 2015-05-17

基金项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费 (2014A02XK01)

作者简介: 李磊 (1985—), 男, 助理研究员, 研究方向为海洋生态毒理学研究。E-mail: zheyilee@126.com

通信作者: 王云龙, E-mail: yunlong\_wang@hotmail.com

*semilaevis*)、中上层鱼类鲮鱼 (*Mugil cephalus*)、底埋性双壳类缢蛭 (*Sinonovacula constricta*)、底埋性螺类泥螺 (*Bullacta exarata*), 囊括了海洋水生态系统中各个水层的经济生物。通过本实验的印染排放尾水对上述海洋生物幼体的急性毒性实验, 探讨分析本实验印染排放尾水对不同种类海洋生物幼体的毒性效应差异, 为本实验印染处理废水的生态风险评估、安全评价体系构建提供数据支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

实验用海洋生物幼体包括虾、蟹、鱼、贝、螺。虾为江苏省启东市自然海域捕获的抱卵脊尾白虾亲体经土池孵化后的糠虾幼体 (M2), 平均体质量 ( $0.296 \pm 0.090$ ) g; 蟹为抱卵三疣梭子蟹亲体经土池孵化后的仔蟹, 平均壳长 ( $2.4 \pm 0.2$ ) cm, 平均体质量 ( $4.56 \pm 1.10$ ) g; 鱼为启东市自然海域捕获的鲮鱼幼鱼, 平均体质量 ( $2.56 \pm 0.09$ ) g; 半滑舌鳎为初孵仔鱼, 平均体长为 ( $2.01 + 0.02$ ) mm, 贝为启东市自然海域滩涂采捕的缢蛭稚贝, 平均体质量 ( $2.26 \pm 0.13$ ) g; 螺为启东市自然海域滩涂采捕的泥螺幼体, 平均体质量 ( $2.34 \pm 0.09$ ) g。受试生物实验前暂养 7 d 并投喂相应饵料, 实验前 24 h 停止投喂。实验用海水为经沉淀、砂滤后的启东市自然海域海水。某印染工业园区污水处理工艺为: 调节沉淀 (调节水质、水量, 稳定后道工序的进水水质水量) - 厌氧 (对废水进行预处理, 改善其可生化性能, 吸附、降解一部分有机物) - 初沉 (使废水中悬浮物或块状体分离出来) - 好氧 (利用好氧微生物降解污水中有机污染物) - 二沉 (沉淀出废水中的生物膜碎片) - 混凝沉淀 (通过向污水中投加混凝剂, 使细小悬浮颗粒和胶体颗粒聚集成较粗大的颗粒而沉淀) - 出水。本实验印染废水有 3 种, 分别为未处理废水、一级沉淀池中的废水以及处理后的排放尾水, 采集水样经玻璃纤维膜过滤后将 pH 调节为 7.7 ~ 8.0, 密封后放置到 4°C 条件下保存。其理化性质的比较参照《污水综合排放标准》<sup>[14]</sup> 和《纺织染整工业水污染物排放标准》<sup>[15]</sup>。

### 1.2 实验设计

实验采用半静态实验方法, 首先进行预实

验, 确定受试生物全部死亡最低浓度 ( $LC_0$ ) 和 96 h 全部存活最高浓度 ( $LC_{100}$ ), 在此基础上将废水与过滤海水按体积比混合成为 100%、50%、25%、12.5% 和 6.25% 的实验溶液, 设置 5 个浓度组, 并用 NaCl 调节盐度至当地过滤天然海水盐度 (21), 同时以过滤海水作为对照组。实验在 1 L 玻璃烧杯中进行, 每一个浓度组设 3 个重复, 每个重复分别放置 30 只脊尾白虾糠虾幼体、10 只三疣梭子蟹仔蟹、30 尾半滑舌鳎幼体、30 尾鲮鱼幼体、15 个缢蛭稚贝、20 个泥螺幼体。实验进行 96 h, 期间不投饵, 每 24 h 100% 更换实验溶液。实验期间自然光照比, 水体温度保持为 21°C, 溶解氧 > 5 mg/L, 分别于第 24 h、48 h、72 h、96 h 时记录受试生物的死亡、活动情况, 及时清除受试生物的死亡个体及排泄物。

