

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

台灣西南沿海地區地下水養殖虱目魚之砷、銅、鋅累積研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2313-B-343-001-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：南華大學通識教學中心

計畫主持人：林明炤

計畫參與人員：廖中明、林欣儀、陳英成、歐任淳、吳婉甄、許瑛玳、涂宜君

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 10 月 28 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

台灣西南沿海地區地下水養殖虱目魚之砷、銅、鋅累積研究
Bioaccumulation of Arsenic, Copper and Zinc in Milkfish (*Chanos chanos*) from Farms using Groundwater in Southwest Coast of Taiwan

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫
計畫編號：NSC 92-2313-B-343-001
執行期間：92年08月01日至93年07月31日

計畫主持人：林明炤

共同主持人：

計畫參與人員：廖中明、林欣儀、陳英成、歐任淳、吳婉甄、許瑛玳、涂宜君

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：南華大學 通識教學中心

中 華 民 國 九 十 三 年 十 月 三 十 日

台灣西南沿海地區地下水養殖虱目魚之砷、銅、鋅累積研究
Bioaccumulation of Arsenic, Copper and Zinc in Milkfish (*Chanos chanos*)
from Farms using Groundwater in Southwest Coast of Taiwan

(一) 中文摘要

台灣西南沿海地區地下水養殖虱目魚之砷、銅、鋅累積研究

關鍵詞：生物累積，砷，銅，鋅，地下水，虱目魚，養殖

本計畫針對烏腳病疫區進行地下水養殖虱目魚之砷、銅、鋅累積研究，根據野外採得之養殖魚類及池水，分析池水的砷、銅、鋅濃度及虱目魚體內的累積量，進而推估虱目魚的對砷、銅、鋅的生物濃縮因子 (BCF)。結果顯示，養殖池池水砷、銅、鋅的總平均值分別為 $92.03 \pm 106.59 \mu\text{g L}^{-1}$ 、 $69.73 \pm 27.81 \mu\text{g L}^{-1}$ 和 $58.79 \pm 19.73 \mu\text{g L}^{-1}$ 。其中砷、銅含量分別超過法定標準值 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ 及 $30 \mu\text{g L}^{-1}$ ，鋅含量則低於法定標準值 $500 \mu\text{g L}^{-1}$ 。虱目魚魚體的平均砷、銅、鋅含量分別為 $0.81 \pm 1.17 \mu\text{g g}^{-1}$ 、 $2.01 \pm 0.96 \mu\text{g g}^{-1}$ 、 $40.31 \pm 17.25 \mu\text{g g}^{-1}$ 。其累積砷之 BCF 值為 12.60 ± 4.68 ；累積銅之 BCF 值為 32.31 ± 12.53 ；累積鋅之 BCF 值為 4029.04 ± 1623.96 。顯示烏腳病疫區以地下水養殖之虱目魚已普遍受到砷、銅、鋅的污染，並具有頗高的累積能力。

(二) 英文摘要

Bioaccumulation of Arsenic, Copper and Zinc in Milkfish (*Chanos chanos*) from Farms using Groundwater in Southwest Coast of Taiwan

Key words: Arsenic, aquaculture, bioaccumulation, copper, groundwater, milkfish, zinc

In this study, the bioaccumulation of arsenic (As), copper (Cu) and zinc (Zn) in milkfish from the farms using groundwater in the blackfoot disease (BFD) area was analyzed, as well as the bioconcentration factors (BCF) indicating the ability of accumulation of organisms. The resulting data showed that the As, Cu, Zn concentrations in pond water were $92.03 \pm 106.59 \mu\text{g L}^{-1}$, $69.73 \pm 27.81 \mu\text{g L}^{-1}$ and

$58.79 \pm 19.73 \mu\text{g L}^{-1}$, respectively, while in fish were $0.81 \pm 1.17 \mu\text{g g}^{-1}$, $2.01 \pm 0.96 \mu\text{g g}^{-1}$ and $40.31 \pm 17.25 \mu\text{g g}^{-1}$, respectively. The high BCF values of As, Cu and Zn accumulated in fish (12.60 ± 4.68 , 32.31 ± 12.53 and 4029.04 ± 1623.96 , respectively) show that those aquacultural milkfish from the BFD area are contaminated by the ambient water and have a high tolerance against the pollutants.

