

# 转炉钢渣对两种对虾幼虾的急性毒性效应

许刚<sup>1,2</sup>, 宋秀贤<sup>1</sup>, 刘云<sup>1</sup>, 董晓丹<sup>3</sup>, 俞志明<sup>1</sup>

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 宝山钢铁股份有限公司研究院, 上海 201900)

**摘要:** 初步研究了| 定粒径的转炉钢渣对日本对虾(*Penaeus japonicus*) 幼虾和中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*) 幼虾的急性毒性效应。实验结果显示, 当钢渣质量浓度为 1.8 g/L 时, 日本对虾幼虾 96 h 的最高死亡率为 33.33%; 随着钢渣质量浓度的增加, 死亡率增高; 当钢渣质量浓度为 18 g/L 时, 其 96 h 的最大死亡率达到 75%。相对于日本对虾幼虾, 钢渣质量浓度为 18 g/L 时中国明对虾幼虾 96 h 的最高死亡率只有 36.67%。运用直线内插法求出钢渣对日本对虾幼虾 96 h 半致死浓度为 1.62 g/L, 钢渣对日本对虾的安全浓度为 0.162 g/L, 而在实验条件下中国明对虾幼虾的半致死浓度要明显高于日本对虾幼虾。

**关键词:** 转炉钢渣; 急性毒性; 半致死浓度(LC<sub>50</sub>); 安全浓度

**中图分类号:** X55 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2007)08-0076-04

CO<sub>2</sub>等气体的“温室效应”已成为影响全球气候变化的一个不可忽视的因素。海洋浮游植物通过光合作用可以吸收大气中的 CO<sub>2</sub>, 使其变成有机碳, 通过直接或间接的途径沉降到海底。大气中的 CO<sub>2</sub> 约有一半被海洋吸收, 对 CO<sub>2</sub> 的浓度起到了一定的调控作用<sup>[1-3]</sup>。炼钢工业产生的转炉钢渣中含有促进浮游植物生长所需要的营养盐以及微量元素, 因此, 如果将钢渣投放到微量元素缺乏的(如铁限制)海域, 在促进浮游植物生长的同时, 从大气中吸收大量的 CO<sub>2</sub>, 从而控制温室效应, 这对改善全球气候变化具有重要意义。日本的 NAKAMURA 等<sup>[4-6]</sup>研究了转炉钢渣对几种微藻的生长, 发现低浓度的钢渣可以促进浮游植物的生长, 由此可见钢渣在海洋中具有很理想的应用前景。但是钢渣中含有的碱性物质 CaO 及 Pb, Cr, Zn 等重金属元素, 投放到海水中可能会对海水水质以及海洋生物产生一定的影响, 目前国内外还未在该方面开展相应的研究, 因此弄清楚钢渣在海水中对海洋生物的影响就显得十分必要。

作者选择典型的海洋养殖生物——日本对虾(*Penaeus japonicus*) 幼虾和中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*) 幼虾, 探讨了转炉钢渣对两种对虾幼虾的急性毒性效应, 以期对转炉钢渣的实际应用提供科学依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验材料

日本对虾(*Penaeus japonicus*) 和中国明对虾

(*Fenneropenaeus chinensis*) 虾苗购于青岛市城阳区流亭镇西后楼村养殖场, 长度为 1 cm 左右。实验前先在实验室内暂养 7 d, 每天定时换水, 投喂虫饵料, 24 h 通气。

实验所用海水为实验室管道海水(取自青岛太平角), 盐度为 30, 实验之前用滤纸过滤, 煮沸灭菌。

转炉钢渣由上海宝山钢铁股份有限公司提供, 粒径为 75~150 目。

### 1.2 实验方法

在 2 L 的玻璃烧杯中加入 1 L 海水, 玻璃烧杯使用前均用 10% 的盐酸浸泡 24 h, 并用自来水和蒸馏水冲洗干净。分别加入 75~150 目的钢渣 0, 1.8, 3.2, 5.6, 10, 18 g (0.25 等对数间距), 每只烧杯中随机放入 20 尾健康的日本对虾幼虾(体长 1~1.5 cm), 每组均设 3 个平行样, 实验过程中充气, 不投饵, 及时捞出死亡个体; 温度设定为 20 °C ± 1 °C, 测定 24, 48, 72, 96 h 对虾的死亡率及水体的 pH 值。根据直线内插法求出 96 h 的半致死浓度(LC<sub>50</sub>)。

