

## 三種重金屬對紅尾蝦之毒性

謝介士·蔡雪貞·葉瑾瑜·蘇茂森

### Toxicity of three heavy metals to *Penaeus penicillatus*

Chieh-Shih Hsieh, Hsueh-Jen Tsai

Jin-Yu Yeh and Mao-Sen Su

Aquaculture is a very important industry in Taiwan. However, this activity has been seriously threatened by river and ocean pollution. Water criteria must be established for the purpose of protecting the further development of this industry. This study was aimed to evaluate the acute toxic and sublethal effects of three heavy metals to *Penaeus penicillatus* in order to provide baseline for water quality control.

The acute toxicity of three heavy metal to post larvae 15 of *P. penicillatus* was studied. The result showed that the toxicity was higher for cadmium and lower for zinc at 100 mg/l and it was again higher for cadmium and lower for copper below 33 mg/l.

The effects of low levels of three heavy metals, Cu ( $>0.1$  mg/l), Cd ( $>0.1$  mg/l) and Zn ( $>0.4$  mg/l), on the growth, survival and accumulation in the body of *P. penicillatus* larvae ( $19.8 \pm 7.3$  mg body weight) were also studied. The results showed that the growth and survival rates of the tested larvae were significantly lower than those of the control group. The accumulation of heavy metals was also much higher in the body of the tested larvae than those in the control group.

**Key words:** *Penaeus penicillatus*, Toxicity, Heavy metal.

## 前 言

臺灣地區近來由於工業急速發展，都市人口激增，排出大量未經處理之工業廢水及家庭污水，已逐漸污染大都市及工業區臨近河流及港灣，損害給水水源，養殖漁業、農業而引起糾紛事件屢有所聞。例如，在臺灣西南沿海因工廠排入河川之污染物，在乾季時沉積於河床，但在雨季則經驟雨沖刷，大量隨著沉積物流入海中，而造成沿海養殖魚貝類的大量死亡（1~3）。而在許多造成公害的污染物中，重金屬污染佔有相當重要的一環，直到1950至1960年，日本沿海地區的人們因長期食用受甲基汞和鎘污染海域所捕獲之海產食品，而發生汞及鎘中毒所引起的水俣病（Minamata disease）及痛痛病（Itai-itai disease）後，重金屬污染才真正引起世人的重視。重金屬污染嚴重者，對水生生物造成

急性毒性效應 (Acute toxic effect)，使水生生物突然死亡 (4~6)，在含低濃度重金屬污染之水域中，重金屬雖未高至足以使水生生物致死的程度，但能使棲息在污染水域中的水生生物易罹患疾病及阻礙成長 (1、7、8)，且能累積在生物體內，在經食物鏈，傳至高等動物，使人體受害。

生物試驗是用來評估毒性物質毒性的最好方法，即將生物控制在適當的環境下，用已知或被懷疑的毒性物質作不同濃度下區集試驗，包括急性毒性效應及慢性毒性效應 (Chronic toxic effect)。從急性毒性效應可測知各種毒性物質的毒性大小，及可能之安全濃度範圍，但慢性毒性效應，則較具生物學的意義，可從中了解毒性物質對水生生物在成長，生理及行為等上之影響，以確定其真正的安全濃度。紅尾蝦 (*Penaeus penicillatus*, Alcock) 是本省產量僅次於草蝦之海水經濟蝦類，因此以紅尾蝦為材料，試驗銅、鎘、鋅等重金屬對其之急性毒，並測定在重金屬低濃度下對其成長及活存率之影響以及所累積的重金屬含量。

## 材料與方法

供試之紅尾蝦係本所自行繁殖及蓄養者，且來自同一種蝦。

### 一、急性毒性試驗：

本實驗先以Merck公司出產的試藥級硫酸銅 ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )、硫酸鎘 ( $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) 及硫酸鋅 ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 分別配製10000mg/l之銅、鎘、鋅等儲備液，然後再以經Whatman GFC玻璃纖維濾紙過濾後，且充份曝氣之海水 (pH8.23, 鹼度147mg/l as  $\text{CaCO}_3$ , 鹽度32ppt稀釋成分別含Cu, Cd) (100,33,10,3.3,1.0mg/l) 及Zn (330,100,33,10,3.3mg/l) 之溶液。試驗時，以2000ml之玻璃燒杯各裝1500ml之不同重金屬溶液分別放入10隻PL15之紅尾蝦苗，連續不斷觀察並紀錄每隻蝦苗死亡的時間，且求出其死亡一半尾數所須時間 (LT50)。試驗期間，不打氣、不換水、不餵食、燒杯不加蓋，水溫保持在 $29 \pm 1^\circ\text{C}$ ，每組均行重複試驗，以細玻璃管碰觸蝦體，如蝦苗不動，則判定其死亡，而以吸管吸出蝦體以免污染水質。