### 1.3 $LC_{50}$ 的计算方法

应用 DPS 数据处理系统 (浙江大学) 中的概率单位法计算印染排放尾水对受试生物的 96 h- $LC_{50}$ 。

### 1.4 毒性单位分级体系

参照 PERSOONE 等<sup>[16]</sup> 提出的毒性单位分级体系评价印染排放尾水的急性毒性, 其方法是在受试生物 96 h 急性毒性实验的基础上, 将  $LC_{50}$  值转换成毒性单位 ( $T_U$ ) 从而对水质进行等级划分。其计算公式为:

$$T_U = 1/LC_{50} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $LC_{50}$  是半致死浓度。使用多种生物毒性实验结果进行综合评价时, 分别计算出每种实验生物的  $T_U$  值, 最后取所有实验生物  $T_U$  值的平均值作为最终  $T_U$  值。毒性单位分级体系分级标准具体见表 1<sup>[16]</sup>。

表 1 废水毒性等级划分标准

Tab.1 Toxicity rank standard of effluents

| 毒性等级 toxicity rank | 等级 rank | $T_U$               |
|--------------------|---------|---------------------|
| 无毒 non-toxic       | I       | <0.4                |
| 微毒 low toxic       | II      | $0.4 \leq T_U < 1$  |
| 中毒 moderate toxic  | III     | $1 \leq T_U < 10$   |
| 高毒 highly toxic    | IV      | $10 \leq T_U < 100$ |
| 剧毒 severe toxic    | V       | $T_U \geq 100$      |

### 1.5 潜在生态毒性效应指数法

潜在毒性效应指数 (potential ecotoxic effects probe, PEEP) 综合考虑了废水毒性的降解性/持续性、多重性/特异性和废水排放量, 结构简单、

易于调节,可适用于特殊需要的生物测定类型,是一种评价工业废水潜在毒性效应的指标<sup>[17]</sup>。其计算公式为:

$$P = \log_{10} \left[ 1 + n \left( \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{N} \right) Q \right] \quad (2)$$

式中: $T_i$  为污染物  $i$  的毒性单位,  $T_i = 100/LC_{50}$ ;  $n$  为受试生物测定结果中有毒性反应的实验组数;  $N$  为参与评价的生物毒性指标数;  $Q$  为排水量 ( $m^3/h$ )。PEEP 分级标准具体见表 2。

## 2 结果与分析

### 2.1 印染排放尾水主要理化性质

本实验印染排放尾水主要理化性质如表 3 所示,可以看出,与未处理的印染废水、一级沉淀池中印染废水相比较,本实验印染排放尾水的盐

度、硝酸盐、可吸附有机卤素 (adsorbable organic halogen, AOX)、Cu、Zn 指标有所升高,其余指标均下降,各水质指标均符合《污水综合排放标准》,其中苯胺的含量超过了《纺织染整工业水污染物排放标准》,但其含量微弱 (0.003 mg/L)。

表 2 基于 PEEP 值的废水毒性等级划分标准  
Tab. 2 Toxicity rank standard of effluents based on PEEP values

| 毒性等级 toxicity rank | 等级 rank | PEEP                             |
|--------------------|---------|----------------------------------|
| 无毒 non-toxic       | I       | $\leq 1.99$                      |
| 微毒 low toxic       | II      | $2 \leq \text{PEEP 值} \leq 2.99$ |
| 中毒 moderate toxic  | III     | $3 \leq \text{PEEP 值} \leq 3.99$ |
| 高毒 highly toxic    | IV      | $4 \leq \text{PEEP 值} \leq 4.99$ |
| 剧毒 severe toxic    | V       | PEEP 值 $\geq 5$                  |