收稿日期: 2007-05-21; 修回日期: 2007-06-04

基金项目: 上海宝山钢铁股份有限公司委托项目; 国家自然科学基金重点项目(50339040)

作者简介: 许刚(1981), 男, 山东新泰人, 硕士研究生, 主要从事海洋生态环境方面的研究; 俞志明, 通讯联系人,

E-mail: zyu@ms.qdio.ac.cn

中国明对虾幼虾的急性毒性实验方法同上。

2 结果

从表 1 中可以看出, 在 24 h 内当钢渣质量浓度大于 3.2 g/L 的时候, 日本对虾幼虾开始出现死亡。随着时间的延长, 各个质量浓度组均出现幼虾死亡的现象, 且总的趋势基本是钢渣质量浓度越大的实验组, 幼虾的死亡率越高。到 96 h 的时候, 1.8 g/L 实验组死亡率达到了 33.33%, 而 18 g/L 的实验组

死亡率则达到了 75%。

表 2 为不同质量浓度钢渣对中国明对虾幼虾的急性毒性实验结果。从表 2 中可以看出, 24 h 内当钢渣质量浓度达到 5.6 g/L 时中国明对虾幼虾才开始出现死亡。相同的实验浓度条件下, 相对于日本对虾幼虾中国明对虾幼虾的死亡率要低很多, 当钢渣质量浓度为 1.8 g/L 时, 其幼虾死亡率最大为 15%, 18 g/L 时幼虾的最大死亡率仅达到 36.67%, 仍未超过半数。

表 1 不同质量浓度钢渣对日本对虾幼虾的急性毒性实验结果

Tab. 1 The acute toxic effect from different concentrations of steelmaking slag on larva of *Penaeus japonicus*

| 钢渣质量浓度<br>(g/L) | 死亡率(%) |       |       |       | pH 值 |      |      |      |
|-----------------|--------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
|                 | 24 h   | 48 h  | 72 h  | 96 h  | 24 h | 48 h | 72 h | 96 h |
| 0.0             | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 7.92 | 8.06 | 8.01 | 7.98 |
| 1.8             | 0.00   | 11.67 | 21.67 | 33.33 | 9.03 | 9.01 | 8.97 | 8.97 |
| 3.2             | 8.33   | 20.00 | 35.00 | 45.00 | 9.10 | 9.10 | 9.08 | 9.07 |
| 5.6             | 11.67  | 30.00 | 43.33 | 51.67 | 9.17 | 9.17 | 9.19 | 9.17 |
| 10.0            | 11.67  | 33.33 | 46.67 | 55.00 | 9.24 | 9.16 | 9.21 | 9.22 |
| 18.0            | 38.33  | 61.67 | 66.67 | 75.00 | 9.31 | 9.21 | 9.22 | 9.23 |

表 2 不同质量浓度钢渣对中国明对虾幼虾的急性毒性实验结果

Tab. 2 The acute toxic effect from different concentrations of steelmaking slag on larva of *Fenneropenaeus chinensis*

| 钢渣质量浓度<br>(g/L) | 死亡率(%) |       |       |       | pH 值 |      |      |      |
|-----------------|--------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
|                 | 24 h   | 48 h  | 72 h  | 96 h  | 24 h | 48 h | 72 h | 96 h |
| 0.0             | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 8.04 | 7.97 | 7.97 | 7.88 |
| 1.8             | 0.00   | 0.00  | 5.00  | 15.00 | 8.77 | 8.71 | 8.75 | 8.77 |
| 3.2             | 0.00   | 0.00  | 6.67  | 23.33 | 9.00 | 8.93 | 8.97 | 8.99 |
| 5.6             | 1.67   | 1.67  | 10.00 | 30.00 | 9.16 | 9.07 | 9.15 | 9.14 |
| 10.0            | 3.33   | 3.33  | 10.00 | 31.67 | 9.28 | 9.19 | 9.23 | 9.18 |
| 18.0            | 10.00  | 10.00 | 18.33 | 36.67 | 9.29 | 9.23 | 9.25 | 9.20 |

