

蘭陽平原農田土壤砷之分佈

江漢全¹ 林智賢²

1. 國立宜蘭技術學院環境工程系教授
2. 國立交通大學環境工程研究所研究生

摘要

砷為具有致癌性之有毒元素。本文彙整蘭陽平原土壤重金屬可能偏高地點及工業地區附近之農田土壤金屬含量調查資料，係於民國 82 年至民國 86 年間，共有 6,525 公頃 522 個樣品之調查分析，應用 ArcView 地理資訊系統(GIS)，探討砷在土壤中之分佈狀況，並以宜蘭市為案例，討論土壤砷含量分佈與地下水砷濃度間之關聯性。研究結果顯示，蘭陽平原表土砷含量達第四級標準(10~60 mg/kg)之面積，占所調查耕地面積之 41.05%，裡土則為 15.75%，表土與裡土砷含量平均值分別為 10.49 ± 5.30 mg/kg 及 10.81 ± 5.05 mg/kg，差異不大，而以不同地點間差異較大。GIS 可清楚顯示蘭陽平原農田土壤表土砷含量偏高之地區分佈於宜蘭市、壯圍鄉、員山鄉、羅東鎮、五結鄉及冬山鄉之部份村里；裡土砷含量偏高之地區則分佈於宜蘭市、壯圍鄉、五結鄉及冬山鄉之部份村里，其分佈與工廠之座落點無關。以宜蘭市為案例，則顯示地下水砷濃度偏高與土壤中砷含量偏高之地點有顯著相關性。

關鍵詞：土壤、砷、地理資訊系統

The Distribution of Arsenic in Cultivated Land in Lan-yang Plain

Hann-Chyuan Chiang¹ and Jyh-Shyan Lin²

1. Professor Department of Environmental Engineering, National ILan Institute of Technology
2. Graduate student Institute of Environmental Engineering, National Chiao-Tung University

Abstract

That arsenic can cause many types of human cancer is well known. In this study, 522 samples of 6525 ha cultivated land with higher potential of heavy metal pollution in Lan-Yang Plain were determined for arsenic content from 1993 to 1997. The results show that the average arsenic content in topsoils was 10.49 ± 5.30 mg/kg and it was 10.81 ± 5.05 mg/kg in subsoils. There were 41.05% of topsoil and 15.75% of subsoil samples belong to high grade (10~60 mg/kg) of arsenic. The distribution of arsenic in soils could be clearly demonstrated by ArcView geographic information systems (GIS). Among the ten counties of Lan-Yang Plain in this investigation, the high grade of As content in topsoils were found in part villages of I-Lan City, Chuang-Wei Hsiang, Yuan-Shan Hsiang, Lo-Tong Chen, Wu-Chieh Hsiang and Tung-Shan Hsiang. However, the high grade of As content in subsoils distribute over I-Lan City, Chuang-Wei Hsiang, Wu-Chieh Hsiang and Tung-Shan Hsiang. Moreover, a case study on I-Lan City shows that the relationship between arsenic content in soils and arsenic concentration in groundwater is significant.

Key Words : soil, arsenic, geographic information systems

一、前言

土壤是最重要的環境資源之一，它是植物生長的媒質，陸生動物活動的基石以及土壤微生物繁殖的培養基，在自然界生態系統中扮演吃重的角色。然而，由於農工產業的發展，人口集中於都市，人類活動所產生的廢棄物被長期密集且迅速的排出而積於土壤環境中，遂造成土壤污染。在各類土壤污染物中，土壤重金屬污染為最受矚目的一種污染。行政院環境保護署進行台灣地區的農地土壤重金屬含量調查，於民國 71 年完成 1600 公頃大樣區的概況調查，民國 79 年完成對重金屬量偏高地區的中樣區調查(100 公頃或 25 公頃)，之後各縣市繼續依其情況進行土壤重金屬污染的調查工作，逐步建立土壤重金屬污染資料，以為土壤重金屬防治工作之參考。

