

# 碱氯工廠環境汞污染之調查研究

呂世宗\* 張嵩林\*\* 洪正中\*\*\*  
羅健苗\*\*\*\* 楊末雄\*\*\*\*\*

## 一、前 言

早在幾世紀以前，人們即知汞對於人體及生物有毒害之現象，但是因工業上使用汞而污染環境造成公害問題，還是近三十年來才被人們所發現及重視。首先發生汞污染對人類生命和健康為害之間題，是1958年日本水俣灣附近一家氮氣公司排放含汞廢水，使得附近魚貝類累積多量之汞，而附近居民長期捕食此魚貝類引致水俣病（Minamata Disease）之發生。當時水俣灣之水質含汞量為1.6~3.6ppm，水中植物含汞量3.5~19ppm，水底污泥含汞量22~59ppm，貝類體中含汞量30~102ppm（Iru Kayama, 1966）。

其後在1965年日本新潟附近的阿賀野流域又發生第二次水俣病公害事件。美國在1970年代也遭受汞污染環境問題之困擾，因此美國政府公佈多項汞污染防治措施，使全國碱氯工業汞損耗量減低86%，美國食品藥物管理局更規定魚肉含汞量限值為0.5ppm，並禁止超過此限值之魚類在市面販賣。此外如伊拉克、芬蘭和瑞典也曾發現環境汞污染之間題（Dakir, 1973；Hattula, 1978；Jernelov, 1973），可見汞污染問題有必要予以重視並防汞中毒事件之發生。

臺灣不生產汞，幾乎所有的汞均由國外以元素汞型態進口，主要用在碱氯製造業上，約佔全部進口量之80%。碱氯工業不但汞使用量大，而且被公認為工業上造成環境汞污染之主要污染源（Flewelling, 1971）。臺灣原有八家大碱氯工廠（目前僅剩六家），以汞極電解法製造碱氯。由於這些工廠數十年來汞損耗率偏高（林志森，1978），以及鑑於美日等工業先進國家碱氯廠造成環境汞污染之事實，故本調查研究自1979年至1983年間針對此八家碱氯工廠可能造成汞污染之水域水質、底泥、魚貝蝦類，以及稻米、稻田土壤等進行調查研究，以瞭解碱氯工廠造成環境汞污染之情況，進而探討引起水俣病在臺發生之可能性高低。

## 二、調查研究方法

### 1. 碱氯工廠位置及附近環境

臺灣地區八處碱氯工廠分佈地區及附近環境如表一及圖一所示，工廠含汞廢水流經水域

\* 臺灣省環境保護局局長

\*\* 省環保局副局長

\*\*\* 省環保局規劃隊隊長

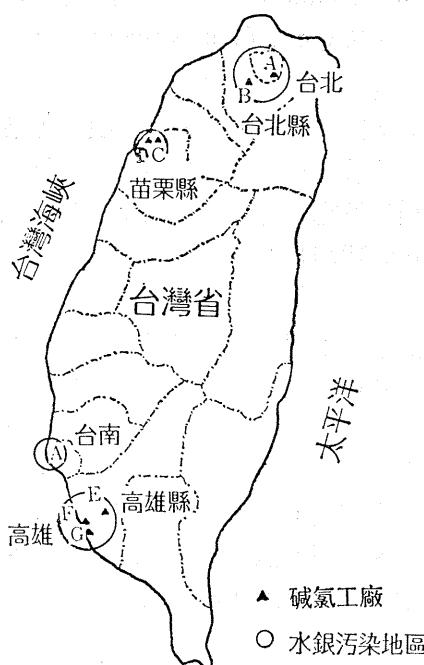
\*\*\*\* 清大原科所同位素組主任

\*\*\*\*\* 清大原科所教授

及可能污染到農漁業環境之情形如表二所示。

表一 碱氯工廠位置及附近環境

| 工廠名稱     | 位 置    | 附 近 環 境            |
|----------|--------|--------------------|
| A義芳化工廠   | 臺北市景美區 | 景美市區，後靠小山。         |
| B正泰化工廠   | 臺北縣新莊鎮 | 工業城鎮，一邊臨農業區，前有大漢溪。 |
| C華夏海灣塑膠廠 | 苗栗縣頭份鎮 | 頭份石化工業區，臨中港溪。      |
| D國泰塑膠廠   | 苗栗縣竹南鎮 | 竹南鎮內，頭份工業區旁，臨中港溪。  |
| E臺塑仁武廠   | 高雄縣仁武鄉 | 仁武工業區，臨後勁溪。        |
| F臺塑前鎮廠   | 高雄市前鎮區 | 前鎮市區，臨十字渠、高雄港。     |
| G臺碱前鎮廠   | 高雄市前鎮區 | 前鎮市區，臨十字渠、高雄港。     |
| H臺碱安順廠   | 臺南市安南區 | 日晒鹽田，海邊，臨鹿耳門溪。     |



圖一 臺灣地區八家碱氯工廠分佈圖

## 2.取樣方法

### (1)水質取樣方法：

圳道、魚池、渠道及較淺之溪流，均直接以 500cc塑膠取水瓶採表面水質；較深之河川及高雄港則以定深採樣品 (Standard Water Sampler acc. to Rutter, 1000cc/Germany) 採取上中下層之水質，取樣後裝入 500cc塑膠瓶。所有水樣採取後均立即加

表二 碱氯工廠廢水流經水域及可能污染之環境

| 工廠名稱      | 廢水流經水域                                  | 可能污染農漁業環境       |
|-----------|---|-----------------|
| A 義芳化工廠   | →景美區排水溝→新店溪                             | (新店溪水生物)※       |
| B 正泰化工廠   | →大漢溪                                    | (大漢溪水生物)※       |
| C 華夏海灣塑膠廠 | →中港溪                                    | 中港溪水生物          |
| D 國泰塑膠廠   | →山仔坪圳<br>↓<br>→灰寮溪<br>↓<br>→中港圳<br>→中港溪 | 中港圳灌溉區稻田        |
| E 臺塑仁武廠   | →後勁溪<br>→援中港圳<br>→右沖圳                   | 援中港圳及右沖圳灌溉區農作物  |
| F 臺塑前鎮廠   | →十字渠→高雄港                                | 港內底泥及水生物        |
| G 臺碱前鎮廠   |   |                 |
| H 臺碱安順廠   | →海水貯水池→鹿耳門溪                             | 鹿耳門溪水生物及附近魚池養殖魚 |

※該兩地區水域已屬下游河段，由於都市污水及工業廢水之污染，已無魚貝類存在。

入10cc之濃硝酸為保護劑。

(2)底泥及土壤之取樣方法：

較淺水域之底泥以竹竿挖取之，較深水域如河川及高雄港之底泥則以 Ekman dredge 挖取之。底泥挖取深度均為表層以下15cm之範圍，挖出之底泥以 100cc之PE. 採集瓶裝取。

稻田土壤則於灌溉區內所選定稻田之入水口處距離 1 公尺處，以 T 型不銹鋼製採土器採取表層以下10~15公分範圍內之土壤，並裝入 100cc之P.E. 採集瓶中。

另外選定一稻田，分別於距離入水口 1 公尺、5 公尺、10公尺及20公尺距離處，各採 5 瓶土壤，以瞭解稻田土壤汞含量之分佈情形。

(3)稻米取樣與稻田土壤取樣同時進行，於採稻田土壤之地點也採稻米。另在其他縣市非汞污染區採稻米為對照組，每一地點採10~20株水稻上之穀粒，並裝於塑膠袋中。

另外配合稻田土壤之採樣，於選定之稻田中，離入水口 1 公尺、5 公尺、10公尺、20公尺距離處，同時採稻米，以瞭解稻米含汞量之分佈情形。

(4)魚貝類等水生物之取樣方法：

大部份魚貝類為僱船撈捕而得，牡蠣及少部份魚類直接購自當地漁民或附近魚市場，捕獲或購得後即裝於塑膠袋中迅速置入有冰塊之冰箱，帶回實驗室貯於冷凍櫃中保存。

### 3. 分析方法

(1)水質含汞量分析方法：

以中子活化分析法 (Neutron Activation Analysis) 測定總汞含量。取水樣約 40ml，以  $0.45\mu\text{m}$  millipore membrane filter 過濾，直接裝入石英萃取管 (50cc，磨