从表 1、表 2 可以看出, 在一定时间条件下随着钢渣质量浓度的增大, 两种对虾幼虾的死亡率增加; 相同钢渣质量浓度条件下随着时间的延长, 死亡率升高。从 pH 变化的情况可以看出, 加入钢渣以后 pH 在 48 h 内基本达到了平衡, 到 96 h 时变化不大; 钢渣质量浓度越高, pH 越大, 幼虾的死亡率也越高。

3 讨论

日本对虾是中国沿海重要的养殖虾类之一, 属暖水性经济虾类, 日本对虾虾苗( 体长为 9~ 11 mm) 的适宜温度范围为 21~ 29 ℃, 可忍耐温度范围为 15~ 30 ℃; 耐受盐度范围为 18~ 36, 适宜范围为 18~ 30; 一般比较适应溶解氧高的水域, 一般不低于 6.4 mL/L。

本实验中海水温度为 20 ℃ 左右, 盐度为 30, 由于一直不间断往烧杯中充气, 溶氧也在正常范围内, 因此基本可以排除温盐、溶氧因素对日本对虾的致死作用。钢渣中含有 CaO 及 Pb, Cr, Zn 等重金属元素<sup>[7]</sup>, 投放到海水中后会溶出一定量的金属离子, 海水的 pH 会升高, 且钢渣质量浓度越大, pH 越高。水环境中的 pH 变化不仅直接影响对虾的代谢机能, 而且还可影响铵氮、硫化氢和重金属离子等环境因子, 从而间接影响对虾的生长与存活<sup>[9]</sup>。林小涛等<sup>[10]</sup>报道当水体中的 pH 高于或低于某一范围时, 都会改变甲壳动物的呼吸活动, 影响从外界吸收氧的能力, 进而影响其耗氧率; 海洋生物对水体 pH 的变化均有一定的耐受限度, 若超过其生存的最高 pH 值就会导致生物的死亡。另外, 重金属离子含量过高就会经对虾体表或饲料进入体内, 与体内主要酶类中氢硫基中的硫结合, 成为难溶的硫醇盐类, 从而抑制酶的活性影响机体的代谢。另外, 鳃及体表的粘液会与重金属离子结合成蛋白质复合物, 覆盖整个鳃和体表, 以及充斥于鳃间隙中, 影响鳃的呼吸功能, 进而造成黑鳃和烂鳃<sup>[8]</sup>。基于上述讨论, 作者认为钢渣对生物致死作用的主要因子可能有两个: 一是重金属的毒性作用, 二是水体 pH 的变化。根据作者前期所做的钢渣溶出实验, 发现钢渣在海水中溶出的 Hg, Cd, Zn, Mn 等金属的量很低,  $Hg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  的质量浓度范围分别为 0.005~0.16, 0.01~0.06, 6.2~18.6,

11.3~26 μg/L, 而高淑英<sup>[11]</sup>报道的培养日本对虾幼体  $Hg^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  的安全质量浓度分别为 1.2, 34.2, 44.9, 95.0 μg/L, 要远远高于本实验中重金属的溶出量, 因此基本可以排除重金属对日本对虾的急性毒性影响。文献报道<sup>[12, 13]</sup>, 日本对虾虾苗 pH 适应范围为 7.7~8.6, 耐受范围为 7.7~8.8。因此当水体 pH 超过 9 以后, 对虾的存活率就会降低。从实验结果上也可以看出, 当 pH 超过 9 以后, 在短时间内死亡个数不大, 大多数个体栖息在烧杯底部的钢渣上面, 但随着时间的延长, 日本对虾的死亡率开始增高, 所以, 作者认为钢渣对实验生物的影响主要是由于碱性物质的溶出, 导致海水的 pH 升高从而产生的毒性作用。

