

污染對魚蝦繁殖及蓄積毒性之影響 調查及防治

陳建初* 劉秉忠**

摘 要

台灣南部繁殖場所用水，均抽取沿岸地下海水，在所測定之十種重金屬中鈷、鉻、鎳、銅、鋅、鉛、鎳及汞均在測定極限範圍之上下，錳含量最高，其次為鐵。

以地區性而言，錳含量以紅毛港較高，其次為旗津。含鐵量以旗津及紅毛港較高，其他重金屬含量均以旗津較其他三地區略高，但大部分在測定範圍左右。

各區所採集之矽藻體內重金屬含量以鐵含量最多，其次為鋅，再次為銅、錳及鉛。

種蝦、蝦卵及蝦肉中，以鋅含量最高，其次為銅及鐵。在幼蝦體中以鐵含量較高，其次及銅及鋅，再次為錳，而且似乎隨著體長，體內金屬含量有減少之情形。

矽藻在含銅及鋅之海水中培養發現在同一濃度下，鋅較銅之蓄積量高。

重金屬對於豐年蝦卵孵化率之關係中，除了銅外，豐年蝦之孵化率與重金屬濃度呈負相關，銅對於豐年蝦之孵化呈二次迴歸。

重金屬對豐年蝦孵化率之相對毒性依次為： $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+} >$

* 國立海洋學院水產養殖學系系主任

** 國立海洋學院水產養殖學系研究助理

$\text{Co}^{2+} > \text{Mn}^{7+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Hg}^{2+} > \text{Mn}^{4+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$

。

豐年蝦體內之重金屬含量以鐵含量最高，其次為鋅、錳及銅，其他重金屬均未能測出。

豐年蝦卵在重金屬之海水中孵化，其無節幼蟲之重金屬蓄積，與海水中之重金屬濃度成正比，統計分析結果相關係數之大小在單一重金屬海水中分別為 $\text{Fe} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Hg} > \text{Cd} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Mn}$ ，在混合重金屬海水中為 $\text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Cd} > \text{Mn}$ 。比較豐年蝦無節幼蟲在單一混合重金屬海水中之蓄積情形，Cu、Ni 及 Co 沒有顯著差異，Cr、Zn 及 Pb 有增加效果 (synergistic effect) 但 Fe、Cd 及 Mn 反而有減少效果 (antagonistic effect)。

一、前言

養殖在台灣歷史悠久，自1968年廖一久等草蝦繁殖成功以來，加上政府與水產試驗所大力推廣，致使草蝦繁殖場在南部沿海一帶如雨後春筍般設立⁽¹⁾，依據統計1984年約有1,200家，後期幼苗(Post-larvae)生產量約有15億尾⁽²⁾⁽³⁾，然而近年來本省河川遭受工業廢水污染已日趨嚴重⁽⁴⁾，而工業廢水之污染源種類雖很多，但以重金屬造成之毒害最為嚴重，此種情形導致河口及沿岸水族環境受到破壞，也直接影響到魚蝦貝類繁殖場用水，旗津等沿海一帶之繁殖用水，發現已有重金屬污染情形⁽³⁾⁽⁵⁾。因此，重金屬污染對水產生物生存環境所造成的威脅已不容忽視。

台灣之水域有部份已受到污染，而這些污染可能影響到水中生物，使得水中生物減少，也使養殖漁業受到打擊，因此，到底水中的污染情形對於魚蝦繁殖是否有害，是否危害到魚蝦幼苗，或餌料生物，甚至於魚蝦體內是否有高量污染物之蓄積值得我們調查研究。

二、材料與方法

於1985年11月至1986年7月，先後到高雄地區旗津、中洲、小港、紅毛港、林園及屏東、東港等地區之草蝦繁殖場取水及矽藻，帶回實驗室分析，各項水質之分析法如下：

一、物理化學性質：

現場測定水溫— pH、鹽度及溶氧量。

水溫：以60℃的酒精溫度計測定。

pH值：以Photovolt 126 A型測定。

溶氧量：以Delta 2110型溶氧儀測定。

二、試水營養之分析：

亞硝酸酸鹽($\text{NO}_2^- - \text{N}$)：用Bendschneider and Robinson 法測定⁽⁶⁾

•
氨氮 (ammonia - N) : 依據 Lucia 與 Solorzano 之方法測定⁽⁷⁾

•
磷酸鹽磷 ($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$) : 用 Molybdenum blue - Ascorbic acid 法測定⁽⁸⁾。

矽酸 (SiO_2) : 依據 Murphy and Riley 之 Molybdosilicate 法測定⁽⁹⁾

•
硫化物 (Sulfide) : 依據 Methylene blue 法測定⁽¹⁰⁾。

三、試水之重金屬之分析：

海水重金屬分析方法係依據衛生署公佈「海水重金屬分析方法草案」分析。

(一) 銅、鋅、鉻、鎳、鈷、鐵及錳等重金屬分析方法：

取 500 毫升海水，以 1N HNO_3 或 NH_4OH 調整 pH 值至 3 ~ 4 後，置入 1 升之分液漏斗中，加入 5 毫升 APDC (Ammonium Pyrrolidine Diethiocarbamate) 溶液，振盪 30 秒，再加入 20 毫升 MIBK (Methyl Isobutyl ketone) 劇烈振盪 3 分鐘，靜置 2 小時後，使水與 MIBK 層分開，取 MIBK 層，經離心分離去水後，以原子吸光儀日立 Z - 8000 型測定之。各種金屬之測定極限分列如下：鉻，5ppb；錳，10ppb；鈷，5ppb；銅，5ppb；鋅 10ppb；鎳，5ppb；鉛，10ppb；鎳，5ppb；鐵，50ppb。

(二) 汞分析方法：

取 100 毫升試水，置入反應瓶中，加入 5 毫升濃硫酸、2.5 毫升硝酸均勻混合後，再加入 25 毫升 5 % 高錳酸鉀溶液混合，倘高錳酸鉀顏色褪再加高錳酸鉀溶液至不褪色為止，靜置 15 分鐘以上，再加入 8 毫升 5 % 高錳酸鉀溶液，置於 95°C 水浴中加熱 2 小時，取出冷卻至室溫後，再加氯化鈉—硫酸胺溶液至顏色消失為止，再加入 5 毫升氯化亞錫溶液，迅速以原子吸光儀日立 170 - 40 型無焰火測定

吸光值，測定極限為 0.5 ppb。

四、生物

矽藻、豐年蝦體先以蒸餾水洗滌後，再以 80 ~ 85 °C 烘乾至恒定量，秤取 0.5 ~ 1 公克重量⁽¹¹⁾，魚蝦及牡蠣之個體則先以蒸餾水沖洗後，再用砂布吸乾體表水分，再秤重。經秤重後改入分解瓶內，以濃硝酸及過氯酸法，在高溫下強烈分解直至無色或微黃色之澄清液為止，待冷卻後，再以蒸餾水定容。並以原子分光儀日立 Z - 8000 型測定除汞以外九種重金屬。

分析汞之試樣以 18N 硫酸及 6 % 高錳酸鉀，在低溫 (50 ~ 60 °C) 下分解。倘高錳酸鉀顏色褪色，再加高錳酸鉀溶液直至不褪色為止，再加入數滴 $\text{NH}_2 \cdot \text{OH} \cdot \text{HCl}$ 將過量高錳酸鉀還原，此時溶液為透明無色，俟冷卻後，再加蒸餾水定容，再以原子吸光儀日立 170 - 40 型無焰法測定吸光值⁽¹²⁾。

五、重金屬對生物之影響

(一) 豐年蝦：(*Artemia salina*)

取汞、鋅、鎘、銅、鈷、鎳、鉻、鐵、鉛及錳等元素之塩素，分別海水中配成適當之各種重金屬之溶液，對豐年蝦卵之孵化率之影響。

另外於含有單一重金屬及混合重金屬之海水中孵化豐年蝦，分析其無節幼蟲之重金屬蓄積量。

(二) 矽藻 (*Skeletonema costatum*)

在 *Skeletonema costatum* 蓄積培養中，各培養液之營養塩依每噸海水中添加 KNO_3 100 公克 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 10 公克， Na_2SiO_3 10 公克及 FeCl_3 5 公克比例施肥。本試驗以 20 升圓型玻璃缸，裝 10 升海水培養液，加入 500 毫升矽藻 (10^6 個 / 毫升) 再分別以 CuSO_4 、 ZnCl_2 配製成 1,000 ppm 溶液調配各實驗組濃度 0.1、0.25、0.5、1 ppm。經過 2 天培養，再以浮游生物網 125 μ 收集矽藻。經蒸餾水沖洗後，烘乾至恒重，以濃硝酸及過氯酸法分解之，再以原子吸光儀測定之。

三、結果與討論

自 1985 年 11 月至 1986 年 7 月，草蝦繁殖用水之各項水質因子見表 1。

水溫：11 月份水溫在 $25 \sim 26^{\circ}\text{C}$ ，元月份在 $24 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 三月份 $26 \sim 27^{\circ}\text{C}$ ，5 月份 $26.5 \sim 27.2^{\circ}\text{C}$ ，7 月份 28.5°C 。整體而言以元月份左右水溫最低，7 月份水溫較高。一般草蝦場孵化時水溫均在 $30 \sim 33^{\circ}\text{C}$ 之間，故需以電力或瓦斯來提高水溫，所以成本相對提高。