砂石、石英塞) 中，此水樣在取樣時已加入  $\text{HNO}_3$  10cc 為保護劑，過濾後，測定 PH 值約在 1 左右。石英萃取管加入 2 ml  $\text{CHCl}_3$ ，充分振盪 2 分鐘，靜置後去掉有機相以除去溴，如此重覆二次。然後加入 1.5ml pb(DDC)<sub>2</sub>/CHCl<sub>3</sub> 萃取劑，將汞萃入有機相中 (Lo. et. al., 1977)，此有機相以石英製吸管轉移至另一較小石英萃取管(10cc) 中，加純水搖盪以洗去有機相中之鈉，靜置後去掉水相，如此重覆二次。最後以 Eppendorf pipette 取 1 ml 有機相至一小石英管 (2 cc) 中，俟  $\text{CHCl}_3$  完全揮發掉後，封住石英管，經原子爐照射後，石英管內之汞以濃硝酸洗出，以 Ge(Li) 偵測器檢定汞之伽瑪能譜，換算出汞在試樣中之含量。Ge(Li) 偵測器連接有 4096 多波道脈高分析儀。能譜面積之計算係由 Hewlett-Packard.2116C 電腦程式處理。

以  $0.45\mu\text{m}$  millipore membrane filter 過濾之目的在去除水中懸浮粒子 (Suspended particulates)，雖然此方法無法用以區別溶解汞 (Dissolved Hg) 以及附著粒子上之汞 (particulated Hg)，但此分析結果表示出所有溶解汞和從粒子脫離開之汞的總和。

(2)底泥及土壤含汞量分析方法：

以中子活化分析法測定底泥及土壤總汞含量。稱取 0.5~1.0g 之底泥或土壤，(另稱取等量之同一試樣烘乾以爲實際重量校正用)，置入 Teflon Pressure Bomb 中，加 2 ml  $\text{HNO}_3$ , 1 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ，逾夜，然後加熱 14 小時 (電爐溫度  $140^\circ\text{C}$ )，冷卻後移入石英萃取管，調節 pH 值至 2 ~ 3 之間，其餘步驟完全照水樣分析方法。

(3)稻米含汞量分析方法：

以中子活化分析法測定糙米 (unpolished rice) 之總汞含量。將稻米穀去殼後，稱取 1 ~ 4 g 試樣 (另稱取等量之同一試樣烘乾以爲實際重量校正用)，置入消化裝置 Flask 中，加入 3 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 12 ml  $\text{HNO}_3$ ，逾夜，然後加熱迴流約 3 小時，冷卻後再加熱迴流乙次，然後加入 10 ml 4 %  $\text{KMnO}_4$ , 3 ml 30 %  $\text{NaCl}$ ，加熱，冷卻後加 1 ml 10 %  $\text{NH}_2\text{OH}$ 、 $\text{HCl}$ ，然後將此溶液轉至石英萃取管 (150cc, 磨砂石、石英塞) 中調節 pH 至 2 ~ 3 之間，其餘之步驟完全照水樣分析之方法。

(4)魚貝蝦類含汞量分析方法：

稱取 1 ~ 4 克魚肉或貝肉置入消化裝置 Flask 中，加 3 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 12 ml  $\text{HNO}_3$ ，逾夜，然後加熱迴流約 3 小時，使冷卻後，再加熱迴流乙次，然後加入 10 ml 4 %  $\text{KMnO}_4$ , 3 ml 30 %  $\text{NaCl}$ ，加熱，冷卻後加 1 ml 10 %  $\text{NH}_2\text{OH}$ ,  $\text{HCl}$ ，然後將此溶液轉移至石英萃取管 (50cc, 磨砂石、石英塞) 中，調節 pH 至 2 ~ 3 間，其餘之步驟完全照水樣分析之方法 (Lo, et.al. 1978)。

魚類係取魚體背部之肌肉，蟹、蝦及貝類則除殼後取其軟體部份供作分析，牡蠣則以整體 (whole body) 供作分析

(5)魚貝蝦類甲基汞含量分析方法：

稱取 1 ~ 4 克魚肉或其他生物體，加水打碎均質化後，取 8 ~ 10 ml，加入 2 ml 8 M Urea, 1.0 ml 0.5 M CuSO<sub>4</sub>，並加入 6 ml 6 N HCl，將溶液調整至 2 N，搖動使充分混合 5 分鐘，然後以 10 ml C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> 萃取兩次，再以離心機 (5000 rpm) 離心分離兩相溶液。取有機層加入 20 ml 1 % Cysteine 充分搖盪，靜置後取水層加入 12 N HCl 10 ml，

再以 5 ml C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> 萃取。取有機層以 1  $\mu$ l Injection G. C.。

G. C. 的條件如下：

Column: Coiled quartz, 6ft length,  $\frac{1}{8}$ "id.

Packing: Thermon-HG on 80-100 mesh Chromosorb W (A WDMCS)

Inject Temp: 160°C

Oven Temp: 140°C

Detector Temp: 190°C

Carrier & Flow Rate: N<sub>2</sub>, 54cc/min

Retention Time: Benzene 0.16 min, CH<sub>3</sub>HgCl 5.00 min

### 三、結果與討論

#### 1. 環境水域汞污染

自然界中未受污染之清水，Jenne (1973) 認為水中標準溶解汞 (Dissolved Hg) 含量應該<50ng/l(0.05ppb)，而 Kothny (1973) 則認為應該<10ng/l(0.01ppb)。但是自然界水質如河川、圳道、湖泊等水與地質環境接觸，而地質中本來就存在著汞，例如岩石土壤等，甚至空氣中都存在著汞，都會影響到水質含汞程度，故如再考慮環境地質因素，河川水質含汞量也該在 0.1ppb 以下 (藤井正美，1976)，Voege (1971) 報告加拿大各地河川含汞量也在 0.09~0.1ppb 之間。

環境水域之底泥含汞量如何？依日本環境廳水質保全局 (1973) 調查全國15條河川底泥結果，含汞量大多數在 0.03~0.1ppm 之間。藤井正美 (1977) 則認為自然界中未受汞污染之河川底泥含汞量一般約 0.05ppm，最高也不超過 0.2ppm。

以水域別區分比較各污染區水質及底泥含汞量如表三及圖二所示，本次調查之水域水質含汞量平均值皆超過 0.1ppb，底泥含汞量平均值亦皆超過 0.2ppm，可見所有水域均遭受汞污染。

在遭受汞污染之水域中，以鹿耳門溪、灰寮溪、十字渠和顯宮鹽田貯水池之水質含汞量顯著地偏高，可見這些水域遭受汞污染程度較嚴重，其他水域之水質平均含汞量則在 0.6~1.4 ppb 之間，水質汞污染程度較輕微。由於在有機污染較嚴重之水域中，溶解性型態之汞較少，而大部份汞與有機粒子結合附著，附著性汞含量約為溶解性汞含量之 4 倍左右 (Klein, 1973)，而且粒子愈小，附著性汞量則愈多 (Shuman, et. al. 1977)。而本調查研究所測得大部份為溶解性汞，所以在有機污染程度較嚴重之水域，如中港溪、後勁溪、大漢溪、中港圳等，水中含汞量可能較實際測得之結果為高。

有機污染較嚴重之水域大部份附著性汞會隨粒子的沈降而存在於底泥內，底泥又可視為水域污染之歷史沈積，故以底泥含汞量之多寡來判斷該水域汞污染程度實為一相當可信之證據。由表三之結果顯示，十字渠底泥累積汞含量最高 (平均108.10ppm)，其次是顯宮鹽田貯水池和右冲圳 (平均30.62, 24.55ppm)；至於中港溪、後勁溪、鹿耳門溪、高雄港、中港圳、援中港圳、景美排水溝和新莊排水溝等汞污染段底泥平均含汞量大致在 1 ~10ppm 之

