

重金屬對於蝦類急速毒性之研究

陳弘成* 謝明慧*

摘 要

重金屬是海洋三大污染之一，爲了瞭解重金屬對蝦類的毒性及比較不同蝦類對其毒害作用的耐力，本報告乃研究及探討重金屬的急速毒性。茲將所得結果列述如下：

1. 重金屬（汞、銅、鎘、鋅）的濃度愈高，則其對蝦類的毒性亦愈大。
2. 一般言之，四種重金屬對蝦類的毒性以汞最大，銅及鎘次之，而以鋅爲最小。
3. 五種蝦類，槍蝦、岩蝦、草蝦、砂蝦及五鬚蝦對重金屬毒害作用的耐力，依此次序遞增。
4. 鎘對蝦類的毒性雖比銅略低，但其急速毒性作用仍然相當快速。
5. 重金屬的急速毒性主要係破壞鰓部的表皮組織或抑制酵素之正常功能。
6. 蝦類對重金屬的敏感程度，與其本身的生棲環境及適應環境的能力有關。

* 國立台灣大學動物系與漁業生物試驗所 教授

* * 國立台灣大學動物系與漁業生物試驗所 研究生

一、前言

重金屬對於生物體的新陳代謝作用極為重要，但是當超量時即變成劇毒（Bryan, 1971）。其元素或鹽類，也是工業上不可或缺的原料。近年來，台灣的工業神速發展，工廠像雨後春筍到處林立，故對重金屬的消耗量也越來越大，其含重金屬的廢水也急劇增加。這些含有毒素的廢水，隨河川流到台灣整個沿海。台灣近年來在魚塢及淺海養殖地區，魚貝類常大量死亡，雖然死亡的原因至今仍尚未能確認，但是這些含有重金屬的廢水不無嫌疑。

重金屬的廢水，對水生生物具有很大的傷害作用，若含過量甚至引起急速死亡，這方面之研究在外國已從事多年（Raymont & Shields, 1964；Portmann & Wilson, 1971；Young & Nelson, 1974）。然而在國內則少有報導。蝦是生長在沿海或於池中養殖的一種高級水產經濟甲殼類，因係底棲生物故洄游的範圍不大。如含有重金屬的工業廢水流入蝦類生長之水域或是養殖之水域，則會發生重大損失。本研究之目的乃比較重金屬的毒性及瞭解各種蝦類對其之耐性。

台灣的河流短促，乾季時流量不多，故工業廢水排入河川後常停滯不前。但在雨季時大量雨水會把乾季所累積下來的金屬沉積物迅速沖下至沿海，而引起急速毒性。因此重金屬的急速毒性之研究正刻不容緩，以期能建立廢水排放之容許濃度保障水生資源之安全，並且做為污染防治之依據。

二、實驗材料及方法

實驗所使用的重金屬是採用一般所知對水生生物毒性最大的汞、銅、鋅及鎘，其化學名稱為硫酸銅（ CuSO_4 ），硫酸鋅（ ZnSO_4 ），硫酸鎘（ CdSO_4 ）及氯化汞（ HgCl_2 ）。各種金屬除汞外先配成 20,000 ppm 的母溶液（Stock solution），然後再用鹽度 34 ‰ 之清潔海

水順序稀釋成所需要的濃度如 1,000, 330, 100, 33, 10 及 3.3 ppm。因汞較銅、鋅及鎘毒性大，故汞之濃度皆為其他三種金屬的 10 分之 1。

5. 種蝦類是草蝦 (*Penaeus monodon*)，平均體長為 2.3 cm，購自台南民間養殖場；砂蝦 (*Metapenaeus ensis*)，平均體長為 1.3 cm；五鬚蝦 (*Cardina denticulata*)，平均體長 1.7 cm，以上二者皆取自水試所台南分所；岩蝦 (*Palaemon pacificus*) 及槍蝦 (*Crangon affinis*) 分別採自基隆及澎湖海邊的種蝦，帶回實驗室讓其孵化並將其幼苗培養一段時間後再做為實驗材料。上述各種蝦苗皆運回實驗室馴養並觀察，在無異狀下實驗才開始進行。

實驗時，利用 2ℓ 之玻璃杯各裝 1ℓ 之不同濃度的金屬溶液，每一種濃度放 5~15 隻不等的蝦苗。容器內因蝦體甚小溶氧足夠需要，故不打氣，同時亦不予餵食。水溫保持在 22~26. °C 之間。實驗中隨時觀察並記錄其死亡情形，然後由死亡之累積曲線 (Cumulative curve) 依照 Brown & Ahsanullah (1971) 之方法，求出 LT_{50} (在某種濃度生物死亡一半所需要的時間) 數值。這些數值對於指示污染物的毒性是非常方便的。