表 3 印染排放尾水主要水质指标及排放标准  
Tab. 3 Major characteristics of effluents and industry standards

| 项目 content                                      | 处理后 post-treatment | 一级沉淀池 first level filtering basin | 未处理 pre-treatment    | 纺织染整工业水污染物排放标准 waste water pollutants discharge standard for textile printing industry | 污水综合排放标准 integrated wastewater discharge standard |
|---|--------------------|-----------------------------------|----------------------|--|---|
| pH  | 8.08               | 7.80                              | 8.09                 | 6~9  | 6~9   |
| 悬浮物/(mg/L) suspended solids                     | 33                 | 69                                | 45                   | 50   | 70  |
| COD <sub>Cr</sub> /(mg/L)                       | 57.2               | 82.4                              | 394                  | 80   | 100   |
| BOD <sub>5</sub> /(mg/L)                        | 14.1               | 20.6                              | 99.1                 | 20   | 20  |
| 盐度 salinity                                     | 2.22               | 1.92                              | 1.06                 | -  | -   |
| 氨氮/(mg/L) ammonia-nitrogen                      | 0.535              | 1.50                              | 4.78                 | 10   | 15  |
| 硝酸盐/(mg/L) nitrate-nitrogen                     | 5.71               | 3.07                              | 0.182                | -  | -   |
| 亚硝酸盐/(mg/L) nitrite-nitrogen                    | ND                 | 0.748                             | ND                   | -  | -   |
| 硫化物/(mg/L) sulfide                              | ND                 | 31.3                              | 1280                 | 0.5  | 1.0   |
| 苯胺/(mg/L) aniline                               | 0.003              | 0.003                             | 0.004                | 不得检出 not detected  | 1.0   |
| 阴离子表面活性剂(LAS)/(mg/L) anionic surfactant         | 0.36               | 0.24                              | 2.38                 | -  | 5   |
| 可吸附有机卤化物(AOX)/(mg/L) adsorbable organic halogen | 0.1                | 0.081                             | 0.023                | 12   | 1   |
| 铜/(mg/L) Copper                                 | 0.03               | 0.03                              | 0.02                 | -  | 0.5   |
| 锌/(mg/L) Zinc                                   | 0.068              | 0.082                             | 0.052                | -  | 2   |
| 铅/(mg/L) Lead                                   | ND                 | ND                                | ND                   | -  | 1   |
| 镉/(mg/L) Cadmium                                | ND                 | ND                                | ND                   | -  | 0.1   |
| 总铬/(mg/L) total Chromium                        | ND                 | 0.02                              | 0.03                 | -  | 1.5   |
| 汞/(mg/L) Mercury                                | ND                 | ND                                | ND                   | -  | 0.05  |
| 砷/(mg/L) Arsenic                                | $2 \times 10^{-3}$ | $2.0 \times 10^{-3}$              | $4.9 \times 10^{-3}$ | -  | 0.5   |

注:“-”表示无标准,“ND”表示未检出。

Note:“-” indicates there was no standards, “ND” indicates non-detected.

### 2.2 印染排放尾水对几种海洋生物幼体的急性毒性效应

根据概率单位法计算得到本实验印染排放

尾水对受试生物的 96 h-LC<sub>50</sub> 以及剂量效应关系 (表 4),其中  $y$  为死亡的概率单位,  $x$  为本实验印染排放尾水的浓度对数值。相关系数  $r$  显示受试

海洋生物幼体死亡率与本实验印染排放尾水浓度之间有较强的正相关关系,同时, $\chi^2$  检验的  $P$  值均大于 0.05,表明剂量效应关系符合精度要求。96 h-LC<sub>50</sub>结果表明,本实验印染排放尾水对受试生物依然具有一定的毒性效应,对受试生物