間；新店溪、大漢溪、劉厝圳等底泥平均含汞量則< 1 ppm，顯示汞污染較輕微。

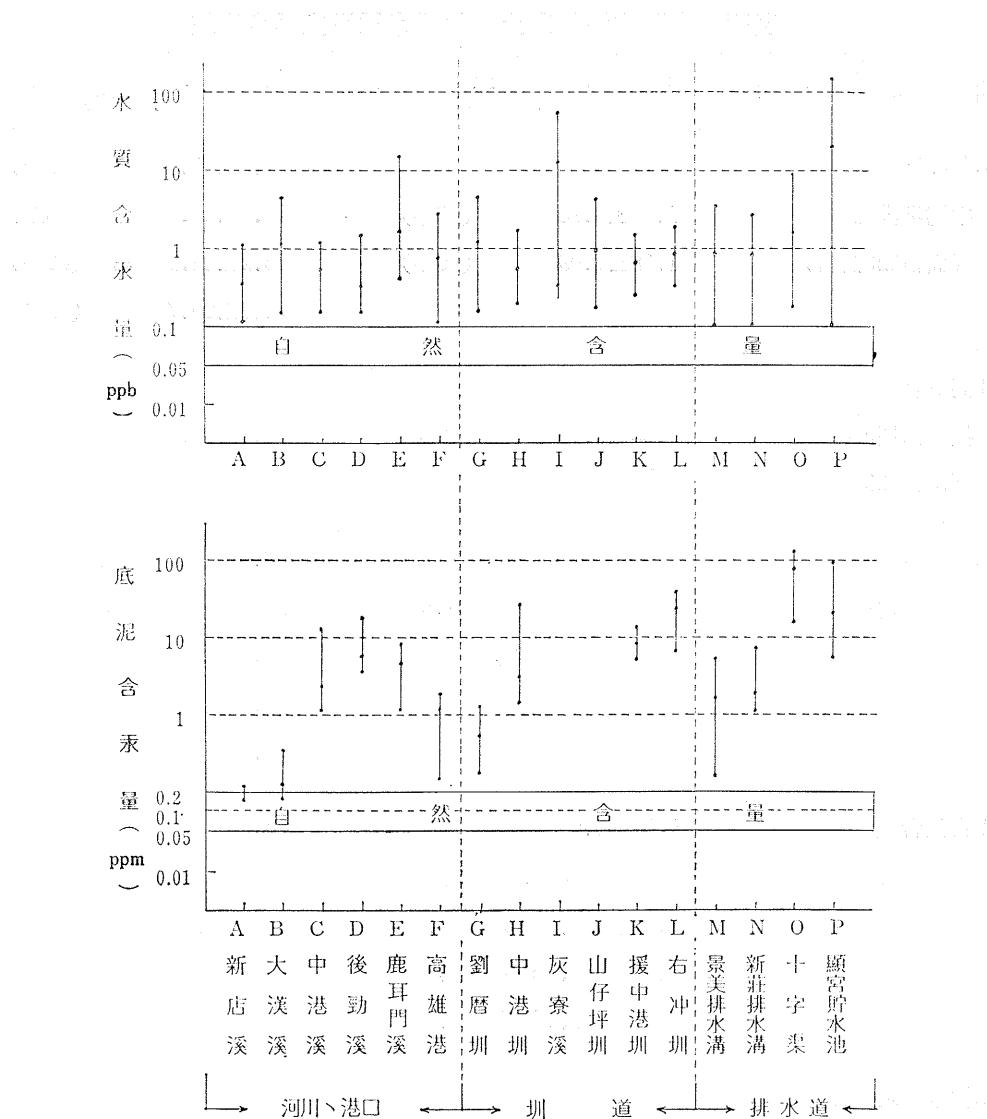
由各採樣點之水質含汞量結果觀之，臺灣地區 5 條汞污染河川中，僅鹿耳門溪有 3/15 之取樣次數比率含汞量超過 5 ppb 之河川水質標準限值，其餘各河川如新店溪、大漢溪、中港溪、後勁溪等所有取樣均未超過 5 ppb。高雄港 60 次取樣也均未超過 5 ppb 之海域水質標準限值。

臺灣灌溉水質標準限值亦是 5 ppb，由各圳道水質取樣分析結果觀之，右沖圳、援中港圳、山仔坪圳、中港圳等水質含汞量均符合標準，劉厝圳僅一次超過 5 ppb，灰寮溪有 6/12 之取樣次數比率超過 5 ppb。

若由該八家礦氯工廠之歷史、設備、廢水排放量、環境水域底泥含汞量、污染面積等方面來判斷，臺南安順鹿耳門溪下游段環境以及高雄前鎮區十字渠及高雄港與十字渠聯接段累積汞量最嚴重。如再與日本水俣灣離工廠排放口 0.5~1 km 之底泥含汞量 50~250 ppm；離排放口 3 km 之底泥含汞量 10~50 ppm 之事實比較，十字渠離工廠排放口 0.5~1 km 之底泥含汞量則為 11~185 ppm，已與日本水俣灣底泥之污染程度接近。

表三 臺灣地區汞污染水域水質及底泥含汞量

| 水 域 別     |             | 水質含汞量 (ppb) |      |           | 底泥含汞量 (ppm) |        |              |
|-----------|-------------|-------------|------|-----------|-------------|--------|--------------|
|           |             | 取樣數         | 平均   | 範 圍       | 取樣數         | 平均     | 範 圍          |
| 河 川 、 港 口 | 新店溪 (福和橋)   | 6           | 0.6  | 0.1~ 1.5  | 5           | 0.26   | 0.18~ 0.36   |
|           | 大漢溪 (浮洲橋下游) | 12          | 1.1  | 0.2~ 5.0  | 10          | 0.33   | 0.15~ 0.59   |
|           | 中港溪 (港仔墘)   | 14          | 0.7  | 0.2~ 1.0  | 10          | 4.53   | 0.96~ 17.06  |
|           | 後勁溪 (後勁橋下游) | 15          | 0.6  | 0.2~ 1.3  | 15          | 7.51   | 4.61~ 28.91  |
|           | 鹿耳門溪 (顯宮)   | 15          | 3.3  | 0.6~16.8  | 15          | 5.96   | 1.16~ 9.55   |
|           | 高雄港         | 60          | 0.9  | 0.1~ 3.9  | 40          | 1.34   | 0.42~ 3.25   |
| 圳 道       | 劉厝圳         | 6           | 1.4  | 0.2~ 6.2  | 5           | 0.79   | 0.48~ 1.39   |
|           | 中港圳         | 14          | 0.7  | 0.3~ 1.8  | 20          | 5.68   | 1.43~ 34.81  |
|           | 灰寮溪         | 21          | 10.4 | 0.4~60.9  | —           | —      | —            |
|           | 山仔坪圳        | 21          | 1.0  | 0.2~ 4.7  | —           | —      | —            |
|           | 援中港圳        | 10          | 0.8  | 0.3~ 1.8  | 5           | 9.32   | 6.54 14.87   |
|           | 右沖圳         | 10          | 1.0  | 0.5~ 2.3  | 10          | 24.55  | 7.22~ 53.81  |
| 排 水 道     | 景美排水溝       | 12          | 1.0  | 0.1~ 5.0  | 5           | 2.21   | 0.42~ 7.23   |
|           | 新莊排水溝       | 12          | 0.9  | 0.1~ 3.4  | 10          | 3.54   | 0.94~ 7.94   |
|           | 十字渠         | 15          | 2.3  | 0.3~ 9.8  | 10          | 108.10 | 11.08~184.78 |
|           | 顯宮鹽田貯水池     | 15          | 36.3 | 0.1~201.5 | 15          | 30.62  | 6.83~121.77  |



圖二 水污染區水域水質及底泥含汞量程度

## 2. 農業汞污染

碱氯工廠含汞廢水直接污染之農業地區有二：其一為中港溪下游流域之中港圳灌溉區，其二為後勁溪下游流域之援中港圳、右沖圳灌溉區；前者灌溉面積約 120 公頃，而後者約 1000 公頃。

中港圳灌溉區內於 1979 年及 1980 年連續二年選取十八塊稻田取樣分析稻田土壤及稻米含汞量，稻田土壤含汞量二年分別是 1.09 ppm, 1.08 ppm（表四），結果非常相近。又分析該二年之第一、二期稻米含汞量，結果分別是 81.5, 57.2, 46.2, 73.8 ppb（表四）。

表四 臺灣汞污染區土壤及稻米汞污染程度比較

| 地<br>區<br>污<br>染<br>物         | 稻<br>田<br>(ppm.<br>乾重)   | 土<br>壤          | 稻<br>米<br>(ppb.<br>乾重)                           | 米   |
|-------------------------------|--|-----------------|--|---|
| 1.苗栗縣<br>中港圳灌區<br>(面積120公頃)   | 1.09±0.90<br>1.08±1.09   | (68年)<br>(69年)  | 81.5±40.9<br>57.2±34.6<br>46.2±14.1<br>73.8±26.7 | (68一)<br>(68二)<br>(69一)<br>(69二)            |
| 2.高雄縣<br>援中港圳灌區<br>(面積1000公頃) | 0.65±0.26  | (69年)           | 56.5±20.2  | (69二)                                       |
| 3.對照組<br>(臺灣地區)               | 0.22   | (63年)<br>(李國欽等) | 26.0<br>26.1<br>16.3<br>23.7<br>25.9             | (65葉錫容)<br>(68一)<br>(68二)<br>(69一)<br>(69二) |
| 4.自然含量                        | 0.01—0.06<br>(1963, Martin)<br>0.07(1971, Shacklette)<br>0.06(1967, Andersen)<br>(1968, Williston) |                 | 13※<br>10—40※※                                   |   |
| 5.標準限值 (日本)                   | —  |                 | 100  |   |