三、實驗結果

四種重金屬對於草蝦的急速毒性如圖一所示。很明顯的，當濃度愈高則毒性亦愈大，即 LT_{50} 值亦愈小。當濃度為 3.3 ppm 時，則草蝦苗之 LT_{50} 值雖因金屬而不同，但約在 6~96 小時之間，顯示金屬之毒性很大。四種重金屬中以汞最毒；其最高濃度 100 ppm 的 LT_{50} 值約為 1 小時，最低濃度 0.33 ppm 者，也不超過 14 小時，故其毒性約為其他三種金屬毒性的 3~33 倍。在 1,000 ppm 時，銅的 LT_{50} 值只有 10 分鐘，即是草蝦放入溶液中稍微掙扎即告死亡半數。而鋅及鎘各為 0.42 及 0.6 小時，也是很毒的。除汞外，其他三種重金屬之毒性大小雖然並不很明顯，但一般言之，以鋅為最小。至於銅及鎘之毒性則依濃度而變，在三

個高濃度中，則銅比鎘更具毒性，然而在低濃度中則正好相反。

養殖上重要的砂蝦受重金屬之急速毒性作用如圖二所示。不論何種重金屬，其濃度愈高毒性亦愈大。在濃度增加 100 倍時，汞及鋅之毒性約增大 10 倍；然而銅及鎘則增加約 100 倍。四種重金屬當濃度在 10ppm 時，其 LT_{50} 值都不超過 30 小時，顯示毒性仍很高，其中乃以汞為最毒，其次是銅，毒性最低者是鎘及鋅。故前二者之毒性約為後二者金屬毒性的 10 倍左右。草蝦與砂蝦是主要之養殖蝦類，比較起來，發現砂蝦比草蝦對於重金屬之毒害作用較具耐性。

魚塢內及沿岸常見的五鬚蝦亦受重金屬之毒性影響。其毒性作用與前二種蝦類相同，即濃度愈高毒性亦愈大（圖三）。四種重金屬中仍以汞為最毒，而鋅毒性最弱，二者毒性相差高達 330 倍。銅與鎘對於五鬚蝦的毒性仍與草蝦一樣，二者相差不多，但在低濃度中則鎘之毒性比銅為大，而在高濃度則反之。比較魚塢中之三種蝦類對於重金屬毒害作用的耐力，則發現除了汞外，五鬚蝦都比其他砂蝦及草蝦更具耐力。至於汞則發現五鬚蝦較易受其影響。

在岩岸潮間帶棲息的岩蝦受重金屬的急速毒性作用極為明顯。在 10ppm 之濃度下，岩蝦的 LT_{50} 值都不超過 19 小時而在最高之濃度也不超過 0.3 小時（圖四），顯示岩蝦對於重金屬比其他魚塢中生長的蝦類更為敏感。四種重金屬不論在何種濃度，其毒性大小依序為汞 $\geq$ 銅 $\geq$ 鎘 $\geq$ 鋅；而汞之毒性約為其他者的 3 ~ 33 倍。至於鎘雖比鋅之毒性為大，但二者相差無幾。

槍蝦受重金屬毒害作用亦與其他四種蝦類相同，金屬之毒性愈低即濃度亦愈小（圖五）。四種重金屬的毒性大小，一般言之與岩蝦相同；即汞 $\geq$ 銅 $\geq$ 鋅 $\geq$ 鎘，但前二者的毒性是後二者的 10 ~ 33 倍。而且除汞外，槍蝦似乎比岩蝦對於重金屬的毒害作用更為敏感。在高濃度時，各金屬的 LT_{50} 值都在 0.8 小時以內，尤其是 1,000 ppm 的銅溶液因蝦苗放入後到達杯底時即死亡， LT_{50} 值不足 3 分鐘，故沒在圖五中顯示出來

。本研究中却很有趣的發現高濃度的銅對槍蝦的毒性竟比汞對砂蝦的毒性還大，此種現象一般是比較少見的。

爲了更能明白的比較重金屬毒性之大小及了解蝦類對於重金屬的忍受能力，茲將蝦類在重金屬濃度 100 ppm 時的 LT_{50} 值列於表一。很清楚的，以蝦類而言，則槍蝦及岩蝦最敏感，草蝦及砂蝦次之，而以五鬚蝦最具耐力。若以重金屬而言，則汞最具毒性，銅次之，鎘再次之，而以鋅的毒性爲最低。以上二種結果與上述圖一至圖五者大致相同。100 ppm 之金屬濃度由表中可知毒性很高，因即使毒性最低的鋅亦能在 12.3 小時使蝦類死亡一半。

Table.1. The LT_{50} values for different prawns in 100ppm solution of heavy metals.

