

南華大學

環境管理研究所碩士論文

台灣西南沿海地區地下水養殖虱目魚之砷、鋅、銅累積及食用風險評估研究

**Risk associated with intake of cultured milkfish (*Chanos chanos*) from the
ponds contaminated by arsenic, zinc and copper in the coastal area of
southwest Taiwan**

指導教授：林明炤 博士

Adviser : Ming-Chao Lin, Ph.D.

研究生：吳婉甄

Graduate Student : Wan-Chen Wu

中華民國九十八年六月

June, 2009

南 華 大 學

環境管理研究所

碩 士 學 位 論 文

台灣西南沿海地區地下水養殖虱目魚之
砷、鋅、銅累積及食用風險評估研究

研究生：吳婉甄

經考試合格特此證明

口試委員：王健民
林偉忠
林明焜

指導教授：林明焜

系主任(所長)：陳中興

口試日期：中華民國九十八年六月二十五日

南華大學碩士班研究生

準碩士推薦書

本校環境管理研究所研究生 吳婉甄 在碩士班修業 四 年，已經完成本所規定之修業課程及論文研究之訓練。

- (1) 在修業課程方面 吳婉甄 君已修滿 33 學分，其中必修科目：研究方法、環境管理專題講座 (I、II、III、IV)、環境經濟學 成績及格 (請查閱碩士班歷年成績)。
- (2) 在論文研究方面：吳婉甄 君在學已完成下列 4 篇論文。

論文名稱	擬發表之期刊名稱	擬發表年月	證明文件	備註
台灣西南沿海地區地下水養殖虱目魚之砷、鋅、銅累積及食用風險評估研究	第十一屆海峽兩岸環境保護研討會	8-10 June, 2007	抽印本	
Risks on Human Health Associated with Inorganic Arsenic Intake from Groundwater-Cultured Milkfish in the Blackfoot Disease Area, Taiwan	Society of Environmental Toxicology and Chemistry Europe 17th Annual Meeting	20-24 May, 2007	抽印本	
Risk Assessment on Copper Intake From Milkfish	Environmental Engineering and Management Journal	5:841-846, October, 2006	抽印本	
Uptake, Depuration and Bioconcentration of Arsenic, Zinc and Copper Mixtures in Milkfish.	WSEAS Transactions on Environment and Development	1:11-17, October, 2005	抽印本	

本人認為 吳婉甄 君已具備南華大學環境管理研究所碩士養成教育以及訓練水準，並符合本校碩士學位考試申請資格，特推薦其論文初稿，名稱：台灣西南沿海地區地下水養殖虱目魚之砷、鋅、銅累積及食用風險評估研究 以參加碩士資格考試及論文口試。

指導教授：林明炫 簽章

中 華 民 國 98 年 6 月

誌謝

回首來時路，發現一路走來，我實在是個幸福的人。這不免先感謝老天爺的厚愛，讓我得以在踏上學術的這條路途上，有如此的良師和益友們陪伴、鼓勵，在他們的激勵下這本論文才得以產生。因此藉此論文的一角，表達我內心滿滿的感謝之意。

最首要感謝的人，我的恩師林明炤老師，有幸能夠在大學時代就遇見老師，實在是我幾輩子修來的福氣，自遇見老師後，我的生活視野也因此開闊了起來，受到老師的影響漸漸接觸電影、喜愛電影，因為參與計畫學會了潛水、辨識青蛙、鑑定蜉蝣生物...等，這些經驗都是以前未曾料想過的。在老師身邊不僅學習到待人處世的寬容大度，也深刻體會到老師在學術研究上嚴謹的一面。更感謝老師在指導的過程中，不斷的循循善誘，仔細的指導，以無比的耐心指導、解惑，從不放棄學生，甚至到後期的論文修改也不辭辛勞的犧牲自己的時間反覆的修正學生的論文，這一切學生銘感五內。

感謝葉裕民老師、王一匡老師和陳本源老師，在百忙中抽空為學生進行模擬口試，並提出不少寶貴的建議，讓之後的論文內容得以更加充實。感謝口試委員林俊宏老師與王健良老師，在百忙之中對本論文詳加審閱與斧正，提出許多珍貴的建議與指教，使得本論文能夠更臻完整。

感謝歐任淳(歐哥)和瑛玳，從大學時代，你們就是我最佳的實驗、採樣夥伴，有你們在再困難的任務也都會迎刃而解。當我論文遇到瓶頸時，也十分夠義氣的傳授各種論文寫作心法給我，並提供圖表以補足我有所缺失的部份，沒有你們的支持與鼓勵這本論文是無法完成的。

感謝佳憶在生活 and 學業上不時的幫忙，在我有心事時陪我聊天、解悶，在我全力寫作

時，不斷幫我處理其他事務，讓我無後顧之憂。感謝香儀在最後衝刺挑燈夜戰的夜晚，特意留下來陪我。感謝通識中心的老師們，與你們一同到處吃嘉義小吃的日子，是我這段日子中最美好的回憶之一，也謝謝你們平時對我的鼓勵與愛護。感謝碗粿、麻吉、弋瑋和所上的同學們的義氣相挺，讓我知道我並不孤單，需要幫忙時有你們在身邊。

感謝我的超級麻吉們（孟佳、宜均、琬妮），感謝你們在我最無助、焦慮的時候，提供二十四小時全天候的專線服務，讓我得以有勇氣面對挑戰，能夠認識你們，是上天給我最好的禮物。

最後當然要感謝我親愛的家人，感謝阿嬤有你在，讓我這匹野馬有想回家的時候，感謝老爸、老媽辛苦的工作讓我們無後顧之憂，得以全力衝刺學業，感謝老弟平時對我的照顧，讓我得以回家作威作福，宣洩壓力（哈）。

謹將本論文完成的喜悅與成果獻給所有支持我、關心我的家人、師長和朋友們，謝謝你們!!

吳婉甄 謹誌

中華民國九十二年六月於南華

中文摘要

本論文利用問卷及風險評估模式，針對台灣西南沿海四鄉鎮（嘉義縣布袋、義竹及台南縣北門、學甲）進行調查，探討因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷、鋅、銅污染之危害風險。結果顯示，當地養殖池水之砷（ $63.9 \pm 2.51 \mu\text{g L}^{-1}$ ）、銅（ $77.1 \pm 3.69 \mu\text{g L}^{-1}$ ）濃度皆超過台灣二級水產用水標準（砷： $50 \mu\text{g L}^{-1}$ 、銅： $30 \mu\text{g L}^{-1}$ ）；鋅濃度（ $10.9 \pm 4.72 \mu\text{g L}^{-1}$ ）則低於標準值（ $500 \mu\text{g L}^{-1}$ ）。虱目魚體對砷、鋅、銅之生物濃縮因子（BCF）值分別為 12.51 ± 4.95 、 4479.68 ± 1399.66 、 30.50 ± 12.76 ，顯示虱目魚對於周圍水體中的砷、鋅、銅污染質具有累積能力，其中對鋅的吸收、累積能力與耐受性均高於砷、銅。食用地下水養殖虱目魚之標的致癌風險（TR）為 $1.05 \times 10^{-3} \pm 9.91 \times 10^{-4}$ ，大於可接受風險標準值 1×10^{-6} 約 1000 倍。砷、鋅、銅之非致癌風險標的危害商數（THQ）中，只有砷超過標準值 1。砷、鋅、銅的危害指數（HI）為 5.91 ± 5.38 ，高於標準值 5 倍以上，其危害性主要源自於砷的 THQ 值 5.45 ± 5.14 。根據理論值求出之虱目魚安全攝取量為 $0.32 \pm 0.17 \text{ g d}^{-1}$ ，但當地居民之食用量卻高達 $179.32 \pm 233.51 \text{ g d}^{-1}$ ，表示居民若以此攝取量食用當地以地下水養殖之虱目魚，會有高度的致癌和非致癌風險。養殖虱目魚體砷之風險基準濃度（ RBC_f ）為 $7.19 \times 10^{-4} \pm 2.62 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$ ，但實際採得之虱目魚砷含量卻高過此標準。養殖池水之風險基準砷濃度（ RBC_w ）為 $0.08 \pm 0.03 \mu\text{g L}^{-1}$ ，而養殖池水之實際砷濃度 $63.9 \pm 2.51 \mu\text{g L}^{-1}$ 明顯過高。因此若以此池水養殖虱目魚，而後又供居民食用，會使民眾暴露於致癌和非致癌性疾病的風險中。

關鍵詞：砷、鋅、銅、養殖、地下水、虱目魚、風險評估

英文摘要

The risk associated with intake of arsenic (As), zinc (Zn) and copper (Cu) of cultured milkfish (*Chanos chanos*) using groundwater from southwest coast in Taiwan were studied, based on the questionnaire and the risk assessment models. The resulting values of As ($63.9 \pm 2.51 \mu\text{g L}^{-1}$) and Cu ($77.1 \pm 3.69 \mu\text{g L}^{-1}$) in pond water show that the concentrations of these two pollutants are higher than the standards in Taiwan (As: $50 \mu\text{g L}^{-1}$ and Cu: $30 \mu\text{g L}^{-1}$, respectively), while the Zn concentration ($10.9 \pm 4.72 \mu\text{g L}^{-1}$) is lower than the standard ($500 \mu\text{g L}^{-1}$). The bioconcentration factor (BCF) values of As, Zn and Cu in milkfish (12.51 ± 4.95 , 4479.68 ± 1399.66 and 30.50 ± 12.76 , respectively) show that the milkfish can accumulate these pollutants from the ambient water. The target cancer risk (TR) of consuming milkfish is $1.05 \times 10^{-3} \pm 9.91 \times 10^{-4}$, which is higher than the acceptable risk 1×10^{-6} . Among the three pollutants, only the value of the target hazard quotient (THQ) of As exceeds the safe value 1 for non-carcinogenic risk. The hazard index (HI) 5.91 ± 5.38 is 5 times higher than the standard, mainly contributed by the THQ value 5.45 ± 5.14 of As. The acceptable consumption of the milkfish is $0.32 \pm 0.17 \text{ g d}^{-1}$, which is lower than the actual milkfish consumption $179.32 \pm 233.51 \text{ g d}^{-1}$. Therefore, the consumption of cultured milkfish using groundwater may cause carcinogenic and non-carcinogenic risks. The risk-based concentration (RBC_f) of As in milkfish is $7.19 \times 10^{-4} \pm 2.62 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$, which is lower than that in milkfish we measured in pond. Arsenic concentrations ($63.9 \pm 2.51 \mu\text{g L}^{-1}$) in pond water are higher than the risk-based concentration (RBC_w) for As ($0.08 \pm 0.03 \mu\text{g g}^{-1}$). Ingestion of these contaminated milkfish could result in exposure of As, Zn and Cu in inhabitants and lead to adverse health effects caused by As.

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

總目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
總目錄.....	III
目錄.....	III
表目錄.....	V
圖目錄.....	VI
符號說明.....	VII

目錄

第壹章 緒論.....	1
第貳章 文獻回顧.....	3
第一節 台灣虱目魚養殖概況.....	3
第二節 砷.....	4
一、特性.....	4
二、接觸源及危害.....	5
三、管制標準.....	5
第三節 鋅.....	6
一、特性.....	6
二、接觸源及危害.....	6
三、管制標準.....	6
第四節 銅.....	7
一、特性.....	7
二、接觸源和危害.....	7
三、管制標準.....	7
第五節 風險評估.....	8
一、風險評估定義.....	8
二、風險評估方法.....	8
第參章 材料與方法.....	12
第一節 研究架構.....	12
第二節 研究方法與步驟.....	13
一、問卷調查.....	13
二、野外調查.....	13
三、生物濃縮因子計算.....	14
四、風險評估.....	15

第肆章 結果.....	19
第一節 問卷調查.....	19
一、虱目魚食用情形.....	19
二、虱目魚養殖狀況.....	20
第二節 野外調查.....	20
一、虱目魚養殖池水之砷、鋅、銅濃度.....	20
二、虱目魚魚體砷、鋅、銅含量.....	21
第三節 生物濃縮因子 (BCF)	22
一、虱目魚體累積砷的 BCF 值.....	22
二、虱目魚體累積鋅的 BCF 值.....	22
三、虱目魚體累積銅的 BCF 值.....	23
第四節 風險評估.....	23
一、標的致癌風險 (TR)	23
二、標的危害商數 (THQ)	24
三、危害指數 (HI)	27
四、每日安全攝取量.....	27
五、風險基準濃度 (RBC)	28
第伍章 討論.....	29
第陸章 結論與建議.....	33
第一節 結論.....	33
第二節 檢討與建議.....	34
參考文獻.....	35
附錄一問卷調查格式.....	65

表目錄

表 1、問卷調查受訪者 (141 人) 之虱目魚食用情形.....	44
表 1、受訪者 (141 人) 之虱目魚食用情形 (續)	45
表 2、受訪者 (141 人) 食用養殖虱目魚之每日攝取量 (g d^{-1})	46
表 3、養殖業者 (56 人) 之養殖池水鹽度狀況.....	47
表 4、台灣西南沿海四鄉鎮虱目魚養殖池水之砷、鋅、銅濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	47
表 5、台灣西南沿海四鄉鎮虱目魚魚體之砷、鋅、銅含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)	48
表 6、台灣西南沿海地下水養殖虱目魚魚體對砷、鋅、銅之生物濃縮因子 (BCF)	48
表 7、食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之標的致癌風險 (TR)	49
表 8、食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之標的危害商數 (THQ)	50
表 9、食用地下水養殖虱目魚而暴露於鋅之標的危害商數 (THQ)	51
表 10、食用地下水養殖虱目魚而暴露於銅之標的危害商數 (THQ)	52
表 11、食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之每日安全攝取量 (Mean \pm SE)	53

圖目錄

圖 1、研究架構.....	12
圖 2、台灣西南沿海四鄉鎮居民食用地下水養殖虱目魚之平均每日攝取量.....	54
圖 3、台灣西南沿海四鄉鎮各區居民食用地下水養殖虱目魚之每日攝取量.....	54
圖 4、台灣西南沿海四鄉鎮養殖池之水源比例.....	55
圖 5、台灣西南沿海四鄉鎮地下水養殖虱目魚之池水砷濃度.....	55
圖 6、台灣西南沿海四鄉鎮虱目魚養殖池水之鋅濃度.....	56
圖 7、台灣西南沿海四鄉鎮虱目魚養殖池水之銅濃度.....	56
圖 8、台灣西南沿海四鄉鎮地下水養殖虱目魚之魚體砷含量.....	57
圖 9、台灣西南沿海四鄉鎮虱目魚魚體鋅含量.....	57
圖 10、台灣西南沿海四鄉鎮地下水養殖虱目魚之魚體銅含量.....	58
圖 11、地下水養殖虱目魚之魚體砷含量與池水砷濃度關係圖.....	58
圖 12、地下水養殖虱目魚之魚體鋅含量與池水鋅濃度關係圖.....	59
圖 13、地下水養殖虱目魚之魚體銅含量與池水銅濃度關係圖.....	59
圖 14、地下水養殖虱目魚體與池水砷含量之比較.....	60
圖 15、地下水養殖虱目魚體與池水鋅含量之比較.....	60
圖 16、地下水養殖虱目魚體與池水銅含量之比較.....	61
圖 17、地下水養殖虱目魚體與池水砷、鋅、銅含量之比較.....	61
圖 18、台灣西南沿海四鄉鎮居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之標的致癌風險 (TR)	62
圖 19、台灣西南沿海四鄉鎮各區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之標的致癌風 險 (TR)	62
圖 20、台灣西南沿海四鄉鎮居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之標的危害商數 (THQ)	63
圖 21、台灣西南沿海四鄉鎮居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於鋅的之標的危害商數 (THQ)	63
圖 22、台灣西南沿海四鄉鎮居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於銅之標的危害商數 (THQ)	64
圖 23、台灣西南沿海四鄉鎮居民因食用地下水養殖虱目魚而產生砷、鋅、銅混合毒性效 應之危害指數 (HI)	64

符號說明

ATc：平均壽命 (d)

ATn：暴露期間 (d)

BCF：生物濃縮因子 (bioconcentration factor)

BWa：成人平均體重 (kg)

C：食物中的污染質含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)

C_b ：污染質在生物體內的含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)

C_w ：污染質在水中的濃度 (mg L^{-1})

CPSo：致癌強度 ($1.5 \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$)

EFr：暴露頻率 (d yr^{-1})

EDtot：暴露期間 (yr)

HI：危害指數 (hazard index)

IRF：每日攝取量 (g d^{-1})

RBC：風險基準濃度 (risk-based concentration)

RBC_w ：虱目魚養殖池水的污染質容許濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)

RBC_f ：虱目魚魚體的污染質容許含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)

RfD：參考劑量 (reference dose) ($\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$)

THQ：標的危害商數 (target hazard quotient)

THQ_{As} ：攝取 As 之標的危害商數

THQ_{Cu} ：攝取 Cu 之標的危害商數

THQ_{Zn} ：攝取 Zn 之標的危害商數

TR：標的致癌風險 (target cancer risk)

第壹章 緒論

自古以來，豐富的魚類資源大多由海洋所提供，僅少部分靠養殖漁業來供應，但隨著世界人口的成長，人類對蛋白質需求大增，全球 56% 的人口中，至少有 20% 的蛋白質是來自魚類(FAO, 2003)。近年來海洋資源因過度開發而耗竭，因此從 1990 年以後全球水產養殖生產量以每年 10% 的速率增加(胡, 2004)。根據 2006 年聯合國農糧組織(The Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)統計，全世界共消耗了 1.1 億噸的漁獲量，其中水產養殖佔 47%。動物蛋白的供應量中，魚蛋白的比例由 1992 年的 14.9% 增加到 1996 年的 16.0%，雖然在 2005 年下降到約 15.3%，但仍然佔有相當重的比例(FAO, 2006)。

台灣的水產養殖業從 18 世紀起便開始發展，1961 年養殖技術、種苗生產技術獲得重大突破，促使台灣水產養殖業快速發展(洪, 2007)。隨著台灣經濟起飛，人口加速成長，對於水產品的需求也日益增加。根據統計，臺灣每年每人平均食用 37.6 kg 的水產品(漁業署, 2007)，比世界平均值 16.2 kg 多出一倍(FAO, 2004)，顯示水產品在日常生活飲食中佔有很重要的地位。

根據漁業署(2007)指出，台灣地區魚類水產養殖面積中，虱目魚養殖面積最廣，達 9,903.96 ha，其次為吳郭魚，佔 7,965.60 ha。台灣虱目魚養殖至今有 400 多年的歷史，在西南沿海地區有大規模養殖。虱目魚的養殖以內陸養殖為主，其中鹹水魚塢佔大宗，其次為淡水魚塢。2006 年台灣地區養殖虱目魚總產量為 5,3246 ton，其中高雄縣、台南縣、台南市、嘉義縣四縣市的養殖虱目魚產量佔全台虱目魚總產量 96%，而台南、嘉義地區的產量約佔全台 45%，是虱目魚的養殖重鎮。

根據台南縣統計要覽(2007)與嘉義縣統計要覽(2007)指出，淡水魚塢水產養

殖面積以台南縣的學甲、北門與嘉義縣的義竹、布袋佔地最廣。由於虱目魚養殖池對淡水的需求量很大，在河川水源供應不足和過度污染的情況下，養殖業者往往抽取大量的地下水以補足淡水需求量（林，2003）。然而，嘉南地區河川和近海域遭到重金屬和類金屬（如：砷（As）、鋅（Zn）、銅（Cu））污染的情形非常嚴重（Han et al., 1996; 何，2001; 楊等，2002; Lin et al., 2005; 薛，2007），這些污染質常滲入地下水層，當汲取這些地下水被作為虱目魚養殖用途時，水中的污染質可能會透過生物累積（bioaccumulation）作用而屯積於魚體內，若人們食用這些虱目魚，便可能會對人體產生危害（Lin, 2009）。

在自然水域中，毒性物質通常不會單獨出現，多會與其他毒性物質同時存在，甚至會產生混合毒物之毒性效應（mixture toxicity）（Shuhaimi-Othmana et al., 2007）。近年來許多研究發現嘉南地區地下水受到污染，但多數研究只鎖定單一污染質作為偵測對象（鄭，2003; 林，2003; 薛，2007），針對混合污染物質對魚體及食用者影響的研究則極為少見。

因此，本研究選取台灣西南部沿海地區（嘉義縣布袋、義竹、台南縣北門、學甲）等地，進行問卷及野外調查，以瞭解台灣西南沿海地區地下水養殖虱目魚體內之砷、鋅、銅累積情況，以及評估食用此類虱目魚所引發之潛在性健康風險。

