

重金屬對於草蝦幼苗急速毒性之研究

周賢鏘·江章·丁雲源

Studies on Acute Toxicity of Heavy Metals to the Larval and Postlarval Grass Shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius)

Shiarn-Chiang Chou, Chang Jiang and Yun-Yuan Ting

Larvae (zoea and mysis) and postlarvae (II, V, X) of grass shrimp (*Penaeus monodon*, Fabricius) cultured in the laboratory were exposed to several concentrations of Hg^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} . Mean lethal concentrations were determined at intervals of 24 hr. For larvae, TLM values varies as follows: Hg^{2+} (2.5–23.8 ppb), Cd^{2+} (0.1409–0.1853 ppm), Cu^{2+} (0.05–0.2398 ppm), Zn^{2+} (0.0732–0.8648 ppm). For postlarvae, TLM values were: Hg^{2+} (19.1–31.4 ppb), Cd^{2+} (0.2536–2.8883 ppm), Cu^{2+} (0.8855–2.1699 ppm), Zn^{2+} (1.4361–4.5746 ppm). In Hg^{2+} group, TLM values were slightly greater for postlarvae than for mysis and zoea. TLM values of Cd^{2+} for zoea and mysis were quite similar. In general, TLM values were greatly increased when postlarvae were treated with Cd^{2+} , Cu^{2+} and Zn^{2+} . The strength of toxicities of these four heavy metals were $Hg > Cu > Cd > Zn$. Zoea I showed least tolerance in all test larvae stages exposed in test heavy metals excluding Cd^{2+} group. Floating on the water surface, the dead larvae especially in the Hg^{2+} group, became pale and the gill appeared to be swollen.

前 言

近年來台灣工業發達，進展神速，由於工廠林立，隨之工業廢水大量產生，其中多含重金屬，這些未經處理或處理不善的廢水隨河川導入海中造成沿岸及近海水域之普遍污染。日來，鹽水魚塢及淺海養殖魚介類大量暴斃，時有所聞，引起業者財物之損失，重金屬污染毒害水族生物已為不爭之事實。近年來本省草蝦苗繁殖業蓬勃發展，草蝦苗繁殖場估計超過一千兩百家，充足的供應全省草蝦養殖所需之蝦苗，對草蝦養殖事業幫助極大。由於繁殖之技術不斷地更新進步，蓄養之草蝦幼生密度亦相繼的提高至一噸水約蓄養10萬尾蝦苗，但蝦苗大量死亡之問題却隨之而發生。蝦苗死亡之原因不外：矽藻問題、蝦品質及管理問題、天氣之突變、酸性雨、病害問題、海水污染問題和其他未明之原因等(陳, 1981)，其中矽藻對重金屬之蓄積微量不致影響蝦苗之生長與生存(江等, 1984)，若能選用較佳之藻種蓄養蝦苗應可避免矽藻產生之死亡問題，而其他之死亡原因，經檢討後除了海水污染問題外，均屬影響蝦苗生存極微之原因，因而海水污染問題實為蝦苗大量死

亡之主因。

本報告針對幾種較具毒性之重金屬研究其對草蝦苗之半致死情形，以期提供客觀之重金屬半致死濃度值給草蝦苗繁殖業者，使其能根據當時之海水水質狀況決定是否進行草蝦苗繁殖，挽救難以預見之大量財物損失，此外希冀能予水產用水基準制定作一參考。

材料與方法

本試驗選用汞、鎘、銅、鋅等四種對水產生物較具毒性之重金屬，而其化合物為 $HgCl_2$ 、 $CuSO_4$ 、 $cdCl_2 \cdot H_2O$ 、 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ，先以蒸餾水配製成 1000 Ppm 之重金屬離子母液 (stock soln) 其中 $HgCl_2$ 以 1 N之 HCl 20 ml 溶解。試驗時再以過濾之潔淨天然海水 (鹽度 31‰—33‰)，PH (7.82—8.0)，稀釋成各試驗濃度之重金屬海水溶液 1 l，同時以不添加重金屬之天然海水作為對照。天然海水以原子吸光儀 (Hitachi 170—80) 測定，全年之試驗用天然海水中四種重金屬含量如表 1 所示。