※「水銀」喜田村正次等，講談社，P 150

※※「土壤污染」白亞書房，P 217

援中港圳及右沖圳灌溉區內於1980年選取十九塊稻田取樣分析稻田土壤及稻米含汞量，稻田土壤平均含汞量為0.65ppm（表四），較上述中港圳灌溉區稻田土壤含汞量為低。1980年二期作稻米平均含汞量為56.5ppb（表四）。

自然界中未受汞污染之土壤含汞量究竟如何？據 Martin (1963) 調查英國自然土壤，發現其含汞量在 0.01~0.06ppm 之間，Shacklette (1971) 調查報告全美國土壤含汞量平均為 0.071ppm, Anderssen (1967) 報告指出瑞典土壤之平均含汞量為 0.06ppm, Williston (1968) 調查美國加州土壤一般平均含汞量亦為 0.06ppm，總括上述資料，自然界中未受汞

污染之土壤含汞量應該在 0.01~0.06ppm 之間。但是臺灣和日本農地上，在過去十多年間經常使用含汞農藥（目前已不使用），使得農地上土壤含汞量高於一般自然土壤。據日本在 1970 年之調查結果（水銀，p113），一般水田平均 0.57ppm（富山縣），0.68ppm（愛媛縣）。至於臺灣一般稻田土壤，據李國欽等（1974）調查全省 19 個鄉鎮之水稻田土壤，發現地表下 5 小時內平均 0.22ppm，地表下 5 ~ 10 小時 0.15ppm，地表下 11 ~ 15 小時 0.10ppm。

由本調查結果與之比較，可知中港圳灌溉區稻田土壤含汞量較自然土壤含汞量 0.01~0.06ppm 高出 18 倍以上，也較臺灣一般稻田土壤 0.22ppm（地表下 5 小時內）高達 5 倍左右。而援中港圳及右沖圳灌溉區稻田土壤含汞量較自然土壤含汞量高出 10 倍以上，也較臺灣一般稻田土壤含汞量高 3 倍左右。

自然界未受汞污染之稻米含汞量如何？據日本在 1973 年調查全國一般未受汞污染稻田中 203 個稻米樣品（水銀，p150），結果平均含汞量為 0.013ppm (13ppb)。至於臺灣地區一般稻米含汞量如何？葉錫濬等（1976）曾分析全省 19 個稻米樣，其平均汞含量為 26.0ppb (表四)，最高為 40ppb，最低為 8 ppb，本研究中曾於 1979 及 1980 年間選取十塊非汞污染區之稻田，分析結果稻米平均含汞量分別為 26.1, 16.3, 23.7, 25.9ppb (表四)，個別數值最低為 10.5ppb，最高為 33.8ppb，故一般未受汞污染之稻米含汞量應該在 10~40ppb 之間，此與日本所測結果相似（土壤污染，p217）。

日本厚生省所訂之稻米含汞量安全限值為 100ppb (土壤污染，p218)，目前臺灣仍未規定稻米含汞量標準，如依世界衛生組織 (W. H. O.) 規定週間暫定汞攝取量 (Provisional tolerable weekly intake) 0.005mg/kg 體重為標準，則每日可接受攝取量 (acceptable daily intake，簡稱 ADI) 為 0.0007mg/kg 體重，乘上國民平均體重 50kg，則最高攝取容許量 (maximal permissible intake，簡稱 MPI) 為 0.035mg/人/日，而臺灣每人每年白米消費量民國 68 年估計為 123.68kg (郭慶和，1980)，即每人每日約 0.338kg，那麼計算出稻米之汞含量安全限值為 104ppb (0.035mg/0.338kg)，與日本所訂 100ppb 相當接近。

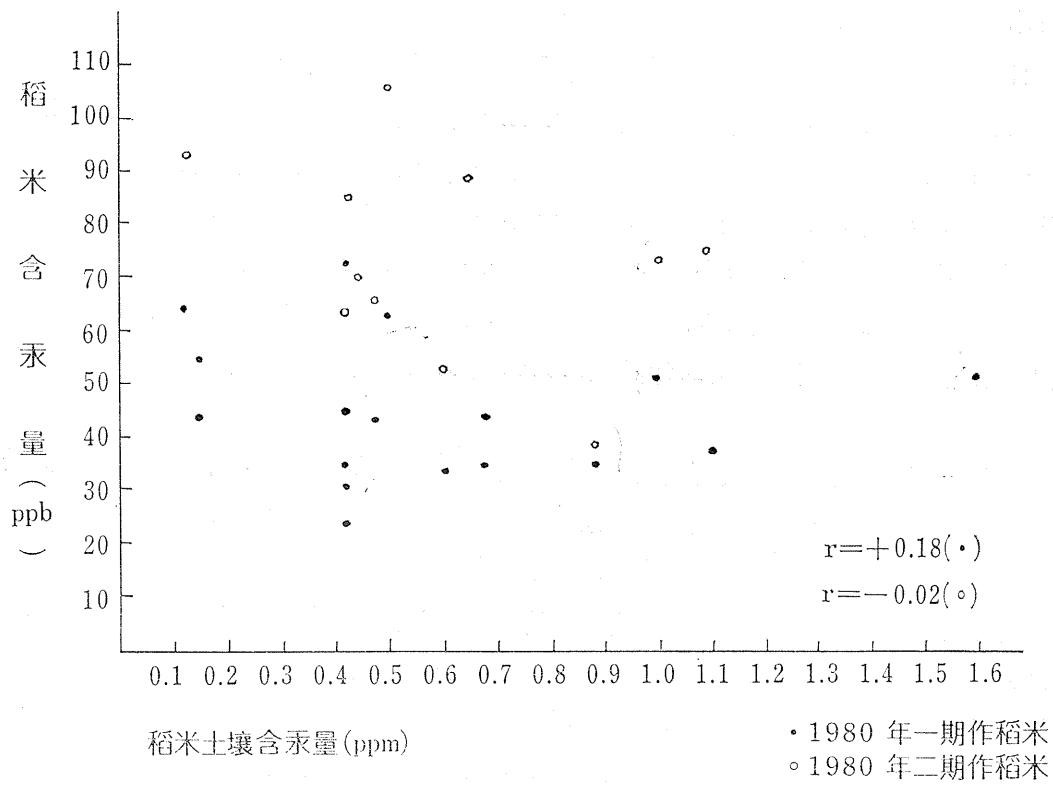
由本次中港溪灌溉區及後勁溪灌溉區稻米含汞量調查結果看來，平均含汞量均高於 40 ppb，但低於 100ppb，可見該兩汞污染區稻米含汞量確實比自然稻米為高，但仍在稻米含汞量安全限值以下，雖似乎不會造成食米汞中毒現象，但吾人仍需注意此問題。

汞污染區同一稻田內土壤及稻米含汞量情形如表七所示，就稻田土壤含汞量而言，離進水口 1 公尺處最高（平均 2.23ppm），離進水口 20 公尺處最低（平均 1.03ppm），兩者有顯著差異 ( $t=2.879$ ,  $df=4$ ,  $p<0.05$ )，可見離遠水口距離愈遠，則土壤含汞量愈低。推論其原因，汞易附著粒子上，隨著水流流入稻田，因附著及沉澱等因素，容易在最近的距離沉積於土壤中，距離愈遠則濃度愈低。王銀波（1980）之報告指出，銅對稻田土壤之污染以進

水口為最嚴重，隨著進水口之距離而減輕，本研究結果與之相同，可見重金屬之土壤污染均有相似之情形。

表七 汞污染區同一稻田內土壤及稻米含汞量分佈情形  
(中港圳灌溉區52號田)