第貳章 文獻回顧

第一節 台灣虱目魚養殖概況

虱目魚 (milkfish, *Chanos chanos*)，全世界僅一科一種，分布在亞熱帶或熱帶近海海域，為廣鹽性溫水魚類，能適應各種不同鹽度的棲息環境，於河川、紅樹林、砂質沿岸、珊瑚礁區等環境皆有其蹤跡。虱目魚體態延長、側扁、略呈紡錘形，成魚一般約為 20-40 cm 長，最大可達 1 m 以上。在台灣主要分布於南部，北部較少。

虱目魚為東南亞重要的的養殖魚種，台灣、印尼、菲律賓等地皆有養殖。因生長速度快，一年最多可養殖三季，為我國極為著名的魚塭養殖魚種 (陳, 2006)。過去虱目魚養殖仰賴野生魚苗，產量往往因而受限制 (Martinez et al., 2006)，台灣是目前世界上唯一可以完全人工繁殖、養殖的地區，從種魚培育、授精孵化、育苗至上市，皆可由人為方式完成，繁殖出的魚苗大量外銷，在經濟上佔有重要的地位 (胡, 2004)。

虱目魚是台灣主要經濟魚種，在嘉義、台南、高雄、屏東等地有大規模養殖。根據漁業署 (2007) 指出，台灣地區淡水魚塭面積中，虱目魚養殖面積達 9,903.96 ha，超過吳郭魚養殖面積 7,965.60 ha，越居首位。據統計，台灣淡水虱目魚養殖面積佔全台淡水魚塭的 24%，其中台南、嘉義地區的養殖面積佔台灣淡水虱目魚的 45%，產量超越台灣其他地區。

養殖虱目魚對淡水的的需求量很大，約為 38,000-49,000 ton ha⁻¹ (Lin et al., 2005)，引用的水源包括地下水、河川、自來水及農田灌溉用水，其中地下水的用量佔有很高的比例 (黃, 2002)。近年來嘉南地區的河川和近海域因工業的發展、農藥濫用而遭到污染質 (如：砷、鋅、銅) 污染 (何, 2001; 楊等, 2002; Lin et al., 2005; 薛, 2007)，

這些人為的污染經由工業、農業廢水排放而進入環境中，進而污染地下水。天然的岩層也可能含有高濃度的污染質，這些污染質可因地下水的溶蝕作用而進入地下水層。Lin (2009) 指出嘉南地區的地下水含有高量的砷、鋅、銅，因此已不作為飲用水使用，但還是被養殖業者大量用作虱目魚養殖，這些養殖虱目魚會透過生物累積 (bioaccumulation) 作用，將砷、鋅、銅累積於體內，若食用這些虱目魚將可能對人體產生危害 (Lin et al., 2005; Ling and Liao, 2007; Lin, 2009)。

砷被視為是烏腳病的致病因子，在台灣西南部曾爆發疫情，其中以嘉義縣布袋、義竹及台南縣北門、學甲最為盛行，而該地區地下水的砷濃度也高過全台大多數其他地區。鋅、銅雖然是新陳代謝的必需營養物質 (Mertz, 1981; Hogstrand and Wood, 1996; 施, 2001; 楊, 2006)，但過量時反而有害 (Vallee and Falchuk, 1993; Wilson and Taylor, 1993; Taylor et al., 2000)。當魚體將周遭水體中的砷、鋅、銅吸收或攝入體內時，這些元素不易被魚體分解，因此會累積於脂肪或肌肉組織中 (Hodson, 1988; Carpené et al., 1990)，隨著時間的增長累積量可能愈來愈大，直到魚體不能負荷之時，便會造成魚隻產生病變或死亡。但也有可能在這些病癥尚未出現之前，人類便將這些帶有污染物質的魚隻予以取食，導致這些污染質藉由食物鏈累積於人體內，時間一久將對人體造成傷害。

第二節 砷

一、特性

砷 (arsenic, As) 常存在於岩層、碎石和沙子中 (US EPA, 2009a)，並常透過水的傳遞而與生物接觸。當地層中有地下水存在時，砷會溶入地下水中，進而被抽取作為飲用水、養殖用水、一般用水，直接或間接地經由食物鍊進入人體 (Ferguson and Gavis, 1972; Chen et al., 1999; 薛, 2007; Lin et al., 2009)。人類的流行病學資料

顯示，砷已被歸類為第一類致癌物（Class I carcinogen）（IARC, 2003），會增加癌症的風險（Thomas et al., 1994; Ng et al., 2003）。

二、接觸源及危害

砷在水中是無色、無味的，因此在飲用或食用過程中無法感覺到砷的存在。長期飲用含有高濃度砷（ $>300 \mu\text{g L}^{-1}$ ）的水，會產生皮膚病變、反胃、嘔吐、胃痛、腹瀉、手腳麻痺等症狀（Abernathy et al., 2003; Yu et al., 2003）。

除了飲用水外，在中國貴州也發生因燃煤而導致砷中毒的疫情（Sun, 2004）。人們在烹飪、乾燥農作物和取暖過程中，燃燒含有砷的煤，進而使砷飄逸於空氣中或產生含砷積塵，當人們吸入或接觸到這些污染質時，便可能因而中毒（Liu et al., 2002）。

慢性的砷中毒通常在暴露 5-15 年後出現（Tseng, 1977），會導致呼吸、消化、循環、神經和排泄系統的損害（吳, 2006; Argos et al, 2007）。尤其以皮膚、肺和膀胱等部位的癌症最為常見（ATSDR, 2000; IPCS, 2001）。然而砷暴露所引發的病症與其他常見疾病類似，往往使得醫生在判定病肇上有著相當的困難度（US EPA, 2009a）。

三、管制標準

世界衛生組織（World Health Organization, WHO）制訂砷在飲用水中的濃度上限為 $10 \mu\text{g L}^{-1}$ （WHO, 2009），澳洲政府制訂的標準為 $7 \mu\text{g L}^{-1}$ （NHMRC, 2004）。美國環保署（United States Environmental Protection Agency, US EPA）於 2001 年 10 月 31 日將飲用水中的砷濃度上限標準（maximum contamination level, MCL）由 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ 提高為 $10 \mu\text{g L}^{-1}$ （US EPA, 2009a）。然而，許多開發中國家仍將標準設定

在 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ (Morales et al., 2000)。台灣飲用水標準為 $10 \mu\text{g L}^{-1}$; 養殖用水標準為 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ (環保署, 2009)。

第三節 鋅

一、特性

鋅 (zinc, Zn) 是地球上最普遍的元素之一，廣泛地散佈在空氣、水和土壤中，並且存在於食物中 (ATSDR, 2005)。鋅對於人體是不可或缺的微量元素，進入人體的鋅大約有 20 - 30% 會被吸收 (Klaassen, 1996)，攝取不足或過量皆會對健康產生危害 (ATSDR, 2005; Mareta and Sandtead, 2006)。

二、接觸源及危害

Mareta and Sandtead (2006) 指出，偏食是造成鋅缺乏的主要原因。豆類、穀類和肉類是大多數人攝取鋅的主要來源 (Gibson, 1994)。在美國，豆類和穀類食品提供約 30% 的鋅; 肉類約 50%; 乳製品約 20% (Walsh et al., 1994)，肉類中以紅肉提供最多鋅的來源 (Mareta and Sandtead, 2006)。ATSDR (2005) 指出，老鼠攝入過量的鋅會造成不孕，當孩童及青少年缺乏鋅時也會出現智能發展緩慢的現象，其可能是因為鋅的缺乏導致細胞的免疫功能喪失所造成的 (Golden et al., 1977, 1978; Prasad, 1998)。鋅攝取量不足的臨床症狀包括：糖尿病、尿毒症、肝硬化、慢性胰臟炎，酗酒患者合併有營養不良、腹瀉、味覺減退、免疫功能下降、性荷爾蒙功能低下、皮膚炎、禿頭、傷口不易癒合等等 (Ho, 2004)。若鋅的攝取量大於 $200 - 800 \text{ mg d}^{-1}$ ，則可能引發腸胃炎、噁心、嘔吐、腹瀉等腸胃症狀 (Wang et al., 2004)。

三、管制標準

成人對於鋅的容忍值約 $2000-3000 \text{ mg d}^{-1}$ ，每日大約有 0.1% 的鋅被重新補充

(Mareta and Sandtead, 2006)。WHO 建議鋅的攝取量為約 4.7-18.6 mg d⁻¹ (WHO, 2001)。ATSDR 甚至將鋅列入毒性物質優先名單中，並訂定出鋅的建議攝食量為 15 mg d⁻¹ 以內，飲用水標準則限制為 500 μg L⁻¹ (ATSDR, 2005)。漁業署參考 WHO 及 FAO 所訂定的容許攝取量 (ADI, acceptable daily intake) 為 1 mg kg⁻¹ d⁻¹，以男性 70 kg、女性 50 kg 進行換算，則每人每天可攝取鋅 50-70 mg。

第四節 銅

一、特性

銅(copper, Cu)廣泛分布在自然界中，是生物生長和代謝的必需元素(Sorensen, 1991; Carbonell and Tarazona, 1994; Eisler, 2000)。在生物體內，銅具有氧化和還原功能，其化合物可存在肝臟中，必要時參與體內代謝反應，並能在血液中形成抗氧化物，減輕及預防傷口發炎，但攝食過量的銅會對生物造成毒害 (Hung et al., 2001; Liao et al., 2005; Gioda et al., 2007; Lin, 2009)。

二、接觸源和危害

由於工業廢水的排放、老舊自來水銅管的使用以及農藥、化肥的施放，皆會使銅進入到環境中 (Wiley, 1979; Eisler, 2000)。當水生生物攝取過量的銅時，往往會造成不可逆轉的累積和傷害 (Schroeder et al., 1966; Betzer and Yevich, 1975; Hall et al., 1988; Eisler, 2000; Baldwin et al., 2003)。例如：若將魚類和甲殼類動物置於銅濃度為 0.23-0.91 μg L⁻¹ 的水體時，約 96 h 後上述生物便會死亡 (Eisler, 2000)。對人體而言，銅是製造細胞與構成組織的主要成分，同時可維持免疫、凝血、心血管系統的正常運作。但若攝取過量的銅，將會造成嘔吐、腸胃道痙攣、腎臟受損，甚至死亡 (Hellman and Gitlin, 2002; US EPA, 2004; ATSDR, 2004)。

三、管制標準

美國環保署規定飲用水的銅濃度需低於 $1,300 \mu\text{g L}^{-1}$ (US EPA, 2004)。美國食物與營養委員會 (The Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine) 建議成人對銅的飲食建議量 (RDAs) 為 $900 \mu\text{g d}^{-1}$ 。歐盟對銅的建議安全攝取量為 $800-1800 \mu\text{g d}^{-1}$ 。漁業署參考 WHO 及 FAO 所訂定的人體每日容許攝取量 (ADI) 為 500mg kg^{-1} ，若以男性 70kg 、女性 50kg 進行換算，則為每人每天可攝取銅 $25-35 \text{mg}$ 。

第五節 風險評估

一、風險評估定義

根據美國國家研究委員會 (National Research Council) 的定義，風險評估 (risk assessment) 係指「當人類處於有害環境中，污染質對人體健康潛在影響之推估」(NRC, 1983)，可用來估算人體暴露於毒性物質下，對健康產生的程度和發生機率(韓，1999; 詹，2002)。簡單來說，就是利用一個科學化的計算過程，評估人體接觸到有害的已知或潛在因子時，所造成危害健康的機率及影響 (呂，2001)。

二、風險評估方法

風險評估主要包含四個步驟：危害鑑定 (hazard identification)、劑量反應評估 (dose response evaluation)、暴露評估 (exposure evaluation) 和風險判定 (risk characterization) (NRC, 1983)

(一) 危害鑑定

危害鑑定可用來評估特定污染質之來源、毒理特性及其對人體健康的危害效應（林，2003）。首先收集污染質作用於人體或動物的相關研究，以了解該污染質特性、毒理效應、產生疾病之暴露條件及可能造成的健康問題，以決定該污染質與疾病發生的因果關係（Gratt, 1996）。

根據美國環保署（US EPA）、國際癌症研究署（International Agency for Research on Cancer, IARC）與國際通用物質安全資料表（Material Safety Data Sheet, MSDS）之參考規範，將污染質對人體所造成的危害分為「致癌風險」（carcinogenic risk）與「非致癌風險」（non-carcinogenic risk）。其中，致癌風險係指毒性化學物質經生物體攝入後導致癌症之風險；非致癌風險則是指引發其他疾病的風險（詹，2002）。

（二）劑量反應評估

劑量反應評估係針對污染質暴露與健康影響程度間的關連性進行定量描述（薛，2007）。由於污染質劑量會決定其對人體是否有害（例如：人體需攝取適量的鋅元素以維持健康，但過量將對健康造成危害），因此，需先找出所有可能的暴露途徑，並計算每一暴露途徑下人體對污染質的攝取量，藉由量化分析求出人體暴露在特定劑量污染質下可能產生之危害風險（Gratt, 1996）。

NRC（1983）指出，劑量反應評估是利用外插法決定暴露劑量（如：容許濃度）與健康效應之相關性。由於致癌風險與暴露程度成線性關係，因此可利用線性多階段模式（linearized multistage model）求得致癌斜率（carcinogenic potency slope, CPS）（US EPA, 1986），並經由動物實驗，定出污染質暴露量對致癌風險的增加量，亦稱為致癌強度（oral carcinogenic potency slope, CPS_o）（林，2003）。非致癌性化學物質對人體健康的影響，則通常以參考劑量（reference dose, RfD）來表示，根據

空氣、水或食物中之污染質的濃度，推算長期或終生暴露下不致對人體造成危害的劑量，以此作為「安全劑量」(郭，1998)。污染質的致癌強度、非致癌強度與參考劑量可由美國環保署公佈的「風險基準濃度範圍表」(region risk-based concentration table) 中查得 (US EPA, 2009)。

(三) 暴露評估

暴露評估可將污染質的暴露量以量化方式表示，在考慮人體經由不同方式或途徑接觸到的污染質劑量，決定人體暴露的程度。例如：在考慮污染質於環境中的濃度、進入人體的途徑以及人體暴露頻度、強度、時間和吸收量的情況下，可估算出人體對該污染質的最大暴露劑量，並指出減低暴露於該污染物質的方法 (US EPA, 1986; Gratt, 1996)。

(四) 風險判定

根據上述三個步驟的結果進行綜合性的評估、分析，並以量化的方式推估污染質危害人類身體健康之風險程度與影響 (NRC, 1983; Gratt, 1996)。污染質對人體健康造成的影響，可依據美國環保署 2009 年所公佈的「風險基準濃度範圍表」推估。其中，致癌風險可根據標的致癌風險 (target cancer risk, TR) 求得，非致癌風險可依據標的危害商數 (target hazard quotient, THQ) 求得 (US EPA, 2003)。

行政院國家永續發展委員會為落實健康風險評估制度，於 2002 年頒布「環境基本法」，其中「健康風險評估指引」為政府各部門在面對風險評估相關問題時的處理依據。同時參考美國國家科學院 (National Academy of Science, NAS) 出版紅皮書「聯邦政府的風險評估—過程管理」(Risk assessment in the federal government:

managing the process) (NAS, 1983)，訂定了風險評估辦法，以作為政府政策制定時的考量基準（詹，2002）。本論文即利用風險評估模式，推估台灣西南沿海烏腳病疫區居民食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷、鋅、銅之健康風險。

第參章 材料與方法

第一節 研究架構

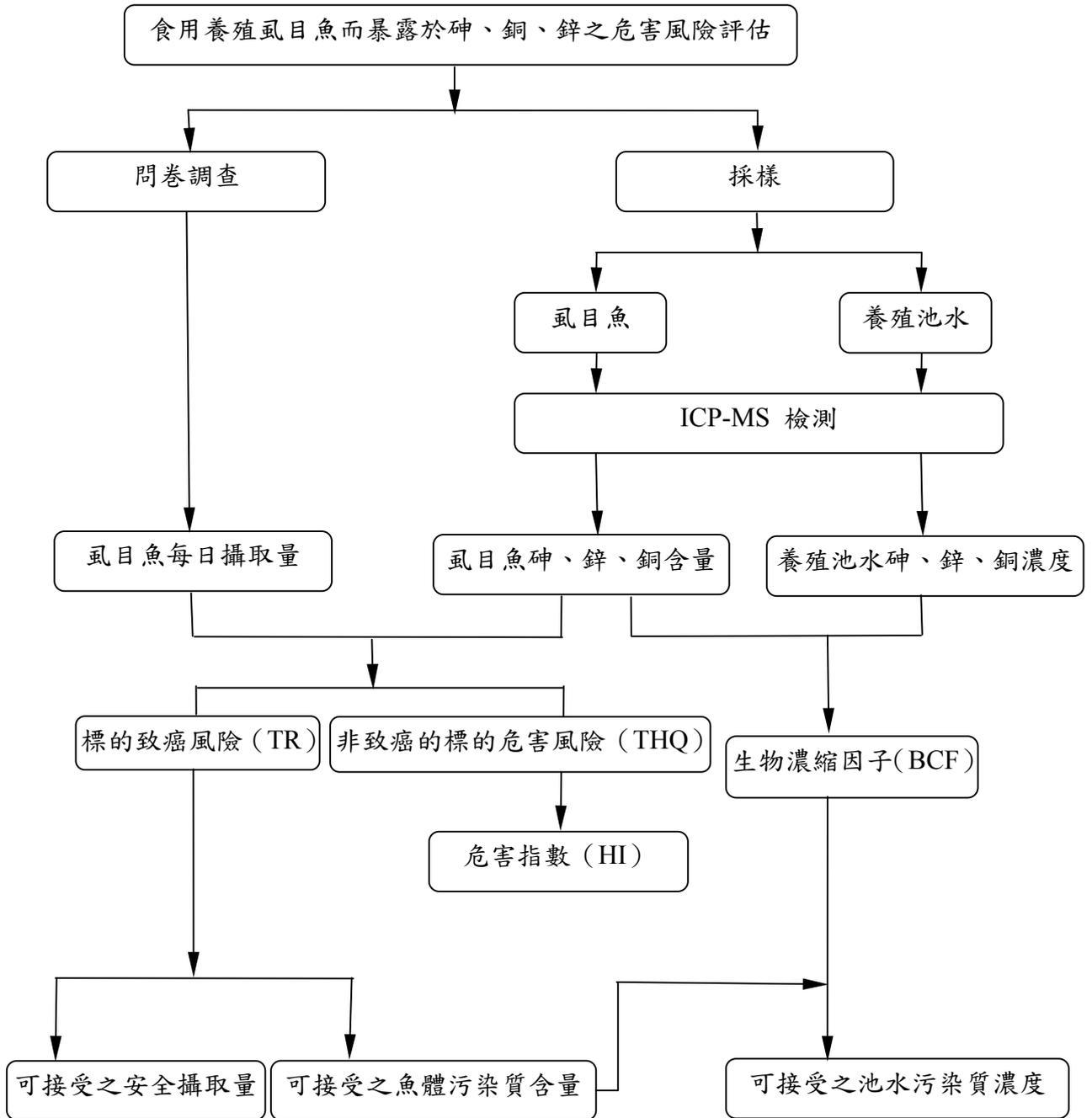


圖 1、研究架構

第二節 研究方法與步驟

本論文參考『台灣西南沿海地區地下水養殖虱目魚之砷累積研究』(鄭, 2003) 及『台灣西南沿海烏腳病疫區養殖虱目魚之砷含量風險評估』(林, 2003) 之魚體砷含量及養殖池水砷濃度數據, 結合虱目魚池水及魚體內鋅、銅含量之分析, 藉以瞭解台灣西南沿海地區(嘉義縣布袋、義竹及台南縣北門、學甲)地下水養殖虱目魚之砷、鋅、銅累積情形及食用風險。

本論文之研究方法與步驟主要分成四大項目: 一、問卷調查, 調查當地虱目魚養殖情況與居民食用情形; 二、野外調查, 藉以了解池水與魚體砷、鋅、銅含量; 三、藉生物濃縮因子(bioconcentration factor, BCF)之計算, 探討虱目魚對砷、鋅、銅的累積效應; 四、利用野外調查所得之魚體砷、鋅、銅含量與當地居民的每日攝取量, 求出標的致癌風險(target cancer risk, TR)和非致癌的標的危害商數(target hazard quotient, THQ), 判斷其危害指數(hazard indexes, HI), 進而推估出食用風險。

一、問卷調查

於 2002 年 3 月到 2003 年 1 月間, 針對布袋、義竹、北門、學甲等地居民進行問卷調查。調查方式採取面對面訪談方式進行, 問卷內容包含受訪者「基本資料」、「虱目魚食用情形」和「虱目魚養殖狀況」等。