	C. affinis	P. pacificus	P. monodon	M. cnsis	C. denticulta
Hg	0.38	0.17	1.0	1.6	0.24
Cu	0.62	1.1	2.0	2.0	5.2
Cd	2.3	3.5	2.5	8.0	4.1
Zn	1.7	4.0	6.5	6.0	12.3

各種不同蝦類暴露於重金屬溶液24小時死亡一半所需要的濃度，即 24. hr LC_{50} 值 (Median lethal concentration) 可由上述圖中算出並列於表二。其結果乃與上表相同，即槍蝦與岩蝦仍比其他三種蝦類較爲敏感，並以五鬚蝦最具耐力。至於重金屬之毒性仍以汞爲最高，而鋅爲最低。銅與鎘之毒性相差不多，這是因爲在低濃度時，銅易與海水中的物質起沉澱作用，而使銅的濃度減低所致。

Table. 2. A comparison at 24 hr LC₅₀ values of
four metals for different prawns

	C. affinis	P. pacificus	P. monodon	M. ensis	C. denticulta
Hg	< 0.33	< 0.33	< 0.33	< 0.33	< 0.33
Cu	< 3.3	3.3	13.0	11.0	14.0
Cd	< 3.3	5.5	< 3.3	< 10.0	3.3
Zn	< 3.3	7.0	3.3	10.0	46.0

四、討 論

重金屬或其他海洋污染物對於沿岸水生生物之毒性在外國已研究多年，一般認為濃度愈高，其毒性亦愈大（Wisely & Blick, 1967；Connor, 1972；Chen, 1975）。本研究中，四種重金屬對五種蝦類之毒性亦得相似之結果。Brown & Ahsanullah (1971) 研究汞對於 *Artemia* 之毒性時，曾反常的發現汞之濃度增加，*Artemia* 反而生存得更久，亦即對 *Artemia* 之毒性減低。此種現象，在以蝦類為實驗材料時，並沒有發現。Eisler (1971) 認為蝦類比蟹類對於重金屬的毒害作用較為敏感，故以蝦類做為污染物的生物檢定之材料時，是很恰當的。

對於水生生物不論是魚類、軟體動物或甲殼類，一般都認為重金屬中的汞最具毒性，而銅又比鋅之毒性為大（Kcbayashi, 1971；Biesinger & Christensen, 1972；young & Nelson, 1974；Chen, 1975）。本實驗中發現汞之24. hr LC₅₀ 值都小於0.3ppm

，而鋅却有達 46 ppm 者，故汞之毒性最大，亦無可置疑。鎘之毒性，一般而言之，與銅相同或略低於銅，此與 Brown & Ahsanullah (1971) 研究重金屬之毒性時所得的結果相似。Eisler (1971) 研究鎘對於比目魚的毒性時發現鎘之毒性雖大，但是毒性的作用却很慢，即受鎘毒害作用後之比目魚並不立即死亡，而是等到放回清潔的水中後才開始死亡。但 Portmann & Wilosn (1971) 以槍蝦 Crangon 為研究對象時發現鎘之毒性大而且作用迅速。雖然魚和蝦並不能做很客觀的比較，但本結果與後者較為雷同。

重金屬因易於與生物體內之蛋白質及表皮之粘液結合，故其毒害作用一般都認為是抑制酵素 (Enzyme) 的活性，使正常的生理作用停止或鰓部的表皮組織，使之缺氧窒息而死 (Pringle et al, 1968 ; Skidmore, 1970 ; Lake & Thorp, 1974)。Chen (1975) 研究金屬對蝦類的毒害作用時，已證明銅、鎘及鋅能破壞鰓部組織。在本研究中，因高濃度的重金屬能使蝦類在極短的時間死亡，故可認為係破壞鰓部之表皮，使氣體交換之功能停止而致死。至於低濃度者，則可能是危害神經系統的正常功能或抑制某些酵素之正常作用。

Portmann & Wilosn (1971) 發現使成體槍蝦於 48 hr 引起 LC_{50} 之重金屬溶液分別是 3.3 ~ 10 ppm 汞、3.3 ~ 10 ppm 鎘及 29 ~ 29.5 ppm 銅。上述各溶液乃大於本研究 24 hr LC_{50} 之數值，雖然這次經驗係使用蝦苗，而蝦苗一般的耐力却比成蝦為低，但無論如何，槍蝦或岩蝦的幼苗仍是非常敏感對重金屬的毒害作用。再者，此種蝦類在岩岸甚多，而且極易捕捉，故是很好的材料。

在鹹水魚塢尤其是風目魚塢池，每當收穫時常會發現極少數之草蝦，比草蝦數量較多的砂蝦及數量最多的五鬚蝦。在粗放式的草蝦池中，每每以五鬚蝦做為敵害的對象，因其數量比草蝦為多。這是因為五鬚蝦其有較高的耐力比草蝦、砂蝦在魚塢的不利環境中較能生存。故相似的，也較能抵抗重金屬的毒害作用。岩蝦及槍蝦長久生存於沿岸的潮間帶