前言

水中含有過量重金屬（如銅、鋅）和類金屬（如砷），常會對水生生物造成不良的影響。其中砷是一種致癌物質（IARC, 1987; IPCS, 2001），銅、鋅雖為多數生物賴以維生（如組成蛋白質和維持酵素活性）的必需元素，然而過量時卻反而有害（Sun and Jeng, 1998; Arellano *et al.*, 2000, Wepener *et al.*, 2001）。當人們以含有砷、銅、鋅等污染質的地下水作為養殖之用時，不但可能有礙養殖生物的生長及存活，亦可能透過食物鏈而對人體造成危害（Lin *et al.*, 1999, 2001, 2004; Chien *et al.*, 2002; Liao *et al.*, 2003）。

虱目魚（milkfish, *Chanos chanos*）是台灣重要的養殖魚種，其養殖池對淡水的需水量極大（ $3.8 \times 10^4 \sim 4.9 \times 10^4 \text{ ton pond}^{-1}$ ）（Lin *et al.*, 2004），在採用高密度集約養殖的條件下，往往地表水無法充分供給需求，因此漁民抽取地下水進行養殖的情形非常普遍（陳, 1998）。虱目魚的魚塭多分布於本省西南沿海地區，其中嘉義縣、台南縣沿海地區便是虱目魚池的集散地，有著大規模的養殖（胡, 1999; 林, 2004），偏偏當地亦是名噪一時的烏腳病疾區（Chen *et al.*, 1988, 1992, 1994, 1999）。因此，本計畫針對烏腳病疫區地下水養殖虱目魚養殖池進行砷、銅、鋅污染現況調查外，並分析養殖虱目魚之砷、銅、鋅含量。

材料與方法

本計畫針對嘉義、台南烏腳病疫區（含布袋、義竹、北門、學甲等鄉鎮）以地下水養殖虱目魚之魚池進行調查，分析養殖池中池水和虱目魚的砷、銅、鋅含量，並計算出虱目魚在養殖環境下的生物濃縮因子。

（一）野外調查

於上述四地區選擇以地下水養殖虱目魚之養殖池進行監測，建立魚體及池水砷、銅、鋅含量資料。首先於上述鄉鎮分別選擇虱目魚養殖池各兩處，再於各養殖池的不同位置採集 3 條虱目魚及 3 瓶 500 ml 水樣。採得之魚隻經清水漂洗後，裝入封口袋，並置於 4°C 的冰箱中攜回實驗室冷凍（-20°C）保存，直至分析。水樣則添加 5 ml 的 1 N HNO₃ 固定水質。

（二）砷、銅、鋅含量分析

虱目魚魚體樣本經測量體長及體重後，取 5 g 肌肉進行乾燥處理，連同

水樣送往正修技術學院超微量科技中心 (Super Micro Mass Research and Technology Center) 進行砷、銅、鋅含量分析。

(三) 生物濃縮因子 (BCF)

生物濃縮因子係指「在穩定狀態下，生物體中的污染質濃度與環境中污染質濃度的比值」，可用來推估生物體對污染質的累積能力 (Lin and Liao, 1999)。

$$BCF = \frac{C_b}{C_w} \quad (1)$$

其中， C_b 為污染質在生物體內的濃度 ($\mu\text{g g}^{-1}$)； C_w 為污染質在水中的濃度 (mg L^{-1})。

結果

(一) 虱目魚養殖池水砷、銅、鋅濃度

野外調查結果顯示，養殖池池水砷、銅、鋅的總平均值分別為 $92.03 \pm 106.59 \mu\text{g L}^{-1}$ 、 $69.73 \pm 27.81 \mu\text{g L}^{-1}$ 和 $58.79 \pm 19.73 \mu\text{g L}^{-1}$ (表 1)。就地區來看，池水含砷量依濃度高低排列分別為：義竹 $102.57 \pm 63.62 \mu\text{g L}^{-1}$ 、布袋 $88.10 \pm 65.63 \mu\text{g L}^{-1}$ 、學甲 $30.44 \pm 6.82 \mu\text{g L}^{-1}$ 、北門 $34.58 \pm 3.76 \mu\text{g L}^{-1}$ ；池水含銅量為：北門 $121.88 \pm 7.18 \mu\text{g L}^{-1}$ 、布袋 $85.70 \pm 8.34 \mu\text{g L}^{-1}$ 、義竹 $60.01 \pm 2.44 \mu\text{g L}^{-1}$ 、學甲 $40.78 \pm 15.92 \mu\text{g L}^{-1}$ ；池水含鋅量為：布袋 $21.65 \pm 11.06 \mu\text{g L}^{-1}$ 、北門 $8.49 \pm 0.23 \mu\text{g L}^{-1}$ 、學甲 $7.45 \pm 0.23 \mu\text{g L}^{-1}$ 、義竹 $5.97 \pm 1.91 \mu\text{g L}^{-1}$ 。根據 1998 年行政院環境保護署所公布的「二級水產用水」標準顯示，布袋、義竹兩地的池水含砷量超過法定標準值 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ (行政院環保署, 1998)；上述四地區的池水含銅量均超過法定標準值 $30 \mu\text{g L}^{-1}$ ；而該四地區的池水含鋅量則均未超過法定標準值 $500 \mu\text{g L}^{-1}$ 。