溶氧量：11 月份溶氧量在 $6.8 \sim 7.6 \text{ ppm}$ ，元月份在 $7.2 \sim 7.85 \text{ ppm}$ ，3 月份 $6.1 \sim 6.5 \text{ ppm}$ ，5 月份 $5.3 \sim 6.2 \text{ ppm}$ ，7 月份 $5.1 \sim 5.9 \text{ ppm}$ 。一般而言隨著水溫增加溶氧量有下降情形。整體而溶氧量皆在 5 ppm 以上，對草蝦孵化不致缺氧，而且草蝦孵化場都隨時有充分打氣。溶氧量相當充足。

pH 值：各地區 pH 值平均在 $7.5 \sim 8.3$ 之間。

鹽度：各地區鹽度平均在 $29 \sim 34.1 \%$ 之間。

亞硝酸氮 ($\text{NO}_2 - \text{N}$)：以地區性而言旗津中洲較其他三地區為高，其次為紅毛港。以月份而言，以 5 月及 7 月份較其他三個月份為高。

氨—氮 ($\text{Ammonia}-\text{N}$)：以地區性比較而言，旗津中洲較其他三地區為高，再次為紅毛港一帶。以月份而言，以 3 月及 5 月較其他月份為高。

磷酸—磷 ($\text{PO}_4^{3+} - \text{P}$)：四個區域其磷酸鹽差異不大，以紅毛港一帶較其他地區稍高一點。

以營養鹽整體來看，以旗津中洲一帶較其他三個地區為高，其次為紅毛港，再次為東港、林園一帶。以月份而言，以 5 月份較其他月份為高。

硫化物 (Sulfide) 以旗津、紅毛港一帶較林園、東港一帶為高。

海水及矽藻中各種重金屬含量分別為表 2 及表 3。

鉻 (Cr) : 四個地區海水中的鉻所測得範圍絕大部份在測定極限 $5 \mu\text{g}/\text{l}$ 之下，僅在11月及元月份部份地區有測定到，但也在測定極限範圍上下。矽藻中鉻的含量，以旗津地區較其他地區為高，可能是在海水中鉻較其他地區為高，故藻體中鉻含量較其他區域稍微高些。

錳 (Mn) : 由於繁殖場用水，大多抽取海邊砂層底下之地下水，所以其錳濃度原比其他金屬濃度高出很多，四個地區中以紅毛港一帶含錳量最高，而且高出其他地區很多。矽藻體內錳之含量仍以紅毛港地區含量較其他地區為高，在調查中有一場抽出地下水經四天曝氣，其池中懸浮一些黑色粒子，經採集水樣及黑色粒子分析，其結果如Table 16，其中黑粒子經濃硝酸及過氯強熱分解後測定，發現錳含量高達 $14,900 \mu\text{g}/\text{g}$ ，而且該場直接打進地下水其錳含量為 $1.35 \mu\text{g}/\text{g}$ ，經四天曝氣後，錳含量減少至 $0.95 \mu\text{g}/\text{g}$ 。所以當地下水中錳含量高時，可經過一段時間曝氣，部分溶在水中錳經過氧化後產生溶解性低之黑色錳，以懸浮粒子狀態出現在水中(13)。

鈷 (Co) : 四個地區海水中，鈷的含量均在測定極限上下，矽藻體中鈷的含量也較少，亦在測定極限上下。僅11月份旗津、中洲一帶稍含有鈷。由於11月份採樣時大多數繁殖場均在休息狀態，藻池中矽藻已經廿多天，所以各種金屬含量都比元月份各種金屬含量高。

銅 (Cu) : 四地區海水中銅的含量大多數在測定極限上下，但其中以旗津一帶比其他三地區稍高。矽藻中銅的含量仍以旗津地區含量較其他三地區高在過去的研究報告中矽藻對銅、鋅及鎳三種元素，隨海水中金屬濃度增加而增加(14)。

鋅 (Zn) : 四地區海水中含量大多在測定極限之 $10 \mu\text{g}/\text{l}$ 上下。但以旗津地區含量較高 (平均值 $< 10 \sim 15.6 \mu\text{g}/\text{l}$)，其次為紅毛港一帶 (平均值 $< 10 \sim 11.5 \mu\text{g}/\text{l}$)，東港、林園濃度都在測定極限左右。矽藻中鋅之含量仍以旗津含量較其他地區含量為高。然而矽藻中鋅的含量比鐵的含量少以外較其他金屬含量為高，而且矽藻對鋅蓄積能力，

比對銅蓄能力高⁽¹⁴⁾。

鎘 (Cd)：四個地區海水中鎘的含量均在 $5 \mu\text{g}/\text{l}$ 以下。矽藻中鎘的含量，大多數在測定極限範圍，但於 5 月及 7 月兩個月份在旗津地區測試得到濃度分別為 0.017 及 $0.12 \mu\text{g}/\text{l}$ 。

鉛 (Pb) 及鎳 (Ni)：四個地區海水中含量均在測定極限上下。但矽藻體中鉛的含量均測得到，以旗津地區較高。但在矽藻體中含量以旗津地區較其他三地區為高。

鐵 (Fe)：四地區海水中的鐵含量分別為：

旗津； $62 \sim 90 \mu\text{g}/\text{l}$ ，紅毛港； $72 \sim 88 \mu\text{g}/\text{l}$ ，林園； $< 50 \sim 73 \mu\text{g}/\text{l}$ ，東港； $< 50 \sim 230 \mu\text{g}/\text{l}$ ，以地區性而言，東港較其他三地區為高，矽藻中鐵之含量較其他金屬為高，各地區含量分別為：旗津 $21.2 \sim 158 \mu\text{g}/\text{g}$ ；紅毛港； $12.68 \sim 181 \mu\text{g}/\text{g}$ ，林園； $5.9 \sim 122 \mu\text{g}/\text{g}$ ，東港； $16.6 \sim 153 \mu\text{g}/\text{g}$ 。

汞 (Hg)：四個地區海水中汞的含量均在測定極限範圍以下，矽藻體內汞含量，旗津地區為 $0.004 \sim 0.006 \mu\text{g}/\text{g}$ ，其他地區均測不到。

Table 4 為池中懸浮黑粒子經硝酸及其過氯酸分解後，經測定結果以錳含量高達 $14,900 \mu\text{g}/\text{g}$ ，鐵之含量 $410 \mu\text{g}/\text{g}$ ，其次為鉛 $20.5 \mu\text{g}/\text{g}$ ，以此三種元素最多。

種蝦來自馬來西亞，種蝦之蝦肉、蝦卵及豐年蝦無節幼蟲中，重金屬之鉻、鈷、鎘、鎳及汞均在測定極限以下。

草蝦體內各種重金屬之含量見表 5 鈷、鎳、鉛及鉻均未測定出，銅、鋅、錳及鐵似乎有隨著體長增加，而體內重金屬含量減少之情形。

表 6 為虱目魚魚苗之金屬含量，鈷及鎳均在測定範圍之下，鉻、鐵、錳及鋅有隨體長增加而濃度下降之情形。

表 7 為興達、鹿港及喜樹三個地區牡蠣重金屬含量。鎳、鈷、鉻及鎘均在測視範圍之下。鋅、銅以興達港地區較高，錳、鐵及鉛以鹿港較高。

表 7 為矽藻對不同濃度之銅、鋅蓄積。在實驗過程中，發現銅在 $1 \text{mg}/\text{l}$ 成長受影響，鋅在 $0.5 \text{mg}/\text{l}$ 時就受影響，在 $1 \text{mg}/\text{l}$ 就培養不

出來。在同一濃度而言，矽藻對鋅之蓄積量比銅之蓄積量要高，而且高出很多倍(14)。隨金屬濃度之增加，矽藻體內之蓄積金屬量亦明顯增加(14)。

豐年蝦體內之重金屬含量以鐵含量最高，其次為鋅、錳及銅，其他重金屬均未能測出(15)。

表 9 為豐年蝦蝦卵暴露在含重金屬海水中實驗前後，各種重金屬溶液之 pH 變化情形，除了部份在 5.5 外，其餘都在 7.4 以上，表 10 為豐年蝦卵在各種不同濃度重金屬溶液時豐年蝦無節幼蟲之孵化率，將在空白組之孵化率定為 100%，結果顯示除了銅外，豐年蝦之孵化率與重金屬濃度呈負相關，銅對於豐年蝦之孵化率呈二次迴歸，豐年蝦之孵化率於 20 ppm 銅溶液中最低只有 $6.44 \pm 1.44\%$ ，相反的在 60 ppm 銅溶液中最高有 $81.23 \pm 6.33\%$ ，重金屬對於豐年蝦孵化之相對毒性依次為： $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Mn}^{7+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Hg}^{2+} > \text{Mn}^{4+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$ (表 11) (16)。

表 12 ~ 13 為豐年蝦孵化分別在含有單一重金屬及混合重金屬之海水中孵化，無節幼蟲之重金屬蓄積，重金屬之蓄積量與海水中之重金屬濃度成正比，統計分析得到相關係數之大小在單一重金屬海水中為： $\text{Fe} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Hg} > \text{Cd} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Mn}$ ，在混合重金屬海水中為： $\text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Cd} > \text{Mn}$ (表 14) 豐年蝦卵暴露在單一重金屬海水中，在 5 ppm 之重金屬濃度下，無節幼蟲可測出有 Hg、Zn、Mn、Fe 及 Cu，在 25 ppb 之重金屬濃度下，無節幼蟲始可測出有鎘及鉻，在 50 ppb 下始可測得出有鈷，在 100 ppb 下始可測得出有鎳，在 250 ppb 下始可測得出有鈷。但如豐年蝦卵暴露在混合重金屬海水中，其可影響之濃度低於或相當於在單一重金屬海水中，在 5 ppb 下即可測得出 Cu、Cr、Zn、Mn 及 Fe，在 25 ppb，始可測得出 Cd 及 Ni，在 50 ppb 下始可測得出 Co，在 250 ppb 下，始可測得 Pb。比較豐年蝦無節幼蟲在單一及混合重金屬海水中之蓄積情形，Cu、Ni 及 Co 沒有顯著差異 (圖 1)，Cr、Zn 及 Pb 有增加效果