水域，海水之鹽度及溫度變化不大，而且水質清淨，故使之較不具有適應環境變化的能力。亦即環境變化太大時，會即刻死亡，因此對於重金屬的毒害作用亦非常敏感，所以蝦類對重金屬毒性作用的耐力，似與其以前棲息的环境有關。

重金屬的安全濃度 (Biologically Safe concentration)，即對生物不引起不良影響的濃度，已被研究多年並有多種表示法及計算法。Mckim & Benoit (1971) 研究報告中則指出安全濃度約為 LC_{50} 係數 0.1 ~ 0.17 之間。Mount & Stephan (1969) 則指出可利應用因子 (Application factor) 由急性毒性之濃度求出安全濃度，但此法並不一致使大家所接受。然而，目前一般都認為安全濃度及 LC_{50} 值之間的關係約為 $1/10 \sim 1/100$ (Water Ouality Criteria, 1968)。海洋中重金屬的平均濃度為 0.003 ppm 銅及 0.01ppm 鋅，故海洋尤其是沿岸水域若稍加重金屬污染時，則可能會高於其安全濃度而引起不良影響。

重金屬之影響除了急速死亡外，還有慢性的生理影響，如攝食量、氧氣消耗量、生長及生殖等等。而這些影響的濃度都還低於急速死亡之濃度，所以也較重要，較實際。故長期的慢性金屬影響實有加強研究的必要。又重金屬污染不像石油或農藥之污染一樣，能更由日光照射或細菌分解而慢慢消失。它雖不使蝦類死亡，但却能長期的堆積於蝦體內，再經由蝦體轉入人體，而對人類健康產生不良的影響。故重金屬在水生生物體尤其是蝦類的堆積，將為今後研究的重點。