宜蘭縣環保局為瞭解蘭陽平原農田土重金屬含量狀況，於民國 82 年起至民國 86 年委託宜蘭技術學院進行了共 6,525 公頃的中樣區(以 25 公頃為單位)重金屬調查 [1-5]，發現並沒有重金屬含量達第五級者，而在八種調查的重金屬中，以砷達第四級(偏高級)標準者面積最多，達 2,247 公頃，其次為鉛。砷是有毒的元素，無機砷早被發現具有急性及慢性毒性，無機砷的暴露與人類的皮膚癌、肺癌、膀胱癌、腎癌之發生呈現劑量效應關係[6]，此外，無機砷也與周圍血管疾病，冠狀動脈心臟病等粥狀之動脈化疾病有密切關係，且與糖尿病和高血壓的盛行率呈劑量效應關係。砷攝入量超過 100 mg 時將造成急性中毒，會損壞中樞神經系統，消化器官、呼吸道及皮膚，超過 135 mg 甚至致死[7]。台灣地區除了西南沿海曾因居民飲用深井水中之砷而流行可怕的烏腳病外[8]，蘭陽平原年地下水之調查資料亦有相當多的砷含量偏高報告[9-13]，相當值得注意。蘭陽平原土壤與地下水中砷含量偏高的現象其間是否有關聯，有待予以釐清。

地理資訊系統(Geographic information system, GIS)是一個有效的空間管理工具，可將各類地理特徵與環境因子存入資料庫中，然後迅速地將資料庫加以分析，以圖形展示。近年來有部份研究將其應用於土壤重金屬污染[14-16]，本文係利用民國 82 年至 86 年蘭陽平原農田土壤中樣區調查結果之資料，藉著 GIS 技術，將其以圖形直接表示，清楚呈現蘭陽平原砷含量農田土壤之分佈狀況，並藉 GIS 之套疊功能，以個案探討分析其與地下水含量偏高地點之相關性，結果可供環保單位進行砷污染農田後續調查及砷污染地區篩選及防治工作之參考。

二、材料與方法

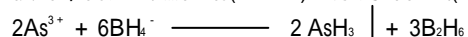
(一) 調查地區選擇及調查面積

調查地區係由宜蘭縣環境保護局主辦人員與宜蘭技術學院研究人員勘查後選定，其原則係參考行政院環境保護署「民國 76 79 年台灣地區土壤中重金屬含量調查資料參考手冊」之資料，以蘭陽平原土壤重金屬含量可能偏高地點及重點工業地區附近土壤為調查重點。民國 82 年度調查區域位於龍潭(090)、四城(081)及土圍(082)三張航照圖中，民國 83 年度調查區域位於武淵(032)及冬山(042)兩張航照圖中，民國 84 年度調查區域位於下壯二(001)、壯圍(002)、二城(062)及丸山(041)等四張航照圖中，民國 85 年度調查區域位於壯七(091)、功勞(092)、大吉(012)等三張航照圖中，民國 86 年度調查區域位於大湖(008)、外員山(009)、擺厘(010)、石頭厝(019)及清洲(020)等五張航照圖中，以 25 公頃為採樣單位，共計調查 6,525 公頃，占全宜蘭縣耕地面積 28,160 公頃之 23.17%，上述調查地區主要以水稻田為主。

(二) 採樣及檢驗方法

採樣方法悉依照台灣省政府環境保護處(現為行政院環境保護署中部辦公室)訂定之「農田土壤重金屬含量細密調查採樣作業規範」規定，以採土器進行土壤採樣工作，每 25 公頃採樣二十處，含表土(0 15 cm)及裡土(15 30 cm)，二十處分別混合成一個表土樣品及一個裡土樣品。故每 25 公頃有兩個樣品，6,525 公頃共 522 個樣品，為符合品管要求並增加 10%重覆樣品。土壤經風乾、細磨、過 20 mesh(1 mm)篩後，即分裝於樣品瓶中供分析。

