

重金屬對各期紅尾蝦幼蝦毒性之影響

摘要

不同階段之紅尾蝦 (*Penaeus penicillatus*) 幼蝦, 於鹽度 30~32 ppt, pH 7.1~8.5 與水溫 25~27.5°C 下, 以靜止換水方式, 暴露於不同濃度重金屬中, 探討汞、銅、鎘與鋅對紅尾蝦幼蝦急性毒性之影響, 以及各期幼蝦對各種重金屬之忍受度。汞、銅、鎘與鋅對紅尾蝦幼蝦各階段之 24 小時之 LC50 分別為 0.14、3.26、3.40 與 4.25 mg/L, 其毒性依序為 $Hg > Cu > Cd > Zn$ 。而 48 小時之 LC50 分別為 0.06、2.20、1.90 與 2.09 mg/L, 則其毒性依序為 $Hg > Cd > Zn > Cu$ 。各期之幼蝦對重金屬之忍受度, 因重金屬種類及發育期而不同, 即幼蝦對銅與鎘之耐性隨幼蝦日數增加而增加, 但對汞與鋅之耐性則呈負相關性。

關鍵字: 毒性, 重金屬, 半致死濃度, 紅尾蝦

近來工業發達, 廢水未經處理, 而排放至河川, 沿海, 導致養殖用水, 常遭受到重金屬污染, 尤其在本省西南沿海主要養殖區, 常有發生魚蝦貝大量死亡現象⁽¹⁻⁴⁾, 對養殖業的損失年達數億元之鉅。

衛生署於七十四年二月公告之甲、乙與丙類海域水質標準, 規定該等海域海水含銅 (Cu)、鎘 (Cd)、鉛 (Pb) 與汞 (Hg) 不得超過 2、10、40、100 與 2 ppb, 而水產養殖用水基準建議安全濃度分別為 10、30、20、100 與 4 ppb⁽⁵⁾, 目前台灣西部近岸養殖區海域, 除鉻 (Cr)、Hg、Cu 外, 有些海域, 河口之 Cu、鋅 (Zn) 已超過標準, 尤其是二仁溪附近海域, 最高 Cu 含量達 370 ppb⁽⁶⁾, 所以對目前河川, 海洋水質環境之保護, 確實刻不容緩。紅尾蝦自廖⁽⁷⁾首先在魚塢中養成種蝦並以人工方法育成幼苗, 林⁽⁸⁾利用電擊摘取紅尾蝦精英做精英移植並育出子代, 劉與黃⁽⁹⁾以水泥池育出存活率達 84.74% 之蝦苗以來, 並在東港與台南水試所極力推廣下, 紅尾蝦養殖漸為盛行。依台灣漁業年報⁽¹⁰⁾, 民國八十年紅尾蝦蝦苗年產量達 587,500 千尾, 養殖面積 452 公頃, 總生產量 5,675 公噸, 價值達 554,769 千元, 可見紅尾蝦養殖已成為本省重要養殖蝦類之一。以往有關污染物質對於草蝦、斑節蝦、砂蝦、淡水蝦及其他蝦類之毒性影響已有不少報告, 但是對紅尾蝦之毒性影響報告, 只有張與

丁⁽¹¹⁾探討氨對其毒性影響, 有關重金屬對紅尾蝦之毒性影響資料相當缺乏。為建立水產用水基準以及提供漁民養殖之參考, 本論文探討重金屬急性毒性及各期幼蝦對各種重金屬之毒性抵抗力。

材料與方法

一、實驗用蝦

購自民間蝦苗繁殖場所繁殖 P1 之紅尾蝦苗, 蓄養於本分所, 室外水泥池 (4×2×1 m)。每隔一星期, 即在 P8、P16、P24、P32 與 P40 時分別取樣, 作為試驗材料, 蓄養期間, 投餵豐年蝦與人工配合飼料。

二、試驗用藥

本試驗選用之 Hg、Cu、Cd、Zn 四種重金屬, 即 $HgCl_2$ 、 $CuSO_4$ 、 $CdCl_2 \cdot 2 \cdot 1/2 H_2O$ 與 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 原液濃度均為 1,000 mg/L。

三、試驗方法

生物試驗參考 Franson⁽¹²⁾ 與 Hubert⁽¹³⁾ 之方法, 蝦苗逢機取樣放入各重金屬溶液中, 採雙重覆試驗;

調配試驗用溶液時取定量之原液，加入1 L之定容瓶中，再加過濾海水至標線，混合後，再倒入2 L燒杯中，實驗前先測pH值，用1N HCl或1N NaOH調整pH值。實驗期間，依據Buikema⁽¹⁴⁾與Chen⁽¹⁵⁾之方法，以靜止換水方式 (Static renewal method)，每24 h換試液一次，維持打氣、不投餌，樣品放入後，首先每小時觀察一次，然後每天早午晚各觀察一次，以玻璃棒接觸後，不動且無反應者判定為死亡，立刻除去，並加以記錄，然後依Hubert⁽¹³⁾與Trevors⁽¹⁶⁾之方法計算各種重金金屬對各期蝦苗之LC50值與其95%信賴界限；並求各期蝦苗與其LC50之相關性⁽¹⁷⁾。