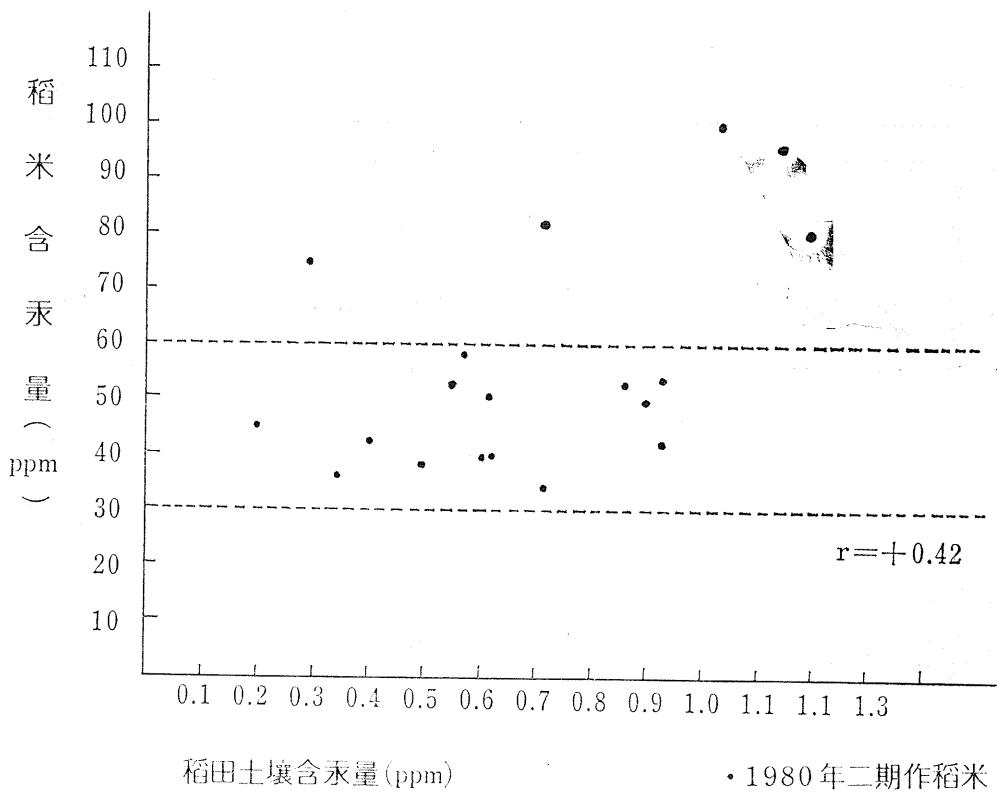
| 離入水口距離 | 1公尺      |          | 5公尺  |      | 10公尺 |      | 20公尺 |      |
|--------|----------|----------|------|------|------|------|------|------|
|        | 土壤       | 稻田       | 土壤   | 稻田   | 土壤   | 稻田   | 土壤   | 稻田   |
| 含汞量    | 1.61     | 62.7     | 2.15 | 51.3 | 0.82 | 51.9 | 1.08 | 55.5 |
|        | 2.61     | 46.0     | 3.47 | 64.4 | 1.64 | 53.7 | 1.12 | 61.0 |
|        | 1.90     | 43.1     | 2.04 | 75.9 | 0.65 | 53.3 | 0.87 | 48.4 |
|        | 3.34     | 30.2     | 1.31 | 74.1 | 1.83 | 59.4 | 0.69 | 50.6 |
| 平均值    | 1.70     | 48.2     | 1.04 | 65.0 | 1.51 | 48.3 | 1.40 | 58.5 |
|        | 2.23 ppm | 46.0 ppb | 2.00 | 66.1 | 1.29 | 53.3 | 1.03 | 54.8 |



圖三 中港址灌溉區稻田土壤含汞量與稻米含汞量之關係

但是同一稻田內稻米含汞量與進水口距離卻沒有明顯的關係存在，由表七之結果看來，5公尺、10公尺、15公尺之稻米與1公尺之稻米含汞量並無顯著差異 ( $t_{1-5}=2.159$ ,  $t_{1-10}=1.364$ ,  $t_{1-20}=1.860$ ,  $df=4$ ，三者之  $p$  均大於0.05)，推論其原因，稻米含汞量之多寡，除了土壤中存在汞量多寡之因素外，尚有其他影響因素，例如汞在土壤中存在之型態；土壤中化學條件；稻作根之吸收能力……等等，因此汞究竟如何由土壤中進到稻株，以至稻米之機制 (mechanism) 必須完全了解，才能解釋此原因。

由圖三和圖四顯示，稻田土壤含汞量與稻米含汞量無一定之關係存在 ( $r=+0.18$ ,  $-0.02$ ,  $+0.42$ ,  $r<\pm 0.5$ )，也就是說無法從稻田土壤含汞量來推測稻米含汞量之程度，其原因可能與上述推論相同。但從圖四顯示，後勁溪灌溉區稻田含汞量在0.2~1.0ppm範圍內的土壤，其稻米含汞量有82% (14/19) 在30~60ppb之範圍內，是否稻田土壤含汞量在某範圍內時，稻米含汞量並未隨土壤含汞量之增加而增加，而僅存在某程度之範圍內？或許是在某土壤化學條件下才有此現象，值得更進一步之調查探討。



### 3. 漁業汞污染

本省漁業直接遭受碱氯工廠廢水污染之地區有三，其一為中港溪下游河口港仔墘至出海口之間，其二為鹿耳門溪下游河口及廠旁海水貯水池，其三為高雄港。中港溪汞污染區所捕獲之水生物有魚類九種共131尾，貝類三種共301隻，牡蠣20隻，全部試樣係於1978年9月至

1980年2月間所捕獲。鹿耳門溪汞污染區所捕獲之水生物有魚類五種共115尾，蝦一種計13尾，全部試樣係於1980年9月至1981年5月間捕獲。鹿耳門溪旁海水貯水池所捕獲之水生物有魚類九種共47尾，全部試樣係於1980年9月至1981年9月間捕獲。高雄港內所捕獲之水生物有魚類五種共63尾，蝦類二種共55尾，全部試樣係於1982年4月至9月間捕獲。

目前臺灣對於魚貝類含汞量標準尚未規定，如依美國聯邦食品藥物管理局（U. S. F. D. A.）的規定，魚貝類總汞含量限值為0.5ppm，日本厚生省公佈之標準為0.4ppm，其他國家如義大利則為0.7ppm，瑞典為1ppm，世界各國沒有統一的標準，但無論如何，高於所定標準之魚類一律不准出售食用。

(1)由表八可知，中港溪下游汞污染區所捕獲之魚貝類中，除黑點河鮋含汞量較低以外，其餘12種類之平均含總汞量均在0.1~1.0ppm之間，尤其是花身雞魚、鰓華鱈、大鱗鱈

表八 中港溪魚貝肉及牡蠣之含汞量

單位：ppm( $\mu\text{g/g}$ ) 濕重量

採樣日期：1978年9月至1980年2月

| 種類                                    | 數量(尾) | 體長(cm)         | 含汞量(ppm)           |
|---------------------------------------|-------|----------------|--------------------|
| 1. Terapon jarbua<br>花身雞魚             | 75    | 8.4(6-11)      | 0.662(0.158-1.010) |
| 2. Liza carinata<br>鰓華鱈               | 16    | 10(9-11)       | 0.537(0.113-0.949) |
| 3. Liza macrolepin<br>大鱗鱈             | 10    | 10.3(9.2-11.0) | 0.501(0.294-0.773) |
| 4. Mugil dussumieri<br>白鱈             | 12    | 11.5(11-14)    | 0.470(0.126-0.815) |
| 5. Mugil affinis<br>鋸鱈                | 9     | 11.0(9.5-12.3) | 0.256(0.112-0.619) |
| 6. Mugil kelaartii<br>噶拉鱈             | 4     | 7.0(6.7-7.6)   | 0.532(0.425-0.637) |
| 7. Acanthopagrus sivicolus            | 2     | 15(12-18)      | 0.998              |
| 8. Fugu niphobles<br>星點河鮋             | 2     | 4.0(3.6-4.4)   | 0.081              |
| 9. Eleutheronema letradactylum<br>四絲馬 | 1     | 10             | 0.346              |
| 10. Cyclina orientalis<br>蜆           | 240   | 3.5(2.4-4.8)   | 0.295(0.074-1.160) |
| 11. Meretrix lusoria<br>文蛤            | 60    | 3.4(2.3-4.3)   | 0.395(0.164-1.002) |
| 12. Anadara granosa<br>灰貝             | 1     | 3.8            | 0.137              |
| 13. Crassostrea gigas<br>牡蠣           | 20    |                | 0.318(0.157-0.516) |

、噶拉鱈、*Acanthopagrus sivicolus* 等平均含總汞量皆已超過 0.5ppm 之限值，應該禁止捕食。總計該污染區魚貝類約有30%以上之個體含汞量超過 0.5ppm 限值。

