

重金屬對中國對蝦蝦苗之致死影響

摘要

探討汞、銅、鎘與鋅等四種重金屬對中國對蝦之初期幼蟲與蝦苗之急速毒性，由半致死濃度顯示，後期幼蟲對重金屬毒性之抵抗力大於初期幼蟲。對初期幼蟲之毒性強度依序為汞 > 銅 > 鎘 > 鋅，對 PL5 之相對毒性為汞 > 銅 > 鎘 > 鋅，對於 PL12 及 PL20 其毒性強度則稍有不同，相對毒性依序為汞 > 鎘 > 銅 > 鋅。以上四種重金屬對中國對蝦之初期幼蟲與後期幼蟲皆隨期數增加，容忍度增加，但隨暴露時間增加對蝦苗之毒性則有抵抗力下降之趨勢。

關鍵字：毒性，重金屬，中國對蝦

蝦類為世界上各國人民所喜食之水產物，是目前本省重要經濟產業之一，自民國 77 年來草蝦養殖發生挫折後至今尚未復原，為試途解決漁民之損失，使蝦類養殖多樣化，台南分所於 1989 年由大陸引進中國對蝦 (*Penaeus chinensis* Osbeck)，俗稱大正蝦，明蝦與肉蝦，經幾年研究，在台灣已繁養殖成功⁽¹⁻³⁾。由於本省河川沿海遭受工業廢水之污染日趨嚴重⁽⁴⁻⁶⁾，已直接影響到養殖用水之取用；近來已有學者專家探討重金屬對蝦類的影響，對於經濟蝦類之草蝦、斑節蝦、沙蝦、紅尾蝦、淡水蝦之報告較多⁽⁷⁻¹⁴⁾，本試驗旨在探討中國對蝦初期幼蟲與後期幼蟲對重金屬之容忍度，以供業者池塘管理與制定水產養殖用水水質基準之參考。

材料與方法

一、實驗用蝦

取自台南分所所繁殖中國對蝦之初期幼蟲與蝦苗，作為試驗材料、分為眼幼蟲 (Zoea)、糠蝦蟲 (Mysis) 與後期幼蟲 (Postlarva)。

二、試驗用藥

本試驗選用之汞 (Mercury, Hg)、銅 (Copper, Cu)、

鎘 (Cadmium, Cd) 與鋅 (Zinc, Zn) 等四種重金屬是以 HgCl_2 、 CuSO_4 、 $\text{CdCl}_2 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 與 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 來配成原液。

汞儲備溶液是取 1.354 g HgCl_2 先加上含有 1 ml HNO_3 之蒸餾水 600 ml 溶解後，再用蒸餾水稀釋至 1 L 定容瓶之標線即為 1000 mg/L Hg 之汞儲備溶液。

銅儲備溶液是取 2.512 g CuSO_4 先加上 2N HCl 10 ml 與 50 ml 蒸餾水溶解後，再用蒸餾水稀釋至 1 L 定容瓶之標線即為 1000 mg/L Cu 之銅儲備溶液。

鎘儲備溶液是取 2.032 g $\text{CdCl}_2 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 先加上 100 ml 蒸餾水溶解後，再用蒸餾水稀釋至 1 L 定容瓶之標線即為 1000 mg/L Cd 之鎘儲備溶液。

鋅儲備溶液是取 4.397 g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 先加上 100 ml 蒸餾水溶解後，再用蒸餾水稀釋至 1 L 定容瓶之標線即為 1000 mg/L Zn 之鋅儲備溶液。

三、試驗方法

試驗用之眼幼蟲、糠蝦蟲與後期幼蟲，逢機取樣放入各種重金屬溶液中，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。各期之試驗尾數，皆在每容器中放入 20 尾。毒性試驗方法係依據 Buikema et al.⁽¹⁵⁾ 方法，採用靜止換水方式 (Static renewal method)，每隔 24 小時換試液一次，維持輕微打氣，不投餌，試驗期間隨時觀察蝦苗死亡情形，

Table 1. Relationship between probit of mortality (Y) and log mercury concentration as mg/L (X) at various exposure time for different stage of *Penaeus chinensis* larvae, and LC50 of mercury and its 95% confidence limits (in parenthesis).

Time (h)	Larva	$Y=a+bX$	R	N	LC50 (mg/L)	Chi-square
24	Z1	$Y=2.403+1.627X$	0.9695	6	0.004 (0.003-0.006)	2.273*
	Z2	$Y=1.702+1.851X$	0.9819	6	0.006 (0.004-0.008)	1.467*
	Z3	$Y=0.178+2.284X$	0.9470	6	0.007 (0.006-0.010)	7.189*
24	M1	$Y=2.089+1.541X$	0.9428	6	0.008 (0.005-0.011)	3.905*
	M2	$Y=1.754+1.402X$	0.8880	7	0.021 (0.012-0.034)	7.961*
	M3	$Y=0.281+1.930X$	0.9035	7	0.028 (0.018-0.042)	10.445*
24	P5	$Y=-0.158+2.409X$	0.9395	8	0.138 (0.111-0.172)	9.353*
	P12	$Y=1.499+1.558X$	0.9707	10	0.177 (0.135-0.232)	1.775*
	P20	$Y=1.161+2.759X$	0.9172	7	0.246 (0.204-0.297)	4.395*

* significance at 95% level.

並加以記錄；死亡判定，以玻璃棒接觸其附肢，不動且無反應為準；實驗前先測各溶液之 pH 值，用 1N HCl 或 1N NaOH 調整，使其範圍在 7.5~8.5 之間，試驗期間鹽度範圍為 31~34 ppt，水溫界於 20~23°C，溶氧量為 4.0~6.5 ppm 之間。首先分析各重金屬與各期蝦苗累積死亡數之關係。依據 Finney⁽¹⁶⁾ 之 Probit 法估算並利用 BASIC 程式及個人電腦計算⁽¹⁷⁾，求出各種重金屬對各期蝦苗之半致死濃度 (Median lethal concentration, LC50) 與其 95% 信賴界限，並算出各重金屬濃度對數值與死亡率機數值之線性回歸方程式，X 軸為各重金屬濃度對數值，Y 軸為對機數死亡率；並求各別重金屬對眼幼蟲、糠蝦蟲與後期幼蟲之平均半致死濃度。

結果

汞濃度與眼幼蟲及糠蝦蟲之累積死亡數的關係如 Fig. 1 所示，而與後期幼蟲之關係如 Fig. 2 所示。由 Figs. 1 與 2 顯示汞濃度與眼幼蟲、糠蝦蟲及後期幼蟲之累積死亡數有顯著相關性 ($P < 0.05$)。汞對中國對蝦蝦苗之半致死濃度與 95% 之信賴界限，如 Table 1 所示，眼幼蟲之 Z1、Z2、Z3 之 24 小時 LC50 分別為 0.004、0.006 與 0.007 mg/L，三期之 24 小時 LC50 之平均值為 0.006 ± 0.002 mg/L；糠蝦蟲

之 M1、M2、M3 之 24 小時 LC50 分別為 0.008、0.021 與 0.028 mg/L，三期之 24 小時 LC50 之平均值為 0.019 ± 0.010 mg/L；PL5、PL12、PL20 之 24 小時 LC50 分別為 0.138、0.177 與 0.246 mg/L，而此三期之 24 小時 LC50 之平均值為 0.187 ± 0.055 mg/L。汞對中國對蝦蝦苗之毒性相當強，但隨期數增加，容忍度隨著上昇。