土壤中砷含量之分析係採用砷化氫原子吸收光譜法(NIEA S310.60T)，土壤樣品以過氧化氫氧化分解有機質後，以 9.6 M 鹽酸萃取，經碘化鈉還原為三價砷，再經氫硼化鈉(NaBH₄)還原為砷化氫(AsH₃)，其反應式如下：



此氫化物並非自由原子，但經氫氣吹送至石英管後，置於火焰上加熱之，即可使其分解成自由原子，故能吸收光源燈放出之光線，於 193.7 nm 之波長處定量之。

(三) 資料統計分析

採用 ArcView 地理資訊系統(geographic information systems, GIS)作為資料統計分析之工具，先將麥氏座標轉換為二度分帶座標，然後使用內政部 1/25000 之宜蘭縣鄉鎮村里地圖，將完成之宜蘭縣農田土壤採樣點及各屬性資料與圖形標示連結，以利圖形與屬性資料的相互查詢。土壤砷含量之等級分類係依照環保署訂定之「台灣地區土壤重金屬標準與等級區分表」予以分類，砷含量部份列如表 1 所示。

三、結果與討論

蘭陽平原土壤砷含量等級分類面積統計表列如表 2 所示。在研究之調查地點中，農田土壤砷含量屬第三級之面積最多，砷含量屬第四級者次之，屬第二級以下者再次之，而在所有調查地點，並未發現有落在第五級範圍者。表土砷含量達第四級標準者，面積高達 2,247.01 公頃，占所調查耕地面積(5,474.13 公頃)之 41.05%，比例相當大。裡土砷含量達第四級標準者，面積則有 862.17 公頃，占所調查耕地面積之 15.75%。

而在砷含量方面，統計表如表 3 所示。五年之調查結果顯示，蘭陽平原表土砷含量範圍在 1.42 至 52.11 mg/kg 之間，平均 10.49 ± 5.30 mg/kg；裡土砷含量範圍在 1.99 至 49.25 mg/kg 之間，平均 10.81 ± 5.05 mg/kg，差異相當小。推測其原因，可能因水稻田土壤耕作時每年均需翻土，致表土與裡土之砷含量範圍相當接近。而由各年度土壤砷含量平均值所繪製之圖 1，可進一步清楚顯示砷含量之調查值表土與裡土差異甚小，但不同年度，亦即不同地點之間之差異則較大。將五個年度土壤調查之數據利用 GIS 予以整合圖形化，結果如圖 2 及圖 3 所示。圖 2 係蘭陽平原農田土壤表土砷含量等級分佈圖，砷含量達第四級之偏高地區分佈於宜蘭市、壯圍鄉、員山鄉、羅東鎮、五結鄉及冬山鄉之部份村里；圖 3 則係裡土砷含量等級分佈圖，砷含量達第四級之地區分佈於宜蘭市、壯圍鄉、五結鄉及冬山鄉之部份村里。其分佈與工廠之座落點並不直接相關，可知工業污染應不是造成蘭陽平原土壤砷含量偏高之主因。

由於近年之地下水含砷量調查資料(江漢全, 1997b, 1998, 1999；江漢全等人, 2001)顯示宜蘭市許多村里有砷含量偏高之問題，本研究以宜蘭市之地下水及土壤含砷量數據為個案，利用 GIS 繪製土壤砷含量等級佈圖如圖 4 及圖 5 所示，在所調查的 9 個里中，表土砷含量達四級者高達 8 個里，裡土砷含量達第四級者亦有 3 個里，其餘亦達第三級；而地下水砷濃度分佈圖如圖 6 所示，在所調查的 13 個里中，砷濃度高於 $50\mu\text{g/L}$ 者有 7 個里，介於 10 至 $50\mu\text{g/L}$ 者有 6 個里，將其與圖 4 之表土砷含量等級分佈圖套疊如圖 7 所示，有七張里、黎明里、東村里、凱旋里、南津里、建業里等 6 個里土壤及地下水砷含量均偏高，相關性顯著，應列為需密切關注之村里。上述結果，顯示蘭陽平原地下水砷含量與土壤農田砷含量有某種程度之正相關關係存在，只要基本的地下水質及土壤砷含量資料齊全，利用 GIS 技術，可輕易予以整合聯結，篩選出兩種數據偏高之地點，供環保單位進行污染防治之重要參考。