### 二、成長、活存率及蓄積試驗：

以平均體重 $19.8 \pm 7.3\text{mg}$ ，全長 $1.5 \pm 0.22\text{cm}$ 的蝦苗為材料，飼養於 $60 \times 45 \times 30\text{cm}$ 的玻璃水族箱中，內裝24公升，鹽度32ppt, pH8.17之不同重金屬溶液 (銅、鎘之濃度均為0.05, 0.1, 0.2, 0.4mg/l，鋅之濃度則為0.1, 0.2, 0.4, 0.8mg/l)，於水溫 $29 \pm 1^\circ\text{C}$ 下。每天早上抽底一次並換水四分之一 (含各種重金屬溶液)，每10天全部換水一次，並以油標尺測其全長，以電動天秤 (Mettler牌H35型) 秤其體重量，秤重前先用紗布吸乾體表上之水份，並同時紀錄其活存率。每一水族箱內放蝦苗20隻，試驗自民國77年7月13日至9月2日，共試驗50天。試驗結束後，活存的蝦子均測定其重金屬含量，首先秤其乾重，再以硝酸，硫酸之混合液加熱分解，定容之後，以原子吸收光譜儀 (Hitachi牌 Model 170-30) 測定之。

## 結 果

### 一、重金屬對紅尾蝦幼苗之急性毒：

由圖1至圖3可得知重金屬的濃度愈高，其毒性愈大，同時由這些關係圖中亦可發現，重金屬的濃度愈高時，其相關直線的斜率愈大，亦即表示濃度愈高時，其毒性作用效應愈快影響到每一隻蝦苗，如圖1所示，銅100mg/l時，其毒性作用時間從第40分鐘開始死亡第一隻蝦苗到132分鐘全部死亡，相隔92分鐘，而在1mg/l的銅中，第一隻蝦苗死亡時間是1584分鐘到6708分鐘全部死亡，相隔大到5124分鐘。如圖2所示，鎘100 mg/l時，第一隻蝦苗死亡時間是38分鐘，全部死亡是73分鐘，相隔僅

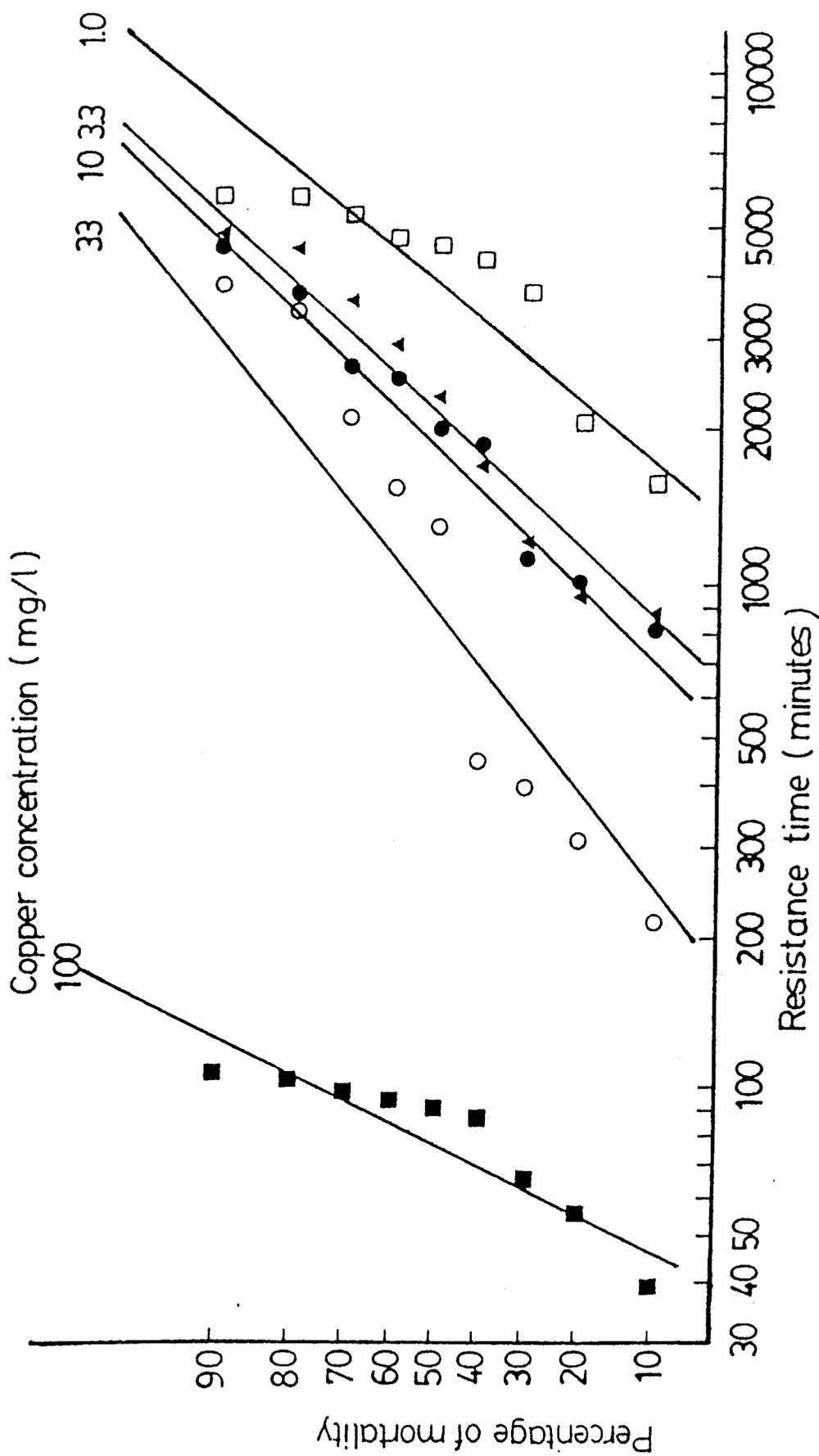


圖 1 紅尾蝦在銅的五種不同致死濃度下，其死亡率與存活時間之關係。

Fig. 1 Relationship between percentage of mortality and resistance or survival time of *P. penicillatus* at five lethal levels of copper.

