

南 華 大 學
環境管理研究所碩士論文

台灣西南沿海烏腳病疫區養殖虱目魚之砷含量風險評估
Risk Assessment of Arsenic in Aquacultural Milkfish (*Chanos chanos*) from Blackfoot Disease Area in Southwest Taiwan



指導教授：林明炤 博士

Adviser : Ming-Chao Lin, Ph.D.

研究生：林欣儀

Graduate Student : Hsin-Yi Lin

中華民國九十二年十二月

December, 2003

南 華 大 學

環境管理研究所

碩 士 學 位 論 文

台灣西南沿海烏腳病疫區養殖虱目魚之砷含量風險評估

研究生：林欣儀

經考試合格特此證明

口試委員：林明娟
劉振宇
張介維

指導教授：林明娟

所 長：陳中乾

口試日期：中華民國九十二年十二月三十一日

誌 謝

回首在南華大學環管所的日子，有歡笑、汗水與淚水交織著，也正因如此，在這本論文完成時，我才能嚐到甜美的果實。

論文能順利完成，是靠著許多貴人的幫助，首先要感謝指導教授林明炤老師在這段期間對我殷殷指導與諸多啟發，在林老師身邊學習如同亦師亦友，老師敦厚的學者風範及溫儒的處世態度，不但在專業上、學識上是我導循地明燈，在生活上亦是少不更事的我學習的榜樣。另外，口試時承蒙劉振宇教授與張介耀教授的細心指正，提出許多珍貴的建議與指教，使得本論文能更臻完整。

野外採樣時，多虧嘉義區漁會推廣課李進添先生的幫忙才得以順利完成採樣，感謝北門、學甲、義竹、布袋地區曾經協助過我的人，有了你們問卷才得以順利施測完成。檢測樣本方面非常感謝正修技術學院超微量科技中心的協助才能順利即時地完成，也感謝國科會的研究經費上的資助。

在環管所就讀期間，感謝所上師長們的嚴謹教學，讓我打好研究的基礎，和感謝所上的同班同學、學長姊、學弟妹以及助理對我的關懷與幫助，讓我覺得有愛圍繞在我身邊。其中，特別感謝小英、阿福、小鑫、旭惠和玉萍在野外調查與研究上的協助，更感謝小英與室友佳玲在我論文寫作期間每每遭遇挫折時，在各方面你們都能支持我、鼓勵我、包容我，讓我有繼續努力堅持下去的動力，突破瓶頸。沒有這些老師同學的關心與幫忙，這本論文是無法完成的。謝謝陪伴我走過這些歲月的每一個人使我在南華的回憶更加充實。

最後要感謝我的家人與阿傑在生活上的關心與協助，以及在天上的父親的眷顧，讓我能順利完成碩士學位。其中，特別感謝辛勞的母親對我在教育路途上的關懷與付出，讓我能心無旁騖地專心研究並完成論文，謹將此論文獻給我至愛的母親，媽媽，我永遠愛您！

林欣儀 謹誌

中華民國九十二年十二月於南華

中文摘要

本論文主要研究台灣西南沿海烏腳病疫區居民食用養殖虱目魚 (milkfish, *Chanos chanos*) 而暴露無機砷之風險評估。虱目魚是台灣具有高經濟價值的養殖魚類。魚塭多分布在台灣西南沿海一帶，此區域的地下水中含有高量的砷 ($>50 \mu\text{g L}^{-1}$)，亦是烏腳病流行疫區。若利用該區地下水作為養殖之用，將可能使食用者暴露於砷污染的危害中。本論文於烏腳病疫區選擇 12 個養殖地點進行水樣及虱目魚採集，檢測池水及魚體砷含量。並根據 141 位居民食用地下水養殖虱目魚的情形，推估因食用該魚類而暴露於無機砷之風險 (包括致癌與非致癌風險)。本論文研究結果發現，虱目魚魚體的總砷含量為 $1.05 \pm 1.11 \mu\text{g g}^{-1}$ ，養殖池池水的總砷含量為 $83.3 \pm 97.1 \mu\text{g L}^{-1}$ ，求得生物濃縮因子 (BCF) 值為 17.84 ± 23.07 。該區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於無機砷之標的致癌風險 (TR) 值為 $1.60 \times 10^{-4} \pm 0.78 \times 10^{-4}$ ，大於可接受風險基準值 1×10^{-6} ；非致癌之標的危害商數 (THQ) 值為 0.83 ± 1.00 ，未超過安全標準值 1。根據理論值求出之虱目魚每日安全攝取量為 $2.88 \pm 1.67 \text{ g d}^{-1}$ ，但當地居民之每日攝取量卻高達為 $179.32 \pm 233.51 \text{ g d}^{-1}$ 。養殖虱目魚體之總砷風險基準濃度 (RBC_f) 為 $7.13 \times 10^{-4} \pm 2.38 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$ ，但實際採得之虱目魚砷含量卻高過此標準。另外，養殖池水之總砷風險基準濃度 (RBC_w) 為 $0.05 \pm 0.34 \mu\text{g L}^{-1}$ ，相較之下實際使用之養殖池水砷含量明顯過高。最後，烏腳病疫區居民會因食用地下水養殖虱目魚而有暴露於無機砷之致癌風險，建議該地區居民應儘量減少食用以地下水養殖之虱目魚，政府相關單位也必須針對該區虱目魚與養殖池水的砷含量進行嚴格管制。

關鍵詞：砷、養殖、烏腳病、地下水、虱目魚、風險評估

英文摘要

The risk assessment of arsenic in aquacultural milkfish (*Chanos chanos*) from the blackfoot disease (BFD) area in Taiwan was studied. Milkfish farming is a promising practice with high market value in Taiwan. Most of the milkfish aquaculture is located in the coastal region of southwestern Taiwan, which is subjected to groundwater polluted with arsenic (As). This region is also well known as the BFD area. To use the groundwater for aquaculture may cause an overexposure of arsenic. Samples of water and milkfish from 12 ponds in the BFD area were analyzed to determine the As concentration in fish. Nutritional habits of 141 residents of consuming the milkfish were analyzed to evaluate the health risk, including cancer and non-cancer risk. The resulting value of As concentration in milkfish was $1.05 \pm 1.11 \mu\text{g g}^{-1}$. The average concentration of As in pond water ranged from $83.3 \pm 97.1 \mu\text{g L}^{-1}$. The mean BCF of As in milkfish was 17.84 ± 23.07 . The target cancer risk (TR) of consuming milkfish was $1.60 \times 10^{-4} \pm 0.78 \times 10^{-4}$, which was higher than the acceptable risk 1×10^{-6} . The Target Hazard Quotient (THQ) for intake of the milkfish was 0.83 ± 1.00 , which was lower than the safe value 1 for non-cancer risk. The acceptable consumption of the milkfish was $2.88 \pm 1.67 \text{ g d}^{-1}$, which was lower than the actual milkfish consumption $179.32 \pm 233.51 \text{ g d}^{-1}$. The risk-based concentration (RBC_f) for As concentration in milkfish was $7.13 \times 10^{-4} \pm 2.38 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$, which was also lower than that in milkfish we measured. The risk-based concentration (RBC_w) for As concentration in pond water was $0.05 \pm 0.34 \mu\text{g L}^{-1}$, which was lower than the aquaculture water *in situ*. The results indicated that to use the groundwater from the BFD area for aquaculture might cause an overexposure of As. Consumption of As-polluted milkfish could pose a cancer risk to human health. A warning to the public to refrain from eating the milkfish, harvested from the BFD area, should be immediate issued by the government.

Key words: Arsenic, aquaculture, blackfoot disease, groundwater, milkfish, risk assessment

總目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
總目錄.....	III
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
第壹章 前言.....	1
第貳章 文獻回顧.....	3
第一節 砷化學.....	3
一、砷的化學特性.....	3
二、砷的污染來源.....	3
三、砷對人體的危害.....	5
四、砷與烏腳病之關聯性.....	7
五、砷的管制標準.....	7
第二節 虱目魚.....	8
一、台灣虱目魚養殖概況.....	8
二、虱目魚養殖地區的污染現況.....	8
第三節 風險評估.....	9
一、風險評估之定義.....	9
二、風險評估之方法.....	9
第參章 材料與方法.....	13
第一節 研究方向及流程.....	13

一、研究方向	13
二、研究流程	14
第二節 研究方法及步驟	15
一、問卷調查	15
二、野外調查	15
三、風險評估	17
第肆章 結果	20
第一節 問卷調查	20
一、基本資料	20
二、虱目魚食用情形	20
三、虱目魚養殖狀況	21
第二節 野外調查	21
一、虱目魚養殖池水砷濃度	21
二、虱目魚魚體砷含量	21
三、生物濃縮因子 (BCF)	21
第三節 風險評估	22
一、標的致癌風險 (TR)	22
二、非致癌之標的危害商數 (THQ)	23
三、每日安全攝取量	24
四、風險基準濃度 (RBC)	25
第伍章 討論	26
第陸章 結論與建議	32
第一節 結論	32
第二節 建議	34

參考文獻.....	70
一、英文部份.....	70
二、中文部份.....	77
附錄.....	79

表目錄

表 2-1 砷污染來源.....	35
表 2-2 地下水砷污染狀況及危害人口表.....	36
表 2-3 水產生物體內的總砷含量.....	37
表 2-4 砷對人體健康的影響.....	38
表 2-5 砷中毒所產生的癌症病變.....	39
表 2-6 烏腳病疫區居民罹患癌症之每十萬人口年齡標準化死亡率.....	40
表 2-7 烏腳病疫區四鄉鎮井水砷含量.....	41
表 2-8 各國砷含量的管制標準.....	42
表 2-9 各養殖魚類的養殖水源使用情形.....	43
表 2-10 烏腳病疫區養殖池水砷濃度.....	44
表 2-11 1999~2000 年於烏腳病疫區四次野外調查之養殖池水及魚體砷含量.....	45
表 2-12 美國環保署 (1986) 的致癌物分類及標準.....	46
表 4-1 問卷調查受訪者 (141 人) 之基本資料.....	47
表 4-2 問卷調查養殖業者 (56 人) 之基本資料.....	50
表 4-3 問卷調查受訪者 (141 人) 之虱目魚食用情形.....	52
表 4-4 問卷調查受訪者食用養殖虱目魚之每日攝取量.....	53
表 4-5 問卷調查養殖業者 (56 人) 之虱目魚養殖狀況.....	54
表 4-6 虱目魚養殖池水之總砷含量.....	56
表 4-7 養殖虱目魚之總砷含量.....	57
表 4-8 虱目魚養殖池水及魚體總砷含量之 BCF 值.....	58
表 4-9 食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之標的致癌風險 (TR).....	59
表 4-10 食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之非致癌風險標的危害商數 (THQ).....	60
表 4-11 食用養殖虱目魚而暴露無機砷之每日安全攝取量.....	61
表 4-12 養殖虱目魚及養殖池水之總砷風險基準濃度 (RBC).....	62

圖目錄

圖 2-1 台灣地區（嘉義縣市、台南縣市、高雄縣、屏東縣、宜蘭縣及臺東縣） 1991 至 2000 年間地下水砷含量與飲用水標準相較之不合率.....	63
圖 2-2 風險評估模式四步驟.....	64
圖 3-1 採樣地區.....	65
圖 4-1 烏腳病疫區居民食用養殖虱目魚之每日攝取量.....	66
圖 4-2 烏腳病疫區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 TR 值.....	67
圖 4-3 各區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 TR 值.....	67
圖 4-4 烏腳病疫區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 THQ 值.....	68
圖 4-5 各區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 THQ 值.....	68
圖 4-6 烏腳病疫區居民食用虱目魚而暴露於無機砷之每日安全攝取量.....	69
圖 4-7 各區居民食用虱目魚而暴露於無機砷之每日安全攝取量.....	69

第壹章 前言

砷 (arsenic) 廣泛存在於自然界 (Ng *et al.*, 2003)，是毒性很強的一種污染質 (Antman, 2001)，一般藉由水體傳輸 (Smedley *et al.*, 2002)。水中的砷多以三價型態存在，而三價砷的毒性較強，因此更增加了砷在水域環境中的危害性，不但會對水生生物造成不良影響 (Philips, 1990; Takatsu, 1998; Chen and Folt, 2000; Canivet *et al.*, 2001)，也會因食物鏈的串聯而間接地影響人類健康 (Ng *et al.*, 2003)。砷是一種致癌物質 (IARC, 1987; IPCS, 2001)，當人們抽取含砷地下水作為飲水 (Chen *et al.*, 1992, 1994; WHO, 2001; Ng *et al.*, 2003) 或養殖之用 (Lin *et al.*, 2001, 2004; Liao *et al.*, 2003) 時，便可能會對人體造成危害。

在嘉南、高屏與宜蘭等地區，人們曾因飲用含砷地下水而引發烏腳病 (blackfoot disease) 疫情 (Chen *et al.*, 1994, 1999, 2001; 朱等, 2001; 江等, 2001; 林, 2003)。根據多年來的調查，這些區域的地下水含砷量仍居高不下 (朱等, 2001)，其中又以嘉義縣的布袋鎮、義竹鎮，以及台南縣的北門鄉、學甲鎮最為嚴重 (Chen *et al.*, 1994, 1999, 2001)。根據環保署 1998 年委託工業技術研究院化工所於當地所進行的調查發現，在 160 座受檢測的水井當中，有 66% 的井水含砷量超過飲用水質標準 (砷含量超過 $50 \mu\text{g L}^{-1}$)，有的甚至超出標準值 40 倍以上。其中，台南縣北門鄉的不合格水井比率最高，達 90%；嘉義縣義竹鄉、布袋鎮以及台南縣學甲鎮則分別為 62%、60%、52% (沈, 2001)。雖然上述四地區的居民在自來水普及之後，幾乎已經不再飲用井水，但當地養殖戶引用含砷地下水進行魚類養殖的情形十分普遍，因此，食用這些以含砷地下水養殖生產的魚類，將可能使人體暴露於砷污染的威脅下 (Lin *et al.*, 2001, 2004; Liao *et al.*, 2003)。

在眾多養殖魚類中，虱目魚 (milkfish, *Chanos chanos*) 是台灣養殖歷史最悠久的魚種，可追溯到 300 年前 (陳, 1998)。1996 年虱目魚產量曾名列第一，計有 58,453 ton，而 2001 年之年產量亦高達 59,356 ton，占全年總生產量的 4.5%，產值達 2.53 億元，是極具有經濟

價值的魚種，其重要性僅次於吳郭魚（漁業年報, 2001）。虱目魚的魚塭多分布於台灣西南沿海地區，其中又以嘉義縣、台南縣有較大的養殖規模（胡, 1999）。Lin *et al.* (2004) 指出，由於虱目魚養殖池對淡水的需求量極大（ $3.8 \times 10^4 \sim 4.9 \times 10^4$ ton），因此漁民抽取含砷地下水進行虱目魚養殖的情形非常普遍，惟其潛在的危害性仍屬未知。

過去曾有許多文獻針對人們食用含砷水產生物進行健康風險評估（risk assessment）（郭, 1998; 韓, 1999; 施, 2001），但對於食用以含砷地下水養殖虱目魚所干冒的風險卻少有研究。因此，本論文針對台灣西南沿海烏腳病疫區之嘉義縣布袋鎮、義竹鄉，以及台南縣學甲鎮、北門鄉虱目魚養殖環境進行調查分析，首先透過問卷調查瞭解虱目魚池的養殖條件及當地居民食用習慣，藉以追蹤漁民以地下水進行養殖的現況，以及人們對這些養殖虱目魚的攝入量。此外，也監測池水和虱目魚體內的含砷量，運用健康風險評估數理模式，推估人們長期食用含砷虱目魚所干冒的風險。最後，根據風險評估結果，與安全標準值間的比較，指出食用含砷虱目魚的危害風險程度，以供政府相關單位及養殖戶進行有效的環境監控，將養殖虱目魚的危害風險減至最低。

第二章 文獻回顧

第一節 砷化學

一、砷的化學特性

砷的原子序為 33，大多以三價或五價的鹽類型式存在，於組成地殼的 92 種元素當中，砷含量佔第二十位，其含量約為 $2 \mu\text{g g}^{-1}$ (IPCS, 2001; Mandal *et al.*, 2002)。

砷可區分為有機砷與無機砷兩大類，無機砷的毒性大於有機砷 (WHO, 1992; Thompson, 1993)。一般認為，無機砷具有致癌性，而有機砷則否 (EPA, 1984; IPCS, 2001)。其中，三價無機砷毒性又比五價無機砷更強 (IPCS, 2001)。

二、砷污染來源

砷的污染源主要來自自然界、工業、農業及醫藥，其常見污染源整理於表 2-1。早在遠古時代，希臘的煉丹家就從含砷的硫化物中提煉出砷作為毒藥 (Smith *et al.*, 1992)。另外，在 1837 年左右，英國的砷中毒是僅次於鴉片中毒之死因；同時在法國也有將近三分之一的化學中毒與砷有關 (Charles *et al.*, 1996)。砷在台灣地區主要用途是製造農藥與玻璃，並為中藥業所大量使用 (邱, 1994)。

根據 Ng *et al.* (2003) 的估計，目前全球仍有成千上萬人們暴露於高濃度的砷污染環境中，其中主要途徑為飲用水污染 (表 2-2)。飲用水砷污染是全球重要的公共衛生問題，在世界上有許多地區 (特別是東南亞地區)，地下水仍是民生飲用水的主要來源 (Ng *et al.*, 2003)，不少研究報告指出，多數東南亞國家都曾發生過地下水砷污染事件，包括孟加拉、印度 (Chatterjee *et al.*, 1995; Sampat, 2000; Ahmad, 2001; Shraim *et al.*, 2002)、越南 (Berg *et al.*, 2001)、尼泊爾 (Sampat, 2000)、台灣 (Chen *et al.*, 1999; Sampat, 2000) 和中國 (Wang

et al., 1993; Guo *et al.*, 2001; Lin *et al.*, 2002)。其中，在印度和孟加拉估計有 60~100 百萬人民遭受危害 (Ahmad, 2001; Chakraborti *et al.*, 2001)。

台灣部份地區地下水中亦含有高量的砷，根據環保署(2002a)於 1991 年至 2000 年的監測發現，台灣嘉義縣市、台南縣市、高雄縣、屏東縣、宜蘭縣及臺東縣等八縣市地下水的含砷量過高，超過飲用水標準 ($50 \mu\text{g L}^{-1}$) 的不合格率大約都在 20% 以上(圖 2-1)，特別在 1999 到 2000 年間有大幅增高的趨勢，於 2000 年時達 47.9%，顯示台灣地下水有嚴重的砷污染問題。

此外，燃燒含砷煤礦亦會造成砷污染 (An *et al.*, 1997; Liu *et al.*, 2002; Ng *et al.*, 2003)。一般煤礦的含砷量多低於 $5 \mu\text{g g}^{-1}$ ，對人體並無太大危害，但有些煤礦含砷量可高達 $35,000 \mu\text{g g}^{-1}$ ，便會對人體造成傷害 (Ding *et al.*, 2001)。在中國大陸貴州省有著豐富的煤礦資源，但其含砷量 ($100\sim 10,000 \mu\text{g g}^{-1}$) 卻遠超過管制標準 ($8 \mu\text{g g}^{-1}$) (An *et al.*, 1997)。這些煤礦廣被居民所使用，在燃煤的過程中，砷會釋出而溢散在空氣中，並吸附在烹煮的食物上，進而被人們吸入或攝入 (An *et al.*, 1997; Liu *et al.*, 2002; Ng *et al.*, 2003)。