表 1 試驗用海水之重金屬含量

Table 1 Concentrations of heavy metals in natural sea water

sampling date 樣品日期	heavy metal conc. (ppm) 重金屬 濃度	Hg	Cd	Zn	Cu
	1983—05—01		0*	0.015**	0.06**
1983—11—07		0*	0.085***	0.026***	0.12***
1983—11—21		0*	0.075***	0.06***	0.08***
1984—06—23		0*	< 0.01**	< 0.01**	< 0.04**

* : under detectable
無法偵測

** : added HNO_3 , after water samples were filtered
水樣過濾後加入硝酸

***: added HNO_3 , before water samples were filtered
水樣過濾前加入硝酸

試驗用草蝦苗之各期幼苗，為購自民間繁殖場進口母蝦所產卵孵化之無節幼蟲，以魚苗袋充氧氣取回分所培育。各期之試驗蝦苗取用，及於各期大部份之蝦苗完成變態後，再從培育桶中以其趨光之特性擇同期之幼苗中活動力較佳者，以供毒性試驗。蝦苗培育期間之餌料，眼幼蟲期為矽藻 (*Skeletonema costatum*)，糠蝦期及後期幼蟲期為剛孵化之豐年蝦 (*Artemia salina*) (海灣牌) 無節幼蟲。經選出之各期蝦苗在毒性試驗期間均不再投飼餌料，各期之毒性試驗期間為 24 小時，試驗時水溫為 $27^\circ C$ — $28.5^\circ C$ ，不打氣，光度不超過 300 lux。於 72 年 7 月 13 日及 73 年 7 月 10 日進行二次，試驗組採二重覆每組各放蝦苗 10 尾，於試驗期間隨時觀察蝦苗死亡情形，蝦苗之死亡判定依其附肢具有活動力與否判斷活存和死亡，並於試驗終了記錄蝦苗活存數目，依

Doudoroff (1951) 與 Ramd et al. (1975) 以對數迴歸求出各期蝦苗於各重金屬溶液中之半致死濃度值 (TLM ; LC50) 。

結 果

汞對於草蝦眼幼蟲期，糠蝦期幼苗之急速毒性以 0.05 ppm 添加入天然海水中於 4 - 12 小時全數死亡，而添加 0.025 ppm 者僅存活數尾，添加 0.015 ppm 者有半數或半數以上死亡，示如表 2。汞對於草蝦眼幼蟲 I - III 期、糠蝦 I - III 期及後期幼蟲 II、V、X 期之半致死濃度分別為 0.0025, 0.0075, 0.0076, 0.0102, 0.01, 0.0238, 0.0191, 0.0268 及 0.0314 ppm 由此可知草蝦苗對汞之毒性忍受力低，而其耐力隨著蝦苗之變態有略增之趨勢。其中於後期幼蟲 II 期半致死濃度值略低，而眼幼蟲 I 期對汞之忍受力最低。

表 2 汞對草蝦眼幼蟲，糠蝦及後期幼蟲各期之生物試驗

Table 2 Bioassay of mercury on the zoea, mysis and postlarval stages of *Penaeus monodon*

conc. (ppm) 濃 度	no. of test animals 試驗生物數	no. of test animals surviving 試驗生物活存數								
		Z ₁	Z ₂	Z ₃	M ₁	M ₂	M ₃	P ₂	P ₅	P ₁₀
0.001	20	12	19	20	20	20	19			
0.005	20	11	14	16	20	16	20			
0.010	20	4	14	17	14	11	20	18	15	19
0.015	20	4	4	7	10	11	19	17	14	18
0.020	20	0	5	0	1	6	11	9	14	12
0.025	20	0	0	1	1	1	9	8	12	10
0.030	20							0	8	10
0.035	20							0	7	11

草蝦苗對於銅毒性之忍受力於後期幼蟲期前極為相似，但於後期幼蟲期後則顯着地增大忍受力如表 3 所示。從眼幼蟲 I 期至糠蝦 III 期其半致死濃度於 0.1230 - 0.1853 ppm 間，而於後期幼蟲 II、V、X 期分別為 0.2536、0.6195 及 2.8883 ppm，銅對眼幼蟲 I 期之毒性弱，但於眼幼蟲 II 期及糠蝦 II 期對銅却顯示較低之忍受力。