(圖 2) 但 Fe 、 Cd 及 Mn 皆反面有減少效果 (圖 3)

誌 謝

本計畫爲農委會補助計劃「污染對魚蝦及蓄積毒性之影響調查及防治」，計畫編號 75－農建－3－1－漁－10 號(3)，謹向農委會漁業發展處袁柏偉處長、李健全博士、謝大文與陳松堅先生之支持與鼓勵致以謝忱。研究期間承海洋學院白書禎、秦宗顯、林勇助、孫淑敏、楊忠誠及溫良碩之協助，謹致謝忱。

參考文獻

1. Liao, I.C. (1977). A culture study on grass prawn, penaeus monodon in Taiwan, the problem and the prospect, J. Fish, Soc. Taiwan, 5(2), 11-29.
2. Chiang, p. and Liao, I. (1985). The practice of grass prawn (penaeus monodon) culture in Taiwan from 1968 to 1984. Word Mariculture society.
3. Chen, J.C., Y. Y. Ting, H. Lin and T. C. Lian (1985). Heavy metal concentrations in sea water from grass shrimp hatcheries and the coast in Taiwan. Word Mariculture Society. 12, 1-11.
4. 鄭森雄 (1975) 台灣西南沿海養殖貝類大量死亡原因之研究。中國農村復興聯合委員會漁業專輯第18號。
5. 陳弘成 (1981) 繁殖場草蝦苗大量死亡之研究。中國水產 348, 15-24
6. Bendschneider, k. and Robinson. R. J. 1952. A new spectrophotometric determination of nitrite in sea water. J. mar. Res. 11:87-96.
7. Lucia Solorzano, 1069. Determination of ammonia in natural waters by the phenolhypochlorite method Limnology and Oceanography, 14:799-801.
8. 日立精工公所 (1977) 取擬說明書。170-40 型原子吸光/熒光分光光度計，東京、日本。
9. Strick J. D. H. and T. R. Parsons (1972). A practical handbook of seawater analysis. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.

10. Murphy, J. & J. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta* 27:31.
11. American Public Health Association (APHA): 1981 Standard Method for Examination of water and waste water. Published by American Public Health Association. Washington, D. C. P 447-P448.
12. Bower C. E. and H. H. Thomas (1980). A simplified hydrazine-reduction method for determining high concentration of nitrate in recirculated sea-water *Aquaculture*, 21, 281-286.
13. Hitachi LTD. (1974). Instruction manual for the model 207-0209, 303-9352. Mercury Reduction unit, Tokyo, Japan.
14. 西沢一俊，千原光雄（1975），藻類研究，274-280。
15. 陳建初（1983），水質管理。九大圖書公司。
16. 江章、周賢鏘、丁雲源（1984），矽藻對重金屬銅、鎘、汞、鋅累積作用。台灣省水產試驗所期刊 37, 173-182。
17. 陳建初、劉秉忠（1986），豐年蝦重金屬之含量，海洋生物科學學術研討會論文集，國科會生物科學研究中心專刊第 14 集。91-97。
18. Liu, P. C., and J. C. Chen. 1986. The effects of heavy metals on the hatching rates of brine shrimp *Artemia salina* cysts. *J. Aquaculture Society*. 17. (in Press).
19. Chen, J. C., and P. C. Liu. 1986. Accumulation of heavy metals in nauplii of *Artemia salina*. *J. Aquaculture Society*. 17. (in press).

表 1 各地區養殖用水水質分析結果

地區 採樣日期 項目	旗				津				紅				毛				港			
	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 11月	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1986年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	
溫度 (°C)	25.5 25~26	24.5 24~25	26 25~27	26.8 26~27	25.5 25~26	24.5 24~25	26 25~27	26.5 26~27	24.5 24~25	25.5 25~26	24.5 24~25	26.5 26~27	26.5 26~27	28.5 28~29						
溶氧 (ppm)	6.8 6.4~7.0	7.43 6.8~7.8	6.1 5.8~6.3	5.3 4.9~5.5	7.6 7.1~7.8	7.43 6.8~7.8	6.1 5.8~6.3	6.2 6.1~6.3	7.85 7.4~8.1	7.6 7.1~7.8	7.85 7.4~8.1	6.2 6.1~6.3	5.6 5.5~5.8	5.5 5.3~5.7						
pH	7.94 7.64~8.07	7.77 7.39~8.12	8.3 8.2~8.65	8.2 8.1~8.3	7.65 7.1~8.04	7.77 7.39~8.12	8.3 8.2~8.65	8.3 8.1~8.5	7.33 6.7~8.20	7.65 7.1~8.04	7.33 6.7~8.20	8.3 8.1~8.5	8.0 7.9~8.2	7.8 7.7~7.9						
鹽度 (‰)	33.8 32.6~34.1	34.1 32.5~35	32.5 30.5~33.5	32.1 31~33	32.7 31.1~34.2	34.1 32.5~35	32.5 30.5~33.5	32.3 28~34	33.16 32.4~34.1	32.7 31.1~34.2	33.16 32.4~34.1	32.3 28~34	32.0 31~33	32 31~34						
亞硝酸鹽氮	5.32 1.8~10.7	5.45 2.8~11.0	3.4 1.6~6.3	23.9 2.7~61.7	3.96 2.0~4.8	5.45 2.8~11.0	3.4 1.6~6.3	9.6 4~12.7	4.07 2.6~5.3	3.96 2.0~4.8	4.07 2.6~5.3	9.6 4~12.7	11.4 8.1~17.2	19.6 11.2~27.6						
氨氮 (NH ₃ -N) (µg/l)	28.76 24.7~31.6	31.55 27~34.6	777.4 26.8~2403	1147 85~2900	38.9 34.1~46.7	31.55 27~34.6	777.4 26.8~2403	105.7 32.9~132.7	30.7 26~42.0	38.9 34.1~46.7	30.7 26~42.0	105.7 32.9~132.7	168.7 76.7~250.6	254.2 119.6~350.4						
硫化物 (µg/l)	6.45 2.1~10.65	6.02 1.1~8.65	75.2 44~107	73.7 50.4~90.2	10.6 1.7~19.7	6.02 1.1~8.65	75.2 44~107	46.3 31.4~56.5	12.74 0.96~32.34	10.6 1.7~19.7	12.74 0.96~32.34	46.3 31.4~56.5	59.6 48.3~74.7	39.7 34.7~48.6						
二氧化矽 (µg/l)	0.14 0.04~0.21	0.14 0.03~0.32	0.22 0.12~0.42	1.29 0.63~3.24	0.103 0.92~0.12	0.14 0.03~0.32	0.22 0.12~0.42	0.54 0.31~0.82	0.29 0.11~0.37	0.103 0.92~0.12	0.29 0.11~0.37	0.54 0.31~0.82	2.06 1.21~3.11	2.21 1.79~2.61						
磷酸鹽 (PO ₄ -P) (mg/l)	13.2 10.7~14.8	11.68 9.8~12.49	11.4 ND~33.78	28.3 9.8~73.7	24.1 16.7~30.2	11.68 9.8~12.49	11.4 ND~33.78	6.7 4.4~10.7	28.47 23.4~34.6	24.1 16.7~30.2	28.47 23.4~34.6	6.7 4.4~10.7	38.7 11.4~70.4	116.7 77.6~247.1						

(續表 1)

地區 採樣日期	林				園				東				港		
	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1986年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月
溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	26 25~27	24.5 24~25	26 25~27	26.8 26~27.5	28.5 28~29	25.5 25~26	25 24.5~25.5	26.5 26~28	27.2 26.5~28	28.7 28~29					
溶 氧 (ppm)	7.2 6.7~7.4	7.3 7.2~7.4	6.5 6.3~6.7	6.0 5.9~6.1	5.9 5.7~6.1	7.0 7.1~6.9	7.2 7.1~7.3	6.5 6.1~6.8	6.2 6.1~6.4	5.8 5.7~6.1					
pH	7.96 7.48~8.16	7.55 7.39~7.75	7.97 7.8~8.15	8.1 7.9~8.2	7.7 7.6~7.8	7.86 7.31~8.02	7.56 7.11~7.98	8.1 8.0~8.3	8.1 8.0~8.1	7.65 7.5~7.85					
塩 度 (%)	31.60 30.3~33.8	33.5 33.4~33.6	33.2 33~33.5	32.6 32~33	31.7 31.5~32	32.64 32.1~33.6	33.9 33.6~34.1	30.5 28~31	29 27~31	31 30.5~32					
亞硝酸塩氮	4.1 2.2~5.1	3.1 2.2~4.1	2.3 1.3~3.8	2.1 1.9~2.4	3.6 2.8~4.0	3.2 2.7~4.1	3.8 3.4~5.0	3.7 3.1~4.8	9.1 3.6~17.4	5.1 3.1~7.6					
氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$) ($\mu\text{g/l}$)	28.6 21~34.7	20.4 16~29	16.4 ND~64.94	134.6 96.7~333	117.1 55.2~256.1	36.5 26.7~41.7	27.6 22.4~34.6	74 37~147	127.6 91.6~149.8	187.6 76.4~311.5					
硫 化 物 ($\mu\text{g/l}$)	6.72 3.64~9.54	7.7 6.32~8.65	70.8 50.2~87.8	47.6 24.6~61.3	26.4 24.3~28.6	4.12 1.4~13.68	6.46 2.56~17.28	32 23~44	47.1 44.6~50.7	28.56 25.6~34.7					
二 氧 化 矽 (mg/l)	0.17 0.13~0.19	0.174 0.14~0.24	0.42 0.26~0.62	1.18 0.74~1.81	1.63 1.58~1.79	0.17 0.11~0.24	0.11 0.08~0.21	0.16 0.11~0.24	2.21 0.67~3.64	2.82 1.91~3.51					
磷 酸 塩 ($\text{PO}_4\text{-P}$) ($\mu\text{g/l}$)	7.8 4.6~9.2	6.6 3.7~8.6	2.1 ND~4.6	11.4 ND~37.6	52.9 19.9~114.8	21.3 11.4~26.7	12.64 6.2~18.5	6.8 ND~11.6	12.4 5.6~17.6	14.6 7.1~19.8					