四、結論

1. 蘭陽平原土壤重金屬可能偏高地點及重點工業地區附近之農田土壤，經 5 年 522 個樣品之調查分析，結果顯示表土砷含量達第四級標準者，面積高達 2,247.01 公頃，占所調查耕地面積 5,474.13 公頃之 41.05%，比例相當大。裡土砷含量達第四級標準者，面積則有 862.17 公頃，占所調查耕地面積之 15.75%。
2. 本研究調查之蘭陽平原表土砷含量範圍在 1.42 至 52.11 mg/kg 之間，平均 10.49 ± 5.30 mg/kg；裡土砷含量範圍在 1.99 至 49.25 mg/kg，平均 10.81 ± 5.05 mg/kg，表土與裡土砷含量差異不大。但不同地點之間之差異則較大。
3. 本研究調查之蘭陽平原農田土壤表土砷含量達第四級之地區分佈於宜蘭市、壯圍鄉、員山鄉、羅東鎮、五結鄉及冬山鄉之部份村里；裡土砷含量偏高之地區則分佈於宜蘭市、壯圍鄉、五結鄉及冬山鄉之部份村里，由 GIS 之圖觀之，其分佈與工廠之座落點無關。
4. 以宜蘭市為案例研究，利用 GIS 繪製之土壤砷含量等級分佈圖與地下水砷濃度範圍分佈圖套疊之後，可清楚顯示地下水及土壤中砷含量偏高之地點，其間有顯著的相關性。

謝誌

本研究承宜蘭縣環境保護局補助經費，特此致謝。

參考文獻

1. 江漢全 (1993)，八十二年度宜蘭縣土壤污染防治調查計劃成果報告，國立宜蘭技術學院檢驗中心。
2. 江漢全 (1994)，八十三年度宜蘭縣土壤污染防治調查計劃成果報告，國立宜蘭技術學院檢驗中心。
3. 江漢全 (1995)，八十四年度宜蘭縣土壤污染防治調查計劃成果報告，國立宜蘭技術學院檢驗中心。
4. 江漢全 (1996)，八十五年度宜蘭縣土壤污染防治調查計劃成果報告，國立宜蘭技術學院檢驗中心。
5. 江漢全 (1997a)，八十六年度宜蘭縣土壤污染防治調查計劃成果報告，國立宜蘭技術學院檢驗中心。
6. Wu, M. M., T. L. Kuo., Y. H. Hwang, and C. J. Chen(1989), "Dose-response Relation between Arsenic Well Water and Mortality from Cancer", Am. J. Epidemiology, Vol. 130, pp.1123-1132.
7. 張怡怡 (1997)，飲用水中無機物、微生物及濁度管制項目及管制標準之合理性分析，環保署委辦之計劃期末報告