銅對於草蝦苗眼幼蟲期，糠蝦期及後期幼蟲期之急速毒性較富於變化，於眼幼蟲 I 期添加銅 0.5 ppm 7 小時內全部死亡，而添加 0.1 ppm 亦於 24 小時內全部死亡。其糠蝦 II 期及後期幼蟲 V 期有忍受力較差之現象 (表 4)。從眼幼蟲 I - III 期及糠蝦 I - III 期之半致死濃度分別為 0.05、0.0884、0.1407、0.1595、0.0959 及 0.2398 ppm 而於後期幼蟲 II、V、X 則分別為 1.1372、0.8855 及 2.1699 ppm。一般而言，對銅之忍受力依其蝦苗之增長，有較明顯之增強趨勢。

蝦苗各期對於鋅毒性之忍受力，依其逐次變態增強最為明顯，從眼幼蟲 I 期至後期幼蟲 X 期增

表3 鎘對草蝦眼幼蟲、糠蝦及後期幼蟲各期之生物試驗
 Table 3 Bioassay of cadmium on the zoea, mysis and postlarval stages of *Penaeus monodon*

conc. (ppm) 濃 度	no. of test animals 試驗生物數	no. of test animals surviving 試驗生物活存數								
		Z ₁	Z ₂	Z ₃	M ₁	M ₂	M ₃	P ₂	P ₅	P ₁₀
0.05	20	18	18	20	19	16	20			
0.10	20	15	14	17	19	10	12	11	19	20
0.15	20	10	8	14	14	12	8			
0.20	20	9	7	8	10	9	11			
0.25	20	5	0	1	5	2	7	12	12	18
0.30	20	0	0	0	2	1	9			
0.50	20							8	16	12
1.00	20							10	4	13
1.50	20							0	7	14
2.00	20							1	4	11

加62.5倍，但於眼幼蟲I期對於鋅之忍受性極低，添加0.25 ppm有90%以上之死亡，添加0.1 ppm亦有70%之死亡（表5）。其各期蝦苗之半致死濃度分別為0.0732、0.2681、0.7170、0.5404、0.7345、0.8648、1.4361、3.5466及4.5746 ppm，其中糠蝦I期之忍受性偏低。

在本試驗中，四種重金屬對於草蝦苗各期幼苗之毒性大小可於表6得知；除了鎘以外，各金屬對眼幼蟲I期之毒性最強。而四種重金屬中毒性強度以汞為最強，且所有之試驗蝦苗期之半致死濃度僅增加12.5倍。銅與鎘之毒性相似，但於眼幼蟲期銅遠較鎘具毒性，而鋅之毒性最弱，故毒性之大小仍有汞>銅>鎘>鋅之趨勢。

討 論

Rodriguez et al. (1983) 試驗 *Penaeus Kerathurus* 之幼蟲（無節幼蟲、眼幼蟲及糠蝦），獲得24小時之LC₅₀：汞（5.26—12.86 ppb），鎘（0.73—1.36 ppm），銅（65.43—125.03 ppb），其中LC₅₀值於汞組之糠蝦期稍大於眼幼蟲期及無節幼蟲期，而銅組於後期幼蟲期LC₅₀驟升，與本試驗相符。但鎘組之LC₅₀高於本試驗，銅組却低於本結果，此可能與蝦種之不同有關，由金屬之毒性強度而言汞>銅>鎘。鋅、鎘及銅對於 *Callinassa australiensis* 之毒性試驗（Ahsanullah et al, 1981）指出，4天之LC₅₀值分別為10.20，6.33和1.03 ppm，14天之LC₅₀分別為1.15，0.49及0.19 ppm，均顯示毒性之大小次序為銅>鎘>鋅。江與