二、野外調查

(一) 採樣:

從問卷調查所得的虱目魚養殖戶資料中, 選取布袋、義竹、北門、學甲地區以地下水為養殖池水的虱目魚池各 3 池, 這 12 池的養殖池水經鹽度計測量含鹽量皆為 0。於每池之不同地點取水樣 3 瓶(500 ml)及已達可出售體型(35-40 cm)

的虱目魚成魚 3 尾。採得水樣以 125 μm 的尼龍網過濾，去除懸浮顆粒及無脊椎動物，之後放入已用 10% HNO_3 及去離子水清洗乾淨的 1 L 聚乙烯採樣瓶中，並添加 5 ml 的 1N HNO_3 ，以固定水質。魚體運送至實驗室期間，均置於冰箱中，以維持 4°C 溫度。

接著於實驗室進行解剖，割取背部魚肉，將其置於 -20°C 冷藏。將結凍之魚肉置入烘箱 (DENG YNG DO45) 中，以 40°C 烘 96 h，乾燥後研磨成粉末。最後將水樣及魚粉樣本交由正修科技大學超微量中心 (Super Micro Mass Research and Technology Center) 分析。

(二) 魚體樣本分析：

取魚體樣本約 0.50 g，放入 250 ml 的燒杯內，加入 10 ml HNO_3 加熱 10 min，使樣本消化。待樣本冷卻後，加入 2 ml H_2O_2 試劑，加熱 3 min 直至轉為澄清液。待樣品冷卻後，若有油脂浮在液面上，則以 4G 漏斗過濾，濾液以試劑水稀釋至 50 ml，再以 ICP-MS (Agilent 7500a) 進行分析，檢測魚體砷、鋅、銅含量。

(三) 水體樣本分析：

取樣本、空白樣品及 QC 樣品各 45 ml，放入有洩壓裝置的消化瓶中，置於排煙櫃，加添 2 ± 0.1 ml HNO_3 及 1 ± 0.1 ml HCl 後，放入微波消化裝置 (CEM MARS-5)，於 10 min 內加熱至 170 ± 5 °C 進行消化。消化完成後，取出消化瓶靜置冷卻至少 5 min，再將樣品倒入酸洗過之定量瓶，以試劑水稀釋至 100 ml，移至 ICP-MS (Agilent 7500a) 下檢測水體砷、鋅、銅含量。

三、生物濃縮因子計算

所謂生物濃縮因子 (bioconcentration factor, BCF)，係指「在穩定狀態下，

生物體內污染質含量與環境中污染質濃度的比值」(Lin and Liao, 1999)，可用來推估生物體對污染質的累積能力。

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

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

四、風險評估

根據美國環保署 2006 年所公佈「風險基準濃度範圍表 (region risk-based concentration table)」(US EPA, 2009b)，假設體重 70 kg 成人之平均壽命為 70 yr，暴露於毒性物質下之天數為 350 d，並且持續暴露 30 yr，以此做為估算的參考值。

(一) 致癌風險

致癌風險 (carcinogenic risk) 是指體重 70 kg 的成人，在持續暴露於毒性物質 30 yr 情況下，終其一生所引發癌症的機率。

根據美國環保署 2007 年所公佈「風險基準濃度範圍表」(US EPA, 2009)，可依「標的致癌風險 (target cancer risk, TR)」公式進行致癌風險計算：

$$TR = \frac{(C \times IRF \times 10^{-3} \times CPSo \times EFr \times EDtot)}{(BWa \times ATc)} \quad (2)$$

其中，TR 為標的致癌風險； C 為食物中的污染質濃度 ($\mu\text{g g}^{-1}$)；IRF 為每日攝取量 (g d^{-1})；CPSo 為致癌強度 ($1.5 \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$)；EFr 為暴露頻率 (d yr^{-1})；EDtot 為暴露期間 (yr)；BWa 為成人平均體重 (kg)；ATc 為平均壽命 (d)。

美國環保署所建議的風險基準值為 1×10^{-6} ，砷的致癌強度為 $1.5 \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ 。根據上述公式及標準值，可求得食用地下水養殖虱目魚的致癌風險。

由於鋅、銅不會造成致癌風險，所以本論文只計算砷污染質的致癌風險。

(二) 非致癌風險

非致癌風險 (non-carcinogenic risk) 是指體重 70 kg 的成人，在持續暴露於毒性物質 30 yr 情況下，終其一生所引發非致癌症疾病的機率，其安全標準值為 1。

根據「風險基準濃度範圍表」(US EPA, 2009b)，可依「標的危害商數 (target hazard quotient, THQ)」公式進行非致癌風險計算：

$$\text{THQ} = \frac{(C \times \text{IRF} \times 10^{-3} \times \text{Efr} \times \text{EDtot})}{(\text{RfD} \times \text{BWa} \times \text{ATn})} \quad (3)$$

其中，THQ 為標的危害商數；RfD 為參考劑量 ($\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$)；BWa 為成人平均體重 (kg)；ATn 為暴露天數 (d)；C 為食物中的污染質濃度 ($\mu\text{g g}^{-1}$)；IRF 為每日攝取量 (g d^{-1})；Efr 為暴露頻率 (d yr^{-1})；EDtot 為暴露期間 (yr)。

根據美國環保署所公佈的砷、鋅、銅容許暴露參考劑量 (砷： $3 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ ；銅： $4 \times 10^{-2} \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ ；鋅： $3 \times 10^{-1} \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$)，再根據虱目魚體的砷、鋅、銅含量及每日攝取量，可分別求出攝取砷、鋅、銅之 THQ 值。最後根據美國環保署之安全標準值 1，求得居民食用地下水養殖虱目魚而引發非致癌疾病的風險。

(三) 危害指數

危害指數 (hazard index, HI) 係指不同污染質同時存在時，其危害商數 (THQ) 的總和 (US EPA, 2009a)，可用來作為混合毒物的危害指標。HI 的使用時機為：當混合毒物的 THQ 值中至少有兩個成分大於或等於 0.1 時，必須計算出其 THQ 之總和，以指出其潛在的風險(ATSDR, 2001)。

$$HI = THQ_{As} + THQ_{Zn} + THQ_{Cu} \quad (4)$$

其中 THQ_{As} 為砷的 THQ 值， THQ_{Zn} 為鋅的 THQ 值， THQ_{Cu} 為銅的 THQ 值。

(四) 每日安全攝取量

每日安全攝取量 (acceptable daily intake, ADI) 係根據魚體砷含量及可接受風險基準值 1×10^{-6} 代入 Eq (2)，推算出免於致癌的虱目魚安全攝取量。

(五) 風險基準濃度

風險基準濃度 (risk-based concentration, RBC) 係根據各區居民對虱目魚的每日攝取量及可接受風險基準值 1×10^{-6} 代入 Eq (2)，推算出免於致癌的魚體 RBC_f ，指出虱目魚體的容許砷濃度。

$$RBC_f = \frac{1 \times 10^{-6} \times BWa \times ATc}{(IRF \times 10^{-3} \times CPSo \times EFr \times EDtot)} \quad (5)$$

其中， RBC_f 為魚體的風險基準濃度 ($\mu\text{g g}^{-1}$)。

再將所求得的 BCF 和 RBC_f 代入 Eq (1)，即可求出養殖池水 RBC_w ，指出虱目魚養殖池水的容許砷濃度。

$$RBC_w = \frac{RBC_f}{BCF} \quad (6)$$

其中， RBC_w 為池水的風險基準濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)。

第肆章 結果

第一節 問卷調查

本研究有效問卷回收共 141 份，一般居民 85 份，養殖戶 56 份。在 56 份養殖戶中也包含提供採樣點的 12 位以地下水進行虱目魚養殖之漁戶。

一、虱目魚食用情形

在 141 位受訪者中，食用虱目魚的來源為市場購買者佔 45.39%、自家捕撈佔 37.59%。食用頻率主要以一星期 3-5 次居多，佔 43.97%，每日食用虱目魚餐數以 2 餐為主，佔 47.52%，一餐食用一尾（以 600 g 計）者佔 37.59%（表 1）。

根據問卷所求得之每人每日養殖虱目魚攝取量為 $103.22 \pm 43.69 \text{ g d}^{-1}$ 至 $374.07 \pm 134.22 \text{ g d}^{-1}$ 。各地的每日攝取量以義竹為最高（ $274.58 \pm 94.49 \text{ g d}^{-1}$ ），其次為布袋（ $179.81 \pm 60.52 \text{ g d}^{-1}$ ），學甲與北門的每日攝取量較低（學甲： $138.47 \pm 48.73 \text{ g d}^{-1}$ ；北門： $145.12 \pm 55.04 \text{ g d}^{-1}$ ）（表 2、圖 2）。

（一）布袋之每日攝取量

布袋區居民每人每日養殖虱目魚之平均攝取量為 $179.81 \pm 60.52 \text{ g d}^{-1}$ （圖 1）。其中以布袋 A 的每日攝取量 $226.16 \pm 86.37 \text{ g d}^{-1}$ 最高，布袋 B 及布袋 C 的每日攝取量 $135.19 \pm 51.14 \text{ g d}^{-1}$ 最低（圖 3）。

（二）義竹之每日攝取量

義竹區居民每人每日養殖虱目魚之平均攝取量為 $274.58 \pm 94.49 \text{ g d}^{-1}$ (圖 1)。其中義竹 B 的每日攝取量 $374.07 \pm 134.22 \text{ g d}^{-1}$ 最高，義竹 A 的每日攝取量 $286.70 \pm 89.20 \text{ g d}^{-1}$ 次之，義竹 C 的每日攝取量 $162.98 \pm 57.04 \text{ g d}^{-1}$ 最低 (圖 3)。

(三) 學甲之每日攝取量

學甲區居民每人每日養殖虱目魚之平均攝取量為 $138.47 \pm 48.73 \text{ g d}^{-1}$ (圖 1)。其中學甲 B 的每日攝取量 $189.59 \pm 42.65 \text{ g d}^{-1}$ 最高，學甲 C 的每日攝取量 $103.22 \pm 43.69 \text{ g d}^{-1}$ 最低 (圖 3)。

(四) 北門之每日攝取量

北門區居民每人每日養殖虱目魚之平均攝取量為 $145.12 \pm 55.04 \text{ g d}^{-1}$ 。其中北門 A 的每日攝取量 $203.71 \pm 60.10 \text{ g d}^{-1}$ 最高，北門 B 的每日攝取量 $114.90 \pm 65.40 \text{ g d}^{-1}$ 最低 (圖 3)。

二、虱目魚養殖狀況

針對 56 位養殖業者調查得知，養殖池水的鹽度為 0 的養殖池佔 67.86% (表 3、圖 4)。其中虱目魚養殖池水的鹽度多為 0，本研究所取用的虱目魚及水池樣本，皆以池水鹽度為 0 的地下水養殖池作為採樣點。

第二節 野外調查

一、虱目魚養殖池水之砷、鋅、銅濃度

(一) 虱目魚養殖池水之砷濃度

虱目魚養殖池水砷濃度的總平均值達 $63.9 \pm 2.51 \mu\text{g L}^{-1}$ (表 4)，超過台灣二級水產用水的砷濃度標準 ($50 \mu\text{g L}^{-1}$) (環保署，2009)。各地池水之平均砷濃度分別為：布袋 $88.10 \pm 4.18 \mu\text{g L}^{-1}$ 、義竹 $102.57 \pm 3.09 \mu\text{g L}^{-1}$ 、學甲 $30.44 \pm 1.13 \mu\text{g L}^{-1}$ 及北門 $34.58 \pm 1.65 \mu\text{g L}^{-1}$ 。其中布袋及義竹地區超出標準 (尤其義竹高出標準達兩倍以上)，學甲、北門則未超出標準 (圖 5)。

(二) 虱目魚養殖池水之鋅濃度

虱目魚養殖池水鋅濃度的總平均值為 $10.9 \pm 4.72 \mu\text{g L}^{-1}$ (表 4)，而各地池水之鋅濃度分別為：布袋 $21.65 \pm 16.30 \mu\text{g L}^{-1}$ 、義竹 $5.97 \pm 1.91 \mu\text{g L}^{-1}$ 、學甲 $7.45 \pm 0.23 \mu\text{g L}^{-1}$ 及北門 $8.63 \pm 0.46 \mu\text{g L}^{-1}$ (圖 6)。以上皆未超出台灣二級水產用水的鋅濃度標準 ($500 \mu\text{g L}^{-1}$) (環保署，2009)。

(三) 虱目魚養殖池水之銅濃度

虱目魚養殖池水銅濃度的總平均值為 $77.1 \pm 3.69 \mu\text{g L}^{-1}$ (表 4)，已超出台灣二級水產用水的銅濃度標準 ($30 \mu\text{g L}^{-1}$) (環保署，2009)。各地養殖池水的銅濃度分別為：布袋 $85.70 \pm 3.80 \mu\text{g L}^{-1}$ 、義竹 $60.01 \pm 2.22 \mu\text{g L}^{-1}$ 、學甲 $40.78 \pm 1.57 \mu\text{g L}^{-1}$ 及北門 $121.88 \pm 7.18 \mu\text{g L}^{-1}$ ，均超出標準 (圖 7)。其中布袋和義竹的含銅量超出標準兩倍，北門甚至超過標準三倍以上。

二、虱目魚魚體砷、鋅、銅含量

(一) 虱目魚魚體砷含量

虱目魚體之平均砷含量為 $0.97 \pm 0.51 \mu\text{g g}^{-1}$ (表 5)，各地虱目魚體之砷含量分別為：布袋 $1.89 \pm 0.95 \mu\text{g g}^{-1}$ 、義竹 $1.29 \pm 0.90 \mu\text{g g}^{-1}$ 、學甲 $0.32 \pm 0.07 \mu\text{g g}^{-1}$

g^{-1} 及北門 $0.38 \pm 0.13 \mu g g^{-1}$ (圖 8)。

(二) 虱目魚魚體鋅含量

虱目魚體之平均鋅含量為 $37.98 \pm 7.38 \mu g g^{-1}$ (表 5)，各地虱目魚體之鋅含量分別為：布袋 $46.33 \pm 16.92 \mu g g^{-1}$ 、義竹 $33.10 \pm 4.61 \mu g g^{-1}$ 、學甲 $39.92 \pm 2.63 \mu g g^{-1}$ 及北門 $32.57 \pm 5.35 \mu g g^{-1}$ (圖 9)。

(三) 虱目魚魚體銅含量

虱目魚體之平均銅含量為 $2.04 \pm 0.81 \mu g g^{-1}$ (表 5)，各地虱目魚體之銅含量分別為：布袋 $2.11 \pm 1.00 \mu g g^{-1}$ 、義竹 $1.67 \pm 0.20 \mu g g^{-1}$ 、學甲 $1.76 \pm 1.08 \mu g g^{-1}$ 及北門 $2.63 \pm 0.96 \mu g g^{-1}$ (圖 10)。

以虱目魚體內的砷、鋅、銅含量和水體中的砷、鋅、銅濃度進行相關分析，發現其皆為正相關，顯示當水體砷、鋅、銅濃度提高時，魚體內的砷、鋅、銅含量也會隨之增加，反之則減少 (圖 11、12、13)。

第三節 生物濃縮因子 (BCF)

一、虱目魚體累積砷的 BCF 值

虱目魚體累積砷之 BCF 總平均值為 12.51 ± 4.95 (表 6)。各地之 BCF 值分別為：布袋 16.84 ± 9.09 、義竹 9.01 ± 6.64 、學甲 10.94 ± 3.55 和北門 10.35 ± 4.17 。

二、虱目魚體累積鋅的 BCF 值

虱目魚體累積鋅之 BCF 總平均值為 4479.68 ± 1399.66 (表 6)。各地之

BCF 值分別為：布袋 3191.77 ± 2402.89 、義竹 5541.02 ± 1338.63 、學甲 5357.59 ± 521.33 和北門 3828.36 ± 442.00 。

三、虱目魚體累積銅的 BCF 值

虱目魚體累積銅之 BCF 總平均值為 30.50 ± 12.76 (表 6)。各地之 BCF 值分別為：布袋 24.84 ± 2.92 、義竹 28.12 ± 8.23 、學甲 47.43 ± 15.60 和北門 21.62 ± 4.99 。

由以上得知，虱目魚對周圍水體的砷、鋅、銅污染質均具有累積能力，其中又以對鋅的累積能力最高 (圖 14、15、16、17)。

第四節 風險評估

一、標的致癌風險 (TR)

因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷的 TR 平均值為 $1.05 \times 10^{-3} \pm 9.91 \times 10^{-4}$ (表 7)。各鄉鎮所求得的 TR 值分別為：布袋 $9.39 \times 10^{-4} \pm 2.46 \times 10^{-4}$ 、義竹 $1.34 \times 10^{-3} \pm 5.37 \times 10^{-4}$ 、學甲 $1.48 \times 10^{-3} \pm 1.66 \times 10^{-4}$ 、北門 $4.51 \times 10^{-4} \pm 1.46 \times 10^{-4}$ (圖 18)。上述數值皆大於美國環保署規定之可接受風險基準值 1×10^{-6} (US EPA, 2009b)。

(一) 布袋區

布袋區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷的 TR 值皆超出可接受風險基準質 1×10^{-6} (表 7)。布袋區整體 TR 平均值達 $9.39 \times 10^{-4} \pm 2.46 \times 10^{-4}$ ，其中以布袋 C 的 TR 值 $1.88 \times 10^{-3} \pm 3.75 \times 10^{-4}$ 最高，布袋 B 的 TR 值 $6.51 \times 10^{-4} \pm 3.22 \times 10^{-4}$ 最低 (圖 19)。

(二) 義竹區

義竹區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷的 TR 值皆超出可接受風險基準值 1×10^{-6} (表 7)。義竹區整體 TR 平均值達 $1.34 \times 10^{-3} \pm 5.37 \times 10^{-4}$ ，其中以義竹 C 的 TR 值 $1.75 \times 10^{-3} \pm 8.17 \times 10^{-4}$ 最高，義竹 A 的 TR 值 $9.26 \times 10^{-4} \pm 3.27 \times 10^{-4}$ 最低 (圖 19)。

(三) 學甲區

學甲區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷的 TR 值皆超出可接受風險基準值 1×10^{-6} (表 7)。學甲區整體 TR 平均值達 $1.48 \times 10^{-3} \pm 1.66 \times 10^{-4}$ ，其中以學甲 B 的 TR 值 $3.62 \times 10^{-3} \pm 3.47 \times 10^{-4}$ 最高，學甲 C 的 TR 值 $2.90 \times 10^{-4} \pm 1.07 \times 10^{-4}$ 最低 (圖 19)。

(四) 北門區

北門區居民因食用地下水養殖虱目魚，而暴露於砷的 TR 值皆超出可接受風險基準值 1×10^{-6} (表 7)。北門區整體 TR 平均值達 $4.51 \times 10^{-4} \pm 1.46 \times 10^{-4}$ ，其中以北門 A 的 TR 值 $8.43 \times 10^{-4} \pm 3.79 \times 10^{-4}$ 最高，北門 C 的 TR 值 $2.20 \times 10^{-4} \pm 1.80 \times 10^{-5}$ 最低 (圖 19)。

二、標的危害商數 (THQ)

因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷、鋅、銅之 THQ 值中，只有砷 5.45 ± 5.14 超過 THQ 安全標準值 1 (US EPA, 2009b)，銅和鋅 (Cu: 0.12 ± 0.07 ; Zn: 0.34 ± 0.17) 皆低於安全標準 (表 8、9、10、圖 20、21、22)。

(一) 砷之 THQ 值

1. 布袋區

布袋區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之 THQ 平均值為 4.87 ± 1.27 ，布袋各池的 THQ 值皆超過安全標準值 1，其中以布袋 C 之 THQ 值 9.77 ± 1.94 最高，布袋 B 之 THQ 值 1.46 ± 0.21 最低（表 8）。

2. 義竹區

義竹區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之 THQ 平均值為 6.95 ± 2.79 ，義竹各池的 THQ 值皆超過安全標準值 1，其中以義竹 C 之 THQ 值 9.07 ± 4.24 最高，義竹 A 之 THQ 值 4.80 ± 1.70 最低（表 8）。

3. 學甲區

學甲區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之 THQ 平均值為 7.65 ± 0.86 ，學甲各池的 THQ 值皆超過安全標準值 1，其中以學甲 A 之 THQ 值 18.75 ± 1.80 最高，學甲 C 之 THQ 值 1.50 ± 0.56 最低。學甲 A 之 THQ 值為 12 座養殖池中最高，高於安全標準值 18 倍以上（表 8）。