(EPA-86-J102-09-07)。

8. Shen, Y. S. and C. S. Chin (1964), Relation between Blackfoot Disease and Pollution of Drinking Water by Arsenic in Taiwan, pp.175-182, Adv. Water Poll. Res., Pergamon Press, N. Y., U.S.A.
9. 江漢全 (1997b), 八十六年度宜蘭縣飲用水(地下水、地面水)含砷量調查, 國立宜蘭技術學院檢驗中心。
10. 江漢全 (1998), 八十七年度宜蘭縣飲用水(地下水、地面水)含砷量調查, 國立宜蘭技術學院檢驗中心。
11. 江漢全 (1999), 八十八年度宜蘭縣飲用水(地下水、地面水)含砷量調查, 國立宜蘭技術學院檢驗中心。
12. 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, 第二十四卷, 第一期, 第 82-94 頁。
13. 許聖哲 (1990), 台灣地區受污染水井調查, 環保署委辦之計劃期末報告。
14. 林正鈞、呂正章、呂建華 (1995), 「土壤中重金屬擴散性分級評估初擬—以彰化縣為例」, 中國環境工程學刊, 第五卷, 第四期, 第 361-366 頁。
15. 張尊國、李成偉 (1996), 「利用 GIS 於土壤重金屬污染等級區分」, 中國環境工程學刊, 第六卷, 第二期, 第 107-115 頁。
16. 劉觀銘、沉家琮、張尊國、林嘉貞 (1993), 土壤重金屬污染與農田灌排系統關聯性之調查研究, 第四屆土壤污染防治研討會論文集, 第 397-407 頁。

91 年 9 月 23 日投稿

91 年 10 月 2 日接受

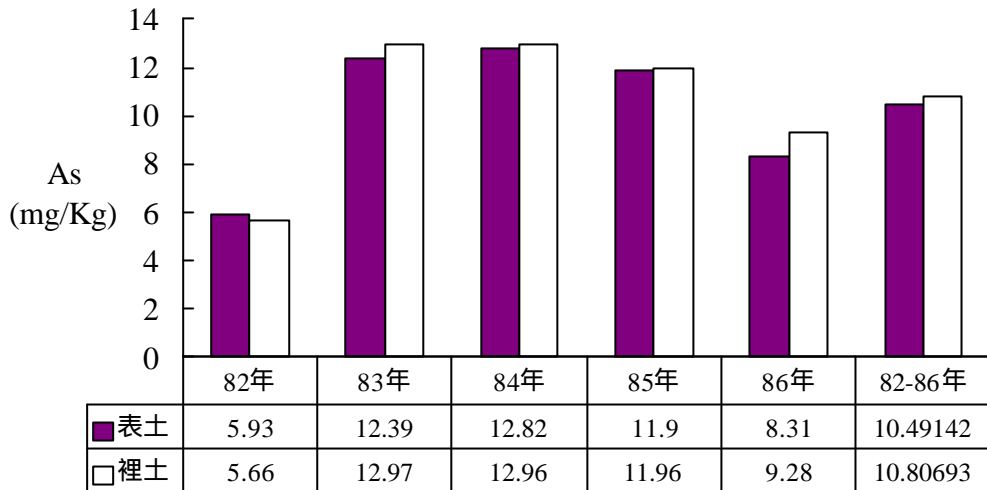


圖 1 民國 82-86 年蘭陽平原農田土壤砷含量平均值統計圖

Fig 1 Average arsenic content in cultivated land in Lan-Yang Plain (1993~1997)

表 1 台灣地區土壤砷含量標準與等級區分表

Table 1 The standard and grade of arsenic content in Taiwan

重金屬項目	二級以下	三級	四級	五級
As (砷)	裡土<4	4-9	10-60	>60
	表土<4	4-15	10-60	>60

註：1.單位：mg/Kg

2.各等級代表之意義如下：

二級以下：土壤中重金屬含量低於環境背景值者。

第三級：土壤中重金屬含量為環境背景值者。

第四級：需進一步確認是否污染者。

第五級：土壤中有外來重金屬介入，應列為重點監測地區，並進行相關工作。

表 2 蘭陽平原農田土壤砷含量調查等級分類面積統計表

單位：公頃

Table 2 The thecta and grade of arsenic content in cultivated land in Lan-Yang Plain (1993~1997)