銅之濃度與眼幼蟲及糠蝦蟲之累積死亡數的關係如 Fig. 3 所示，而與後期幼蟲之關係如 Fig. 4 所示，由 Figs. 3 與 4 顯示銅濃度與眼幼蟲、糠蝦蟲及後期幼蟲之累積死亡數有顯著相關性 ($P < 0.05$)。銅對中國對蝦蝦苗之半致死濃度與 95% 之信賴界限，如 Table 2 所示，其對中國對蝦蝦苗，隨期數增加，容忍度上昇，蝦苗隨時間增加則容忍度有下降之趨勢。眼幼蟲之 Z1、Z2、Z3 之 24 小時 LC50 分別為 0.074、0.079 與 0.088 mg/L，三期之 24 小時 LC50 之平均值為 0.080 ± 0.007 mg/L；糠蝦蟲之 M1、M2、M3 之 24 小時 LC50 分別為 0.093、0.166 與 0.177 mg/L，其平均值為 0.145 ± 0.046 mg/L；PL5、PL12、PL20 之 24 小時 LC50 分別為 1.031、1.619 與 2.962 mg/L，其平均值為 1.871 ± 0.990 mg/L；而 PL12 與 PL20 之 48 小時 LC50 分別為 1.231 與 1.571 mg/L，平均值為 1.401 ± 0.240 mg/L。

鎘之濃度與眼幼蟲、糠蝦蟲以及後期幼蟲之累積死

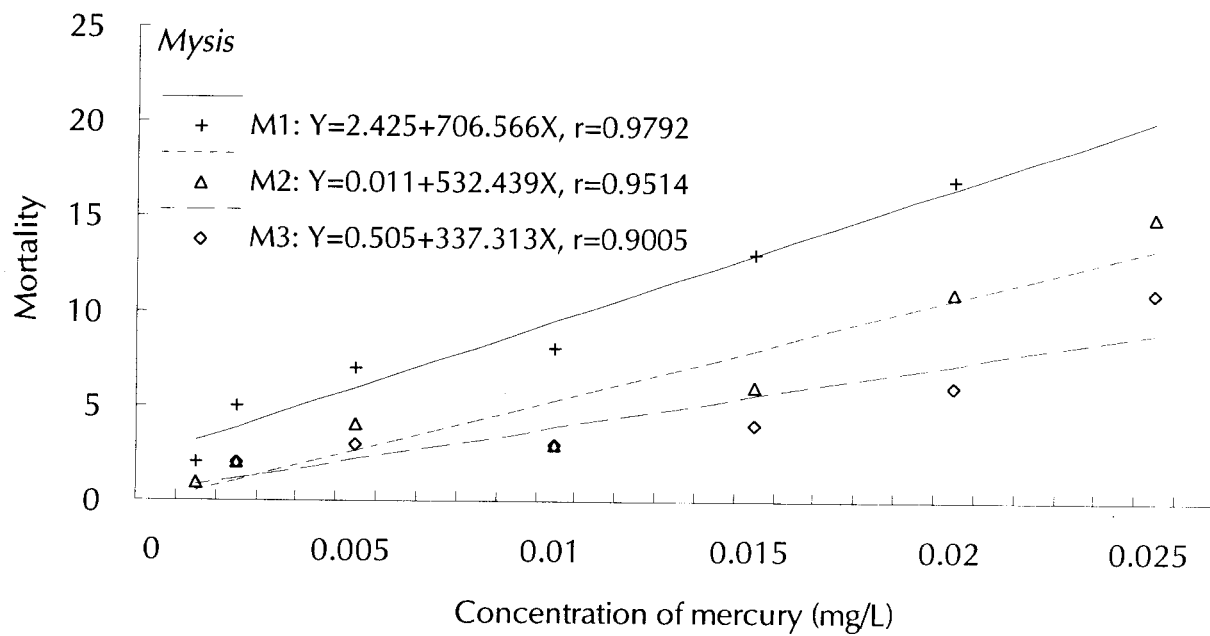
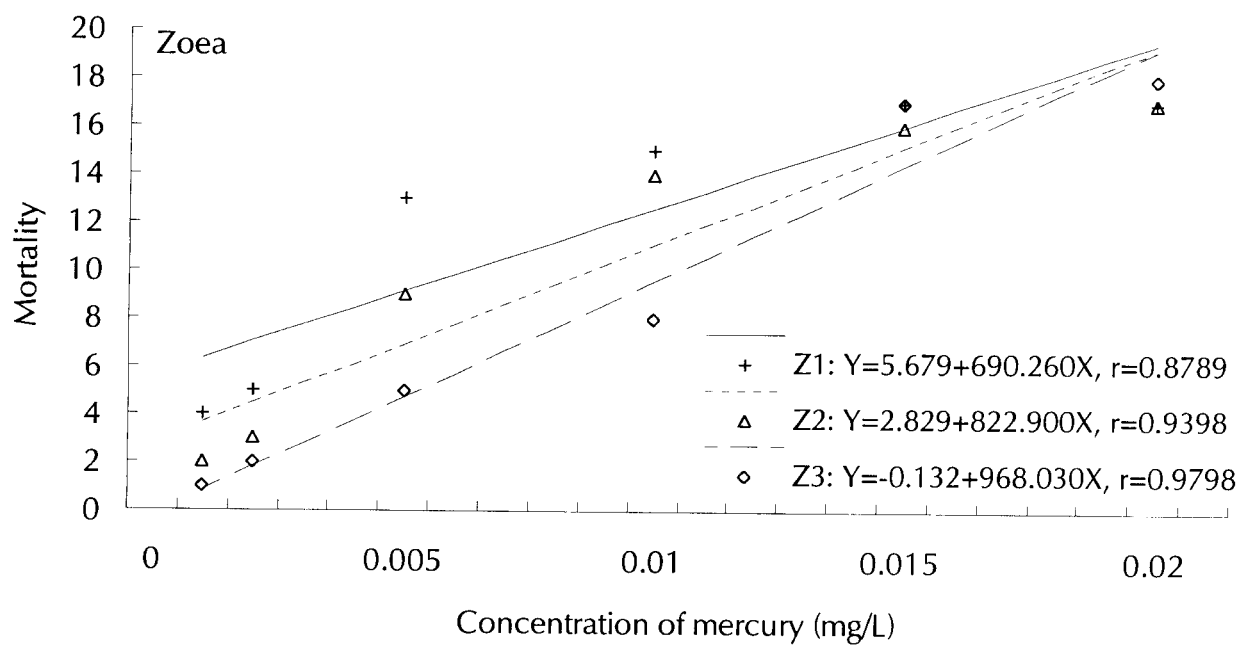


Fig. 1. The relationship between mercury concentration and mortality for *Penaeus chinensis* zoea and mysis larvae after 24 h exposure.

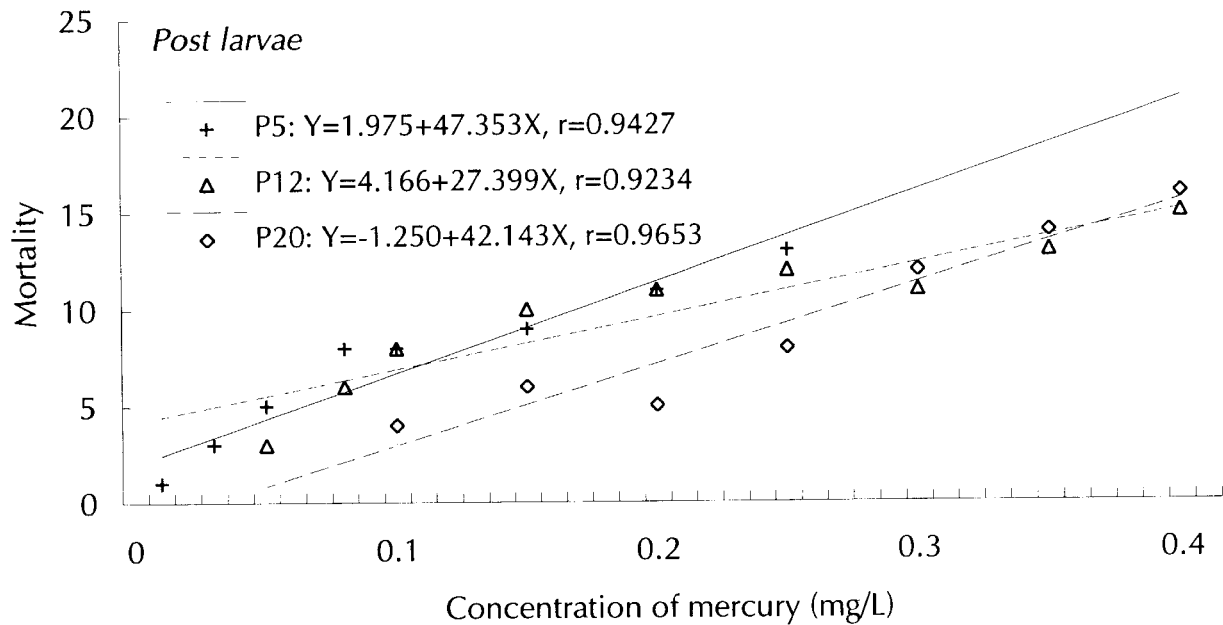


Fig. 2. The relationship between mercury concentration and mortality for *Penaeus chinensis* postlarvae after 24 h exposure.