幼体的毒性大小顺序为:半滑舌鳎(9.65%) > 脊尾白虾(23.62%) > 鲮鱼(24.14%) > 三疣梭子蟹(37.69%) > 缢蛭(55.21%) > 泥螺(57.26%)。

表 4 印染排放尾水对海洋生物幼体的急性毒性实验结果  
Tab.4 Acute-toxicity of effluents on juvenile marine animals

| 项目 content                             | 生物种类 species                  |                                    |                              |                          |                            |                         |
|--|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------|
|  | 脊尾白虾<br><i>E. carinicauda</i> | 三疣梭子蟹<br><i>P. trituberculatus</i> | 半滑舌鳎<br><i>C. semilaevis</i> | 鲮鱼<br><i>M. cephalus</i> | 缢蛭<br><i>S. constricta</i> | 泥螺<br><i>B. exarata</i> |
| 剂量效应关系<br>dose-response relationship   | $y = -0.74 + 4.18x$           | $y = -1.89 + 1.97x$                | $y = 2.06 + 2.99x$           | $y = 1.58 + 2.48x$       | $y = -3.21 + 4.71x$        | $y = 1.95 + 1.73x$      |
| 相关系数 r<br>correlation coefficients r   | 0.96                          | 0.84                               | 0.99                         | 0.99                     | 0.93                       | 0.99                    |
| $\chi^2$                               | 8.98                          | 6.43                               | 0.18                         | 0.04                     | 2.21                       | 0.04                    |
| $P$ 值<br>vaule of $P$                  | 0.34                          | 0.60                               | 0.92                         | 0.98                     | 0.90                       | 0.98                    |
| 96 h-LC <sub>50</sub> /%               | 23.62                         | 37.69                              | 9.65                         | 24.14                    | 55.21                      | 57.26                   |
| 95% 置信区间/%<br>95% confidence intervals | 19.55 ~ 28.22                 | 23.65 ~ 83.67                      | 6.92 ~ 14.66                 | 18.75 ~ 30.87            | 39.56 ~ 108.03             | 37.23 ~ 163.31          |

2.3 印染排放尾水对几种海洋生物的毒性单位分级评价及潜在生态毒性效应评估

本实验印染排放尾水对几种海洋生物的毒性单位分级评价结果见表 5,  $T_U$  平均值为 4.16, 根据废水毒性等级划分标准(表 1), 本实验印染排放尾水对受试海洋生物幼体的毒性属于中毒水平。就单个受试海洋生物幼体而言,  $T_U$  值高低顺序为半滑舌鳎(10.36) > 脊尾白虾(4.23) > 鲮

鱼(4.14) > 三疣梭子蟹(2.65) > 缢蛭(1.81) > 泥螺(1.75), 其中对半滑舌鳎的毒性达到了高毒水平, 对其余受试生物幼体均为中毒水平。本实验印染排放尾水对几种海洋生物幼体的潜在生态毒性效应结果如表 6 所示, PEEP 值为 4.72, 依据基于 PEEP 值的废水毒性等级划分标准(表 2), 本实验印染排放尾水对受试海洋生物幼体的潜在生态毒性属于高毒水平。

表 5 印染排放尾水对海洋生物幼体的毒性单位分级评价结果  
Tab.5 Toxicity unit classification system assessment results of effluents

| 生物种类<br>species                    | $T_U$ 值<br>value of $T_U$ | 毒性等级<br>toxicity rank | 毒性<br>toxicity       | $T_U$ 平均值<br>average value of $T_U$ | 毒性<br>toxicity       |
|------------------------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 脊尾白虾<br><i>E. carinicauda</i>      | 4.23                      | III                   | 中毒<br>moderate toxic | 4.16                                | 中毒<br>moderate toxic |
| 三疣梭子蟹<br><i>P. trituberculatus</i> | 2.65                      | III                   | 中毒<br>moderate toxic |                                     |                      |
| 半滑舌鳎<br><i>C. semilaevis</i>       | 10.36                     | IV                    | 高毒<br>highly toxic   |                                     |                      |
| 鲮鱼 <i>M. cephalus</i>              | 4.14                      | III                   | 中毒<br>moderate toxic |                                     |                      |
| 缢蛭 <i>S. constricta</i>            | 1.81                      | III                   | 中毒<br>moderate toxic |                                     |                      |
| 泥螺 <i>B. exarata</i>               | 1.75                      | III                   | 中毒<br>moderate toxic |                                     |                      |

