

# 鋅、銅污染 對淡水魚類產卵繁殖之毒性研究

朱錦忠

## 摘 要

1. 將實驗魚產卵繁殖過程分為：精子、卵子、受精卵、新生苗、幼魚、成魚等六個階段，其中以新生苗對鋅、銅污染最不具忍受力；其 96 hr  $LC_{50}$  值為：Zn—2.425 ppm、Cu—0.045 ppm，而「非可察覺性之毒害濃度」則為：Zn—0.79 ppm、Cu—0.02 ppm。
2. 在鋅、銅污染水中受精之受精卵，其受精率不受影響，但孵化率卻比在自然水中受精者降低  $35 \pm 9\%$ 。
3. 在較高濃度之鋅、銅試液中，殘存受精卵的孵化時間有提前的趨勢。
4. 在同時含有 Zn—0.5 ppm、Cu—0.03 ppm 之模擬標準放流水中，新生苗經 120 小時後，有 2% 之魚苗因喪失活力、無法覓食而死亡。
5. 精子對鋅、銅毒性的忍受力，有極明顯的個別差異。

## 一、前 言

本省之水污染研究，見於報告者可溯自二十年前<sup>(2)</sup>。其探討要點，除着重在水源污染程度的分析與判斷外；有識者更早已呼籲，須及時做好水污染防治工作，以免危及民衆健康<sup>(7)</sup>。然而，縱使自民國61年起，台北市即已開始實施「防止水源污染辦法」，但終究趕不上經濟、工業發展的飛快腳步。時至今日，不僅有公共給水水源受到嚴重污染，致使取水站廢棄停用的情況發生<sup>(4)</sup>，甚者連水產養殖、農田灌溉用水亦已難逃噩運；而其污染範圍，也不再局限於內陸河川水域，台灣沿岸海水之污染同樣處處可見<sup>(14)</sup>。至於此種污染水遍地橫流所導致的後果，除顯然造成水產資源銳減外<sup>(4)</sup>，亦使農漁業的發展遭受重大打擊。就以台灣中部及西南部沿海每

年發生養殖貝類大量死亡的事件來看，漁民的損失往往難以估計<sup>(15)(17)(18)(19)</sup>，而民國75年發生的「綠牡蠣事件」，以及77年9月間的「鎘米事件」，更已直接威脅到所有民衆的生命安全。是以台灣地區水污染的嚴重性，已不再是公共給水水源是否安全的問題，而是整個水域生態均已面臨普遍污染的危機。影響所及，除前述的社會經濟損失外；更不容忽視的，是水域自然生態可能發生全面性的改變。因此，若不能及早防止這種污染情況的惡化及蔓延，並進而杜絕污染的發生，那麼幾年之後，台灣的水域生態恐將遭受永劫不復的破壞。

就污染防治工作而言，找出污染源是首要課題。而從新近的研究報告中得知：本省河川的四大污染源來自家庭污水、工礦廢水、畜牧廢水及廢棄物污染等<sup>(11)</sup>，其中以工礦廢水之污染最爲主要，對水產生物所造成的毒害及損失也最爲嚴重。究其原因，乃此類廢水中含有重金屬、氰化物、有機溶劑等毒性物質<sup>(16)</sup>。這些物質在台灣目前的工廠設備下，大都未經處理即將之直接排入自然水體中。而此種肆意污染的結果，究竟對生態環境造成的破壞程度如何？至今仍缺乏深入的瞭解。但若依據民國74年之水質調查資料分析，本省主要河川水中重金屬的含量比例爲：鋅>銅>鉛>鎘>汞，而含鋅量在0.01~0.10 ppm間之水樣居然高達92.9%，含銅量在0.01~0.03 ppm間者也佔有89.8%的比率<sup>(12)</sup>。這種幾乎無所不在的重金屬污染，實已達到令人震驚的程度。而更不幸的是，從諸多水產養殖研究者的報告中顯示，鋅、銅對魚類等水產生物的毒性，是僅次於汞者<sup>(5)(9)(20)</sup>。因此，爲探討這兩種污染廣且毒性強的重金屬對水域生態所造成的影響，乃以模擬污染水之鋅、銅試液，對產卵性魚類進行生物試驗（Bioassay），期能爲生態、環保工作提供些許參考。

## 二、材料及方法

由於生物在成長各階段中，對毒性物質的忍受力有所差異<sup>(6)</sup>。故本研究將魚類的產卵繁殖過程分爲精子、卵子、受精卵、新生苗（Newly Hatched Larva）、幼魚、成魚等六個階段，分別進行八項實驗。其目的除在瞭解鋅、銅兩種重金屬對魚類產卵過程中所造成的影響外，並進而探討現行放流水標準對產卵性魚類的適用性。今將各項實驗的過程、材料及方法分述如下：

：

### (一)試液之配製：

本實驗所用試液，依據Masterton之Chemical Principle<sup>(35)</sup>所列的週期表換算。首先以CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 3.9291 g及ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 4.3980 g，分別在定量瓶中加入蒸餾水至1000 cc。配

成 1000 ppm 之鋅、銅原液後密封儲存。各項實驗所需試液，則取定量之原液以打氣儲放三天之自來水稀釋到所需濃度。為免原液之毒性改變，儲存時間若超過 10 天則重新配製一次。

#### (二)實驗魚之選擇：

由於本研究對魚類產卵繁殖之各階段均須分別探討，是以在魚種的選擇上，以產卵量多且產卵間隔短者為優先考慮。而就生態上言，本土種的代表性更高於外來種，因此，鯽魚應是較合乎理想的魚種。但為了在實驗過程中方便辨認起見，乃選擇其變異種金鯽 (*Carassius auratus*) 做為實驗魚。該魚除花色各異可避免取樣時之重覆外，其不受污染之人工養殖過程，亦應可提高對毒物之敏感性。

#### (三)實驗魚的取得與蕃養：

本實驗所用之新生苗、受精卵、精子、卵子，其所取自之種魚，均於 77 年 1 月下旬購自五股鄉之養殖場，體長 14~18 cm，雌雄各十尾。購進後蕃養於室外 1.4 m<sup>2</sup> 之塑膠帆布池，水深 25 cm，以抽水馬達循環過濾保持池水清澈，並每日以錦鯉飼料投餵至少飽食一次。

全程實驗期間，飼養種魚之水溫均不加人工控制，隨氣候狀況之水溫變化在 8~22℃ 之間。而在水溫升高到 15℃ 以上時，凡已達產卵間隔之成熟種魚均可交配產卵。

#### (四)第一~第八項實驗方法：

##### 1. 實驗一：鋅、銅對新生苗之毒性試驗

第一項實驗，在探討鋅、銅污染對新生魚苗之 24、48、96 hr 「半數活存濃度」(LC<sub>50</sub>)<sup>(28)</sup> 及「非可察覺性之毒害濃度」(No-Observed-Effect Concentration 簡稱為 NOEC)<sup>(2)</sup>。所用之方法由於試驗對象之不同而與引用文獻所列者略有差異，但在有關 LC<sub>50</sub> 值的求法上，均仍依據 Standard Method 所提供之方式。

測試用之鋅、銅試液，其濃度範圍經預備試驗得知：鋅在 0.5~10 ppm 之間；銅則為 0.01~1.0 ppm。依據標準試驗法予以分級後，鋅分為 0.5、0.75、1.0、1.25、2.0、3.15、5.0、7.9、10.0 ppm 等九級；銅則分為 0.01、0.0125、0.02、0.0315、0.05、0.079、0.1、0.125、0.2、0.315、0.5、0.79、1.0 ppm 等十三級。另附對照組一組。實驗期間，試液溫度為 15~17℃，PH=6.5~7.0。

實驗用魚苗，均取自同一尾雌魚產下之受精卵（其方法見實驗二）所孵化，並以孵化後 6 小時內之新生苗為限。其體長約 0.6 cm，仍帶有卵黃囊且尚未具有正常之游泳能力。

實驗開始時，先取兩種重金屬之各級濃度試液 50 cc. 分別盛於培養皿中，再以滴管吸取

魚苗10尾置入。實驗進行時，每12小時觀察一次並紀錄活存數目。至於死亡之判定，則以十倍解剖顯微鏡確認心跳是否停止為基準。

## 2. 實驗二：鋅、銅對受精卵之毒性試驗

第二項實驗在瞭解鋅、銅污染對受精卵發育所造成的影響。而為了與新生苗之毒性反應做比較，其測試方法乃仿用求  $LC_{50}$  值之方式求取「受精卵半數孵化濃度」。

同第一項實驗，經預備試驗確定兩種試液之濃度範圍，鋅為 1.0~10.0ppm；銅則為 0.1~1.0 ppm，兩者各自分為七級，並附對照組一組。每一濃度取 50cc 試液盛於培養皿中，再取同一尾雌魚所產之受精卵 20 顆置入其中孵化。

受精卵之取得：在氣溫回升時，將成熟待產之雌魚一尾及雄魚數尾留在池中，並置入成束之柔軟蕨類做為產卵巢，如此即可在第二天清晨誘導種魚交配產卵。當產卵行動結束後，撈出產卵巢以手摘取黏附其上的魚卵，再靜置於裝有原池水的盆中 12 小時，其目的在篩除因未受精或作業上之傷害而導致死亡變白的無效卵。

經上述程序確定受精之受精卵，再以滴管吸取置入試液中進行實驗時，這些卵大約為受精後 14~18 小時之間。實驗開始後每 12 小時觀察紀錄一次，發現死亡變白之卵即予吸除以免破壞水質，直至活存卵全數孵化為止。