亡數的關係如 Fig. 5 與 Fig. 6 所示，由 Figs. 5 與 6 顯示鎘濃度與眼幼蟲、糠蝦蟲及後期幼蟲之累積死亡數有顯著相關性 ($P < 0.01$)。鎘對中國對蝦蝦苗之半致死濃度與 95% 信賴界限如 Table 3 所示。鎘對中國對蝦之初期幼蟲與蝦苗，隨期數增加，忍受度上昇，蝦苗則隨時間增加抵抗力下降。眼幼蟲之 Z1、Z2、Z3 之 24 小時 LC50 分別為 0.492、0.496 與 0.495 mg/L，其平均值為 0.494 ± 0.002 mg/L；糠蝦蟲之 M1、M2、M3 之 24 小時 LC50 分別為 0.579、0.591 與 0.600 mg/L，其平均值為 0.590 ± 0.011 mg/L；PL5、PL12、PL20 之 24 小時分別為 1.361、1.395 與 2.033 mg/L，其平均值為 1.596 ± 0.379 mg/L；而 PL12 與 PL20 之 48 小時 LC50 分別為 1.089 與 1.506 mg/L，其平均值為 1.295 ± 0.291 mg/L。

鋅之濃度與眼幼蟲、糠蝦蟲以及後期幼蟲之累積死亡數的關係如 Fig. 7 與 Fig. 8 所示，由 Figs. 7 與 8 顯示鋅濃度與眼幼蟲、糠蝦蟲及後期幼蟲之累積死亡

數亦有顯著相關性 ($P < 0.05$)。鋅對中國對蝦蝦苗之半致死濃度與 95% 信賴界限如 Table 4 所示。鋅對中國對蝦之初期幼蟲與蝦苗，亦隨期數增加容忍度上昇，蝦苗隨時間增加則容忍度亦有下降之趨勢。眼幼蟲之 Z1、Z2、Z3 之 24 小時 LC50 分別為 0.507、0.511 與 0.534 mg/L，其平均值為 0.517 ± 0.015 mg/L；而糠蝦蟲之 M1、M2、M3 之 24 小時 LC50 分別為 0.709、0.947 與 0.963 mg/L，其平均值為 0.873 ± 0.142 mg/L；PL5、PL12、PL20 之 24 小時 LC50 分別為 1.964、2.047 與 4.457 mg/L，其平均值為 2.823 ± 1.416 mg/L；而 PL12 與 PL20 之 48 小時 LC50 分別為 1.506 與 2.859 mg/L，其平均值為 2.183 ± 0.957 mg/L。

討論

一般重金屬對水生生物之毒害作用，大都認為其能與蛋白質、酶等緊密結合，而抑制酶之活性與代謝功

Table 2. Relationship between probit of mortality (Y) and log copper concentration as mg/L (X) at various exposure time for different stage of *Penaeus chinensis* larvae, and LC50 of copper and its 95% confidence limits (in parenthesis).

Time (h)	Larva	$Y=a+bX$	R	N	LC50 (mg/L)	Chi-square
24	Z1	$Y=-11.413+8.787X$	0.9452	5	0.074 (0.067-0.081)	5.914*
	Z2	$Y=-14.100+10.053X$	0.9565	5	0.079 (0.073-0.086)	6.881*
	Z3	$Y=-7.407+6.382X$	0.9765	5	0.088 (0.079-0.098)	2.495*
24	M1	$Y=-5.641+5.407X$	0.9878	6	0.093 (0.083-0.104)	1.946*
	M2	$Y=-7.187+5.492X$	0.9447	8	0.166 (0.149-0.184)	12.163*
	M3	$Y=-7.109+5.384X$	0.9679	8	0.177 (0.159-0.198)	4.908*
24	P5	$Y=-0.601+2.782X$	0.9601	6	1.031 (0.830-1.280)	4.330*
	P12	$Y=-0.783+2.618X$	0.9940	7	1.619 (1.321-1.983)	0.497*
	P20	$Y=-4.163+3.707X$	0.9373	7	2.962 (2.485-3.532)	8.763*
48	P12	$Y=-0.055+2.418X$	0.9884	7	1.231 (0.967-1.568)	0.678*
	P20	$Y=-2.020+3.197X$	0.9586	7	1.571 (1.319-1.870)	4.572*

* significance at 95% level.

能或破壞細胞結構並且會對鰓絲上皮細胞之附著與黏合造成破壞，影響呼吸機能，引起生物體缺氧窒息(18-20)。

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(21-22)。Rodriguez and Establier(23) 指出 *Penaeus kerathurus* 後期幼蟲之 LC50 較幼蟲期高出很多。張與陳(8) 亦指出重金屬對紅蟳 (*Scylla serrata*) 第一期幼蟲之毒性比對 megalopa 更強。周等(10) 指出重金屬對草蝦後期幼蟲期 (PL2、PL5、PL10) 之 24 小時的 LC50 值分別為汞 (0.02~0.03 mg/L)，銅 (0.89~2.17 mg/L)，鎘 (0.25~2.89 mg/L)，鋅 (1.44~4.57 mg/L)，皆隨期數增加，半致死濃度愈高，即忍耐力愈強。江等(11) 提出重金屬汞對沙蝦眼幼蟲毒性以 Z2 最強，而糠蝦蟲以 M2 最弱，銅與鋅隨著變態期成長忍耐力漸增，鎘隨著變態期成長忍耐力漸降。林與丁(12) 報告汞、銅、鎘與鋅對紅尾蝦各期後期幼蟲 (P8~P40) 之 24 小時的 LC50，分別為 0.14、3.26、3.40 與 4.25 mg/L，皆隨期數增加，半致死濃度愈高，亦是忍耐力愈強。

本試驗探討各期中國對蝦蝦苗暴露於不同重金屬溶液中對其死亡率之關係。各期中國對蝦蝦苗暴露於不

同汞濃度溶液中與其死亡數都呈顯著相關性 ($P < 0.05$)，而各期幼蝦暴露於汞溶液之死亡率機數值與汞濃度取對數皆呈線性關係，經卡方分布 (Chi-Square) 測試(17)，在 24 小時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，由各期之平均半致死濃度顯示隨者變態期的不同對汞毒性忍耐力亦不一樣，期數愈大半致死濃度愈高表示忍耐力愈強。各期幼蝦暴露於不同時間之銅、鎘與鋅溶液之死亡數與各別重金屬濃度皆有顯著相關性 ($P < 0.05$)；而各期幼蝦暴露於不同時間之銅、鎘與鋅溶液之死亡率機數值與其各別濃度取對數皆呈線性關係，其適合度均顯著 ($P < 0.05$)；由各期之平均半致死濃度可知隨者變態期的不同對銅、鎘與鋅等毒性忍耐力亦不同期數愈大半致死濃度愈高即忍耐力愈強，而且隨時間增加抵抗力下降。

重金屬對水生生物體之影響，有些研究者認為其毒性強度，依序為汞 > 銅 > 鎘 > 鋅。其中鎘毒性之相對強度不一(24-25)。Chen(26) 研究重金屬對 *Palaemon elegans* 第一期稚蝦之毒性，依序為汞 > 銅 > 鎘 > 鋅。而 *P. elegans* 成熟個體對銅之毒性較能忍受。陳與謝(7) 指出重金屬對草蝦 (*Penaeus monodon*) 及沙蝦 (*Metapenaeus ensis*) 的毒性以汞最強，對銅則有

Table 3. Relationship between probit of mortality (Y) and log cadmium concentration as mg/L (X) at various exposure time for different stage of *Penaeus chinensis* larvae, and LC50 of cadmium and its 95% confidence limits (in parenthesis).