調查年度	調查區塊	採樣深度	調查面積	耕地面積	砷含量等級分類面積			
					二級以下	三級	四級	五級
82	25 公頃	表土	1250.00	905.00	20.00	885.00	0.00	0.00
		裡土	1250.00	905.00	42.00	863.00	0.00	0.00
83	25 公頃	表土	1425.00	1179.50	23.00	433.10	723.40	0.00
		裡土	1425.00	1179.50	23.00	842.00	313.70	0.00
84	25 公頃	表土	1300.00	1125.53	40.51	418.50	666.97	0.00
		裡土	1300.00	1125.53	37.50	796.25	291.78	0.00
85	25 公頃	表土	1300.00	1171.80	0.00	419.96	751.84	0.00
		裡土	1300.00	1171.80	0.00	1000.01	171.79	0.00
86	25 公頃	表土	1250.00	1092.30	220.40	767.10	104.80	0.00
		裡土	1250.00	1092.30	110.40	897.00	84.90	0.00
82-86	25 公頃	表土	6525.00	5474.13	303.91	2923.66	2247.01	0.00
		裡土	6525.00	5474.13	212.90	4398.26	862.17	0.00

表 3 蘭陽平原農田土壤砷含量統計表

單位：mg/Kg

Table 3 the arsenic content in cultivated land in Lan-Yang Plain (1993~1997)

調查年 度	調查區 塊	表土				裡土			
		最小值	最大值	平均值	標準偏差	最小值	最大值	平均值	標準偏差
82	25 公頃	2.52	7.31	5.93	0.85	2.61	8.07	5.66	0.93
83	25 公頃	3.42	29.31	12.39	6.47	3.98	29.35	12.97	6.32
84	25 公頃	1.42	28.45	12.82	6.63	2.76	33.45	12.96	6.94
85	25 公頃	6.05	22.07	11.90	3.73	5.89	21.52	11.96	3.60
86	25 公頃	1.69	52.11	8.31	8.83	1.99	49.25	9.28	7.48
82-86	25 公頃	1.42	52.11	10.49	5.30	1.99	49.25	10.81	5.05

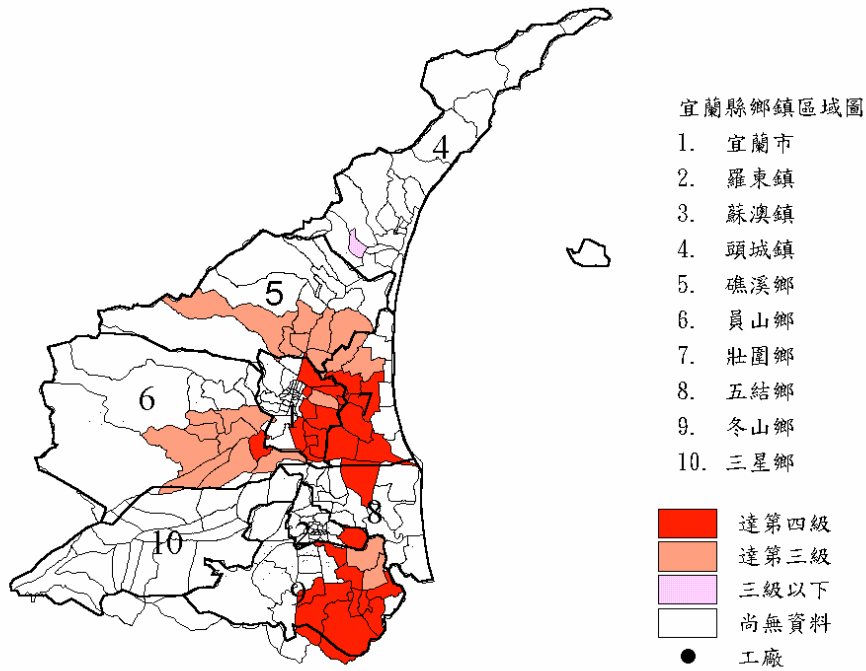


圖2 蘭陽平原農田表土砷含量等級分佈圖

Fig 2 The distribution of arsenic content in topsoil samples of cultivated land in Lan-Yang Plain