4. 北門區

北門區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之 THQ 平均值為 2.34 ± 0.76 ，北門各池的 THQ 值皆超過安全標準值 1，其中以北門 A 之 THQ 值 4.37 ± 1.97 最高，北門 C 之 THQ 值 1.14 ± 0.09 最低（表 8）。

(二) 鋅之 THQ 值

1. 布袋區

布袋區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於鋅之 THQ 平均值為

0.37 ± 0.12，布袋各池之 THQ 值皆未超過安全標準值 1。其中以布袋 A 之 THQ 值 0.51 ± 0.11 最高，布袋 B 之 THQ 值 0.19 ± 0.05 最低（表 9）。

2. 義竹區

義竹區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於鋅之 THQ 平均值為 0.55 ± 0.19，義竹各池之 THQ 值皆未超過安全標準值 1。其中以義竹 A 之 THQ 值 0.58 ± 0.25 最高，義竹 C 之 THQ 值 0.51 ± 0.23 最低（表 9）。

3. 學甲區

學甲區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於鋅之 THQ 平均值為 0.23 ± 0.05，學甲各池之 THQ 值皆未超過安全標準值 1。其中以學甲 B 之 THQ 值 0.35 ± 0.02 最高，學甲 C 之 THQ 值 0.15 ± 0.04 最低（表 9）。

4. 北門區

北門區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於鋅之 THQ 平均值為 0.21 ± 0.04，北門各池之 THQ 值皆未超過安全標準值 1。其中以北門 A 之 THQ 值 0.29 ± 0.03 最高，北門 B 之 THQ 值 0.16 ± 0.02 最低（表 9）。

（三）銅之 THQ 值

1. 布袋區

布袋區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於銅之 THQ 平均值為 0.13 ± 0.04，布袋各池之 THQ 值皆未超過安全標準值 1。其中以布袋 A 之 THQ 值 0.19 ± 0.01 最高，布袋 B 之 THQ 值 0.10 ± 0.01 最低（表 10）。

2. 義竹區

義竹區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於銅之 THQ 平均值為 0.17 ± 0.02 ，義竹各池之 THQ 值皆未超過安全標準值 1。其中以義竹 B 之 THQ 值 0.24 ± 0.01 最高，義竹 C 之 THQ 值 0.07 ± 0.01 最低（表 10）。

3. 學甲區

學甲區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於銅之 THQ 平均值為 0.07 ± 0.03 ，學甲各池之 THQ 值皆未超過安全標準值 1。其中以學甲 B 之 THQ 值 0.07 ± 0.02 最高，學甲 A 之 THQ 值 0.06 ± 0.04 最低（表 10）。

4. 北門區

北門區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於銅之 THQ 平均值為 0.11 ± 0.03 ，北門各池之 THQ 值皆未超過安全標準值 1。其中以北門 A 之 THQ 值 0.21 ± 0.06 最高，北門 B 之 THQ 值 0.05 ± 0.01 最低（表 10）。

三、危害指數 (HI)

藉由 THQ 可求得混合污染質的 HI 值，其中砷與銅的 HI 值為 5.57 ± 5.21 ；砷與鋅的 HI 值為 5.79 ± 5.31 ；砷、銅與鋅的 HI 值為 5.91 ± 5.38 ，以上皆超過 HI 標準值 1，只有銅與鋅的 HI 值 0.46 ± 0.24 未超出標準（圖 23）。

四、每日安全攝取量

西南沿海居民食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷的每日安全攝取量為 $0.32 \pm 0.17 \text{ g d}^{-1}$ （表 11）。

1. 布袋區

布袋區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷的每日安全攝取量為 $0.36 \pm 0.15 \text{ g d}^{-1}$ ，其中以布袋 A 之每日安全攝取量 $0.53 \pm 0.36 \text{ g d}^{-1}$ 最高，布袋 C 之每日安全攝取量 $0.08 \pm 0.01 \text{ g d}^{-1}$ 最低（表 11）。

2. 義竹區

義竹區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷的每日安全攝取量為 $0.25 \pm 0.08 \text{ g d}^{-1}$ ，其中以義竹 A 之每日安全攝取量 $0.33 \pm 0.10 \text{ g d}^{-1}$ 最高，義竹 C 之每日安全攝取量 $0.11 \pm 0.04 \text{ g d}^{-1}$ 最低（表 11）。

3. 學甲區

學甲區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷的每日安全攝取量為 $0.27 \pm 0.072 \text{ g d}^{-1}$ ，其中以學甲 C 之每日安全攝取量 $0.40 \pm 0.18 \text{ g d}^{-1}$ 最高，學甲 A 之每日安全攝取量 $0.03 \pm 0.003 \text{ g d}^{-1}$ 最低（表 11）。

4. 北門區

北門區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷的每日安全攝取量為 $0.41 \pm 0.09 \text{ g d}^{-1}$ ，其中以北門 C 之每日安全攝取量 $0.53 \pm 0.04 \text{ g d}^{-1}$ 最高，北門 A 之每日安全攝取量 $0.29 \pm 0.17 \text{ g d}^{-1}$ 最低（表 11）。

五、風險基準濃度 (RBC)

結果顯示地下水養殖虱目魚之魚體砷含量遠超過砷之風險基準濃度 (RBC_f) $7.19 \times 10^{-4} \pm 2.62 \times 10^{-4}$ 。根據先前所求得之虱目魚 BCF 值，所推算出的養殖池水之砷 RBC_w 值為 0.08 ± 0.03 。根據已測得的養殖池水數據發現，養殖池水之砷濃度皆高於養殖池水風險基準濃度 (RBC_w)。

第五章 討論

農委會 2005 年「糧食平衡表」指出，台灣民眾每日魚類的攝食量為 51.96 g d^{-1} (農委會, 2005)，本研究調查結果皆高於此數據。施 (2001) 針對台灣西部沿岸漁民食用魚類狀況進行問卷調查，亦指出漁民們每人每日攝食量為 461 g d^{-1} ，其差異可能源自於本研究調查對象以虱目魚養殖業者為主，而業者多會因工作之便，自行撈取漁獲食用，以致攝取量相對較高，但其取得魚貨又不如漁民頻繁所致。

調查發現四鄉鎮的每日攝取量遠超過所求得的每日安全攝取量 ($0.32 \pm 0.17 \text{ g d}^{-1}$)，尤其義竹最為需要注意，其平均每日攝取量 ($274.58 \pm 94.49 \text{ g d}^{-1}$) 為每日安全攝取量的 1000 倍以上，當地居民需減少每日對地下水養殖虱目魚的攝取，以避免因攝食過量而產生暴露於砷的致癌風險。

根據沈 (2001) 1998-2000 年監測台灣西南部養殖池水指出，以地下水養殖吳郭魚、豆仔魚的養殖池中，其池水砷濃度皆超過 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ ，Lin et al. (2005) 資料顯示布袋 ($153.74 \pm 5.7 \mu\text{g L}^{-1}$) 及義竹 ($166.19 \pm 4.85 \mu\text{g L}^{-1}$) 池水砷濃度高於台灣二級水產用水標準，楊 (2006) 於嘉南平原烏腳病流行區所採集的地下水水樣顯示，其含砷濃度介於 $15 \mu\text{g L}^{-1}$ 和 $79.6 \mu\text{g L}^{-1}$ 之間，而本研究所得之數值雖未高達 $79.6 \mu\text{g L}^{-1}$ ，但仍已超出台灣二級水產用水標準 (環保署, 2009)。然而 2007 年經濟部地下水觀測網於布袋、義竹、學甲及北門等地所測得的地下水砷濃度皆低於台灣二級水產用水標準，但養殖池水含砷量，未必與地下水砷濃度相同仍值得追蹤監測。本研究所測得的養殖池水砷濃度高於經濟部水利署 (2004) 與楊 (2006) 於嘉南平原烏腳病地區所測得的地下水砷濃度，因此當地養殖池水的砷含量值得密切關注。

鄭 (2005) 針對台灣地區養殖池重金屬元素之研究指出，嘉義地區 (布袋、義竹)

吳郭魚池水之銅濃度為 $0.5386 \mu\text{g L}^{-1}$ ，鋅濃度為 $1.83 \mu\text{g L}^{-1}$ ，台南地區採得的虱目魚池水銅濃度為 $0.789 \mu\text{g L}^{-1}$ ，鋅為 $4.092 \mu\text{g L}^{-1}$ ，與 2007 年經濟部地下水觀測網於布袋、義竹、學甲及北門等地所測得的地下水之鋅、銅濃度近似，皆在台灣二級水產標準值（鋅： $500 \mu\text{g L}^{-1}$ ；銅： $30 \mu\text{g L}^{-1}$ ）以下（環保署，2009）。本研究所測得虱目魚養殖池水之平均鋅濃度 $10.9 \pm 4.72 \mu\text{g L}^{-1}$ 則在標準範圍之內，但平均銅濃度則超過二級水產用水標準，顯示近年來虱目魚養殖池水中的濃度大幅降低。張（2006）針對台南地區將軍溪水所作的調查發現，將軍溪溪水中含有高濃度的鋅和銅，推測其原因為上游煉銅及養豬戶所排放的廢水所造成，由於河水可能滲入地下水因此需加強當地地下水的養殖池的水質監測，以防範風險。

施（2001）針對台北市吳興市場、東門市場、南門市場及台北魚市所進行的重金屬含量檢測發現，虱目魚的砷含量為 $0.15 \mu\text{g g}^{-1}$ ，而 Han et al.（1998）於新竹香山地區市場所採得虱目魚的砷含量為 $0.37 \mu\text{g g}^{-1}$ ，兩者魚體砷含量皆低於 Lin et al.（2001）與本研究所求得之數值（ $0.97 \pm 0.51 \mu\text{g g}^{-1}$ ），顯示出台灣西南沿海四鄉鎮養殖虱目魚受到砷污染的情形較為嚴重。

當魚體銅含量高於 US EPA 標準（銅： $54 \mu\text{g g}^{-1}$ ），會有非致癌的健康風險存在。本研究調查所求得的各地魚體銅含量平均值為 $2.04 \pm 0.81 \mu\text{g g}^{-1}$ ，在 US EPA 的標準之內，該含量與台北市吳興市場、東門市場、南門市場及台北魚市之虱目魚銅含量（ $1.26 \mu\text{g g}^{-1}$ ）及新竹香山地區市場所採得的虱目魚銅含量（ $3.06 \mu\text{g g}^{-1}$ ）近似（Han et al., 1998; 施，2001），顯示台灣各地虱目魚的銅含量大致相同，不受地區影響。

Lin（2009）研究指出，虱目魚魚體的砷、鋅、銅含量與養殖池水砷、鋅、銅濃度有顯著的正相關，與本研究結果相符，而沈（2001）和黃（2002）在也發現水中砷濃度與吳郭魚魚體砷含量間呈現顯著正相關，顯示虱目魚及吳郭魚體內的污染質含量皆會因周圍水體污染質濃度升高而升高，反之則降低。

Lin (2009) 研究指出，虱目魚對於遭受到污染環境具有很高的容忍度。本研究計算得知，虱目魚對砷、鋅、銅的 BCF 值分別為 12.51 ± 4.95 、 4479.68 ± 1399.66 、 30.50 ± 12.76 ，顯示其對周圍水體污染質具有累積能力，其中對鋅的累積能力最高，耐受度也最高。然而，當污染質長期地累積在魚體內，若經攝食，而累積於人體內，一旦達到足以影響細胞活性的劑量，則可能干擾人體的生理運作 (Beaumont et al., 2000)。倘若同時接觸到多種的污染質，甚至會強化其危害健康的效應 (Gioda et al., 2007)。

郭 (1998)、韓 (1999) 針對市售魚類及施 (2001) 針對西部沿岸漁魚類所求得的 TR 值指出，食用上述魚類引發砷中毒而導致癌症的風險，皆低於本研究所求得的風險值，顯示台灣西南沿海四鄉鎮居民食用地下水養殖虱目魚所冒的致癌風險，比一般民眾及沿岸漁民來得高。

施 (2001) 指出台灣西部沿岸漁民食用魚類而暴露於砷的 THQ 值為 44.30，略低於本研究所求得的 THQ 值，但均高過美國環保署所訂之安全標準，顯示台灣西南部地區養殖業者和西部沿海漁民，均干冒著食用魚類而引發非癌症疾病的風險。此外，本研究所求得食用地下水養殖之虱目魚而暴露於砷、鋅、銅之 THQ 值中，只有砷超過安全標準 5 倍，銅和鋅之 THQ 值皆低於安全標準。表示該地區居民食用含砷虱目魚有可能會引發非癌症的疾病，例如貧血、烏腳病、肝硬化等病症。藉由 THQ 所求得的 HI 值發現，當砷、鋅、銅同時存在時，HI 值之所以超出標準值，是因為砷具有高 THQ 值所致。因此，食用虱目魚並不會導致攝入過量的鋅和銅，至少截至目前為止，台灣西南沿海地區尚未發生因食用虱目魚而引發鋅、銅中毒，甚而產生對健康不利影響的情況出現 (Lin, 2009)。

由於地下水養殖虱目魚之魚體砷含量遠超過風險基準濃度 (RBC_f)，而養殖池水的砷濃度亦均超過 RBC_w 值，若以此池水養殖虱目魚，而後又供居民食用，會導致民眾暴露於砷之致癌風險中。

第陸章 結論與建議

第一節 結論

根據調查結果得知，四鄉鎮的虱目魚養殖池水平均砷、銅濃度均超過台灣二級水產用水標準，而養殖池水鋅濃度則未超出標準。其中，布袋及義竹地區之池水砷濃度皆超出台灣二級水產用水標準，尤其義竹的池水砷、銅濃度皆高出標準達兩倍以上。

根據本研究虱目魚的 BCF 值，顯示魚體對周圍水體的砷、鋅、銅污染質具有累積能力，其中對鋅的累積能力最高，比砷和銅高出很多。高濃度的累積，顯示虱目魚對受到污染的環境具有很高的耐受度。

因食用以地下水養殖虱目魚而暴露於砷的平均 TR 值大於 US EPA 規定之可接受風險基準，因此若長期食用這些虱目魚，將會有暴露於砷的致癌風險。食用以地下水養殖虱目魚而暴露於砷、鋅、銅之 THQ 值中，只有砷超過安全標準，銅和鋅之 THQ 值皆低於安全標準。藉由 THQ 所求得的 HI 值發現，當砷、鋅、銅同時存在時，HI 值超出標準值，但其影響成分主要來自於砷，因此食用受到污染的虱目魚將可能引發砷中毒，並產生非致癌疾病但並不會導致攝入過量的鋅和銅。

由於根據理論值求出之虱目魚每日安全攝取量低於當地居民之每日攝取量，表示居民已過量攝取當地之地下水養殖虱目魚。此外，由於魚體砷含量遠超過風險基準濃度 (RBC_f)，且養殖池水砷濃度亦超過 RBC_w 值，若以此池水養殖虱目魚，而後又供居民食用，會導致民眾暴露於砷之致癌風險中。

第二節 檢討與建議

- (1) 目前政府只訂定單一污染物質的污染限值，對於混合污染質卻未加以限制，因此建議政府應將混合毒物納入風險評估的考量中。
- (2) 消費者在食用虱目魚時，除了注意虱目魚的重金屬含量外，也須注意每日的攝取量，以免因食用過多而危害健康。
- (3) 對於魚體虱目魚各部位（例如鰓、肝、腸、肉、……等）重金屬含量尚未深入探討，日後應進行相關研究並指出這些重金屬在各組織的分布及其毒性效應。
- (4) 政府應投入更多人力、物力進行養殖池水質、魚體監測，以確保人民的健康安全。
- (5) 本研究只針對砷、鋅、銅三種污染質進行探討，建議後續研究可針對其他的污染質，同時也可進行更多混合毒物研究。
- (6) 目前的研究多集中在烏腳病疫區，鄰近地區大多未被探討，建議後續研究可與其他鄰近未受污染地區進行比較，可藉由數據的比較、探討，來得知為何只有當地受到污染或者其他地區也有同樣的健康危害。

參考文獻

一、 中文文獻

- 台南縣統計要覽，2007，<http://web1.tainan.gov.tw/bas/CP/11229/view-1.aspx>
- 何昌運，2001，「台灣西部河川河口及西南海域重金屬分布」，中國文化大學應用化學研究所碩士論文。
- 吳春吉，2006，「竹科放流水中銅及砷來源追蹤分析及其對香山海域養殖區牡蠣影響之探討」，國立中央大學環境工程研究所碩士論文。
- 呂斯文，2001，「食品衛生檢驗及動植物檢疫措施與風險分析」，農政與農情，Vol:107。
- 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」，國立台灣大學農業工程學研究所博士論文。
- 林欣儀，2003，「台灣西南沿海烏腳病疫區養殖虱目魚之砷含量風險評估」，南華大學環境管理所碩士論文。
- 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。
- 洪秀裡，2007，「臺灣近海牡蠣水產養殖污染法制管理之研究」，國立臺灣海洋大學海洋法律研究所碩士論文。
- 胡興華，2004，「台灣的養殖漁業」，台北：遠足文化事業股份有限公司，p. 158-159。
- 張淑雲，2006，「將軍溪水生態風險評估」，國立高雄師範大學生物科技系碩士論文。
- 郭自強，1998，「食用水產品中多氯聯苯與金屬之標的危害商數及潛在終生致癌風險評估」，台北醫學院公共衛生學研究所碩士論文。
- 陳文樹，2006，「虱目魚的撈捕與養殖」，漁業推廣月刊，行政院農委會漁業署，234: 49-51。
- 黃詠愷，2002，「烏腳病盛行地區養殖魚貝類砷物種分析研究」，台北醫學大學公共衛生研究所碩士論文。
- 楊喜男、王漢泉、劉鎮山、王世冠、彭瑞華、郭季華、楊禮源、李俊宏、徐美榕，2002，

- 「台灣河川水體、底泥及生物監測分析研究」，行政院環保署環境檢驗所調查報告。
- 楊瑩文，2006，「臺灣嘉南平原西南沿海烏腳病地區地下水砷之氧化還原反應」，國立成功大學地球科學研究所碩士論文。
- 經濟部水利署，2004，「臺灣地區地下水觀測網水質常態監測與調查分析」，經濟部水利署。
- 詹長權，2002，「健康風險評估指引」，行政院衛生署國民健康局，92pp.。
- 農委會，2005，「94年糧食供需年報」，行政院農業委員會。
- 嘉義縣統計要覽，2007，
- <http://www.cyhg.gov.tw/accounting/chinese/CP.aspx?s=320&n=10582#04>
- 漁業署，2007，「行政院農業委員會漁業署 96年漁業統計年報」，行政院農業委員會漁業署。
- 鄭旭惠，2003，「台灣西南沿海地區地下水養殖虱目魚之砷累積研究」，南華大學環境管理研究所碩士論文。
- 鄭佳慧，2005，「台灣地區養殖池重金屬元素之研究」，國立台灣海洋大學海洋環境資訊系碩士論文。
- 環保署，2009，「環境水質監測年報 97年 1月—12月」，行政院環境保護署。
- 薛光展，2007，「嘉南地區地下水含砷濃度對稻米含砷量之風險評估」，國立成功大學資源工程學系碩士論文。
- 韓柏樑，1999，「台灣地區海產中污染質與健康風險評估初探」，生命科學簡訊，13: 10-14。

二、 英文文獻

- Abernathy, C.O., Thomas, D.J., Calderon, R.L., (2003), “Health effects and risk assessment of arsenic”., *J. Nutr.* 133: 1536-1538.
- Argos, M., Parvez, F., Chen, Y., Hussain, A.Z.M.F., Momotaj, H., Howe, G.R., Graziano, J.H., Hsan, H.A., (2007), “Socioeconomic status and risk for arsenic-related skin lesions in Bangladesh”., *Am. J. Public Health* 97:825-831.
- ATSDR, (2005), “ToxFAQs™ for Zinc”., *U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service*. Available from: <http://www.atsdr.cdc.gov/tfacts60.pdf>.
- ATSDR, (2000), “Toxicological profile for arsenic”, *U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service*.
- ATSDR, (2001), “Interaction profile for lead, manganese, zinc, and copper”., *U.S. Department of Health and Human Services*.
- ATSDR, (2004), “Toxicological profile for copper”., *U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service*.
- ATSDR, (2005), “Toxicological profile for zinc”., *U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service*.
- Baldwin, D.H., Sandahl, J.F., Labenia, J.S., Scholz, N.L., (2003), “Sublethal effects of copper on coho salmon: impacts on non-overlapping receptor pathways in the peripheral olfactory nervous system”., *Environ. Toxicol. Chem.* 22(10): 2266-2274.
- Beaumont, M.W., Butler, P.J., Taylor, E.W., (2000), “Exposure of brown trout, *Salmo trutta*, to a sub-lethal concentration of copper in soft acidic water: effects upon muscle metabolism and membrane”., *J. Exp. Biol.* 206:153-162.
- Betzer, S.B., Yevich, P.P., (1975), “Copper toxicity in *Busycon canaliculatum* L.”., *Biol. Bull.* 148: 16-25.