四、試驗條件

(一) 試驗用海水，取經沉澱一星期，並經砂石，木炭過濾之海水，水質經分析如Table 1。

(二) 各期幼蝦試驗條件

P8 之毒性試驗，試驗溶液，水溫25.0~26.0°C，鹽度31.0 ppt，pH介於7.1~8.2，溶氧量 (Dissolved oxygen, D.O.) 介於5.3~6.3 mg/L。

P16 之毒性試驗，試驗溶液，水溫25.0~26.0°C，鹽度31.0 ppt，pH介於7.9~8.5，溶氧量介於5.5~6.4 mg/L。

P24 之毒性試驗，試驗溶液，水溫26.0~26.5°C，鹽度32.0 ppt，pH介於7.2~8.3，溶氧量介於5.1~6.2 mg/L。

P32 之毒性試驗，試驗溶液，水溫26.0~26.5°C，

鹽度30.0 ppt，pH介於7.2~7.9，溶氧量介於5.2~6.4 mg/L。

P40 之毒性試驗，試驗溶液，水溫27.0~27.5°C，鹽度31.0 ppt，pH介於8.1~8.5，溶氧量介於5.0~6.1 mg/L。

結果

Hg 對紅尾蝦幼蝦之急速毒性，隨時間增加容忍度下降，24 h 之各期幼蝦平均 LC50值為 0.139 ± 0.034 ppm，48 h 降至 0.059 ± 0.015 ppm，毒性相當強。各期幼蝦暴露於不同時間之汞溶液之死亡率與汞濃度取對數有線性關係 (Table 2)；經卡方分布 (Chi-square)⁽¹⁶⁾測試，在24 h各期之卡方值皆低於查表值，顯示該線性關係適合度之顯著性。在24 h各期紅尾蝦幼蝦與其暴露於汞溶液的半致死濃度有顯著負相關性 ($P < 0.05$)，即蝦苗愈大對汞之抵抗性有下降之趨勢 (Fig. 1)。

Cu 對紅尾蝦幼蝦之急速毒性，隨時間增加抵抗力下降，24 h 之各期幼蝦平均 LC50值為 3.26 ± 1.22 ppm，48 h 為 2.20 ± 0.89 ppm，72 h 則降至 1.20 ± 0.56 ppm。各期幼蝦暴露於不同時間之 Cu 溶液之死亡率與 Cu 濃度取對數皆呈線性關係，其適合度均顯著 ($P < 0.05$) (Table 3)。由 Fig. 2 顯示在24，48與72 h，各期紅尾蝦幼蝦與其暴露於 Cu 溶液的半致死濃度有顯著正相關性 ($P < 0.05$, $P < 0.01$)，即蝦苗愈大對 Cu 之抵抗性愈強。

Cd 對紅尾蝦幼蝦之急速毒性，隨時間增加抵抗力下降，24 h 之各期幼蝦平均 LC50值為 3.40 ± 0.09 ppm，48 h 為 1.90 ± 0.12 ppm，72 h 則降至 1.32 ± 0.32 ppm。各期幼蝦暴露於不同時間之 Cd 溶液之死亡率與 Cd 濃度取對數，呈線性關係 (Table 4)；經卡方分布測試，在24與48 h各期之卡方值皆低於查表值，顯示該線性關係適合度之顯著性 ($P < 0.05$)。在48與72 h，各期紅尾蝦幼蝦與其暴露於 Cd 溶液的半致死濃度有顯著正相關性的 ($P < 0.05$)，即蝦苗愈大對 Cd 之抵抗性愈強 (Fig. 3)。

Zn 對紅尾蝦幼蝦之毒性，隨時間增加忍受度降低，24 h 之各期幼蝦平均 LC50值為 4.25 ± 2.28 ppm，48 h 為 2.09 ± 0.57 ppm，72 h 則降至 1.33 ± 0.08 ppm。各期幼蝦暴露於不同時間之 Zn 溶液之死亡率與 Zn 濃度取對數，呈線性關係 (Table 5)；經卡方分布測試，在24與48 h各期之卡方值皆低於

Table 1. Chemical analysis of seawater used in toxicity experiments.