(2)由表九可知，鹿耳門溪下游汞污染區捕獲之六種魚蝦類中，肌肉組織含總汞量最低為 0.068ppm ( $\mu\text{g/g}$ ，濕重量)，最高為 1.719ppm，各種魚蝦類之平均含總汞量在0.2~1.0ppm之間，其中以條紋塘鱧 (*Eleotris fasciatus*) 平均含總汞量1.006ppm為最高，其次是鰓華鱈 (*Liza carinata*) 為 0.663ppm，該兩種魚之平均含總汞量皆已超過 0.5 ppm 之限值，應該禁止居民食用。其餘三種魚類——花身雞魚、吳郭魚、長頭鱖以及蝦類等平均含總汞量則低於此限值，但總計該污染區魚蝦類約有40%以上之個體超過限值。

表九 鹿耳門溪魚蝦類含汞量 ( $\mu\text{g/g}$  濕重量)

採樣日期：1980年9月至1981年5月

| 種類  | 數量(尾) | 體長(cm)              | 總汞量                    | 甲基汞量                   | 甲基汞/總汞 |
|---|-------|---------------------|------------------------|------------------------|--------|
| 1. <i>Terapon jarbua</i><br>花身雞魚          | 26    | 6.2<br>(4.8~7.5)    | 0.204<br>(0.127~0.402) | 0.133<br>(0.125~0.146) | 65%    |
| 2. <i>Liza carinata</i><br>鰓華鱈            | 30    | 9.0<br>(6.4~12.0)   | 0.663<br>(0.068~1.511) | 0.236<br>(0.031~0.677) | 36%    |
| 3. <i>Eleotris fasciatus</i><br>條紋塘鱧      | 26    | 6.3<br>(3.7~9.0)    | 1.006<br>(0.262~1.719) | 0.818<br>(0.102~1.845) | 81%    |
| 4. <i>Tilapia aurea</i><br>吳郭魚            | 27    | 8.2<br>(4.4~10.2)   | 0.271<br>(0.084~0.551) | 0.206<br>(0.085~0.347) | 76%    |
| 5. <i>Hemirhamphus intermedius</i><br>長頭鱖 | 6     | 12.8<br>(12.5~14.6) | 0.453<br>(0.290~0.540) | 0.400<br>(0.367~0.469) | 88%    |
| 6. <i>Parapenaeopsis carnuta</i><br>蝦     | 13    | 6.5<br>(4.8~7.5)    | 0.278<br>(0.093~0.352) | 0.168<br>(0.071~0.301) | 60%    |

(3)臺碱安順廠含汞廢水排入海水貯水池之東南隅，該池長約480公尺，寬約290公尺，面積約14公頃，沙底為沙質底泥。該池有二水門與鹿耳門溪相通，水流隨漲退潮進出貯水池，溪中之魚蝦類也跟著進入貯池水中。由表十可知，海水貯水池內捕獲之九種魚類中，所有魚種之平均含汞量皆超過 0.15ppm 限值。魚體最高含汞量達 3.132ppm，最低含汞量為 0.156ppm，全部47尾試樣中僅有 7 尾含汞量低於限值，也即是說有85%以上之個體含汞量超過限值。其中以印度牛尾魚 (*Platycephalus indicus*) 及條紋塘鱧 (*Eleotris fasciatus*) 含汞量較高，以高鼻水滑 (*Nematolosa nasus*) 最低。

(4)由於本計畫調查十字渠水質及底泥發現十字渠已遭受嚴重汞污染，所以極欲知道該區域內水生物含汞量程度，但十字渠河段因嚴重水污染，已無大型水生物如魚蝦類存在，故無法調查。然因十字渠通往高雄港，港內魚蝦類含汞量之調查分析亦可供評估臺碱前鎮廠及臺塑前鎮廠二碱氯工廠汞污染對港內水生物之影響。

由表十一魚蝦類肌肉含汞量分析結果可知，所有樣品含汞量皆低於 0.5ppm 限值，

表十 海水貯水池內魚類含汞量 ( $\mu\text{g/g}$  濕重量)

採樣日期：1980年9月至1981年9月

| 種類                                       | 數量<br>(尾) | 體長(cm)              | 總汞量                    | 甲基汞量                   | 甲基汞<br>/總汞 |
|--|-----------|---------------------|------------------------|------------------------|------------|
| 1. <i>Nematolosa nasus</i><br>高鼻水滑       | 7         | 9.5<br>(8.0-11.5)   | 0.538<br>(0.323-0.901) | 0.412<br>(0.257-0.506) | 77%        |
| 2. <i>Gerres abbreviatus</i><br>短鑽嘴      | 8         | 5.0<br>(3.6-6.0)    | 0.579<br>(0.423-0.718) | 0.604<br>(0.530-0.653) | 100%       |
| 3. <i>Liza carinata</i><br>鰩 華鱈          | 12        | 14.2<br>(11.2-17.4) | 1.272<br>(0.723-1.750) | 0.568<br>(0.335-0.763) | 45%        |
| 4. <i>Tilapia aurea</i><br>吳郭魚           | 12        | 10.5<br>(7.6-13.6)  | 1.398<br>(0.156-2.039) | 0.702<br>(0.188-1.906) | 50%        |
| 5. <i>Eleotris fasciatus</i><br>條紋塘鱧     | 2         | 7.6<br>(7.0-8.5)    | 2.521<br>(1.910-3.132) | 1.911<br>(1.704-2.118) | 76%        |
| 6. <i>Sillago japonica</i><br>青沙鮫        | 2         | 15.1<br>(13.4-16.5) | 1.667<br>(0.722-2.612) | 1.031<br>(0.605-1.456) | 62%        |
| 7. <i>Lateolabrax japonicus</i><br>鱸魚    | 1         | 11.3                | 2.115                  | 1.855                  | 88%        |
| 8. <i>Rhinogobius nebulosus</i><br>雲紋蝦虎  | 2         | 10.8<br>(10.5-11.0) | 1.235<br>(1.110-1.359) | 1.145<br>(0.962-1.327) | 93%        |
| 9. <i>Platycephalus indicus</i><br>印度牛尾魚 | 1         | 16.0                | 3.109                  | 2.200                  | 71%        |

表十一 高雄港魚蝦類含汞量 ( $\mu\text{g/g}$  濕重量)

採樣日期：1982年4月至1982年9月

| 種類                                   | 數量<br>(尾) | 體長(cm)              | 總汞量                    | 甲基汞量                   | 甲基汞<br>/總汞 |
|--------------------------------------|-----------|---------------------|------------------------|------------------------|------------|
| <i>Lutjanus ehrenbergii</i><br>愛倫氏笛鯛 | 18        | 14.7<br>(8.7-21)    | 0.138<br>(0.073-0.253) | 0.094<br>(0.048-0.182) | 68%        |
| <i>Epinephelus fario</i><br>青點石斑     | 20        | 13.3<br>(10.1-19.7) | 0.219<br>(0.084-0.386) | 0.154<br>(0.041-0.228) | 70%        |
| <i>Johnius dussumieri</i><br>杜氏鯱     | 8         | 11.1<br>(8.2-18.1)  | 0.083<br>(0.056-0.121) | 0.066<br>(0.048-0.089) | 80%        |
| <i>Pomadasys hasta</i><br>星雞魚        | 2         | 13.5<br>(12.3-14.7) | 0.127<br>(0.106-0.147) | 0.108<br>(0.078-0.137) | 85%        |
| <i>Gerres fibamentosus</i><br>曳絲鑽嘴   | 15        | 12.6<br>(7.2-13.7)  | 0.109<br>(0.044-0.220) | 0.090<br>(0.053-0.183) | 83%        |
| <i>Squilla latreillei</i><br>蝦蛄      | 10        | —                   | 0.082<br>(0.053-0.104) | 0.060<br>(0.044-0.083) | 73%        |
| <i>Metapenaeus monoceros</i><br>蝦    | 35        | —                   | 0.028<br>(0.016-0.040) | 0.023<br>(0.011-0.028) | 82%        |
| 長腳蝦                                  | 20        | —                   | 0.022<br>(0.010-0.040) | 0.022<br>(0.017-0.036) | 100%       |