## 3. 實驗三：特定濃度試液中之精子活存時間

第三項實驗之目的，在比較精子於各濃度試液中活存時間的差異；並探討鋅、銅污染對精細胞所生的影響。而特定濃度之設定，則以第一項實驗所求得之 Zn-NOEC、Zn-96 hr  $LC_{50}$ 、Cu-NOEC、Cu-96 hr  $LC_{50}$ ，以及 Control 等五種濃度。每種濃度試液於實驗時均取 2 滴（約 0.1 cc）滴於凹片上，並預置於顯微鏡之載物台後，接受精子測試。

精子之取得方法：選取八尾精液豐富之雄魚，分別撈出水面以乾布擦拭生殖孔附近體表後，用手輕壓其腹部使之流出精液，再迅即以浸泡過之竹籤尖端沾取點入各試液中。

精子之活存以在 100 倍顯微鏡下可察覺其游移或顫動者為準，其全部消失此種現象所經之時間即定為「活存時間」。而在分別求得八尾雄魚精子於各試液中之活存時間後，再以統計學 t-test<sup>(13)</sup> 分析鋅、銅兩組之 NOEC、96 hr  $LC_{50}$  與 Control 之間是否有所差異。

## 4. 實驗四：精子活存時間減半之濃度

從八尾雄魚中，挑選二尾精子活存時間接近 Control 組平均值（第三項實驗結果）者，進行第四項實驗；並以其精子在 Control 試液中之活存時間當做「正常活存時間」。進而仿

用求  $LC_{50}$  值之方法，求出鋅、銅兩重金屬使得精子活存時間減半之濃度。

從預備實驗中確定，本項實驗鋅組試液之濃度分級為：Control、100、125、200、315、500、790、1000 ppm 等八級；而銅組則為：Control、10、12.5、20、31.5、50、79、100 ppm 等。至於精子的取得與活存時間之測定，則與第三項實驗相同。

#### 5. 實驗五：鋅、銅對卵子受精、孵化之影響

第五項實驗，乃以人工授精法探討魚卵產入水中時，瞬間吸收含有鋅、銅重金屬之水份後，對其受精能力與孵化率是否有所影響。其方法為：於清晨時撈取正在產卵之雌雄種魚各一尾，擠壓雌魚腹部使之產出成熟的卵子後，隨即以羽毛沾取少許置入試液中，並於一分鐘內，迅速沾取雄魚精液與之混合攪拌而完成人工授精的程序。

實驗用試液，仍依第一項實驗結果，將之分為 Zn-NOEC、Zn-96 hr  $LC_{50}$ 、Cu-NOEC、Cu-96 hr  $LC_{50}$  及 Control 等五種濃度。每種濃度重複五組，每組 40 cc，分別盛於培養皿中接受卵子試驗。

卵子在試液中完成人工受精後 12 小時，以十倍顯微鏡觀察受精率，並以 t-test 分析各濃度間之差異性。而在第 12 小時去除死卵後所餘之受精卵，再每隔 12 小時觀察一次，並紀錄其活存數、孵化時間及孵化率等資料。

#### 6. 實驗六：鋅、銅對幼魚之毒性試驗

第六項實驗在探求鋅、銅對幼魚之 24、48 hr  $LC_{50}$  值。所用的實驗魚乃取自種魚所產之魚苗，經在與蕃養種魚相同的環境中養殖 45 天後，選取體長 1.5~2.0 cm 之幼魚進行測試。

實驗試液之濃度，經預備試驗確定，鋅為 10.0、12.5、20.0、31.5、50.0、79.0、100 ppm 等七級；銅則為 0.1、0.125、0.2、0.315、0.5、0.79、1.0 ppm。每一濃度均配製 10 ℓ 裝於 12 公升之塑膠淺盆 (40×30×10 cm) 中，再置入十尾幼魚進行實驗。實驗全程均輕微打氣但不餵食，每 12 小時觀察紀錄一次，並撈除死亡魚以免破壞水質。至於死亡之判定，則以對玻璃棒之碰觸不起任何反應者即視為死亡。

#### 7. 實驗七：鋅、銅對成魚之毒性試驗

第七項實驗在探求鋅、銅對成熟種魚之 24、48 hr  $LC_{50}$  值。所用實驗魚另購自台北縣養殖場，體長 6~8 cm，擠壓其腹部均可見到精液或卵子流出。判斷為一歲之年輕成魚。至於實驗試液濃度、試液量、試魚數以及其他實驗條件，則均與實驗六相同。

### 8. 實驗八：放流水標準對新生苗之適用性

由於從前面各項實驗結果已獲知，新生魚苗是繁殖期中對鋅、銅重金屬之毒性最為敏感的階段。因此，第八項實驗嘗試以孵化後 6 小時之新生苗，探討放流水對魚類產卵繁殖是否造成影響。

實驗以實驗組與對照組分別進行。實驗組所用試液，依據本省放流水標準<sup>(1)</sup>，配製同時含有 Zn 0.5 ppm 及 Cu 0.03 ppm 之混合試液 1 ℓ 後，再取出 250 cc 平均分裝於五個培養皿中，每一培養皿以 20 尾新生苗進行測試；至於對照組試液，則以打氣三天之自來水依同法同量設置。實驗進行中，每隔 12 小時觀察紀錄一次，直到魚苗可游泳覓食為止。

## 三、結 果

### (一) 鋅、銅對新生苗之毒性試驗

#### 1. 銅：

##### (1) 24、48、96 hr 之 LC<sub>50</sub> 值：

以銅對新生苗做毒性試驗所得之結果如表一所示。今依據 Standard method 將之繪成如圖一之直線圖後得知，在 15~17℃、PH=6.5~7.0 時，銅對新生苗之 24、48、96 hr 之 LC<sub>50</sub> 值分別為：0.251、0.089、0.045 ppm。而當濃度高於 0.5 ppm 以上時，會使魚苗在 12 小時內全數死亡。

##### (2) 中毒症狀：

魚苗之中毒症狀，輕微時只對水流刺激反應遲緩，重則喪失活動力且心跳減弱、變慢，繼而死亡。而約有三分之一的中毒魚苗會在死亡前出現卵黃囊腫脹外凸、脊背向後彎曲，嚴重者甚至成卷曲狀。（圖三）

##### (3) NOEC：

銅的濃度在 0.05 及 0.0315 ppm 時，雖全數魚苗均可活存超過 96 小時，但卻已有對水流反應遲鈍之輕微中毒症狀。這種症狀在 0.0315 ppm 濃度下雖可逐漸恢復；但在 0.05 ppm 時則沒有復原的跡象，且當卵黃囊完全消化後，該些魚苗亦無法表現出正常之游泳能力而長沈於水底。至於在 0.02 ppm 以下之濃度，所有新生苗均未發現任何可察覺之毒性反應，且在 96 小時後魚苗開始上游覓食。因此，在本實驗中銅之「非可察覺性之毒害濃度」（NOEC）應為 0.02 ppm。

表一：銅對新生苗之生物試驗

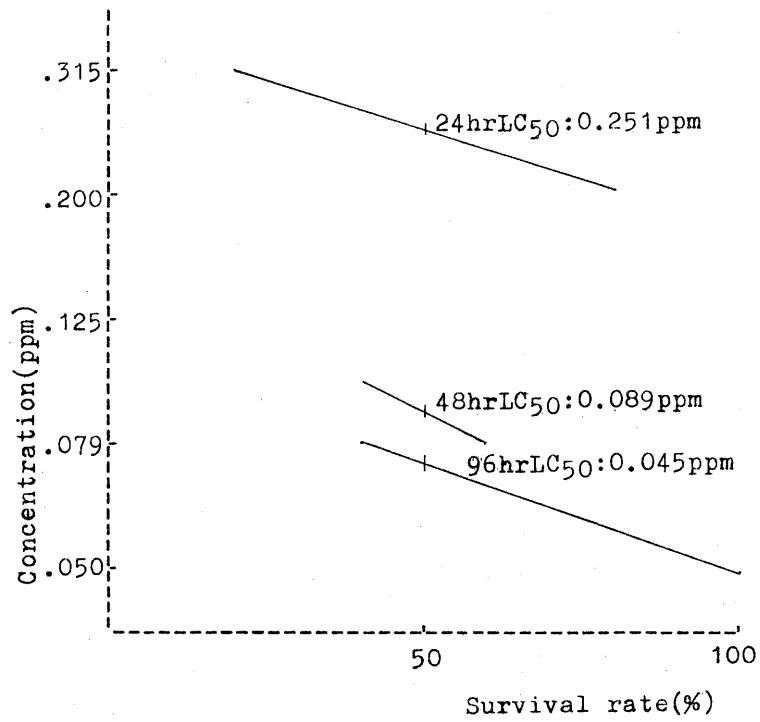
濃度 (ppm)		C	0.01	0.0125	0.02	0.0315	0.05	0.079	0.1	0.125	0.2	0.315	0.5	0.79	1.0
活	0 hr	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	12 hr	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	10	0	0	0
	24 hr	10	10	10	10	10	10	10	10	8	8	2	0	0	0
存	36 hr	10	10	10	10	10	10	10	8	4	3	0	0	0	0
	48 hr	10	10	10	10	10	10	6	4	0	0	0	0	0	0
	60 hr	10	10	10	10	10	10	4	2	0	0	0	0	0	0
數	72 hr	10	10	10	10	10	10	4	0	0	0	0	0	0	0
	84 hr	10	10	10	10	10	10	4	0	0	0	0	0	0	0
	96 hr	10	10	10	10	10	10	4	0	0	0	0	0	0	0