- Carbonell, G., Tarazona, V., (1994), "Toxicokinetics of copper in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)"., *Aquat. Toxicol.* 29: 213-221.
- Carpené, E., Cattani, O., Serrazanetti, G.P., Fedrizzi, G., Coptesi, P., (1990), "Zinc and copper in fish from natural waters and rearing ponds in Northern Italy"., *J. Fish Biol.* 37: 293-299.
- Chen, C.J., Hsu, L.I., Tesng, C.H., Hsueh, Y.M., 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, Amsterdam, p. 113-121.
- Klaassen, C.D., (1996), "*Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons*"., McGraw-Hill Companies Inc., New York, p. 691-736.
- Eisler, R., (2000), "*Handbook of chemical risk assessment: health hazards to humans, plants and animals I: metals*". Lewis Publishers, New York.
- FAO, (2003), "The state of world fisheries and aquaculture 2003"., *Fisheries and Aquaculture Department*.
- FAO, (2004), "The state of world fisheries and aquaculture 2004"., *Fisheries and Aquaculture Department*.
- FAO, (2006), "The state of world fisheries and aquaculture 2006"., *Fisheries and Aquaculture Department*.
- Ferguson, J.F., Gavis, J., (1972), "A review of the arsenic cycle in natural waters"., *Water Res.* 6: 1259-1274
- Gibson, R., (1994), "Zinc nutrition in developing countries"., *Nutr. Res. Rev.* 7: 151-73.
- Gioda, C.R., Lissner, L.A., Pretto, A., da Rocha, J.B.T., Schetinger, M.R.C., Neto, J.R., Morsch, V.M., Loro, V.L., (2007), "Exposure to sublethal concentrations of Zn(II) and Cu(II) changes biochemical parameters in *Leporinus obtusidens*"., *Chemosphere* 69:170-175.
- Golden, M.H, Jackson, A.A, Golden, B.E., (1977), "Effect of zinc on thymus of recently malnourished children"., *Lancet* 2: 1057-1059.
- Golden, M.H., Harland, P.S., Golden, B.E., Jackson, A.A., (1978), "Zinc and

- immunocompetence in protein-energy malnutrition”. *Lancet* 1: 1226-1228.
- Gratt, L.B.,(1996), “Air toxic risk assessment and management: public health risk from normal operations”. Jonh Wiley and Sons Inc.
- Hall, W.S, Bushong, S.J, Hall, L.W., Jr., Lenkevich, M.S., Pinkey, A.E., (1988), “Monitoring dissolved copper concentrations in Chesapeake Bay”. *Environ. Monitor. Assess.* 11: 33-42.
- Han, B.C., Jeng, W.L., Hang, T.C., Wen, M.Y., (1996), “Relationship between copper speciation in sediments and bioaccumulation by marine bivalves of Taiwan”. *Environ. Poll.* 91: 35-39.
- Han, B.C., Jeng, W.L., Chen, R.Y., Fang, G.T., Hung, T.C., 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.
- Hellman, N.E., Gitlin, J.D., (2002), “Ceruloplasmin metabolism and function”. *Ann. Rev. Nutr.* 22: 439-458.
- Ho, E., (2004), “Zinc deficiency, DNA damage and cancer risk”. *J. Nutr. Biochem.* 15: 572-578.
- Hodson, P.V., (1988), “The effect of metal metabolism on uptake, disposition and toxicity in fish”. *Aquat. Toxicol.* 11: 3-18.
- Hogstrand, C., Wood, C. M., (1996), “The physiology and toxicology of zinc in fish”. In: Taylor, E.W. (Ed.), *Toxicology of environmental pollution: physiological, molecular and cellular approaches*, Society for Experimental Biology Seminar Series, Cambridge: Cambridge University Press.
- Hung, T.C., Meng, P.J., Han, B.C., Chuang, A., Huang, C.C., (2001), “Trace metals in different species of mollusca, water and sediments from Taiwan coastal area”. *Chemosphere* 44: 833-841.
- IARC, (2003), Arsenic and arsenic compounds (Group 1). In: IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans. Supplement 7, *International arctic reserch*

center, Available from: <http://www.inchem.org/documents/iarc/suppl7/arsenic.html>.

IPCS, (2001), "Environmental health criteria on arsenic and arsenic compounds", *Environmental Health Criteria Series, No. 224. Arsenic and arsenic compounds, second*, WHO, p.521.

Liao, C.M., Jou, L.J., Chen, B.C., (2005), "Risk-based approach to appraise valve closure in the clam *Corbicula fluminea* in response to waterborne metals", *Environ. Pollut.* 135: 41-52.

Lin, M.C., 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., Liao, C.M., Chen, Y.C., (2009), "Shrimp shell as a potential sorbent for removal of arsenic from aqueous solution.", *Fish. Sci.* 75(2): 425-434.

Lin, M.C., Liao, C.M., Liu, C.W., 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.

Lin, M.C., Wu, W.C., Ou, J.C. (2005), "Bioconcentration of arsenic, zinc and copper in cultured milkfish from ponds using groundwater in the blackfoot disease area in Taiwan", *WSEAS Transactions on Environment and Development* 1: 11-17.

Lin, M.C., (2009), "Risk assessment on mixture toxicity of arsenic, zinc and copper intake from consumption of milkfish, cultured using contaminated groundwater in southwest Taiwan", *Bull. Environ. Contamin. Toxicology* (in press, DOI: 10.1007/s00128-009-9718-4).

Ling, M.P., Liao, C.M., (2007), "Risk characterization and exposure assessment in arseniasis-endemic areas of Taiwan", *Environ. Int.* 33: 98- 07.

Liu, J., Zheng, B.S., Aposhian, H.V., Zhou, Y.S., Chen, M.L., Zhang, A.H., Waalkes, M.P., (2002), "Ronic arsenic poisoning from burning high-arsenic-containing coal in Guizhou, China", *Environ. Health Perspect.* 110: 119-122.

Shuhaimi-Othmana, M., Pascoeb, D., (2007), "Bioconcentration and depuration of copper,

- cadmium, and zinc mixtures by the freshwater amphipod *Hyalella azteca*”, *Ecotoxicol. Environ. Safety*. 66: 29-35.
- Mareta, W., Sandstead, H.H., (2006), “Zinc requirements and the risks and benefits of zinc supplementation”, *J. Trace Elem. Med. Biol.* 20: 3-18.
- Martinez, F.S., Tseng, M.C., Yeh, S.P., (2006), “Milkfish (*Chanos chanos*) culture: situations and trends”, *J. Fish. Soc. Taiwan* 33 (3): 229-224.
- Mertz, W., (1981), “The essential trace elements”, *Science* 213: 1332-1338.
- Morales, K.H., Ryan, L., Kuo, T.L., Wu, M.M., Chen, C.J., (2000), “Risk of internal cancers from arsenic in drinking water”, *Environ. Health Perspect.* 108: 655-661.
- NAS, (1983), “*Risk assessment in the federal government: management the process*”, National Academy of Sciences.
- Ng, J.C., Wang, J.P., Shraim A., (2003), “A global health problem caused by arsenic from natural sources”, *Chemosphere* 52: 1353-1359.
- NHMRC, (2004), “*National Water Quality Management Strategy-Australian drinking water guidelines*”, National Health and Medical Research Council, Available from: <http://www.nhmrc.gov.au/publications/synopses/eh19syn.htm>.
- NRC, (1983), “*Rick assessment in the federal government: managing the process*”, National Academy Press. Washington, D.C.
- Prasad, A.S., (1998), “Zinc and immunity”, *Mol. Cell Biochem.* 188: 63-9.
- Schroeder, H.A., Nason, A.P., Tipton, I.H., Balassa, J.J., (1966), “Essential trace metals in man: copper”, *J. Chronic Dis.* 19: 1007-1034.
- Sorensen, E.M.B., (1991), “Copper”, In: Sorensen, E.M.B. (Ed.), *Metal Poisoning in Fish*, CRC press, FL, USA, p. 235-284.
- Sun, G., (2004), “Arsenic contamination and arsenicosis in China”, *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 198(3): 268-271.
- Taylor, L.N., McGeer, J.C., Wood, C.M., McDonald, D.G., (2000), “Physiological effects of

- chronic copper exposure to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in hard and soft water: evaluation of chronic indicators”., *Environ. Toxicol. Chem.* 19: 2298-2308.
- Thomas, D.J., (1994), “Arsenic toxicity in humans: research problems and prospects”., *Environ. Geochem. Health* 16: 107-111.
- Tseng, W.P., (1977), “Effects and dose–response relationships of skin cancer and blackfoot disease with arsenic”., *Environ. Health Perspect.* 19: 109-119.
- US EPA, (1986), “Guidelines for carcinogen risk assessment”., Washington, Dc. Federal Register ,*United states environmental protection agency*, 51:33992-34003.
- US EPA, (2003), “US EPA region 3 risk-based concentration table: technical background information”., *United states environmental protection agency*, Available from: <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/index.htm>.
- US EPA, (2004), “Lead and copper rule: a quick reference guide”., *United states environmental protection agency*, Available from: http://www.epa.gov/safewater/lcrmr/pdfs/qrg_lcmr_2004.pdf.
- US EPA, (2009a), “Human health risk assessment: regional screening level (RSL) table; fish”., *United states environmental protection agency*.
- US EPA.,(2009b), “Risk-based concentration table, region 3”., *United states environmental protection agency*, Available from: <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/index.htm>
- Vallee, B.L., Falchuk, H., (1993), “The biochemical basis of zinc physiology”., *Physiol. Rev.* 73: 79-118.
- Walsh, C.T., Sandstead, H.H., Prasad, A.S., Newberne, P.M., Fraker, P.J., (1994), ”Zinc: health effects and research priorities for the 1990s”., *Environ. Health Perspect.* 102(2): 5-46.
- Wang, C.C., Hsueh C.W., Feng, N.H., (2004), “Zinc deficiency: a case report”., *J. Intern. Med.* *Taiwan* 15: 274-279.
- WHO, (2001), “Environmental health criteria 221: Zinc”., *World Health Organization*, p. 360.
- WHO, (2009), “Drinking water quality”., *World Health Organization*, Available from:

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/en/

Wiley, J., (1979), "The global copper cycle: copper in the environment"., In: Nriagu, J.O. (Ed.), Copper in the environment, part 1: ecological cycling, John Wiley and Sons, NY.

Wilson, R.W., Taylor, E.W., (1993), "The physiological responses of freshwater rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, during acutely lethal copper exposure"., *J. Comp. Physiol.* 163 (B): 38-47.

Yu, W.H., Harvey, C.M., Harvey, C.F., (2003), "Arsenic in groundwater in Bangladesh: a geostatistical and epidemiological framework for evaluating health effects and potential remedies"., *Water Resour. Res.* 39: 1146-63.

表 1、問卷調查受訪者（141 人）之虱目魚食用情形

項目	人數	百分比 (%)
來源		
自家捕撈	53	37.59
市場購買	64	45.39
都有	24	17.02
食用頻率		
每天吃	19	13.48
一星期 3~5 次	62	43.97
一星期 1~2 次	30	21.28
二星期 1 次	14	9.93
一個月 1~2 次	10	7.09
兩三個月 1 次	6	4.26

表 1、受訪者 (141 人) 之虱目魚食用情形 (續)

項目	人數	百分比 (%)
每日餐數		
一餐	32	22.70
二餐	67	47.52
三餐	42	29.77
一餐尾數 (一尾以 600 g 計)		
半尾以下	6	4.26
半尾	43	30.50
一尾	53	37.59
二尾	22	15.60
二尾以上	17	12.06

表 2、受訪者 (141 人) 食用養殖虱目魚之每日攝取量 (g d^{-1})

養殖池	每日攝取量 (Mean \pm SE)	平均每日攝取量 (Mean \pm SE)
布袋 A	226.16 \pm 86.37	179.81 \pm 60.52
布袋 B	135.19 \pm 51.14	
布袋 C	138.08 \pm 44.04	
義竹 A	286.70 \pm 89.20	274.58 \pm 94.49
義竹 B	374.07 \pm 134.22	
義竹 C	162.98 \pm 57.04	
學甲 A	122.59 \pm 59.87	138.47 \pm 48.73
學甲 B	189.59 \pm 42.65	
學甲 C	103.22 \pm 43.69	
北門 A	203.71 \pm 60.10	145.12 \pm 55.04
北門 B	114.90 \pm 65.40	
北門 C	116.77 \pm 39.64	
總平均值		184.50 \pm 84.40

表 3、養殖業者 (56 人) 之養殖池水鹽度狀況

鹽度 (‰)	百分比 (%)
0	67.86
10	8.93
20	5.36
25	3.57
> 35	14.29

表 4、台灣西南沿海四鄉鎮虱目魚養殖池水之砷、鋅、銅濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)

地區	砷 (Mean \pm SE)	鋅 (Mean \pm SE)	銅 (Mean \pm SE)
布袋	88.10 \pm 4.18*	21.65 \pm 16.30	85.70 \pm 3.80*
義竹	102.57 \pm 3.09*	5.97 \pm 1.91	60.01 \pm 2.22*
學甲	30.44 \pm 1.13	7.45 \pm 0.23	40.78 \pm 1.57*
北門	34.58 \pm 1.65	8.63 \pm 0.46	121.88 \pm 7.18*
平均	63.9 \pm 2.51*	10.9 \pm 4.72	77.1 \pm 3.69*

*：超過台灣二級水產用水標準：砷 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ ；銅 $30 \mu\text{g L}^{-1}$ ；鋅 $500 \mu\text{g L}^{-1}$

表 5、台灣西南沿海四鄉鎮虱目魚魚體之砷、鋅、銅含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)

地區	砷 (Mean \pm SE)	鋅 (Mean \pm SE)	銅 (Mean \pm SE)
布袋	1.89 \pm 0.95	46.33 \pm 16.92	2.11 \pm 1.00
義竹	1.29 \pm 0.90	33.10 \pm 4.61	1.67 \pm 0.20
學甲	0.32 \pm 0.07	39.92 \pm 2.63	1.76 \pm 1.08
北門	0.38 \pm 0.13	32.57 \pm 5.35	2.63 \pm 0.96
平均	0.97 \pm 0.51	37.98 \pm 7.38	2.04 \pm 0.81

表 6、台灣西南沿海地下水養殖虱目魚魚體對砷、鋅、銅之生物濃縮因子 (BCF)

地區	砷 (Mean \pm SE)	鋅 (Mean \pm SE)	銅 (Mean \pm SE)
布袋	16.84 \pm 9.09	3191.77 \pm 2402.89	24.84 \pm 2.92
義竹	9.01 \pm 6.64	5541.02 \pm 1338.63	28.12 \pm 8.23
學甲	10.94 \pm 3.55	5357.59 \pm 521.33	47.43 \pm 15.60
北門	10.35 \pm 4.17	3828.36 \pm 442.00	21.62 \pm 4.99
平均	12.51 \pm 4.95	4479.68 \pm 1399.66	30.50 \pm 12.76

表 7、食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之標的致癌風險 (TR)

養殖池	TR (Mean ± SE)	平均值 (Mean ± SE)
布袋 A	$6.51 \times 10^{-4} \pm 3.22 \times 10^{-4}$	$9.39 \times 10^{-4} \pm 2.46 \times 10^{-4}$
布袋 B	$2.81 \times 10^{-4} \pm 4.00 \times 10^{-5}$	
布袋 C	$1.88 \times 10^{-3} \pm 3.75 \times 10^{-4}$	
義竹 A	$9.26 \times 10^{-4} \pm 3.27 \times 10^{-4}$	$1.34 \times 10^{-3} \pm 5.37 \times 10^{-4}$
義竹 B	$1.34 \times 10^{-3} \pm 4.67 \times 10^{-4}$	
義竹 C	$1.75 \times 10^{-3} \pm 8.17 \times 10^{-4}$	
學甲 A	$3.62 \times 10^{-3} \pm 3.47 \times 10^{-4}$	$1.48 \times 10^{-3} \pm 1.66 \times 10^{-4}$
學甲 B	$5.21 \times 10^{-4} \pm 4.29 \times 10^{-5}$	
學甲 C	$2.90 \times 10^{-4} \pm 1.07 \times 10^{-4}$	
北門 A	$8.43 \times 10^{-4} \pm 3.79 \times 10^{-4}$	$4.51 \times 10^{-4} \pm 1.46 \times 10^{-4}$
北門 B	$2.89 \times 10^{-4} \pm 4.17 \times 10^{-5}$	
北門 C	$2.20 \times 10^{-4} \pm 1.80 \times 10^{-5}$	
總平均值		$1.05 \times 10^{-3} \pm 9.91 \times 10^{-4}$

表 8、食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之標的危害商數 (THQ)

養殖池	THQ (Mean ± SE)	平均值 (Mean ± SE)
布袋 A	3.38 ± 1.67	4.87 ± 1.27
布袋 B	1.46 ± 0.21	
布袋 C	9.77 ± 1.94	
義竹 A	4.80 ± 1.70	6.95 ± 2.79
義竹 B	6.97 ± 2.42	
義竹 C	9.07 ± 4.24	
學甲 A	8.75 ± 1.80	7.65 ± 0.86
學甲 B	2.70 ± 0.22	
學甲 C	1.50 ± 0.56	
北門 A	4.37 ± 1.97	2.34 ± 0.76
北門 B	1.50 ± 0.22	
北門 C	1.14 ± 0.09	
總平均值		5.45 ± 5.14

表 9、食用地下水養殖虱目魚而暴露於鋅之標的危害商數 (THQ)

養殖池	THQ (Mean ± SE)	平均值 (Mean ± SE)
布袋 A	0.51 ± 0.11	0.37 ± 0.12
布袋 B	0.19 ± 0.05	
布袋 C	0.42 ± 0.21	
義竹 A	0.58 ± 0.25	0.55 ± 0.19
義竹 B	0.57 ± 0.08	
義竹 C	0.51 ± 0.23	
學甲 A	0.18 ± 0.08	0.23 ± 0.05
學甲 B	0.35 ± 0.02	
學甲 C	0.15 ± 0.04	
北門 A	0.29 ± 0.03	0.21 ± 0.04
北門 B	0.16 ± 0.02	
北門 C	0.19 ± 0.06	
總平均值		0.34 ± 0.17

表 10、食用地下水養殖虱目魚而暴露於銅之標的危害商數 (THQ)

養殖池	THQ (Mean ± SE)	平均值 (Mean ± SE)
布袋 A	0.19 ± 0.01	0.13 ± 0.04
布袋 B	0.10 ± 0.01	
布袋 C	0.10 ± 0.09	
義竹 A	0.19 ± 0.03	0.17 ± 0.02
義竹 B	0.24 ± 0.01	
義竹 C	0.07 ± 0.01	
學甲 A	0.06 ± 0.04	0.07 ± 0.03
學甲 B	0.07 ± 0.02	
學甲 C	0.07 ± 0.05	
北門 A	0.21 ± 0.06	0.11 ± 0.03
北門 B	0.05 ± 0.01	
北門 C	0.06 ± 0.01	
總平均值		0.12 ± 0.07

表 11、食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之每日安全攝取量 (Mean ± SE)

養殖池	每日安全攝取量 (g d ⁻¹)	平均值 (g d ⁻¹)
布袋 A	0.53 ± 0.36	0.36 ± 0.15
布袋 B	0.49 ± 0.08	
布袋 C	0.08 ± 0.01	
義竹 A	0.33 ± 0.10	0.25 ± 0.08
義竹 B	0.30 ± 0.10	
義竹 C	0.11 ± 0.04	
學甲 A	0.03 ± 0.003	0.27 ± 0.07
學甲 B	0.37 ± 0.03	
學甲 C	0.40 ± 0.18	
北門 A	0.29 ± 0.17	0.41 ± 0.09
北門 B	0.40 ± 0.05	
北門 C	0.53 ± 0.04	
總平均值		0.32 ± 0.17