Item	Value
Salinity	32 ppt
Total alkalinity	115 mg/L as CaCO ₃
Total hardness	5128 mg/L as CaCO ₃
Ammonia	31 µg/L as Ammonia-N
Nitrite	15 µg/L as Nitrite-N
Nitrat	35 µg/L as Nitrate-N
Silica	20 µg/L as SiO ₂
Phosphate	26 µg/L as Orthophosphate-p
COD	1 mg/L
Mercury	nd*
Copper	7 ppb
Cadmium	2 ppb
Zinc	8 ppb

*nd: not detectable

查表值，顯示該線性關係適合度之顯著性 ($P < 0.05$)。由 Fig. 4 顯示，在 48 h，各期紅尾蝦幼蝦與其暴露於 Zn 溶液的半致死濃度有顯著負相關性 ($P < 0.05$)，蝦苗愈大對 Zn 之抵抗力有轉弱之趨勢。

討論

重金屬毒性與生物體大小，種類，暴露時間以及環境和水質狀況有密切關係^(18,19)。數種重金屬混合對蝦類有協同毒性作用^(20,21)。對魚蝦之滲透壓亦有很大影響^(22,23)。林⁽²⁴⁾指出 pH 值愈低時，重金屬對淡水蝦 (*Macrobrachium rosenbergii*) 之毒性有愈強之現象。*Penaeus kerathurus* 後期幼蟲之 LC50 較幼蟲期高出很多 (Rodriguez and Establier)⁽²⁵⁾。張與陳⁽²⁶⁾亦指出重金屬對紅蟳 (*Scylla serrata*) 第一期幼蟲比 megalops 更具毒性⁽²⁶⁾。周等⁽²⁷⁾指出重金屬對草蝦後期幼蟲 (P2, P5, P10) 之 24 h 的 LC50 值: Hg (0.02 ~ 0.03 ppm), Cu (0.89 ~ 2.17 ppm), Cd (0.25 ~ 2.89 ppm), Zn (1.44 ~ 4.57 ppm)，皆隨期數增加，半致死濃度愈高，即忍耐力愈強，而毒性依序為 Hg > Cu > Cd > Zn，而本試驗以紅尾蝦苗 P8~P40 作為試驗材料，發現 Hg 對其毒性，呈負相關性即期數愈大，抵抗力反而有降低現象，雖然在 48 h 無顯著相關性，但亦呈負迴歸線，由於 Hg 之毒性強，至 72 h 蝦苗大部分死亡，未能求出其 LC50 值。Cu 對紅尾蝦幼蝦之毒性，隨紅尾蝦幼蝦愈大，LC50 值愈大，在 24、48 與 72 h 皆呈顯著正相關性，蝦苗愈大對 Cu 之抵抗力愈強。Cd 同樣隨幼蝦增長，其 LC50 值稍有上昇，除在 24 h 外，48 與 72 h 都呈顯著正相關性，蝦苗愈大對 Cd 之抵抗力有轉強之趨勢。而 Zn 對紅尾蝦幼蝦之毒性，在 48 h 呈顯著負相關性，蝦苗愈大對 Zn 之抵抗力有轉弱之趨勢，雖然在 24 與 72 h，無顯著相關，但亦呈負迴歸線，由此顯示重金屬對紅尾蝦幼蝦之毒性隨幼蝦增長，各有不同表徵。

重金屬對水生生物體之影響，有些研究者認為其毒性強度，依序為 Hg > Cu > Cd > Zn，其中 Cd 毒性之相對強度不一^(28,29)。Chen⁽³⁰⁾ 研究重金屬對 *Palaemon elegans* 第一期稚蝦之毒性，依序為 Hg > Cu > Cd > Zn。而 *P. elegans* 成熟個體對 Cu 之毒性較能忍受，陳與謝⁽³¹⁾ 指出重金屬對草蝦 (*Penaeus monodon*) 及砂蝦 (*Metapenaeus ensis*) 的毒性以 Hg 最毒，對 Cu 則具有較高的耐力，張與陳⁽²⁶⁾ 亦指出重金屬對紅蟳之 megalops 的毒性以 Hg 為最高，Cd

Zn 次之，而 Cu 最小。在本試驗中，重金屬對各期紅尾蝦幼蝦之毒性強度，以其 LC50 值來評估，則隨幼蝦增長，各有不同的表徵；在 24 h，對幼蝦 P8 與 P16 之毒性強度依序為 Hg > Cu > Cd > Zn；在 P24 與 P32 時則依序為 Hg > Zn > Cd > Cu；在 P48 時則其毒性強度依序為 Hg > Cd > Zn > Cu (Fig. 5)，由此可知 Cu 在 P24 以後其毒性則比 Cd 與 Zn 較弱。對 48 h 之 P8 與 P16 之毒性依序為 Hg > Cu > Cd > Zn，在 P24 時，除 Hg 毒性保持最強外，Cu、Cd 與 Zn 之毒性相差甚微，但在 P32 與 P40 時則其毒性又有不同表徵，其強度依序為 Hg > Zn > Cd > Cu (Fig. 6)。對 72 h 之毒性，則 Hg 毒性相當強，試驗蝦大部死亡；至於 Cu、Cd 與 Zn 對紅尾蝦之毒性強度表現，在 P8 與 P16 其毒性依序為 Cu > Cd > Zn；在 P24 時，則顯示 Cu 與 Cd 毒性一樣，Zn 則稍弱，但在 P32 與 P40 其毒性表現皆以 Zn 強於 Cu，Cd，其毒性分別為 Zn > Cu > Cd 與 Zn > Cd > Cu (Fig. 7)，由以上顯示，Hg 之毒性維持最強，Cu、Cd、Zn 之順序則有變動，在蝦苗愈大時，對 Zn 毒性之抵抗力反而有轉弱之現象。