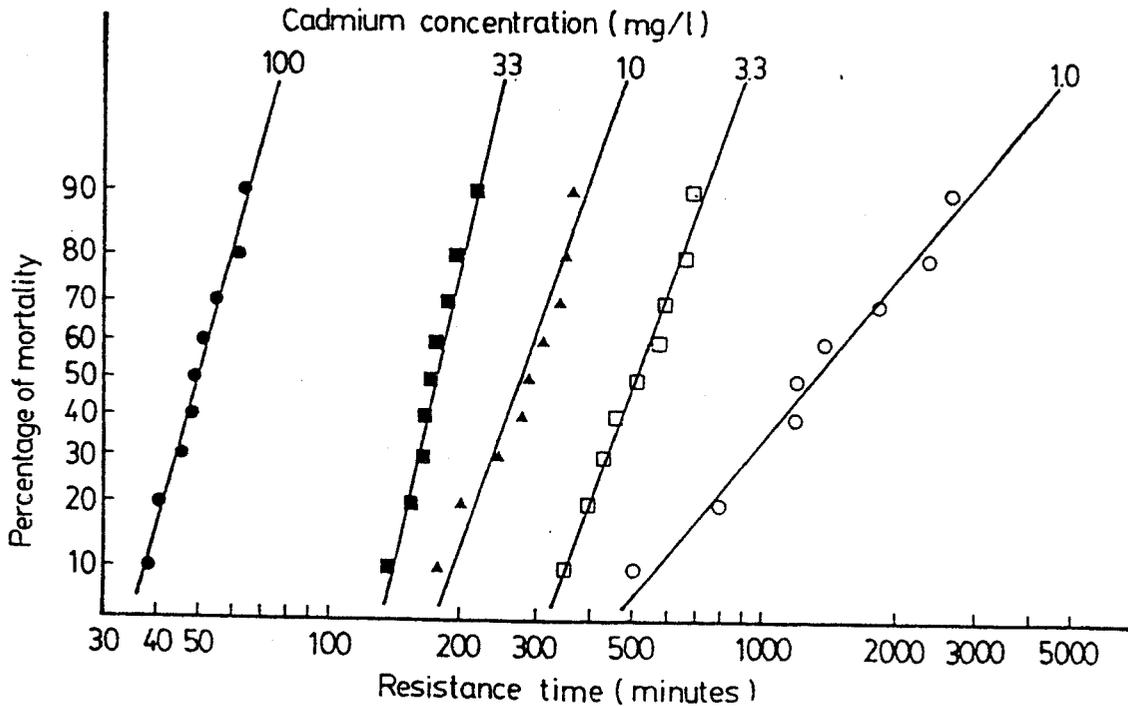


圖 2 紅尾蝦在鎘的五種不同致死濃度下，其死亡率與活存時間之關係。

Fig. 2 Relationship between percentage of mortality and resistance or survival time of *P. penicillatus* at five lethal levels of cadmium.

35分鐘，而在1mg/l的鎘中，則由509分鐘開始有蝦苗死亡至2977分鐘全部死亡，相隔大到2468分鐘。又如圖3所示，在330mg/l的鎘中，由35分鐘的第一隻蝦苗死亡至101分鐘的全死，相隔僅66分鐘，但在3.3mg/l的鎘中，則由272分鐘的開始死亡至2138分鐘的全死，共相隔1866分鐘，可見三種重金屬對紅尾蝦幼苗發生毒性的效應機制應相同。另外由圖4可知，在重金屬濃度低於33mg/l以下時，三種重金屬的毒性大小是Cd>Zn>Cu，如在重金屬濃度10mg/l時，Cd的LT<sub>50</sub>是280分鐘，Zn是500分鐘，而銅則是1900分鐘。而在100mg/l時，則Cd的LT<sub>50</sub>是50分鐘，Cu是80分鐘，Zn是180分鐘，因此在100mg/l時，三種重金屬的毒性大小是Cd>Cu>Zn。

#### 二、重金屬對紅尾蝦幼苗成長，活存率及蓄積影響試驗：

由表1可知重金屬的濃度愈高，其對紅尾蝦活存率的影響愈大，如圖5所示，在銅0.4與0.2mg/l時，蝦苗分別在25天及37天時全部死亡，如圖6所示，在鎘0.4及0.2mg/l時，蝦苗分別在12天與42天全部死亡，而又如圖7所示，雖然在完成試驗時，鎘的每一濃度均尚有活存的蝦苗，但在0.8與0.4mg/l濃度下，其活存率，由表1可知分別只有5%與10%。另外，利用t-test檢定結果(p<0.05)在銅0.1mg/l時，鎘0.1mg/l時，鎘0.4mg/l時，其成長與對照組均有顯著的差異。同時，由表2可知，在含有重金屬的海水中蓄養紅尾蝦，均會累積重金屬，且其累積量則隨重金屬的濃度增加而增高。