表2 各地區養殖用水重金屬分析結果

項目	旗					津					紅					毛					港		
	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1986年 5月	1986年 7月	
鉻	$\frac{6.3}{<5 \sim 10}$	$\frac{6.3}{<5}$	$\frac{5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$
錳	$\frac{97}{30 \sim 105}$	$\frac{117}{10 \sim 400}$	$\frac{147}{30 \sim 300}$	$\frac{83}{25 \sim 124}$	$\frac{84}{50 \sim 160}$	$\frac{410}{<110 \sim 1980}$	$\frac{1603}{1280 \sim 2180}$	$\frac{980}{170 \sim 1760}$	$\frac{185}{42 \sim 320}$	$\frac{350}{100 \sim 700}$	$\frac{410}{<110 \sim 1980}$	$\frac{1603}{1280 \sim 2180}$	$\frac{980}{170 \sim 1760}$	$\frac{185}{42 \sim 320}$	$\frac{350}{100 \sim 700}$	$\frac{410}{<110 \sim 1980}$	$\frac{1603}{1280 \sim 2180}$	$\frac{980}{170 \sim 1760}$	$\frac{185}{42 \sim 320}$	$\frac{350}{100 \sim 700}$	$\frac{185}{42 \sim 320}$	$\frac{350}{100 \sim 700}$	$\frac{350}{100 \sim 700}$
鈷	$\frac{6.3}{<5 \sim 10}$	$\frac{6.4}{<5 \sim 10}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$
銅	$\frac{6.3}{<5 \sim 10}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{5.4}{<5 \sim 7.5}$	$\frac{9.4}{7.8 \sim 11}$	$\frac{8.2}{<5 \sim 18}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{13}{<5 \sim 10}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{5.3}{<5 \sim 7}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{13}{<5 \sim 10}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{5.3}{<5 \sim 7}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{5.8}{<5 \sim 10}$	$\frac{13}{<5 \sim 10}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{5.3}{<5 \sim 7}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{5.3}{<5 \sim 7}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$
鋅	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{11.3}{<10 \sim 15.5}$	$\frac{10.4}{<10 \sim 19.5}$	$\frac{15.6}{<10 \sim 28}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{11.5}{<10 \sim 14}$	$\frac{<10}{<10 \sim 11}$	$\frac{11.5}{<10 \sim 14}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{11.5}{<10 \sim 14}$	$\frac{<10}{<10 \sim 11}$	$\frac{11.5}{<10 \sim 14}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{11.5}{<10 \sim 14}$	$\frac{<10}{<10 \sim 11}$	$\frac{11.5}{<10 \sim 14}$	$\frac{<10}{<10 \sim 11}$	$\frac{11.5}{<10 \sim 14}$	$\frac{11.5}{<10 \sim 14}$
鎘	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$
鉛	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10 \sim 12}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$	$\frac{<10}{<10}$
鎳	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{5.2}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{6.1}{<5 \sim 13.6}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{5.6}{<5 \sim 7}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$	$\frac{<5}{<5}$
鐵	$\frac{78}{<50 \sim 110}$	$\frac{6.3}{<50 \sim 90}$	$\frac{74}{<50}$	$\frac{92}{>77 \sim 115}$	$\frac{62}{<50 \sim 72}$	$\frac{78}{60 \sim 90}$	$\frac{75}{70 \sim 90}$	$\frac{72}{61 \sim 88}$	$\frac{88}{79 \sim 96}$	$\frac{79}{66 \sim 87}$	$\frac{78}{60 \sim 90}$	$\frac{75}{70 \sim 90}$	$\frac{72}{61 \sim 88}$	$\frac{88}{79 \sim 96}$	$\frac{79}{66 \sim 87}$	$\frac{78}{60 \sim 90}$	$\frac{75}{70 \sim 90}$	$\frac{72}{61 \sim 88}$	$\frac{88}{79 \sim 96}$	$\frac{79}{66 \sim 87}$	$\frac{88}{79 \sim 96}$	$\frac{79}{66 \sim 87}$	$\frac{79}{66 \sim 87}$
汞	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$	$\frac{<0.5}{<0.5}$

(續表 2)

地區 採樣日期 項目	林						園						東						港	
	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1986年 5月	1986年 7月			
鉛	$\frac{6.4}{< 5 \sim 10}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{5.6}{< 5 \sim 10}$	$\frac{5.6}{< 5 \sim 10}$	$\frac{5.6}{< 5}$	$\frac{5.6}{< 5}$	$\frac{5.6}{< 5}$	$\frac{5.6}{< 5 \sim 10}$	$\frac{5.6}{< 5 \sim 10}$	$\frac{5.6}{< 5}$	$\frac{5.6}{< 5}$	$\frac{5.6}{< 5}$	$\frac{5.6}{< 5}$	$\frac{5.6}{< 5}$			
錳	$\frac{6.4}{20 \sim 90}$	$\frac{34}{< 10 \sim 80}$	$\frac{28}{< 10 \sim 90}$	$\frac{40}{< 10 \sim 60}$	$\frac{27}{< 10 \sim 60}$	$\frac{120}{30 \sim 180}$	$\frac{80}{< 10 \sim 210}$	$\frac{55}{< 10 \sim 160}$	$\frac{89}{< 10 \sim 116}$	$\frac{45}{30 \sim 54}$	$\frac{120}{30 \sim 180}$	$\frac{80}{< 10 \sim 210}$	$\frac{55}{< 10 \sim 160}$	$\frac{89}{< 10 \sim 116}$	$\frac{45}{30 \sim 54}$	$\frac{89}{< 10 \sim 116}$	$\frac{45}{30 \sim 54}$			
鈷	$\frac{6.4}{< 5 \sim 10}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{5.6}{< 5 \sim 10}$	$\frac{6.4}{< 5 \sim 10}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{5.6}{< 5 \sim 10}$	$\frac{6.4}{< 5 \sim 10}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$			
銅	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5 \sim 7}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{6}{< 5 \sim 8}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{5.1}{< 5 \sim 6.5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{6}{< 5 \sim 8}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{5.1}{< 5 \sim 6.5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{5.1}{< 5 \sim 6.5}$			
鋅	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10 \sim 11.5}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{10.5}{< 10 \sim 13}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$			
鎘	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$			
鉛	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$	$\frac{< 10}{< 10}$			
鎳	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{6.4}{< 5 \sim 8}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$	$\frac{< 5}{< 5}$			
鐵	$\frac{63}{< 50 \sim 70}$	$\frac{< 50}{< 50}$	$\frac{61}{< 50 \sim 66}$	$\frac{73}{< 50 \sim 84}$	$\frac{66}{< 50 \sim 84}$	$\frac{< 50}{< 50}$	$\frac{< 50}{< 50}$	$\frac{76}{< 50 \sim 98}$	$\frac{67}{56 \sim 80}$	$\frac{230}{< 50 \sim 410}$	$\frac{< 50}{< 50}$	$\frac{< 50}{< 50}$	$\frac{76}{< 50 \sim 98}$	$\frac{67}{56 \sim 80}$	$\frac{230}{< 50 \sim 410}$	$\frac{67}{56 \sim 80}$	$\frac{230}{< 50 \sim 410}$			
汞	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$	$\frac{< 0.5}{< 0.5}$			