(二) 虱目魚魚體砷、銅、鋅含量

虱目魚魚體的平均砷、銅、鋅含量分別為 $0.81 \pm 1.17 \mu\text{g g}^{-1}$ 、 $2.01 \pm 0.96 \mu\text{g g}^{-1}$ 、 $40.31 \pm 17.25 \mu\text{g g}^{-1}$ (表 2)。若以鄉鎮為界分，砷含量為布袋 $1.89 \pm 1.66 \mu\text{g g}^{-1}$ 、義竹 $1.29 \pm 0.93 \mu\text{g g}^{-1}$ 、北門 $0.40 \pm 0.11 \mu\text{g g}^{-1}$ 、學甲 $0.32 \pm 0.00 \mu\text{g g}^{-1}$ ；銅含量為北門 $2.63 \pm 0.45 \mu\text{g g}^{-1}$ 、布袋 $2.11 \pm 0.03 \mu\text{g g}^{-1}$ 、義竹 $1.84 \pm 0.11 \mu\text{g g}^{-1}$ 、學甲 $1.76 \pm 0.31 \mu\text{g g}^{-1}$ ；鋅含量為布袋 $46.33 \pm 13.75 \mu\text{g g}^{-1}$ 、學甲 $39.92 \pm 2.63 \mu\text{g g}^{-1}$ 、義竹 $39.92 \pm 2.63 \mu\text{g g}^{-1}$ 、北門 $32.57 \pm 2.65 \mu\text{g g}^{-1}$ 。

表 1. 虱目魚養殖池水之砷、銅、鋅含量 ($\mu\text{g L}^{-1}$)

地區	污染質濃度 (Mean \pm SE)		
	砷	銅	鋅
布袋	88.10 \pm 65.63*	85.70 \pm 8.34*	21.65 \pm 11.06
義竹	102.57 \pm 63.62*	60.01 \pm 2.44*	5.97 \pm 1.91
學甲	30.44 \pm 6.82	40.78 \pm 15.92*	7.45 \pm 0.23
北門	34.58 \pm 3.76	121.88 \pm 7.18*	8.49 \pm 0.23
平均	63.92 \pm 57.71	69.36 \pm 27.81	11.90 \pm 15.22

*：砷濃度 $> 50 \mu\text{g L}^{-1}$ ；銅濃度 $> 30 \mu\text{g L}^{-1}$ ；鋅濃度 $> 500 \mu\text{g L}^{-1}$

表 2. 虱目魚魚體之砷、銅、鋅含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)

地區	污染質含量 (Mean \pm SE)		
	砷	銅	鋅
布袋	1.89 \pm 1.66	2.11 \pm 0.03	46.33 \pm 13.75
義竹	1.29 \pm 0.93	1.84 \pm 0.11	33.10 \pm 4.61
學甲	0.32 \pm 0.00	1.76 \pm 0.31	39.92 \pm 2.63
北門	0.40 \pm 0.11	2.63 \pm 0.45	32.57 \pm 2.65
平均	0.94 \pm 1.34	69.36 \pm 27.81	40.31 \pm 17.25

三、生物濃縮因子 (BCF)

虱目魚體內的污染質含量和水域中的污染質濃度成正比 (圖 1~3)，而其累積砷之 BCF 值為 12.60 ± 4.68 ；累積銅之 BCF 值為 32.31 ± 12.53 ；累積鋅之 BCF 值為 4029.04 ± 1623.96 。

討論

野外調查發現，養殖池池水之砷、銅、鋅含量，以砷的濃度最高 ($92.03 \pm 106.59 \mu\text{g L}^{-1}$)，其次為銅 ($69.73 \pm 27.81 \mu\text{g L}^{-1}$)，鋅的濃度最低 ($58.79 \pm 19.73 \mu\text{g L}^{-1}$)。其