## 討 論

早在1874年英國就開始注意到重金屬的污染問題，但直到1950年，日本發生了「水俣病」及「痛痛病」之後，才真正引起世人的重視(1)。重金屬污染的水域，不僅危害魚貝類更威脅到我們全人類的

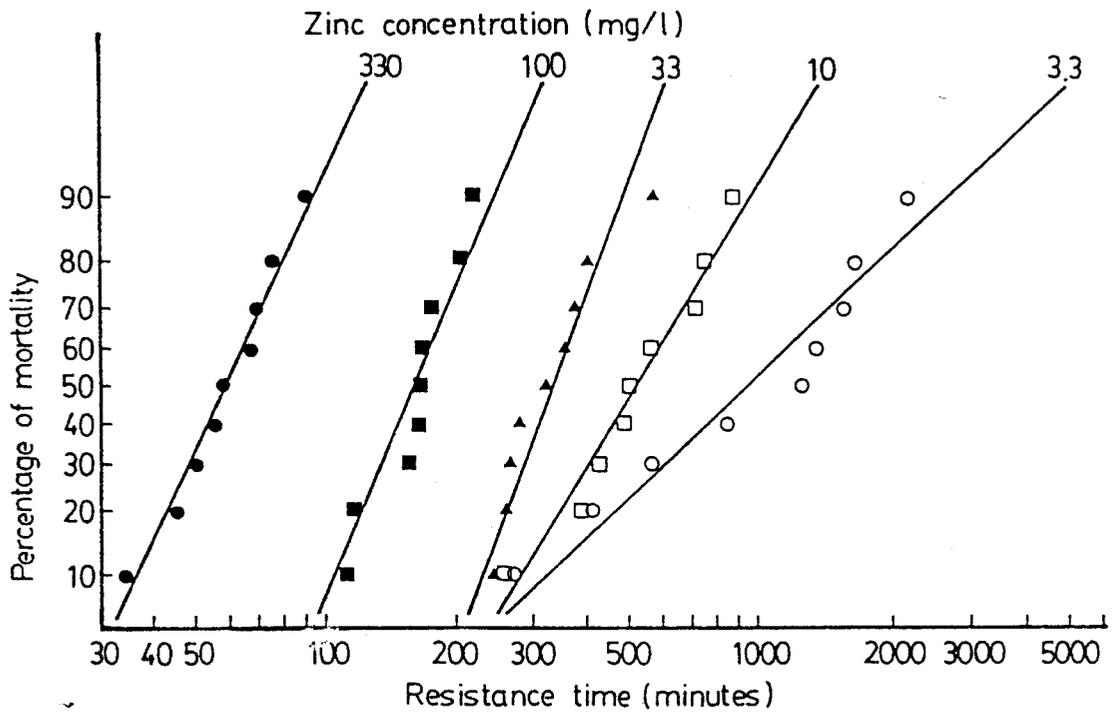


圖 3 紅尾蝦在鋅的五種不同致死濃度下，其死亡率與活存時間之關係。

Fig. 3 Relationship between percentage of mortality and resistance or survival time of *P. penicillatus* at five lethal levels of zinc.

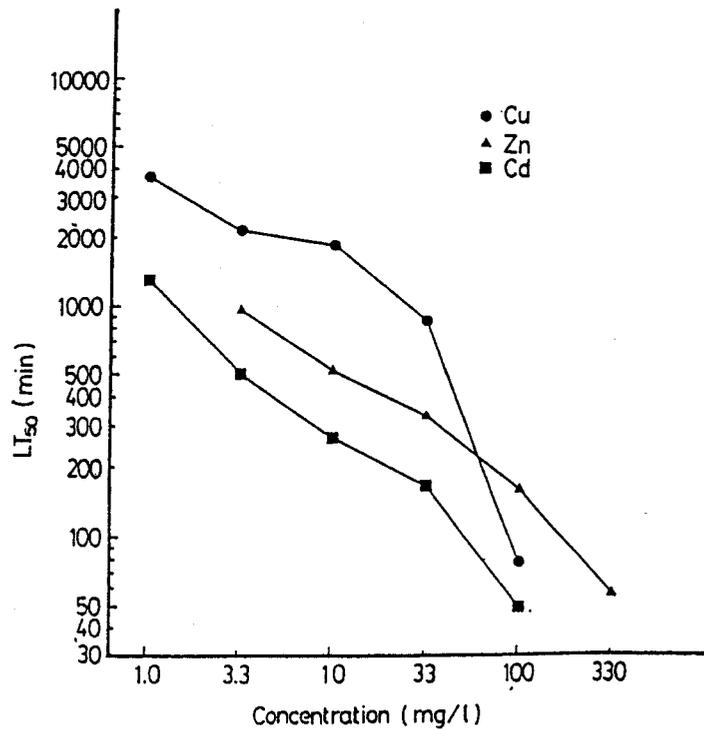


圖 4 三種重金屬對紅尾蝦之急性毒。

Fig. 4 Acute toxicity of three heavy metals to *P. penicillatus* larvae.