Bliss 早年提出以殺蟲劑對生物致死率之迴歸係數，來做為該藥劑對生物毒性反應率指標，當迴歸係數大時，只要增減一點點藥劑之使用量，生物對該藥劑之反應率則變化很大，係數小時，增減藥劑使用量，對藥劑敏感度之反應比例很小；丁⁽³²⁾ 指出除草劑 (PCP) 之致死率迴歸係數大，所以該藥劑對生物之敏感度強。在本試驗中顯示重金屬對各期紅尾蝦幼蝦之毒性，隨時間增加，半致死濃度隨著下降，即有抵抗力轉弱之趨勢，但是對重金屬敏感度，隨種類而不同，亦各有不同表徵，由各期紅尾蝦幼蝦暴露不同時間之各種重金屬之半致死濃度的迴歸係數來評估，在 Hg、Cu、Zn，隨著時間增加迴歸係數愈小，顯示這三種重金屬對各期紅尾蝦幼蝦開始處理時對藥劑敏感度反應率強，隨時間增加，而減弱，但 Cd 則隨著時間增加迴歸係數愈大，顯示 Cd 對各期紅尾蝦幼蝦開始處理時對藥劑敏感度反應小，隨著時間增加，反應比例則增強；Russell⁽³³⁾ 指出海水中氨基酸和蛋白質等有機懸浮微粒會與 Cu 形成複合物沉澱，而降低 Cu 之毒性，Eisler⁽³⁴⁾ 亦提出 Cd 對 *Fundulus heteroclitus* 之毒性反應較慢，這與由迴歸係數評估對重金屬敏感度反應情形有相似之意。

一般蝦苗愈大對藥性抵抗力加大，但在本試驗中顯示 Hg 與 Zn 對紅尾蝦則有不同反應現象，這可能以

Table 2. Regressional relationship between mortality (Y, in probit) and mercury concentration (X, log mg/L) at various development stages of *Penaeus penicillatus*.

Time (h)	Juveniles (day)	$Y=a+bX$	LC50 (mg/L)	Chi-square
24	P8	$Y=-0.3324+2.3375X$	0.191 (0.149~0.246)	3.195*
	P16	$Y=-1.4636+2.9537X$	0.154 (0.127~0.188)	8.824*
	P24	$Y=-1.3557+3.0228X$	0.127 (0.104~0.154)	7.701*
	P32	$Y=-0.3165+2.5994X$	0.111 (0.088~0.140)	7.716*
	P40	$Y=-0.3940+2.6396X$	0.111 (0.088~0.139)	4.989*
48	P8	$Y=-2.2295+3.7559X$	0.084 (0.069~0.102)	16.506
	P16	$Y=-1.4023+3.7014X$	0.054 (0.040~0.071)	38.897
	P24	$Y=-1.6553+3.8040X$	0.056 (0.043~0.074)	56.718
	P32	$Y=0.4778+2.6009X$	0.055 (0.037~0.082)	20.977
	P40	$Y=-1.1599+3.7236X$	0.045 (0.032~0.063)	11.037

n=6, number of nominal concentration for calculation.

*, significance at 95% level.

(), 95% confidence limits.

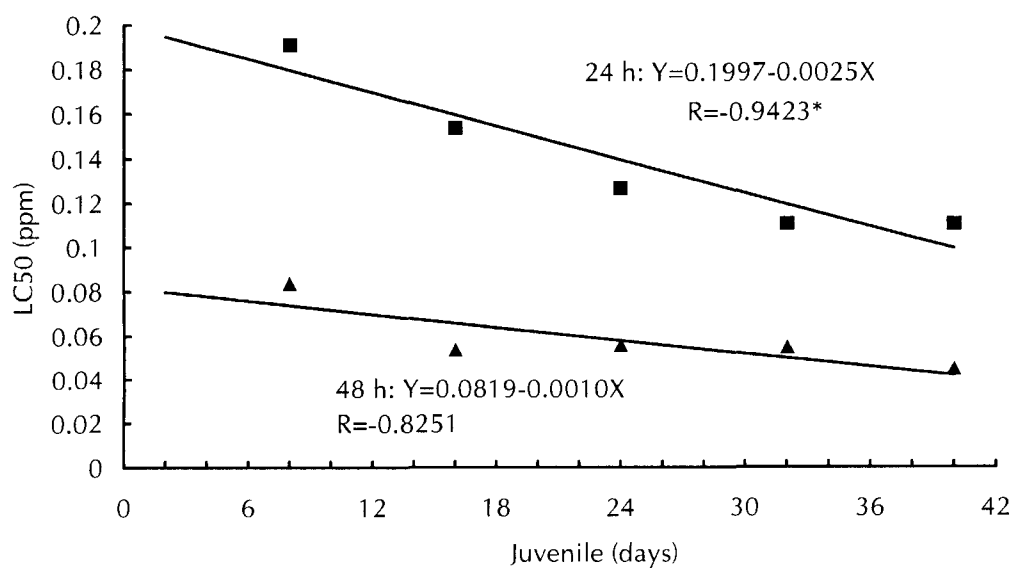


Fig. 1. Correlations between LC50-mercury (ppm) and development stage (in days after metamorphosis) in *Penaeus penicillatus*.