中，平均砷含量為 $92.03 \pm 106.59 \mu\text{g L}^{-1}$ ，超過 1998 年行政院環保署公布「二級水產用水標準」的砷含量標準 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ （行政院環保署, 1998），其中又以布袋、義竹兩地的池水含砷量較高，值得政府相關單位注意。此一平均值亦高過 Liao *et al.* (2003) 於烏腳病疫區吳郭魚 (*Oreochromis mossambicus*) 養殖池所測之池水砷含量 $33.4 \pm 4.68 \mu\text{g L}^{-1}$ 。

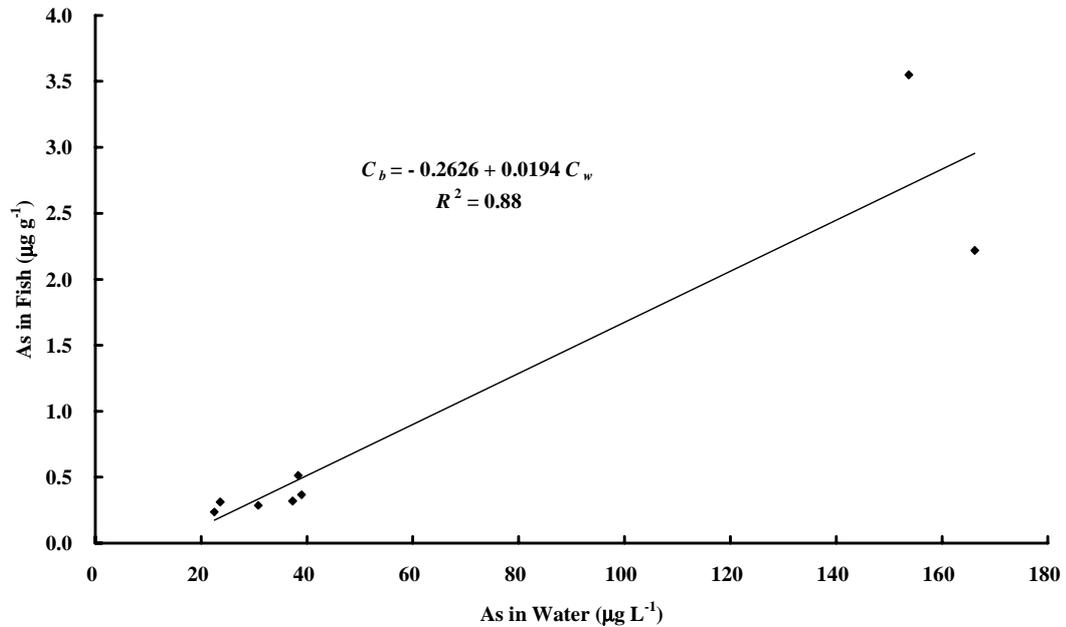


圖 1. 虱目魚魚體砷含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$) 隨養殖池水砷濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$) 的變化