表1 紅尾蝦曝露在不同濃度的重金屬下50天的活存率，對照組的活存率是80%。

Table 1 The survival of *P. penicillatus* larvae exposed to various levels of heavy metals for 50 days. The survival in control after 50 days was 80%

|              |      |     |     |     |
|--------------|------|-----|-----|-----|
| Cu (mg/l)    | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 |
| Survival (%) | 70   | 40  | 0   | 0   |
| Cd (mg/l)    | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.4 |
| Survival (%) | 85   | 30  | 0   | 0   |
| Zn (mg/l)    | 0.1  | 0.2 | 0.4 | 0.8 |
| Survival (%) | 100  | 70  | 10  | 5   |

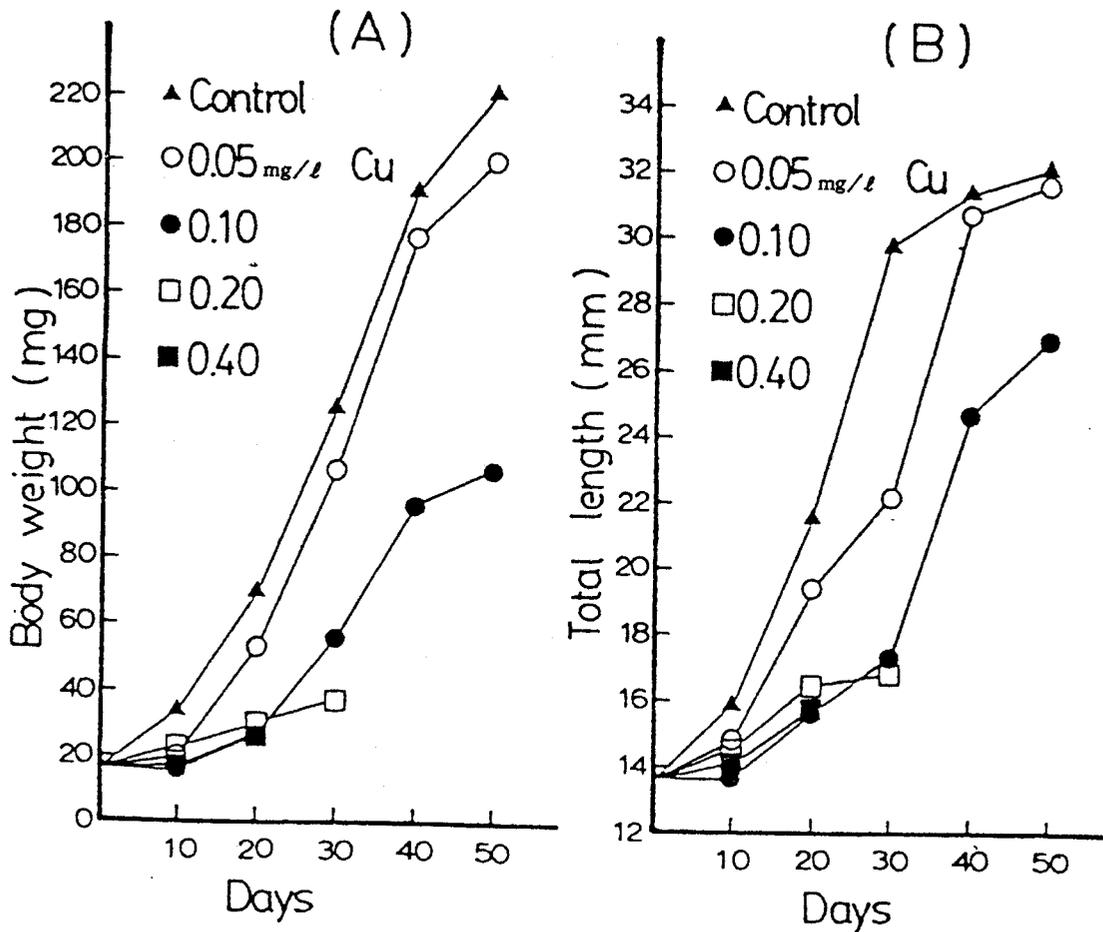


圖5 銅在不同濃度下，對紅尾蝦幼苗成長的影響(A)體重(B)全長。

Fig. 5 The effects of different concentration of copper on the larval growth (A) body weight (B) total length of *P. penicillatus*.