Table 3. Regressional relationship between mortality (Y, in probit) and copper concentration (X, log mg/L) at various development stages of *Penaeus penicillatus*.

Time (h)	Juveniles (day)	$Y=a+bX$	LC50 (mg/L)	Chi-square
24	P8	$Y=0.0655+4.0738X$	1.63 (1.390~1.900)	3.821*
	P16	$Y=2.1108+2.1206X$	2.30 (1.780~2.980)	3.319*
	P24	$Y=2.5449+1.5409X$	3.92 (2.105~7.303)	1.893*
	P32	$Y=1.1554+2.3962X$	4.02 (2.628~6.153)	1.078*
	P40	$Y=1.4940+2.1309X$	4.41 (2.587~7.542)	1.037*
48	P8	$Y=-1.5609+5.8846X$	1.30 (1.141~1.488)	7.246*
	P16	$Y=2.4912+2.0076X$	1.78 (1.343~2.352)	2.648*
	P24	$Y=2.7762+1.7264X$	1.94 (1.425~2.645)	2.836*
	P32	$Y=0.4943+3.3038X$	2.31 (1.949~2.740)	0.801*
	P40	$Y=2.4397+1.6384X$	3.65 (2.126~6.278)	2.218*
72	P8	$Y=0.6056+5.2165X$	0.69 (0.493~0.981)	4.128*
	P16	$Y=3.7916+1.4553X$	0.68 (0.234~1.957)	1.109*
	P24	$Y=2.3176+2.4999X$	1.18 (0.836~1.674)	0.358*
	P32	$Y=1.0204+3.4299X$	1.45 (1.183~1.769)	2.009*
	P40	$Y=2.6934+1.7686X$	2.01 (1.494~2.716)	0.672*

n=6, number of nominal concentration for calculation.

*, significance at 95% level.

(), 95% confidence limits.

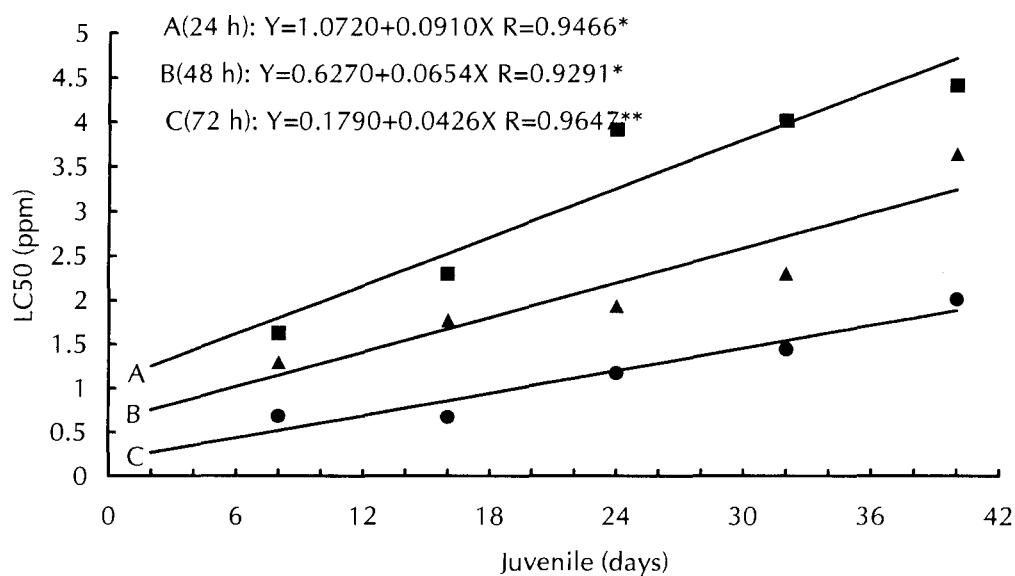


Fig. 2. Correlations between LC50-copper (ppm) and development stage (in days after metamorphosis) in *Penaeus penicillatus*.