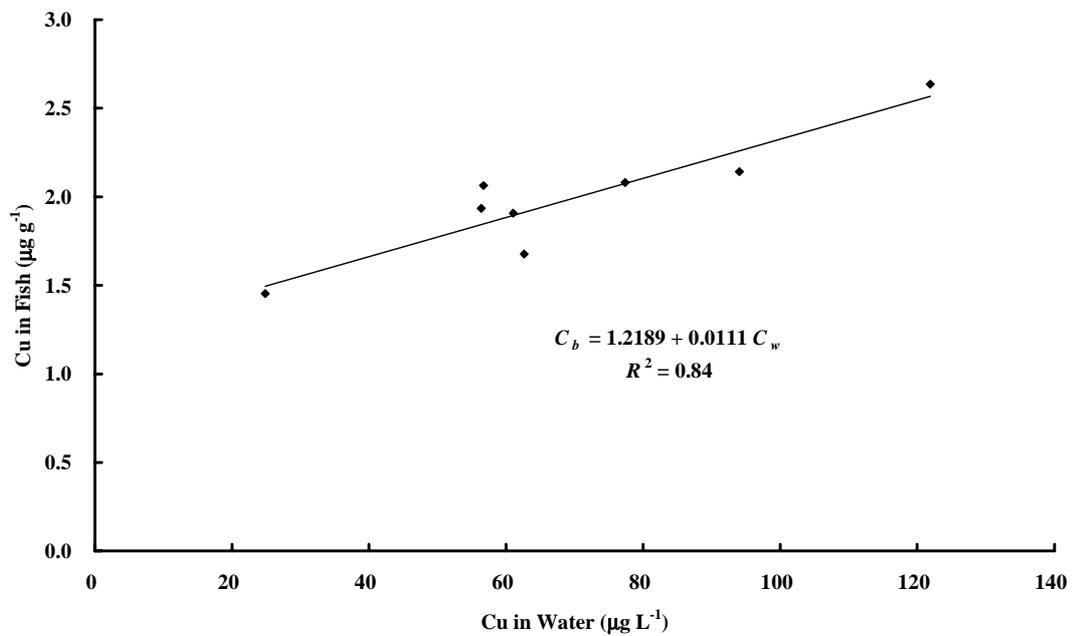


圖 2. 虱目魚魚體銅含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$) 隨養殖池水銅濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$) 的變化

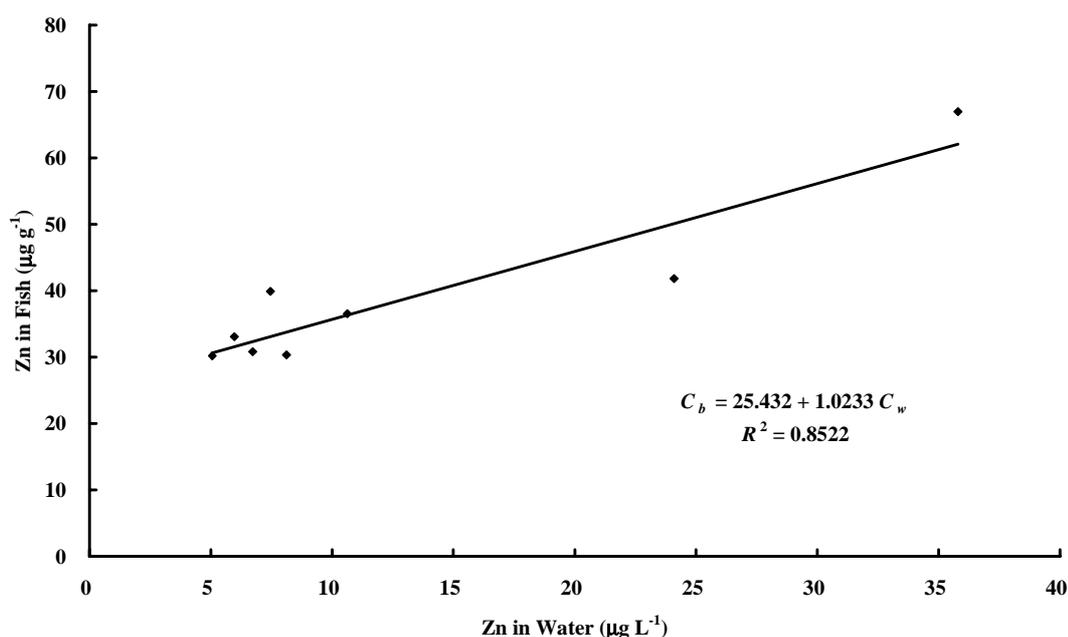


圖 3. 虱目魚魚體鋅含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$) 隨養殖池水鋅濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$) 的變化

虱目魚魚體的平均砷、銅、鋅含量以鋅含量最高 ($40.31 \pm 17.25 \mu\text{g g}^{-1}$)，其次為銅 ($2.01 \pm 0.96 \mu\text{g g}^{-1}$)，砷含量最低 ($0.81 \pm 1.17 \mu\text{g g}^{-1}$)。Han *et al.* (1998) 研究指出，於新竹香山地區市場所採得的虱目魚砷含量為 $0.375 \mu\text{g g}^{-1}$ 。施 (2001) 則指出，台北市莊敬超市、頂好超市及台北魚市販售之虱目魚砷含量為 $0.15 \mu\text{g g}^{-1}$ ，相較之下，本計畫於烏腳病疫區採得之虱目魚砷含量高於前二者之調查數據，顯示烏腳病疫區虱目魚所受到的砷污染較為嚴重。根據 EPA 所公布的標準，食用魚隻的含砷量必須低於 $0.0021 \mu\text{g g}^{-1}$ (施, 2001)。因此，本計畫所調查的虱目魚全數不合格。