Doudoroff (1951) 與 Ramd et al. (1975) 以對數迴歸求出各期蝦苗於各重金屬溶液中之半致死濃度值 (TLM ; LC 50) 。

結 果

汞對於草蝦眼幼蟲期，糠蝦期幼苗之急速毒性以 0.05 ppm 添加入天然海水中於 4 - 12 小時全數死亡，而添加 0.025 ppm 者僅活存數尾，添加 0.015 ppm 者有半数或半数以上死亡，示如表 2。汞對於草蝦眼幼蟲 I - III 期、糠蝦 I - III 期及後期幼蟲 II、V、X 期之半致死濃度分別為 0.0025，0.0075，0.0076，0.0102，0.01，0.0238，0.0191，0.0268 及 0.0314 ppm 由此可知草蝦苗對汞之毒性忍受力低，而其耐力隨著蝦苗之變態有略增之趨勢。其中於後期幼蟲 II 期半致死濃度值略低，而眼幼蟲 I 期對汞之忍受力最低。

表 2 汞對草蝦眼幼蟲，糠蝦及後期幼蟲各期之生物試驗

Table 2 Bioassay of mercury on the zoea, mysis and postlarval stages of *Penaeus monodon*

conc. (ppm) 濃 度	no. of test animals 試驗生物數	no. of test animals surviving 試驗生物活存數								
		Z ₁	Z ₂	Z ₃	M ₁	M ₂	M ₃	P ₂	P ₅	P ₁₀
0.001	20	12	19	20	20	20	19			
0.005	20	11	14	16	20	16	20			
0.010	20	4	14	17	14	11	20	18	15	19
0.015	20	4	4	7	10	11	19	17	14	18
0.020	20	0	5	0	1	6	11	9	14	12
0.025	20	0	0	1	1	1	9	8	12	10
0.030	20							0	8	10
0.035	20							0	7	11

草蝦苗對於銅毒性之忍受性於後期幼蟲期前極為相似，但於後期幼蟲期後則顯着地增大忍受性如表 3 所示。從眼幼蟲 I 期至糠蝦 III 期其半致死濃度於 0.1230 - 0.1853 ppm 間，而於後期幼蟲 II、V、X 期分別為 0.2536、0.6195 及 2.8883 ppm，銅對眼幼蟲 I 期之毒性弱，但於眼幼蟲 II 期及糠蝦 II 期對銅却顯示較低之忍受力。

銅對於草蝦苗眼幼蟲期，糠蝦期及後期幼蟲期之急速毒性較富於變化，於眼幼蟲 I 期添加銅 0.5 ppm 7 小時內全部死亡，而添加 0.1 ppm 亦於 24 小時內全部死亡。其糠蝦 II 期及後期幼蟲 V 期有忍受性較差之現象 (表 4)。從眼幼蟲 I - III 期及糠蝦 I - III 期之半致死濃度分別為 0.05、0.0884、0.1407、0.1595、0.0959 及 0.2398 ppm 而於後期幼蟲 II、V、X 則分別為 1.1372、0.8855 及 2.1699 ppm。一般而言，對銅之忍受性依其蝦苗之增長，有較明顯之增強趨勢。

蝦苗各期對於銻毒性之忍受力，依其逐次變態增強最為明顯，從眼幼蟲 I 期至後期幼蟲 X 期增

表5 鋅對草蝦眼幼蟲、糠蝦及後期幼蟲各期之生物試驗

Table 5 Bioassay of zinc on the zoea, mysis and postlarval stages of *Penaeus monodon*

conc. (ppm) 濃 度	no. of test animals 試驗生物數	no. of test animals surviving 試驗生物活存數								
		Z ₁	Z ₂	Z ₃	M ₁	M ₂	M ₃	P ₂	P ₅	P ₁₀
0.05	20	14	17	19						
0.10	20	6	12	19	20	19	20			
0.25	20	2	14	18	18	18	20			
0.50	20	0	8	12	10	14	16	20	20	19
0.75	20	0	6	10	10	12	14			
1.00	20	0	2	6	4	6	6	18	18	20
2.00	20				0	3	3	5	16	19
3.00	20							1	14	14
4.00	20							0	7	16
5.00	20							0	6	6

表6 重金屬汞、鎘、銅、鋅對草蝦幼苗各期之半致死濃度

Table 6 The TLm (ppm) values of Hg, Cd, Cu and Zn for different larval and postlarval stages of *Penaeus monodon*