表 3 以不同地區養殖用水飼養矽藻體重金屬濃度

項目	旗					津					紅					毛					港				
	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月	1985年 11月	1986年 1月	1986年 3月	1986年 5月	1986年 7月
鉛	0.68 0.540~0.88	0.17 0.14~0.21	0.583 0.55~0.65	0.24 0.16~0.39	— 0.287	0.13 0.11~0.21	0.005 0.005	0.61 0.55~0.73	0.18 0.04~0.43	0.015 <0.005~0.026															
錳	0.92 0.710~0.96	0.49 0.3~0.75	0.68 0.36~0.84	2.1 1.48~2.72	— 17.1	2.41 1.09~4.16	0.97 0.59~2.05	2.26 0.8~6	8.33 2.27~16.91	198 150~246															
鈷	0.027 0.010~0.05	<0.005 <0.005	<0.005 <0.005	<0.005 <0.005	— <0.005	0.007 <0.005~0.01	<0.005 <0.005	<0.055 <0.055	0.023 <0.005~0.06	<0.005 <0.005															
銅	0.197 0.180~0.21	0.57 0.44~0.63	0.67 0.5~1	1.1 0.4~2.5	— 1.34	0.12 0.13~0.11	0.06 0.04~0.08	0.1 <0.01~0.5	0.3 0.2~0.7	0.55 0.47~0.62															
鋅	3.381 3.357~3.40	1.43 0.54~2.8	2.6 0.5~3.5	7.3 4.8~10.7	— 4.82	1.07 1.013~1.176	0.65 0.4~0.9	0.9 <0.01~3	3.6 0.63~9.8	2.68 1.47~2.42															
鎘	<0.005 <0.005	<0.005 <0.005	<0.005 <0.005	0.017 0.04~0.011	— 0.12	<0.005 <0.005	<0.005 <0.005	<0.005 <0.005	<0.005 <0.005	0.04 0.03~0.05															
鉛	0.433 0.389~0.48	0.53 0.43~0.63	<0.01 <0.01	0.61 0.31~0.87	— 0.39	0.102 0.098~0.107	0.21 0.14~0.25	<0.01 <0.01	0.31 0.13~0.51	0.66 0.42~0.89															
鎳	0.063 0.059~0.069	0.07 0.03~0.12	<0.01 <0.01	0.114 0.08~0.166	— 0.314	0.019 0.016~0.025	<0.005 <0.005	<0.01 <0.01	0.05 0.03~0.07	<0.01 <0.01															
鐵	32.08 31.690~32.45	58.15 38.1~77	21.2 9.5~38.5	235 76.3~444	— 173	30.55 29.88~30.64	12.68 6.6~18.3	14.3 4.5~20.7	181 102~276	152 141~162															
汞	0.004 0.001~0.01	0.009 <0.0025~0.01	<0.0025 <0.0025	<0.0025 <0.0025	— 0.006	<0.0025 <0.0025	<0.0025 <0.0025	<0.0025 <0.0025	<0.0025 <0.0025	0.001 0.001															

(續表 3)

地區 採樣日期 項目	林					園					東 港				
	1985 年 11 月	1986 年 1 月	1986 年 3 月	1986 年 5 月	1986 年 7 月	1985 年 11 月	1986 年 1 月	1986 年 3 月	1986 年 5 月	1986 年 7 月	1985 年 11 月	1986 年 1 月	1986 年 3 月	1986 年 5 月	1986 年 7 月
鉻	—	$\frac{0.08}{<0.005 \sim 0.14}$	$\frac{0.58}{0.55 \sim 0.6}$	$\frac{0.13}{0.07 \sim 0.36}$	$\frac{0.13}{0.07 \sim 0.36}$	—	$\frac{0.13}{0.07 \sim 0.36}$	$\frac{0.63}{0.6 \sim 0.65}$	$\frac{0.55}{0.49 \sim 0.61}$	—	$\frac{0.13}{0.07 \sim 0.36}$	$\frac{0.63}{0.6 \sim 0.65}$	$\frac{0.55}{0.49 \sim 0.61}$	—	$\frac{0.55}{0.49 \sim 0.61}$
錳	—	$\frac{1.60}{0.93 \sim 2.0}$	$\frac{0.13}{0.05 \sim 0.21}$	$\frac{0.87}{0.28 \sim 1.46}$	$\frac{15}{13.6 \sim 16.3}$	—	$\frac{1.16}{1.16}$	$\frac{1.1}{0.2 \sim 1.5}$	$\frac{32.4}{1.71 \sim 4.37}$	—	$\frac{1.16}{1.16}$	$\frac{1.1}{0.2 \sim 1.5}$	$\frac{32.4}{1.71 \sim 4.37}$	—	$\frac{32.4}{1.71 \sim 4.37}$
鈷	—	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	—	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	—	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	—	$\frac{0.005}{<0.005}$
銅	—	$\frac{0.36}{0.03 \sim 0.78}$	$\frac{0.12}{0.01 \sim 0.5}$	$\frac{0.1}{0.09 \sim 0.15}$	$\frac{0.15}{0.14 \sim 0.16}$	—	$\frac{0.2}{0.20}$	$\frac{0.75}{0.5 \sim 1}$	$\frac{0.13}{0.11 \sim 0.17}$	—	$\frac{0.2}{0.20}$	$\frac{0.75}{0.5 \sim 1}$	$\frac{0.13}{0.11 \sim 0.17}$	—	$\frac{0.13}{0.11 \sim 0.17}$
鋅	—	$\frac{2.28}{0.3 \sim 4.6}$	$\frac{0.56}{0.01 \sim 4}$	$\frac{2.68}{2.22 \sim 3.31}$	$\frac{2.7}{2.3 \sim 3.2}$	—	$\frac{0.3}{0.3}$	$\frac{0.34}{0.01 \sim 0.5}$	$\frac{2.4}{2.52 \sim 3.09}$	—	$\frac{0.3}{0.3}$	$\frac{0.34}{0.01 \sim 0.5}$	$\frac{2.4}{2.52 \sim 3.09}$	—	$\frac{2.4}{2.52 \sim 3.09}$
鎘	—	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.104}{0.08 \sim 0.128}$	—	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	—	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.005}{<0.005}$	—	$\frac{0.005}{<0.005}$
鉛	—	$\frac{0.73}{0.16 \sim 1.43}$	$\frac{0.01}{0.01}$	$\frac{0.32}{0.31 \sim 0.34}$	$\frac{0.45}{0.42 \sim 0.48}$	—	$\frac{0.21}{0.21}$	$\frac{0.01}{0.01}$	$\frac{0.36}{0.3 \sim 0.44}$	—	$\frac{0.21}{0.21}$	$\frac{0.01}{0.01}$	$\frac{0.36}{0.3 \sim 0.44}$	—	$\frac{0.36}{0.3 \sim 0.44}$
鎳	—	$\frac{0.017}{<0.005 \sim 0.06}$	$\frac{0.01}{0.01}$	$\frac{0.05}{0.03 \sim 0.08}$	$\frac{0.01}{0.01}$	—	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.01}{0.01}$	$\frac{0.085}{0.08 \sim 0.09}$	—	$\frac{0.005}{<0.005}$	$\frac{0.01}{0.01}$	$\frac{0.085}{0.08 \sim 0.09}$	—	$\frac{0.085}{0.08 \sim 0.09}$
鐵	—	$\frac{114.15}{28.2 \sim 196}$	$\frac{5.9}{1.5 \sim 11.5}$	$\frac{71}{50 \sim 91}$	$\frac{122}{101 \sim 143}$	—	$\frac{19.7}{19.7}$	$\frac{16.6}{7.7 \sim 26.5}$	$\frac{131}{83 \sim 181}$	—	$\frac{19.7}{19.7}$	$\frac{16.6}{7.7 \sim 26.5}$	$\frac{131}{83 \sim 181}$	—	$\frac{131}{83 \sim 181}$
汞	—	$\frac{0.0025}{<0.0025}$	$\frac{0.0025}{<0.0025}$	$\frac{0.0025}{<0.0025}$	$\frac{0.0025}{<0.0025}$	—	$\frac{0.0025}{<0.0025}$	$\frac{0.0025}{<0.0025}$	$\frac{0.0025}{<0.0025}$	—	$\frac{0.0025}{<0.0025}$	$\frac{0.0025}{<0.0025}$	$\frac{0.0025}{<0.0025}$	—	$\frac{0.0025}{<0.0025}$

Table 4 Heavy metal concentration of black particle appeared in the hatchery, shrimp eggs, shrimp fresh and Artemia nauplii.

Element	Concentration ($\mu\text{g/g}$)									
	Back particles		Shrimp eggs		Shrimp fresh		Artemia nauplii			
	Range	Average	Range	Average	Range	Average	Range	Average		
Cr	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	
Mn	14.900	0.08 -0.13	0.001	0.005-0.16	0.12	20 -32	26			
Co	1.5	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	
Cu	2	0.6 -1.6	1.2	0.36-0.42	0.40	7 -12	9			
Zn	< 0.01	2.2 -3.5	3.0	0.6 -1.0	0.8	142 -171	167			
Cd	< 0.05	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	
Pp	20.5	0.03 -0.05	0.04	< 0.01	< 0.01	0.12 -0.23	0.17			
Ni	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.006-0.008	0.007			
Fe	410	0.7 -1.0	0.85	0.7 -0.9	0.8	334 -387	359			
Hg	< 0.0025	< 0.0025	< 0.0025	< 0.0025	< 0.0025	< 0.0055	< 0.0025	< 0.0025	< 0.0025	

Table 5. Heavy metal concentration in whole grass shrimp ($\mu\text{g/g}$)

B.L. (Cm)	Average Concentration ($\mu\text{g/g}$)									
	Cu	Zn	Mn	Fe	Co	Ni	Pb	Cd	Cr	
2.76-3.67	17.25	8.1	5.73	69.1	< 0.005	< 0.005	< 0.01	0.076	< 0.005	
3.72-3.92	13.74	14.08	7.04	144.34	< 0.005	< 0.005	< 0.01	< 0.05	< 0.005	
3.84-4.91	13.49	13.45	7.31	127.8	< 0.005	< 0.005	< 0.01	0.457	< 0.005	
4.28-4.84	8.34	4.84	2.54	122.9	< 0.005	< 0.005	< 0.01	< 0.005	< 0.005	
4.95-5.25	7.59	6.99	3.33	39.6	< 0.005	< 0.005	< 0.01	0.33	< 0.005	
5.12-6.43	8.17	7.88	3.46	31.4	< 0.005	< 0.005	< 0.01	0.028	< 0.005	
6.55-8.71	6.25	5.25	4.3	48.45	< 0.005	< 0.005	< 0.01	0.027	< 0.005	
7.01-7.30	2.36	4.90	1.19	30.71	< 0.005	< 0.005	< 0.01	0.08	< 0.005	
8.16-8.71	2.58	4.73	0.46	10.51	< 0.005	< 0.005	< 0.01	0.158	< 0.005	
9.00-9.90	1.28	1.86	0.82	8.65	< 0.005	< 0.005	< 0.01	0.065	< 0.005	

Table 6. Heavy metals concentration of whole milk fish.