Time (h)	Larva	$Y=a+bX$	R	N	LC50 (mg/L)	Chi-square
24	Z1	$Y=0.812+2.475X$	0.9506	7	0.492 (0.389-0.624)	3.631*
	Z2	$Y=-8.825+8.154X$	0.9881	5	0.496 (0.456-0.539)	1.492*
	Z3	$Y=-7.115+7.149X$	0.9708	5	0.495 (0.451-0.543)	2.064*
24	M1	$Y=-2.177+4.072X$	0.9690	7	0.579 (0.493-0.679)	4.797*
	M2	$Y=-2.348+4.148X$	0.9632	7	0.591 (0.503-0.694)	6.632*
	M3	$Y=-2.506+4.221X$	0.9837	7	0.600 (0.510-0.706)	2.467*
24	P5	$Y=1.262+1.752X$	0.9732	7	1.361 (1.012-1.831)	1.699*
	P12	$Y=-2.379+3.441X$	0.9050	6	1.395 (1.174-1.657)	8.930*
	P20	$Y=-0.862+4.481X$	0.9816	7	2.033 (1.794-2.305)	1.903*
48	P12	$Y=-2.601+3.732X$	0.9468	5	1.089 (0.911-1.302)	4.165*
	P20	$Y=-2.856+6.669X$	0.9066	6	1.506 (1.355-1.675)	7.769*

* significance at 95% level.

Table 4. Relationship between probit of mortality (Y) and log zinc concentration as mg/L (X) at various exposure time for different stage of *Penaeus chinensis* larvae, and LC50 of zinc and its 95% confidence limits (in parenthesis).

Time (h)	Larva	$Y=a+bX$	R	N	LC50 (mg/L)	Chi-square
24	Z1	$Y=-1.663+3.908X$	0.9656	7	0.507 (0.441-0.582)	2.837*
	Z2	$Y=-1.831+3.999X$	0.9310	7	0.511 (0.445-0.587)	6.053*
	Z3	$Y=-7.692+7.347X$	0.9890	7	0.534 (0.494-0.577)	3.249*
24	M1	$Y=-5.452+5.467X$	0.9797	5	0.709 (0.631-0.799)	3.734*
	M2	$Y=-4.311+4.711X$	0.9770	5	0.947 (0.790-1.136)	3.054*
	M3	$Y=-4.669+4.874X$	0.9890	5	0.963 (0.803-1.155)	1.474*
24	P5	$Y=-7.904+5.627X$	0.9657	6	1.964 (1.743-2.212)	8.300*
	P12	$Y=-7.988+5.620X$	0.9635	6	2.047 (1.811-2.314)	8.752*
	P20	$Y=-12.962+10.893X$	0.9770	7	4.457 (4.182-4.749)	0.766*
48	P12	$Y=-3.841+4.059X$	0.9685	6	1.506 (1.290-1.759)	3.054*
	P20	$Y=-8.983+9.602X$	0.9099	7	2.859 (2.683-3.048)	10.475*

* significance at 95 % level.

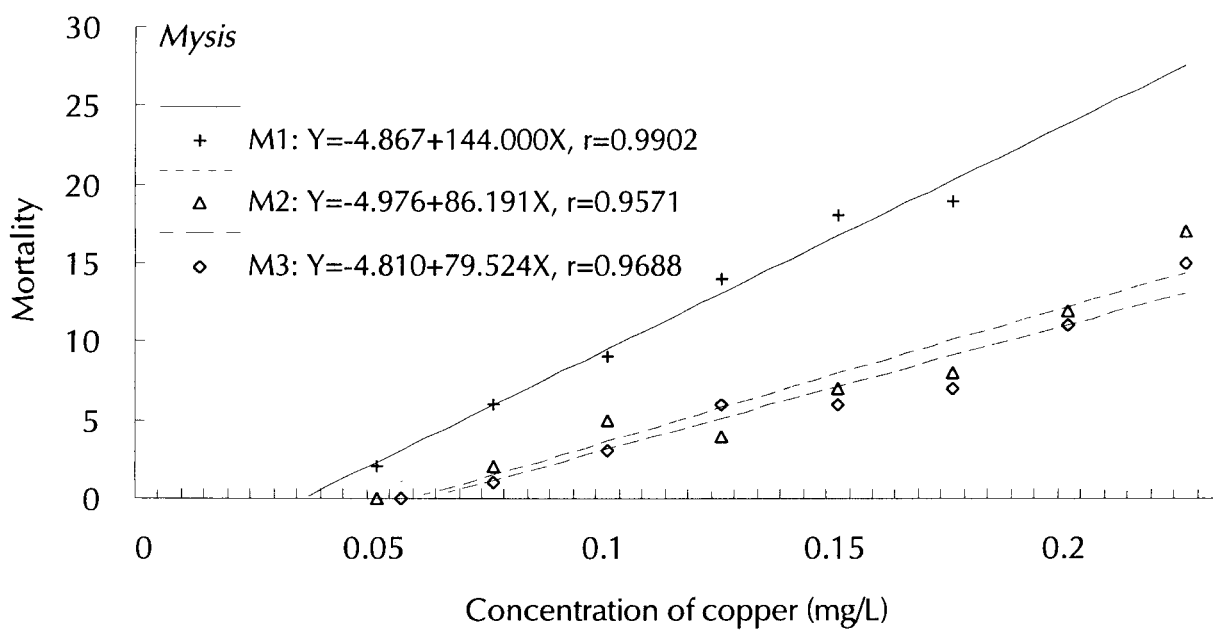
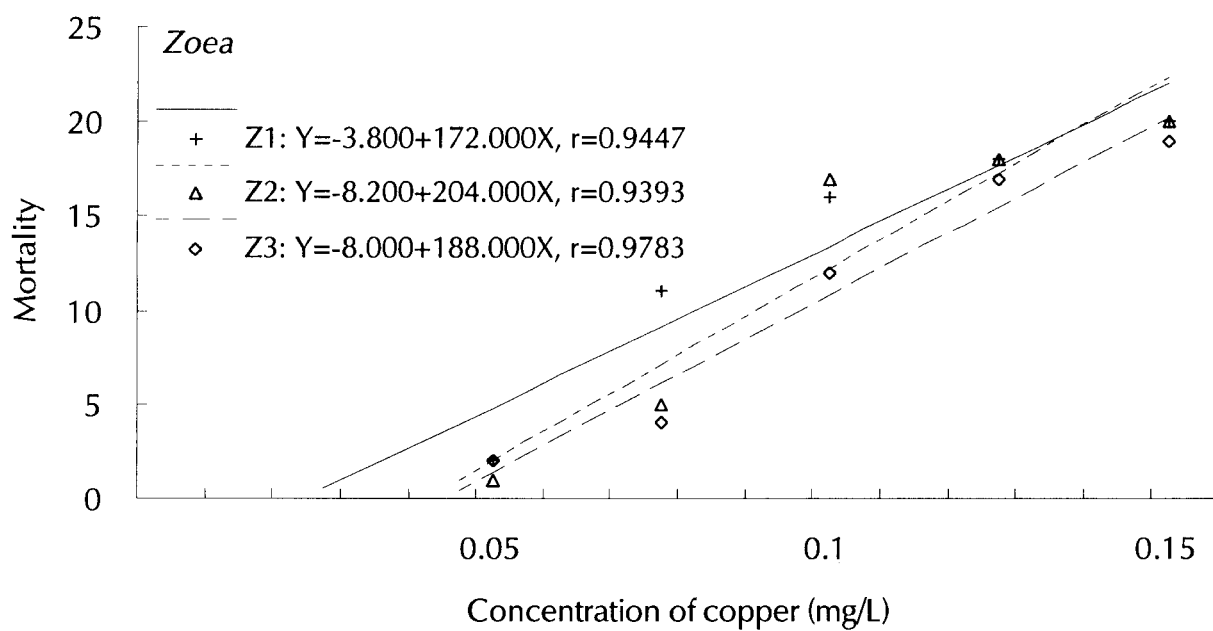


Fig. 3. The relationship between copper concentration and mortality for *Penaeus chinensis* zoea and mysis larvae after 24 h exposure.