Dabaka *et al.* (1993) 曾針對加拿大魚類、肉類 (含禽類)、穀類 (含麵包) 及油脂類等食物進行一系列的砷含量調查，結果發現魚類的砷含量 $1.662 \mu\text{g g}^{-1}$ 最高，遠高過肉類 (含禽類) 的 $0.0243 \mu\text{g g}^{-1}$ 、穀類 (含麵包) 的 $0.0245 \mu\text{g g}^{-1}$ 及油脂類的 $0.019 \mu\text{g g}^{-1}$ 。Schoof *et al.* (1998) 在台灣進行稻米及蕃薯含砷量的研究發現，稻米砷含量為 $0.15 \mu\text{g g}^{-1}$ ；蕃薯則為 $0.11 \mu\text{g g}^{-1}$ 。姚 (2002) 曾整理出各種水產生物體內之總砷含量 (表 2-3)，其中螺類的含量 $74.4 \mu\text{g g}^{-1}$ 最高。Donohue and Abernathy (1999) 則指出，海水魚、淡水魚和貝類的總砷含量分別為 $0.19\sim 65 \mu\text{g g}^{-1}$ (dry wt)、 $0.2\sim 125.9 \mu\text{g g}^{-1}$ (dry wt) 和 $0.007\sim 1.46 \mu\text{g g}^{-1}$ (dry wt)。

Han *et al.* (1998) 指出，攝取受污染魚貝類是台灣居民暴露於砷、銅、鋅、鉛、鎘及汞等重金屬污染的主要途徑，其中又以牡蠣、吳郭魚、和蝦為最。尤其嘉義布袋、台南安

平、台南七股、屏東大鵬的牡蠣平均砷含量為 $11.8 \mu\text{g g}^{-1}$ (dry wt), 是澳洲生蠔的 5~7 倍 (韓, 1999), 食用這些牡蠣的致癌風險超過美國環保署標準的 509 倍 (Han *et al.*, 1998)。

三、砷對人體的危害

砷可經由食入、吸入、皮膚吸收或表皮注射而進入體內 (Malachowski, 1990; IPCS, 2001), 而透過以上途徑進入人體者多以無機砷為主 (Pontius *et al.*, 1994; 邱, 1994; Yoshinaga *et al.*, 2000)。Chen *et al.* (1988) 指出, 人體攝入無機砷後, 其中有 95% 會被腸胃道吸收, 只有不到 5% 經糞便排出體外。並且, 毛髮、指甲與甲狀腺中的砷累積量最高, 其次是骨骼與皮膚 (Curtis *et al.*, 1996; 郭, 1998)。

砷中毒可分為急性中毒及慢性中毒兩大類, 急性砷中毒通常因誤食高濃度砷所引起; 慢性砷中毒則因長期接觸或食用低濃度砷所造成的 (Jain and Ali, 2000)。拿破崙之死即是歷史上有名的慢性砷中毒事件, 在其死後數百年仍可於其頭髮中測出高濃度的砷 (Pankhurst *et al.*, 1979)。另外, 人們長期暴露於含砷飲用水或燃燒含砷煤礦的環境中時, 亦會導致慢性砷中毒 (Hopenhayn-Rich *et al.*, 2000; Pi *et al.*, 2000; Berg *et al.*, 2001; Liu *et al.*, 2002)。

在急性與慢性砷中毒的情形下, 極有可能會導致各種對人體健康有不良影響的病變 (表 2-4)。砷中毒的一般症狀為色素沉著 (hyperpigmentation)、皮膚角質化 (hyperkeratosis)、皮膚疣瘤等, 亦會出現貧血、腎衰竭等病癥 (Curtis *et al.*, 1996)。此外, 砷也會引發皮膚病變 (如: 烏腳病)、高血壓、糖尿病、呼吸、消化、循環器官、神經、腎臟、週邊血管疾病、缺血性心臟病以及腦血管疾病等病症, 嚴重時會導致死亡 (Engel *et al.*, 1994; Tseng *et al.*, 1995; ATSDR, 2000; IPCS, 2001)。對人體而言, 砷的「最低可觀察到健康危害效應之暴露劑量」(LOAEL—lowest observable adverse effect level) 為 $0.01 \sim 0.02 \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$, 而砷的「未觀察到健康危害效應之暴露劑量」(NOAEL—no observable adverse effect level) 為 $0.0004 \sim 0.0009 \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ (ATSDR, 1998)。

國際癌症研究中心 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 在1980 及1987 年強調，人類過度暴露於砷環境中時會罹患皮膚癌與肺癌，因此將砷列為第一級致癌物質。之後，許多研究更加確認砷具有致癌毒性 (Chen *et al.*, 1988, 1992, 1999; Chen and Wang, 1990; Buchet *et al.*, 1996; Chiou *et al.*, 2001; IPCS, 2001; Ng *et al.*, 2003)。其中，膀胱癌、泌尿道癌、腎癌、肝癌、前列腺癌等內臟癌症，常與攝入含砷飲用水有高度相關(ATSDR, 2000; IPCS, 2001; Chiou *et al.*, 2001; Ng *et al.*, 2003)，當飲用砷含量大於 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ 的水體時，會有高於 1% 的致癌風險 (Morales *et al.*, 2000)，另外，Hsueh *et al.* (1995) 指出，台灣皮膚癌的發生率為 6.1%，與長期砷暴露有明顯的劑量反應關係。目前從已開發國家到未開發國家皆有因砷中毒而發生癌症之危害事件，如亞洲的台灣、日本、中國大陸 (新疆、內蒙古)、印度；美洲的阿根廷、墨西哥、智利等，其相關資料整理於表 2-5。

目前全球因長期飲用含砷地下水而引起砷中毒的人口超過一億人 (環保署, 2002b)。早在日據時代 (民國 21 年)，台灣流行病學史就載有著名的「復榮村怪病」事件，後來研究證實，由於台南縣安定鄉復榮村的居民長期飲用含砷地下水，因此罹患皮膚病、肺結核、肝癌、血癌的比例極高，即便是現在，安定鄉男性膀胱癌的死亡率仍明顯高於台灣其它地區 (吳, 1999)。Wu *et al.* (1989) 於 1973 至 1986 年針對台灣烏腳病疫區四鄉鎮 42 個村里所進行的研究調查發現，該地區 20 歲以上民眾罹患腎、膀胱、皮膚、肺、肝及前列腺癌的死亡率與地下水砷含量有明顯相關。Chen *et al.* (1992) 引用這份報告，針對上述鄉鎮飲用含砷地下水超過 70 年的居民進行調查，發現當地飲用水的砷濃度為 $10 \sim 1,752 \mu\text{g L}^{-1}$ ，在接受觀察的 898,806 位居民當中，死於肝癌有 202 位、肺癌有 304 位、膀胱癌有 202 位、腎癌有 64 位，證實人們長期暴露於砷污染環境中時，罹患肝、肺、膀胱和腎癌的可能性增大，且其死亡率與飲用水砷濃度之間有正相關。此外，根據烏腳病疫區長期追蹤研究發現，當地居民的皮膚癌、腎臟癌、肝癌、肺癌及膀胱癌等的年齡標準化死亡率 (standardized mortality ratio, SMR) 明顯著高於台灣地區一般人口 (SMR = 100) (表 2-6)。顯示這些內臟癌的年齡 SMR，隨暴露之砷含量的增加而顯著增加，尤其以肺癌及膀胱癌的年齡 SMR 最高 (鄭, 1995)。

四、砷與烏腳病之關聯性

烏腳病在病理學上是屬於一種末梢血管疾病（曾, 1984; Chen *et al.*, 1988; 郭, 1996; Chen *et al.*, 2001），其主要特徵為末梢血管阻塞，造成肢端色素沈澱，肌膚角質化，患部肌肉萎縮乾燥、硬化壞疽（吳, 1999），嚴重者必須導致截肢（吳, 1999; Chen *et al.*, 2001; 吳等, 2002）。

許多研究指出，長期飲用含砷地下水會引發烏腳病（Chen *et al.*, 1994, 1999; 郭, 1996）。過去嘉南、高屏與宜蘭等地區發生的烏腳病疫情，便和地下水砷含量過高有關（Chen *et al.*, 1994, 1999, 2001; 朱等, 2001; 江等, 2001; 林, 2003）。臺灣西南沿海地區的學甲、北門、布袋、義竹四鄉鎮更被列為是烏腳病的高危險區（郭, 1996; Chen *et al.*, 1994, 1999, 2000, 2001）。根據環保署（2003）針對烏腳病疫區四鄉鎮（學甲、北門、布袋以及義竹）地下水砷含量的監測結果顯示（表 2-7），四採樣點中有三處水井含砷量超過飲用水砷標準（ $10 \mu\text{g L}^{-1}$ ）。

如今，由於自來水的普及化，當地居民已不再飲用地下水（Lin *et al.*, 2001, 2004; Liao *et al.*, 2003）。但當地水井仍在，民生用水及魚塢、農田依然抽取井水、地下水進行養殖及灌溉，這些污染質一旦經由食物鏈進入人體，便可能對人體產生健康危害（吳等, 2002）。因此，砷污染防治是一件不容忽視之重要課題，尤其在烏腳病疫區更形迫切。

五、砷的管制標準

針對砷對人體的危害，各國皆訂有嚴格的管制標準（表 2-8），目前世界衛生組織（WHO）砷的飲用水標準為 $10 \mu\text{g L}^{-1}$ （WHO, 2001），但仍有許多開發中國家維持在 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ （Ng *et al.*, 2003）。台灣飲用水的砷標準值也已於 2000 年 12 月 1 日修訂為 $10 \mu\text{g L}^{-1}$ （環保署, 2002c）。

除此之外，我國環保署也訂有水產養殖用水的砷含量標準值為 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ （環保署，1998），但 Lin *et al.*（2001）、黃（2002）、Liao *et al.*（2003）及 Lin *et al.*（2004）等研究報告指出，台灣西南沿海烏腳病疫區部份養殖池的池水砷含量高過於此標準。因此，養殖池水的砷含量、養殖生物體內的砷累積量，以及人們食用這些養殖生物對人體造成的危害風險，都是值得探討的研究課題。

第二節 虱目魚

一、台灣虱目魚養殖概況

虱目魚（milkfish, *Chanos chanos*）屬熱帶廣鹽性海洋魚類，生活適應力強，不但生長快速、抗病力強、養殖歷史最久遠、容易養殖、單位產量高，且肉質鮮美，一直是台灣重要的養殖漁產品（行政院國科會，1990；農委會，1994）。

虱目魚一般於 4 月進行放養，6 個月後長成 600 g 便可利用刺網選捕出售（丁，1996）。虱目魚於 1996 年之年產量曾位居水產養殖漁獲之冠（58,453 ton），產值則名列第二，達 3,570,054 千元，僅次於鰻魚；2001 年之年產量高達 59,356 ton，產值達 2,526,895 千元，重要性僅次於吳郭魚（農委會，2001；胡，2002），養殖虱目魚產業在台灣漁業經濟上的重要性可見一般。

二、虱目魚養殖地區的污染現況

農委會（1994）曾針對各養殖魚類的養殖水源進行調查，結果顯示以地下水進行虱目魚養殖比例位居第二（表 2-9）。主要原因虱目魚養殖池對淡水的需求量極大（ $3.8 \times 10^4 \sim 4.9 \times 10^4 \text{ ton}$ ）（Lin *et al.*, 2004），且採高密度集約式養殖，在地表水無法充分供給的情況下（陳，1998），漁民抽取地下水進行養殖的情形非常普遍。

虱目魚的魚塭多分布於本省西南沿海地區，其中嘉義縣、台南縣有著大規模的養殖（漁業局, 1996; 胡, 1999）。值得注意的是，根據 Lin *et al.* (2001) 於嘉義、台南地區進行的研究調查發現，在所採樣的 8 個養殖池中，池水砷濃度的平均值高達 $79.9 \pm 60.0 \mu\text{g L}^{-1}$ (表 2-10)，有半數以上的養殖池水含砷量高過環保署所訂定的養殖用水標準 ($50 \mu\text{g L}^{-1}$)。其中，北門一處虱目魚養殖池的砷濃度高達 $102.1 \pm 59.0 \mu\text{g L}^{-1}$ ，而布袋一處豆仔魚養殖池的砷濃度甚至高達 $169 \pm 68.8 \mu\text{g L}^{-1}$ 。Liao *et al.* (2003) 於 1999~2000 年亦曾針對該地區養殖池水與魚體砷含量進行四次採樣調查 (表 2-11)，結果顯示，養殖池水之含砷量普遍偏高，有五處超出水質砷標準 ($50 \mu\text{g L}^{-1}$)，若以環保署飲用水砷標準 $10 \mu\text{g L}^{-1}$ 而言，則只有一處符合標準。雖然烏腳病疫區居民已不再飲用含砷地下水，烏腳病也已不復現，但養殖業者仍抽取地下水進行虱目魚養殖。Chen and Lee (1996)、Chen *et al.* (2000) 及 Lin *et al.* (2004) 等曾針對虱目魚養殖環境進行污染和生物累積研究，但以地下水進行虱目魚養殖所帶來的危害性卻少有相關探討。因此，本論文除了針對烏腳病疫區地下水養殖虱目魚之砷污染現況進行調查外，也評估該地區居民因食用地下水養殖虱目魚而暴露於無機砷之健康風險。

第三節 風險評估

一、風險評估之定義

根據美國國家研究委員會 (National Research Council, NRC, 1983) 的定義，風險評估係指：「人類處於有害環境下，污染質對人體健康潛在影響之推估」，用以估算暴露於毒性物質下人體健康所受不良影響的程度和發生機率 (韓, 1999)。

二、風險評估之方法

本論文採用的毒性化學物質風險評估方法，係以 1983 年美國國會公布之「風險評估運用於聯邦政府相關事務」(National Research Council of the National Academy of

Sciences, NAS-NRC) 報告 (湯, 2000)。美國環保署更於 1986 年公布「風險性評估指南」(The Risk Assessment Guideline of 1986), 及其後於 1988、1992 年提出之修正報告作為參考 (環保署, 1997)。風險評估模式的作業流程主要包含四個步驟: 1. 危害鑑定 (hazard identification)、2. 劑量反應評估 (dose response evaluation)、3. 暴露評估 (exposure evaluation)、4. 風險判定推估 (risk characterization) (NRC, 1983) (圖 2-2), 其定義和步驟如下:

(一) 危害鑑定 (hazard identification)

用以評估特定污染質之來源、特性及其對人體健康的危害效應。首先收集、分析污染質相關資料, 包括污染質之物化特性、毒理效應、產生疾病之暴露條件, 以決定該污染質與疾病發生的因果關係 (Lawrence, 1996)。另外, 美國環保署 (EPA, 1986) 對致癌性物質的分類及標準如表 2-12 所示。

(二) 劑量反應評估 (dose response evaluation)

用以指出污染質暴露量與對人體健康危害效應發生機率間之關聯性。首先找出個體所有可能的暴露途徑, 並計算在此暴露途徑下個體所攝入的劑量, 藉由量化數據決定人體暴露在特定劑量污染質下, 可能產生之相對危害風險 (Lawrence, 1996)。

NRC (1983) 的報告曾指出, 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。毒性物質對人體健康所造成的危害風險可分為「致癌風險」(cancer risk) 和「非致癌風險」(non-cancer risk)。致癌風險係指毒性化學物質經生物體攝入後而導致癌症產生之風險; 非致癌風險則是指引發其他疾病的風險 (EPA, 1995)。

其中, 致癌風險與暴露程度之間成線性關係, 可以直線多階段模式 (linearized

multistage model) 求得致癌斜率 (carcinogenic potency slope) (EPA, 1986), 並經由動物實驗, 求得污染質暴露量對致癌風險的增加量, 亦稱為致癌強度 (potency factor) (林, 2003)。暴露於非致癌化學物質對人體健康的影響, 通常以參考劑量來表示 (reference dose, RfD), 根據人體在空氣、水或食物中容許暴露之污染物濃度, 預測長期或終生暴露下不致造成任何危險的劑量, 作為「安全劑量」(郭, 1998)。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。

(三) 暴露評估 (exposure evaluation)

評估人類暴露於特定的化學物質不同程度下, 需考慮此物質在環境中的轉移、濃度、進入人體的途徑、人體暴露的頻率、強度與時間, 在一定時間內人體吸收了多少污染質 (Lawrence, 1996)。其目的在求得某化學物質之劑量及暴露頻率, 由於劑量決定毒性, 所以減輕化學物質之危害性最有效的方法即是減少暴露, 因此, 暴露評估為化學物質風險評估作業中不可少的一環 (EPA, 1986)。

(四) 風險判定推估 (risk characterization)

彙整上述三步驟的結果予以分析, 推估污染質危害人類身體健康之風險, 以進行綜合性評估 (Lawrence, 1996)。並經由量化, 讓人們能了解暴露在此化學物質下可能的影響 (NRC, 1983)。

根據美國環保署 2003 年所公佈的「風險基準濃度範圍表」, 可用來推估環境污染質對人體健康造成不良影響的可能性。其中, 致癌風險可依標的致癌風險 (target cancer risk, TR) 和非致癌風險可經由標的危害商數 (target hazard quotient, THQ) 求得 (EPA, 2003)。

Chen and Lee (1996)、Chen *et al.* (2000) 及 Lin *et al.* (2004) 的研究中曾指出，攝取虱目魚是台灣居民暴露於砷污染的重要途徑。故本論文利用「風險評估」模式，推估台灣西南烏腳病疫區居民食用地下水養殖虱目魚而暴露於無機砷之健康風險。

第參章 材料與方法

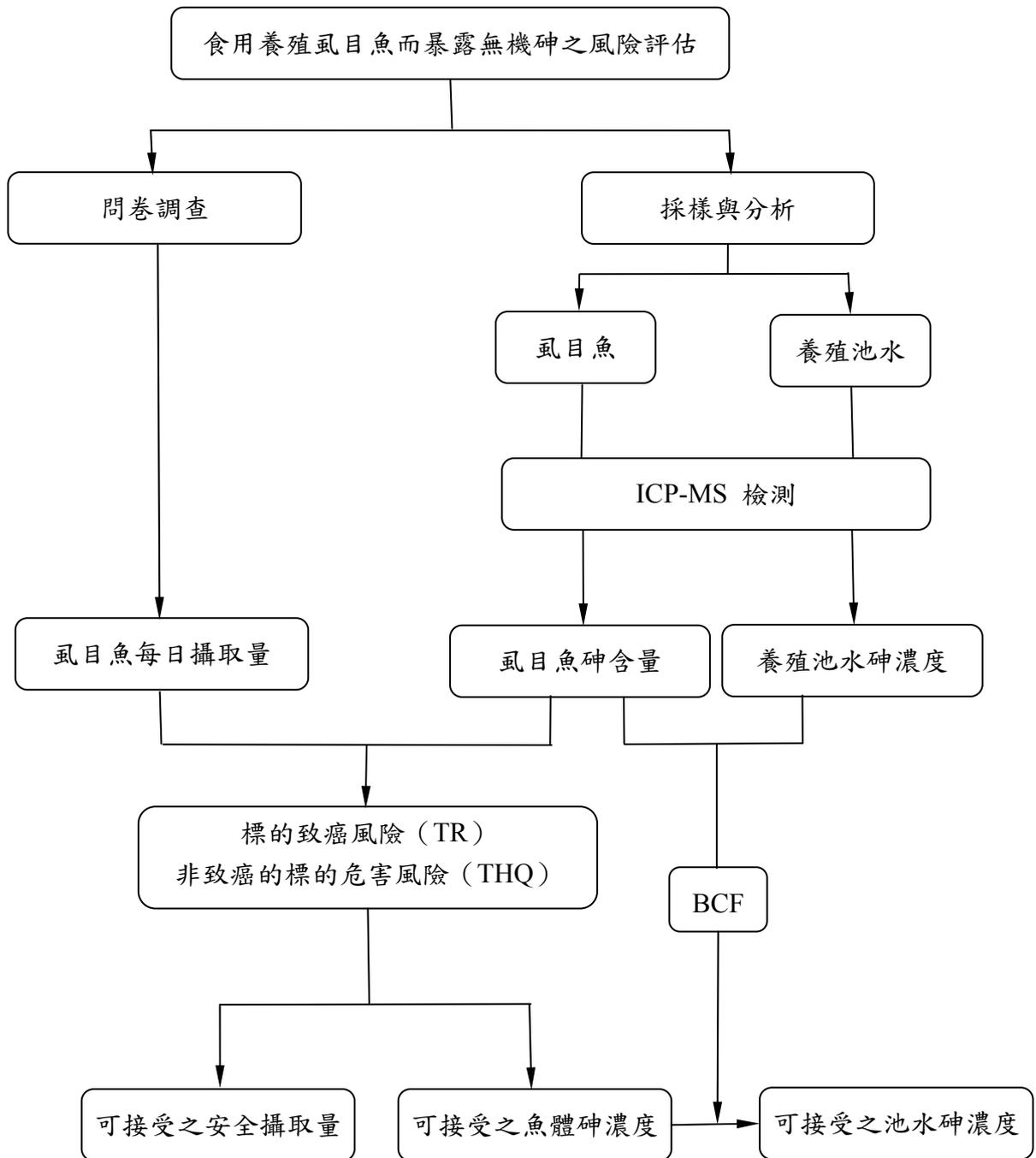
本論文針對台灣西南沿海烏腳病疫區四鄉鎮（台南縣學甲鎮、北門鄉和嘉義縣義竹鄉、布袋鎮）居民進行問卷調查，瞭解民眾食用虱目魚情形及養殖現況，並配合虱目魚魚體砷含量檢測，推估因食用養殖虱目魚而暴露於砷危害之風險。