相同实验条件下, 中国明对虾的死亡率远远低于日本对虾, 主要是由于中国明对虾适应高 pH 的能力强于日本对虾。房文红等<sup>[14]</sup>认为, pH < 9.0 时, 对中国明对虾幼虾存活率 24 h 内没有明显影响; pH > 9.0 时, 开始影响中国明对虾幼虾的生存; 当 pH 从 9.2 增至 9.4 时, 对中国明对虾幼虾存活率的影响十分显著, 这与作者的实验结果相符合。

图 1 为 96 h 日本对虾和中国明对虾 pH 值与死亡率之间相关性的比较, 从图中可以看出显著检验水平  $P$  分别为 0.009 和 0.003, 均小于 0.01, 在 0.01 水平上显著相关。进一步说明 pH 值是影响日本对虾和中国明对虾幼虾死亡率的显著因子。

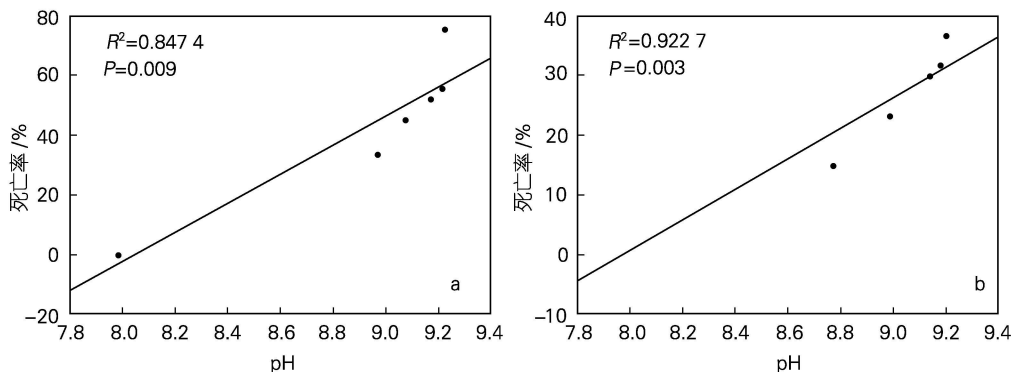


图 1 pH 值与死亡率之间相关性的比较(96 h)  
Fig. 1 The correlation between pH and mortality (96 h)  
a. 日本对虾; b. 中国明对虾

a. *Penaeus japonicus*; b. *Fenneropenaeus chinensis*

根据实验作者得出钢渣对日本对虾的半致死浓度为 1.62 g/L, 作者在转炉钢渣对赤潮异弯藻的影响研究(待发表)一文中也表明促进微藻生长的最佳钢渣用量为 124~248 mg/L, 远远低于 1.62 g/L——

日本对虾的半致死浓度。所以, 作者认为在促进微藻生长、增加海洋碳的生物利用前提下, 转炉钢渣不应对上述实验生物产生急性毒性效应。虽然在室内一定的封闭体系中, 当钢渣量达到一定用量时能导致水

体 pH 升高, 会对水生生物的生长产生一定的影响。但是实际应用中, 因为海洋是一个巨大的缓冲体系, 在某些海域中播撒适量的钢渣以促进浮游植物的生产力, 对水域的 pH 不会造成很大的影响, 而且一般来说成年鱼虾的耐碱性要高于幼虾, 并且鱼虾等游水生物会逃避不利的生活环境。建议在具体实施过程中选择合适的播撒位置(如在避开鱼虾产卵场的水域)、控制钢渣播撒量以对鱼虾等生物不会产生不利的影响; 从另一个角度看, 播撒后促进浮游植物的大量增殖, 为浮游动物等生物提供了足够的饵料食物, 更有利于食物链上层的鱼虾等的生长。所以只是播撒适量的、不至影响鱼虾幼苗生长的钢渣对底栖生物将不会产生不利的影响, 但如果是将钢渣堆砌在海底, 对底栖生物的影响则有待于进一步研究。

#### 参考文献:

[1] Wong C S. Marine carbon research[ A ]. Page JS, Belegay R D. Annual Review of Activities[ C ]. Sidney: Institute of Ocean Sciences, 1983. 46-49.