Heavy metals 重 金 屬	Z ₁	Z ₂	Z ₃	M ₁	M ₂	M ₃	P ₂	P ₅	P ₁₀
Hg	0.0025	0.0075	0.0076	0.0102	0.01	0.0238	0.0191	0.0268	0.0314
Cd	0.1409	0.1230	0.1497	0.1571	0.1294	0.1853	0.2536	0.6195	2.8883
Cu	0.05	0.0884	0.1407	0.1595	0.0959	0.2398	1.1372	0.8855	2.1699
Zn	0.0732	0.2681	0.7170	0.5404	0.7345	0.8648	1.4361	3.5466	4.5746

子。重金屬對於水產生物之毒害機制為與生物體內之蛋白質或鰓部之黏液結合，一般認為重金屬之毒性是抑制酵素之活性，干擾代謝功能，使生物體喪失氣體交換功能，呼吸作用無法進行以致缺氧而死。Chen (1975) 證明銅、鎘、鋅能破壞蝦鰓組織，高濃度之重金屬使蝦類迅速死亡可能係破壞鰓表皮細胞導致無法呼吸而死，於低濃度則危害神經系統及抑制某些酵素之正常功能。林 (1981) 指出中毒之淡水長臂大蝦致死之溶氧量較未中毒為高，顯示鰓表皮細胞及生理功能已受相當之損壞與抑制。於本試驗中死亡之蝦體多呈白色，鰓部變白而膨大，尤以汞為甚，可能係上述原因所致。本試驗結果，鎘組眼幼蟲Ⅱ期和糠蝦Ⅱ期，銅組糠蝦Ⅱ期及鋅組糠蝦Ⅰ期TLM 值有略低之現象，可能與蝦苗之器官形成有關，有待進一步探討，而汞組後期幼蟲Ⅱ期及銅組後期幼蟲Ⅴ期TLM 值有不正常之下降，餘均依蝦苗變態之進行而TLM 值漸昇。

依據本省草蝦苗繁殖業者之經驗指出：每當於海水遭受重金屬污染，草蝦苗培育發生大量死亡或不順利之情形下，轉而進行砂蝦苗之培育均可獲得令人滿意之成績。由以上經驗談可以判定砂蝦苗對污染水較草蝦苗較具忍耐力。分析其原因：汞、鎘、銅、鋅對砂蝦眼幼蟲Ⅰ期之TLM 值分別為汞0.0034 ppm、鎘0.240 ppm、銅0.162 ppm 和鋅0.548 ppm (江、丁, 1984)，均比草蝦眼幼蟲Ⅰ期之TLM 值為高，且於鎘組砂蝦之其他幼蟲期之TLM 值亦較草蝦苗來得高，但其他汞、銅、鋅組之其他幼蟲期，草蝦苗却顯得較具忍耐力。由此推斷，重金屬污染致草蝦苗大量死亡之原因為眼幼蟲Ⅰ期較砂蝦易受高濃度之重金屬毒害，使蝦苗之鰓部細胞受破壞，蝦體變白死亡，或為鎘之慢性毒危害神經系統及抑制酵素功能而陸續死亡。

陳 (1981) 調查旗津、中洲一帶及林園、林邊一帶發現鎘之濃度過高為草蝦苗大量死亡之主要原因。由本試驗發現不僅由於鎘污染使蝦苗致死、旗津、中洲一帶之鋅及銅污染亦相當嚴重，有危害蝦苗之可能。重金屬之危害應以其離子態存在者方具毒性，複合態則毒性低或無毒。Sunda 等 (1978) 將草蝦 (*Palaemonetes pugio*) 放入特定濃度之 $CdCl_2$ 培育水中，死亡率隨著鹽度之上升和螯合劑NTA(Nitriolotriacetic acid) 之添加而有降低之趨勢，其中Cl 和NTA之添加有助於複合鎘離子，降低鎘離子之濃度。由以上看來，於蝦苗之培育過程中隨意的降低培育水之鹽度是不可行的，而螯合劑之添加有相當之意義存在。