第一節 研究方向及流程

一、研究方向

- （一）瞭解台灣西南沿海烏腳病疫區四鄉鎮居民食用虱目魚的來源、攝取頻率和攝取量，以及受訪民眾的相關基本資料（例：性別、年齡、教育程度、職業等）。
- （二）檢測虱目魚養殖池水砷濃度、魚體總砷含量和生物濃縮因子（bioconcentration factor, BCF）。
- （三）評估食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之風險（如：TR、THQ 等）。
- （四）擬定虱目魚可接受之每日安全攝取量、養殖池水及魚體風險基準濃度。

二、研究流程：



第二節 研究方法及步驟

一、問卷調查

(一) 調查對象

針對嘉義縣義竹鄉、布袋鎮及台南縣學甲鎮、北門鄉四地區(圖 3-1)虱目魚養殖池周邊居民進行問卷調查。

(二) 問卷施測

問卷調查之施測以面對面訪談方式完成。問卷及訪談內容主要分成三大部分，分別針對受訪者「基本資料」、「虱目魚食用情形」和「虱目魚養殖狀況」進行調查(附錄一)，調查期間為民國 91 年 3 月至 92 年 1 月。

(三) 資料分析

去除填答不完整之問卷後，將有效問卷之資料輸入電腦，並以 Excel 處理系統進行基本資料(含性別、籍貫、年齡、居住區域、教育程度)、虱目魚食用情形(含來源、每日攝取量)和養殖狀況(含時節、水源、鹽度、面積、數量、問題)分析。

二、野外調查

(一) 採樣及保存

於嘉義縣義竹鄉、布袋鎮和台南縣學甲鎮、北門鄉四地區選擇以地下水養殖虱目魚之養殖池進行監測，建立魚體及池水含砷量資料。首先於上述鄉鎮分別選擇虱目魚養殖池各三處，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) 總砷分析

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) 進行總砷含量分析。

首先，將樣本、空白樣品及 QC 樣品各取 45 ml 置於消化瓶中，加入 2 ± 0.1 ml HNO₃ 及 1 ± 0.1 ml HCl。將消化瓶置入微波消化裝置 (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 7500) 下檢測總砷含量。

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

三、風險評估

Yost and Schoof (1995) 研究指出，水產品中的無機砷含量約佔總砷的 10%，因此本論文以魚體總砷量的 10% 作為檢測無機砷含量之計算依據，再根據虱目魚的重量、食用餐數和食用頻率，計算出人體攝入砷的每日攝取量，以評估人們因食用虱目魚而暴露於無機砷的風險。

致癌風險可根據標的致癌風險 (TR) 值進行估算。TR 是指一位體重 70 kg 的人，長期 (30 yr) 暴露於毒性物質下，終其一生所引發癌症的機率，其建議可接受風險基準值為 1×10^{-6} 。非致癌風險則可依標的危害商數 (THQ) 值進行估算。THQ 是指 70 kg 的人，長期 (30 yr) 暴露於毒性物質下，終其一生所引發非癌症疾病的機率，其建議安全標準值為 1 (Han *et al.*, 2000)。根據 TR 的安全標準值，可進而推估虱目魚之「每日安全攝取量」及「風險基準濃度」 (risk-based concentration, RBC)。

(一) 致癌風險：

根據美國環保署 2003 年所公佈「風險基準濃度範圍表」(EPA, 2003)，可依其中之「標的致癌風險 (TR)」公式進行致癌風險計算：

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

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)。

根據美國環保署所公布的砷致癌強度為 $1.5 \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ ，假設一年暴露天數為 350

d、暴露期間 30 yr、體重 70 kg、平均壽命 70 yr (EPA, 2003) 作為估算參考值，可依虱目魚體的無機砷含量及每日攝取量求出 TR 值，並根據可接受風險基準值 1×10^{-6} ，指出食用地下水養殖虱目魚的致癌風險。

(二) 非致癌風險

根據「風險基準濃度範圍表」(EPA, 2003)，可依「標的危害商數 (THQ)」公式進行非致癌風險計算：

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

其中，THQ 為標的危害商數；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)；RfD 為參考劑量 ($\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$)；B Wa 為成人平均體重 (kg)；ATn 為暴露期間 (d)。

根據美國環保署所公布的砷容許暴露參考劑量為 $3 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$ ，假設一年暴露天數為 350 d、暴露期間 30 yr、體重 70 kg (EPA, 2003) 作為估算參考值，可依虱目魚體的無機砷含量及每日攝取量求出 THQ 值，並根據安全標準值 1，指出居民食用地下水養殖虱目魚而引發非致癌疾病之風險。

(三) 每日安全攝取量

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

(四) 風險基準濃度 (RBC)

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), 可推算出免於致癌的虱目魚 RBC_f , 指出虱目魚體的容許砷濃度。再根據 BCF 和 RBC_f 代入 Eq (1), 即可求出養殖池水 RBC_w , 代表虱目魚養殖池水的容許砷濃度。

第肆章 結果

第一節 問卷調查

本論文問卷調查回收之有效問卷計有 141 份，其中養殖戶 56 份；其他一般居民 85 份。

一、基本資料

在所有受訪對象中，男性佔 53.19%；女性佔 46.81%，其中閩南籍者為大多數，佔 96.45%。受訪者年齡層以 40~49 歲較多，佔 24.82%，其中，養殖業者年齡層以 60~69 歲居多，佔 25.00%。在教育程度方面，以小學畢業者居多，佔 39.01%，其次為未受正規教育者，佔 25.53%，其中養殖業者以小學畢業及未受正規教育者居多（71.43%）。另外，在所有受訪者中，以養殖業者最多，佔 39.72%，而受訪者的家中人口數以 4 位及 5 位最多，分別佔 18.44% 及 17.73%，其中，養殖戶家庭以 2 人為主，佔 19.64%（表 4-1、表 4-2）。

二、虱目魚食用情形

受訪對象中，食用虱目魚購自市場者居多，佔 45.39%，其次為自家捕撈，佔 37.59%。食用頻率以一星期食用 3~5 次較多，佔 43.97%，並以每日二餐為多，佔 47.52%，其中，一餐以食用一尾及半尾最多（一尾虱目魚以 600 g 計），分佔 37.59% 及 30.50%（表 4-3）。

每人每天食用養殖虱目魚之攝取量為 $179.32 \pm 233.51 \text{ g d}^{-1}$ （表 4-4）。其中，每日攝取量以義竹的 $274.58 \pm 184.40 \text{ g d}^{-1}$ 最高，其次為布袋的 $179.81 \pm 318.14 \text{ g d}^{-1}$ ，學甲的 $125.59 \pm 159.61 \text{ g d}^{-1}$ 及北門的 $125.54 \pm 240.84 \text{ g d}^{-1}$ 較低（圖 4-1）。

三、虱目魚養殖狀況

受訪對象中，以 1~12 月皆有養殖者較多，佔 33.93%，養殖水源以地下水加海水為大宗，佔 69.64%，其次為地下水佔 16.07%，而池水鹽度為 0‰ 較多，佔 67.86%，養殖面積以 0.6 ha 居多，佔 21.43%，放養數量以 2 萬及 1 萬尾最多，分佔 32.14% 及 30.36%，養殖所面臨的問題以魚價過低為主，佔 35.71% (表 4-5)。

第二節 野外調查

一、虱目魚養殖池水砷濃度

野外調查結果顯示，養殖池池水含砷量的總平均值為 $83.3 \pm 97.1 \mu\text{g L}^{-1}$ (表 4-6)。就地區來看，池水含砷量分別為：學甲 $135.4 \pm 181.9 \mu\text{g L}^{-1}$ 、義竹 $100.1 \pm 63.8 \mu\text{g L}^{-1}$ 、布袋 $65.5 \pm 76.4 \mu\text{g L}^{-1}$ 、北門 $32.4 \pm 5.4 \mu\text{g L}^{-1}$ (表 4-6)，其中，又以布袋 C 池的 $153.7 \pm 5.9 \mu\text{g L}^{-1}$ 、義竹 B 池的 $95.2 \pm 5.1 \mu\text{g L}^{-1}$ 、義竹 C 池的 $166.2 \pm 4.8 \mu\text{g L}^{-1}$ 和學甲 A 池的 $345.2 \pm 12.5 \mu\text{g L}^{-1}$ 較高，均超過 1998 年行政院環境保護署所公布的「二級水產用水」含砷量標準 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ 。

二、虱目魚魚體砷含量

虱目魚魚體的平均砷含量為 $1.05 \pm 1.11 \mu\text{g g}^{-1}$ ，若以鄉鎮為界分，則分別為布袋 $1.38 \pm 1.88 \mu\text{g g}^{-1}$ 、北門 $1.10 \pm 1.10 \mu\text{g g}^{-1}$ 、義竹 $1.00 \pm 1.24 \mu\text{g g}^{-1}$ 、學甲 $0.55 \pm 0.38 \mu\text{g g}^{-1}$ (表 4-7)。其中，又以布袋 C 池的虱目魚砷含量最高 ($3.55 \pm 1.87 \mu\text{g g}^{-1}$)。

三、生物濃縮因子 (BCF)

烏腳病疫區虱目魚體之總砷 BCF 值為 17.84 ± 23.07 (表 4-8)，其中，四鄉鎮虱目魚之 BCF 值分別為：北門 37.25 ± 44.95 、學甲 8.24 ± 5.15 、布袋 16.85 ± 6.29 、義竹 9.02

±4.55。

第三節 風險評估

一、標的致癌風險 (TR)

西南沿海四鄉鎮居民因食用以地下水養殖虱目魚而暴露於無機砷之 TR 平均值為 $1.60 \times 10^{-4} \pm 1.94 \times 10^{-4}$ ，就地區而言，TR 值分別為：義竹 $2.41 \times 10^{-4} \pm 2.56 \times 10^{-4}$ 、布袋 $2.18 \times 10^{-4} \pm 2.98 \times 10^{-4}$ 、北門 $1.21 \times 10^{-4} \pm 1.34 \times 10^{-4}$ 、學甲 $0.61 \times 10^{-4} \pm 0.45 \times 10^{-4}$ (表 4-9、圖 4-2)，均大於可接受風險基準值 1×10^{-6} 。

(一) 布袋區

布袋區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 TR 值皆超出可接受風險基準值 1×10^{-6} ，其平均值為 $2.18 \times 10^{-4} \pm 2.98 \times 10^{-4}$ (表 4-9)，其中，布袋 C 之 TR 值 $5.62 \times 10^{-4} \pm 2.95 \times 10^{-4}$ 最高，布袋 B 之 TR 值 $0.37 \times 10^{-4} \pm 0.05 \times 10^{-4}$ 最低 (圖 4-3)。

(二) 義竹區

義竹區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 TR 值皆超出可接受風險基準值 1×10^{-6} ，其平均值為 $2.41 \times 10^{-4} \pm 2.56 \times 10^{-4}$ (表 4-9)，其中，義竹 B 之 TR 值 $9.87 \times 10^{-4} \pm 0.34 \times 10^{-4}$ 最高，義竹 A 之 TR 值 $0.89 \times 10^{-4} \pm 0.31 \times 10^{-4}$ 最低 (圖 4-3)。

(三) 學甲區

學甲區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 TR 值皆超出可接受風險基準

值 1×10^{-6} ，其平均值為 $61 \times 10^{-5} \pm 4.5 \times 10^{-5}$ (表 4-9)，其中，學甲 C 之 TR 值 $3.52 \times 10^{-5} \pm 1.31 \times 10^{-5}$ 最高，學甲 B 之 TR 值 $3.45 \times 10^{-5} \pm 0.28 \times 10^{-5}$ 最低 (圖 4-3)。

(四) 北門區

北門區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 TR 值皆超出可接受風險基準值 1×10^{-6} ，其平均值為 $1.21 \times 10^{-4} \pm 1.34 \times 10^{-4}$ (表 4-9)，其中，北門 C 之 TR 值 $2.75 \times 10^{-4} \pm 0.64 \times 10^{-4}$ 最高，北門 B 之 TR 值 $0.32 \times 10^{-4} \pm 0.05 \times 10^{-4}$ 最低 (圖 4-3)。

二、非致癌之標的危害商數 (THQ)

西南沿海四鄉鎮居民因食用以地下水養殖虱目魚而暴露於無機砷之 THQ 平均值為 0.83 ± 1.00 ，就地區而言，THQ 值分別為：義竹 1.25 ± 1.33 、布袋 1.13 ± 1.55 、北門 0.63 ± 0.69 、學甲 0.31 ± 0.23 (表 4-10、圖 4-4)，其中，義竹、布袋之 THQ 值超過安全標準值 1；北門、學甲則否。

(一) 布袋區

布袋區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 THQ 平均值為 1.13 ± 1.55 (表 4-10)，其中，布袋 C 之 THQ 值 2.91 ± 1.53 最高，而布袋 B 之 THQ 值 0.19 ± 0.03 最低 (圖 4-5)。

(二) 義竹區

義竹區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 THQ 平均值為 1.25 ± 1.33 (表 4-10)，其中，義竹 C 之 THQ 值 2.78 ± 2.09 最高，而義竹 A 之 THQ 值 0.46 ± 0.16 最低 (圖 4-5)。

(三) 學甲區

學甲區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 THQ 平均值為 0.31 ± 0.23 (表 4-10), 其中, 學甲 A 之 THQ 值 0.58 ± 0.15 最高, 學甲 C 之 THQ 值 0.18 ± 0.07 最低 (圖 4-5)。

(四) 北門區

北門區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 THQ 平均值為 0.63 ± 0.69 (表 4-10), 其中, 北門 C 之 THQ 值 1.43 ± 0.33 最高, 而北門 B 之 THQ 值 0.16 ± 0.02 最低 (圖 4-5)。

三、每日安全攝取量

烏腳病疫區居民食用養殖虱目魚的每日安全攝取量平均值為 $2.88 \pm 1.67 \text{ g d}^{-1}$, 其中, 各四鄉鎮每日安全攝取量分別為: 布袋 $3.41 \pm 2.58 \text{ g d}^{-1}$ 、學甲 $2.95 \pm 1.54 \text{ g d}^{-1}$ 、義竹 $2.38 \pm 1.39 \text{ g d}^{-1}$ 、北門 $2.36 \pm 1.79 \text{ g d}^{-1}$ (表 4-11、圖 4-6)。

(一) 布袋區

布袋區居民食用虱目魚而暴露於無機砷之每日安全攝取量為 $3.41 \pm 2.58 \text{ g d}^{-1}$ (表 4-1), 其中, 布袋 A 之每日安全攝取量 $4.92 \pm 3.96 \text{ g d}^{-1}$ 最高, 而布袋 C 之每日安全攝取量 $0.43 \pm 0.32 \text{ g d}^{-1}$ 最低 (圖 4-7)。

(二) 義竹區

義竹區居民食用虱目魚而暴露於無機砷之每日安全攝取量為 $2.38 \pm 1.39 \text{ g d}^{-1}$ (表 4-11), 其中, 義竹 A 之每日安全攝取量 $3.34 \pm 1.05 \text{ g d}^{-1}$ 最高, 而義竹 C 之

每日安全攝取量 $0.79 \pm 0.62 \text{ g d}^{-1}$ 最低 (圖 4-7)。

(三) 學甲區

學甲區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之每日安全攝取量為 $2.95 \pm 1.54 \text{ g d}^{-1}$ (表 4-11)，其中，學甲 C 之每日安全攝取量 $4.01 \pm 1.83 \text{ g d}^{-1}$ 最高，學甲 A 之每日安全攝取量 $1.17 \pm 0.35 \text{ g d}^{-1}$ 最低 (圖 4-7)。

(四) 北門區

北門區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之每日安全攝取量為 $2.36 \pm 1.79 \text{ g d}^{-1}$ (表 4-11)，其中，北門 B 之每日安全攝取量 $4.03 \pm 0.54 \text{ g d}^{-1}$ 最高，北門 C 每日安全攝取量 $0.47 \pm 0.09 \text{ g d}^{-1}$ 最低 (圖 4-7)。

四、風險基準濃度 (RBC)

烏腳病疫區虱目魚體之總砷 RBC_f 值為 $7.13 \times 10^{-4} \pm 2.38 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$ (表 4-12)，其中，四鄉鎮虱目魚體之總砷 RBC_f 值分別為：北門 $9.05 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$ 、學甲 $9.04 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$ 、布袋 $6.32 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$ 、義竹 $4.14 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$ 。另外，根據虱目魚體內總砷之 BCF 值 (表 4-8)，求出養殖池水之總砷 RBC_w 為 $0.05 \pm 0.34 \mu\text{g L}^{-1}$ (表 4-12)，其中，四鄉鎮養殖池水之總砷 RBC_w 值分別為：北門 $0.02 \mu\text{g L}^{-1}$ 、學甲 $0.11 \mu\text{g L}^{-1}$ 、布袋 $0.04 \mu\text{g L}^{-1}$ 、義竹 $0.05 \mu\text{g L}^{-1}$ 。

第五章 討論

問卷結果顯示，受訪者以男性居多，主要從事養殖業者，教育程度以小學畢業佔大多數，此結果與農委會 1992 年「台灣地區沿近海及養殖漁戶經濟調查報告」所呈顯的現象相同。由於養殖工作需靠勞力完成，所以養殖從業人員多為壯年男性，並且高等教育並不能為他們帶來工作上的助益，所以養殖業者教育水平偏低。受訪者中以閩南籍最多，並且養殖業亦由閩南籍者主導。養殖業者的年齡層以 60~69 歲為主，家中人口數以 2 位最多，顯示養殖從事人員多為中老年人，且以小家庭為主，年輕一代的養殖業者大量流失。