而含汞量範圍在 0.010~0.386ppm 之間，總平均含汞量約為 0.1ppm。魚類以青點石斑 (*Epinephelus fario*) 含汞量較高，而三種蝦類之含汞量平均值皆在 0.1ppm 以下。由結果判斷，港內魚蝦類累積汞程度極微，可能之原因有二：①高雄港面積水深，雖十字渠汞污染嚴重，但含汞污水流到港內即被大量的海水稀釋，而且港內水流暢，含汞污水不會停滯在某一地區，故港內汞污染輕微，高雄港水質及底泥含汞量調查資料顯示此結果），魚蝦類累積汞量因而輕微。②港內魚蝦類游動性大，自由來往於港內或港外，非長期定居於該處，故累積汞程度不顯著。

1974年間鄭森雄等曾調查高雄港內魚蝦類之重金屬含量，當時魚蝦類肌肉含汞量範

表十二 臺灣地區水域及日本水俣灣魚類汞含量之比較

| 地<br>區                                    | 年<br>代       | 種類數 | 總<br>汞<br>含<br>量   | 高<br>汞<br>含<br>量<br>之<br>種<br>類 |
|---|--------------|-----|--------------------|---------------------------------|
| Taiwan Coast (1)<br>臺灣沿海                  | 1971         | 7   | 0.13(0.04~0.42)    | Rounding herring<br>鱸           |
| Taiwan Coast (2)<br>臺灣沿海                  | 1973         | 50  | 0.09(0~0.49)       | Muraenesox cinereus<br>海<br>鰻   |
| Taiwan's Cultured Fish Pond (3)<br>臺灣養殖魚塭 | 1973         | 5   | 0.08(0~0.17)       | Silver carp<br>鯉<br>魚           |
| Keelung Harbor (4)<br>基隆港                 | 1973         | 6   | 0.28(0.1~0.62)     | Cavalla<br>鯷                    |
| Kaohsiung Harbor (5)<br>高雄港               | 1974         | 12  | 0.17(0.12~1.13)    | Crammoplites scobina<br>橫帶牛尾魚   |
| Tatu River (6)<br>大肚溪                     | 1974         | 7   | 0.38(0.3~0.7)      | Parasilurus asotus<br>鮀         |
| Chung-Kang River<br>中港溪                   | 1979         | 12  | 0.436(0.081~0.998) | Acanthopagrus sivicolus         |
| Lu-Ar-Man Stream<br>鹿耳門溪                  | 1981         | 6   | 0.479(0.204~1.006) | Eleotris fasciatus<br>條紋塘鱧      |
| Seawater Reservoir<br>海水貯水池               | 1982         | 9   | 1.604(0.538~3.109) | Platycephalus indicus<br>印度牛尾魚  |
| Minanata Bay (7)<br>水俣灣                   | 1958         | 4   | 11.1(4.5~24.1)     | Sparus latus<br>烏○              |
| Vicinity of Minamata Bay (7)<br>水俣灣附近     | 1958<br>1960 | 8   | 4.97(0.66~11.4)    | Saurida argyrophaeres<br>狗母     |

(1)葉錫溶等，1973，Chemistry，2：33~37

(2)黃蔭輝等，1974，中國水產，216：16~18

(3)鄭森雄等，1973，中研院動物所報告，12 (2)：79~85

(4)鄭森雄等，1974，臺灣水產學會刊，1 (2)：78~81

(5)鄭森雄等，1974，臺灣水產學會刊，1 (3)：29~32

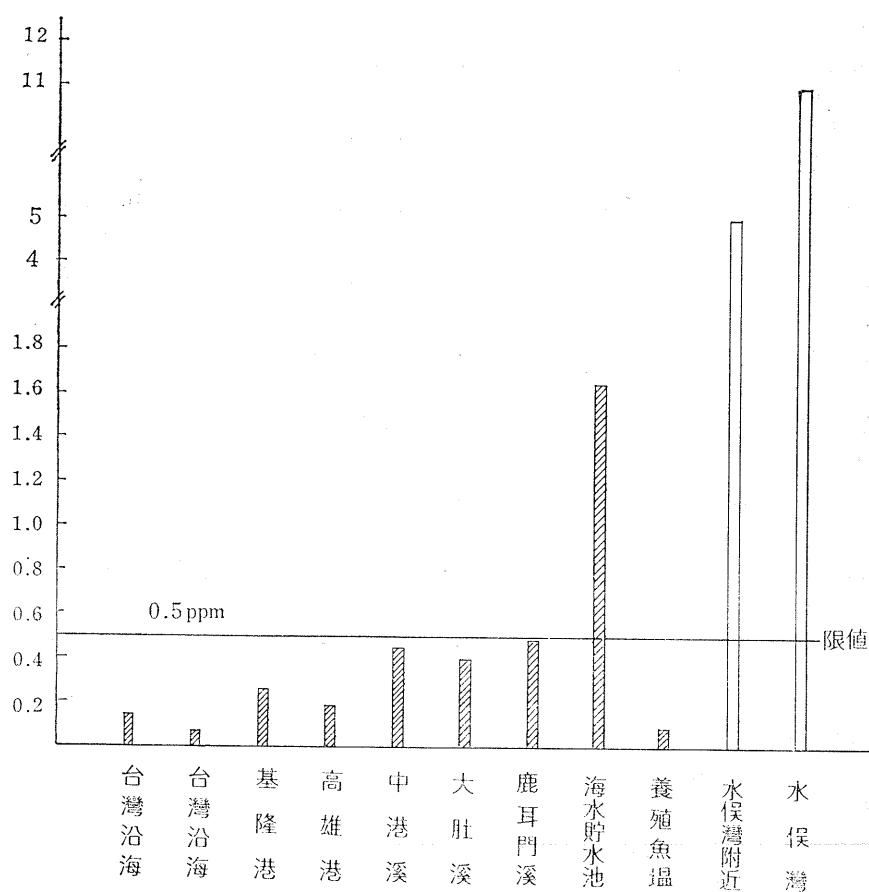
(6)鄭森雄等，1974，Fisheries Series No. 22 p. 43

(7) Kita, S. S. et al, 1977, Minamata Disease Report

圍在 0.02~1.13ppm 之間，總平均為 0.17ppm，與本次調查結果相近，八年來港內魚蝦類遭受汞污染程度似未顯著地加重。

(5)甲基汞為魚體組織中之最主要型態 (Gardner et. al., 1978)，不論汞之無機汞或有機汞型態進入魚體中，最後大部份以甲基汞等有機汞型態存在魚體組織中。Bache, Cutenmann 和 Lisk (1971) 分析虹鱒甲基汞含量時，發現甲基汞佔總汞含量之30~100%。而且與魚齡有關，魚齡愈大則甲基汞佔總汞量之比率也愈高，但魚齡在3年以下之魚體中甲基汞佔總汞量之比率均低於80%。本調查研究中對魚體除分析總汞含量以外，為瞭解臺灣汞污染區魚體中甲基汞佔總汞量之比率，同時測定甲基汞含量。由表九、十、十一可知，甲基汞佔總汞量之比率大部份在60~80%之間，雖有鮀華鯡較特殊，在鹿耳門溪及海水貯水池內捕獲者，其甲基汞／總汞比率36%，45%均最低。

(6)至於汞污染區水域魚貝蝦類含汞量是否較臺灣其他地區之魚貝類為高？以及引起水俣病的潛在危險性的程度如何？吾人可從表十二及圖五加以討論。



圖五 臺灣地區和日本水俣灣漁類含汞量之比較

依據表十二之資料顯示，鹿耳門溪及中港溪汞污染區魚貝蝦類含汞量顯然地比臺灣沿海魚類為高，例如葉錫溶等(1973)測得臺灣沿海帶回之魚貝類含汞量平均為0.13ppm，黃蔭墀等（1974）測得基隆漁船從臺灣沿海帶回之魚貝類含汞量平均也僅為0.09ppm。至於基隆港和大肚溪兩處因受工業廢水的污染，魚貝類含汞量較高，據鄭森雄等（1973、1976）調查結果為0.28、0.38ppm，均比中港溪（0.425ppm）鹿耳門溪（0.479ppm）為低。再與1958年日本發生水俣病地區的水俣灣魚貝類含汞量比較，水俣灣魚貝類含汞量為4.5~24.1ppm，總平均為11.1ppm（水銀，p171），為中港溪魚貝類總平均的26倍以上，為鹿耳門溪魚貝類總平均的23倍以上；而水俣灣附近沿海魚貝類含汞量平均4.97ppm（水銀，p166），也是中港溪魚貝類的12倍，鹿耳門溪魚貝類的10倍左右。由此觀之，中港溪和鹿耳門溪魚貝類含汞量造成水俣病的威脅尚輕，僅較臺灣一般沿海魚類含汞量稍高而已。