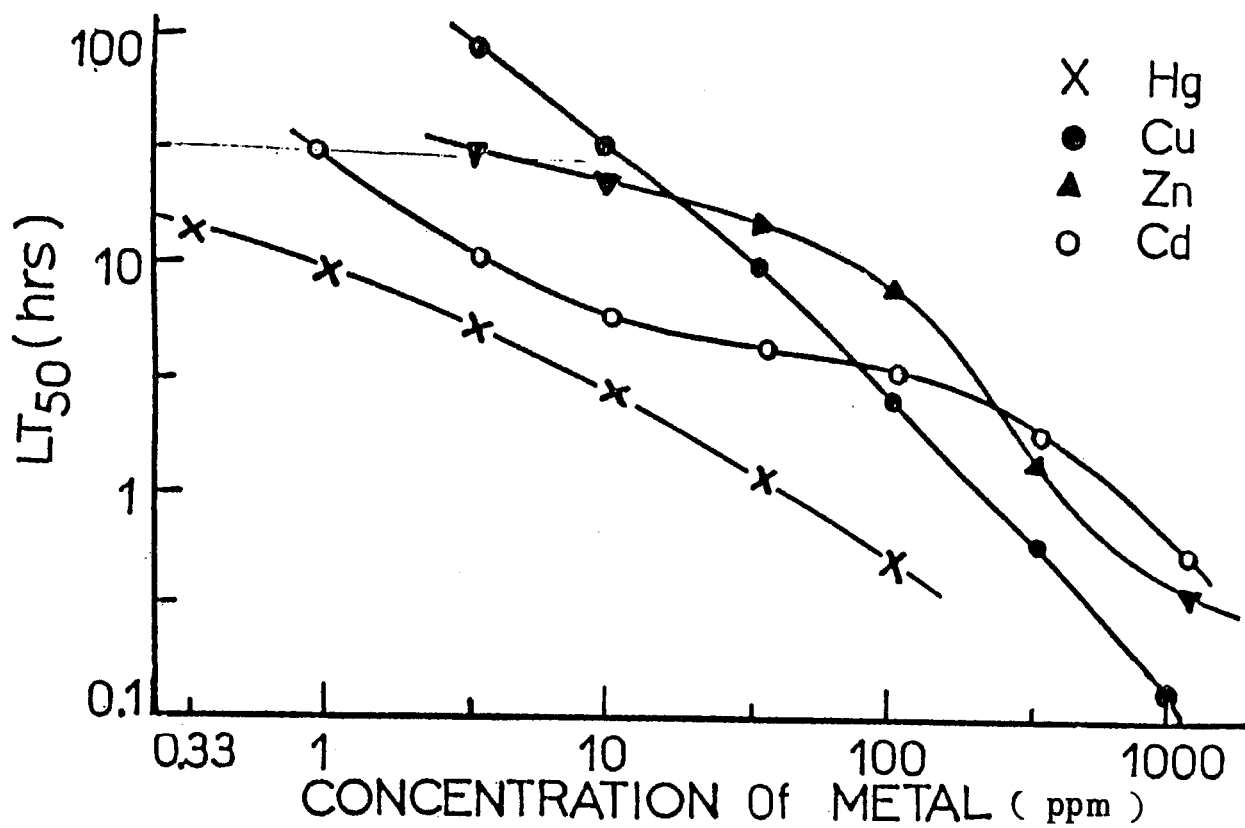


Fig. 1. Toxicity of four heavy metals to grass shrimp *Penaeus monodon*. 草蝦

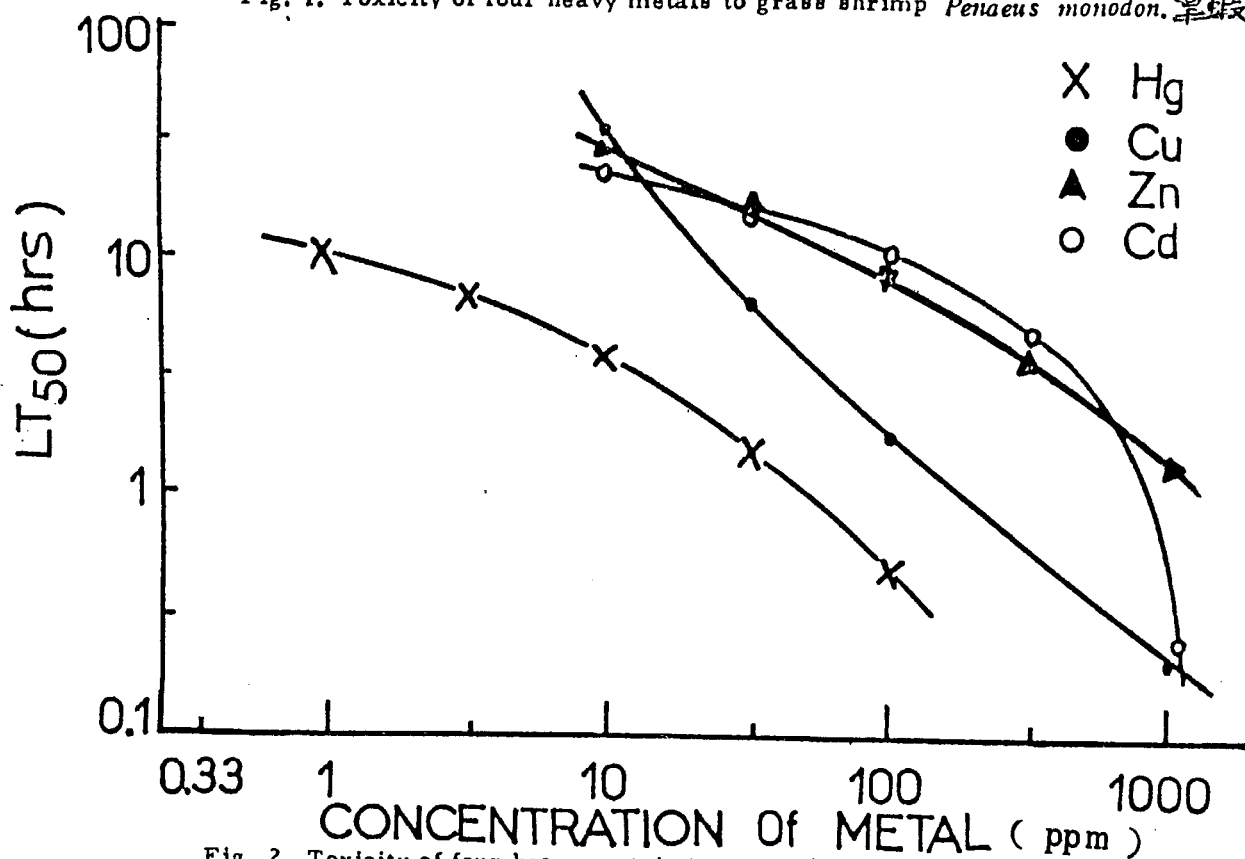


Fig. 2. Toxicity of four heavy metals to game shrimp *Metapenaeus ensis*.