3 讨论

印染废水成分复杂, 污染物按来源可划分为

两类: 一类来自于纤维原料本身具有的夹带物; 另一类是在纺织印染加工工艺中所用的油剂、染料、化学助剂等污染物质, 生物降解能力很

低<sup>[1,3]</sup>。研究表明,即使在经过各类技术处理后,印染废水中的污染物质也不能完全去除,排放的印染排放尾水依然会对水生生物产生不同程度的毒性<sup>[18-20]</sup>。本实验的结果也验证了这个结论,经过处理后,本实验印染废水中的污染物指标既有上升,也有下降,除了苯胺有微弱的含量(0.003 mg/L),其余水质指标均符合《纺织染整工业水污染物排放标准》<sup>[15]</sup>、《污水综合排放标准》<sup>[14]</sup>(表3),在此情况下本实验印染排放尾水依然对几种海洋生物幼体表现出了不同程度的毒性(表4)。对受试生物幼体的综合急性毒性的毒性均达到了中毒水平,对半滑舌鳎幼体的毒性甚至达到了高毒水平(表5)。按照目前的废水排放水平(833 m<sup>3</sup>/h),对受试生物的潜在生态毒性更是达到了高毒水平(表6)。单纯的废水水质理化指标检测显然无法解释这些结果,印染废水水

质复杂且变化较大,一般认为,高 pH、高浓度的氨氮和亚硝酸盐、高浓度的有机污染物是废水对水生生物产生毒性作用的主要原因<sup>[3]</sup>。但从表3可以看出,经过处理后,排放废水的 pH 处于正常水平,氨氮、亚硝酸盐含量也极其微量且符合两种排放标准,苯胺的含量尽管超过了《纺织染整工业水污染物排放标准》<sup>[15]</sup>,但其含量很低且符合《污水综合排放标准》<sup>[14]</sup>。因此,本实验印染排放尾水中的单个污染物并不是造成受试海洋生物幼体死亡的主要原因,主要原因是各污染物之间可能存在协同、拮抗等相互作用。同时也进一步表明,利用水生生物对印染排放尾水进行毒性测试能有效弥补使用理化检测指标进行评价产生的缺陷,更加真实地反映印染排放尾水对海洋生物的毒性。

表6 印染排放尾水对海洋生物幼体的潜在生态毒性效应评估结果  
Tab.6 PEEP assessment results of effluents

| 受试海洋生物幼体种类<br>species           | 排放总量/(m <sup>3</sup> /h)<br>total discharge | PEEP 值<br>value of PEEP | 毒性等级<br>toxicity rank | 毒性<br>toxicity     |
|---------------------------------|---|-------------------------|-----------------------|--------------------|
| 脊尾白虾 <i>E. carinicauda</i>      | 833   | 4.72                    | IV                    | 高毒<br>highly toxic |
| 三疣梭子蟹 <i>P. trituberculatus</i> | 833   |                         |                       |                    |
| 半滑舌鳎 <i>C. semilaevis</i>       | 833   |                         |                       |                    |
| 鲻鱼 <i>M. cephalus</i>           | 833   |                         |                       |                    |
| 缢蛭 <i>S. constricta</i>         | 833   |                         |                       |                    |
| 泥螺 <i>B. exarata</i>            | 833   |                         |                       |                    |