WT = 15 ~ 17 °C PH = 6.5 ~ 7.0

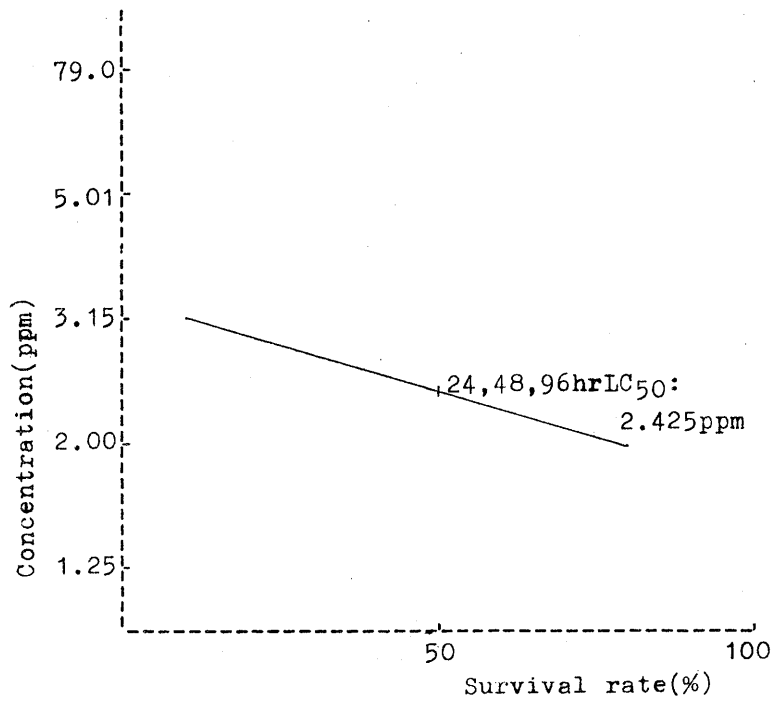
表二：鋅對新生苗之生物試驗

濃度 (ppm)		C	0.5	0.79	1.0	1.25	2.0	3.15	5.0	7.9	10
活	0 hr	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	12 hr	10	10	10	10	10	10	4	1	0	0
	24 hr	10	10	10	10	10	8	1	0	0	0
存	36 hr	10	10	10	10	10	8	1	0	0	0
	48 hr	10	10	10	10	10	8	1	0	0	0
	60 hr	10	10	10	10	10	8	1	0	0	0
數	72 hr	10	10	10	10	10	8	1	0	0	0
	84 hr	10	10	10	10	10	8	1	0	0	0
	96 hr	10	10	10	10	10	8	1	0	0	0

WT = 15 ~ 17 °C PH = 6.5 ~ 7.0

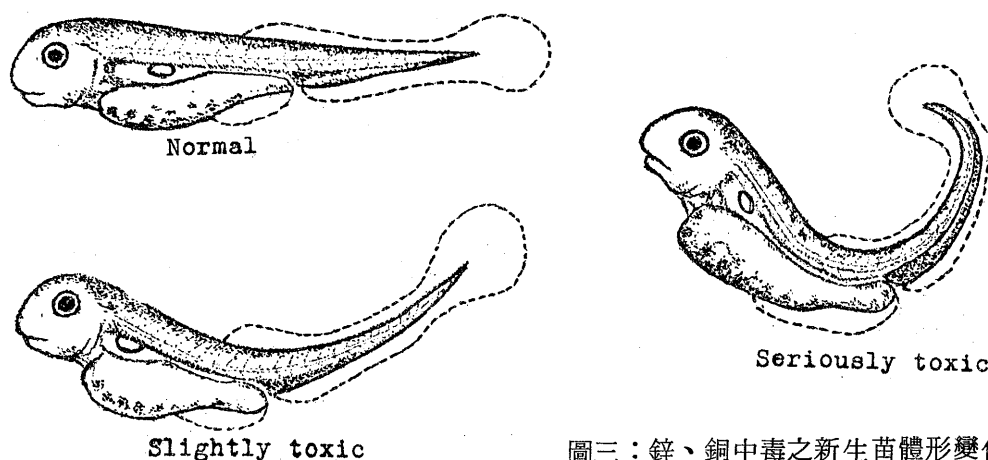


圖一：銅對新生苗之  $LC_{50}$  值直線圖



圖二：鋅對新生苗之  $LC_{50}$  值直線圖





圖三：鋅、銅中毒之新生苗體形變化情況

## 2. 鋅：

### (1) 24、48、96 hr 之 $LC_{50}$ 值：

鋅之毒性試驗結果如表二及圖二所示。在  $15\sim 17^{\circ}C$ 、 $PH=6.5\sim 7.0$  時，其 24、48、96 hr 之  $LC_{50}$  值均為  $2.425ppm$ 。而當濃度在  $7.9ppm$  以上時，可使魚苗在 12 小時內全數死亡。

### (2) 中毒症狀：

鋅之中毒症狀與銅相似，同樣有卵黃囊腫脹、脊背後彎等現象發生。所不同的是：鋅中毒之魚，如能活過 24 小時，即可繼續活存下去。但其中毒症狀則只有輕微彎曲或衰弱者可復原，而嚴重中毒導致體形後彎明顯者，即使在卵黃囊消化殆盡後，仍無法表現出正常之游泳覓食能力。

### (3) NOEC：

鋅中毒之魚苗活存率，雖在  $1.25ppm$  以下均可達到百分之百，但卻有 20% 左右出現反應遲鈍、脊背略彎等輕微中毒症狀。這種症狀要在試液濃度低到  $0.79ppm$  時才不致發生。因此， $0.79ppm$  應為鋅對新生苗之 NOEC。

## (二) 鋅、銅對受精卵之毒性試驗

### 1. 半數孵化濃度：

在水溫  $17\sim 19^{\circ}C$ 、 $PH=6.5\sim 7.0$  的條件下，受精卵於鋅銅試液中孵化的結果，其各觀察時間之活存數及孵化數如表三、表四所列。今仿用求  $LC_{50}$  值之方法可得圖四、圖五兩直線圖，再從圖中換算得知：受精卵在兩種試液中的「半數孵化濃度」，鋅為  $4.786ppm$ ，

而銅則為 0.442 ppm。

## 2. 毒性反應：

受精卵在較高濃度 (7.9、10ppm) 之鋅試液中，約 60 小時後就會有變白之死亡卵出現。而以此推算死亡時間，應在置入試液後 48 hr 時受精卵即已死亡。但在其它較低濃度之試液裡，卵的死亡大都發生在 96 小時後，亦即在接近孵化時胚胎才死亡。而若在此時以顯微鏡觀察魚胚活動情形可發現：在較高濃度試液中殘存的魚胚，其心跳速率與胎動次數亦有可察覺地減慢或減少。

有關受精卵的孵化率方面：在 Zn 3.15 ppm 及 Cu 0.315 ppm 試液中雖可達到 90% 以上，然卻有三分之一左右的新生苗，在一孵化時即已出現脊背後彎、卵黃囊腫脹等現象。而當試液濃度低到 Zn 2.0 ppm、Cu 0.2 ppm 時，受精卵即可有百分之百的孵化率，但是，其中約有 10% 的新生苗會因活力太差，故需經一段時間才能掙脫卵膜的束縛。至於孵化後的魚苗在試液中的毒性反應情形，則與實驗一類似，惟在程度上可能因時間的延長而有減輕的跡象。

## 3. 受精卵孵化時間：

從孵化時間紀錄來看，不管在鋅或銅的試液中，較高濃度試液裡殘存的受精卵，其孵化時間均有提前的趨勢。若以最高濃度中開始孵化的時間與最低濃度者相比較，其間的差距約為 24 小時。

表三：鋅對受精卵之毒性試驗

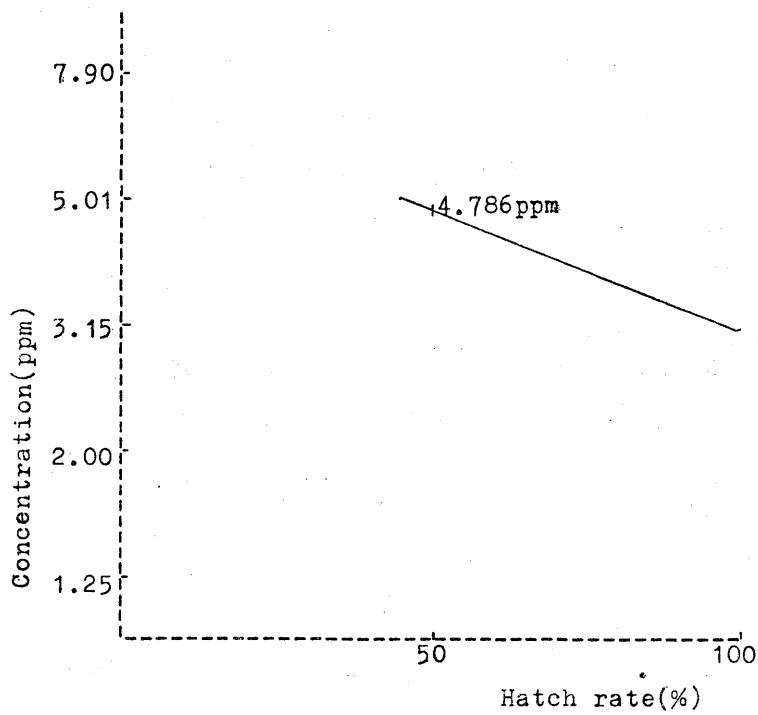
濃度 (ppm)		C	1.0	1.25	2.0	3.15	5.0	7.9	10.0
活	0 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	12 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	24 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	36 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	48 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	60 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	18/0	19/0
	72 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	17/0	15/0
	84 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	19/1	15/1	13/0
	96 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	16/3	13/4	10/3	7/1
	108 hr	20/0	18/2	20/0	16/4	15/4	6/8	5/4	4/1
數	120 hr	1/19	0/20	0/20	16/4	1/18	1/9	0/5	0/1
	132 hr	0/20	0/20	0/20	0/20	0/19	0/9	0/5	0/1
	144 hr	0/20	0/20	0/20	0/20	0/19	0/9	0/5	0/1
	孵化率	100%	100%	100%	100%	95%	45%	25%	5%