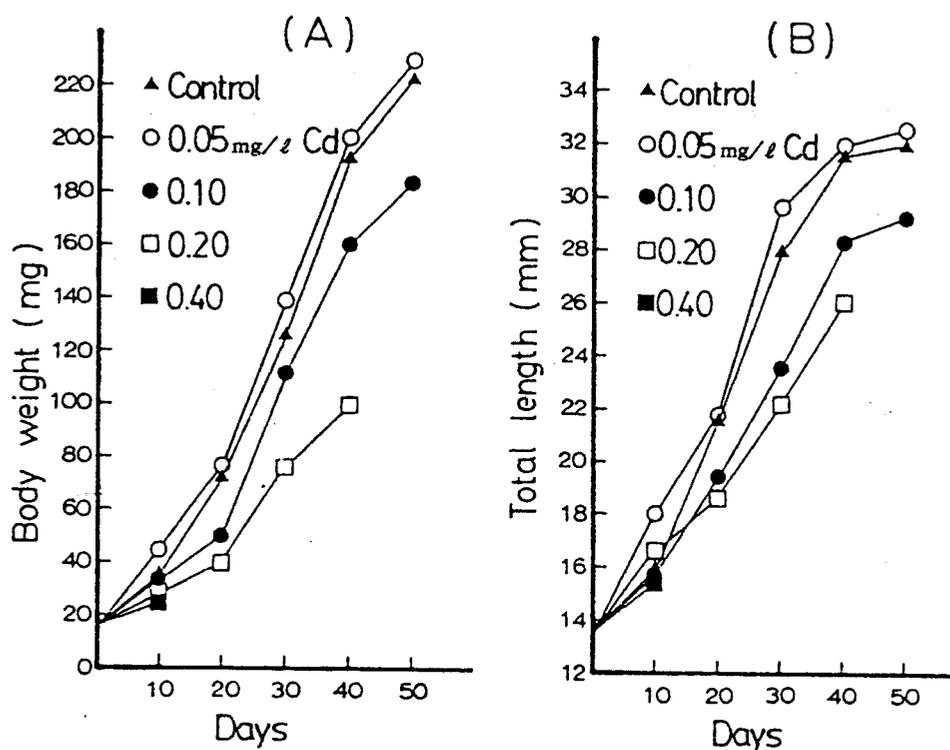


圖 6 鎘在不同濃度下，對紅尾蝦幼苗成長的影響(A)體重(B)全長。

Fig. 6 The effects of different concentration of cadmium on the larval growth (A) body weight (B) total length of *P. penicillatus*.

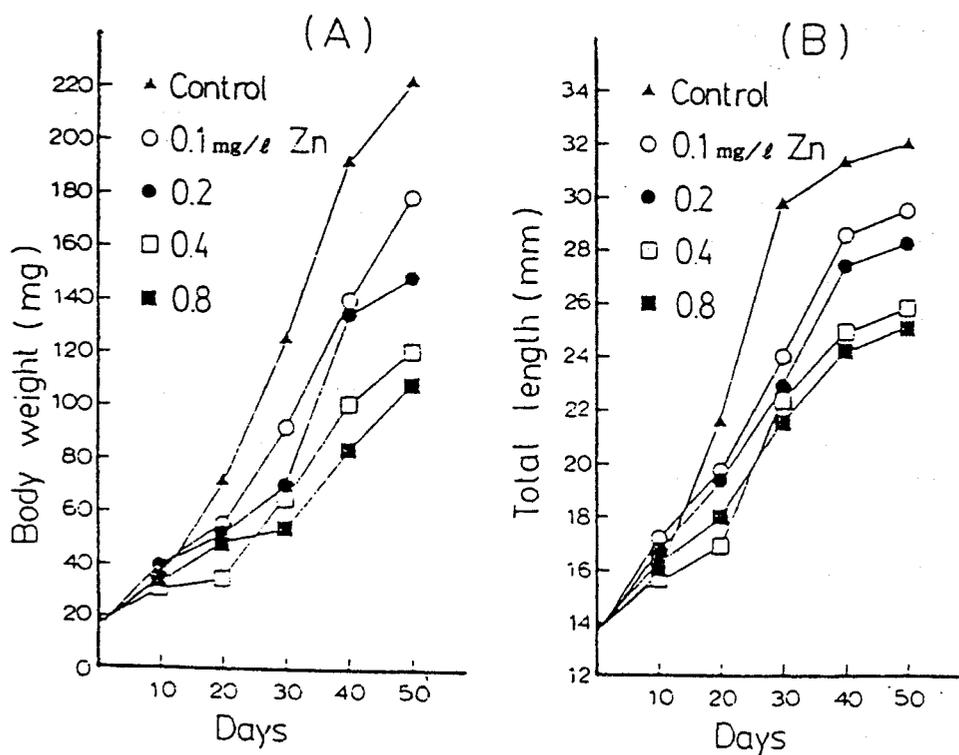


圖 7 鋅在不同濃度下，對紅尾蝦幼苗成長的影響(A)體重(B)全長

Fig. 7 The effects of different concentration of zinc on the larval growth (A) body weight (B) total length of *P. penicillatus*.

表2 紅尾蝦曝露在不同濃度的銅、鎘、鋅下50天，其重金屬的殘留量。

Table 2 The residue levels of copper, cadmium and zinc in *P. penicillatus* after being exposed to various levels of the heavy metals for 50 days.

| Heavy metal level | Residue level | Cu (ug/g) | Cd (ug/g)  | Zn (ug/g) |
|-------------------|---------------|-----------|------------|-----------|
| Cu                | 0.05 mg/l     | 49.5±10.0 | 0.53±0.12  | 19.5±5.6  |
|                   | 0.10 mg/l     | 61.8±14.8 | 0.76±0.50  | 26.8±7.6  |
| Cd                | 0.05 mg/l     | 17.5±1.7  | 11.00±1.73 | 12.8±1.9  |
|                   | 0.10 mg/l     | 23.0±3.0  | 25.75±6.50 | 23.8±7.1  |
| Zn                | 0.10 mg/l     | 21.8±8.0  | 0.81±0.08  | 24.0±1.4  |
|                   | 0.20 mg/l     | 20.5±6.7  | 0.44±0.29  | 24.3±4.0  |
|                   | 0.40 mg/l     | 21.7±5.7  | 1.85±0.45  | 33.5±6.5  |
|                   | 0.80 mg/l     | 24.0      | 1.40       | 40        |
| Control           |               | 17.5±2.2  | 0.20±0.14  | 14.3±2.5  |