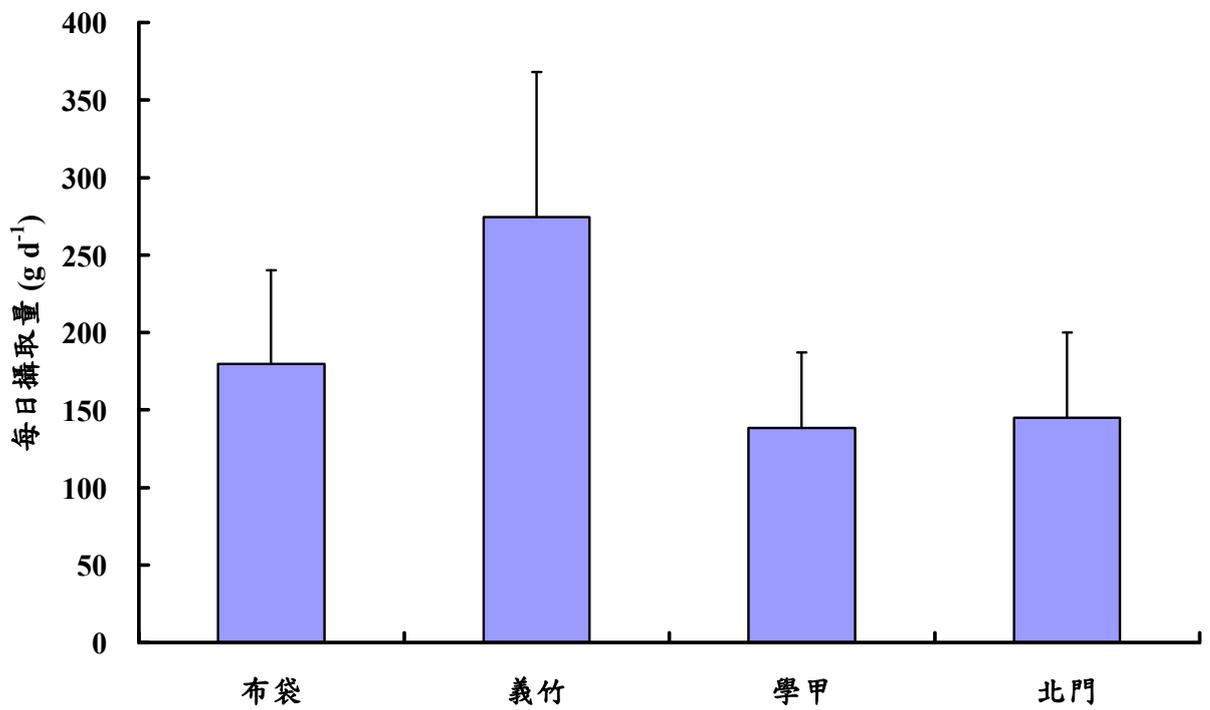


圖 2、台灣西南沿海四鄉鎮居民食用地下水養殖虱目魚之平均每日攝取量

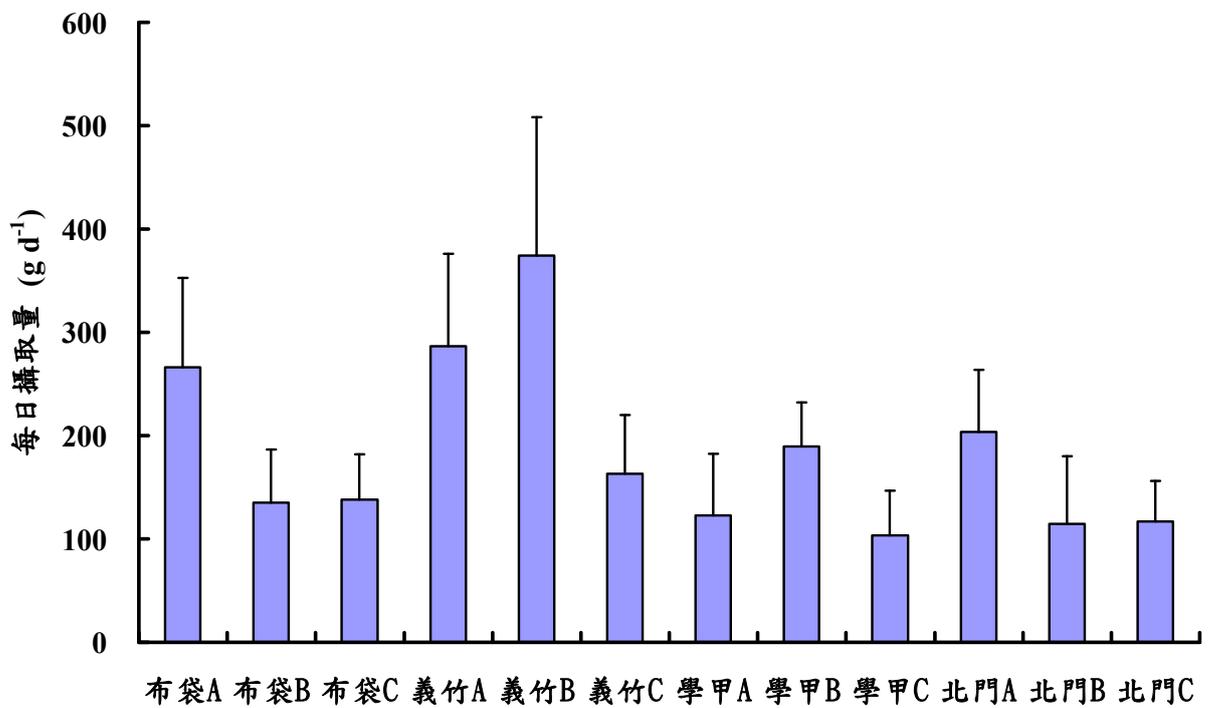


圖 3、台灣西南沿海四鄉鎮各區居民食用地下水養殖虱目魚之每日攝取量

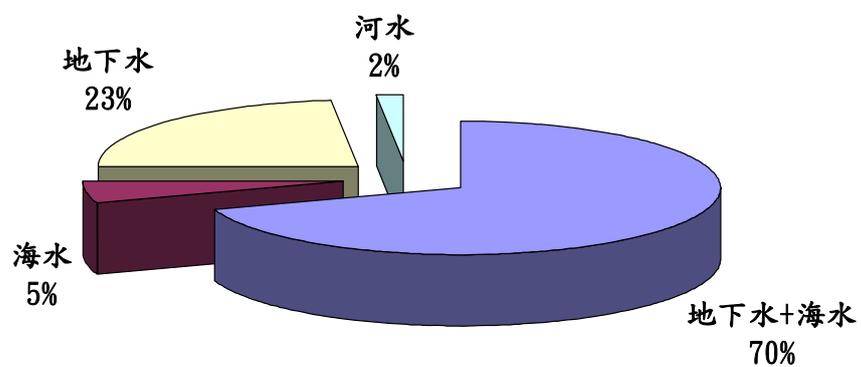


圖 4、台灣西南沿海四鄉鎮養殖池之水源比例

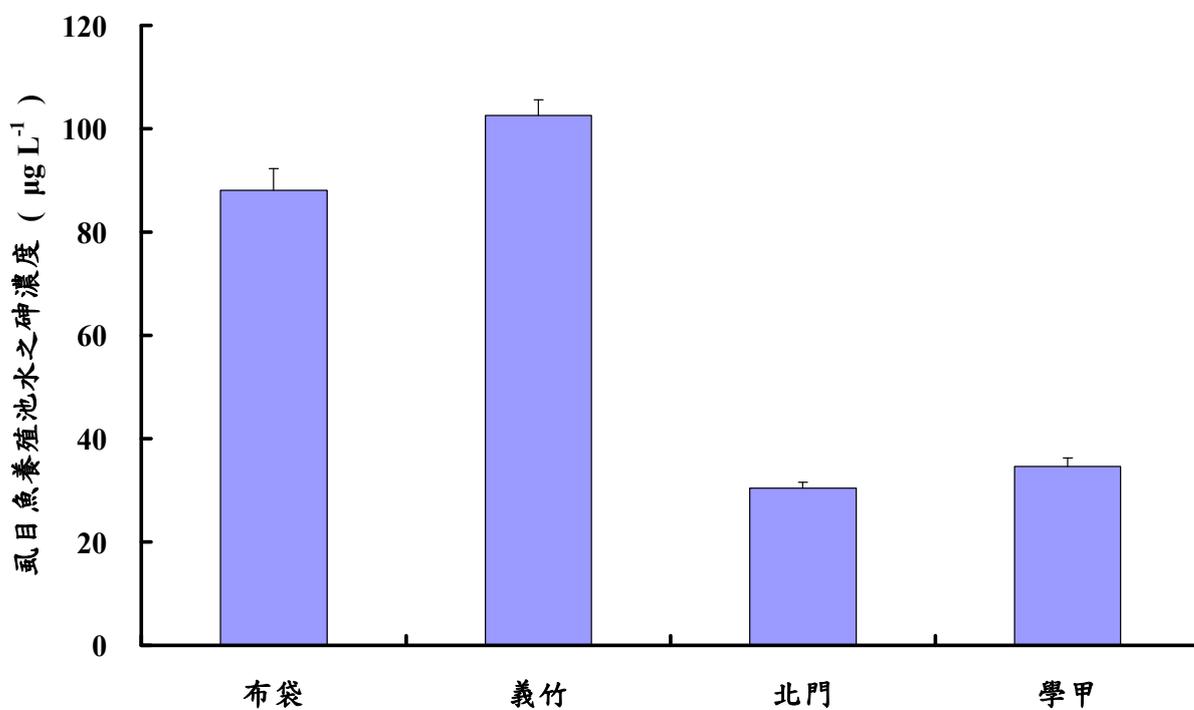


圖 5、台灣西南沿海四鄉鎮地下水養殖虱目魚之池水砷濃度

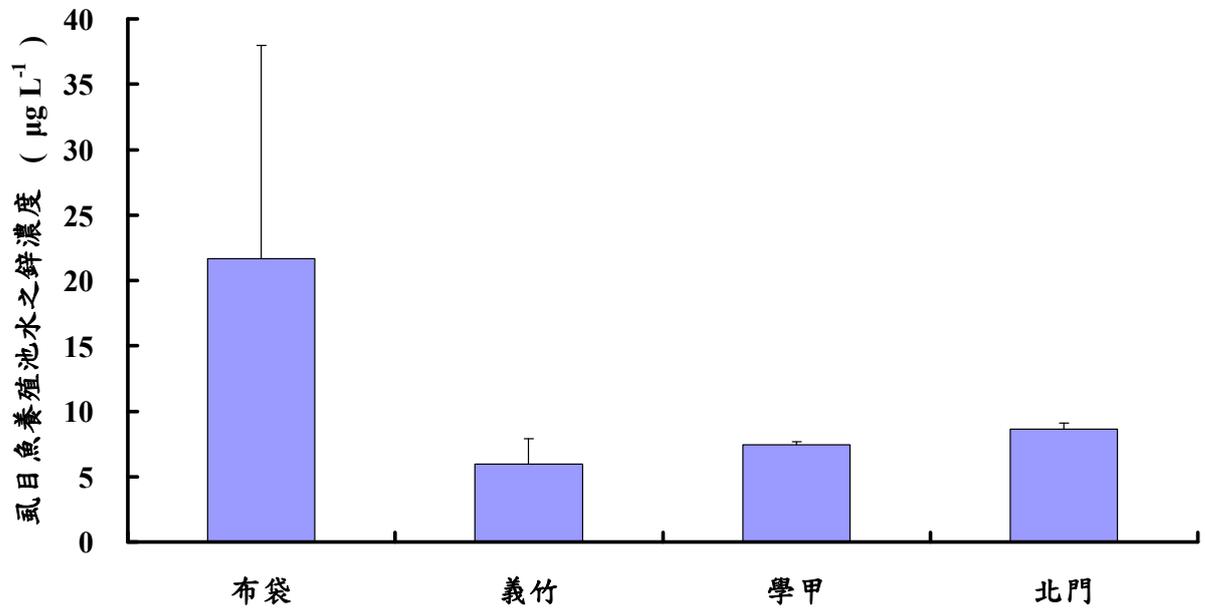


圖 6、台灣西南沿海四鄉鎮虱目魚養殖池水之錳濃度

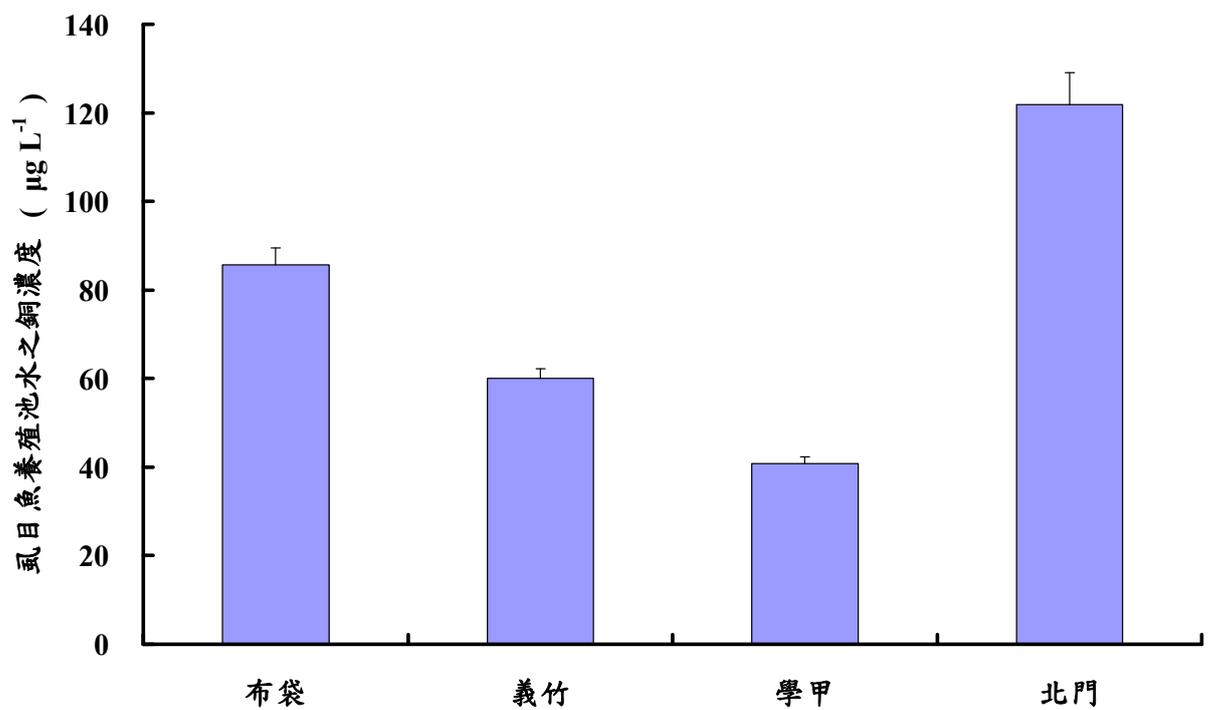


圖 7、台灣西南沿海四鄉鎮虱目魚養殖池水之銅濃度

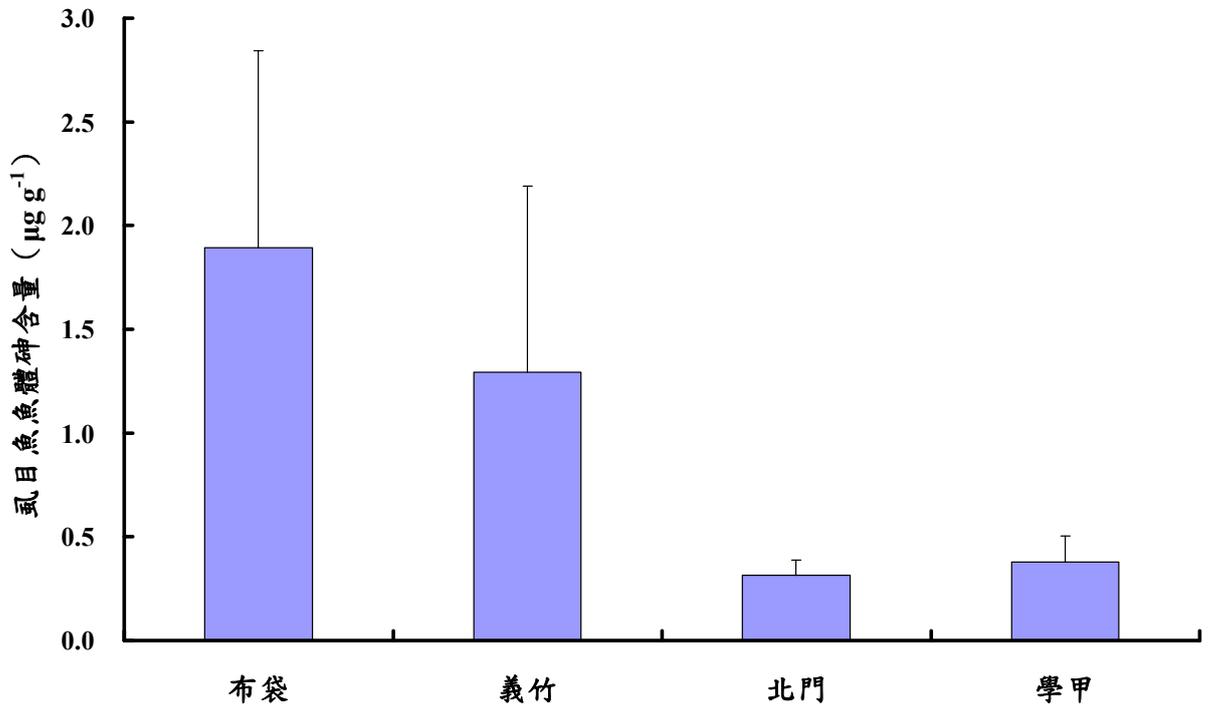


圖 8、台灣西南沿海四鄉鎮地下水養殖虱目魚之魚體砷含量

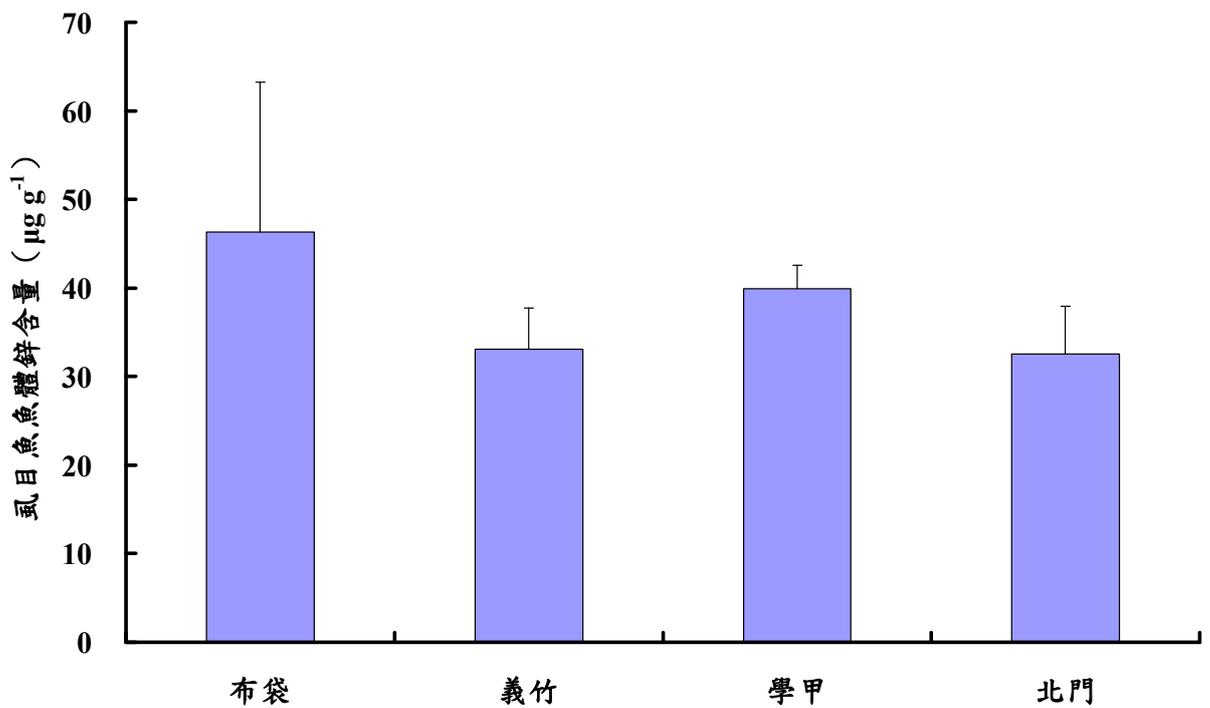


圖 9、台灣西南沿海四鄉鎮虱目魚魚體鋅含量

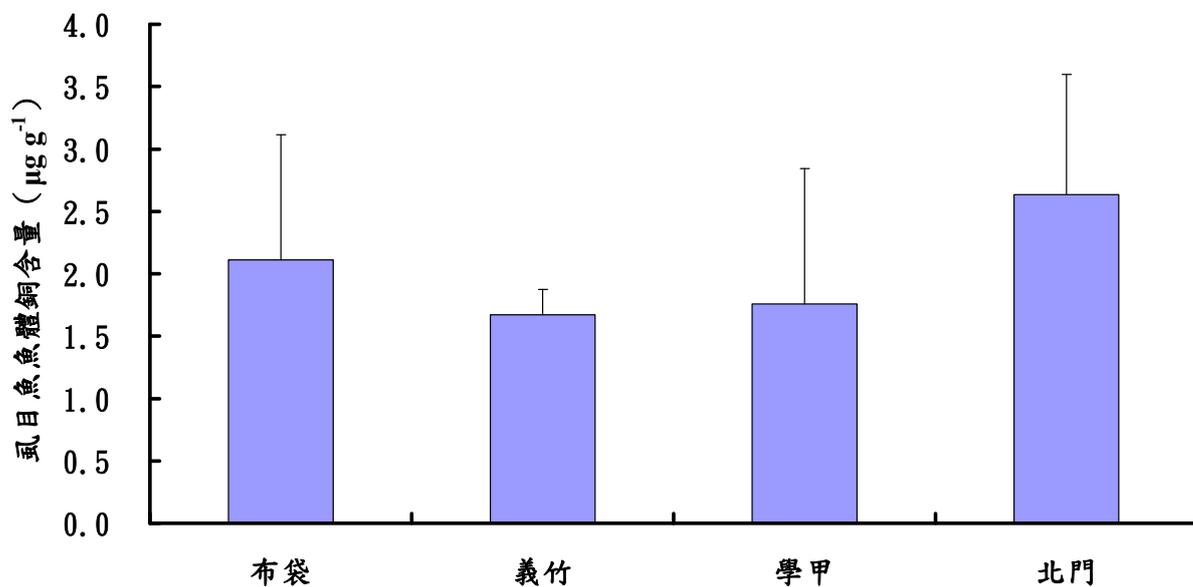


圖 10、台灣西南沿海四鄉鎮地下水養殖虱目魚之魚體銅含量

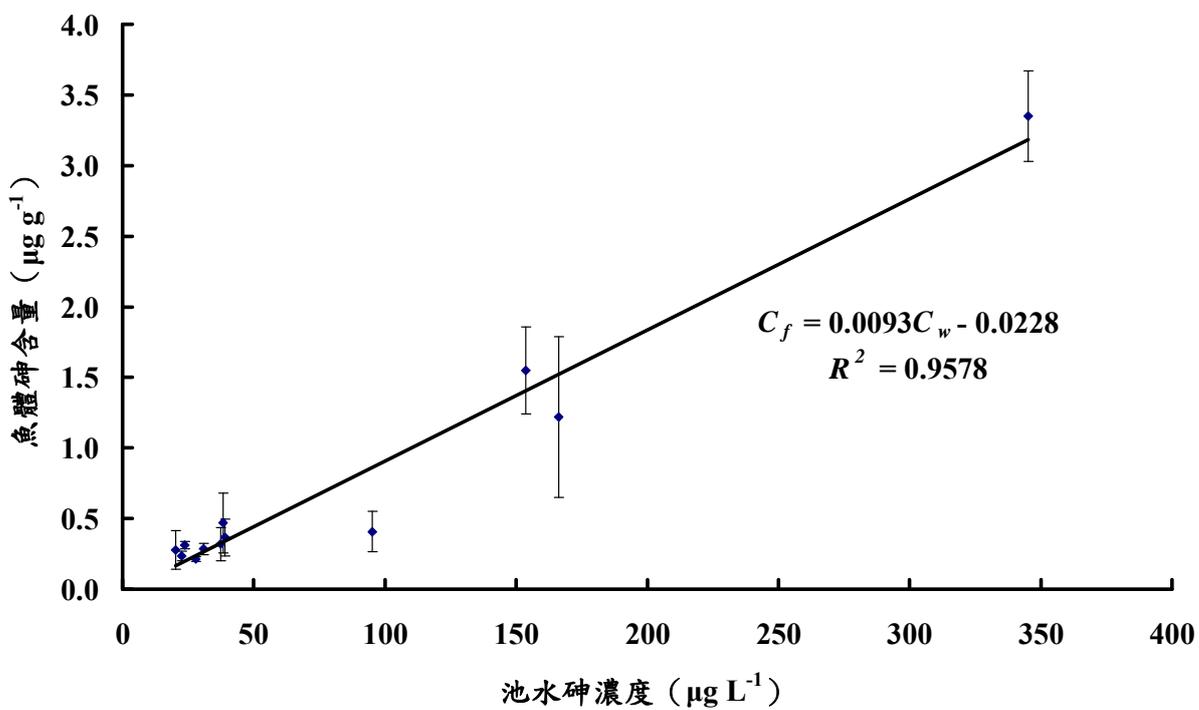


圖 11、地下水養殖虱目魚之魚體砷含量與池水砷濃度關係圖

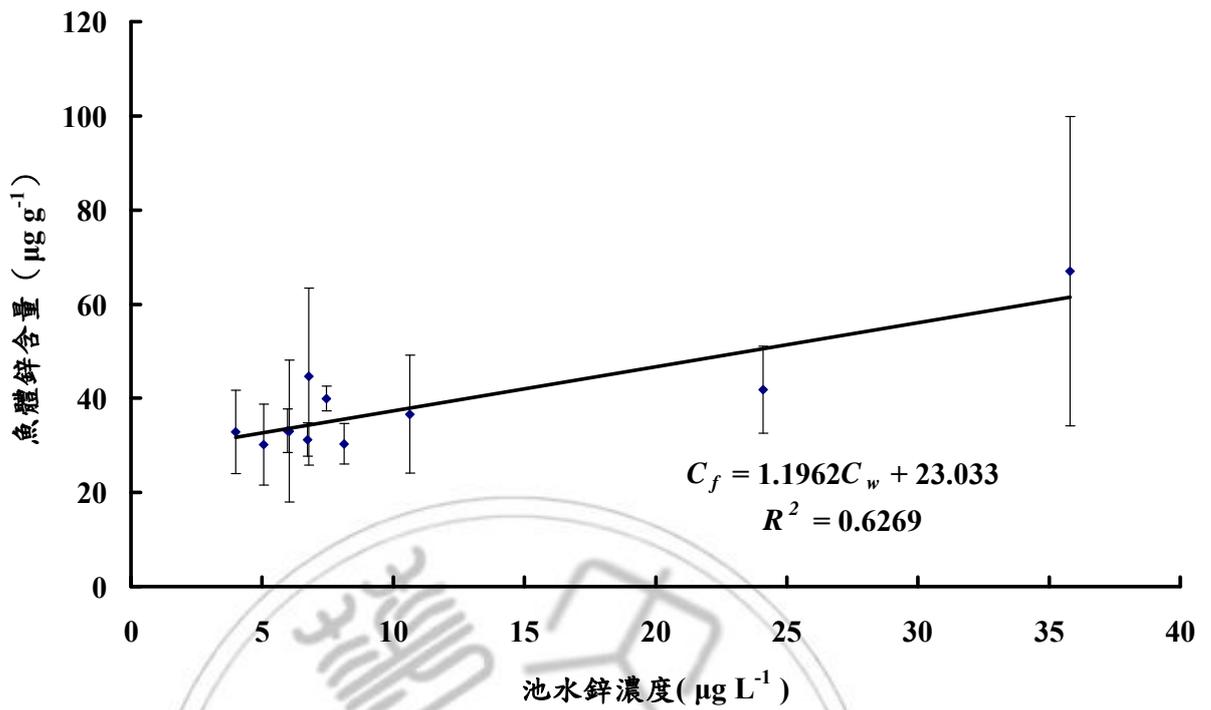


圖 12、地下水養殖虱目魚之魚體鋅含量與池水鋅濃度關係圖

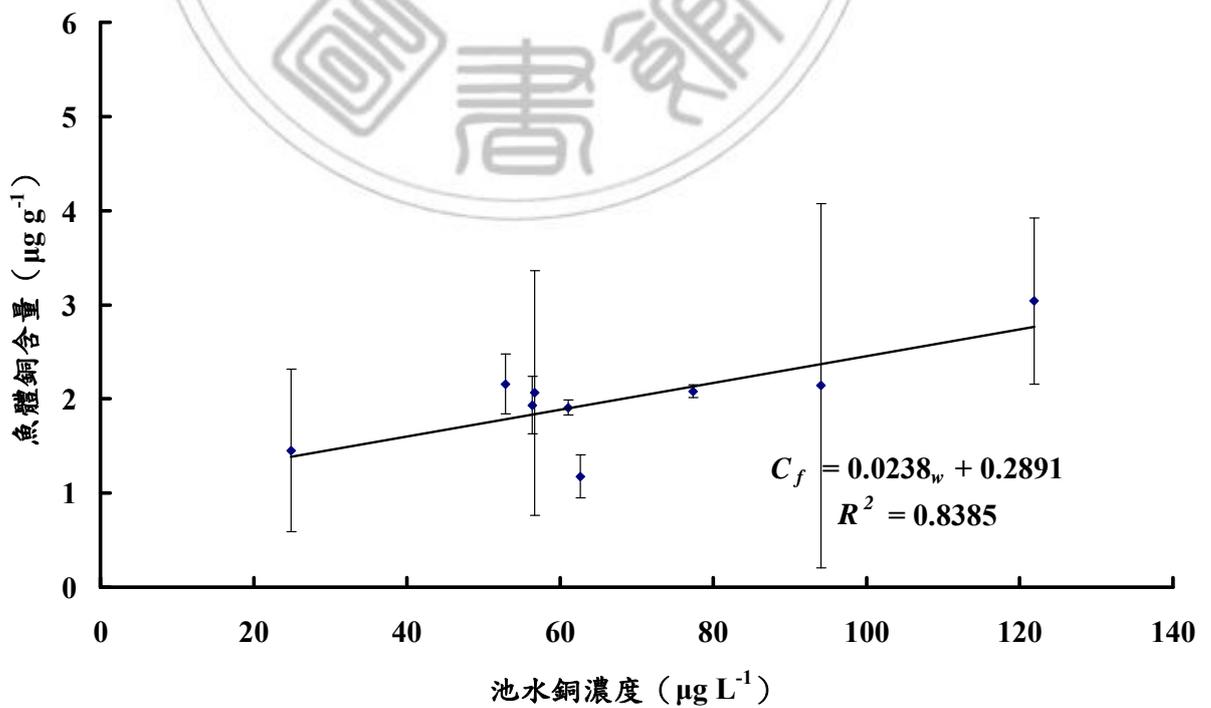


圖 13、地下水養殖虱目魚之魚體銅含量與池水銅濃度關係圖

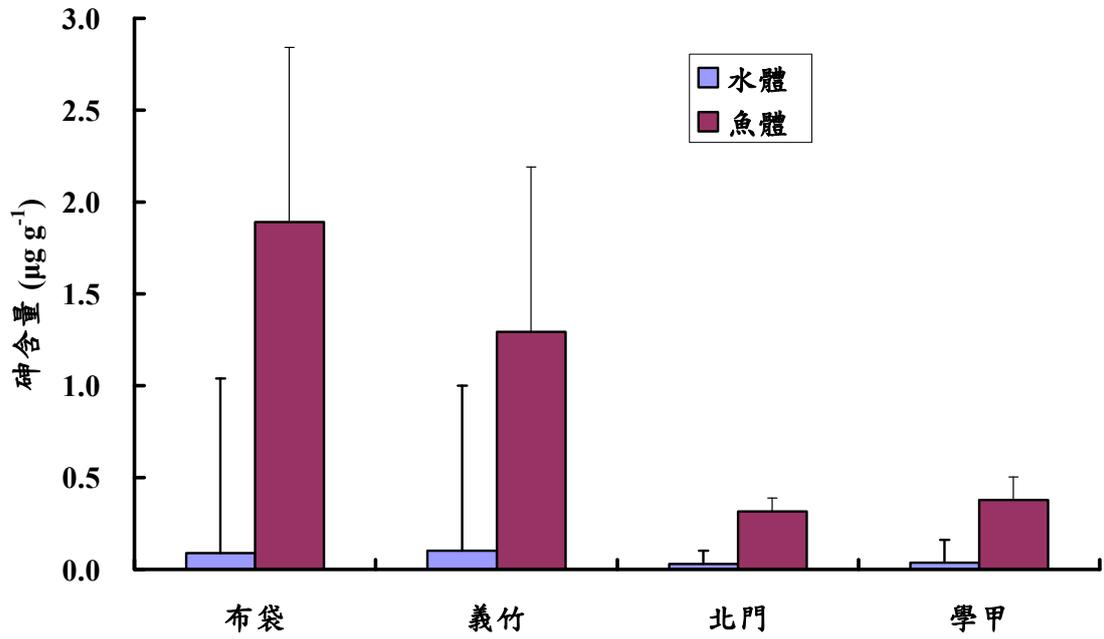


圖 14、地下水養殖虱目魚體與池水砷含量之比較

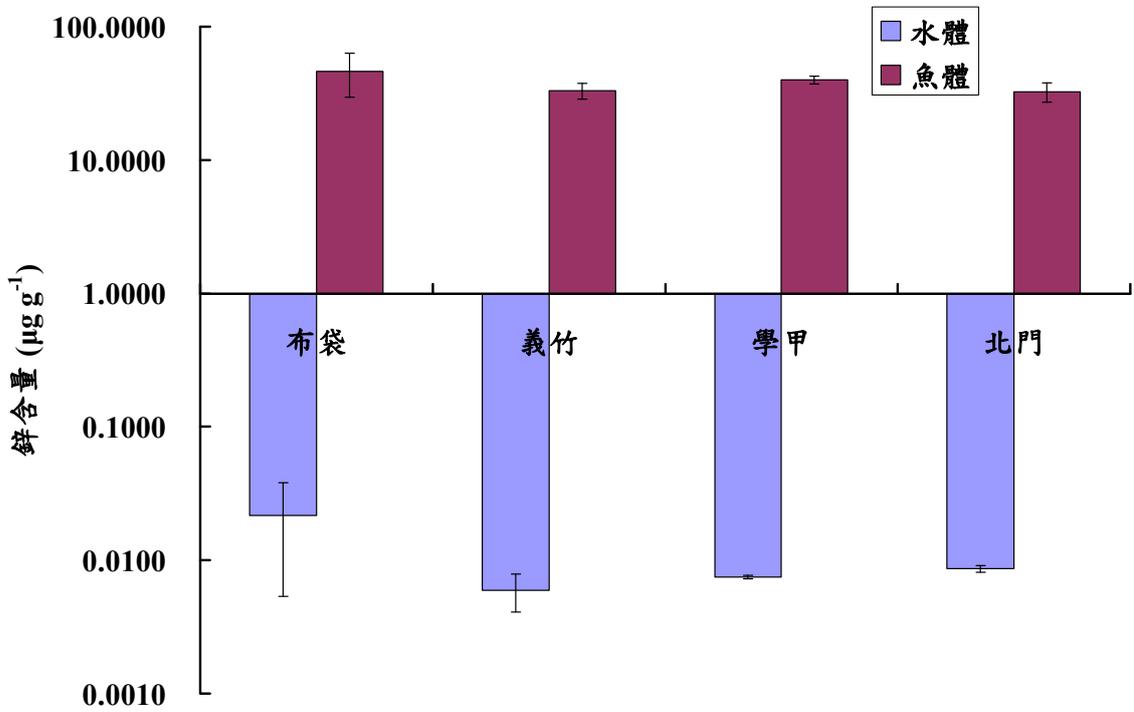


圖 15、地下水養殖虱目魚體與池水鋅含量之比較

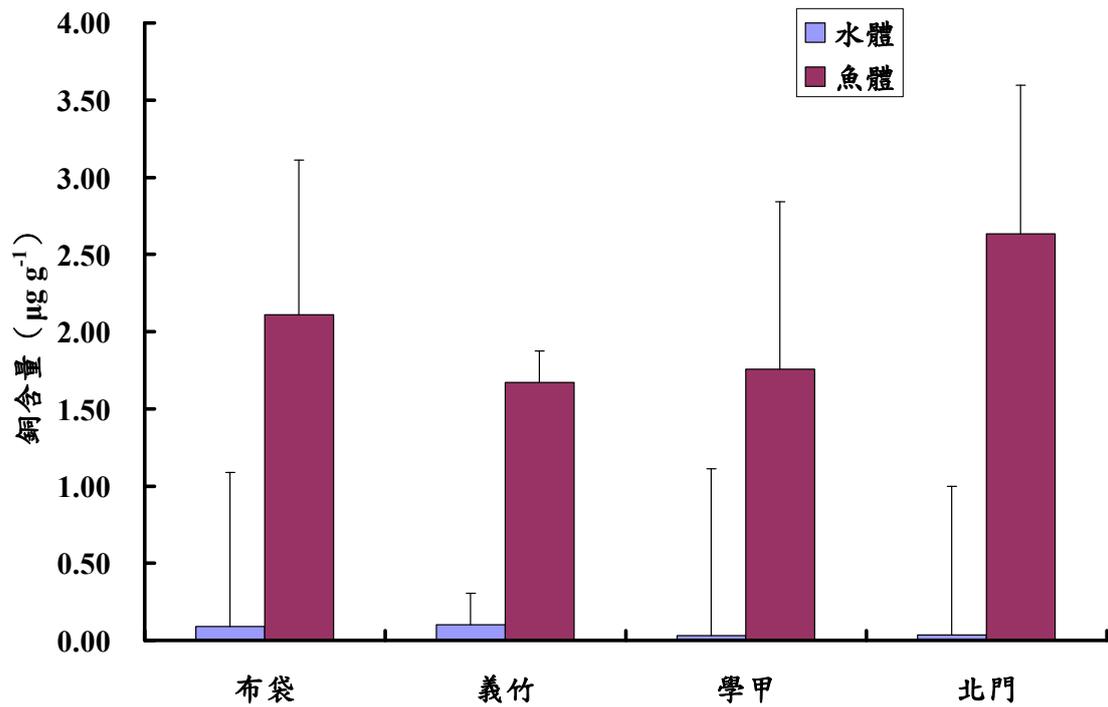


圖 16、地下水養殖虱目魚體與池水銅含量之比較

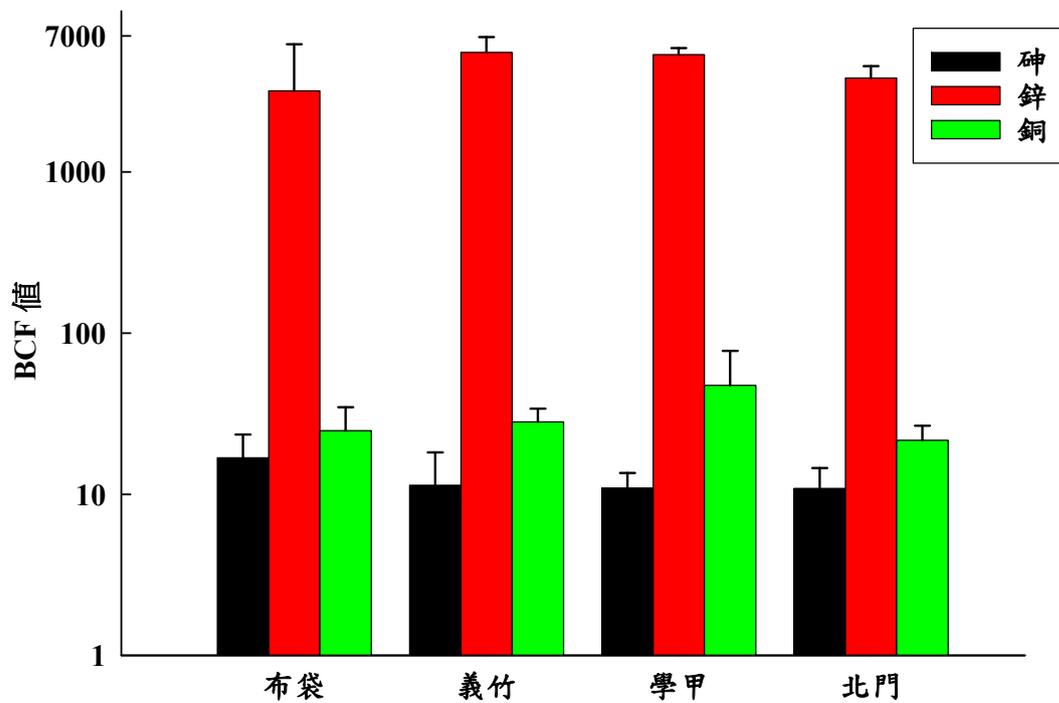