[2] Manabe S, Tang W, Fu L L. Century-scale effects of increased atmospheric CO<sub>2</sub> on the ocean-atmosphere system[J]. *Nature*, 1993, 364: 213-218.

[3] 詹滨秋, 赵永平. 二氧化碳, 海洋与气候[ J ]. 海洋与湖沼, 1989, 20(1): 92-98.

[4] Yasue N, Akira T, Shigeru O, *et al.* Positive growth of phytoplankton under conditions enriched with steel-

making slag solution[ J ]. *ISIJ International*, 1998, 38(4): 390-398.

[5] Koichi H, Kazuyuki S, Akira T. Effects of steel-making slag addition on growth of marine phytoplankton[ J ]. *ISIJ International*, 2003, 43(9): 1461-1468.

[6] Takahiro M, Takayuki F, Kiyoteru S, *et al.* Dissolution behavior of environmentally regulated elements from steel-making slag into seawater[ J ]. *ISIJ International*, 2004, 44(4): 762-769.

[7] 董晓丹, 王涛. 钢渣在污水处理及生态治理中的应用[ J ]. 炼钢, 2006, 22(2): 57-61.

[8] 蒙显杰, 董燕声. 南美白对虾黑鳃病和烂鳃病发生的原因及防治方法[ J ]. 中国水产, 2004, 8: 81-82.

[9] 潘鲁青, 姜令绪. 盐度、pH 突变对 2 种对虾免疫力的影响[ J ]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(6): 903-910.

[10] 林小涛, 张秋明, 许中能, 等. 虾蟹类呼吸代谢研究进展[ J ]. 水产学报, 2000, 24(6): 575-580.

[11] 高淑英, 邹栋梁, 厉红梅. 汞、镉、锌和锰对日本对虾仔虾的急性毒性[ J ]. 海洋通报, 1999, 18(2): 93-96.

[12] 水柏年. 日本对虾苗对若干环境因子的适应性研究[ J ]. 水产学报, 2004, 28(4): 468-472.

[13] 王宏伟, 孟翠丽, 刘晋, 等. 不同 pH 条件下日本对虾肝胰脏及血的细胞培养[ J ]. 动物学杂志, 2005, 40(1): 88-91.

[14] 房文红, 王慧, 来琦芳. 碳酸盐碱度、pH 对中国对虾幼虾的致毒效应[ J ]. 中国水产科学, 2001, 7(4): 78-81.

## The acute toxic effect of steelmaking slag on two kinds of larval prawn

XU Gang<sup>1,2</sup>, SONG Xiur xian<sup>1</sup>, LIU Yun<sup>1</sup>, DONG Xiao-dan<sup>3</sup>, YU Zhir ming<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Ecology & Environmental Sciences, Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Iron & Steel Research Institute, Baoshan Iron & Steel Group Corporation, Shanghai 201900, China)

Received: May, 21, 2007

**Key words:** steelmaking slag; acute toxic; median lethal concentration(LC<sub>50</sub>); safe concentration

**Abstract:** The acute toxic effect of one kind of steelmaking slag on marine cultured organisms larval *Penaeus japonicus* and *Fenneropenaeus chinensis* was studied. The results showed the mortality of *P. japonicus* was 33.33% after 96 h when the concentration of steelmaking slag was 1.8 g/L and its mortality increased corresponding the increasing of steelmaking slag concentration. The highest mortality of larva of *P. japonicus* was 75% after 96 h when the concentration of steelmaking slag was 18 g/L. Compared with *P. japonicus*, the highest mortality of larva of *F. chinensis* was only 36.67% in 96 h. The 96 h LC<sub>50</sub> was 1.62 g/L and the safe concentration was 0.162 g/L on larva of *P. japonicus*. The 96 h LC<sub>50</sub> on larva of *F. chinensis* was greater than that on larva of *P. japonicus*.

( 本文编辑: 刘珊珊 )