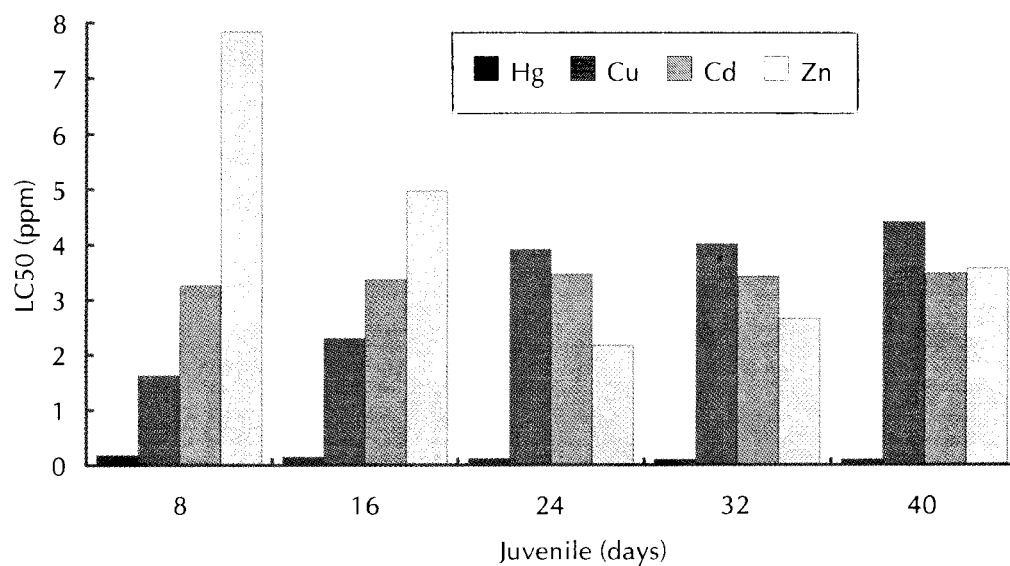


Fig. 5. A comparison of LC50-24 h values of mercury, copper, cadmium and zinc to *Penaeus penicillatus* juveniles.

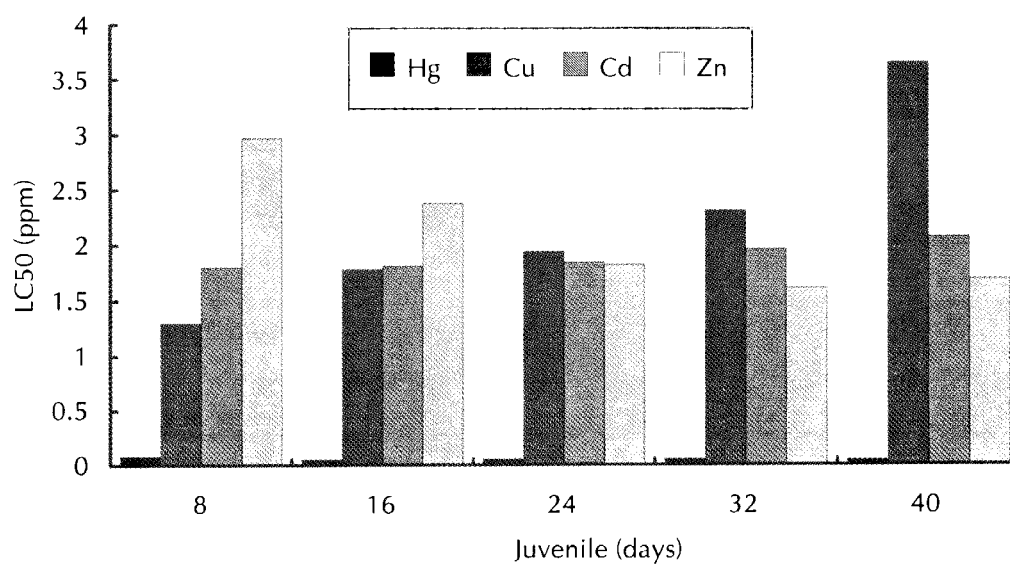


Fig. 6. A comparison of LC50-48 h values of mercury, copper, cadmium and zinc to *Penaeus penicillatus* juveniles.

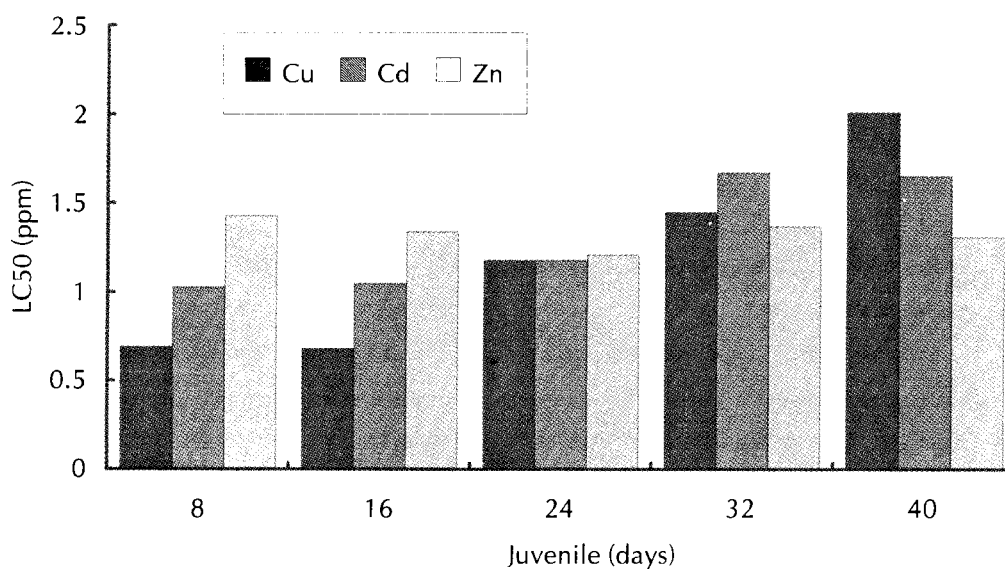


Fig. 7. A comparison of LC50-72 h values of copper, cadmium and zinc to *Penaeus penicillatus* juveniles.