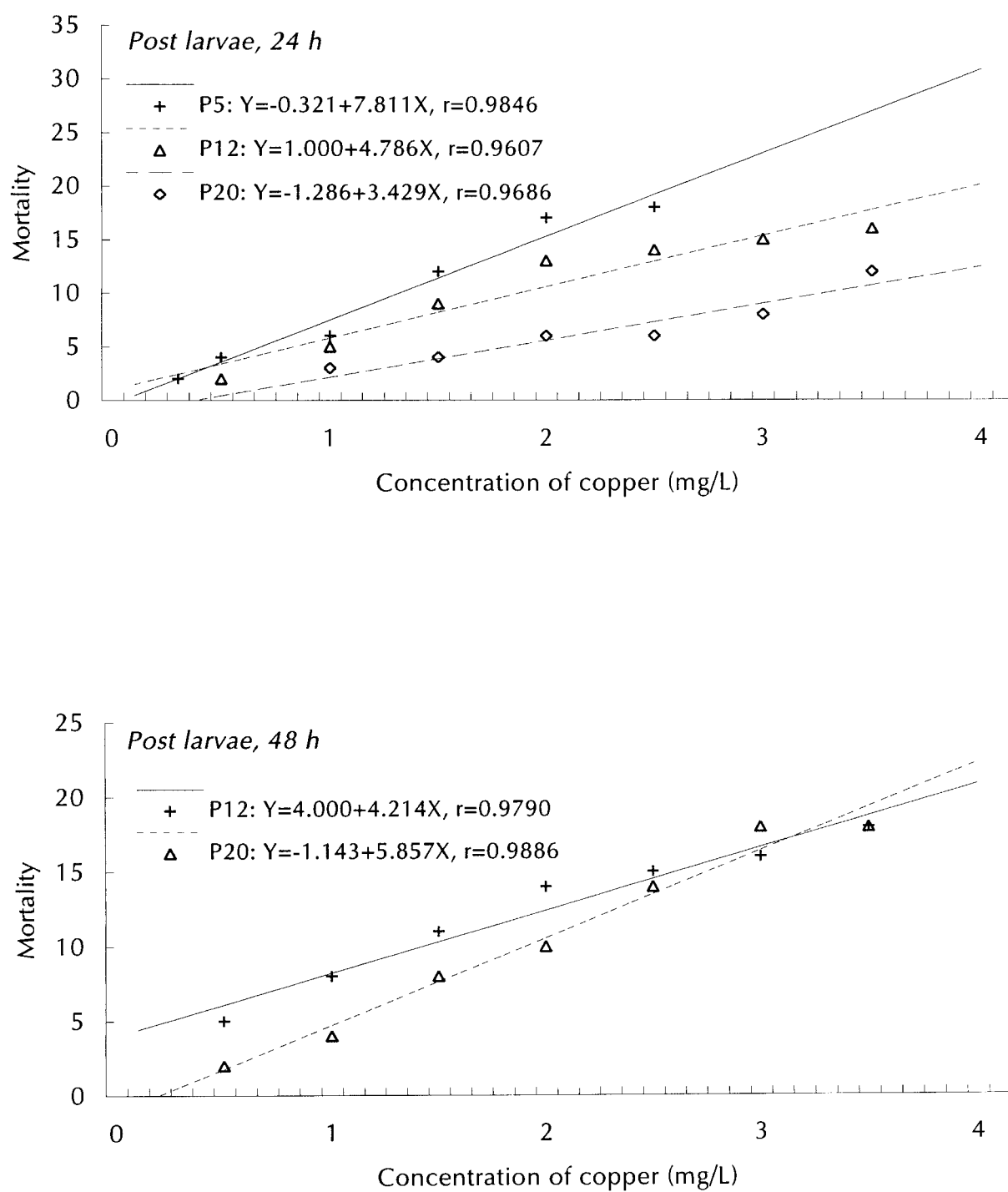


Fig. 4. The relationship between copper concentration and mortality for *Penaeus chinensis* postlarvae after 24 h and 48 h exposure.

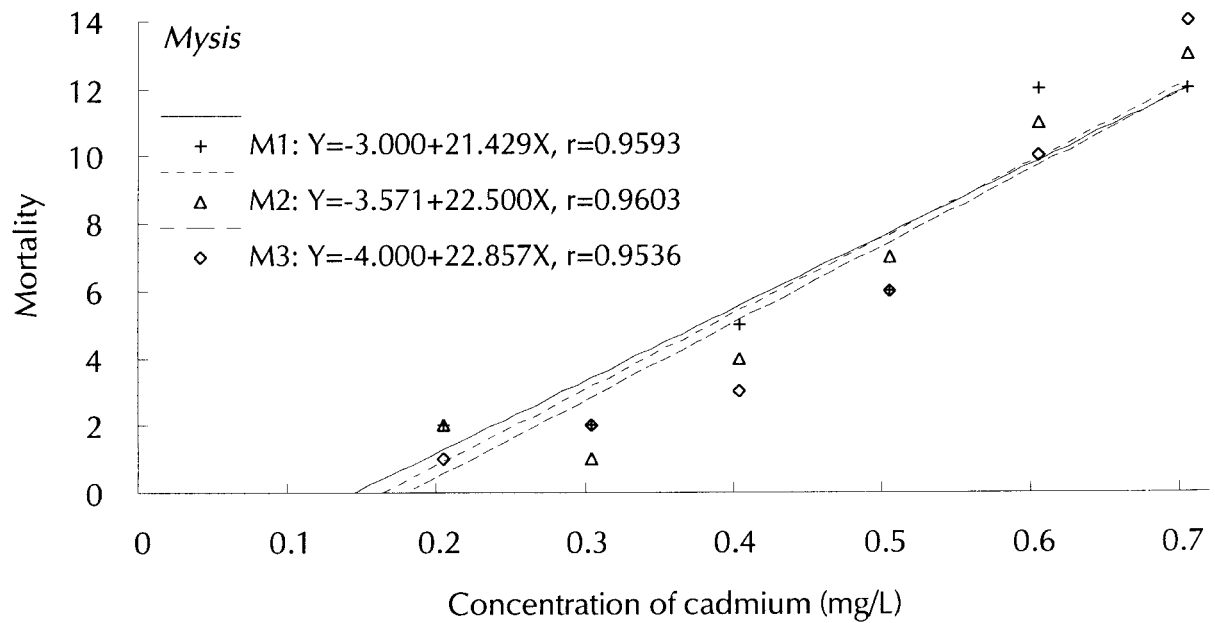
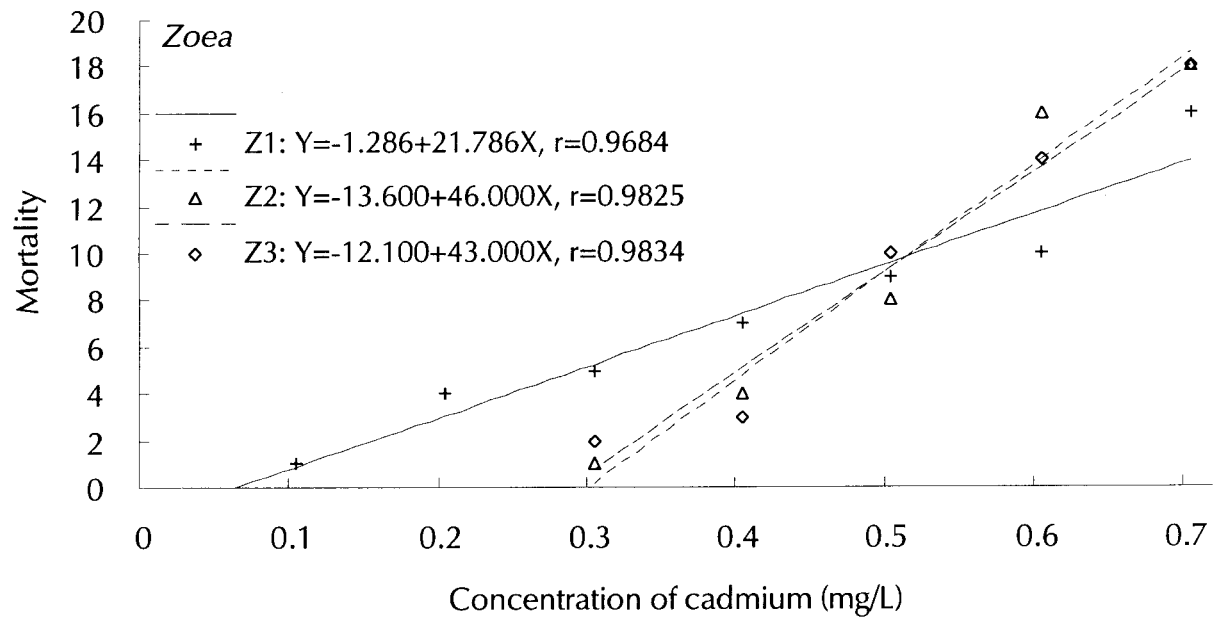