另外，根據 Liao *et al.* (2003) 針對烏腳病疫區地下水養殖吳郭魚所進行的研究指出，當地養殖吳郭魚體內的砷含量為 $3.55 \pm 1.91 \mu\text{g g}^{-1}$ 。而 Lin *et al.* (2001) 於相同區域進行的相關研究指出，豆仔魚 (*Liza macrolepis*) 體內的無機砷含量就有 $2.24 \pm 1.75 \mu\text{g g}^{-1}$ ，顯示烏腳病疫區養殖吳郭魚及豆仔魚的砷含量高於虱目魚。

本論文於烏腳病疫區採得虱目魚之銅含量為 $2.01 \pm 0.96 \mu\text{g g}^{-1}$ ，高於施 (2001) 指出水產品中虱目魚之含銅量為 $1.26 \mu\text{g g}^{-1}$ ，另外，Chen *et al.* (2000) 指出，於高雄二仁溪高污染地區所採得之虱目魚銅含量為 $0.71 \sim 6.37 \mu\text{g g}^{-1}$ ，顯示烏腳病疫區虱目魚已遭銅污染，惟其含銅量低於 Han *et al.* (1998) 於新竹香山地區市場所採得的虱目魚 ($3.06 \mu\text{g g}^{-1}$)

郭等 (1997) 調查指出，吳郭魚體內的銅含量為 $5.1 \pm 1.2 \mu\text{g g}^{-1}$ 、豆仔魚為 $2.97 \pm 0.71 \mu\text{g g}^{-1}$ 、大眼海鯷為 $2.8 \pm 0.8 \mu\text{g g}^{-1}$ 。Chen (1994) 亦指出，二仁溪豆仔魚的銅含量為 $426 \mu\text{g g}^{-1}$ ，另外，Jeng *et al.* (2000) 於 1991-1998 年進行監測發現，突鼻仔

(*Thryssa dussumieri*) 體內銅含量為 $5.52 \mu\text{g g}^{-1}$ 。與上述魚種相較，烏腳病疫區虱目魚之含銅量較低，與 Chen and Lee (1996) 所測得之二仁溪虱目魚含銅量 $1.71 \pm 0.13 \mu\text{g g}^{-1}$ 、養殖池虱目魚銅含量 $1.79 \pm 0.71 \mu\text{g g}^{-1}$ 近似。

本計畫於烏腳病疫區採得之虱目魚鋅含量為 $40.73 \pm 13.46 \mu\text{g g}^{-1}$ ，高於施 (2001) 所測得的虱目魚鋅金屬濃度 $9.58 \mu\text{g g}^{-1}$ ，亦介於 Chen *et al.* (2000) 所指出二仁溪高污染地區虱目魚鋅含量 $16.11\sim 41.86 \mu\text{g g}^{-1}$ 的範疇內

郭 (1997) 針對環境檢驗所提供的魚種進行分析，指出吳郭魚鋅含量為 $20 \pm 0.4 \mu\text{g g}^{-1}$ 、豆仔魚為 $19.7 \pm 1.2 \mu\text{g g}^{-1}$ 、大眼海鯷為 $10 \pm 0.3 \mu\text{g g}^{-1}$ ，另外，一般食用魚類水產品的鋅含量平均值為 $2.66 \mu\text{g g}^{-1}$ 。Jeng *et al.* (2000) 曾於 1991-1998 年在布袋、將軍、高雄地區進行比目魚 (*Psettodes erumei*) 體內含鋅量監測，發現其平均值為 $12.3 \mu\text{g g}^{-1}$ 。與以上述魚種相較，烏腳病疫區虱目魚所受到的鋅污染較為嚴重。惟其值仍低於 Han *et al.* (1998) 於新竹香山地區市場所採得虱目魚的鋅含量 ($60.5 \mu\text{g g}^{-1}$) 和二仁溪採得豆仔魚的鋅含量 $90 \mu\text{g g}^{-1}$ (Chen, 1993)。

本計畫測得虱目魚累積砷之 BCF 值為 12.60 ± 4.68 ，顯示虱目魚對水域環境中的砷污染質具有累積能力，此數據與 Lin *et al.* (2001) 指出之豆仔魚 BCF 值 13.85 近似，但低於沈 (2001)、Liao *et al.* (2003) 指出之吳郭魚 BCF 值 38.37 ± 78.94 、143。另外，魚體對累積銅的 BCF 值達 69.36 ± 27.81 。雖說虱目魚養殖池水中的鋅含量並不高 (僅 $11.90 \pm 15.22 \mu\text{g L}^{-1}$)，但在虱目魚體內的鋅累積量卻有 $40.31 \pm 17.25 \mu\text{g g}^{-1}$ ，BCF 值高達 4029.04 ± 1623.96 ，數字驚人。因此，養殖池水中的砷、銅、鋅污染後續研究是刻不容緩之重要課題。