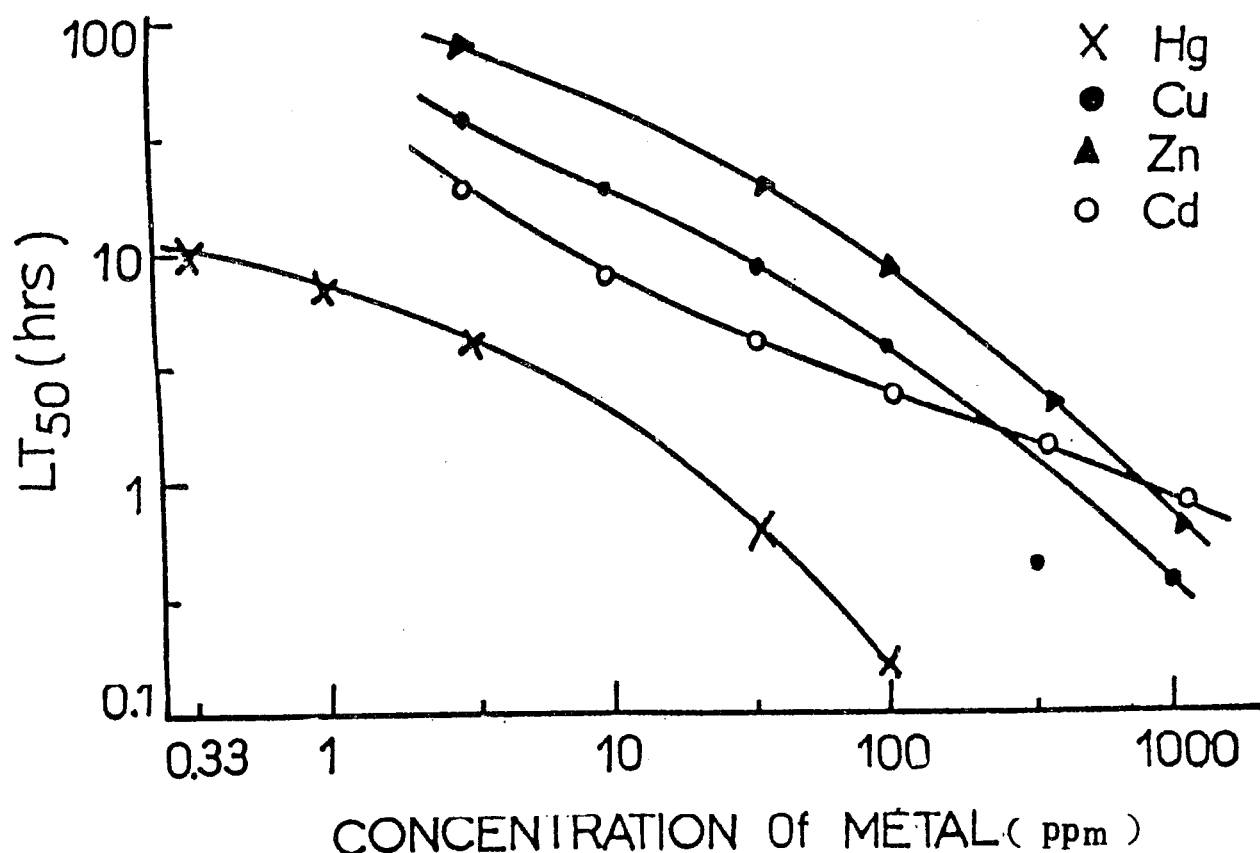
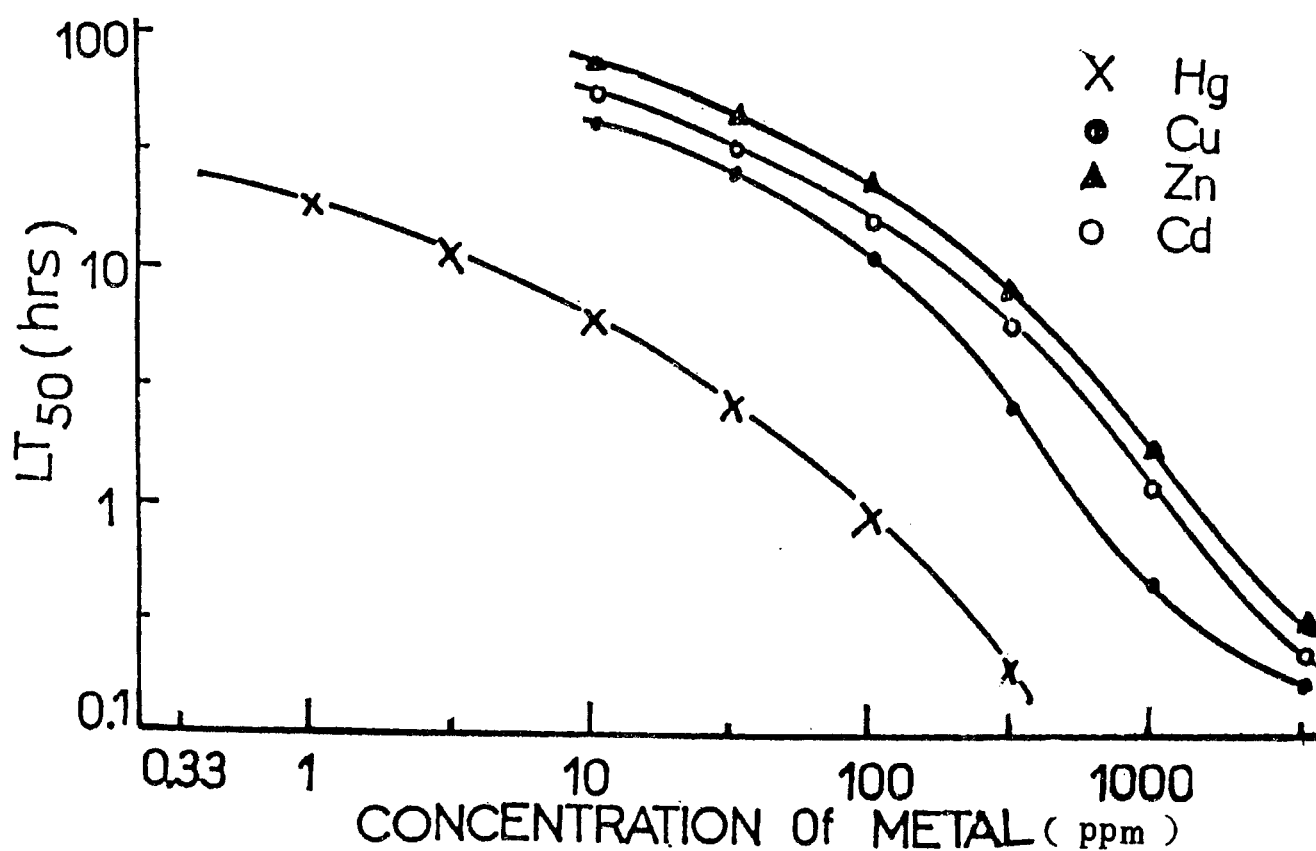