郭(1998)針對台北市吳興市場與莊敬超市的調查報告顯示，婦女食用魚類的平均攝取量為 60.75 g d^{-1} 。農委會於民國 90 年公布之「糧食平衡表」指出，台灣居民每人每天的魚類攝取量平均為 64.23 g d^{-1} 。而本論文求得西南沿海四鄉鎮居民食用養殖虱目魚之平均每日攝取量為 $179.32 \pm 233.51 \text{ g d}^{-1}$ 。由於本論文問卷調查對象以養殖業者為主，業者常因工作之便，將部分捕撈之漁獲自行食用，故攝取量相對較高。另外，施(2001)的研究報告指出，台灣西部沿岸漁民食用魚類之平均攝取量為 461 g d^{-1} ，此數值高過本論文求得之數據，唯其並未指出虱目魚的攝取量，因此無從做更詳盡的比較。

根據丁(1996)對虱目魚養殖的描述指出，在完善條件配合之下，虱目魚一年可養 3 季，每季每池可收獲 13,000~22,000 尾。本論文養殖戶訪談資料顯示，1~12 月皆有養殖者較多，每池放養數量以 10,000~20,000 尾最多。農委會 1992 年台灣地區沿近海及養殖漁戶經濟調查報告指出，虱目魚養殖面積多以 1~3 ha 為主，本論文養殖戶的養殖面積以 0.6 ha 居多，顯示本區虱目魚養殖池佔地面積不大，屬於小規模經營型態。此外，郭(2001)於民國 1998 年 7 月至 1999 年 6 月針對台灣地區 122 戶虱目魚養殖戶進行調查，指出虱目魚養殖多以地下水混加海水作為養殖池水，與本論文調查結果相似，但本論文另有資料顯示，養殖池水的鹽度以 0‰ 為主，其間似有矛盾，經追蹤調查發現，此乃因漁民偶會引用海水混作養殖水，但大多數情況下均直接採用地下水使然。

野外調查發現，養殖池池水的平均砷含量為 $83.3 \pm 97.1 \mu\text{g L}^{-1}$ ，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 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ （環保署, 1998），其中，學甲 A 池的池水砷含量甚至高達 $345.2 \pm 12.5 \mu\text{g L}^{-1}$ ，值得政府相關單位注意。

雖然，北門地區三處虱目魚養殖池均未發現有池水砷含量超過標準的現象，但根據 Lin *et al.* (2001) 的資料顯示，北門一處虱目魚養殖池的池水砷含量有 $102 \pm 59.0 \mu\text{g L}^{-1}$ 的記錄，因此值得持續追蹤。

另外，Liao *et al.* (2003) 的研究發現，烏腳病疫區吳郭魚 (*Oreochromis mossambicus*) 養殖池的池水砷含量為 $33.4 \pm 4.68 \mu\text{g L}^{-1}$ ，未超過安全標準值 $50 \mu\text{g L}^{-1}$ ，也低於本論文虱目魚養殖池之調查結果。

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，本論文於烏腳病疫區採得之虱目魚砷含量 $1.05 \pm 1.11 \mu\text{g g}^{-1}$ 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，本論文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。

根據野外調查結果顯示，虱目魚體內總砷之 BCF 值為 17.84 ± 23.07 ，顯示虱目魚對水域環境中的砷污染質具有累積能力，此數據高於 Lin *et al.* (2001) 的研究報告指出之豆仔魚 BCF 值 13.85，但低於沈 (2001) 和 Liao *et al.* (2003) 指出之吳郭魚 BCF 值 38.37 ± 78.94 和 143，顯示無論虱目魚、豆仔魚或吳郭魚都有累積水域中砷污染質的能力。

西南沿海四鄉鎮居民因食用以地下水養殖虱目魚而暴露於無機砷之 TR 值為 $1.60 \times 10^{-4} \pm 1.94 \times 10^{-4}$ ，大於可接受風險標準值 1×10^{-6} 。其中，布袋區居民食用此類虱目魚的 TR 比標準值高出 218 ± 298 倍；義竹區高出 241 ± 256 倍；學甲區高出 61 ± 45 倍；北門區高出 121 ± 134 倍，顯示烏腳病疫區居民暴露於高致癌率的風險下，其中又以義竹區居民所冒風險最大。

Han *et al.* (1998) 根據食用市售魚類的含砷量及個人最大攝取量 (maximum exposed individual, MEI)，估算出台灣民眾因食用魚類而暴露於無機砷的 TR 值為 6.56×10^{-5} ，郭 (1998) 以相同方式計算出婦女食用台北市吳興市場與莊敬超市魚類的 TR 值為 6×10^{-6} 。另外，韓 (1999) 也指出，台北市民攝食市售魚類的 TR 值為 61.2×10^{-6} 。本論文針對烏腳病疫區養殖池周邊居民調查所得之 TR 值為 $1.60 \times 10^{-4} \pm 1.94 \times 10^{-4}$ ，相較之下，烏腳病疫區居民食用虱目魚比食用市售一般魚類所干冒的風險來得高。施 (2001) 曾指出對台灣西部沿岸漁民因食用魚類而暴露於無機砷污染之 TR 值為 3.14×10^{-4} ，顯示漁民食用一般魚類而暴露於砷污染的致癌風險比養殖池周邊居民食用虱目魚來得高。

烏腳病疫區四鄉鎮居民因食用以地下水養殖虱目魚而暴露於無機砷之 THQ 值為 0.83 ± 1.00 ，未超過安全標準值 1。其中，義竹和布袋居民食用此類虱目魚之 THQ 值分別為 1.25 ± 1.33 及 1.13 ± 1.55 ，表示此二地區居民會因食用含砷虱目魚而有罹患非致癌性疾病的風險。學甲及北門則均未超過安全標準值 1，換言之，該地區居民食用含砷虱目魚不致引發非癌症疾病。

Han *et al.* (1998) 依據台灣民眾食用市售魚類所估算出的 THQ 值為 0.34，郭 (1998) 則指出婦女食用吳興市場、莊敬超市販售魚類的 THQ 值為 0.03。相較之下，烏腳病疫區居民食用虱目魚 (THQ = 0.83 ± 1.00) 比食用市售一般魚類導致砷污染而罹患非致癌疾病所干冒的風險來得高。此外，另舉本論文結果與台灣西部沿岸漁民食用魚類而暴露於無機砷之 THQ 值 44.30 (施, 2001) 作比較，顯示漁民因食用一般魚類導致砷污染而引發非癌症疾病

的風險比養殖池周邊居民食用虱目魚來得高。

西南沿海四鄉鎮居民食用養殖虱目魚之平均每日攝取量為 $179.32 \pm 233.51 \text{ g d}^{-1}$ ，高過因食用此魚類而暴露於無機砷之每日安全攝取量 ($2.88 \pm 1.67 \text{ g d}^{-1}$) 達 50 倍以上。另外，本論文所計算出之每日安全攝取量也遠低於農委會 2001 年公佈之台灣民眾實際魚類每日攝取量 (64.23 g d^{-1})。

吳興市場與莊敬超市銷售魚類的砷含量為 $0.055 \mu\text{g g}^{-1}$ (郭, 1998)，依此估計出該區婦女食用這些魚類的每日安全攝取量為 19.11 g d^{-1} ，另外，台灣西部沿岸漁民長期食用魚類而暴露無機砷之每日安全攝取量為 14.75 g d^{-1} (施, 2001)，上述二者結果遠高於本論文對烏腳病疫區民眾食用養殖虱目魚而暴露無機砷之每日安全攝取量。因此，烏腳病疫區居民對地下水養殖虱目魚的攝取量明顯過高，政府相關單位實應限制民眾食用這些虱目魚的攝取量，以減少砷污染所造成的危害。

本論文結果顯示，西南沿海四鄉鎮養殖虱目魚的總砷含量 ($1.05 \pm 1.11 \mu\text{g g}^{-1}$) 及養殖池水含砷量 ($83.3 \pm 97.1 \mu\text{g L}^{-1}$) 分別皆大於 RBC_f 標準值 ($7.13 \times 10^{-4} \pm 2.38 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$) 與 RBC_w 標準值 ($0.05 \pm 0.34 \mu\text{g L}^{-1}$) 一千倍以上。因此，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含量進行嚴格的管制。

根據郭(1998)的研究結果指出，一般民眾食用吳興市場與莊敬超市魚類的總砷 RBC_f 值為 $0.009 \mu\text{g g}^{-1}$ ，高於本論文所求得之虱目魚體 RBC_f 值 ($7.13 \times 10^{-4} \pm 2.38 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$)，亦顯示烏腳病疫區居民食用虱目魚之攝取量過高。本論文求出之虱目魚與養殖池水總砷的 RBC_f 、 RBC_w ，應可作為政府當局訂定虱目魚魚體及養殖池水總砷污染質容許濃度之參考。

整體而言，本論文問卷調查受訪者中以養殖業者居多，因工作之便而食用虱目魚之每日攝取量偏高，而該地區地下水養殖虱目魚體內含有高量的砷，因此，居民食用虱目魚而暴露於無機砷之 TR 及 THQ 值也明顯較高。另外，根據此條件估算出的每日安全攝取量及 RBC

值亦顯示，烏腳病疫區居民會因食用以地下水養殖虱目魚而有暴露於無機砷之危害風險，其中又以致癌風險較高。在西南沿海四鄉鎮中，義竹地區居民食用此類虱目魚的 TR 及 THQ 值最高，而且每日安全攝取量及魚體總砷的 RBC_f 值皆最低，顯示此地區居民因食用以地下水養殖虱目魚而暴露於無機砷所干冒的風險為最高。其主因為義竹區居民食用養殖虱目魚之每日攝取量在四鄉鎮中最高，而且該養殖池水砷含量和虱目魚含砷量皆為次高，因此有較高的危害風險。總之，台灣西南沿海烏腳病疫區居民應儘量減少食用以含砷地下水養殖之虱目魚，以避免因長期暴露於砷污染質而造成對身體的危害，且政府相關單位必須針對該區虱目魚與養殖池水的砷含量進行嚴格的管制。

另外，本論文在分析風險評估過程中，可能會遇到不確定性的問題，包括數據本身的變異性 (variability)，以及採用之模式或參數的不確性 (uncertainty)。所謂變異性是指個體行為模式、時間、空間或生理學上的差異，所造成的變異；不確性則是假設、測量或推算所造成的錯差 (Cullen, 1995)，例如：以動物毒性試驗所求得的數據外插估算人體致癌風險之不確性、暴露劑量—反應模式使用之不確性、暴露計算之參考數值不確性等因素均是。

本論文在虱目魚攝取量、虱目魚砷含量的計算上存有變異性。例如計算虱目魚攝取量時，本論文以全戶攝取量及人口數據推估平均攝取量，但年齡層及性別的不同，每個人的攝取量會有所差異，因而產生變異性。另外，由於國內有關砷污染風險評估做的研究並不多，相關模式、指標及參數取得不易，並且缺乏具公信力的標準和資料，因此本論文引用不少美國官方的參考數據，難免會和國內的本土實據有所差異。而 EPA 在計算化學物質致癌能力時，均採用動物試驗數據外插推估對人體的致癌效應，因此存有不確性。

因此，為了降低風險評估的變異性和不確性，最好能提高資料的完整性和模式的適用性。以本論文為例，在進行現場調查訪問及採樣測量時，必須對養殖水源、虱目魚大小、氣候因素及個人攝取量有更詳盡的調查和記錄，或者更正確的假設，以求反映實況，提高風險評估的準確性。另外在建立模式時，要注意考慮參數與假設的不確性，並儘量多引用本土數

據。

雖然風險評估不見得能真確地指出風險性，但它卻可作為推估毒性污染物質的危害效應。另外，藉由風險預估結果，也可供作政府建立法規與標準的依據，以減少居民的受害程度。最後，期望政府相關單位能制定出更符合本土性之健康風險評估準則和資料庫，以其增加風險評估的正確性。

第陸章 結論與建議

第一節 結論

本論文於民國 91 年 3 月至 92 年 1 月期間針對台灣西南沿海烏腳病疫區四鄉鎮進行地下水養殖虱目魚狀況問卷調查，調查回收之有效問卷共計 141 份，受訪者以男性居多，主要從事養殖業，教育程度以小學畢業佔大部份。其中，養殖業者的年齡層以 60~69 歲為主，家中人口數以 2 位最多，顯示養殖從事人員多為中老年人，且以小家庭為主，年輕一代的養殖業者大量流失。食用虱目魚方面調查顯示，魚隻來源以市場採購居多，養殖虱目魚之平均每日攝取量為 $179.32 \pm 233.51 \text{ g d}^{-1}$ ，其中，義竹的每日攝取量最高 ($274.58 \pm 184.40 \text{ g d}^{-1}$)。由於受訪對象以養殖業者為主，業者常因工作之便，而將部分捕撈之魚獲自行食用，故攝取量就相對較高。

虱目魚養殖狀況而言，1~12 月皆有養殖者較多，虱目魚養殖多以地下水混加海水作為養殖池水，漁民偶會引用海水混作養殖，大多數情況下均直接採用地下水作為養殖池水。養殖面積以 0.6 ha 居多，其中，每池放養數量以 10,000~20,000 尾最多，顯示本區虱目魚養殖業屬於小規模經營型態。

野外調查發現，四鄉鎮養殖池池水的平均砷含量為 $83.3 \pm 97.1 \mu\text{g L}^{-1}$ ，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 ($50 \mu\text{g L}^{-1}$)，其中，學甲地區養殖池水砷含量最高 ($135.4 \pm 181.9 \mu\text{g L}^{-1}$)，因此，該地區養殖池水值得政府相關單位注意。

烏腳病疫區的虱目魚體的平均砷含量為 $1.05 \pm 1.11 \mu\text{g g}^{-1}$ ，其中，布袋地區的最高 ($1.38 \pm 1.88 \mu\text{g g}^{-1}$)，學甲地區的最低 ($0.55 \pm 0.38 \mu\text{g g}^{-1}$)。根據 EPA 所公布的標準，食用魚隻的含砷量必須低於 $0.0021 \mu\text{g g}^{-1}$ ，因此，本論文所調查的虱目魚全數不合格。

西南沿海四鄉鎮居民因食用以地下水養殖虱目魚而暴露於無機砷之 TR 值為 1.60×10^{-4}

$\pm 1.94 \times 10^{-4}$ ，大於可接受風險標準值 (1×10^{-6})。其中，布袋區居民食用此種魚類的 TR 比標準值高出 218 ± 298 倍；義竹區高出 241 ± 256 倍；學甲區高出 61 ± 45 倍；北門區高出 121 ± 134 倍，顯示烏腳病疫區居民暴露於高致癌的風險機率，其中又以義竹地區居民所冒的危害風險最大。

就 THQ 而言，烏腳病疫區四鄉鎮居民因食用以地下水養殖虱目魚而暴露於無機砷之 THQ 值為 0.83 ± 1.00 ，未超過安全標準值 1。其中，義竹和布袋居民食用此類虱目魚之 THQ 值分別為 1.25 ± 1.33 及 1.13 ± 1.55 ，表示此二地區居民會因食用含砷虱目魚而有罹患非致癌性疾病的風險。學甲及北門則均未超過安全標準值 1，換言之，該地區居民食用含砷虱目魚不致引發非癌症疾病。

除此之外，西南沿海四鄉鎮居民食用養殖虱目魚之平均每日攝取量為 $179.32 \pm 233.51 \text{ g d}^{-1}$ ，高過因食用此魚類而暴露於無機砷之每日安全攝取量 ($2.88 \pm 1.67 \text{ g d}^{-1}$) 達 50 倍以上。因此，該地區居民應儘量減少養殖虱目魚之攝取量，以免攝入過量的砷而造成對身體的危害。

西南沿海四鄉鎮養殖虱目魚的總砷含量 ($1.05 \pm 1.11 \mu\text{g g}^{-1}$) 及養殖池水含砷量 ($83.3 \pm 97.1 \mu\text{g L}^{-1}$) 分別皆大於 RBC_f 標準值 ($7.13 \times 10^{-4} \pm 2.38 \times 10^{-4} \mu\text{g g}^{-1}$) 與 RBC_w 標準值 ($0.05 \pm 0.34 \mu\text{g L}^{-1}$) 一千倍以上。因此，烏腳病疫區虱目魚與養殖池水砷含量的嚴格管制，實為政府相關單位不可忽視的問題。

烏腳病疫區居民會因食用以地下水養殖虱目魚而有暴露於無機砷之危害風險，其中又以致癌風險較高。在西南沿海四鄉鎮中，義竹地區居民食用此類虱目魚的 TR 及 THQ 值最高，而且每日安全攝取量及魚體總砷的 RBC_f 值皆最低，顯示此地區居民因食用以地下水養殖虱目魚而暴露於無機砷所干冒的風險為最高。

第二節 建議

1. 本論文僅針對烏腳病疫區虱目魚砷污染危害進行調查，日後應於其他縣市進行調查，以作為相互評比之對照。
2. 本論文以受訪者之食用頻率推算全戶之食用頻率，日後應考慮個人之間的差異，並增加受訪者的數目，以增加暴露量估計的準確度。
3. 經由本論文結果得知，某些地區虱目魚砷含量雖高，但每日攝取量較少，所以相乘後並未超過標準值；反之，有些地區虱目魚砷含量雖偏低，但因每日攝取量卻較高，其相乘結果反而超過標準。因此，建議食用者不但要注意虱目魚中之砷含量，也須同時注意每日攝取量，以避免因長期暴露於砷污染質而造成對身體的危害。
4. 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，以便進行更深入的探討。
5. 由於國內相關砷污染的風險評估做的並不多，相關指標及參數的取得不易，並且缺乏具公信力的標準和資料，因此本論文引用不少美國官方的參考數據，難免會和國內的本土實據有所差異，因此建議政府相關單位應制定出更符合本土性之健康風險評估準則，以作為風險評估指標及模式之依據。
6. 有鑑於國內尚未擬訂食用虱目魚每日安全攝取量標準、 RBC_f 及 RBC_w 標準值，故透過本論文之估算，供政府相關單位可藉以訂定出西南沿海四鄉鎮居民食用地下水養殖虱目魚之每日安全攝取量、 RBC_f 及 RBC_w 標準值，以維護國民健康。

表 2-1 砷污染來源

分類	來源	參考文獻
自然界	暴露在含砷礦石與地下水，礦石為砷 硫鐵礦、毒砂、雄黃和雌黃，若將這 些礦石與空氣隔絕加熱，就可製得砷。	Guha Mazumder <i>et al.</i> (1988)
工業	半導體產業（砷化鎵）、合金工業（活 化劑）、玻璃製造業（玻璃除泡劑）。	WHO (1981); 邱等 (1994); Sheehy <i>et al.</i> (1993)
農業	農藥、除草劑、滅鼠藥、生長促進劑、 木材業（木材防腐劑）。	WHO (1981); 邱等 (1994); Sheehy <i>et al.</i> (1993)
醫藥	牛皮癬治療劑（法洛氏液—Fowler's solution）、中藥（雄黃）。	WHO (1981); 邱等 (1994); Sheehy <i>et al.</i> (1993)