B. L. (cm)	Average concentration ($\mu\text{g/g}$)										
	Cu	Zn	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Pb	Cd		
0.5-1	1.15	17.3	4.04	3.75	74.5	ND	ND	1	0.24		
1.0-2.0	0.42	14.6	1.92	2.36	54.3	ND	ND	ND	1.8		
2.0-3.0	1.37	13.1	0.61	2.14	50.5	ND	ND	0.61	1.98		
3.0-3.5	4.5	24.6	0.68	5.69	37.9	ND	ND	ND	0.65		

Table 7. Heavy metal concentration of oyster ($\mu\text{g/g}$)

Area	Concentration ($\mu\text{g/g}$)										
	Cu		Zn		Mn		Fe		Pb		
	Range	Average	Range	Average	Range	Average	Range	Average	Range	Average	
Hsinda	18.8-41	31.7	18.8-65.1	36	2.2-7.7	3.7	10.3-20.5	15.1	< 0.01-0.86	0.28	
Lukang	11.11-37.8	25.7	18 -37.3	26.3	2.4-10.1	6.4	13 -21.8	16.7	0.72-1.29	1.03	
Hichiu	6.5-16.1	10.1	5.9-16.3	11.1	0.6-8.9	4.5	6.3- 7.4	6.9	< 0.01-1.25	0.71	

Table 8. Accumulation of copper and zinc in the skeletonema costatum cultured in different concentrations accumulation amount ($\mu\text{g/g}$).

Conc. (mg/l)	Cu		Zn	
	Range	Average	Range	Average
Control	2.43- 4.42	3.43	3.46- 4.56	4.01
0.1	11.87- 16.32	14.10	92.3	104
0.25	40.5 - 54.6	47.55	580 - 798	689
0.5	761 - 1123	942	925 - 1473	1199
1	1553 - 2264	1909	-	-

Table 9. PH of the test solution containing different concentration of heavy metal at the beginning and the end of hatching process.

Heavy metal compounds

Conc (mg/l)	ZnCl ₂ Zn ²⁺	CuSO ₄ Cu ²⁺	CdCl ₂ Cd ²⁺	HgCl ₂ Hg ²⁺	Pb(NO ₃) ₂ Pb ²⁺	CoCl ₂ Co ²⁺	NiCl ₂ Ni ²⁺	FeSO ₄ Fe ²⁺	KMnO ₄ Mn ⁷⁺	MnCl ₂ Mn ²⁺
0	B	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1
	E	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1
10	B	7.7	7.1 ± 0.2	8.3 ± 0.1	8.1 ± 0.1	7.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	7.6 ± 0.2	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1
	E	8.2 ± 0.1	8.1 ± 0.2	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.2 ± 0.2	8.2 ± 0.1
20	B	8.2 ± 0.1	7.5 ± 0.1	7.2 ± 0.1	8.2 ± 0.1	8.0 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	7.2 ± 0.2	8.2 ± 0.1
	E	8.2 ± 0.2	8.1 ± 0.2	8.2 ± 0.1	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.2 ± 0.1	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1
40	B	7.4 ± 0.1	6.4 ± 0.4	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	7.0 ± 0.1	8.2 ± 0.1	8.2 ± 0.1
	E	8.2 ± 0.2	7.6 ± 0.4	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.1 ± 0.2	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1
60	B	7.3 ± 0.1	6.4 ± 0.4	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	7.9 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.2 ± 0.1	8.2
	E	8.2 ± 0.2	7.5 ± 0.5	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.2	7.6 ± 0.3	8.2 ± 0.1
80	B	7.1 ± 0.1	6.0 ± 0.2	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.2 ± 0.2	5.7 ± 0.3	8.2 ± 0.1	8.2
	E	8.1 ± 0.3	7.2 ± 0.4	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.3	7.7 ± 0.3	8.2 ± 0.2	8.3 ± 0.1
100	B	7.1 ± 0.1	5.7 ± 0.2	8.1 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.2	8.0 ± 0.2	5.5 ± 0.4	8.2 ± 0.2	8.2
	E	8.1 ± 0.3	7.3 ± 0.4	8.2 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.3 ± 0.1	8.1 ± 0.2	7.4 ± 0.4	8.2 ± 0.2	8.3 ± 0.1

B : Beginning E : End

Mean ± S.D.

Table 10. The hatching rates of brine shrimp *Artemia salina* cysts which have been exposed in sea water containing different concentration of single heavy metal for 48 hrs.

Conc. NO.	Heavy Metals											
	Hg ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Cd ²⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Cr ³⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Mn ⁴⁺	Mn ⁷⁺	Cu ²⁺
Control	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10(mg/l)	87.8	89.8	90.5	86.8	89.2	78.0	82.3	86.4	90.1	80.4	83.2	6.4
2	71.5	84.2	95.5	85.5	92.9	84.6	85.5	81.0	86.5	85.2	86.2	7.1
3	81.8	95.0	94.0	91.1	82.7	92.9	78.9	84.0	87.8	88.5	81.1	5.8
20(mg/l)	84.6	67.0	86.7	83.0	77.8	72.9	70.9	85.8	89.0	77.8	72.3	4.4
2	72.7	63.3	89.1	79.8	81.8	83.3	79.8	80.0	86.5	82.1	77.4	7.1
3	84.9	80.0	94.0	85.4	71.0	89.7	67.7	82.5	85.9	84.6	70.8	7.7
40(mg/l)	80.1	48.1	80.4	72.3	60.1	68.6	64.6	75.5	87.3	75.9	63.2	75.2
2	78.5	43.0	83.3	70.8	67.5	62.8	70.1	70.0	84.6	79.5	67.3	70.3
3	81.8	54.8	88.3	78.5	56.0	82.1	59.0	77.5	82.7	76.0	61.7	76.9
60(mg/l)	79.5	35.4	75.9	64.7	44.3	25.7	60.1	74.0	87.7	75.3	45.8	74.5
2	74.6	34.2	80.1	65.9	48.7	26.9	65.0	69.0	84.0	78.2	49.1	89.7
3	74.2	39.4	85.0	72.2	40.3	39.7	55.3	71.9	82.1	72.0	53.2	79.5
80(mg/l)	62.8	8.2	72.8	60.0	27.0	19.5	54.4	67.1	86.0	73.4	39.4	56.1
2	70.3	15.8	73.1	56.9	33.1	20.5	59.0	62.0	82.7	75.9	42.1	62.0
3	69.2	25.1	79.2	63.3	22.0	29.5	50.9	55.6	82.7	70.4	46.8	57.7
100(mg/l)	50.0	2.5	69.0	52.8	15.2	16.9	44.3	63.2	85.0	67.7	1.2	28.0
2	65.2	1.5	66.7	55.7	20.1	17.3	48.7	57.1	82.1	71.1	5.7	43.2
3	52.8	7.7	74.2	48.7	19.5	15.4	45.3	50.0	80.1	67.3	18.2	14.7

Table 11. The regression parameters of various heavy metal concentrations vs. hatching rates of brine shrimp Artemia salina cycts.

Heavy metal	a	b	r	r ²
Hg ²⁺	91.873	-0.330	-0.859	0.738**
Zn ²⁺	94.678	-0.961	-0.979	0.960**
Pb ²⁺	96.990	-0.279	-0.948	0.899**
Cd ²⁺	94.166	-0.435	-0.968	0.937**
Co ²⁺	95.938	-0.823	-0.986	0.973**
Fe ²⁺	92.466	-0.375	-0.932	0.869**
Cr ³⁺	88.880	-0.457	-0.921	0.848**
Mn ²⁺	92.663	-0.121	-0.731	0.535**
Mn ⁴⁺	90.741	-0.241	-0.855	0.731**
Mn ⁷⁺	95.041	-0.786	-0.969	0.939**
Ni ²⁺	97.61	-0.885	-0.959	0.920**

$$y = a + bx$$

Table 12. Accumulation amount of each heavy metal in the nauplii after Artemia Salina cysts have been exposed at different concentrations of single element for 48 hrs.