Fig. 3. Toxicity of four heavy metals to *Cardina denticulata*.



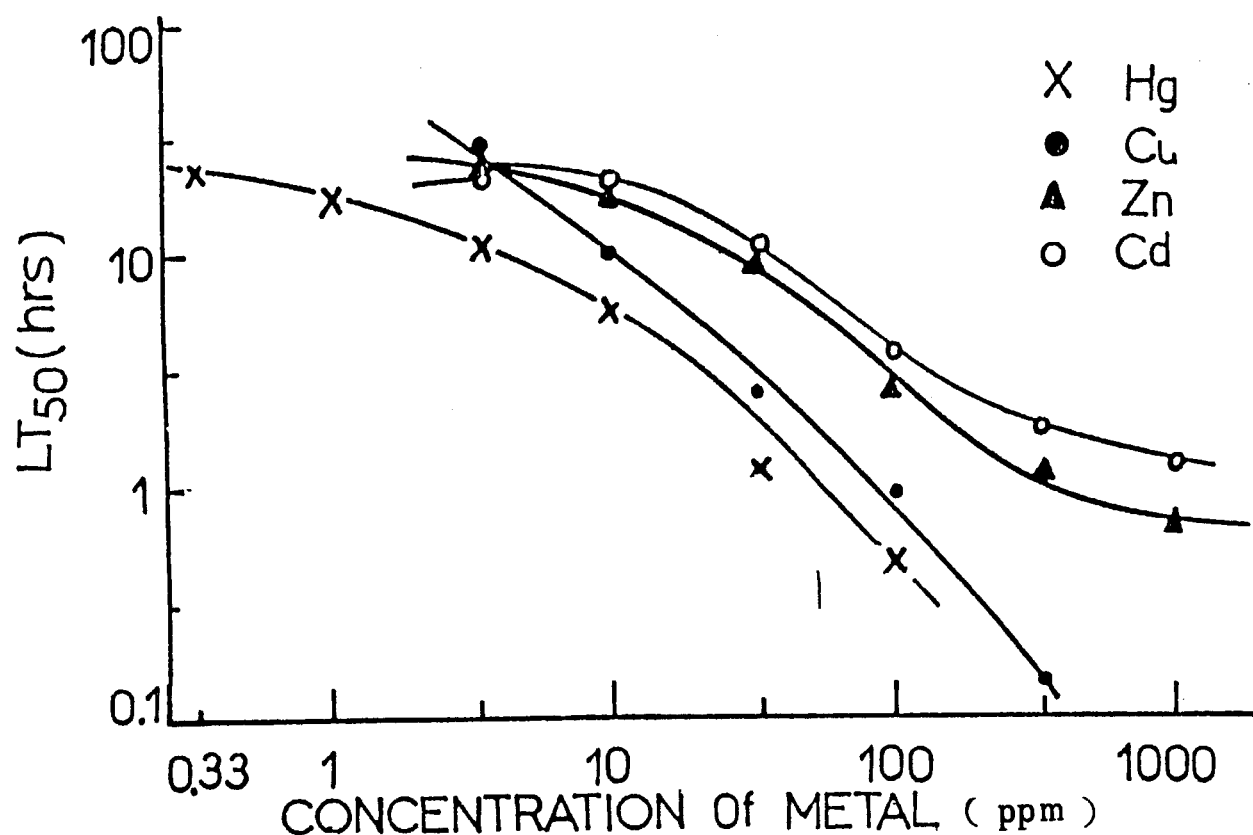


Fig. 5. Toxicity of four heavy metals to piston shrimp *Crangon affinis*.