此外,从表4、表5也可以看出,不同受试海洋生物幼体对本实验印染排放尾水表现出的耐受性也存在差异,其耐受性大小顺序为:半滑舌鳎 < 脊尾白虾 < 鲻鱼 < 三疣梭子蟹 < 缢蛭 < 泥螺。贾小平等<sup>[21]</sup>在研究石油烃对几种海洋生物幼体的急性毒性实验中也取得了类似结果。这与不同海洋生物的生理、生态习性有关,泥螺、缢蛭由于具有保护性的外壳,当处于污染环境时,可以采用闭合外壳、减慢呼吸等方式减少与污染物的接触,从而减慢各类污染物进入机体的速率,降低污染物对其毒性。鱼、虾、蟹类则不具备此功能,尽管其具有的解毒代谢系统比贝类完善<sup>[22-23]</sup>,但在本实验条件下,由于回避接触能力弱,持续暴露在污染环境中对其反而产生了较强的毒性。

#### 参考文献:

[1] CORREIA V M, STEPHENSON T, JUDD S J. Characterisa-

tion of textile wastewaters-a review [J]. Environmental Technology, 1994, 15(10): 917-929.

[2] RANGANATHAN K, JEYAPPAUL S, SHARMA D C. Assessment of water pollution in different bleaching based paper manufacturing and textile dyeing industries in India [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2007, 134(1/3): 363-372.

[3] VERMA A K, DASH R R, BHUNIA P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile waste waters [J]. Journal of Environmental Management, 2012, 93(1): 154-168.

[4] RODRÍGUEZ A, OVEJERO G, ROMERO M D, et al. Catalytic wet air oxidation of textile industrial wastewater using metal supported on carbon nanofibers [J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2008, 46(2): 163-172.

[5] GOLOB V, VINDER A, SIMONI Ć M. Efficiency of the coagulation/flocculation method for the treatment of dyebath effluents [J]. Dyes and Pigments, 2005, 67(2): 93-97.

[6] GEORGIU D, AIVAZIDIS A, HATIRAS J, et al. Treatment of cotton textile wastewater using lime and ferrous sulfate [J]. Water Research, 2003, 37(9): 2248-2250.