WT = 17~19°C PH = 6.5~7.0 註：活卵數 / 孵化數

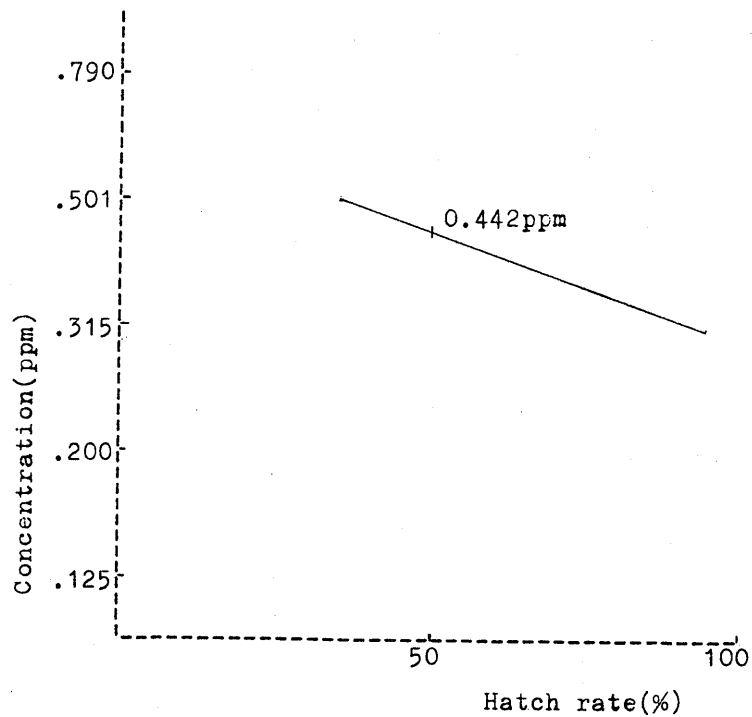
表四：銅對受精卵之毒性試驗

濃度 ( ppm )		C	0.1	0.125	0.2	0.315	0.5	0.79	1.0
活	0 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	12 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	24 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	36 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	48 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
存	60 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	72 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	84 hr	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0	20/0
	96 hr	20/0	20/0	20/0	15/5	16/4	18/2	17/3	15/5
	108 hr	20/0	20/0	17/3	2/19	8/12	14/6	15/5	15/5
數	120 hr	1/19	0/20	0/20	0/20	1/18	11/7	11/6	10/5
	132 hr	0/20	0/20	0/20	0/20	0/18	11/7	8/6	5/5
	144 hr	0/20	0/20	0/20	0/20	0/18	0/7	0/6	0/5
孵化率		100 %	100 %	100 %	100 %	90 %	35 %	30 %	25 %

WT = 17~19°C PH = 6.5~7.0 註：活卵數 / 孵化數



圖四：鋅對受精卵之半數孵化濃度直線圖



圖五：銅對受精卵之半數孵化濃度直線圖

## (三)特定濃度試液中之精子活存時間

八尾雄魚之精子於水溫  $16^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{PH}=6.5\sim 7.0$  時，在各特定濃度試液中之活存時間如表五所示。今將在 Control 組中測得之活存時間加以平均得知：一般精子之正常活存時間大約為三分鐘，而在  $\text{Zn} 0.79\text{ppm}$  (NOEC)、 $\text{Cu} 0.02\text{ppm}$  (NOEC)、 $\text{Cu} 0.045\text{ppm}$  (96 hr  $\text{LC}_{50}$ ) 試液裡，也都與之相差不到二秒。惟在  $\text{Zn} 2.425\text{ppm}$  (96 hr  $\text{LC}_{50}$ ) 試液中時，精子之平均活存時間有較明顯地減少約 20 秒。但是就統計學  $t$ -test 分別加以分析的結果：精子在鋅、銅之 96 hr  $\text{LC}_{50}$  及 NOEC 試液裡之活存時間、與 Control 組均不具有顯著差異 ( $P > 0.05$ )。

表五：精細胞活存時間測試

組別	Control	Zn-NOEC	Zn-96 $\text{LC}_{50}$	Cu-NOEC	Cu-96 $\text{LC}_{50}$	試魚特徵	
濃度 (ppm)	0	0.79	2.425	0.02	0.045		
活 存 時 間	No 1	2' 40"	2' 34"	2' 08"	2' 38"	2' 42"	全 紅
	No 2	2' 33"	2' 37"	2' 05"	2' 32"	2' 28"	紅 白
	No 3	2' 53"	2' 56"	2' 35"	2' 56"	2' 51"	左 白
	No 4	3' 43"	3' 40"	3' 18"	3' 40"	3' 37"	白 口
	No 5	3' 10"	3' 09"	2' 44"	3' 06"	3' 12"	黑 眼
	No 6	2' 55"	3' 00"	2' 34"	2' 51"	2' 52"	紅 點
	No 7	2' 41"	2' 35"	2' 16"	2' 41"	2' 35"	紅 背
	No 8	3' 23"	3' 21"	3' 10"	3' 24"	3' 26"	散 黑
平均值	3' 00"	2' 59"	2' 36"	2' 59"	2' 58"		

WT =  $16^{\circ}\text{C}$  PH =  $6.5\sim 7.0$

四)精子活存時間減半之濃度

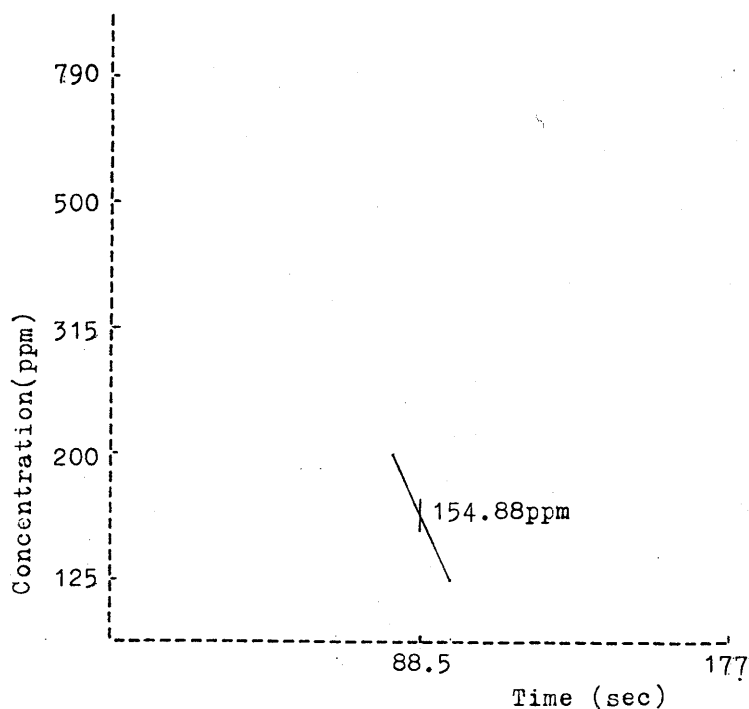
由實驗三的結果獲知：No 3 及No 6 兩雄魚，其精子活存時間與 Control 組之平均值最為接近。因此本部分實驗乃取這兩尾雄魚的精子測試鋅與銅之「精子活存時間減半濃度」。而從實際測得之結果顯示：兩尾雄魚精子在 Control 組中之「正常活存時間」正好都是 2 分 57 秒，另在各濃度中的活存時間則如表六所示。

今再仿用求  $LC_{50}$  值之方法，將表六數值繪成圖六及圖七兩直線圖後得知：致使精子活存時間減半之濃度，鋅為 154.88 ppm；而銅則為 31.26 ppm。但是，從實際觀察中發現：鋅在上述濃度下，目測估計有 80% 以上之精子在進入試液之瞬間即已死亡，而銅甚至更高達 95% 以上。也就是說，在「活存時間減半之濃度」裡，其實只有少數精子可以活存，且當銅的濃度在高達 100 ppm 時，所有精子在瞬間即被殺死。