誌 謝

本研究承蒙台南分所丁雲源分所長提供砂蝦及五鬚蝦，澎湖分所顏枝麟先生提供槍蝦，實驗期間承張巧文及廖玉瑞二位小姐及本研究室同仁之協助而得完成，特此致謝，又海洋學院漁業研究所所長游祥平博士給予支持與方便，亦一併謝。

本文已發表於“中國水產”第三一六期。

參考文獻

1. 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.
2. Brown, B. and M. Ahsanullah 1971. Effect of heavy metals on mortality and growth. Mar. Pollut. Bull. 3, 182-188.
3. Bryan, G. W. 1971. The effects of heavy metals (other than mercury) on marine and estuarine animals. Proc. R. Soc. (Ser. B) 177, 389-410.
4. Chen, H. C. 1975. Some effects of heavy metals on the prawn *Palaemon elegans*. Liverpool University, Ph. D Thesis. 163p.
5. Conner, P. M. 1972. Acute toxicity of heavy metals to some marine larvae. Mar. Pollut. Bull. 3, 190-192.
6. Eisler, R. 1971. Cadmium poisoning in *Fundulus heterochtus* (Pisces: Cyprinodontidae) and other marine organisms. J. Fish. Res. Bd. Can. 28, 1225-1234.
7. Jones, M. B. 1973. Influence of salinity and temperature on the toxicity of mercury to marine and brackish water isopods (Crustacea). Estuar. Coast. Mar. Sci. 1, 425-431/
8. Kobayashi, N. 1971. Fertilized sea urchin eggs as an indicating material for marine pollution bioassay, preliminary experiments. Publ. Seto. Mar. Biol. Lab. 18, 379-406.
9. Lake, P. S. and V. J. Thorp 1974. The gill lamellae of the shrimp *Paratya tasmaniensis* (Atyidae: Crustacea). Normal ultrastructure and changes with low levels of cadmium. Eight International Congress on Electron Microscopy, Canberra. Vol. II p 448-449.
10. Mckim, J. M. and D. A. Benoit 1971. Effects of long-term exposures to copper on survival, growth and reproduction of brook trout (*Salvennus fontinalis*). J. Fish. Res. Bd. Can. 28, 655-662.
11. Mount, D. I. and C. E. Stephan 1969. Chronic toxicity of copper to the fathead minnow (*Pimephales nromelas*)in soft water. J. Fish. Res. Bd. Can. 26, 2449-2457.
12. Portmann, J. E. and K. W. Wilosn 1971. The toxicity of 140

- substances to the brown shrimp and other marine animals. M. A. F. F. Shellfish Information Leaflet, No. 22.
13. Pringle, B. H., D. E. Hissong, E. L. Katz and S. T. Mulawka 1968. Trace metal accumulation by estuarine molluscs. J. Sanit. Engng Div. Amer. Soc. Civ. Engrs. 94. 455-475.
 14. Rayment, J. E. G. and J. Shields 1964. Toxicity of copper and chromium in the marine environment. International Conference on Water Pollution Research, Lond. p. 275-290. Oxford: Pergamon Press.
 15. Skidmore, J. F. 1970. Respiration and osmoregulation in rainbow trout with gills damaged by zinc sulphate. J. Exp. Biol. 52, 481-494.
 16. Water Quality Criteria 1968. F.M.P.C.A. U.S. Dept of Interior.
 17. 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.
 18. Young, L. G. and L. Nelson 1974. The effects of heavy metal ions on the motility of sea urchin spermatozoa. Biol. Bull. Mar. Biol., Woods Hole 147, 236-246.

ABSTRACT

In an attempt to study the toxicity of heavy metals to some species of prawns and to compare their tolerance to the toxic effect of metals, acute toxicity bioassays were carried out at 20-26 C and with full strength seawater. The results are summarized as follows:

1. In all cases, higher concentrations of mercury, copper, cadmium & zinc killed prawns in a shorter period of time.
2. Of the heavy metals used, mercury was the most toxic, with copper & cadmium being more toxic than zinc.
3. Toxic action of cadmium on prawns was found to be very rapid.
4. For prawns, the order of susceptibility to metals was of the following sequence, *Crangon affinis*, *Palaemon Pacificus*, *Penaeus monodon*, *Melapenaeus ensis* and *Cardina denticulta*.
5. It was found that the difference in tolerance of prawns might be attributed to their adaptabilities to fluctuating environmental variables.
6. Heavy metal was thought to damage the gill tissue & to inhibit the enzyme system.
7. Studies of sublethal effects were required to arrive at a better understanding of metal toxicity.