表 2-2 地下水砷污染狀況及危害人口

國家或地區	危害人口	地下水含砷量 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	砷的管制標準 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	發生 時間	參考文獻
阿根廷	2,000,000	100~1,000	50	1981	Sancha and Castro (2001)
孟加拉	50,000,000	< 1~4,700	50	1980s	Ahmad (2001)
玻利維亞	20,000		50	1997	Sancha and Castro (2001)
智利	437,000	900~1,040	50	1971	Sancha and Castro (2001)
中國(內蒙古)	600,000	1~2,400	50	1990s	Guo <i>et al.</i> (2001)
中國(山西省)	100,000	1~8,000	50	1980s	Wang (1997)
匈牙利	220,000	10~176	10	1974	Sancha and Castro (2001)
印度(西孟加拉省)	1,000,000	< 10~3,900	50	1980s	Chakraborti <i>et al.</i> (2001)
墨西哥	400,000	10~4,100	50	1983	Sancha and Castro (2001)
尼泊爾	不明	> 456	50	2002	Tandukar and Neku(2002)
秘魯	250,000	500	50	1984	Sancha and Castro (2001)
羅馬尼亞	36,000	10~176	10	2001	Gurzau and Gurzau(2001)
台灣	200,000	10~1,820	10	1950s	Tseng (1977)
泰國 (Ronpibool)	1,000	1~5,000	50	1980s	Choprapwon and Porapakkham (2001)
美國	不明	10~48,000	10	1988	Welch <i>et al.</i> (1988)
越南	1,000,000	1~3,050	10	2001	Berg <i>et al.</i> (2001)

資料來源：Ng *et al.* (2003)

表 2-3 水產生物體內的總砷含量

水產生物	總砷含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)	參考文獻
比目魚 (sole)	7.6~10.2	Luten <i>et al.</i> (1983)
	24.84	Alberti <i>et al.</i> (1995)
檸檬比目魚 (lemon sole)	24.9~31.4	Luten <i>et al.</i> (1983)
鱈魚 (flounder)	0.45~6.8	Luten <i>et al.</i> (1983)
	36.89	Alberti <i>et al.</i> (1995)
孫鱈 (dab)	0.4~12.5	Luten <i>et al.</i> (1983)
鱈魚 (cod)	6.56	Velez <i>et al.</i> (1996)
鮭魚 (salmon)	0.23	Velez <i>et al.</i> (1997)
海鱈 (hake)	32	Suner <i>et al.</i> (2002)
蟹 (crab)	2.15	Velez <i>et al.</i> (1997)
蝦 (shrimp)	11.5~13	Luten <i>et al.</i> (1983)
	2.4	Velez <i>et al.</i> (1996)
螺類 (gastropod)	74.4	Goessler <i>et al.</i> (1997)
貽貝 (mussel)	8.47	Alberti <i>et al.</i> (1995)
	11.5	Suner <i>et al.</i> (2002)
鳥蛤 (cockle)	5.66	Alberti <i>et al.</i> (1995)
蛤蜊 (clam)	2.06	Velez <i>et al.</i> (1997)
	24.2	Suner <i>et al.</i> (2002)
水母 (jellyfish)	0.011~0.664	Hanaoka <i>et al.</i> (2001)
海藻 (seaweed)	27.2	Goessler <i>et al.</i> (1997)

資料來源：姚 (2002)

表 2-4 砷對人體健康的影響

暴露劑量 ($\mu\text{g g}^{-1} \text{d}^{-1}$)	影響	參考文獻
1~2.6 (急性暴露)	死亡 (70 kg 成人)	Vallee <i>et al.</i> (1968)
0.5 (短期暴露)	血液、神經、腸胃系統嚴重病變，甚至死亡。	ATSDR (1993)
0.05~0.3 (短期暴露)	大多數人會有血液、神經、腸胃系統嚴重病變，少數人症狀較輕微。	ATSDR (1993)
0.01~0.1 (慢性暴露)	神經、皮膚、肝臟等病變。	ATSDR (1993)
0.011 (慢性暴露)	增加皮膚癌與血管病變 (如：烏腳病) 發生率，LOAEL ¹ 。	Tseng (1968, 1977)
0.0008 (慢性暴露)	由空氣、食物、水等綜合途徑攝得砷之背景暴露值。	ATSDR (1993)
0.0005 (慢性暴露)	未觀察到任何病變發生，NOAEL ² 。	Tseng (1968, 1977)
0.00017~0.00036	對身體有益。	Uthus (1992) ; Nielsen (1991)

註：¹LOAEL (lowest-observed-adverse effect level) — 最低可觀察到健康危害效應之暴露劑量。

²NOAEL (no-observed-adverse effect level) — 未觀察到健康危害效應之暴露劑量。

資料來源：黃等 (2001)

表 2-5 砷中毒所產生的癌症病變

發生地區	癌症名稱	參考文獻
台灣	腎臟癌、膀胱癌、 皮膚癌、肺癌、肝 癌及前列腺癌	Wu <i>et al.</i> (1989); Chen <i>et al.</i> (1992); Hsueh <i>et al.</i> (1995); Tseng (1997); 吳 (1999)
日本	皮膚癌、膀胱癌	Tsuda <i>et al.</i> (1990); Tsuda <i>et al.</i> (1995)
中國 (新疆)	皮膚癌	Huang <i>et al.</i> (1985)
中國 (內蒙古)	皮膚癌	Luo <i>et al.</i> (1997)
印度 (西孟加拉省)	皮膚癌	Das <i>et al.</i> (1995); WHO (2000)
智利	皮膚癌、膀胱癌	Smith <i>et al.</i> (1998)
阿根廷	皮膚癌、膀胱癌、 肺癌	Hopenhayn-Rich <i>et al.</i> (1996)
墨西哥	皮膚癌	Cebrian <i>et al.</i> (1983)

表 2-6 烏腳病疫區居民罹患癌症之每十萬人口年齡標準化死亡率 (SMR = 100)

癌症部位 (ICD 碼)	性別	烏腳病疫地區(飲用地下水砷含量 $\mu\text{g L}^{-1}$)			台灣地區
		(≥ 0.60)	($0.30 - 0.59$)	(< 0.30)	
各類癌症 (140~208)	男	434.7	258.9	154.0	128.1
	女	369.4	182.6	113.3	85.5
肝癌 (150)	男	68.8	42.7	32.6	28.0
	女	31.8	18.8	14.2	8.9
肺癌 (162)	男	87.9	64.7	35.1	19.4
	女	83.8	40.9	26.5	9.5
皮膚癌 (173)	男	28.0	10.7	1.6	0.8
	女	15.1	10.0	1.6	0.8
前列腺癌 (185)	男	8.4	5.8	0.5	1.5
膀胱癌 (188)	男	89.1	37.8	15.7	3.1
	女	91.5	37.1	16.7	1.4
腎癌 (189)	男	21.6	13.1	5.4	1.1
	女	33.3	12.5	3.6	0.9

資料來源：鄭 (1995)

表 2-7 烏腳病疫區四鄉鎮井水砷含量 ($\mu\text{g L}^{-1}$)

水公司義竹營運所		布袋鎮好美國小		北門鄉北門國小		學甲鎮宅港國小	
採樣日期	砷含量	採樣日期	砷含量	採樣日期	砷含量	採樣日期	砷含量
92/02/24	19.6*	92/02/24	34.4*	92/02/28	20.7*	92/02/28	1.1
91/11/19	16.3*	91/11/19	39.3*	91/11/24	26.3*	91/11/24	4.9
91/08/19	19.1*	91/08/19	40.4*	91/08/21	26.6*	91/08/21	2.4
91/05/13	12.6*	91/05/13	30.4*	91/05/15	2.6	91/05/15	0.5
91/02/26	20.9*	91/02/26	51.5**	91/03/01	30.9*	91/03/01	4.1
平均值	17.7 ± 3.3		39.2 ± 8.0		21.4 ± 11.1		2.6 ± 1.9

註：*： $> 10 \mu\text{g L}^{-1}$ ；**： $> 50 \mu\text{g L}^{-1}$

資料來源：環保署（2003）

表 2-8 各國砷含量的管制標準

國家	砷含量標準	標的物	參考文獻
台灣	10 $\mu\text{g L}^{-1}$	飲用水 (2000 年 12 月 1 日制定)	環保署 (2002c)
美國	10 $\mu\text{g L}^{-1}$	飲用水 (2001 年 1 月 20 日制定)	EPA (2001)
澳洲	7 $\mu\text{g L}^{-1}$	飲用水	NHMRC (1996)
	1 $\mu\text{g g}^{-1}$	水產品	Anon (1983)
香港	1 $\mu\text{g g}^{-1}$	水產品	Anon (1983)
紐西蘭	2 $\mu\text{g g}^{-1}$	水產品	Anon (1983)
加拿大	3.5 $\mu\text{g g}^{-1}$	水產品	Chan <i>et al.</i> (1999)
新加坡	5 $\mu\text{g g}^{-1}$	藥物	柯 (1998)

表 2-9 各養殖魚類的養殖水源使用情形

養殖 類別	樣本 戶數	抽取地下水		海水		河川水庫水		淡海水混用		地下水及河川水庫水	
		戶數	比例	戶數	比例	戶數	比例	戶數	比例	戶數	比例
草蝦	63	6	9.5%	36	57.1%	1	1.6%	18	28.6%	2	3.2%
								(12)			
文蛤	42	-	--	28	66.7%	-	--	14	33.3%	-	--
								(14)			
虱目魚	56	13	23.2%	12	21.4%	14	25.0%	8	14.3%	9	16.1%
								(7)			
牡蠣	50	-	--	50	100%	-	--	-	--	-	--
九孔	40	-	--	40	100%	-	--	-	--	-	--
石斑	38	4	10.5%	33	86.8%	-	--	1	2.6%	-	--
								(1)			
鰻魚	55	39	70.9%	3	5.5%	5	9.1%	2	3.6%	6	10.9%
								(2)			
斑節蝦	38	-	--	16	42.1%	-	--	22	57.9%	-	--
								(17)			
鯛類	33	3	9.1%	23	69.7%	1	3.0%	5	15.2%	1	3.0%
								(4)			

註：() 代表淡海水混用中抽取地下水戶數

資料來源：農委會 (1994)

表 2-10 烏腳病疫區養殖池水砷濃度

養殖池	養殖魚類	水體中砷濃度 ($\mu\text{g L}^{-1}$)
布袋-1	吳郭魚	30.6±5.0*
布袋-2	鰻魚	83.4±48.8**
布袋-3	豆仔魚	169.7±68.8**
義竹-1	豆仔魚；虱目魚	36.7±12.1*
義竹-2	豆仔魚；虱目魚	13.0±6.8*
北門-1	虱目魚	102.1±59.0**
學甲-1	吳郭魚；虱目魚	79.2±18.1**
學甲-2	吳郭魚；虱目魚	47.0±9.9*
平均值		79.9±60.2**

註：*： $> 10 \mu\text{g L}^{-1}$ ；**： $> 50 \mu\text{g L}^{-1}$

資料來源：Lin *et al.* (2001)

表 2-11 1999~2000 年於烏腳病疫區四次野外調查之養殖池水及魚體砷含量

採樣地點	魚類	水樣 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	魚體 ($\mu\text{g g}^{-1}$)
布袋-3	豆仔魚	$133.5 \pm 84.0^{**}$	23.5 ± 14.2
義竹-1	吳郭魚	$25.0 \pm 1.4^*$	9.4 ± 3.0
義竹-3	吳郭魚	$93.7 \pm 10.3^{**}$	58.3 ± 18.2
義竹-1	吳郭魚	$209.7 \pm 18.8^{**}$	91.7 ± 89.6
義竹-3	吳郭魚	$251.7 \pm 12.2^{**}$	58.3 ± 27.9
北巷子-2	吳郭魚	$97.5 \pm 13.4^{**}$	112.6 ± 10.4
北巷子-3	吳郭魚	$41.4 \pm 2.2^*$	108.6 ± 42.6
義竹-3	吳郭魚	8.1 ± 6.8	94.7 ± 89.1
新吉庄	豆仔魚	$26.3 \pm 16.4^*$	128.4 ± 99.0
學甲-0	吳郭魚	ND	28.1 ± 11.7
學甲-1	吳郭魚	$17.6 \pm 3.1^*$	100.0 ± 35.3
學甲-2	吳郭魚	$18.0 \pm 0.6^*$	151.1 ± 81.9

註：*： $> 10 \mu\text{g L}^{-1}$ ；**： $> 50 \mu\text{g L}^{-1}$

資料來源：Liao *et al.* (2003)

表 2-12 美國環保署的致癌物分類及標準

類別	分類標準
A	<p>Human Carcinogens：人體致癌物</p> <p>在流行病學上具有足夠的證據顯示該化學物質有致癌性，暴露在此化學物質下與癌症發生率有因果相關。</p>
B	<p>Probable Human Carcinogens B1：很有可能之人體致癌物 B1</p> <p>該化學物質經動物試驗證實有致癌效應，但流行病學上引發人體癌症的證據卻有限。</p> <p>Probable Human Carcinogens B2：很有可能之人體致癌物 B2</p> <p>該化學物質經動物試驗證實有致癌效應，但缺乏導致人體癌症的流行病學資料。</p>
C	<p>Possible Human Carcinogens：可能之人體致癌物</p> <p>此化學物質經動物試驗證實會引起癌症的資料有限，且沒有引起人體癌症的流行病學資料。</p>
D	<p>Not Classifiable as to Human Carcinogens：無證據顯示為人體致癌物</p> <p>在人體流行病學資料或動物實驗中均無充分證據顯示該化學物質具有致癌性。</p>
E	<p>Evidence of Noncarcinogenicity for Humans：確證為非人體致癌物</p> <p>此化學物質經至少在兩種以上動物實驗，並在人體流行病學資料上都沒有任何引起癌症的紀錄。</p>

資料來源：EPA (1986)

表 4-1 問卷調查受訪者 (141 人) 之基本資料

項目	人數	百分比 (%)
性別		
男性	75	53.19
女性	66	46.81
籍貫		
台閩	136	96.45
客家	0	0
原住民	1	1.42
外省籍	2	2.13
其他	0	0
年齡		
< 20 歲	2	1.42
20~29 歲	3	2.13
30~39 歲	9	6.38
40~49 歲	35	24.82
50~59 歲	29	20.57
60~69 歲	26	18.44
70~79 歲	25	17.73
> 80 歲	12	8.51

表 4-1 問卷調查受訪者 (141 人) 之基本資料 (續)

項目	人數	百分比 (%)
居住區域		
布袋鎮	30	21.28
義竹鎮	30	21.28
北門鄉	39	27.66
學甲鎮	38	26.95
其他	4	2.84
教育程度		
未受正規教育	36	25.53
小學	55	39.01
國中	26	18.44
高(中)職	19	13.48
專科	3	2.13
大學	2	1.42
大學以上	0	0

表 4-1 問卷調查受訪者 (141 人) 之基本資料 (續)

項目	人數	百分比 (%)
家中人口數		
1 人	16	11.35
2 人	18	12.77
3 人	11	7.80
4 人	26	18.44
5 人	25	17.73
6 人	16	11.35
7 人	11	7.80
8 人	6	4.26
9 人	7	4.96
> 10 人	5	3.55
職業		
養殖	56	39.72
軍	2	1.42
公	1	0.71
教	2	1.42
醫	2	1.42
工	2	1.42
農	18	12.77
學生	3	2.13
服務業	35	24.82
家管	5	3.55
其他	15	10.64

表 4-2 問卷調查養殖業者 (56 人) 之基本資料

項目	人數	百分比 (%)
性別		
男性	24	42.86
女性	32	57.14
居住區域		
布袋鎮	14	25.00
義竹鎮	9	16.07
北門鄉	14	25.00
學甲鎮	19	33.93
其他	0	0
年齡		
< 20 歲	0	0
20~29 歲	1	1.79
30~39 歲	1	1.79
40~49 歲	12	21.43
50~59 歲	9	16.07
60~69 歲	14	25.00
70~79 歲	11	19.64
> 80 歲	8	14.29

表 4-2 問卷調查養殖業者 (56 人) 之基本資料 (續)

項目	人數	百分比 (%)
教育程度		
未受正規教育	17	30.36
小學	23	41.07
國中	8	14.29
高(中)職	6	10.71
專科	1	1.79
大學	1	1.79
大學以上	0	0
家中人口數		
1 人	3	5.36
2 人	11	19.64
3 人	7	12.50
4 人	4	7.14
5 人	7	12.50
6 人	6	10.71
7 人	5	8.93
8 人	2	3.57
9 人	4	7.14
> 10 人	7	12.50

表 4-3 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
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 4-4 問卷調查受訪者食用養殖虱目魚之每日攝取量 (g d⁻¹)

地區	每日攝取量 (Mean ± SE)
布袋	179.81 ± 184.40
義竹	274.58 ± 318.14
學甲	125.59 ± 159.61
北門	125.54 ± 240.84
平均值	179.32 ± 233.51

表 4-5 問卷調查養殖業者 (56 人) 之虱目魚養殖狀況

項目	人數	百分比 (%)
養殖時節		
1~12 月	19	33.93
1~10 月	5	8.93
3~4 月	14	25.00
4~10 月	9	16.07
4~5 月	3	5.36
5~2 月	4	7.14
3~12 月	2	3.57
鹽度 (‰)		
0	38	67.86
10	5	8.93
20	3	5.36
25	2	3.57
> 35	8	14.29
養殖水源		
地下水 + 海水	39	69.64
海水	3	5.36
地下水	9	16.07
地下水 + 雨水	4	7.14
河水	1	1.79

表 4-5 問卷調查養殖業者 (56 人) 之虱目魚養殖狀況 (續)

項目	人數	百分比 (%)
養殖面積 (ha)		
0.1	7	12.50
0.2	11	19.64
0.4	9	16.07
0.6	12	21.43
0.8	11	19.64
> 1	6	10.71
放養數量 (尾)		
< 1 萬	4	7.14
1 萬	17	30.36
1.5 萬	11	19.64
2 萬	18	32.14
4 萬	4	7.14
> 5 萬	2	3.57
養殖問題		
價格過低	20	35.71
氣候不佳	16	28.57
水質污染	14	25.00
存活率低	6	10.71
其他	0	0

表 4-6 虱目魚養殖池水之總砷含量 ($\mu\text{g L}^{-1}$)

地區	養殖池	砷含量 (Mean \pm SE)	平均值 (Mean \pm SE)
布袋	布袋 A	20.3 \pm 1.8*	65.5 \pm 76.4**
	布袋 B	22.5 \pm 2.5*	
	布袋 C	153.7 \pm 5.9**	
義竹	義竹 A	39.0 \pm 1.3*	100.1 \pm 63.8**
	義竹 B	95.2 \pm 5.1**	
	義竹 C	166.2 \pm 4.8**	
學甲	學甲 A	345.2 \pm 12.5**	135.4 \pm 181.9**
	學甲 B	23.6 \pm 1.7*	
	學甲 C	37.3 \pm 0.5*	
北門	北門 A	38.3 \pm 2.8*	32.4 \pm 5.4*
	北門 B	30.8 \pm 0.5*	
	北門 C	27.9 \pm 0.5*	
嘉義地區			82.8 \pm 65.7**
台南地區			83.9 \pm 128.2**
嘉南地區			83.3 \pm 97.1**

註：*： $> 10 \mu\text{g L}^{-1}$ ；**： $> 50 \mu\text{g L}^{-1}$

表 4-7 養殖虱目魚之總砷含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)

地區	養殖池	砷含量 (Mean \pm SE)	平均值 (Mean \pm SE)
布袋	布袋 A	0.34 \pm 0.23	1.38 \pm 1.88
	布袋 B	0.24 \pm 0.03	
	布袋 C	3.55 \pm 1.87	
義竹	義竹 A	0.37 \pm 0.13	1.00 \pm 1.24
	義竹 B	0.41 \pm 0.14	
	義竹 C	2.22 \pm 1.67	
學甲	學甲 A	1.02 \pm 0.26	0.55 \pm 0.38
	學甲 B	0.31 \pm 0.03	
	學甲 C	0.32 \pm 0.12	
北門	北門 A	0.53 \pm 0.18	1.10 \pm 1.10
	北門 B	0.29 \pm 0.04	
	北門 C	2.49 \pm 1.43	
嘉義地區			1.19 \pm 1.38
台南地區			0.82 \pm 0.86
嘉南地區			1.05 \pm 1.11