Conc. heavy metal ($\mu\text{g/l}$)	Accumulation amount ($\mu\text{g/g}$)										
	Hg	Cu	Zn	Pb	Cb	Co	Ni	Cr	Mn	Fe	
Control	ND	7	156 \pm 3	ND	ND	ND	ND	ND	19 \pm 2	375 \pm 19	
5	2.3 \pm 0.2	7	165 \pm 4	ND	ND	ND	ND	ND	20 \pm 2	389 \pm 8	
25	6.6 \pm 0.2	7 \pm 1	169 \pm 7	ND	4 \pm 1	ND	ND	3 \pm 1	21 \pm 2	394 \pm 5	
50	11.5 \pm 0.4	11 \pm 2	187 \pm 5	ND	5 \pm 1	11	ND	6 \pm 1	23 \pm 3	382 \pm 16	
100	15.6 \pm 0.7	17 \pm 1	195 \pm 5	ND	7 \pm 1	15 \pm 1	10	11 \pm 1	18 \pm 2	379 \pm 27	
250	31.1 \pm 0.8	58 \pm 3	204 \pm 5	23 \pm 5	22 \pm 1	19 \pm 1	18 \pm 3	23 \pm 3	24 \pm 4	423 \pm 24	
500	43.8 \pm 2.1	108 \pm 3	225 \pm 16	37 \pm 5	29 \pm 2	29 \pm 1	31 \pm 2	35 \pm 4	23 \pm 2	456 \pm 23	
750	—	144 \pm 7	226 \pm 8	84 \pm 6	44 \pm 2	35 \pm 1	41 \pm 2	66 \pm 2	27 \pm 1	545 \pm 30	
1000	62.7 \pm 2.7	208 \pm 4	266 \pm 3	105 \pm 7	59 \pm 11	39 \pm 2	60 \pm 2	117 \pm 7	29 \pm 1	743 \pm 17	

"ND" denotes not detectable

Mean \pm S.D.

Table 13. Accumulation amount of each heavy metal in the nauplii after Artemia salina cysts have been exposed at different concentrations of combined elements for 48 hrs.

Conc. heavy metal ($\mu\text{g/l}$)	Accumulation amount ($\mu\text{g/g}$)										
	Cu	Zn	Pb	Cd	Co	Ni	Cr	Mn	Fe		
Control	7	157 \pm 4	ND	ND	ND	ND	ND	17 \pm 1	358 \pm 14		
5	10	160 \pm 1	ND	ND	ND	ND	4	18	381 \pm 15		
25	12	169 \pm 7	ND	2 \pm 1	ND	4	10	18 \pm 1	394 \pm 15		
50	15	176 \pm 2	ND	3 \pm 1	2	6	12	18 \pm 1	463 \pm 20		
100	20 \pm 1	185 \pm 13	ND	5 \pm 1	3	10	20 \pm 2	16 \pm 1	430 \pm 30		
250	37 \pm 3	204 \pm 11	25 \pm 8	7 \pm 1	8 \pm 1	24	33 \pm 2	18 \pm 1	402 \pm 12		
500	91 \pm 10	249 \pm 7	79 \pm 16	16 \pm 1	19	31 \pm 2	116 \pm 16	18 \pm 1	455 \pm 33		
750	150 \pm 8	272 \pm 15	139 \pm 8	18 \pm 1	27 \pm 1	45 \pm 2	224 \pm 13	19 \pm 1	483 \pm 19		
1000	208 \pm 25	329 \pm 9	244 \pm 16	24 \pm 1	35 \pm 2	63 \pm 4	333 \pm 18	21 \pm 1	565 \pm 29		

" ND " denotes not detectable

Mean \pm S.D.

Table 14. The comparison and the test statistic of regression Parameters of accumulation amount on brine shrimp *Artemia salina* nauplii between shingle element(S) and combined elements(C)

heavy metal	Calculated number after hatching in heavy metal				$t(b_1, C \sim b_{1, S})$
	a	b	r	r^2	
Hg (S)	6.910	0.061	0.964	0.930**	—
(S)	3.420	0.200	0.997	0.994**	0.458 ^{ns}
Cu (C)	2.498	0.197	0.994	0.988**	
(S)	172.250	0.091	0.929	0.863**	7.382**
Zn (C)	163.430	0.160	0.983	0.966**	
(S)	-4.330	0.108	0.976	0.953**	11.165**
Pb (C)	-23.000	0.241	0.965	0.931**	
(S)	2.540	0.056	0.975	0.951**	12.615**
Cd (C)	1.800	0.023	0.983	0.966**	
(S)	8.071	0.034	0.948	0.899**	0.811 ^{ns}
Co (C)	-0.197	0.036	0.995	0.990**	
(S)	2.519	0.056	0.990	0.980**	0.408 ^{ns}
Ni (C)	3.208	0.059	0.989	0.978**	
(S)	-1.950	0.101	0.977	0.955**	16.575**
Cr (C)	-10.998	0.317	0.981	0.962**	
(S)	20.170	0.009	0.768	0.590**	3.974**
Mn (C)	17.300	0.002	0.659	0.434**	
(S)	361.790	0.310	0.927	0.895**	4.903**
Fe (C)	392.100	0.150	0.819	0.671**	

$$Y = a + bx$$

$$t_{50} \alpha = 0.01 = 2.678$$

$$\alpha = 0.05 = 2.009$$

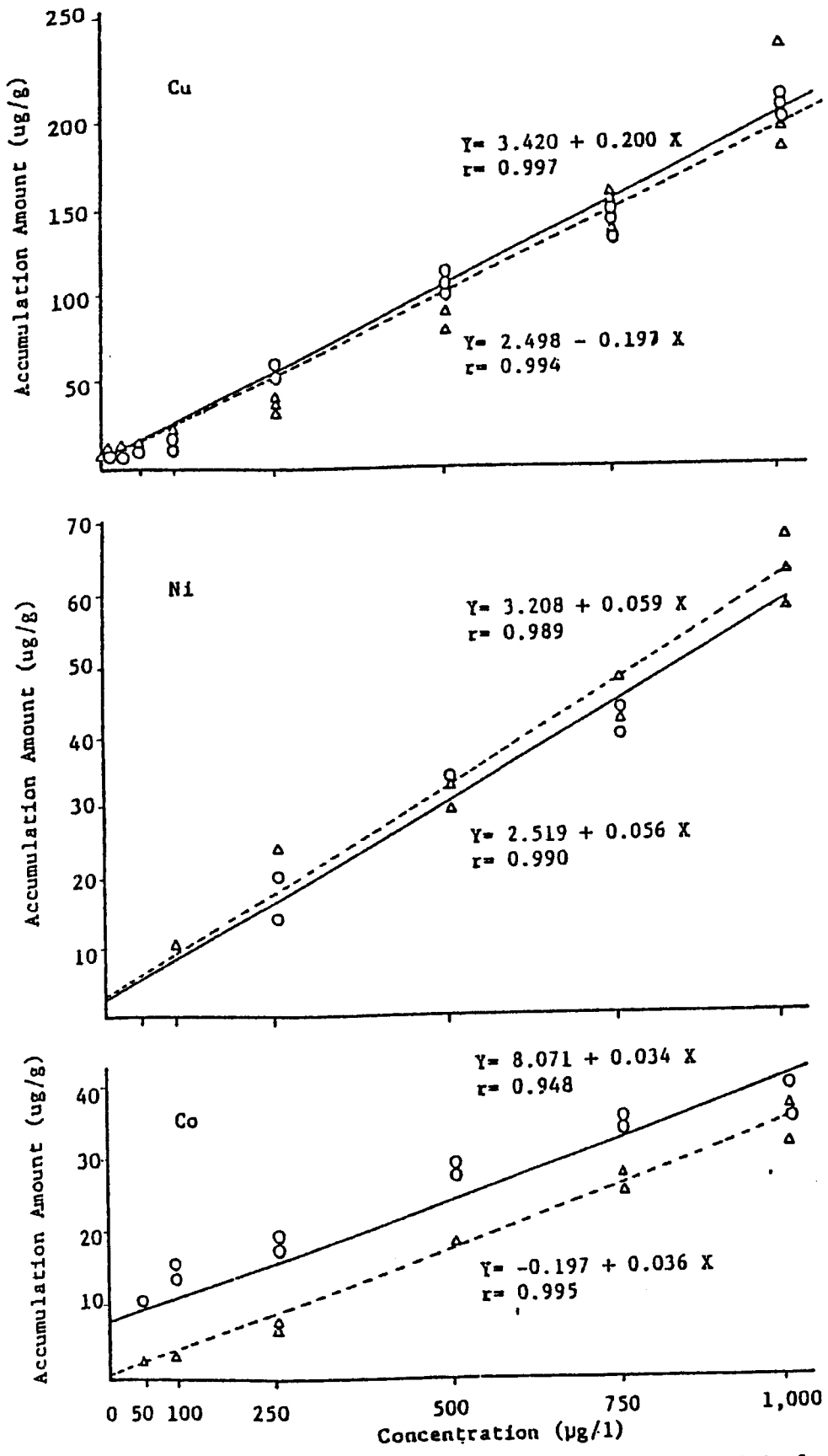


Fig. 1. Accumulation amount of heavy metal in the nauplii after *Artemia salina* cysts have been exposed in different heavy metal concentrations of seawater 48 hrs for hatching.