有鑑於此，未來之研究除了針對烏腳病疫區虱目魚砷、銅、鋅污染危害進行更深入研究外，亦應於其他縣市進行類似調查，以作為相互評比之對照。更重要的是，政府相關單位必須針對烏腳病疫區虱目魚與養殖池水的砷、銅、鋅含量進行嚴格的管制，同時也應調查其他重金屬污染質的含量，以免危及民眾的健康。

參考文獻

- Arellano, J.M., Blasco, J., Ortiz, J.B., Capeta-Da Silva, D., Navarro, A., Sanchez-Del Pino, M.J., and Sarasquete, C. (2000), "Accumulation and histopathological effects of copper in gills and liver of senegales sole, *Solea senegalensis* and toad fish, *Halobatrachus idiactylus*. Ecotoxicol." *Environ. Restor.* 3: 22-28.
- Chen, C.J., Chen, C.W., Wu, M.M., and Kuo, T.T. (1992), "Cancer potential in liver, lung, bladder, and kidney due to ingested inorganic arsenic in drinking water". *Br. J. Cancer*, 66: 888-892.
- Chen, C.J., Hsu, L.I., Tesng, C.H., Hsueh, Y.M., and Chiou, H.Y. (1999), "Emerging

- epidemics of arseniasis in Asia”, In: Chappell W.R., Abernathy C.O., Calderon R.L. (Eds.), Arsenic exposure and health effects. *Elsevier Sci. B. V.*, p. 113-121.
- Chen, C.J., Wu, M.M., and Kuo, T.L. (1988), “Arsenic and cancers”. *Lancet*, 1: 414-415.
- Chen, C.M., and Lee, S.Z., (1996) “Metals in milkfish *Chanos Chanos* from aquaculture ponds near Er-Jen River”. *Chia Nan Ann. Bull.* 22: 135-141.
- Chen, C.M., Lee, S.Z., and Wang, J.S. (2000) “Metal contents of fish from culture ponds near scrap metal reclamation facilities”. *Chemosphere*, 40: 65-69.
- Chen, H.C. (1993), Study of identification system for adverse effects on fish by environmental pollutants, EPA-82-E3K 1-09-03, Environmental Protection Administration, Taiwan, ROC.
- Chen, P.C., Lui, C.J., and Lin M.H. (1994) “Short communication: Heavy metals in fishes from Er-Jen River”. *Ann. Rept. NIEA Taiwan R.O.C.* 2: 325-326.
- Chen, S.L., Dzung, S.R., Yang, M.H., Chiu, K.H., Shieh, G.M., and Wai, C.M. (1994), “As species in groundwater of the black-foot disease area, Taiwan”. *Environ. Sci. Technol.*, 28: 877-881.
- Chien, L.C., Hung, T.C., Choang, K.Y., Yeh, C.Y., Meng, P.J., Shieh, M.J., and Han, B.C. (2002), “Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan.” *The Sci. of the total Environ.* 285: 177-185.
- Han, B.C., Jeng, W.L., Chen, R.Y., Fang, G.T., Hung, T.C., and Tseng, R.J. (1998), “Estimation of target hazard quotients and potential health risks for metals by consumption of seafood in Taiwan”. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 35: 711-720.
- IARC (1987), Arsenic and arsenic compounds (Group 1). In: IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans. Supplement 7, date accessed: 6 February 1998. Available from <http://193.51.164.11/htdocs/monographs/suppl7/arsenic.html>.
- IPCS (2001), “Arsenic and arsenic compounds”. EHC, No: 224. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc224.htm>.
- Jeng, M.S., Jeng, W.L., Hung, T.C., Yeh, C.Y., Tseng, R.J., Meng P.J., and Han, B.C. (2000) , “Mussel Watch : a review of Cu and other metals in various marine organisms in Taiwan, 1991-98. *Environ. Pollut.* 110: 207-215.
- Liao, C.M., Chen B.C., Singh S., Lin M.C., Liu C.W., and Han B.C. (2003), “Acute toxicity and bioaccumulation of arsenic in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) from a blackfoot disease area in Taiwan”. *Environ. Toxicol.*, 18: 252-259.
- Lin, M.C. and Liao, C.M. (1999), “Zn(II) accumulation in the soft tissue and shell of abalone *Haliotis diversicolor supertexta* via the alga *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui* and the ambient water”. *Aquaculture*, 178: 89-101.
- Lin, M.C., Cheng H.H., Lin, H.Y., Chen, Y.C., Chen Y.P., Liao, C.M., Chang-Chien, G.P.,