生命安全。已往其他研究者從事重金屬的毒性試驗結果，顯示重金屬的濃度愈高，其毒性亦愈大（9~11），在本試驗中，亦有相同的結果。而重金屬毒性的多少，一般認為銅及鎘的毒性相差不大，而鋅之毒性則較小，但由圖4可看出銅的毒性在33mg/l以下較小，而在100mg/l時則介於鎘、鋅之間，同時由圖1可看出銅的毒性作用，在100mg/l時，很快的影響到每一隻蝦苗，而在33mg/l以下時，每一隻蝦苗對銅的毒性反應，則有顯著的不同，可見雖然在同一濃度下，對同一來源的蝦苗，其毒性效應則因個體不同仍產生相當大的差異，這是否因銅是蝦體內血藍素的主要成份有關，則有待進一步的探討。

成長為許多生理活動的綜合指標。多數魚貝類及甲殼類的成長均為重金屬所抑制(12)，其受影響之程度隨重金屬的濃度增加而增大，而在本試驗中亦得到相同的結果。Sastry and Gupta (1978) (13) 指出氯化汞對淡水硬骨魚 (*Channa punctatus*) 消化系統的具有抑制作用，故長期暴露於重金屬溶液中可能抑制紅尾蝦的消化吸收導致成長速率降低的現象。Eisler (1971) (14) 研究發現鎘對比目魚的毒性作用較慢，需經過較長的一段時間後才造成大量死亡的現象，此與紅尾蝦在0.2mg/l鎘溶液中於42天時突然大量死亡的情形相同。

重金屬在水生生物體中的累積量隨重金屬濃度及其組織而異，在本試驗中，由表2亦可發現濃度愈高，其累積量愈多，但其濃縮因子 (Concentration factor) 則應相反，濃度愈低其濃縮因子愈高，例如在0.05mg/l Cu時是990，而在0.1mg/l時則是618，又如在0.10mg/l Zn時是240，0.20mg/l時是121，0.40mg/l時是83.8，而在0.8mg/l時則只有50，但對鎘時，則似乎不同，因對0.05mg/l的Cd其濃縮因子是220，0.10mg/l Cd則是257，其原因仍需進一步探討。同時由表2亦可發現，蓄養在0.05mg/l Cd中的蝦苗，其生物體內累積的銅和鋅含量，均與對照組內生物體的含量相當，且只累積11.00±1.73ug/g (濕重含量) 的鎘，因此如圖6所示，0.05mg/l Cd的試驗組其成長與對照組沒

有顯著的差異，且似乎比對照組好。這可能因在試驗組中，紅尾蝦所累積的鎘已與蛋白質結合成 metallothionein，而降低其毒性，正如Jennings 等 (1979) (15)研究螃蟹 (*Carcinus maenas*) 對鎘的吸收，發現其與蛋白質結合相同。因此對於其它金屬離子的代謝尚沒影響，尤其對銅和鋅等微量營養元素的代謝沒影響，才使銅和鋅在生物體內仍具有適當的含量，也因此成長亦不受影響，但亦可能因低濃度鎘的毒性作用較慢(14)，因此尚未顯示出其毒性，則有待繼續探討。另外，在低濃度的銅和鋅溶液中蓄養紅尾蝦，其除分別累積高含量的銅和鋅外，且其餘兩種重金屬含量亦增高，如蓄養於  $0.10\text{mg}/\ell$  Cu 中的紅尾蝦，除累積  $61.8 \pm 14.8 \mu\text{g}/\text{g}$  的銅外，亦分別含有  $0.76 \pm 0.50 \mu\text{g}/\text{g}$  的 Cd 及  $26.8 \pm 7.6 \mu\text{g}/\text{g}$  的 Zn。又如蓄養在  $0.40\text{mg}/\ell$  Zn 中的紅尾蝦，累積了  $33.5 \pm 6.5 \mu\text{g}/\text{g}$  的 Zn 外，亦分別含有  $21.7 \pm 5.7 \mu\text{g}/\text{g}$  的 Cu 和  $1.85 \pm 0.45 \mu\text{g}/\text{g}$  的 Cd，均比對照組高出很多。這可能是因重金屬破壞或抑制鰓的功能，使生物體由消化系統或皮膚所攝取來的金屬離子無法正常的由鰓部代謝而排出所致。另外，由於銅為血藍素的組成元素，而鋅則常存於血漿蛋白中，因此在表 2 中所示，銅和鋅的含量均比鎘高出很多。