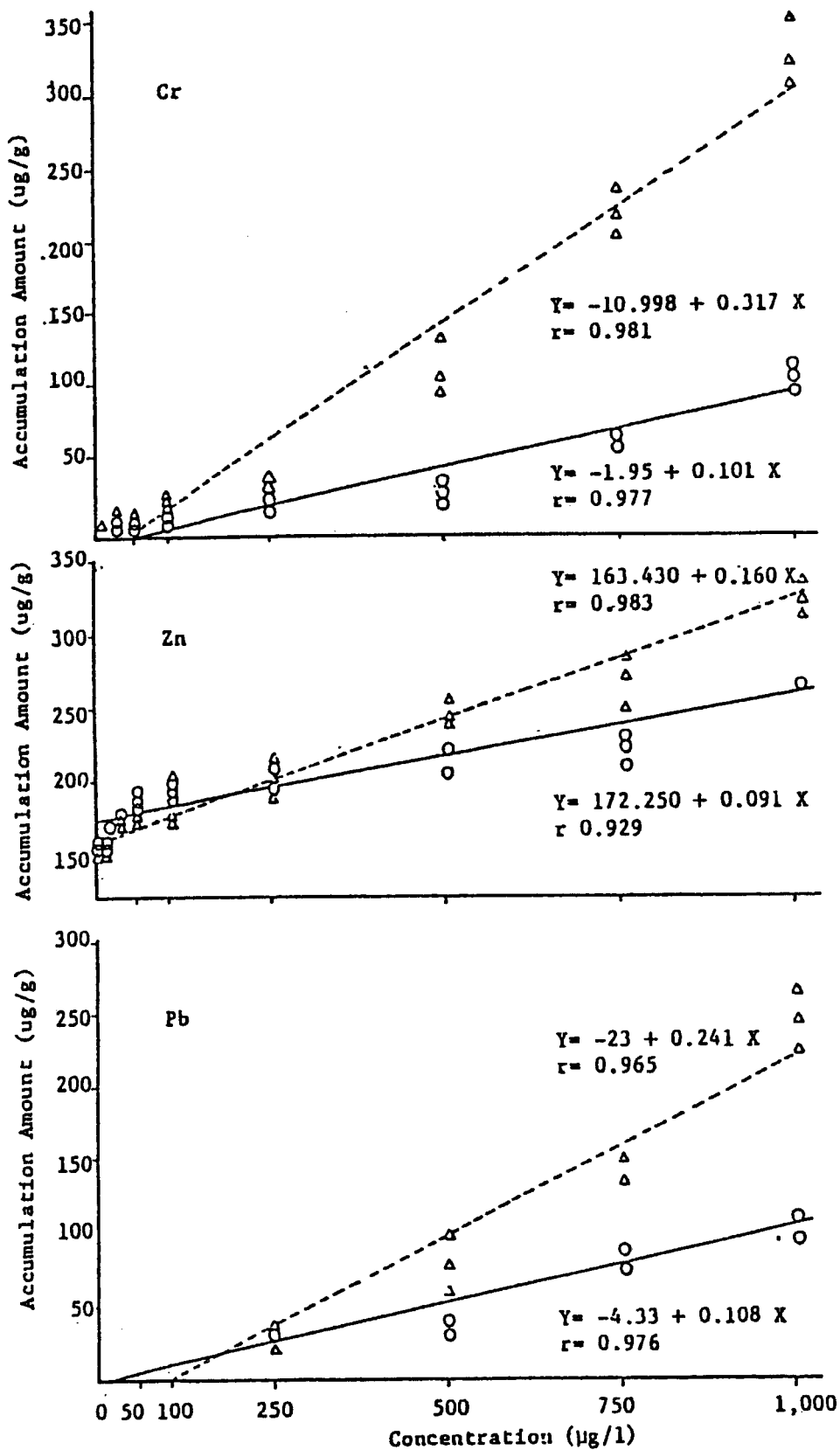


Fig. 2. Accumulation amount of heavy metal in the nauplii after *Artemia salina* cysts have been exposed in different heavy metal concentrations of seawater 48 hrs for hatching.

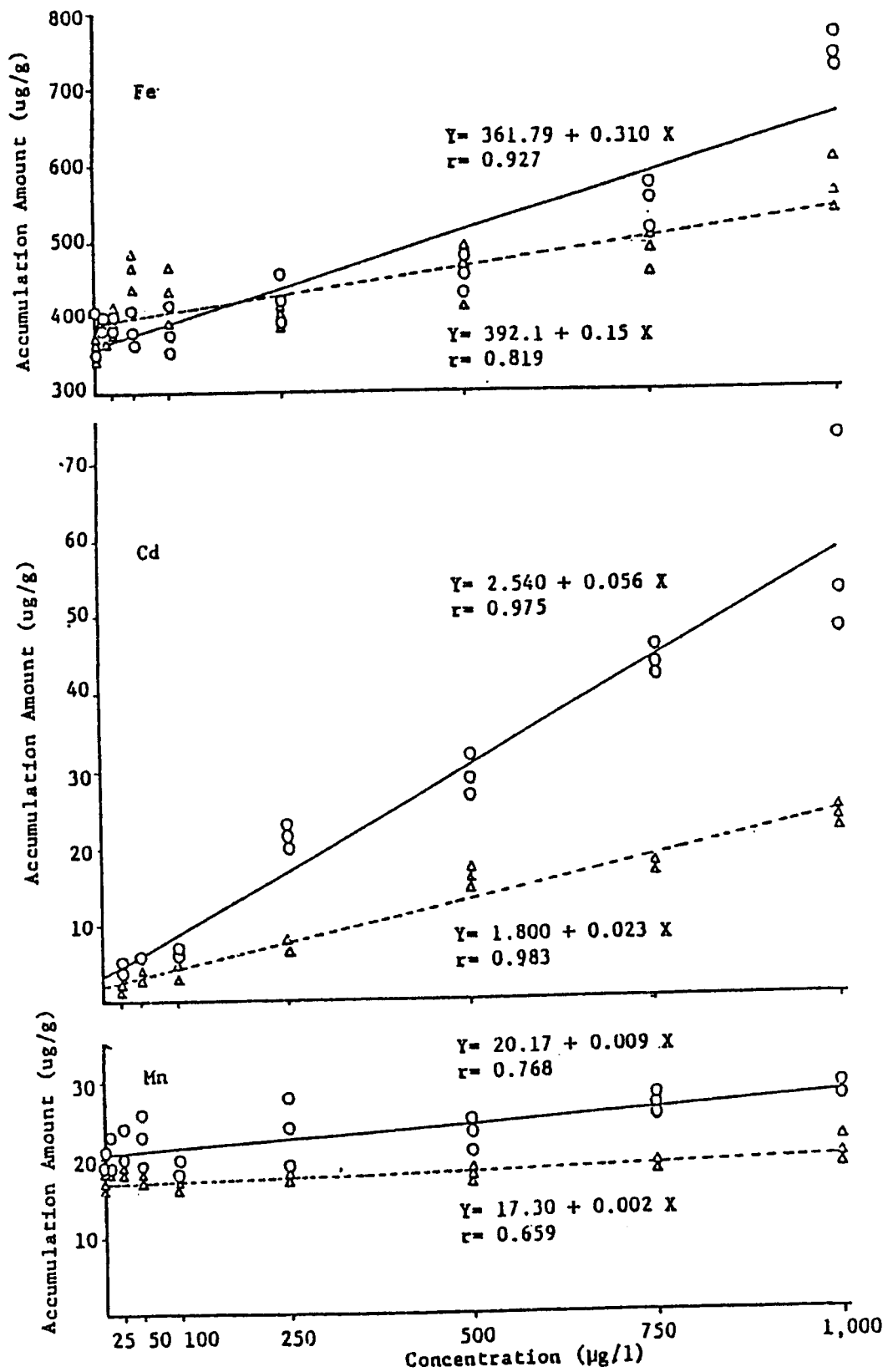


Fig. 3: Accumulation amount of heavy metal in the nauplii after *Artemia salina* cysts have been exposed in different heavy metal concentrations of seawater 48 hrs for hatching.

ABSTRACT

Among the ten kinds of heavy metals tested in the seawater used in the shrimp hatcheries, cobalt, chromium, cadmium, copper, zinc, lead, nickel and mercury were about the detection limit. Homonkan area placed the highest concentration of manganese and then Chyijin area placed the second. Iron was generally found higher both in the areas of Chyijin and Horronkan. The rest heavy metals were observed the highest in Chyijin area.

The heavy metal contents in the filament diatom, Skeletonema costatum had a decreasing order as follows: $Fe > Zn > Cu > Mn > Pb > .$

Zinc was placed the highest content in the gravid female, eggs and fresh of *Penaeus monodon*, and copper and iron placed the second. However, iron was placed the highest content in the juveniles, *P. Monodon* and then copper, zinc manganese.

The heavy metal content of shrimp, *P. monodon* decreased as the body length increased.

When *Skeletonema costatum* was cultivated in the seawater containing copper and zinc respectively, zinc was observed to accumulate more easily than copper.

The hatching rate of *Artemia* cysts which were hatched in the seawater containing heavy metal demonstrated a linear negative regression with concentration of heavy metals except copper which conformed to a cubic model. The relative toxicities of heavy metals on *Artemia* cysts had the following relationships:

$Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Mn^{7+} > Cr^{3+} > Cd^{2+} > Fe^{2+} > Hg^{2+} > Mn^{4+} > Pb^{2+} > Mn^{2+} > .$

The heavy metal found in the *Artemia* cysts and *Artemia* nauplii was in the decreasing order as follows: Fe, Zn, Mn and Cu. The rest heavy metals were under the detection limit.

The heavy metal accumulation from *Artemia* nauplii whose cysts were dosed in single or combined heavy metals had a linear relationship with concentration. The heavy metals were accumulated in the highest concentrations in single element solutions as follows:

Fe > Cu > Pb > Cr > Zn > Hg > Cd > Ni > Co > Mn.

The highest concentrations of heavy metals in combined element solutions were: Cr > Pb > Cu > Zn > Fe > Ni > Co > Cd > Mn.

Comparing accumulation in both single and combined situations, Cu, Ni and Co had no significant differences in uptake. However, the rest of the heavy metals except Hg had significant differences in uptake, Cr, Zn and Pb had a synergistic effect while Fe, Cd and Mn had an antagonistic effect.