- [7] MERZOUK B, MADANI K, SEKKI A. Using electrocoagulation-electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies[J]. *Desalination*, 2010, 250(2): 573–577.
- [8] KIM T H, PARK C, YANG J, et al. Comparison of disperse and reactive dye removals by chemical coagulation and Fenton oxidation[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, 112(1/2): 95–103.
- [9] GEORGIU D, MELIDIS P, AIVASIDIS A, et al. Degradation of azo-reactive dyes by ultraviolet radiation in the presence of hydrogen peroxide[J]. *Dyes and Pigments*, 2002, 52(2): 69–78.
- [10] ÜSTÜN G E, SOLMAZ S K A, BIRGÜL A. Regeneration of industrial district wastewater using a combination of Fenton process and ion exchange—A case study[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2007, 52(2): 425–440.
- [11] FISHER D J, KNOTT M H, TURLEY B S, et al. Acute and chronic toxicity of industrial and municipal effluents in Maryland, U. S. [J]. *Water Environment Research*, 1998, 70(1): 101–107.
- [12] RODRIGUEZ P, MARTINEZ-MADRID M, CID A. Ecotoxicological assessment of effluents in the basque country (Northern Spain) by acute and chronic toxicity tests using *Daphnia magna* straus [J]. *Ecotoxicology*, 2006, 15(7): 559–572.
- [13] 原居林, 顾志敏, 叶金云, 等. 纺织印染废水及其底泥对太湖花鲢早期发育的毒性研究[J]. *环境科学学报*, 2012, 32(3): 762–768.
- YUAN J L, GU Z M, YE J Y, et al. Toxicity of printing and dyeing wastewater and sediment on the early development stages of the *Hemibarbus maculatus* in the Taihu Lake [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, 32(3): 762–768.
- [14] 国家环境保护局. 污水综合排放标准, GB 8978—1996 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- State Environmental Protection Administration. Integrated wastewater discharge standard GB 8978—1996 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1996.
- [15] 国家环境保护部. 纺织染整工业水污染物排放标准, GB 4287—2012 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Discharge standard of water pollutions for dyeing and finishing of textile industry. GB 4287—2012 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
- [16] PERSOONE G, MARSALEK B, BLINOVA I, et al. A practical and user-friendly toxicity classification system with microbiotests for natural waters and wastewaters [J]. *Environmental Toxicology*, 2003, 18(6): 395–402.
- [17] COSTAN G, BERMINGHAM N, BLAISE C, et al. Potential ecotoxic effects probe (PEEP): A novel index to assess and compare the toxic potential of industrial effluents [J]. *Environmental Toxicology and Water Quality*, 1993, 8(2): 115–140.
- [18] ROSA E V C, SIMIONATTO E L, DE SOUZA SIERRA M M, et al. Toxicity-based criteria for the evaluation of textile wastewater treatment efficiency [J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2001, 20(4): 839–845.
- [19] VILLEGAS-NAVARRO A, GONZÁLEZ M C, LÓPEZ E R, et al. Evaluation of *Daphnia magna* as an indicator of toxicity and treatment efficacy of textile wastewaters [J]. *Environment International*, 1999, 25(5): 619–624.
- [20] SHARMA K P, SHARMA S, SHARMA S, et al. A comparative study on characterization of textile wastewaters (untreated and treated) toxicity by chemical and biological tests [J]. *Chemosphere*, 2007, 69(1): 48–54.
- [21] 贾晓平, 林钦, 蔡文贵, 等. 原油和燃油对南海重要海水增殖生物的急性毒性试验 [J]. *水产学报*, 2000, 24(1): 32–36.
- JIA X P, LIN Q, CAI W G, et al. Toxicity of crude oil and fuel oils to important mariculture and multiplication organisms of South China Sea [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2000, 24(1): 32–36.
- [22] VERLECAR X N, PEREIRA N, DESAI S R, et al. Marine pollution detection through biomarkers in marine bivalves [J]. *Current Science*, 2006, 91(9): 1153–1157.
- [23] KOPECKA-PILARCZYK J, CORREIA A D. Biochemical response in gillhead seabream (*Sparus aurata*) to in vivo exposure to a mix of selected PAHs [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2009, 72(4): 1296–1302.

## Toxicity of treated printing and dyeing effluents on several juvenile marine animals

LI Lei, JIANG Mei, SHEN Xinqiang, WANG Yunlong

(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China)

**Abstract:** To accurately evaluate the comprehensive toxicity of treated printing and dyeing effluents, the 96-hour acute toxicity tests were conducted with juvenile *Exopalaemon carinicauda*, *Portunus trituberculatus*, *Cynoglossus semilaevis*, *Mugil cephalus*, *Sinonovacula constricta*, and *Bullacta exarata*, and the toxicity unit classification system and potential ecotoxic effects probe (PEEP) were used to evaluate the biological toxicity of treated printing and dyeing effluents. The results showed that the major physical and chemical characteristics of treated printing and dyeing effluents conform to the standards of “Discharge standards of water pollutants for dyeing and finishing of textile industry” and “Integrated effluents discharge standard” except aniline, but the content of aniline was very low. The 96-hour acute toxicity tests showed that the sequence of acute toxicity level was *C. semilaevis* > *E. carinicauda* > *M. cephalus* > *P. trituberculatus* > *S. constricta* > *B. exarata*, and the treated printing and dyeing effluent was classified as moderate toxicity grade with the value of 4.16 by toxicity unit classification system, meanwhile, the value of PEEP was 4.72, being classified as highly toxic grade. The biological monitoring methods can be used to estimate synthetic toxicity of treated printing and dyeing effluents completely.

**Key words:** treated printing and dyeing effluents; juvenile marine animal; toxicity