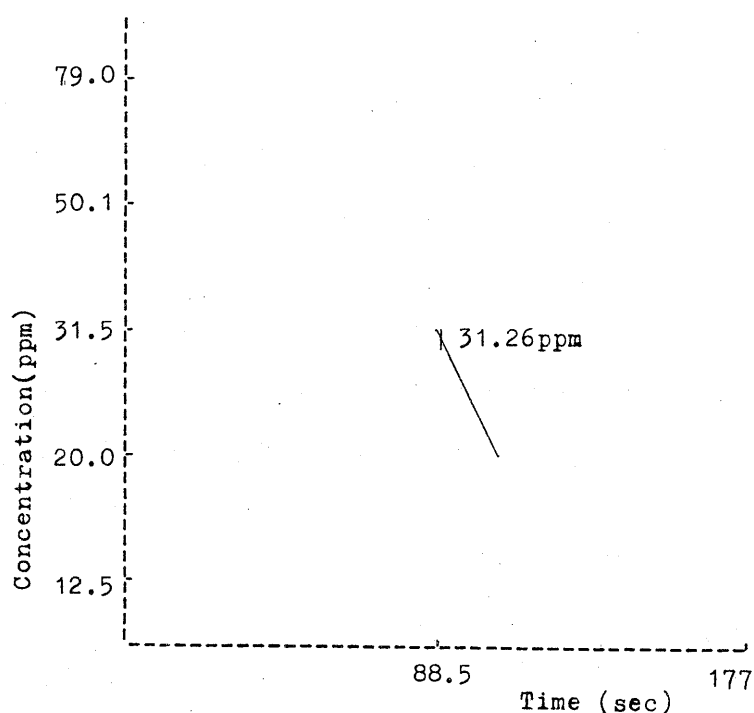
表六：精子活存時間測試

組別	鋅								銅							
	濃度 (ppm)	C	100	125	200	315	500	790	1000	C	10.0	12.5	20.0	31.5	50.0	79.0
活存時間	2' 57"	1' 36"	1' 35"	1' 21"	1' 17"	1' 09"	58"	53"	2' 57"	2' 12"	2' 05"	1' 45"	1' 28"	1' 00"	25"	0"

WT = 20 °C PH = 6.5 ~ 7.0



圖六：鋅對精細胞之活存時間減半濃度直線圖



圖七：銅對精細胞之活存時間減半濃度直線圖

#### (五) 鋅、銅對卵子受精、孵化之影響

##### 1. 受精率：

以人工授精法在五種特定濃度試液中受精之卵子，其平均受精率如下：

(1) Zn-NOEC 組：85.84%

(2) Zn-96 hr LC<sub>50</sub> 組：80.94%

(3) Cu-NOEC 組：74.80%

(4) Cu-96 hr LC<sub>50</sub> 組：86.66%

(5) Control 組：79.86%

今以 t-test 將 Zn、Cu 等四組之各個受精率 (表七) 與 Control 組做一比較，結果顯示任何一組之受精率與 Control 組均不具顯著之差異 ( $P > 0.05$ )；換言之，卵子在四種試液中，其受精能力並不受影響。

##### 2. 孵化率：

受精卵之孵化率在 Control、Zn-NOEC、Cu-NOEC、Cu 96 hr LC<sub>50</sub> 四組中均接近 100%，惟 Zn-96 hr LC<sub>50</sub> 這組卻明顯地降低到  $65 \pm 9\%$ 。且在這組試液中，受精卵的死

亡，皆從受精後24小時之內開始發生。至於殘存的受精卵，其孵化時間則比其它濃度提前約24小時。(表八)

表七：受精率測試

組別	試卵數	受精數	受精率
Control 1	50	45	90.0%
Control 2	44	31	70.5%
Control 3	48	39	81.3%
Control 4	63	48	76.2%
Control 5	32	26	81.3%
Zn-NOEC 1	32	29	90.6%
Zn-NOEC 2	44	37	84.1%
Zn-NOEC 3	28	22	78.6%
Zn-NOEC 4	38	35	92.1%
Zn-NOEC 5	37	31	83.8%
Zn-96LC <sub>50</sub> 1	41	34	82.9%
Zn-96LC <sub>50</sub> 2	22	16	72.7%
Zn-96LC <sub>50</sub> 3	40	30	75.0%
Zn-96LC <sub>50</sub> 4	62	54	87.1%
Zn-96LC <sub>50</sub> 5	23	20	87.0%
Cu-NOEC 1	57	47	82.5%
Cu-NOEC 2	42	30	71.4%
Cu-NOEC 3	46	37	80.4%
Cu-NOEC 4	37	27	73.0%
Cu-NOEC 5	24	16	66.7%
Cu-96LC <sub>50</sub> 1	36	31	86.1%
Cu-96LC <sub>50</sub> 2	27	23	85.2%
Cu-96LC <sub>50</sub> 3	42	40	95.2%
Cu-96LC <sub>50</sub> 4	31	30	96.8%
Cu-96LC <sub>50</sub> 5	30	21	70.0%

WT = 20°C PH = 6.5~7.0

表八：孵化率測試

組別	受精卵數	活存數						孵化率
		24 hr	48 hr	72 hr	96 hr	120 hr	144 hr	
Control 1	45	45/0	45/0	45/0	45/0	12/33	0/45	100%
Control 2	31	31/0	31/0	31/0	31/0	11/20	0/30	97%
Control 3	39	39/0	39/0	39/0	39/0	18/21	0/39	100%
Control 4	48	48/0	48/0	48/0	48/0	19/29	0/48	100%
Control 5	26	26/0	26/0	26/0	26/0	2/24	0/26	100%
Zn-NOEC 1	29	29/0	29/0	29/0	29/0	8/21	0/29	100%
Zn-NOEC 2	37	37/0	37/0	37/0	37/0	9/28	0/37	100%
Zn-NOEC 3	22	22/0	22/0	22/0	22/0	6/14	0/20	91%
Zn-NOEC 4	35	35/0	35/0	35/0	35/0	9/26	0/35	100%
Zn-NOEC 5	31	31/0	31/0	31/0	31/0	7/24	0/31	100%
Zn-96LC <sub>50</sub> 1	34	32/0	25/0	25/0	19/6	5/20	0/25	74%
Zn-96LC <sub>50</sub> 2	16	13/0	9/0	9/0	8/1	1/8	0/9	56%
Zn-96LC <sub>50</sub> 3	30	24/0	18/0	18/0	15/3	3/15	0/18	60%
Zn-96LC <sub>50</sub> 4	54	50/0	41/0	41/0	37/4	7/31	0/38	70%
Zn-96LC <sub>50</sub> 5	20	18/0	13/0	13/0	13/0	3/10	0/13	65%
Cu-NOEC 1	47	47/0	47/0	47/0	47/0	8/39	0/47	100%
Cu-NOEC 2	30	30/0	30/0	30/0	30/0	12/18	0/30	100%
Cu-NOEC 3	37	37/0	37/0	37/0	37/0	6/31	0/37	100%
Cu-NOEC 4	27	27/0	27/0	27/0	27/0	4/22	0/26	96%
Cu-NOEC 5	16	16/0	16/0	16/0	16/0	4/12	0/16	100%
Cu-96LC <sub>50</sub> 1	31	30/0	30/0	30/0	30/0	8/22	0/30	100%
Cu-96LC <sub>50</sub> 2	23	23/0	23/0	23/0	23/0	10/13	0/23	100%
Cu-96LC <sub>50</sub> 3	40	40/0	40/0	40/0	40/0	6/34	0/38	95%
Cu-96LC <sub>50</sub> 4	30	30/0	30/0	30/0	30/0	12/18	0/30	100%
Cu-96LC <sub>50</sub> 5	21	21/0	21/0	21/0	21/0	6/15	0/21	100%

WT = 17~20°C PH = 6.5~7.0 註：活卵數/孵化數

## (六) 鋅、銅對幼魚之毒性試驗

## 1. 半數活存濃度：

鋅、銅兩重金屬對體長 1.5~2.0 cm 的幼魚做毒性試驗的結果，其 48 小時內之活存紀錄如表九、表十所示。將之繪成直線圖（圖八、圖九）得知鋅、銅兩重金屬對幼魚的半數活存濃度如下：

鋅：24hr  $LC_{50} = 17.78 \text{ ppm}$  ; 48hr  $LC_{50} = 17.78 \text{ ppm}$

銅：24hr  $LC_{50} = 0.315 \text{ ppm}$  ; 48hr  $LC_{50} = 0.272 \text{ ppm}$

## 2. 毒性反應：

在 Zn 79 ppm 或 Cu 1.0 ppm 試液中，幼魚在 24 小時前後即全數死亡，而在各濃度中之死亡魚，其死亡前皆浮頭、游泳力衰退，繼而側躺於盆底等中毒反應。至於在低濃度中僥倖活存者，亦都有反應遲緩，游動力減弱等現象。

表九：鋅對幼魚之生物試驗

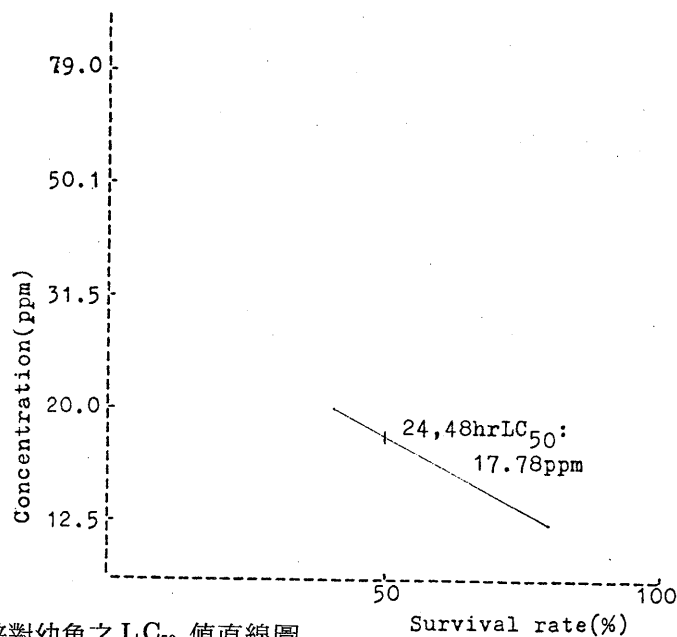
濃度(ppm)	10	12.5	20	31.5	50	79	100
活	10	10	10	10	10	10	10
存	10	10	8	6	4	2	1
數	10	8	4	3	1	0	0
	10	8	4	3	1	0	0
	10	8	4	3	1	0	0