Fig. 5. The relationship between cadmium concentration and mortality for *Penaeus chinensis* zoea and mysis larvae after 24 h exposure.

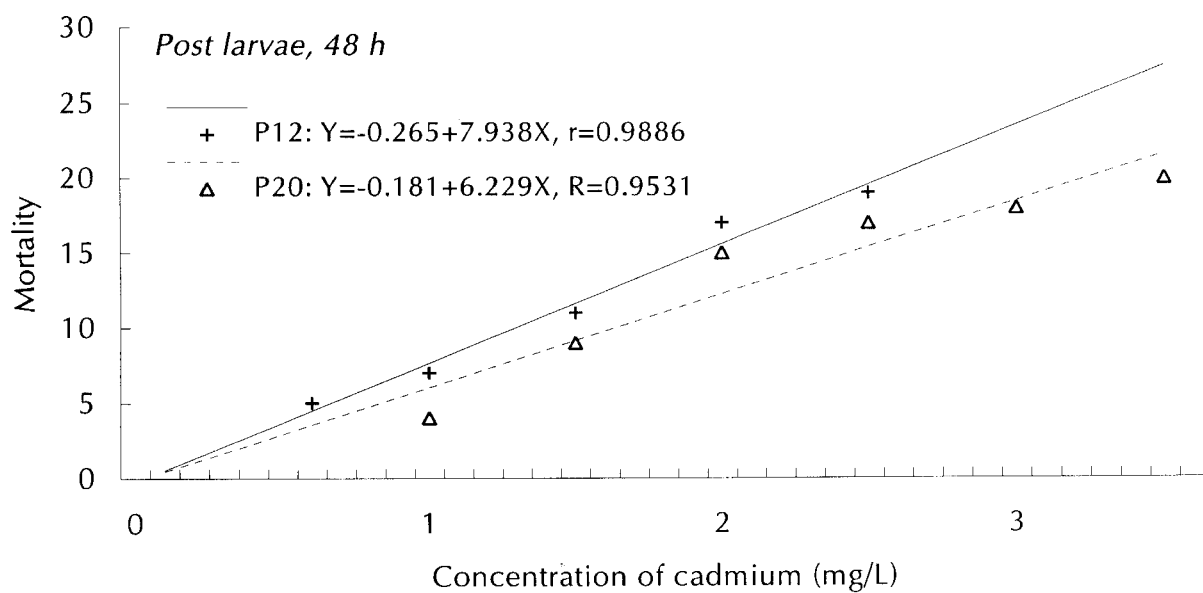
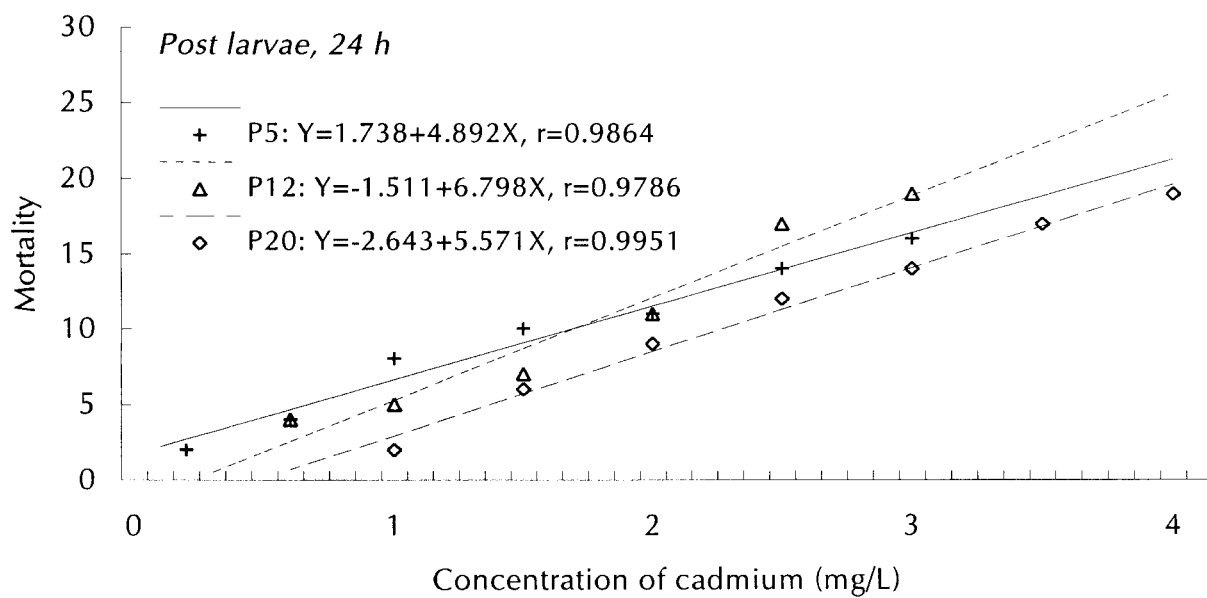


Fig. 6. The relationship between cadmium concentration and mortality for *Penaeus chinensis* postlarvae after 24 h and 48 h exposure.