重金屬對生物的安全濃度 (Biological safe concentration)，即將生物無不良影響的最高限濃度，若由急性毒性所得結果來求的話，有： $48\text{小時 TLM} \times 0.1$ ； $96\text{小時 TLM} \times 0.1$  或  $48\text{小時 TLM} \times 0.3 / S^2$ ，其中 S 為  $24\text{小時 TLM} / 48\text{小時 TLM}$ (16)。在本試驗中，急性毒性試驗結果所得之 48 小時 TLM 值分別為 Cu =  $1.85\text{mg}/\ell$ ，Cd <  $1.0\text{mg}/\ell$ ，Zn <  $3.3\text{mg}/\ell$ ，因此其安全濃度應分別為 Cu 是  $0.185\text{mg}/\ell$ ，Cd 小於  $0.1\text{mg}/\ell$ ，Zn 小於  $0.33\text{mg}/\ell$ ，而根據成長試驗的結果，在 Cu 的濃度  $0.10\text{mg}/\ell$ ，Cd  $0.01\text{mg}/\ell$  及 Zn  $0.4\text{mg}/\ell$  時，對紅尾蝦的成長就有顯著的抑制作用，因此銅、鎘、鋅等三種重金屬對紅尾蝦的安全濃度，應銅不得高於  $0.1\text{mg}/\ell$ ，鎘亦不得高於  $0.1\text{mg}/\ell$ ，而鋅則不得高於  $0.33\text{mg}/\ell$ 。

## 摘 要

重金屬為工業上之主要原料，故常是造成水污染的主要污染物質之一，為防止重金屬污染繼續擴大，水質基準之訂定乃當務之急。本文旨在探討三種重金屬對紅尾蝦之急性毒，以及在低濃度時對紅尾蝦蝦苗的成長、活存率的影響和蝦苗對重金屬的累積情形。其所得結果顯示如下：

1. 在重金屬濃度低於  $33\text{mg}/\ell$  時，三種重金屬對紅尾蝦之毒性大小是 Cd > Zn > Cu，而在  $100\text{mg}/\ell$  時，則是 Cd > Cu > Zn。
2. 重金屬濃度愈高對紅尾蝦的活存率影響愈大。
3. 在 Cu 的濃度  $0.1\text{mg}/\ell$ ，Cd  $0.1\text{mg}/\ell$  及 Zn  $0.4\text{mg}/\ell$  時則對紅尾蝦的成長產生明顯的抑制作用。
4. 紅尾蝦在愈高濃度的重金屬溶液中，其生物體內所累積的重金屬量愈多。

## 謝 辭

本研究在省政府公務預算 (No.56.09006.1.0323) 項下完成，試驗期間承七十七年暑假於本分所實習之學生孫熙文、黃博城、邱郁文及陳麗光等熱心協助，謹此致由衷之謝忱。

## 參考文獻

1. 鄭森雄、黃耀文 (1974)。重金屬對魚貝類之影響。科學月刊，5 (6)，19-23
2. 鄭森雄 (1975)。台灣西南部河川水質污染與養殖貝類之大量死亡。水產學會誌，4 (1)，51-71

3. 洪楚璋、陳汝勤、林良平、梁乃匡 (1975)。台灣西南沿海貝類死亡之原因之研究。台大海洋研究所專刊第6號。
4. 陳弘成、謝明慧 (1978)。重金屬對蝦類急速毒性之研究。中國水產, 316, 3-10。
5. 陳建初、莊世彪、洪文慶 (1979)。重金屬對於淡水水生動物之半致死影響。中國水產, 325, 5-18
6. Ahsanullah, M., Negilski, D.S. and Mobley, M.,C. (1981). Toxicity of zinc, cadmium and copper to the shrimp *Callinectes australiensis* I. Effects of individual Metal. Marine Biol.64, 299-304.
7. 劉擎華 (1980)。四種重金屬對草蝦之慢性毒性研究。台灣大學海洋研究所碩士論文, 39。
8. Liao, I.C. and C.S. Hsieh (1988). Toxicity of heavy metal on *Penaeus japonicus* I. Toxicities of copper, cadmium, zinc to *Penaeus japonicus*. J. Fish. Soc. Taiwan, 15(2), 69-78.
9. Chen H.C. (1975). Some effect of heavy metals on the prawn  *Palaemon elegans*. Liverpool University. PhD Thesis, pp 163.
10. Conner, P.M. (1972). Acute toxicity of heavy metals to some marine larvae. Mar. Pollut. Bull.3,190-192.
11. Wisely, B. and R.A.P. Blick (1967). Mortality of marine invertebrate larvae in mercury, copper and zinc solution, Aust. J. Mar. Freshwat. Res.18,63-72.
12. Biesinger, K.E. and G.M. Christensen (1972). Effects of various metals in survival, growth, reproduction, and metabolism of *Daphnia magna*. J. Fish. Res. Bd. Can.29,1691-1700.
13. Sastry, K.V. and P.K. Gupta (1978). Effect of mercuric chloride on the digestive system of a teleost fish, *Channa punctatus*. Bull. Environm. Contam. Toxicol.20,353-360.
14. Eisler, R. (1971). Cadmium poisoning in *Fundulus heteroclitus* (Pisces: Cyprinodontidae) and other marine organisms. J. Fish. Res. Bd. Can.28,1225-1234.
15. Jennings, J.R., P.S. Rainbow and A.G. Scott (1979). Studies on the uptake of cadmium by the crab *Carcinus maenas* in the laboratory. II. Preliminary investigation of cadmium-binding protein. Mar. Biol. 50,141-149.
16. 谷田專治・島津忠秀 (1976)。水產增養殖用語事典, P 4, 綠書房, 東京, 日本。