往只針對某階段之蝦苗為材料，未連續性探討重金屬對各期幼蝦之影響，或是蝦種類不同以及 Hg、Zn 對紅尾蝦產生特殊生理機制所致，有待進一步探討。據 Sastry 等⁽³⁵⁾ 與 Burton⁽³⁶⁾ 等指出 Hg 與 Zn 對水生生物之毒害作用是與生物體之酶與鰓表皮細胞緊密結合，造成酶失去作用及體內的催化反應失效，以及細胞壁分裂抑制正常細胞功能。又汞化合物分為無機汞與有機汞化合物，其毒性各有不同，無機汞鹽如 HgCl_2 是一種溶解性鹽在肝與腎組織有累積傾向，會造成傷害，但易由泌尿系統排泄掉；最具毒性為烷機汞，這些化合物易自生物薄膜透過，而進入腦組織蓄積，即使低濃度亦能蓄積，而且滯留體內時間長，造成傷害性大。在河川或湖底污泥由於嫌氧微生物之作用，可使無機汞轉化成烷機汞，而動物體內腸胃的微生物亦具有此能力⁽³⁷⁾。在這次試驗中，有幼蝦愈大，抵抗性愈小之趨勢，是否由於蝦愈大排泄物及腸內微生物增加，導致無機汞化合物甲基化，加速對酶的抑制與細胞的傷害有關，有待進一步探討。

謝辭

本研究由省府預算科目「養殖用水水質調查及應用試

驗」80－水試－養－33 所支助。試驗期間承本分所葉信利助理研究員鼎力協助，得以完成，特此致謝。

參考文獻

1. 鄭森雄 (1975) 台灣西南沿海養殖貝類大量死亡原因之研究. JCRF Fish. Rept., 18: 1-48.
2. 張嵩林 (1984) 台灣水污染對漁業損害之調查. 漁業環境保護, 台灣省水產學會, 127-137.
3. 陳弘成 (1981) 繁殖場草蝦苗大量死亡之研究. 中國水產, 343: 15-22.
4. Hung, T. C., J. C. Chen, L. P. Lin and K. L. Fan (1981) Water pollution study on shellfish cultivating area of western coast of Taiwan. Inst. Oceanogr. National Taiwan Univ., Spec. Publ., 31: 1-30.
5. 徐崇仁, 周賢鏘, 廖一久 (1991) 現階段台灣水產用水水質標準之探討, 農委會漁業特刊, 23: 163-172.
6. 洪楚璋 (1988) 台灣西部養殖區水質監測與生物體重金屬含量調查研究. 環境保護署, 環保專案研究叢書, 4: 4-6.
7. 廖一久 (1973) 池中養成紅尾蝦之種蝦速報. JCRF. Fish. Ser.15: 59-65.