WT = 20°C PH = 6.5~7.0

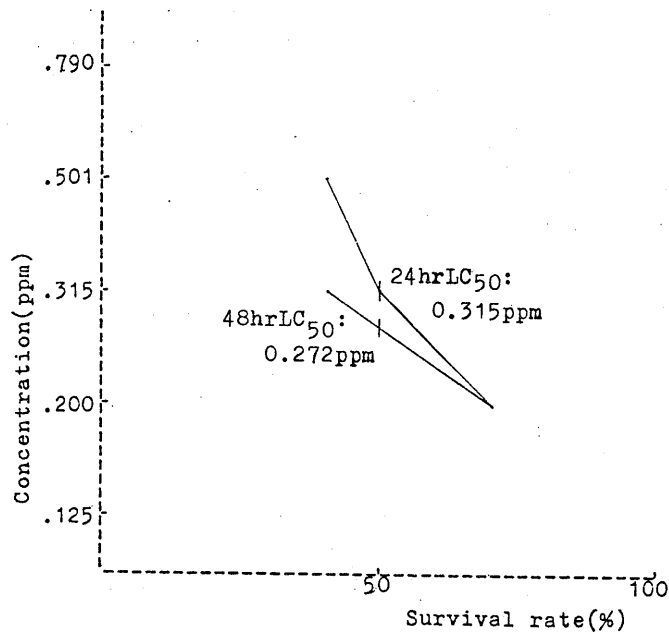
表十：銅對幼魚之生物試驗

濃度(ppm)	0.1	0.125	0.2	0.315	0.5	0.79	1.0
活	10	10	10	10	10	10	10
存	10	10	9	7	6	3	1
數	10	9	8	5	4	1	0
	10	8	7	4	3	0	0
	9	8	7	3	1	0	0

WT = 20°C PH = 6.5~7.0

圖八：鋅對幼魚之  $LC_{50}$  值直線圖





圖九、銅對幼魚之LC<sub>50</sub> 值直線圖

(七) 鋅、銅對成魚之毒性試驗

1. 半數活存濃度：

鋅、銅對成魚做毒性試驗的結果，其48小時內的活存數如表十一、表十二所示。將之繪成直線圖（圖十、圖十一）後得知：鋅、銅兩重金屬對成魚的半數活存濃度如下：

鋅：24 hr LC<sub>50</sub> = 25.12 ppm 、 48 hr LC<sub>50</sub> = 25.12 ppm

銅：24 hr LC<sub>50</sub> = 0.398 ppm 、 48 hr LC<sub>50</sub> = 0.282 ppm

2. 毒性反應：

成魚對鋅、銅的毒性反應與幼魚相同。

表十一：鋅對成魚之生物試驗

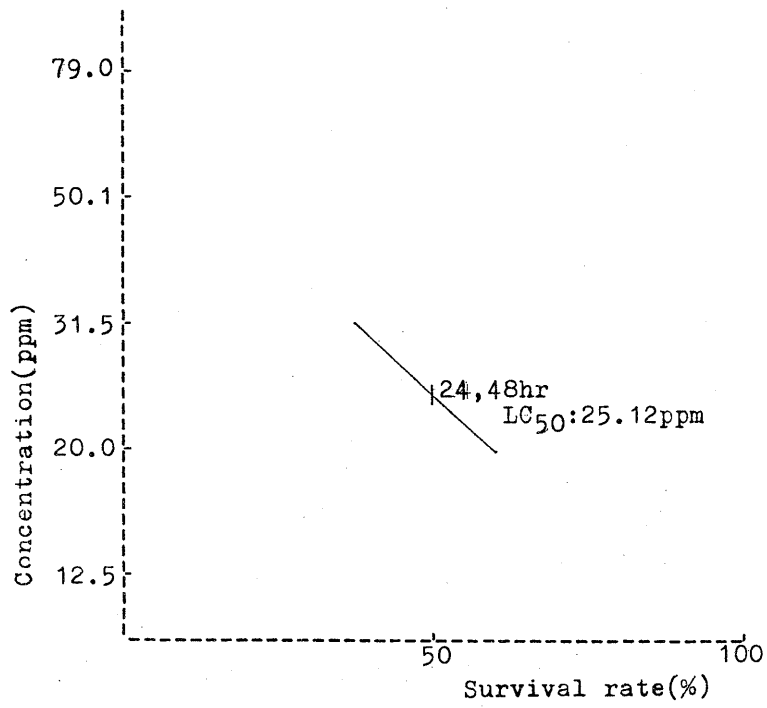
濃度(ppm)	10	12.5	20	31.5	50	79	100
活 存 數	0 hr	10	10	10	10	10	10
	12 hr	10	10	8	6	4	3
	24 hr	10	9	6	4	2	0
	36 hr	10	9	6	4	2	0
	48 hr	10	9	6	4	2	0

WT = 20 °C PH = 6.5 ~ 7.0

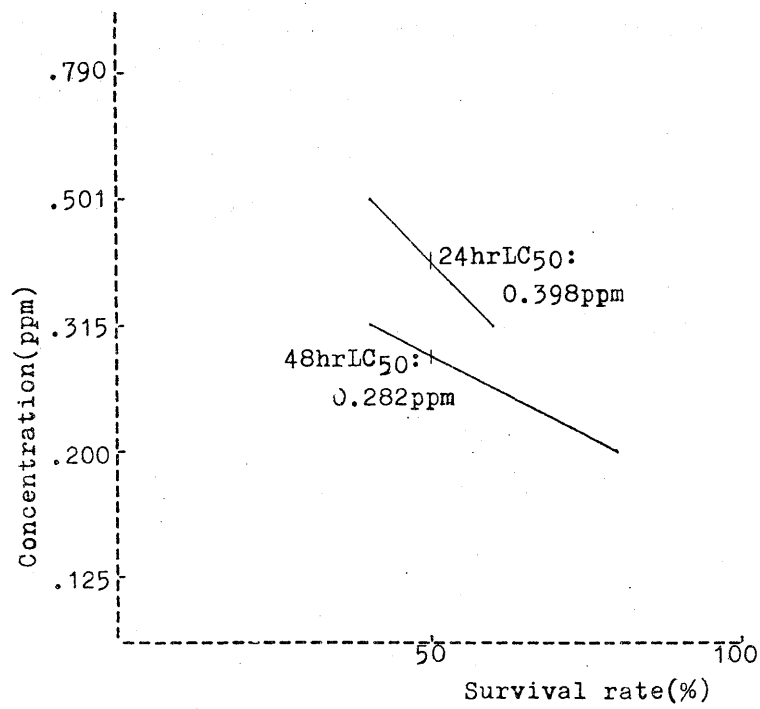
表十二：銅對成魚之生物試驗

濃度(ppm)	0.1	0.125	0.2	0.315	0.5	0.79	1.0
活 存 數	0 hr	10	10	10	10	10	10
	12 hr	10	10	10	8	6	4
	24 hr	10	10	9	6	4	2
	36 hr	10	9	8	6	4	1
	48 hr	10	9	8	4	2	0

WT = 20 °C PH = 6.5 ~ 7.0



圖十：鋅對成魚之LC<sub>50</sub> 值直線圖



圖十一：銅對成魚之LC<sub>50</sub> 值直線圖

(八)放流水標準對新生苗之適用性

在水溫 15~17℃、PH=6.5~7.0 的條件下，將孵化後 6 小時之新生苗 200 尾，平均各半置入實驗組與 Control 組試液裡觀察 120 小時的過程當中，Control 組的 100 尾在 120 小時後均表現出正常的游泳能力及索餌行爲；但實驗組中卻有 2 尾在 72hr 時，出現脊背後彎，活力喪失，並逐漸對水流刺激不起反應等中毒現象。待到 120 小時後，該 2 尾中毒魚苗則因無法游泳覓食而衰弱死亡。由此看來，在同時含有 Zn 0.05 ppm 及 Cu 0.03 ppm 的模擬標準放流水中，仍有 2% 之魚苗會受到無法復原的傷害。

四、討 論

(一)產卵繁殖所能忍受的鋅、銅污染

1. 孵化後：

將一連串實驗結果加以歸納，可得如表十三之比較數據。而從其中分析得知：就魚體本身而言，體型越大，對鋅、銅毒性的忍耐力也越強。換言之，新生魚苗是對鋅、銅污染最不具有忍耐力的時期，其 96hr 之 LC<sub>50</sub> 值：鋅、銅各為 2.425 ppm 及 0.045 ppm，而 NOEC 更是低到 0.79 ppm 及 0.02 ppm 而已。因此，可以確定的，實驗魚在孵化後的成長過程中，能否在初生期渡過鋅、銅污染的威脅，是決定存活率高低的重要關鍵。

表十三：各項實驗結果比較表

濃度 組別	成 魚 48hr LC <sub>50</sub>	幼 魚 48hr LC <sub>50</sub>	新 生 苗 48hr LC <sub>50</sub>	新 生 苗 96hr LC <sub>50</sub>	新 生 苗 NOEC	受精卵半數 孵 化 濃 度	精子活存時 間減半濃度
鋅	25.12	17.78	2.425	2.425	0.79	4.786	154.88
銅	0.282	0.272	0.089	0.045	0.02	0.442	31.26