- Dai, C.F., Han, B.C., and Liu, C.W. (2004). "Arsenic accumulation and acute toxicity in milkfish (*Chanos chanos*) from blackfoot disease area in Taiwan". *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.*, 72:248-254.
- Lin, M.C., Liao, C.M., Liu, C.W., and Singh, S. (2001), "Bioaccumulation of arsenic in aquacultural large-scale mullet *Liza macrolepis* from the blackfoot disease area in Taiwan". *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.*, 67: 91-97.
- Sun, L.-T., and Jeng, S.-S. (1998), "Comparative zinc concentrations in tissues of common carp and other aquatic organisms." *Zool. Stud.* 37: 184-190.
- Wepener, V., van Vuren J.H.J., and du Preez, H.H. (2001), "Uptake and distribution of a copper, iron and zinc mixture in gill, liver and plasma of a freshwater teleost, *Tilapia sparrmanii*", *Water SA*, 27:99-108.
- 行政院環保署，1998，「地面水體分類及水質標準」，行政院環境保護署環署水字第〇〇二五九九號令修正發布。
- 沈林琥，2001，「生理為基礎之藥理動力及動態模式研析台灣烏腳病地區養殖魚類砷累積」，台灣大學農業工程學研究所博士論文。
- 林欣儀，2004，台灣西南沿海烏腳病疫區養殖魚類之砷含量風險評估，南華大學環境管理研究所，碩士論文。
- 施伶穎，2001，「環境污染與健康風險之網路教育——以重金屬與水產食品為例」，台北醫學院公共衛生學研究所碩士論文。
- 胡興華，1999，「台灣的水產養殖（四）」，漁業推廣，157：13-26。
- 郭崇義，1997，「台灣東北部海域重金屬含量及生物指標測試方法之研究」，EPA-86-E3S5-0905。
- 陳瑤湖，1998，「水產養殖業」，行職業資訊研發成果專輯，行政院勞工委員會職業訓練局。

計畫成果自評

- 本計畫之執行完全吻合預期進度及成效。
- 根據研究結果，除了瞭解台灣西南沿海烏腳病疫區以地下水進行虱目魚養殖的現況外，亦得知養殖池水中的砷、銅、鋅濃度，以及此三類污染質在虱目魚體內的含量，進而推知虱目魚的累積能力。
- 因執行本計畫而完成之論文：
 1. **Lin, Ming-Chao**, Hsu-Hui Cheng, Hsin-Yi Lin, Ying-Cheng Chen, Yu-Ping Chen, Chung-Min Liao, Guo-Ping Chang-Chien, Chang-Feng Dai, Bo-Cheng Han and Chen-Wuing Liu. **2004**. Arsenic accumulation and acute toxicity in juvenile

- milkfish (*Chanos chanos*) from blackfoot disease area in Taiwan. **Bull. Environ. Contamin. Toxicol.** **72:248-254.** (SCI 期刊)
2. **Lin, Ming-Chao** and Hsin-Yi Lin. **2004.** Risk assessment of arsenic exposure caused by consumption of cultured milkfish (*Chanos chanos*) from blackfoot disease area in Taiwan. (submitted to **Water Research**) (SCI 期刊)
 3. **Lin, Ming-Chao**, Hsin-Yi Lin, Hsu-Hui Cheng, Ying-Cheng Chen, Yu-Ping Chen, Chung-Min Liao, Kwang-Tsao Shao and Chen-Wuing Lou. **2004.** Risk assessment of arsenic in aquacultural milkfish (*Chanos chanos*) from blackfoot disease area in Taiwan. 14th Annual Meeting SETAC-Europe, 18-22 April, Prague, Czech Republic.
 4. 林欣儀, **2004**, 台灣西南沿海烏腳病疫區養殖魚類砷污染之風險評估, 南華大學環境管理研究所, 碩士論文, 105pp.