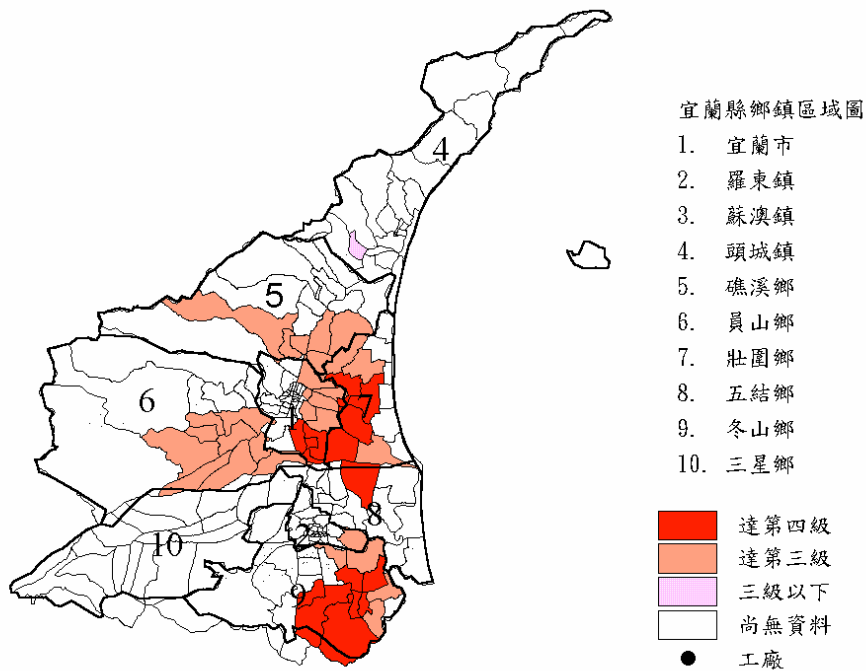


圖3 蘭陽平原農田裡土砷含量等級分佈圖

Fig 3 The distribution of arsenic content in subsoil samples of cultivated land in Lan-Yang Plain

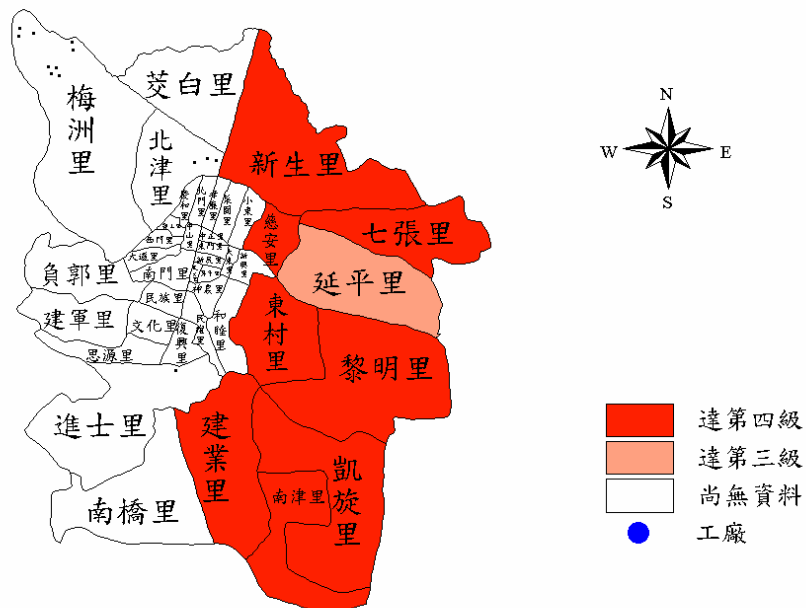


圖4 宜蘭市農田表土砷含量等級分佈圖

Fig 4 The distribution of arsenic content in topsoil samples of cultivated land in I-Lan City