表 4-8 虱目魚養殖池水及魚體總砷含量 (Mean ± SE) 之 BCF 值

採樣地點	水樣 ($\mu\text{g L}^{-1}$)	魚體 ($\mu\text{g g}^{-1}$)	BCF	平均值
布袋 A	20.3 ± 1.8*	0.34 ± 0.23	16.96	16.85 ± 6.29
布袋 B	22.5 ± 2.5*	0.24 ± 0.03	10.51	
布袋 C	153.7 ± 5.9**	3.55 ± 1.87	23.09	
義竹 A	39.0 ± 1.3*	0.37 ± 0.13	9.42	9.02 ± 4.55
義竹 B	95.2 ± 5.1**	0.41 ± 0.14	4.29	
義竹 C	166.2 ± 4.8**	2.22 ± 1.67	13.35	
學甲 A	345.2 ± 12.5**	1.02 ± 0.26	2.95	8.24 ± 5.15
學甲 B	23.6 ± 1.7*	0.31 ± 0.03	13.22	
學甲 C	37.3 ± 0.5*	0.32 ± 0.12	8.55	
北門 A	38.3 ± 2.8*	0.53 ± 0.18	13.38	37.25 ± 44.95
北門 B	30.8 ± 0.5*	0.29 ± 0.04	9.26	
北門 C	27.9 ± 0.5*	2.49 ± 1.43	89.09	
嘉南地區				17.84 ± 23.07

註：* : > 10 $\mu\text{g L}^{-1}$; ** : > 50 $\mu\text{g L}^{-1}$

表 4-9 食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之標的致癌風險 (TR)

地區	養殖池	TR (Mean ± SE)	平均值 (Mean ± SE)
布袋	布袋 A	$5.46 \times 10^{-5} \pm 3.60 \times 10^{-5}*$	$2.18 \times 10^{-4} \pm 2.98 \times 10^{-4}*$
	布袋 B	$0.37 \times 10^{-4} \pm 0.05 \times 10^{-4}*$	
	布袋 C	$5.62 \times 10^{-4} \pm 2.95 \times 10^{-4}*$	
義竹	義竹 A	$0.89 \times 10^{-4} \pm 0.31 \times 10^{-4}*$	$2.41 \times 10^{-4} \pm 2.56 \times 10^{-4}*$
	義竹 B	$9.87 \times 10^{-4} \pm 0.34 \times 10^{-4}*$	
	義竹 C	$5.37 \times 10^{-4} \pm 4.03 \times 10^{-4}*$	
學甲	學甲 A	$1.12 \times 10^{-4} \pm 0.28 \times 10^{-4}*$	$0.61 \times 10^{-4} \pm 0.45 \times 10^{-4}*$
	學甲 B	$3.45 \times 10^{-5} \pm 0.28 \times 10^{-5}*$	
	學甲 C	$3.52 \times 10^{-5} \pm 1.31 \times 10^{-5}*$	
北門	北門 A	$5.67 \times 10^{-5} \pm 1.95 \times 10^{-5}*$	$1.21 \times 10^{-4} \pm 1.34 \times 10^{-4}*$
	北門 B	$0.32 \times 10^{-4} \pm 0.05 \times 10^{-4}*$	
	北門 C	$2.75 \times 10^{-4} \pm 0.64 \times 10^{-4}*$	
嘉南地區			$1.60 \times 10^{-4} \pm 1.94 \times 10^{-4}*$

註：1. 美國環保署規定之可接受風險基準值為 1×10^{-6} (EPA, 2003)

2. * : $> 1 \times 10^{-6}$

表 4-10 食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之非致癌風險標的危害商數 (THQ)

地區	養殖池	THQ (Mean ± SE)	平均值 (Mean ± SE)
布袋	布袋 A	0.28 ± 0.19	1.13 ± 1.55*
	布袋 B	0.19 ± 0.03	
	布袋 C	2.91 ± 1.53*	
義竹	義竹 A	0.46 ± 0.16	1.25 ± 1.33*
	義竹 B	0.51 ± 0.18	
	義竹 C	2.78 ± 2.09*	
學甲	學甲 A	0.58 ± 0.15	0.31 ± 0.23
	學甲 B	0.18 ± 0.01	
	學甲 C	0.18 ± 0.07	
北門	北門 A	0.29 ± 0.10	0.63 ± 0.69
	北門 B	0.16 ± 0.02	
	北門 C	1.43 ± 0.33*	
嘉南地區			0.83 ± 1.00

註：1. 美國環保署規定之標的危害商數基準值為 1 (EPA, 2003)

2. * : > 1

表 4-11 食用養殖虱目魚而暴露無機砷之每日安全攝取量 (Mean ± SE)

地區	養殖池	魚體砷含量 ($\mu\text{g g}^{-1}$)	每日安全攝取量 (g d^{-1})	平均值 (g d^{-1})
布袋	布袋 A	0.34 ± 0.23	4.92 ± 3.96	3.41 ± 2.58
	布袋 B	0.24 ± 0.03	4.88 ± 0.75	
	布袋 C	3.55 ± 1.87	0.43 ± 0.32	
義竹	義竹 A	0.37 ± 0.13	3.34 ± 1.05	2.38 ± 1.39
	義竹 B	0.41 ± 0.14	3.02 ± 1.04	
	義竹 C	2.22 ± 1.67	0.79 ± 0.62	
學甲	學甲 A	1.02 ± 0.26	1.17 ± 0.35	2.95 ± 1.54
	學甲 B	0.31 ± 0.03	3.65 ± 0.31	
	學甲 C	0.32 ± 0.12	4.01 ± 1.83	
北門	北門 A	0.53 ± 0.18	2.56 ± 1.32	2.36 ± 1.79
	北門 B	0.29 ± 0.04	4.03 ± 0.54	
	北門 C	2.49 ± 1.43	0.47 ± 0.09	
嘉南地區				2.88 ± 1.67

註：美國環保署規定之可接受風險基準值為 1×10^{-6} (EPA, 2003)

表 4-12 養殖虱目魚及養殖池水之總砷風險基準濃度 (RBC) (Mean ± SE)

地區	每日安全攝取量 (g d ⁻¹)	RBC _f (μg g ⁻¹)	RBC _w (μg L ⁻¹)
布袋	3.41 ± 2.58	6.32 × 10 ⁻⁴	0.04
義竹	2.38 ± 1.39	4.14 × 10 ⁻⁴	0.05
學甲	2.95 ± 1.54	9.04 × 10 ⁻⁴	0.11
北門	2.36 ± 1.79	9.05 × 10 ⁻⁴	0.02
平均值	2.88 ± 1.67	7.14 × 10 ⁻⁴ ± 2.38 × 10 ⁻⁴	0.05 ± 0.04

註：美國環保署規定之可接受風險基準值為 1 × 10⁻⁶ (EPA, 2003)

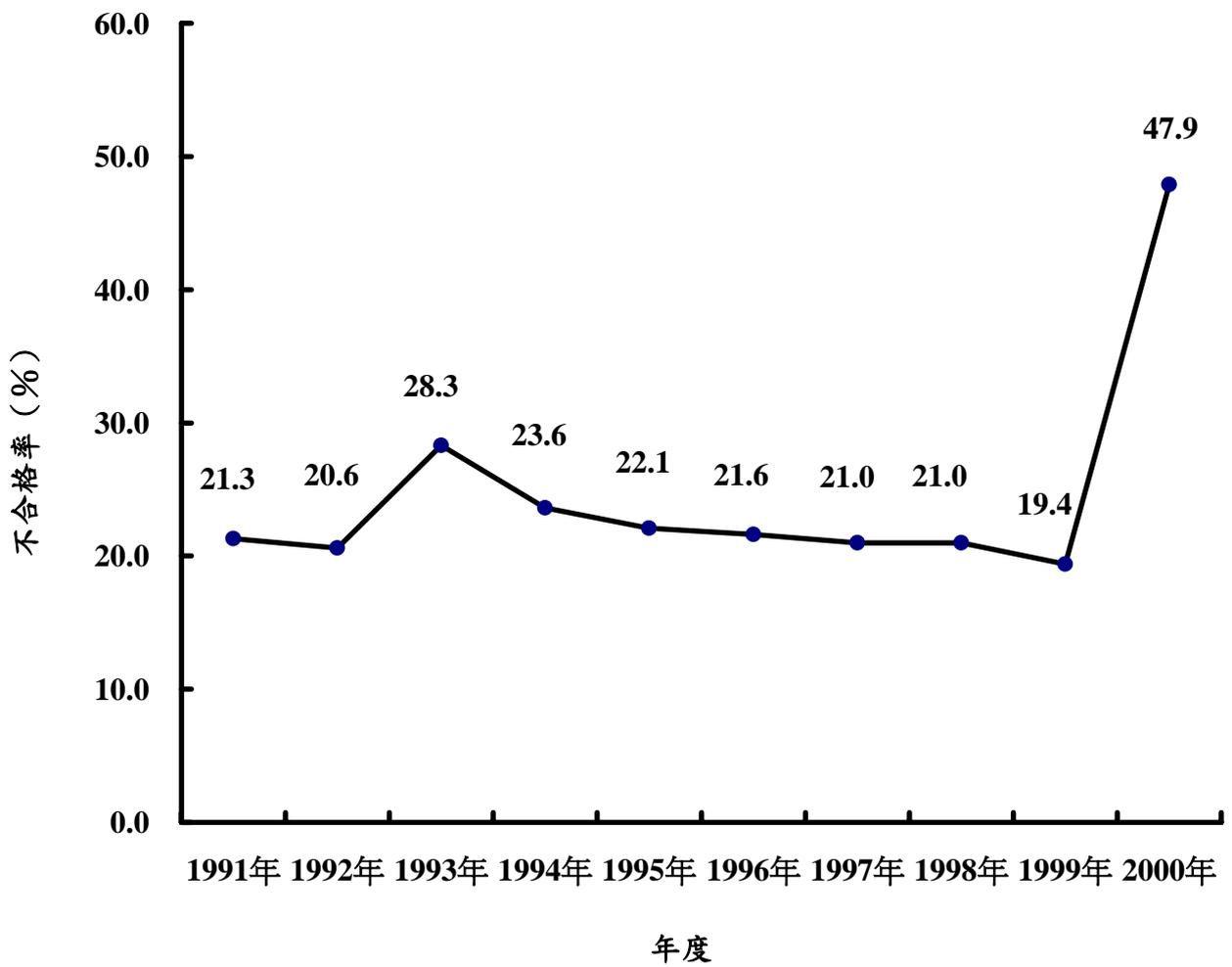


圖 2-1 台灣地區（嘉義縣市、台南縣市、高雄縣、屏東縣、宜蘭縣及臺東縣） 1991 至 2000 年間地下水砷含量與飲用水標準（ $50 \mu\text{g L}^{-1}$ ）相較之不合率

資料來源：環保署（2002b）

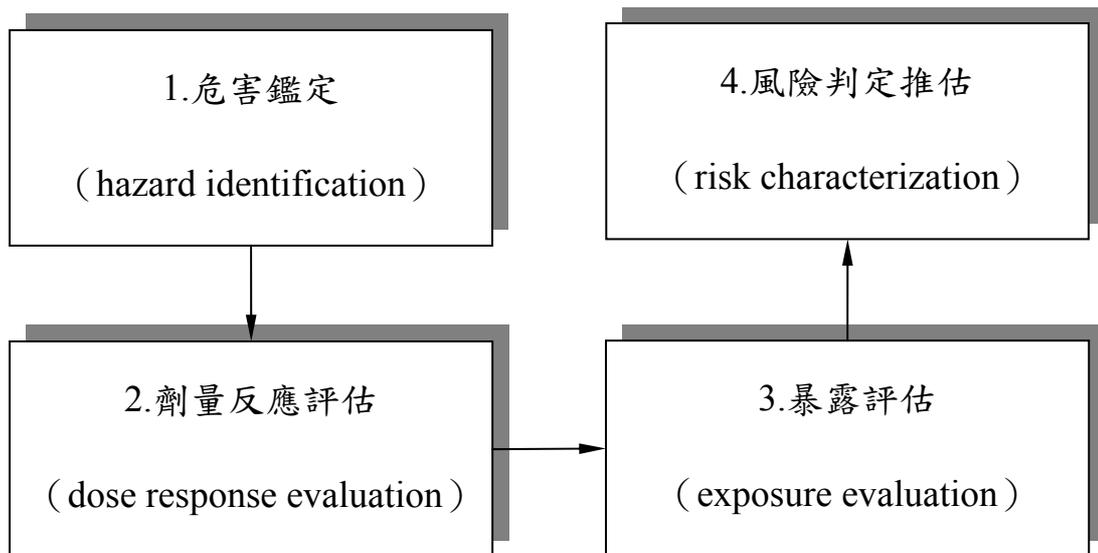


圖 2-2 風險評估模式四步驟

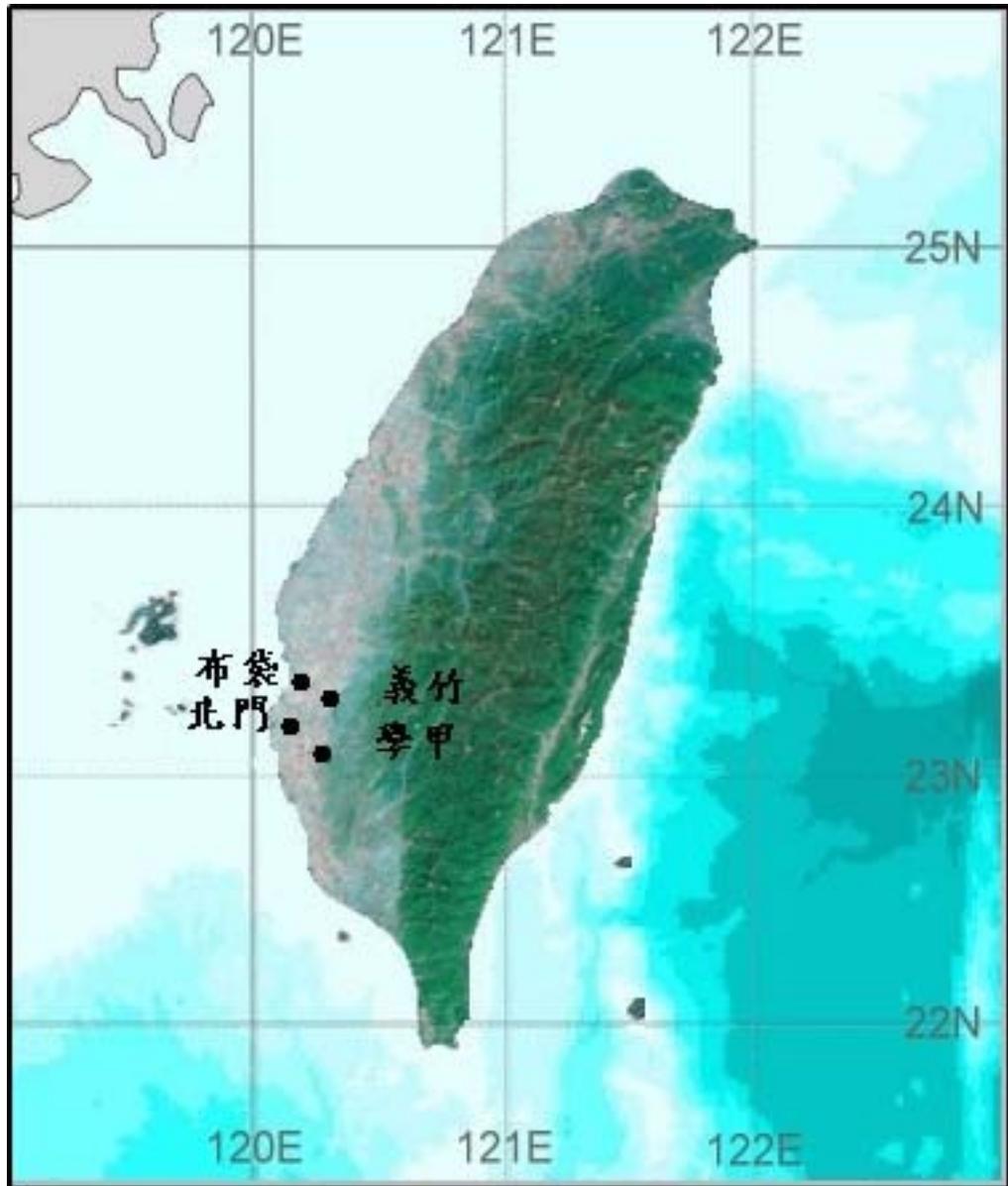


圖 3-1 採樣地區 (●)