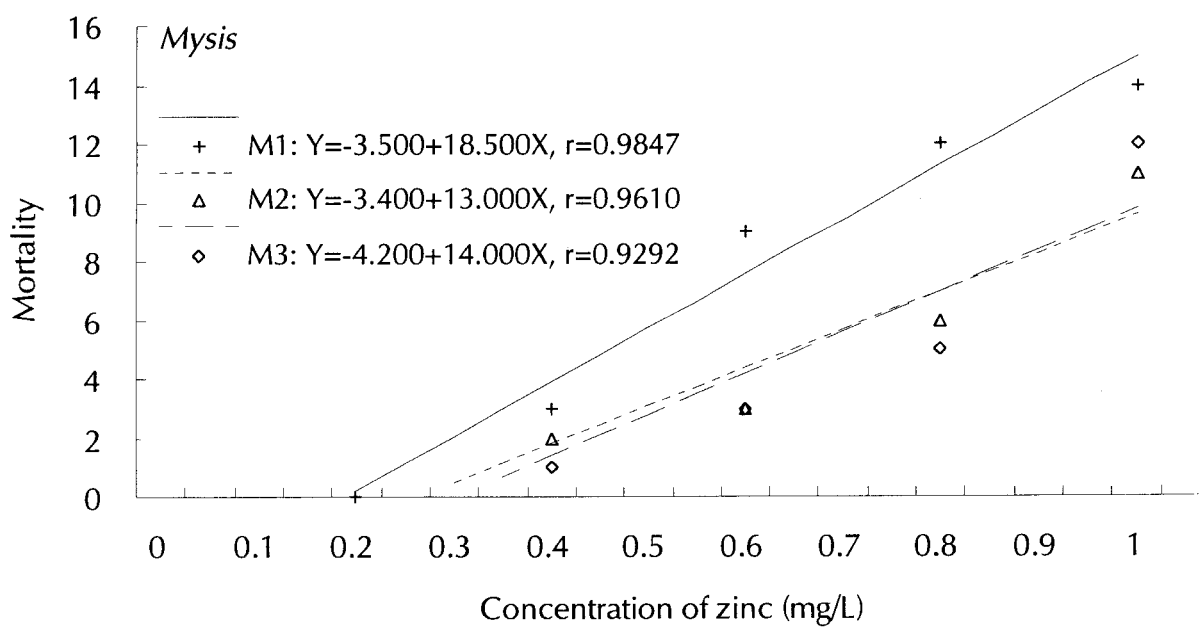
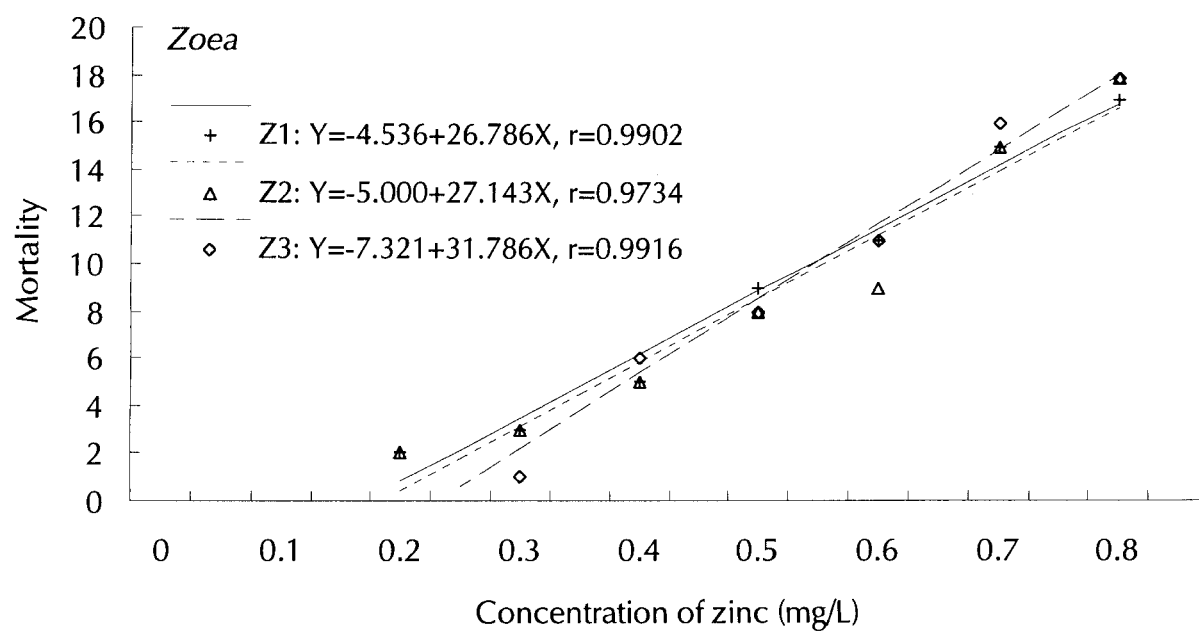


Fig. 7. The relationship between zinc concentration and mortality for *Penaeus chinensis* zoea and mysis larvae after 24 h exposure.

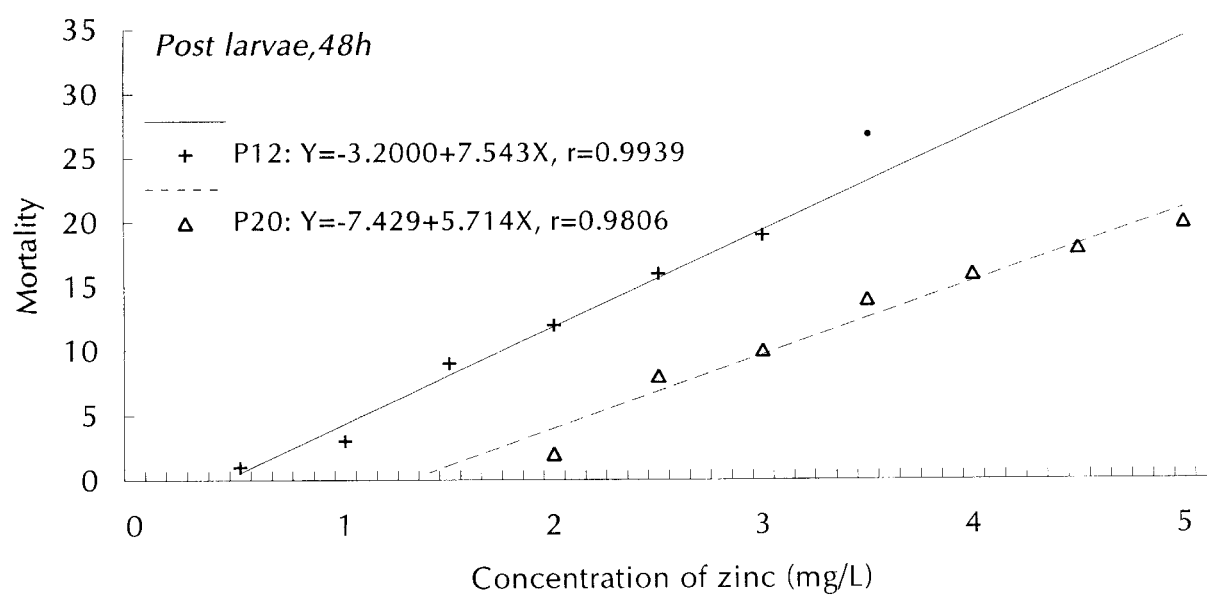
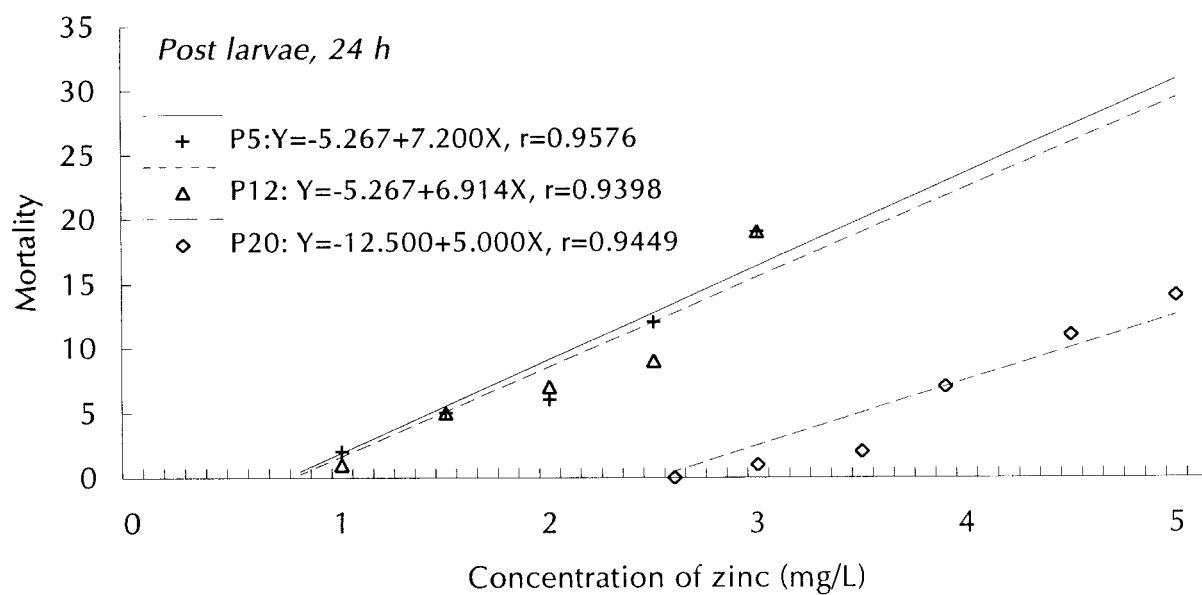