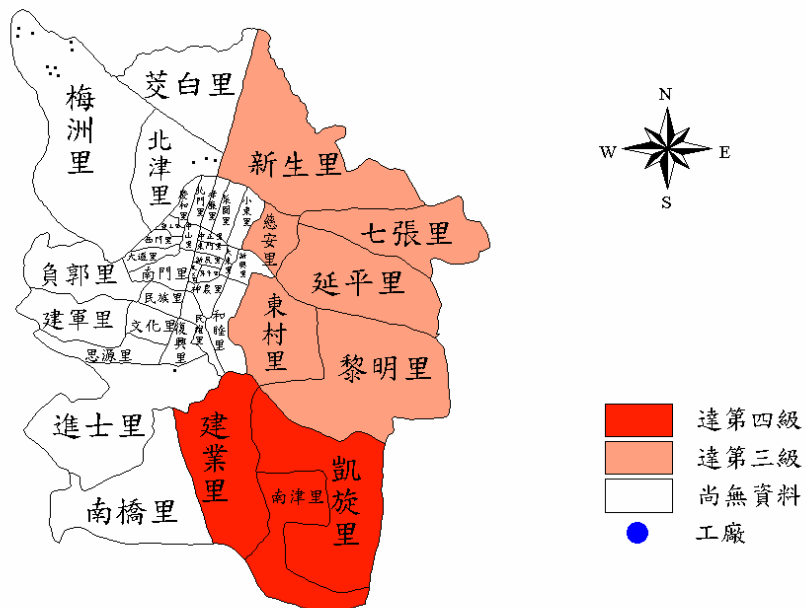


圖5 宜蘭市農田裡土砷含量等級分佈圖

Fig 5 The distribution of arsenic content in subsoil samples of cultivated land in I-Lan City

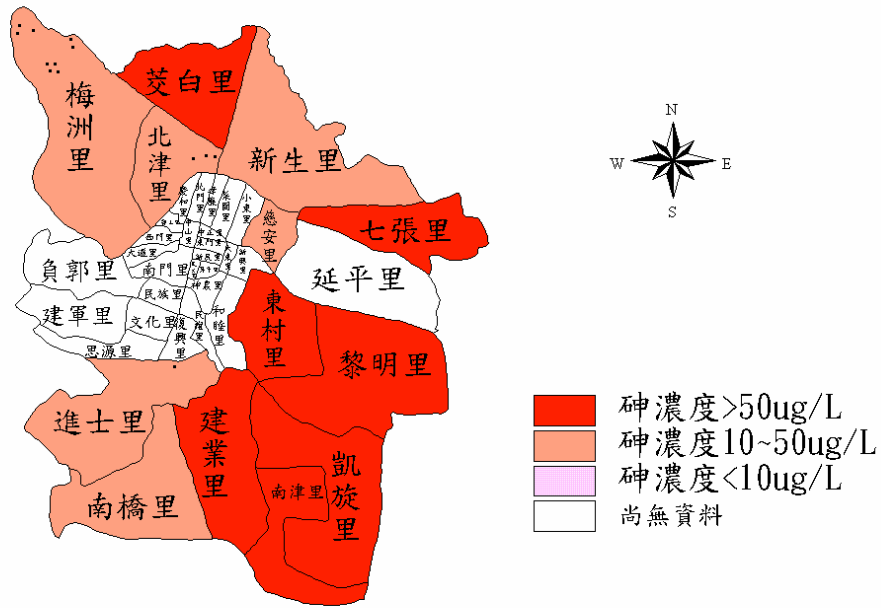


圖6 宜蘭市各採樣點地下水砷含量範圍分佈圖

Fig 6 The distribution of arsenic content in groundwater samples in I-Lan City



Fig 7 The result of overlapping from arsenic content in soil samples and groundwater samples in I-Lan City