- Penaeus penicillatus* Alock. Proceedings of the Symposium on Marine Biological Science, Biology Research Center, National Science Council monograph series, **14**: 209–221.
9. 劉熾揚, 黃茂春 (1986) 紅尾蝦苗生產試驗報告. 台灣省水產試驗所試驗報告, **40**: 203–209.
 10. 台灣省農林廳漁業局 (1991) 中華民國台灣地區漁業年報. pp. 195–562.
 11. 張朴性, 丁雲源 (1987) 氨對紅尾蝦的毒性試驗. 台灣省水產試驗所試驗報告, **43**: 199–205.
 12. Franson, M. A. H. (Editor) (1980) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 15th edition. American Public Health Association, Washington, DC, 1134 pp.
 13. Hubert, J. J. (1980) Bioassay. Kendall Hunt Publishing Co., Toronto, Ont., 164 pp.
 14. Buikema, A. L. Jr., R. R. Niedertehner and J. Cairns, Jr. (1982) Biological Monitoring, PART IV. Toxicity testing. Water Res., **16**: 239–262.
 15. Chen, J. C., P. C. Liu and S. C. Lei (1990) Toxicities of ammonia and nitrite to *Penaeus monodon* adolescents. Aquaculture, **89**: 127–137.
 16. Trevors, J. V. and C. W. Lusty (1985) A basic microcomputer program for calculating LD50 Values. Water, Air, Soil Pollut., **24**: 431–442.
 17. Steel, R. G. D. and J. H. Torrie (1980) Principles and Procedures of Statistics. (2nd edition). McGraw-Hill Book Co., NY, 239 pp.
 18. Mckin, J. M. and D. A. Benoit (1971) Effects of long-term exposure to copper on survival, growth and reproduction of brook trout (*Salvelinus fontinalis*). J. Fish. Res. Board Can., **28**: 655–662.
 19. Carrol, J. J., S. J. Eilis and W. S. Oliver (1979) Influence of hardness constituents on the acute toxicity of cadmium to brook trout (*Salvelinus fontinalis*). Bull. Environm. Contam. Toxicol., **22**: 575–581.
 20. 謝介士 (1986) 汞銅鎘鋅等四種重金屬對各期草蝦幼苗之急性毒研究. 台灣大學海洋研究所碩士論文, 64 pp.
 21. 廖一久, 謝介士 (1988) 重金屬對於斑節蝦之毒性. J. Fish. Soc. Taiwan, **15**(2): 69–78.
 22. 陳弘成 (1980) 重金數對岩蝦 *Palaemon elegans* 的滲透調節之研究. J. Fish. Soc. Taiwan, **7**(1): 1–13.
 23. 袁又罡 (1990) 銅對烏魚 (*Mugilce phalus* Linnaeus) 之急慢性毒性的影響. 台灣大學動物學研究所 碩士論文, 17 pp.
 24. 林世榮 (1981) 汞銅鋅對淡水蝦 (*Macrobrachium rosenbergii*) 與虱目魚 (*Chanos chanos*) 之急速毒性試驗. 中國水產, **339**: 20–25.
 25. Rodriguez, A. and R. Establier (1983) Toxicity of Mercury, copper and cadmium on the larvae and postlarvae of shrimp *Penaeus kerathurus*. Invest. Pesq., **47**: 339–344.
 26. 張金豐, 陳弘成 (1980) 海洋污染物對蝦苗之毒性研究. 海洋彙刊, **26**: 47–58.
 27. 周賢鏘, 江章, 丁雲源 (1985) 重金屬對於草蝦幼苗急性毒之研究. 台灣省水產試驗所試驗報告, **30**: 181–188.
 28. Wisely, B. and R. A. P. Blick (1967) Mortality of marine invertebrate larvae in mercury, copper and zinc solutions. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., **18**: 63–72.
 29. Conner, P. M. (1972) Acute toxicity of heavy metals to some marine larvae. Mar. Pollut. Bull., **3**: 190–192.
 30. Chen, H. C. (1975) Some effects of heavy metals on the prawn *palaemon elegans*. Liverpool Univ., Ph.D. Thesis, 163 pp.
 31. 陳弘成, 謝明慧 (1979) 重金屬對於蝦類急性毒性之研究. 中國水產, **36**: 3–7.
 32. 丁雲源 (1972) モガイの生態並びに養殖に関する研究. 廣島大學農學研究科水產學, 碩士論文, pp. 68–69.
 33. Russell, G. and O. P. Morris (1972) Effect of chelation on toxicity of copper. Mar. Pollu. Bull., **4**: 159–160.
 34. Eisler, R. (1971) Cadmium poisoning in *Fundulus heteroclitus* and other marine organisms. J. Fish. Res. Board Can., **28**: 1225–1234.
 35. Sastry, K. V. and P. K. Gupta (1978) Effect of mercuric chloride on the digestive system of teleost fish, *Channa punctatus*. Bull. Environm. Contam. Toxicol., **20**: 353–360.
 36. Burton, D. T., A. H. Jones and J. Cairv (1972) Acute zinc toxicity to rainbow trout (*salmo gairdneri*) confirmation of the hypothesis that death is related to tissue hypoxia. J. Fish. Res., Board Can., **29**: 1463–1466.
 37. 宋鴻樟 (1976) 環境衛生化學. 合記圖書出版社, pp. 177–193.

Shih-Jung Lin and Yun-Yuen Tin

Tainan Branch, Taiwan Fisheries Research Institute,

4 Haipu, Sancu, Chicu, Tainan, Taiwan 724

(Accepted 22 August 1992)



The Toxicity of Heavy Metals to Juvenile *Penaeus penicillatus* in Each Stage

Abstract

The tolerance of red-tail shrimp juveniles, *Penaeus penicillatus*, to heavy metal toxicity was examined by exposing the juveniles at various developmental stages to varying concentrations of mercury, copper, cadmium and zinc in 30~32 ppt seawater (pH 7.1~8.5) at 25~27°C. The static renewal method was used for daily water exchange. The results indicated that LC50-24 h of Hg, Cu, Cd and Zn was 0.14, 3.26, 3.40 and 4.25 mg/L, respectively. The order of the toxicity was Hg > Cu > Cd > Zn. LC50 of Hg, Cu, Cd and Zn at 48 h was 0.06, 2.20, 1.90 and 2.09 mg/L, respectively, and the order of toxicity was found to be Hg > Cd > Zn > Cu. The toxicity tolerance of shrimp juveniles to the heavy metals varied with developmental stages; the tolerance to copper and cadmium increased as the development proceeded, while that to mercury and zinc declined as the shrimp developed.

Key words: Toxicity, Heavy metals, LC50, *Penaeus penicillatus*