摘 要

將在實驗室中培育的草蝦幼蟲(眼幼蟲、糠蝦)和後期幼蟲(Ⅱ、Ⅴ、Ⅹ)，放置於汞、鎘、銅、鋅之幾種不同濃度海水溶液中，並於24小時測定其平均致死濃度。對於幼蟲而言，半致死濃度(TLM)值變化如下：汞(2.5 - 23.8 ppb)，鎘(0.1409 - 0.1853 ppm)，銅(0.05 - 0.2398 ppm)，鋅(0.0732 - 0.8648 ppm)，而於後期幼蟲，其半致死濃度值為：汞(19.1 - 31.4 ppb)，鎘(0.2536 - 2.8883 ppm)，銅(0.8855 - 2.1699 ppm)，鋅(1.4361 - 4.5746 ppm)。於汞組中，TLM 值於後期幼蟲期比糠蝦期及眼幼蟲期稍大些，而TLM 值於鎘組中眼幼蟲期與糠蝦期相似，變化不大。一般而言，後期幼蟲以鎘、銅和鋅處理，TLM 值較幼蟲期大大的提高。此四種重金屬之毒性強度依序為汞>銅>鎘>鋅。除鎘組以外，眼幼蟲第Ⅰ期於所有幼蟲期中對重金屬之忍耐力最小。死亡之蝦苗浮於水面上，特別是汞組，蝦苗變成白色而鰓部呈脹大之現象。

謝 辭

本試驗得以順利進行，感謝分所同仁黃智育先生及民間繁殖場邱加進、林文傑先生惠予提供蝦苗，謹於此申致謝忱，海洋學院養殖系惠予借用儀器，在此一併致謝。

參考文獻

- 1.江章、丁雲源(1984):重金屬對砂蝦初期幼蟲之急速毒性試驗,台灣省水產試驗報告,36, 93—98.
- 2.江章、周賢鏘、丁雲源(1984):矽藻(*skeletonema costatum*)對重金屬銅、鎳、汞、鋅蓄積作用之研究,發表中。
- 3.林世榮(1981):汞、銅、鋅對於淡水長腳大蝦(*Macrobrachium rosenbergii*)與虱目魚(*Chanos chanos*)之急速毒性試驗,中國水產,339, 20—25.
- 4.張金豐、陳弘成(1980):海洋污染物對姆苗之毒性研究,海洋彙刊26, 47—58.
- 5.陳弘成、謝明慧(1980):重金屬對於蝦類急速毒性之研究,中國水產,316, 3—10.
- 6.陳弘成(1981):繁殖場草蝦苗大量死亡之研究,中國水產,348, 15—24.
- 7.Ahsanullah, M. Negilski, D.S. Mobley, M.C. (1981): Toxicity of zinc, cadmium and copper to the shrimp *Callinassa australiensis* I—effects of individual metals, Mar. Biol. 64(3), 299—304.
- 8.Chen, H.C. (1975): some effects of heavy metals on the prawn *Palaemon elegans*. Liver pool University Ph. D.Thesis. 163P. marine larvae, Mar. Pollut. Bull. 3, 190—192.
- 10.Doudoroff P. et al. (1951). Bioassay method for the evaluation of acute toxicity of industrial wastes to fish. Sewage Ind. Wastes. 23, 1380—97.
- 11.Green F.A. JR. Anderson J. W. Petrocelli S.R. Presley B. J. Sims R. (1976). Effect of mercury on the survival, respiration and growth of postlarval white shrimp *Penaeus setiferus*. Mar. Biol. 37(1), 75—81.
- 12.Johnson. M. W. and J.H. Gentile (1979). Acute toxicity of cadmium, copper and mercury to larval american lobster *Homarus americanus*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 22, 258—264.
- 13.Rand, M.C. et al. (1975). standard methods. 14th ed. Amer. Pub. Health Assoc. Washington, D.C. 705—740.
- 14.Rodriguez, A. Establier R (1983). Toxicity of mercury II, methyl mercury copper II and cadmium II on the Larvae and postlarvae of shrimp *Penaeus kerathurus*. Invest. Pesq. 47(2) 339—344.
- 15.Sunda, W.G. Engel D.W. Thuotte R.M. (1978). Effect of chemical speciation on toxicity of cadmium to grass shrimp *Palaemonetes pugio* importance of free cadmium ion, Environ sci. Technol. 12(4), 409—413.