圖 17、地下水養殖虱目魚體與池水砷、鋅、銅含量之比較

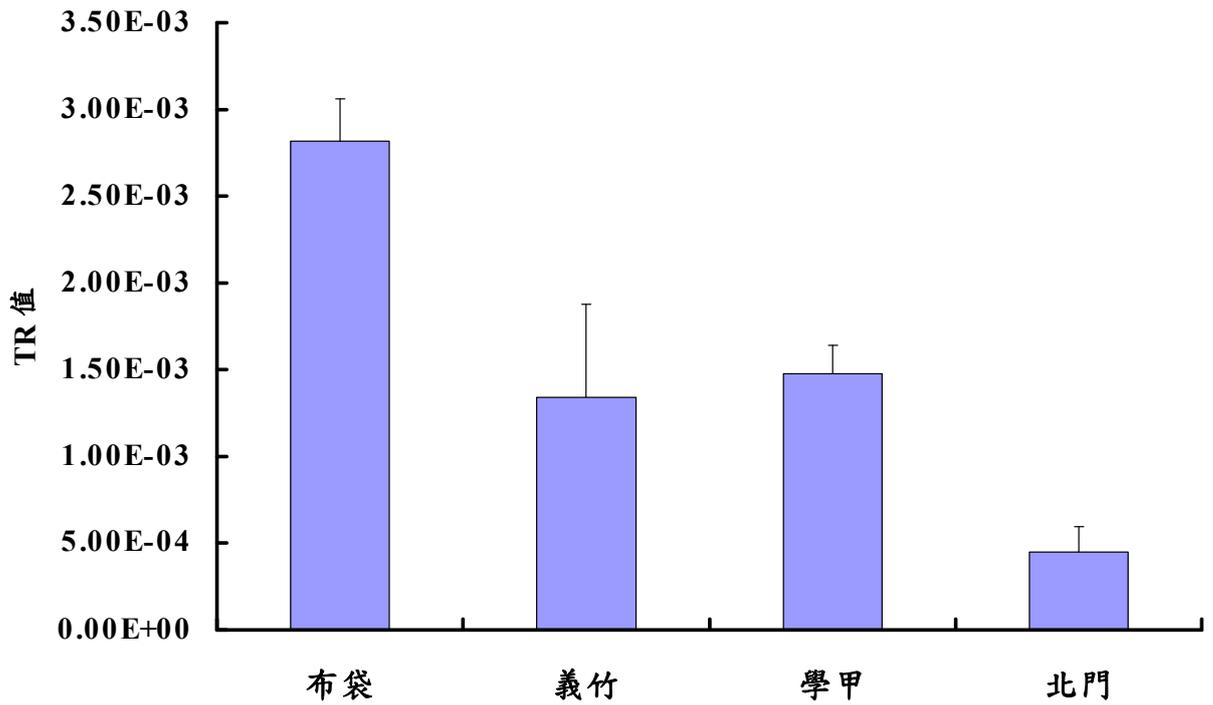


圖 18、台灣西南沿海四鄉鎮居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之標的致癌風險 (TR)

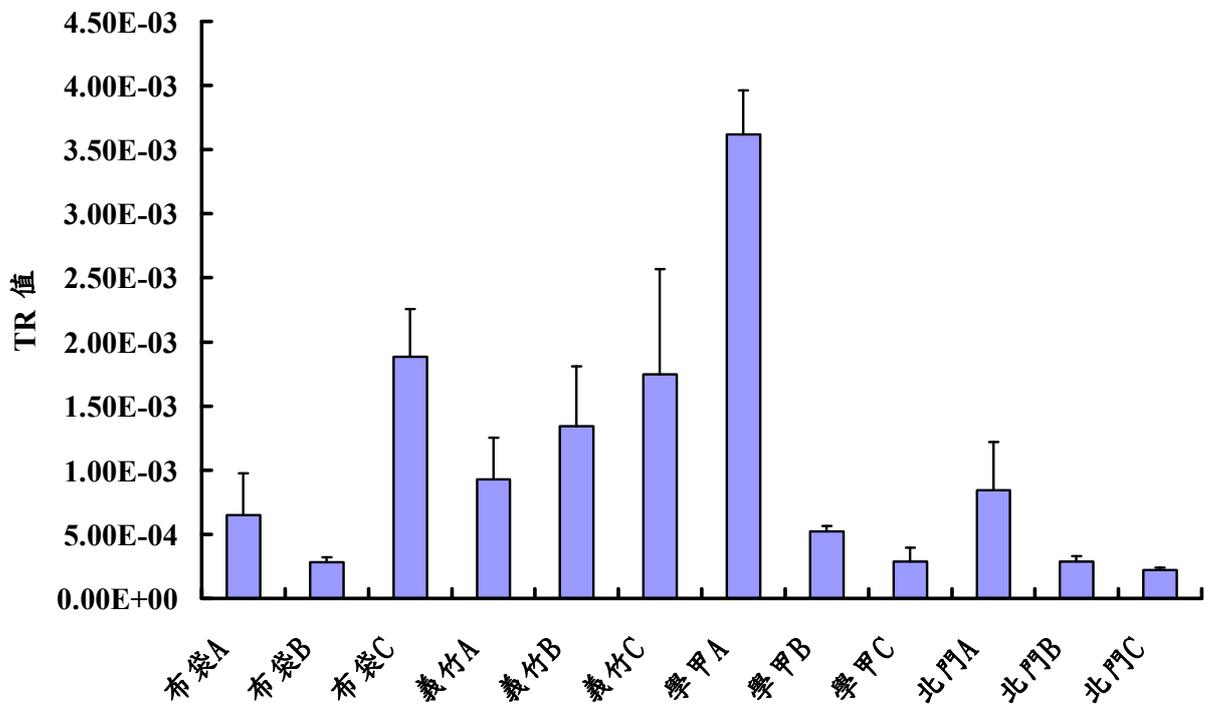


圖 19、台灣西南沿海四鄉鎮各區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之標的致癌風險 (TR)

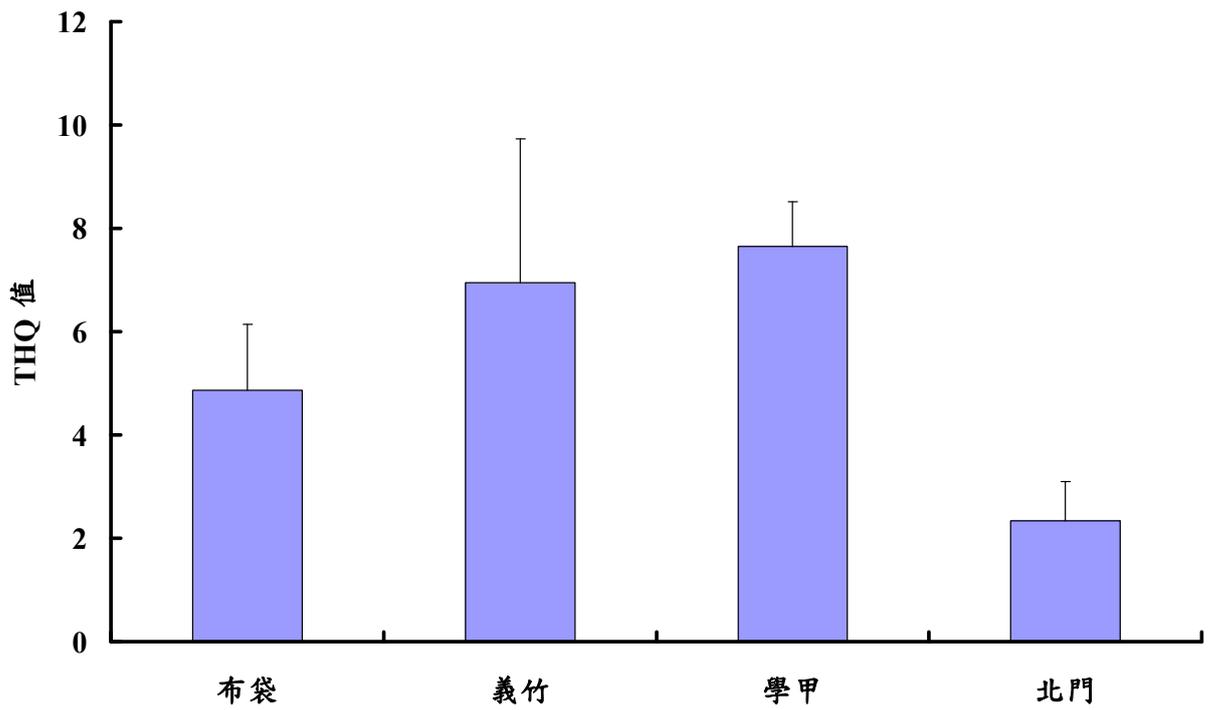


圖 20、台灣西南沿海四鄉鎮居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於砷之標的危害商數 (THQ)

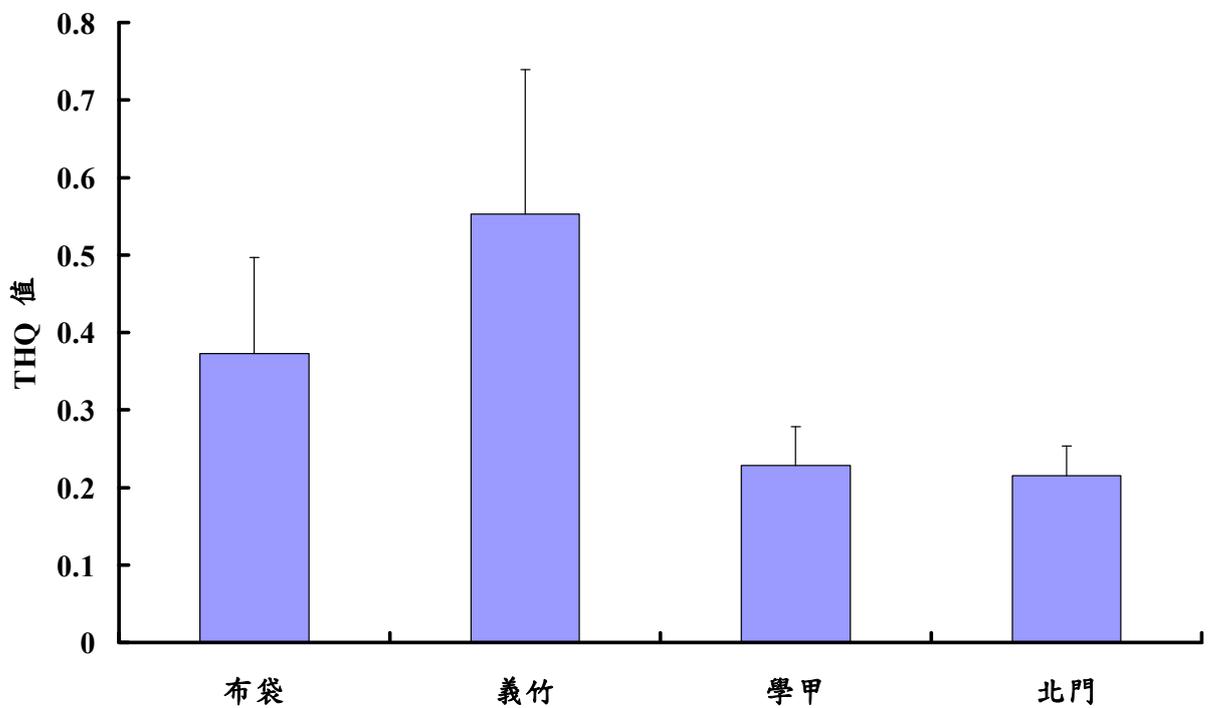


圖 21、台灣西南沿海四鄉鎮居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於鋅的之標的危害商數 (THQ)

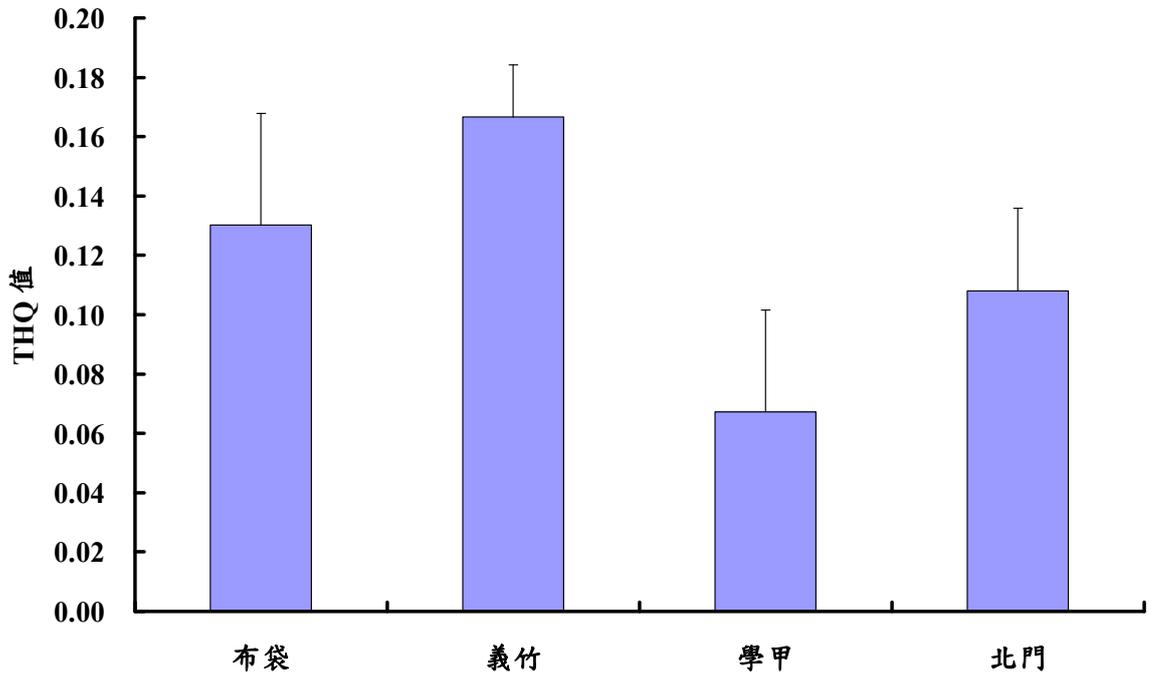


圖 22、台灣西南沿海四鄉鎮居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於銅之標的危害商數 (THQ)

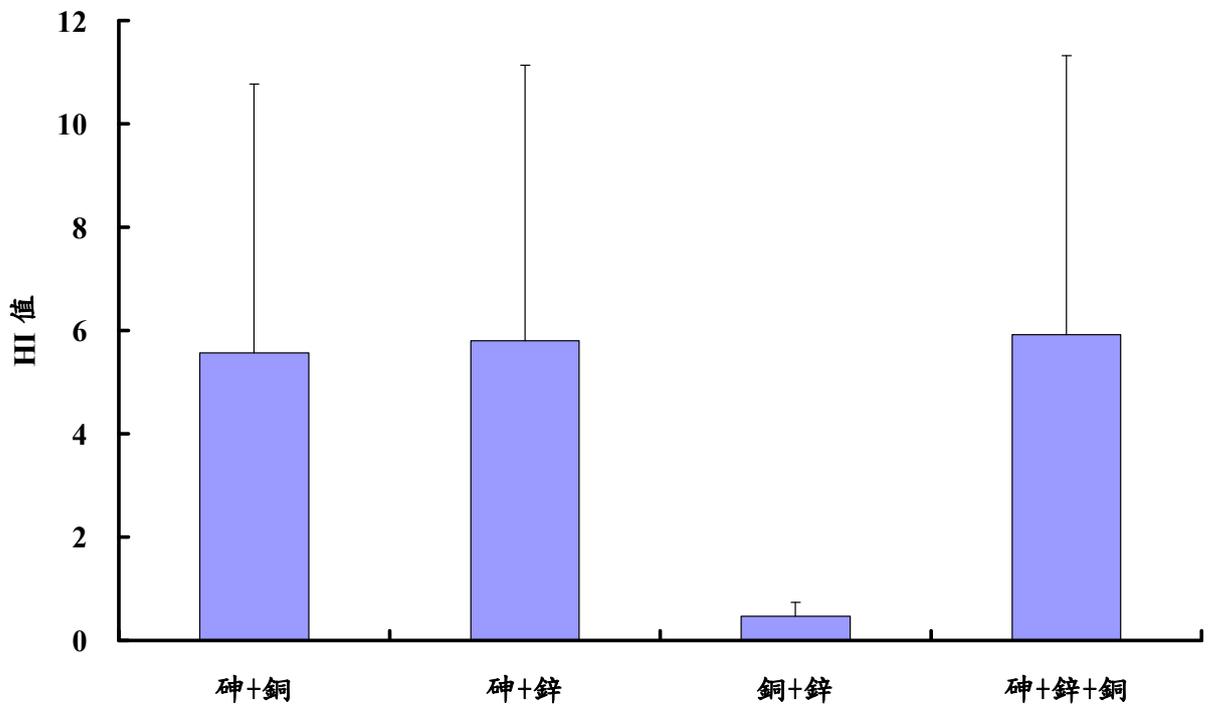


圖 23、台灣西南沿海四鄉鎮居民因食用地下水養殖虱目魚而產生砷、鋅、銅混合毒性效應之危害指數 (HI)

附錄一問卷調查格式

一、基本資料：

1)性別：男 女

(2)籍貫：1台閩 2客家 3原住民 4外省籍 5其他____

(3)年齡：1小於 20 歲 220-29 歲 330-39 歲 440-49 歲 550-59 歲
660-69 歲 770-79 歲 880 歲以上 9 附註____歲

(4)居住區域：1布袋鎮 2義竹鎮 3北門鄉 4學甲鎮 5其他____

(5)教育程度：1未受正規教育 2小學 3國中 4高(中)職 5專科

6大學 7大學以上 8 附註_____

(6)體重：1小於 40 公斤 240-44 公斤 345-49 公斤 450-54 公斤 555-59 公斤