濃度單位：ppm

2. 孵化前：

就體外受精的卵生魚類而言，其整個繁殖過程中，不僅魚體受到外在環境的影響，其直接排入水中的配子細胞，更受到水中種種理化因子的限制<sup>(8)</sup>。因此，在研究水質污染對魚類生態的影響時，除魚體本身的毒性試驗外，精、卵活性的探討亦是不可或缺的一環。而本研究嘗試以「受精率」、「孵化率」、「半數孵化濃度」以及「精子活存時間減半濃度」等數值加以比較後，大致可獲得下列兩項概念：

(1)「精子活存時間減半濃度」為：Zn—154.88 ppm，Cu—31.26 ppm；「受精卵半數孵化濃度」為：Zn—4.786 ppm，Cu—0.442 ppm，兩者均高於新生苗之 96 hr LC<sub>50</sub> 值。

(2) 卵子在相當於新生苗 NOEC 值的試液裡，其受精率及孵化率與 Control 組相較，並不具有統計上顯著的差異。

因此，以實驗魚整個產卵繁殖過程來看，如果鋅、銅污染的濃度「分別」不高於新生苗的 NOEC 值時，那麼對魚類的繁衍生殖應不致有嚴重的影響。

## (二) 特殊之毒性反應

### 1. 新生苗之中毒症狀：

一般認為：重金屬會與生物體內之蛋白質結合，並抑制酵素的活性<sup>(36)(39)</sup>。而鋅與銅則可分佈至全身之柔軟組織<sup>(32)</sup>，甚至使肝、腎、鰓及造血組織損壞或退化<sup>(29)(34)</sup>。至於本研究中，新生苗所表現出的中毒症狀，輕微時僅是運動及反應的遲緩；嚴重時則會有脊背向後彎曲的現象。但是，由於這種不正常的畸形症狀也可能在一孵化時即發生，是以有必要進一步討論：此症狀是否可能導因於先天性的疾病，而非鋅、銅毒性所致。但從實際的孵化經驗中得知：一般因水溫過高或太低所導致的畸形新生苗，其魚體大都向側面彎曲，與本研究中向後彎曲者大有不同。且從諸多正常新生苗在試液中一段時間後，均出現同樣症狀的情況來看，這種不正常的體形彎曲，必與鋅、銅中毒有關。再者，從魚體的組織結構分析，腹側的器官與組織多於背側，是否因而導致鋅、銅的滲入量與背側不均，並使得卵黃囊腫脹而壓迫脊椎骨向後反曲？則有待解剖上進一步研究。

### 2. 鋅、銅毒性的差異：

鋅、銅對水產物之毒性，已知會因水質條件，如溫度、硬度、PH 值的不同，而有程度上的差異<sup>(9)</sup>。但大致看來，銅的毒性一般要比鋅來得強<sup>(20)(24)</sup>，此點，在本研究中亦獲得同樣的結果。然而，若再就中毒致死的情形分析，鋅對魚苗或受精卵的毒性反應大都集中在 24 小時內出現；如果在 24 小時內未中毒者，一般都可繼續活存，輕微者甚有復原的可能。但是銅的毒性反應時間則有所不同；其中毒症狀會隨時間的延長而逐漸加重，致死數量也會累積增加。因此，鋅對魚類可能是一種急性毒劑；而銅則可能是一種緩性的，或者會在魚體內蓄積而破壞生理功能的毒性物質。

### 3. 受精卵孵化時間提前：

本研究中，用於孵化實驗的受精卵可分兩種：一為在自然水中確定受精的受精卵（實驗

二)，另一則為在實驗試液中人工受精者（實驗五）。但不管那一種，如能在較高濃度試液中僥倖殘存而孵化的，其孵化時間約比最低濃度者提前24小時。而奇怪的是，處於高濃度試液中的晚期胚胎，在孵化前其心跳及胎動均有可察覺性的變慢或減少。為瞭解這種反常的現象，曾嘗試比較初期胚胎的心跳頻率，但由於此時期的魚胚，甚易因顯微鏡的光，溫度，甚至震動而引發心跳頻率的改變，故無法求得可靠的比較結果。因此，有關鋅、銅毒性對魚類胚胎發育所生的影響，可能是另一個值得探討的問題。

#### 4. 精子的個別差異：

魚類精子的生物特性，本就會因外在環境中的溫度、鹽度，或PH值等理化條件之不同而產生活性上的改變<sup>(8)(37)</sup>；即使同一尾魚所排出的精子，亦可能因本身的成熟度、營養狀況，甚或季節關係而有所差異。而從本研究中實驗三之結果（表五）分析，在較低濃度的鋅、銅試液裡，影響精子活存時間的因素，個體差異顯然要比鋅、銅毒性還要重要。且再以實驗四的結果（表六）來看，從同一尾魚同時採得的精子，在高濃度（Zn-500 ppm、Cu-50 ppm）試液中，即使有90%以上精子在瞬間死亡，但仍有殘餘者可活存一分鐘左右。由此可見，精細胞對鋅、銅污染忍受力的強弱，除了受魚體本身生理狀況的影響外，精細胞間的個別差異也是個重要的因素。

#### 5. 兩種孵化率的差異：

從實驗二的結果（表三）得知，在Zn-3.15 ppm時的新生苗雖有畸形現象，但其孵化率仍可達到90%。但在實驗五（表八）中，受精卵在Zn-2.425 ppm試液裡的平均孵化率卻只有65%。這種濃度低、孵化率也低的反常現象，分析其因，應在於受精卵之不同（如3.所述）。也就是說：在污染水中受精的受精卵，其孵化率會比在自然水中受精者來得低。因此，即使污染水對卵子的受精能力不會造成太大的改變，但其對往後的孵化率也是會有影響的。此項推論，或可從卵的生理上加以解釋，因為體外受精的魚類，其卵在產入水中之瞬間會吸收水分使得卵膜膨脹，而此時吸入的若是有毒的污染水時，其毒性將更直將地影響到胚胎的發育，甚而導致死亡。

#### (三) 實驗魚與其他魚類的相關性：

以往諸多研究污染物毒性的報告均指出，重金屬毒性強弱與生物體型有相對的關係<sup>(6)(10)(38)</sup>。而本研究的結果亦顯示：實驗魚的體型越大，對鋅、銅毒性的抵抗力也就越強；但此種對應關係應只限於對同一種生物而言。因為，當彙集更多有關銅的毒性試驗結果列表（表十四）比

較後發現：不同種的卵生魚，即使體型相近，對銅的 24hr LC<sub>50</sub> 值也有頗大的差距。而若再進一步分析，這種差異或可解釋為故有生態習性不同所導致。如表中，凡屬河流中下游的游泳性魚類，如鯉魚、吳郭魚、草魚，以及本實驗所用之金鯽，其對銅的 24hr LC<sub>50</sub> 值均在 0.3~0.8 ppm 之間。而像塘虱、日本鰻等底棲性魚類，其 LC<sub>50</sub> 值則顯著的增高。相反的，在河川上游的香魚，即使其體重已達 14g，但對銅的 24hr LC<sub>50</sub> 值卻只有 0.009 ppm 而已。從此推知，魚類對污染物忍受力的大小，就同種而言，體型是主要的影響因素；但對不同種而言，其固有的生態習性則扮演了主要的角色。因此，或可依此原則，運用本研究結果探討污染物對水域中魚類生態的影響。

表十四：銅對各種水生物之 LC<sub>50</sub> 值比較表

種 別	體 型	24hr LC <sub>50</sub>	48hr LC <sub>50</sub>	資 料 來 源
香 魚	BW: 14g	0.009	0.0086	(27)
鯉 魚	BL: 1.5~2.0 cm	0.31	0.29	(23)
金 鯽	BL: 1.5~2.0 cm	0.315	0.272	本 研 究
吳 郭 魚	BL: 1.0~1.5 cm	0.34	0.27	(23)
鯉 魚	BW: 16~25g	0.38	0.16	(27)
草 魚	BL: 3.5~4.0 cm	0.72	0.4	(24)
吳 郭 魚	BL: 1.7 cm	0.77	0.73	(9)
塘 虱 魚	BL: 1.0~1.5 cm	4.05	3.30	(24)
日 本 鰻	BL: 8.61 cm	149.0	34.5	(21)
淡 水 蝦	BL: 1.5 cm	0.185	0.170	(5)
淡 水 蝦	BL: 1.8~2.5 cm	0.18	0.15	(25)
草 蝦	Larvae	0.05	—	(6)

註：濃度單位 ( ppm )

#### 四、鋅、銅污染在生態上的影響

如依上項所提原則，鋅、銅污染在生態上的影響，可簡要的分為「季節性」與「地域性」兩方面來討論。就季節性而言，從本研究可知，「新生苗」與「產卵當時」是對鋅、銅污染最為敏感的階段。因此，在魚類繁殖的季節，也就是鋅、銅污染最具殺傷力的時候。而從淡水魚

的繁殖季大都集中在春天來看，如果在此時期出現較高濃度污染的話，那麼當年的魚類資源量可能會有較大的損失；甚者，會導致來年維持族群的種魚量不足。但若水域中的污染量恆高於新生苗的忍受值時，則整個族群趨於絕滅的危機也就為期不遠了。