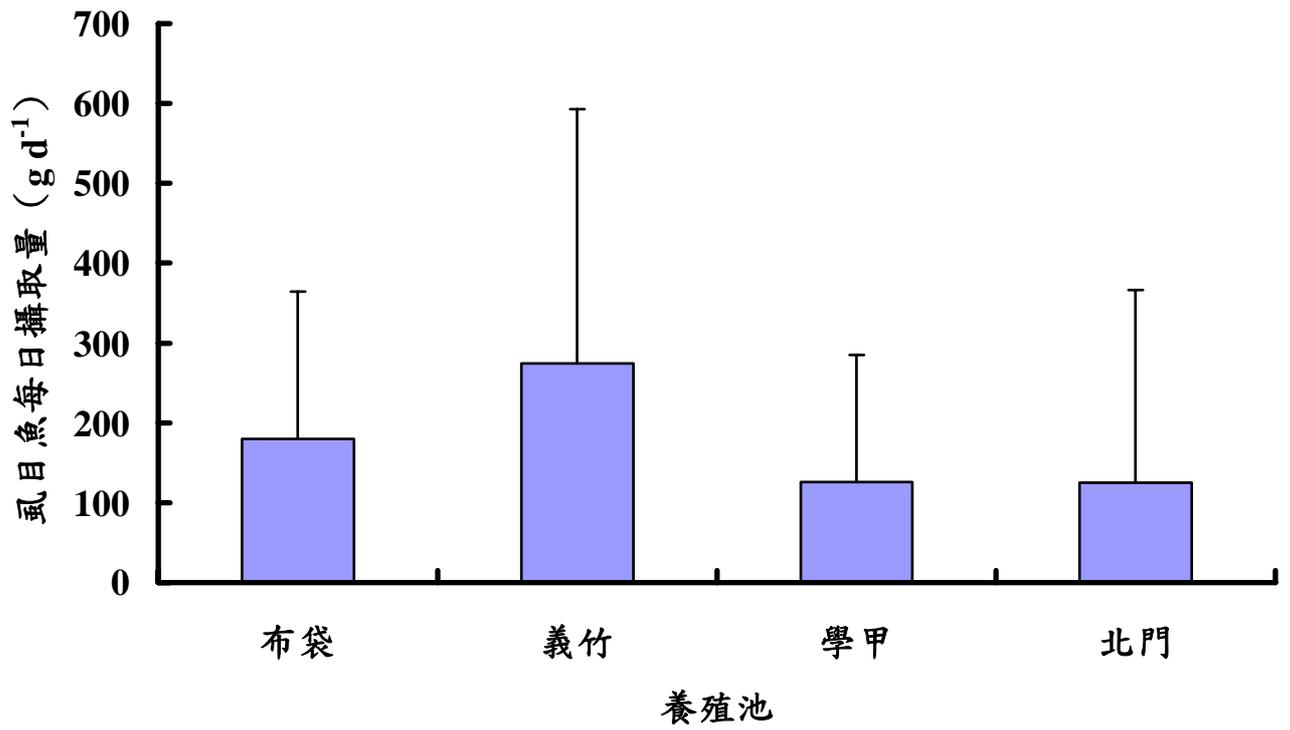


圖 4-1 烏腳病疫區居民食用養殖虱目魚之每日攝取量

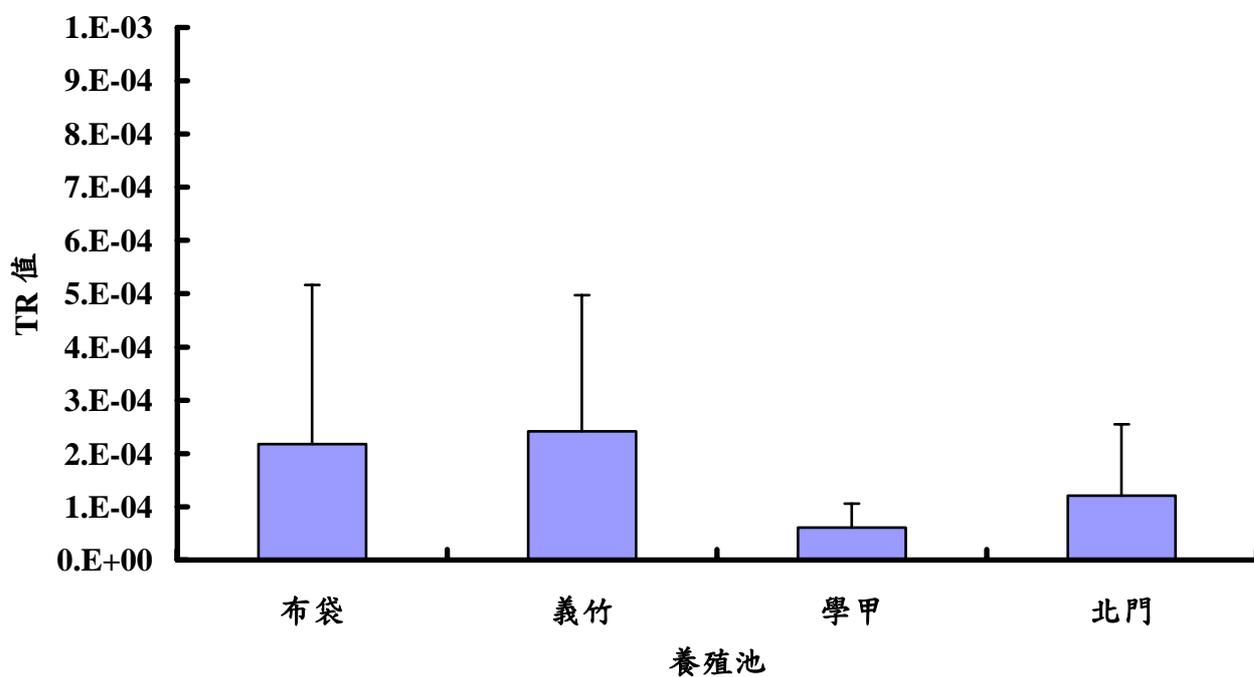


圖 4-2 烏腳病疫區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 TR 值

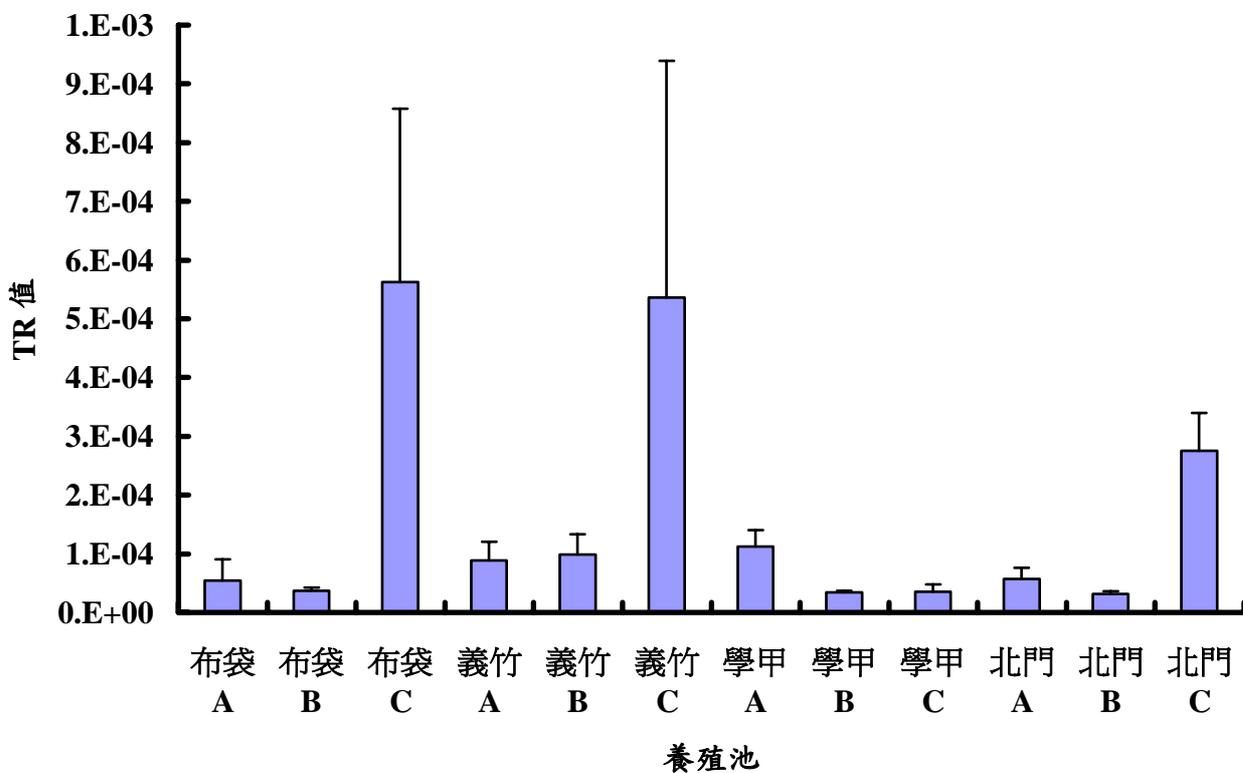


圖 4-3 各區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 TR 值

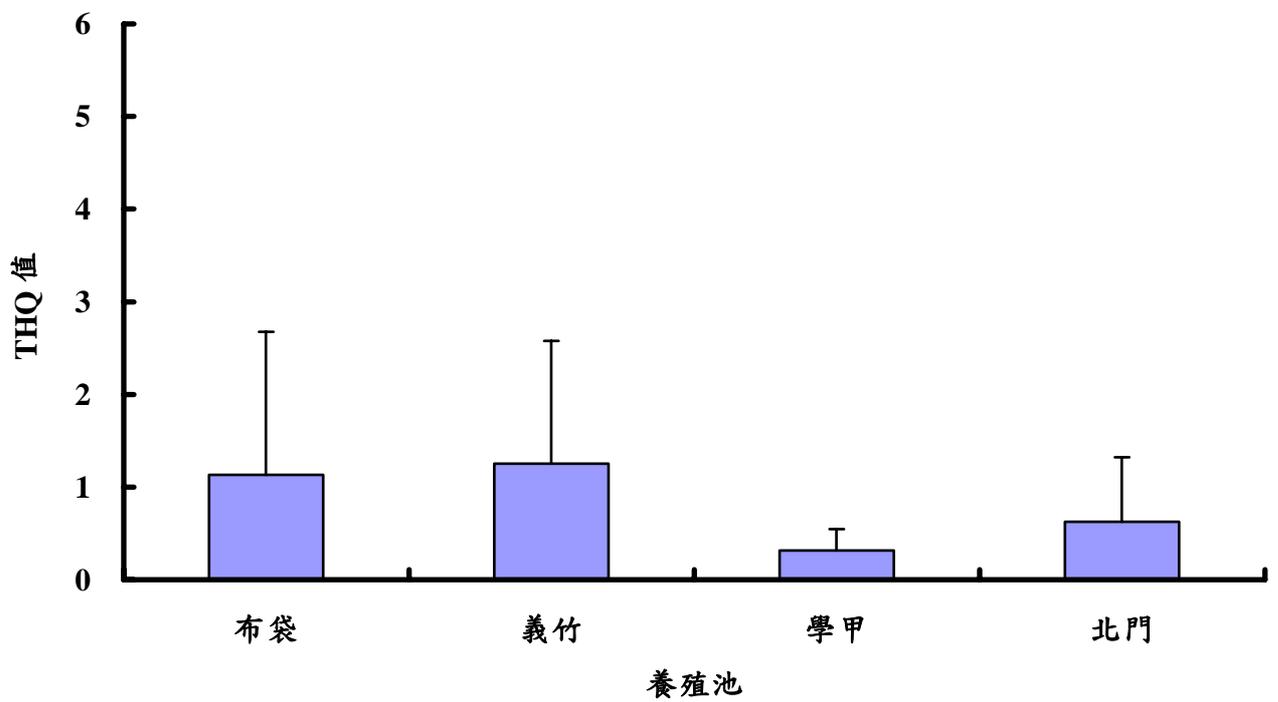


圖 4-4 烏腳病疫區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 THQ 值

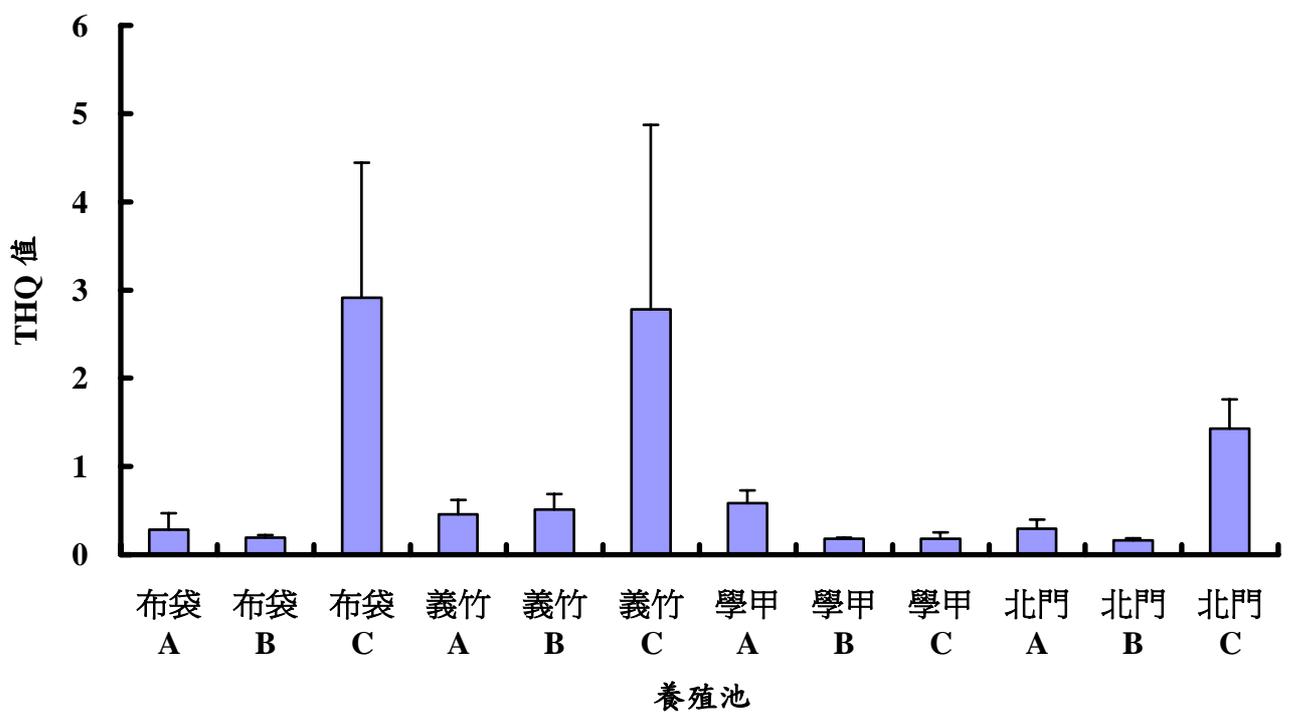


圖 4-5 各區居民食用養殖虱目魚而暴露於無機砷之 THQ 值

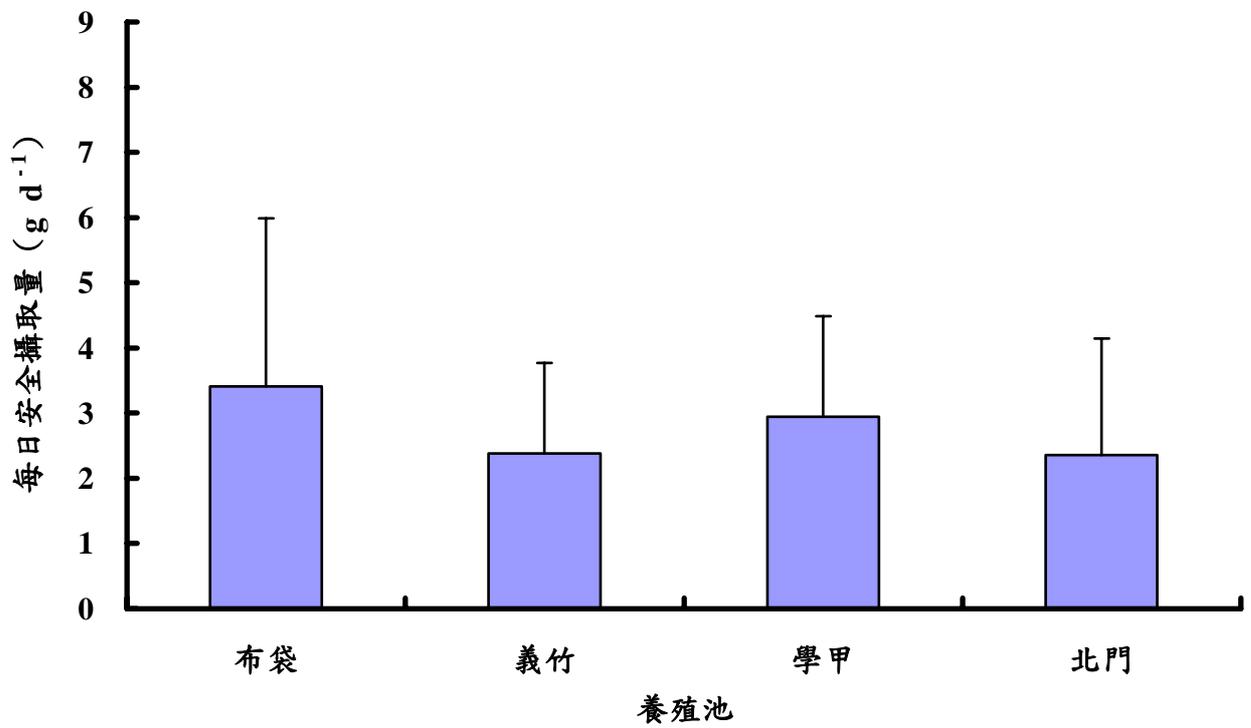


圖 4-6 烏腳病疫區居民食用虱目魚而暴露於無機砷之每日安全攝取量 (g d⁻¹)

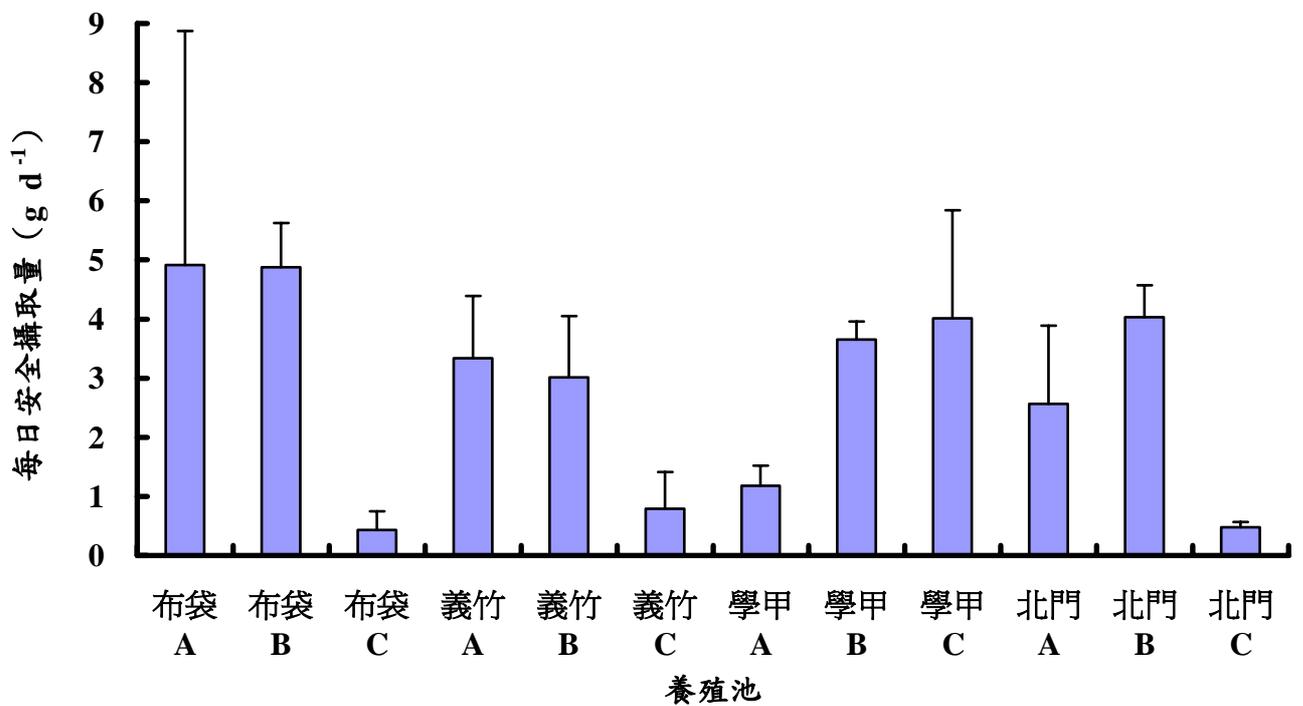


圖 4-7 各區居民食用虱目魚而暴露於無機砷之每日安全攝取量 (g d⁻¹)

參考文獻

一、英文部份：

- Ahmad, K. (2001), "Report highlights widespread arsenic contamination in Bangladesh". *Lancet*, 358: 133.
- An, D., He, Y.G., Hu, and Q.X. (1997), "Poisoning by coal smoke containing arsenic and uoride". *Fluoride*, 30: 29–32.
- Anon (1983), *Food adultration (Metallic Contamination) regulations*. Chapter 132, Law of Hong Kong.
- Antaman, K.H. (2001), "Introduction: the history of arsenic trioxide in cancer therapy". *Oncol.*, 2: 1-2.
- ATSDR (1998), "Toxicological profile for arsenic (update)—draft document for public comment". *US Department of Health & Human Services, Public Health Service, ATSDR*.
- ATSDR (2000), "Toxicological profile for arsenic". *US Department of Health and Human Services, Public Health Service, ATSDR*, 428.
- Berg, M., Tran, H.C., Nguyen, T.C., Pham, H.V., Schertenleib, R., and Giger, W. (2001), "Arsenic contamination of groundwater and drinking water in Vietnam: A human health threat". *Environ. Sci. Technol.*, 35: 2621–2626.
- Buchet, J.P., Lison, D., Ruggeri, M., Foa, V., and Elia, G. (1996), "Assessment of exposure to inorganic arsenic, a human carcinogen, due to the consumption of seafood". *Arch. Toxicol.*, 70: 773-778.
- Canivet, V., Chambon, P., and Gibert, J. (2001), "Toxicity and bioaccumulation of arsenic and chromium in epigean and hypogean freshwater macroinvertebrates". *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 40: 345-354.
- Chakraborti, D., Basu, G.K., Biswas, B.K., Chowdhury, U.K., Rahman, M.M., Paul, K., Chowdhury, T.R., Chanda, C.R., Lodh, D., and Ray, S.L. (2001), "Characterisation of arsenicbearing sediments in Gangetic Delta of West Bengal, India". In: Chappell, W.R., Abernathy, C.O., Calderon, R.L. (Eds.), *Arsenic Exposure and Health Effects*. Elsevier, p. 27–52.
- Chan, H.M., Trifonopoulos, M., Ing, A., Receveur, O., and Johnson, E. (1999), "Consumption of Freshwater Fish in Kahnawake: Risks and Benefits". *Environ. Res. Section A*, 80: 213-S222.