660-64 公斤 765-69 公斤 870-74 公斤 975-79 公斤
1080-84 公斤 1185 公斤以上 12 附註____公斤

(7)居住年數：1小於 5 年 25-9 年 310-14 年 415-19 年 520-24 年
625-29 年 730-34 年 835-39 年 940-44 年 1045-49 年
1150 年以上 12 附註_____

(8)家中人口數：_____人(____大人，____男____女)
(____小孩，____男____女)

(9)職業：1養殖戶 2軍 3公 4教 5醫 6工 7農 8學生 9服務業
10家管 11其他_____

二、虱目魚食用情形：

(1)請問您如何取得此種魚類？

1自家捕撈 2市場購買 3都有(自家：市場=____) 4其他_____

(2)請問您吃此種魚類多久一次？

1每天吃(進行第 3 題)

2一星期 3-5 次 3一星期 1-2 次 4二星期 1 次 5一個月 1-2 次 6兩三個月才 1 次 7其他_____ 8 附註____(次/天)(選項 2、3、4、5、6、7 者，進行第 4 題)

(3)請問您每天吃此種魚類的餐數？

1□一餐 2□二餐 3□三餐 4 附註_____

(4)食用虱目魚：

a. 請問您家中吃此種魚類一餐的平均份量？

1□半尾以下 2□半尾 3□一尾 4□二尾 5□二尾以上 6 附註____(尾/
餐)

b. 請問食用本種魚類的時節____月~____月

三、虱目魚養殖狀況：

(1)請問養殖此種魚類的時節____月~____月

(2)請問您在養殖方面有遇到什麼問題嗎？

1□難養殖 2□養殖數量變少 4□死亡率高 5□價格過低 6□成本高
3□水質受到污染 7□疾病 8□地方政府壓力 9□加入 WTO 後，競爭
壓力 10□其他_____ 11 附註_____

(3)養殖水的來源？

1□雨水 2□自來水 3□河水 4□地下水 5□海水 6□灌溉渠道 7□其
他_____ 8 附註_____

(4)鹽度：_____‰ (附註_____)

(5)養殖大小：_____公頃 (附註_____)

(6)魚殖數量：_____尾 (附註_____)

(7)養殖密度：_____尾/公頃 (附註_____)

(8)養殖餌料：_____ (附註_____)

(9)養殖魚類銷出管道：_____ (附註_____)

(10)養殖魚類銷出量比例：_____ (附註_____)

訪視員姓名：_____

訪視日期：_____