另外，再就地域性而言，由於固有分佈的魚種不同，等量的鋅、銅污染對生態上所造成的影響可能有極大的差異。而台灣河流的魚類分佈情形，香魚乃棲息於最上游者，中上游有鮎魚類、鱧魚類，中下處才開始有草、鯉、鮭、鯽等。雖然，目前所做的毒性研究，大都偏重於中下游的經濟性魚類，但若從香魚對銅的 24hr LC<sub>50</sub> 值僅為 0.009 ppm 來推測，中上游魚類對鋅、銅污染的敏感性，必高於下游者。所以，就整個河流說來，中上游的水域生態所面臨的污染威脅，實在不可等閒視之。否則，如香魚絕跡的事件將會在其他魚種身上重演，而即使再投入大規模的人力與財力進行復育，其所收的成效，也終敵不過人們一再疏失所造成的嚴重破壞。

#### (五)放流水標準之適用性探討

依據民國 74 年政府公布之「水體分類及水質標準」<sup>(1)</sup>，本省放流水中可容許的鋅、銅含量各為 0.5 ppm 與 0.03 ppm。以此數值與本研究中新生苗的 NOEC 值（鋅 = 0.79 ppm、銅 = 0.02 ppm）相較，鋅的放流標準似可接受，但銅的標準則稍嫌偏高。因為從實驗一的結果得知，在含銅量 0.0315 ppm 水中的新生苗，會在 96hr 後出現輕微的中毒現象。雖然，此種輕微中毒在實驗中可逐漸恢復，但如果在自然水體中含有甚多各類污染物時，其對魚類的傷害可能不止於此。亦即是：在同時含有一種以上之污染物時，其對水生物之毒性將因「協同作用」的出現而加劇<sup>(3)(1)</sup>。此點，在本研究中第八項實驗結果也可得到證明。該實驗中，新生苗在同時含有 Zn 0.5 ppm 及 Cu 0.03 ppm 水中經 120 小時後，有 2 % 的魚苗因喪失活力，無法覓食而死亡。所以，即使污染物各別的濃度對魚苗的影響輕微，甚或沒有影響，但若將各種微量的污染物同時混入水中時，其所產生的嚴重性也是不可忽視的。況且，以台灣近年來水產資源日益減少，甚至大量暴斃的情況看來，本省現行的放流水標準是否能達到保護自然生態的目的？實在有待更進一步的評估。當然，台灣推行環保工作可說仍在起步階段，諸多執行上的困難亦是導致成效不佳的主因<sup>(3)(1)</sup>。但若單就放流水標準討論，本省所容許的重金屬污染濃度似乎有待商榷。因為僅以本研究之鋅、銅為例，日本水產用水基準規定：鋅的容許污染量為 0.1 ppm，銅為 0.01 ppm<sup>(2)</sup>；而本省則為 0.5 ppm 與 0.03 ppm。相形之下，國內放流水標準，可能有必要考慮更進一步從嚴設定。

再者，基於地域性與季節性的生態因素，除了放流水標準的設定從嚴外；在魚類繁殖季以

及河流水源區的水質監視工作，更有必要嚴格實施。尤其台灣地小人稠，且零星的小型或地下工廠到處設立，其對上游流域生態所可能造成的破壞，日後更須極力地防範。然而，凡此種種，也只能說是為降低生態破壞程度所採取的不得已手段而已。因為若再以魚苗的主要餌料生物——水蚤來看，0.02 ppm的銅，或是0.07 ppm的鋅即已足夠使之生殖能力降低16%，並對其重量、蛋白質含量等造成傷害<sup>(30)</sup>。那麼，任何微量污染，其在生態上所造成的連鎖性反應如何？實在是一個無法測知的謎團。因此，在無法做到零污染之前，「從嚴立法、從嚴取締」，可能是環保工作的惟一手段。

## 誌 謝

本研究承沈振中老師惠借器材，陳文芳小姐協助紀錄，並獲台大動研所蕭澤民同學提供資料，謹此一併致謝。

## 參考資料

1. 「水體分類及水質標準」，台灣省政府公報，七十四年冬字第二十二期。
2. 王順成(1985)：應用水蚤於農藥水質污染管理之研究，中研院動物所農業毒性研討會論文專集：143—163。
3. 呂世宗、張嵩林、李澤民、黃昭誠(1986)：台灣省水污染防治十年，台灣環境保護第三期：21—29。
4. 李澤民、黃輝煌(1986)：談淡水河系污染問題及防治對策，台灣環境保護第三期：30—41。
5. 林世榮(1981)：汞、銅、鋅對於淡水長腳大蝦與虱目魚之急速毒性試驗，中國水產第三三九期：20—25。
6. 周賢鏘、江章、丁雲源(1985)：重金屬對於草蝦幼苗急速毒性之研究，台灣省水產試驗報告，No. 38：181—188。
7. 郝道猛(1975)：台北市水廠附近溪水污染之生態研究，第一報，溪水內理化因子之分析，生物科學，2(8)：53—63。
8. 韋榮輝、楊國仟、丁雲源(1985)：吳郭魚精液生物特性之探討，台灣省水產試驗報告，No. 39：47—53。
9. 陳建初、莊世彪、洪文慶(1980)：重金屬對於淡水水生動物之半致死影響，中國水產第三



- 二五期：5—18。
- 10.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。
  - 11.張嵩林、李澤民、黃昭誠(1985)：台灣省水污染防治工作之展望，*台灣環境保護創刊號*：66—78。
  - 12.郭錦洛、張嵩林(1986)：台灣省主要河川水質現況之調查研究，*台灣環境保護*第四期：141—154。
  - 13.葉樹藩(1977)：試驗設計學第一部份，*生物統計學*，8th Ed.
  - 14.曾文陽(1976)：台灣西南沿海養殖貝類大量死亡原因之研究，*台灣省水產試驗報告*，No.26：1—35。
  - 15.曾文陽、陳世欽(1976)：工廠廢水及朴子溪北港溪河水對魚類之急急性毒性，*台灣省水產試驗報告*，No.26：77—91。
  - 16.曾文陽、陳世欽、陳忠信(1977)：高雄地區河川及工廠廢水對水產生物影響之調查研究，*台灣省水產試驗報告*，No.29：47—73。
  - 17.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，*Journal of the Fisheries Society of Taiwan*，Vol. 4，No.1：51—71。
  - 18.鄭森雄、陳松堅(1975)：朴子溪河水之急急性毒性與養殖貝類之大量死亡，*Journal of the Fisheries Society of Taiwan*，Vol. 4，No.1：73—83。
  - 19.鄭森雄、王賓松(1977)：台灣中部地區河川及沿海之水質——彰化地區貝類死亡原因之研究，*中國水產*第二九二期：8—11。
  - 20.蔡添財、余廷基(1981)：重金屬對吳郭魚、鰻魚及牡蠣的毒性，*台灣省水產試驗報告*，No.33：581—586。
  - 21.賴仲謀、尤伸森(1981)：常用農藥對斑節蝦之急急性毒性試驗，*台灣省水產試驗報告*，No.33：637—641。
  - 22.繆端生、翁國榮、郝道猛、吳淳、張昭慶、鍾文政(1969)：新店溪污水生物學的研究，*師大學報*第十四期：11—31。
  - 23.魏彰郁、劉嘉剛(1982)：重金屬的毒性對鯉魚、吳郭魚的半致死濃度，*台灣省水產試驗報告*，No.34：207—217。
  - 24.魏彰郁、林晏熙、劉嘉剛(1984)：重金屬毒性對草魚及塘虱魚的半致死影響，*台灣省水產*

- 試驗報告, No.37 : 169—171。
25. 魏彰郁、林晏熙、劉嘉剛 (1985) : 重金屬毒性對淡水蝦及蜆的半致死濃度, 台灣省水產試驗報告, No.38 : 75—81。
26. 日本水產資源保護學會 (1965) : 水產用水基準 : 1—20。
27. 群馬水試報告 (1957) , 13。
28. APHA. AWWA. WPCF. (1975) : Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, 14th Ed.
29. Baker, J.T.P. (1969) : Histological and electro-microscopical observations on copper poisoning in the winter flounder, J. Fish Res. Bd. Can. 26 (11) : 2785—2793.
30. Biesinger, K.E. and G.M. Christensen (1972) : Effects of various metals on survival, growth, reproduction and metabolism of *Daphnia magna*, J. Fish Res. Bd. Can. 29 (12) : 1691—1700.
31. Birdsong, L.L. and Avault, J.W. Jr. (1971) : Toxicity of certain chemicals to juvenile pompano. Progressive Fish. Culturist, 33 : 76—80.
32. 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.
33. Cairus, J. Jr. (1968) : A comparison of the toxicity of some common industrial waste components tested individually and combined. Progressive Fish. Culturist, 30 : 3—8.
34. Chen. H.C. (1975) : Some effects of heavy metals on the prawn *Palatmon elegans*, Liverpool University Ph. D Thesis. 163P.
35. Masterton, Slowinski (1978) : Chemical Principles 4th Ed.
36. Poingle, B.H. , D.E. Aissong, 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.
37. R.J. Valenti (1975) : Induced Polyploidy in *Tilapia aurea* ( Steindachner ) by means of temperature shock treatment, J. Fish Biol. 7 : 519—528.
38. 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.

Pseq. 47 (2) : 339-344.

39. Skidmore, J.F. (1970) : Respiration and Osmoregulation in rainbow trout with gills  
damaged by Zinc Sulphate, J. Exp. Biol. 52 : 481-494.