- Charles, O., Abernathy, and Guo, H.R. (1996), "Is ingested inorganic arsenic a 'threshold' carcinogen?" *Funda Appl. Toxicol.*, 29: 168-175.
- Chatterjee, A., Das, D., Mandal, B.K., Chowdhury, T.R., Samanta, G., and Chakraborti, D. (1995), "Arsenic in ground water in six districts of West Bengal, India: the biggest arsenic calamity in the world". Part 1. Arsenic species in drinking water and urine of the affected people. *Analyst*, 120: 643-650.
- Chen C.M., Yu S.C., and Liu M.C. (2001), "Use of Japanese medaka (*Oryzias latipes*) and tilapia (*Oreochromis mossambicus*) in toxicity tests on different industrial effluents in Taiwan". *Arch. Environ. Con. Tox.*, 40:363-370.
- Chen, C.J., and Wang, C.J. (1990), "Ecological correlation between arsenic level in well water and age-adjusted mortality from malignant neoplasms". *Cancer Res.*, 50: 5470-5474.
- 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 cultureponds near scrap metal reclamation facilities". *Chemosphere*, 40: 65-69.
- Chen, C.Y., and Folt, C.L. (2000), "Bioaccumulation and diminution of arsenic and lead in a freshwater food web". *Environ. Sci. Technol.*, 34: 3878-3884.
- 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-food disease area, Taiwan". *Environ. Sci. Technol.*, 28: 877-881.
- Chiou, H.Y., Chiou, S.T., Hsu, Y.H., Chou, Y.L., Tseng, C.H., Wei, M.L., and Chen, C.J. (2001) "Incidence of transitional cell carcinoma and arsenic in drinking water: a follow-up study of 8,102 residents in an arseniasis-endemic area in northeastern Taiwan". *Am. J. Epidemiol.*, 153: 411-418.
- Cullen, A. C. (1995), "The sensitivity of probabilistic risk assessment results to alternative model structures: a case study of municipal waste incineration" *J. Air Waste Manage.*, 45: 538-546.
- Cullen, W. R., and Reimer, K. J. (1989), "Arsenic speciation in the environment". *Chem. Rev.*, 89:

713-746.

- Curtis, D.K., Mary, O.A., and John, D. (1996), *Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons*. McGraw-Hill, NY: Companies Inc., p. 691-736.
- Dabeka, R.W., McKenzie, A.D., Lacroix, G.M.A., Cleroux, C., Bowe, S., Graham, R.A., Conacher, H.B.S., and Verdier, P. (1993), "Survey of arsenic in total diet food composites and estimation of the dietary intake of arsenic by Canadian adults and children". *J. AOAC. Int.*, 76: 14-25.
- Das, D., Chatterjee, A., Mandal, B.K., Samanta, G., Chakraborti, D., and Chanda, B. (1995), "Arsenic in ground water in six districts of West Bengal, India: the biggest arsenic calamity in the world". Part 2. "Arsenic concentration in drinking water, hair, nail, urine, skin-scale and liver tissue (biopsy) of the affected people". *Analyst*, 120: 917-924.
- Ding, Z., Zheng, B., Long, J., Belkin, H.E., Finkelman, R. B., Chen, C., Zhou, D., and Zhou, Y. (2001) "Geological and geochemical characteristics of high arsenic coals from endemic arsenosis areas in southwestern Guizhou Province, China. *Appl. Geochem.*, 16: 1353-1360
- Donohue, J.M., and Abernathy, C.O. (1999), *Exposure to inorganic arsenic from fish and shellfish*. In: Chappell W.R., Abernathy C.O., Calderon R.L. (Eds.), *Arsenic exposure and health effects*. Oxford, UK: Elsevier. p. 89-98.
- Engel, R.R., Hopenhayn-Rich, C., Recheur, O., and Smith, A.H. (1994), "Vascular effects of chronic arsenic exposure: a review". *Epidemiol. Rev.*, 16: 184-209.
- EPA (1984), "Health assessment document for inorganic arsenic". Washington, DC, US EPA, Office of Research and Development, EPA-600/8-83-021F.
- EPA (1986) "Guidelines for carcinogen risk assessment". Washington, Dc. Federal Register, 51: 185, 33992-34003.
- EPA (1995) "User's guide for the industrial source complex". (ISC 3) Dispersion models Volume I-User Instructions, EPA-454/B-95-003a.
- EPA (2001), "U.S. EPA Budget Expected To Increase", *Water Env. & Technol., Water Env. Federation*, 13: 51-53.
- EPA (2003), "EPA region 3 risk-based concentration table: technical background information". <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/tech03.htm>
- EPA (2003), "EPA region 3 risk-based concentration table". <http://www.epa.gov/reg3hwmd/risk/rbc0403.pdf>
- Fitzgerald, E.F., Hwang, S.A., Bush, B., Cook, K., Worswick, P. (1998), "Fish consumption and breast milk PCB concentrations among Mohawk women at Akwesasne." *American J.*

- Epidemiology*, 148: 164-172.
- Guha Mazumder, D.M., Chakraborty, A.K., and Ghose, A. (1988), "Chronic arsenic toxicity from drinking tubewell water in rural West Bengal". *Bull. WHO*, 66: 499-506.
- Guo, X.J., Fujino, Y., Kaneko, S., Wu, K.G., Xia, Y.J., and Yoshimura, T. (2001), "Arsenic contamination of groundwater and prevalence of arsenical dermatosis in the Hetao plain area, Inner Mongolia, China". *Mol. Cell. Biochem.*, 222; 137-140.
- 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.
- Hopenhayn-Rich, C., Biggs, M.L., Fuchs, A., Bergoglio, R., Tello, E.E., Nicolli, H., and Smith, A.H. (1996), "Bladder cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Argentina". *Epidemiology*, 7: 117-124.
- Hopenhayn-Rich, C., Browning, S.R., Hertz-Picciotto, I., Ferreccio, C., Peralta, C., and Gibb, H. (2000), "Chronic arsenic exposure and risk of infant mortality in two areas of Chile". *Environ. Health Persp.*, 108: 667-673.
- Hsueh, Y.M., Cheng, G.S., Wu, M.M., Yu, H.S., Kuo, T.L., and Chen, C.J. (1995), "Multiple risk factors associated with arsenic-induced skin cancer: effects of chronic liver disease and malnutritional status". *Brit. J. Cancer*, 71: 109-114.
- Huang, Y.Z., Qian, X.C., and Wang, G.O. (1985), "Endemic chronic arsenism in Xinjiang". *Chin. Med. J.*, 98: 219-22.
- IARC (1980), "Arsenic and arsenic compounds". IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Some metal and metallic compounds. Lyon, France: *International Agency for Research on Cancer*, 23: 39-141.
- 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>.
- Jain, C.K. and Ali, I. (2000), "Arsenic: Occurrence, toxicity and speciation techniques". *Wat. Res.*, 34: 4304-4312.
- Kehrig, H.A., Malm, O., Akagi, H., Guimaraes, J.R., and Torres, J.P. (1998), "Methylmercury in fish and hair samples from the Balbina Feservoir, Brazilian Amazon." *Environ. Res.*, 77: 84-90.

- Lawrence B.G. (1996), *Toxic risk assessment and management*. Van Nostrand Reinhold, p. 223-227.
- 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.* 70: xxx-xxx (in prss) (SCI 期刊)
- 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.
- Lin, N.F., Tang, J., and Bian, J.M. (2002), "Characteristics of environmental geochemistry in the arseniasis area of the Inner Mongolia of China". *Environ. Geochem. Health*, 24: 249–259.
- Liu, C.W., Lin, K.H., and Kuo, Y.M. (2003), "Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan". *Sci. Total Environ.*, 303: 77-89.
- Liu, J., Zheng, B.S., Aposhian, H.V., Zhou, Y.S., Chen, M.L., Zhang, A.H., and Waalkes, M.P. (2002), "Chronic arsenic poisoning from burning high-arsenic-containing coal in Guizhou, China". *Environ. Health Pers.*, 110: 119–122.
- Luo, Z-D, Zhang, Y-M, Ma, L., Zhang, G-Y, He, X., Wilson, R., Byrd, D.B., Griffiths, J.C., Lai, S., He, L., Grumski, K., and Lamm, S.H. (1997), "Chronic arsenicism and cancer in inner Mongolia". *J. Environ. Geoch. Health*.
- Malachowski, M.E. (1990), "An update on arsenic". *Clin. Lab. Med.*, 10: 459-471.
- Mandal, B.K. and Suzuki, K.T. (2002), "Arsenic round the world: a review". *Talanta*, 58: 201-235.
- Morales, K.H., Ryan, L., Kuo, T.L., Wu, M.M., and Chen, C.J. (2000), "Risk of internal cancers from arsenic in drinking water". *Environ. Health Pers.*, 108: 655–661.
- Ng, J.C., Wang, J.P., and Shraim A. (2003), "A global health problem caused by arsenic from natural sources". *Chemosphere*, 52: 1353-1359
- NHMRC (1996), National Health and Medical Research Council. "Australian drinking water guidelines". 3.

- NRC (1983), "Risk assessment in the federal government: managing the process". NAS-NRC Committee on the Institutional Means for Assessment of Risks to Public Health, National Academy Press, Washington, DC.
- Pankhurst, C.A. and Pate, B.D. (1979), "Trace elements in hair". *Rev. Analy. Chem.*, 4: 111-235.
- Phillips, D. J. H. (1990), "Arsenic in aquatic organisms: a review, emphasizing chemical speciation". *Aquat. Toxicol.*, 16: 151-186.
- Pi, J.B., Kumagai, Y., Sun, G.F., Yamauchi, H., Yoshida, T., Iso, H., Endo, A., Yu, L.Y., Yuki, K.C., Miyauchi, T., and Shimojo, N. (2000), "Decreased serum concentrations of nitric oxide metabolites among Chinese in an endemic area of chronic arsenic poisoning in Inner Mongolia". *Free Radical. Bio Med.*, 28: 1137-1142.
- Pontius, F.W., Brown, K.G., and Chen, C.J. (1994), "Health implication of arsenic in drinking water". *J. Am. Water Works Ass.*, 86: 52-63.
- Sampat, P. (2000), "Groundwater shock". *World Watch*, p. 10-22.
- Schoof, R.A., Yost, L.J., Crecelius, E., Irgolic, K., Goessler, W., Guo, H.R., and Greene, H. (1998), "Dietary arsenic intake in Taiwanese districts with elevated arsenic in drinking water". *Human Ecol. Risk Assess.*, 4: 117-135.
- Sheehy, J.W. and Jones, J.H. (1993), "Assessment of arsenic exposure and controls in gallium arsenide production". *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 54: 61-69.
- Shraim, A., Cui, X., Li, S., Ng, J. C., Wang, J., Jin, Y., Liu, Y., Guo, L., Li, D., Wang, S., Zhang, R., and Hirano, S. (2003), "Arsenic speciation in the urine and hair of individuals exposed to airborne arsenic through coal-burning in Guizhou, PR China". *Toxicol. Lett.*, 137: 35-48.
- Shraim, A., Sekaran, C.N., Anuradha, C.D., and Hirano, S. (2002), "Speciation of arsenic in tube-well water samples collected from West Bengal, India, by high-performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry". *Appl. Organomet. Chem.*, 16: 202-209.
- Smedley, P.L. and Kinniburgh, D.G. (2002), "A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural water". *Appl. Geochem.*, 17: 517-568.
- Smith, A., Goycolea, M., Haque, R., and Biggs, M.L. (1998), "Marked increase in bladder and lung cancer mortality in a region of Northern Chile due to arsenic in drinking water". *Am. J. Epidemiol.*, 147: 660-669.
- Smith, A.H., Hopenhaynrich, C., Bates, M.N., Goeden, H.M., Hertzpicciotto, I., Duggan, H.M., Wood, R., Kosnett, M.J., and Smith, M.T. (1992), "Cancer risks from arsenic in drinking

- water". *Environ. Health Pers.*, 97: 259-267.
- Takatsu, A. and Uchiumi, A. (1998), "Abnormal arsenic accumulation by fish living in a naturally acidified lake". *Analyst*, 123: 73-75.
- Thompson, D.J. (1993), "A chemical hypothesis for arsenic methylation in mammals". *Chem.-Biol. Interact.*, 88: 89-114.
- Tseng, C.H, Chong, C.K, Chen, C.J, Lin, B.J, and Tai, T.Y. (1995), "Abnormal peripheral microcirculation in seemingly normal subjects living in blackfoot-disease- hyperendemic villages in Taiwan". *Int. J. Microcirc. Clinical Exp.*, 15: 21-7.
- Tsuda, T., Babazono, A. and Yamamoto, E. (1995), "Ingested arsenic and internal cancer : A historical cohort study followed for 33 years". *Am. J. Epidemiol.*, 141: 198-209.
- Tsuda, T., Nagira, T., and Yamamoto, M. (1990), "An Epidemiological study on cancer in certified arsenic poisoning patients in Toroku". *Ind. Health*, 28: 53-62.
- Wang, L.F., Liu, H.D., Lin, F.F., Su, M.Y., Xu, X.F., Sun, X.Z., Aihaidi, Ma, L., Yang, Y., and Huang, Z.W. (1993), "Endemic arsenism in a village of Xinjiang: epidemiology, clinical and preventive studies for 9 years". *Endemic Diseases Bulletin*, 8: 71-78.
- WHO (1981), *Environmental Health Criteria 18: Arsenic*. Geneva: WHO. <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc018.htm>.
- WHO (1992), "Inorganic arsenic compounds other than arsine: health and safety guide: IPCS International program on chemical safety". Geneva: Health and Safety Guide, No. 70.
- WHO (2000), "Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: a public health emergency by Allan H. Smith, Elena O. Lingas, & Mahfuzar Rahman". *Bulletin of the WHO*, 78: 1093-1103.
- WHO (2001), "Arsenic in drinking water". *Fact Sheet*, No: 210. <http://www.who.int/inf-fs/en/fact210.html>.
- Wu, M.M., Kuo, T.L., Hwang Y.H., and Chen, C.J. (1989), "Dose-response relation between arsenic concentration in well water and mortality from cancers and vascular diseases". *Am. J. Epidemiol.*, 130: 1123-1132.
- Yoshinaga, J., Chatterjee, A., Shibata, Y., Morita, M., and Edmonds, J.S. (2000), "Human urine certified reference material for arsenic speciation". *Clin. Chem.*, 46: 1781-1786.
- Yost, L.J. and Schoof, R.A. (1995), *Risk assessment for arsenic in a marine outfall, including consideration of local seafood consumption rates and fraction intake*. Poster Presented at the Second International Conference on Arsenic Exposure and Health Effects, Society. for Environ

二、中文部份：

丁雲源，1996，「虱目魚養殖」，行政院農委會水產試驗所。

台灣省農林廳漁業局，1996，「85 年台灣地區漁業年報」，台灣省農林廳漁業局。

朱雲鵬、林師模、李育明、葉欣誠，2001，「地下水污染之解決刻不容緩」，變遷中的福爾摩莎 2002，224-229。

江漢全、蕭雪霞、林智賢，2001，「蘭陽平原供飲用地下水之含砷量調查分析」，中華民國環境保護學會會誌，24: 82-94。

行政院國科會，1990，「水產養殖研究」，大型整合性研究計畫成果簡介叢書第 00 十八號，頁 2。

行政院農委會，1994，「中華民國 81 台灣地區沿近海及養殖漁戶經濟調查報告」，漁業經營調查叢書第 00 五號。

行政院農委會，2002，「民國 90 年糧食平衡表」，90 年糧食供需年報。

行政院環保署，1997，「化學物質風險評估管理講習班講義」，環保署環訓所。

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 000 二五九九號令修正發布。

行政院環保署，2002a，<http://www.epa.gov.tw/statistics/統計手冊/content-c.htm>。

行政院環保署，2002b，「開挖地下水嚴防砷中毒」，環保署新聞資料剪輯。

行政院環保署，2002c，「環保署發布飲用水水質標準」，環保署環檢中心。

行政院環保署，2003，「縣市別地下水測站」，環保署環境水體水質資料庫。

吳迎春，1999，「環境與健康—癌症與水的故事」，康健雜誌，9：12-32。

吳彬安、陳秀絹、李秀綢，「烏腳病的悲歌」，台灣醫界，2002，45：50-52 頁。

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。

林政剛，2003，「攝入地下水砷所引發致癌風險之研究」，萬能學報，5：285-303。

邱弘毅，1994，「砷與癌症」，醫學繼續教育，5：586-592。

邱弘毅、葉錦瑩、薛玉梅、陳建仁，1994，「台灣地區砷汞鎘及其化合物之用途和用量調查研

- 究」，中華衛誌，13：113-125。
- 姚琬琳，2002，「人體進食海產類食物後尿液中砷代謝物種分析」，臺灣大學職業醫學與工業衛生研究所碩士論文。
- 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。
- 柯錫津，1998，「談中藥與重金屬」，衛生報導，8：5-11。
- 胡興華，1999，「台灣的水產養殖（四）」，漁業推廣，157：13-26。
- 胡興華，2002，「台灣漁業 2001」，漁業推廣，190：10-26。
- 郭仁杰，2001，「台灣地區虱目魚養殖現況與展望」，漁業推廣工作專刊，19：17-47。
- 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。
- 郭宗禮，1996，「烏腳病盛行地區井水砷含量之調查」，中華公共衛生雜誌，15：116-125。
- 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。
- 曾文賓，1984，「烏腳病之症狀及誘因之再檢討」，烏腳病之研究報告，13：1-22。
- 湯忠達，2000，「地下水污染之暴露與健康風險評估-以桃園 RCA 場址為例」，國立臺灣大學環境工程學研究所碩士論文。
- 黃詠愷，2002，「烏腳病盛行區養殖魚貝類砷物種分析研究」，臺北醫學大學公共衛生研究所碩士論文。
- 黃耀輝，王滢琇，李志洋，2001，「半導體作業人員砷暴露及其影響」，工業安全科技，41：37-43。
- 農委會漁業署，2001，「行政院農業委員會漁業署 90 年年報」，行政院農委會漁業署，頁 12。
- 鄭福田，1995，「有害空氣污染物風險評估及管理運作模式建立之研究」，84 年國科會專題計畫成果報告。
- 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。

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：_____