#### 四、結論

汞是毒性極強的重金屬污染物之一，不論是金屬汞或汞化合物對所有生物都具毒性，世界糧農組織（F. A. O.）將它列為一級毒物。當它進入環境中，濃度高時則危害農作物和水產生物，濃度較低時則因生物蓄積作用（Bioaccumulation），經由食物鏈途徑進入人體，有危害國民健康之虞，故本調查研究工作中，除了瞭解碱氯工廠環境水質、底泥、土壤等汞污染情形外，更注重稻米、魚貝蝦類體內含汞量情形，以保障國人之健康問題。

經四年來之調查研究，大致可獲得如下之結論：

- (1)臺灣之碱氯工廠確實造成環境之汞污染現象，而污染較嚴重且造成農漁業汞污染之地區有  
①中港溪下游竹南中港地區，②鹿耳門溪下游安順顯宮地區，③後勁溪下游楠梓右昌地區，  
④高雄市前鎮區十字渠和高雄港等四區。
- (2)該四污染區水質含汞量均高過 0.1ppb 自然含量，各水域平均含汞量在 0.6 至 3.3ppb 之間。但顯宮海水貯水池及灰寮溪之水質汞污染最嚴重，為自然含量之數百倍。
- (3)該四污染區水域底泥累積多量之汞，以十字渠濃度為最高，約為自然含量之 500 倍，其次是顯宮海水貯水池，其餘各水域底泥平均含汞量均在 1 ~ 10ppm 之間，也已超過自然含量之 5 ~ 50 倍以上。
- (4)竹南中港地區 120 公頃中港圳灌溉區及楠梓右昌地區 1000 公頃灌溉區之稻田土壤平均含汞量為一般稻田土壤的 5 倍及 3 倍。
- (5)臺灣地區未受汞污染之稻米含汞量在 10 ~ 40ppb 之間，上述兩污染區稻米平均含汞量雖然高於一般稻米含汞量，但幸仍在安全限值 100ppb 以下。不過稻米污染問題關係國民健康，吾人仍不可掉以輕心。
- (6)同一稻田土壤含汞量以進水口處最高，離進水口距離愈遠則含汞量愈低。但同一稻田內稻米含汞量與進水口距離未有明顯的相關存在。同時汞污染區內土壤汞含量與稻米汞含量之相關性不高，可能與土壤化學條件有關。
- (7)該四污染區內漁類汞污染情形以臺碱安順廠旁海水貯水池最嚴重，約有 85% 之魚體含汞量超過 0.5ppm 之限值，最高達 3.132ppm，應嚴禁居民捕食該池之魚類。其次是鹿耳門溪

下游及中港溪下游，分別有40%及30%之魚體含汞量超過0.5ppm 限值。至於高雄港魚類於本次調查所得均低於限值，顯示高雄港魚類汞污染較輕微。

- (8) 污染區魚類含汞量均較臺灣沿海之魚類為高，但與1958年日本發生水俣病當時水俣灣魚貝類含汞量平均11.1ppm比較，魚類汞污染程度造成水俣病的威脅尚輕，但已接近危險程度了。為免重蹈日本水俣病之覆轍，仍應時時警惕，小心防範，以確保國人之健康與安全。
- (9) 碱氯工廠造成環境汞污染已達為害國人健康之程度，尤其污染到魚類及稻米時，更時時威脅到消費者之安全。而汞一旦進到環境中就很難消除掉，為免繼續加重環境汞污染程度，碱氯工廠應加強汞污染之防治工作。

## 五、誌謝

本計畫執行期間，承蒙竹南市水利會工作站翁先生及梓楠水利會工作站劉先生之協助稻米採樣，魏榮輝先生協助鹿耳門溪水生物採樣，中央研究院動物所李信徹教授之協助鑑定魚貝類，得以順利完成此計畫，在此一併表以謝忱。

## 六、參考文獻

- Anderssen, A. (1967) Oikos Supply 9:13
- Dakir, F. et. al. (1973) Methyl Mercury Poisoning in Iraq. Science. 181, 230-241
- Flewelling, F. J. (1971) Loss of Mercury to the Environment from Chlor-Alkali Plants. I. Mercury in Man's Environment. Proc. Special Symp. R. Soc. Can., 34-39
- Gardner, W. S., et. al. (1978) The Distribution of Methyl Mercury in a Contaminated Salt Marsh Ecosystem, Environmental Pollution, 15, 243-251
- Hattula, M. L., Sarkka, J., Jamatinen, J., (1978) Total Mercury and Methyl Mercury Contents in Fish from Lake Paijanne. Environmental Pollution, 17:19-29
- Irukayama, K. (1966) Third Int. conf. Water Pollution Research Section III, Paper 8, p. 13
- Jenne, E. A. (1973) Mercury in Waters of the Western U. S., In Mercury in the Western Environment edited by Buhler, D. R., p. 16-18, Continuing Educations, Publications, Corvallis, Oregon.
- Jernelov, A. & Wallin, T. (1973) Air-Borne Mercury fall-out on snow around five swedish Chlor-Alkali Plants. Atoms. Environment, 7:209-214
- Klein, D. H. (1973) Environmental Protection Technology Survey. E-P-A 660/2-73-008, December
- Kotny, E. L. (1973) The Three-phase Equilibrium of Mercury in Nature. Adv. Chem. Ser. 123:48-488

- Li, G. C. Lee, Y. S. and Liu, S. T. (1974) Residual Mercury Levels in the Paddy Soils of Taiwan, Plant Protection Bulletin, 15(4), 170-174
- Lo, J. M., Wei, J. C., Yeh, S. J. (1977) Preconcentration of Mercury, Gold, and Copper in Seawater with Lead Diethyldithio-carbamate for Neutron Activation Analysis. Anal. Chem., 49:1146-1148
- Lo, J. M., Wei, J. C., and Yeh, S. J. (1978) Determination of Mercury in Human Urine by Neutron Activation Analysis, with Lead Diethyldithiocarbamate as A Preconcentration Agent. Analytic Chimica Acta, 97: 311-316
- Martin, J. T. (1963) Analyst, 88:413
- Shuman, M. S., Smock, L. A. & Haynie, C. L. (1977) Metals in the Water, Sediments and Biota of the Haw and Hope Rivers, North Carolina UNC-WRRI-77-124
- Shacklette H. et. al. (1971) Geological Survey Circular, p:644
- Voege, F. A. (1971) Levels of mercury contamination in water and its boundaries, in Mercury in Man's Environment. Proc. Roy. Can., Symp. Fed. 15 to 16, p:107
- Williston, S. H. (1968) J. Geophys Res., 73:7051
- Yeh, S. J., Chen, P. Y., Ke, C. N., Hsu, S. T. and Tanaka, S. (1976) Neutron Activation Analysis for Trace Elements in Unpolished Rice. Analytis Chimica Acta, 87 (1976) 119-124
- 王銀波 (1980) 重金屬對土壤及作物之污染及其對策之研究。農發會六十九年度水污染影響農業實況調查研究報告。
- 林志森 (1978) 碱氯工廠水銀污染防治研究，經濟部工業局研究報告，p20-36
- 郭慶和 (1980) 應用水之供需方式檢討稻米倉庫容量，中國農業工程學報第二十六卷第一期 p.7
- 葉錫濬、陳炳耀、張為憲 (1973) 以中子活化分析法測定魚肉中汞含量，Chemistry, 2:32-37
- 黃蔭墀、黃西穀 (1974) 臺灣魚市場漁獲物汞污染之研究，中國水產, 216:16-18
- 喜田村正次等 (1977) 水銀，講談社，p.113, 115, 150
- 鄭森雄、黃耀文 (1973) 臺灣養殖魚貝類之重金屬含量，中央研究院動物所報告，12(2) 79-85
- 鄭森雄等 (1973) 基隆港捕獲魚貝類之重金屬含量，臺灣水產學會刊，1(2):78-81
- 鄭森雄、王果行、黃耀文、連壯林 (1974) 高雄港捕獲魚貝類之重金屬含量，臺灣水產學會刊，1(3):29-32
- 鄭森雄 (1974) 臺灣中南部地區水質及其對魚貝類之影響，中國農村復興聯合委員會漁業專輯第22號，p.43
- 環境廳土壤農藥課 (1973) 土壤污染，白亞書房，p.216-218
- 藤井正美 (1977) 地圈、水圈および氣圈中の水銀の分佈，水銀，p.104, 121