Fig. 8. The relationship between zinc concentration and mortality for *Penaeus chinensis* postlarvae after 24 h and 48 h exposure.

較高的耐力。張與陳⁽⁸⁾亦指出重金屬對紅蟳之 megalopa 的毒性以汞為最高，鎘次之，而銅最小。周等⁽¹⁰⁾指出重金屬對草蝦 (PL2、PL5、PL10) 之毒性依序為汞 > 銅 > 鎘 > 鋅。江等⁽¹¹⁾提出重金屬對沙蝦初期幼蟲之毒性亦為汞 > 銅 > 鎘 > 鋅。林與丁⁽¹²⁾報告汞、銅、鎘與鋅對紅尾蝦各期幼蝦 (PL8~PL40) 之24小時之毒性依序為汞 > 銅 > 鎘 > 鋅，而48小時之毒性依序為汞 > 鎘 > 鋅 > 銅。

在本試驗中，重金屬對中國對蝦各變態期之毒性強度，以其 LC50 值來評估，則隨變態期不同，各有不同的表徵；在24小時眼幼蟲與糠蝦蟲之毒性皆為汞 > 銅 > 鎘 > 鋅，而後期幼蟲期在 P5 之毒性為汞 > 銅 > 鎘 > 鋅，但在 P12 與 P20 則有變化，其毒性依序為汞 > 鎘 > 銅 > 鋅。由以上顯示，汞之毒性維持最強，銅與鎘在蝦苗愈大時，順序則有變動。汞、銅、鎘與鋅等四種重金屬對中國對蝦之初期幼蟲與蝦苗皆隨期數增加，半致死濃度上升，即抵抗力愈強，依序為後期幼蟲 > 糠蝦期 > 眼幼蟲期，而且隨時間增加對蝦苗之毒性亦有抵抗力下降之趨勢。

謝辭

本研究由省政府預算科目「養殖用水水質調查及應用試驗」81-水試-養-34 所支助。試驗期間承台南分所同仁林明男博士、曾寶順及李建東先生惠予協助提供蝦苗，而得以順利完成，特此申致謝忱。另外，特別感謝審查人，其所提供具建設性的建議使本報告能更有學術價值。還要感謝「水產研究」編輯們辛苦地幫忙繪製報告中的圖表。

參考文獻

- 曾寶順, 李建東, 林明男, 丁雲源 (1990) 中國對蝦苗繁殖試驗. 台灣省水產試驗所試驗報告, **49**: 10-15.
- 丁雲源, 林明男, 石聖龍 (1992) 中國對蝦繁殖. 農委會漁業特刊, **37**: 25-55.
- 張明輝, 廖一久 (1992) 中國對蝦繁殖. 農民淺說 -- 漁業, 農委會與農林廳編印, 419 pp.
- 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 University. Spec. Publ., **31**: 130.
- 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.
- 陳弘成 (1981) 繁殖場草蝦苗大量死亡之研究. 中國水產, **343**: 15-22.
- 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.
- 張金豐, 陳弘成 (1980) 海洋污染物對蟳苗之毒性研究. 海洋彙刊, **26**: 47-58.
- 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.
- 周賢銘, 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, **38**: 181-188.
- 江章, 丁雲源 (1984) 重金屬對於砂蝦初期幼蟲之急速毒性試驗. 台灣省水產試驗所試驗報告, **36**: 93-98.
- 林世榮, 丁雲源 (1993) 重金屬對各期紅尾蝦幼蝦毒性之影響. 水產研究, **1**(2): 55-65.
- 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.
- 廖一久, 謝介士 (1988) 重金屬對於班節蝦之毒性. J. Fish. Soc. Taiwan, **15**(2): 69-78.
- Buikema, A. L. Jr., R. R. Niedertehner and J. Cairns, Jr. (1982) Biological monitoring, Part IV - Toxicity testing. Water Res., **16**: 239-262.
- Finney, D. J. (1971) Probit analysis, 3rd edition, Cambridge University Press, London, 333 pp.
- Trevors, J. V. and C. W. Lusty (1985) A basic microcomputer program for calculating LD50 values. Water, Air, Soil Pollut., **24**: 431-442.
- Burton, D. T., A. H. Jones and J. Cairns (1972) Acute zinc toxicity to rainbow trout (*Salmo gairdneri*) confirmation of the hypothesis that death is related to issue hypoxia. J. Fish. Res. Bd. Can., **29**: 1463-1466.
- Jckim, E., J. Hamlin and S. Sonis (1970) Effect of metals poisoning on fish liver enzymes in the killifish (*Fundulus heteroclitus*). J. Fish. Res. Bd. Can., **27**: 283-390.
- Sastry, K. V. and P. K. Gupta (1978) Effect of mercuric chloride in the digestive system of teleost fish, *Channa punctatus*. Bull. Environ. Contam. Toxicol., **20**: 353-360.
- Mckin, J. M. and D. A. Benoit (1971) Effects of long-term exposure to copper on survival, growth and

- term exposure to copper on survival, growth and reproduction of brook trout (*Salvelinus fontinalis*). J. Fish. Res. Bd. Can., **28**: 655–662.
22. 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. Environ. Contam. Toxicol., **22**: 575–581.
23. 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.
24. 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.
25. Conner, P.M. (1972) Acute toxicity of heavy metals to some marine larvae. Mar. Pollut. Bull., **3**: 190–192.
26. Chen, H.C. (1975) Some effects of heavy metals on the prawn *Palaemon elegans*. Liverpool Univesity, Ph. D. Thesis, 163 pp.

Shih-Jung Lin and Yun-Yuen Tin
Tainan Branch, Taiwan Fisheries Research
Institute, 4 Haipu, Sancu, Chicu,
Tainan, Taiwan 724
(Accepted 7 June 1994)



Lethal Effect of Heavy Metal on the Larvae of *Penaeus chinensis*

Abstract

Acute toxicities of heavy metals including mercury, copper, cadmium and zinc to the larva and juvenile of *Penaeus chinensis* were examined. The postlarvae had higher resistance to these heavy metals than zoea and mysis larvae. The relative toxicities of heavy metals on zoea, mysis and PL5 were as follows: $\text{Hg}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$. The relative toxicities on PL12 and PL20 were as follows: $\text{Hg}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$. For both postlarvae, zoea and mysis, tolerance of animal to these heavy metals increased with growth. However, LC50 value decreased with time exposure for every larvae tested.

Key words: Toxicity, Heavy metal, *Penaeus chinensis*