

# 金門地區農地土壤重金屬調查及空間分布特性

## Investigation and Spatial Distribution Characteristics of Heavy Metals in Farmland Soil in Kinmen

財團法人農業工程研究中心

研究員

助理研究員

助理技師

陳豐文

譚允維

卓宇謙

Feng-Wen Chen

Yun-Wei Tan

Yu-Chien Cho

### 摘 要

金門產業以發展農業、畜牧及觀光為主，甚少工業，由於金門降雨量低且缺水之特性，農地種植旱作物而無湛水深灌溉的淋洗作用，因此是否土壤會存在重金屬的累積而無法排除？有鑑於此，本研究針對金門農地進行抽樣調查共計 68 處，其中金沙鎮 18 處、金城鎮 11 處、金湖鎮 14 處、金寧鄉 16 處及小金門島嶼(烈嶼鄉)9 處，並利用 XRF(X-Ray Fluorescence，X 射線螢光光譜儀)快篩技術進行土壤重金屬含量分析，分析項目包含銅(Cu)、鋅(Zn)、鉛(Pb)、鎘(Cd)、鉻(Cr)、鎳(Ni)、汞(Hg)、砷(As)等 8 大重金屬項，並利用食用作物農地土壤規範作為參考依據，試驗結果顯示 7 項重金屬濃度均符合食用作物農地土壤規範標準，僅汞(Hg)有異常現象，1 %超過管制標準、37 %為超過監測標準、62 %合格；就地理分布而言，超出管制標準者發生於金寧鄉，超出監測標準者依序為金寧鄉(75 %)、金城鎮(36 %)、烈嶼鄉(33 %)、金湖鎮(29 %)、金沙鎮(11 %)，空間分布圖則利用克利金方法進行空間內插及繪製，本研究顯示金門農地具有汞(Hg)污染的特性，由於本研究為 XRF 快篩成果，因此建議可進一步使用 ICP 進行精準檢測，以確定農地是否具有汞(Hg)的污染，並提出對應之限種及改善措施，以維持食安及保護農地。

關鍵詞：金門、農地土壤、重金屬、空間分布、XRF

### Abstract

Kinmen is mainly based on agriculture, animal husbandry and tourism, and its industry is underdeveloped. Due to the low rainfall and lack of water in Kinmen, farmland is planted in upland cropping without deep water irrigation and without leaching effect. Therefore, is there an accumulation of heavy metals in farmland soil that cannot be excluded? In view of this, this study conducted a total of 68 soil sampling surveys on farmland in Kinmen, including 18 in Jinsha, 11 in Jincheng, 14 in Jinhu, 16 in Jinning and 9 in Little Kinmen (Lieu). XRF (X-Ray Fluorescence, X-ray Fluorescence Spectrometer) were used for soil heavy metals

analysis. The analysis items are 8 heavy metals contained copper (Cu), zinc (Zn), lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr), nickel (Ni), mercury (Hg), arsenic (As). Using the soil specifications of edible crops as a reference basis, the results showed that the concentrations of 7 heavy metals all met the above standards. Only 1 % of mercury (Hg) exceeds the control standard, 37 % exceeds the monitoring standard, and 62 % is qualified. In terms of geographical distribution, The samples exceeding the control standard are distributed in Jinning, and the samples exceeding the monitoring standard were distributed in Jinning (75 %), Jincheng (36 %), Lieyu (33 %), Jinhua (29 %) and Jinsha (11 %). The spatial distribution map is interpolated and drawn using the Kriging method. This study shows that Kinmen farmland is characterized by mercury (Hg) pollution. Since this study is the result of XRF rapid test, it is recommended to further use ICP for precise detection to determine whether farmland is contaminated with mercury (Hg). Based on the results, corresponding planting restrictions and improvement measures should be proposed to maintain food safety and protect farmland.

Keywords: Kinmen, Farmland Soil, Heavy Metals, Spatial Distribution, XRF.

## 一、前言

金門縣屬於外島地區，農業用水管理所需之基本資料較為缺乏、2020 年 10 月前亦無農田水利會組織專責協助灌溉管理事務，因此相關農地基礎資料、水資源等基本資料較為缺乏，有賴於逐步投入資源進行普查籍資料建立；本研究基於台灣各地農地均有遭受不同程度重金屬污染的問題，考量土壤品質與作物有密切之關聯性，倘若土壤遭受重金屬污染，如常見之銅、鎘、鉛、鋅、鉻、鎳、砷及汞等 8 種，將可能造成農地重金屬污染、作物危害，人畜食用後致癌生病等風險(陳吉村，1993、林浩潭，2005)，例如：食用鎘米者即易患痛痛病(Itai-Itai disease)，導致人體全身關節無故疼痛、砷可能引起慢性砷中毒或烏腳病、鉛之攝取則可能易造成致癌風險(臺灣省農田水利聯合會，1995、陳豐文，2007)。農地污染亦是持續關注中的環境議題，對於屬於離島區域性質的金門縣是否也存在相同問題保有高度興趣，因此著手進行本次研究，期透過基本普查方式評估金門地區農地是否存在重金屬污染問題亦或空間分布為何等相關基礎資訊。根據環保署列管污染源統計，金門地區無金屬製造業或電子加工業，然而為確保土壤之安全性，本研究針對金門地區(包含烈嶼鄉)之農地土壤進行均勻且隨機之採樣，並利用攜帶型 X-射線螢光光譜儀分析儀器(簡稱 XRF, X-Ray fluorescence)進行快篩分析，以快速掌握金門地區之 8 項重金屬之農地土壤含量概況。

## 二、材料與方法

### (一).研究區域

金門縣面積約 15,166 ha，其中耕地面積僅約 2,013 ha，可耕土地佔總面積約 13.27

%(行政院農業委員會，2021)，顯示金門之可耕地較為不足，又土壤主要為磚紅色或黃棕色之砂質土，土壤有機質貧乏較不肥沃(內政部營建署，2002、金門縣政府，2019)，以美國農業部(USDA, United States Department of Agriculture)規範之土壤分類，金門地區的土壤主要由粒徑較大之砂土或壤質砂土組成，代表其土壤具有較高的耗水現象(農業工程研究中心，2018)。

金門地區氣象資料顯示，雖然年近雨量約 1,054mm，然而降雨量分配不均 4~9 月降雨量占全年降雨量之 70 %，蒸散量較大、風速強近，屬於高耗水地區(農業工程研究中心，2019、金門縣政府，2019、陳豐文等，2020)，故農作物方面主要以低需水量作物為主，如：高粱、麥、花生...等旱作雜糧及少部分芋頭、蒜...等蔬菜類(行政院農業委員會，2021)。

## (二).土壤取樣選點方式

本研究選定金門為研究區域，範圍包含大金門 5 個行政區：金城鎮、金湖鎮、金沙鎮、金寧鄉，及小金門(烈嶼鄉)，利用可耕農地圖層進行均勻抽樣，總採樣點位規劃為 71 處，各鄉鎮之採樣數量分別為金城鎮 11 處、金湖鎮 15 處、金沙鎮 18 處、金寧鄉 18 處及烈嶼鄉 9 處，其中烈嶼鄉面積較小故採樣點次數最少，金城鎮為人口住宅較為密集之鄉鎮，農地分布面積較少、採樣點位相對較少，而金沙鎮及金寧鄉為農耕地面積較大之鄉鎮，故採樣點次數較多，有關本研究區域範圍及土壤取樣點位分布如圖 1 所示。

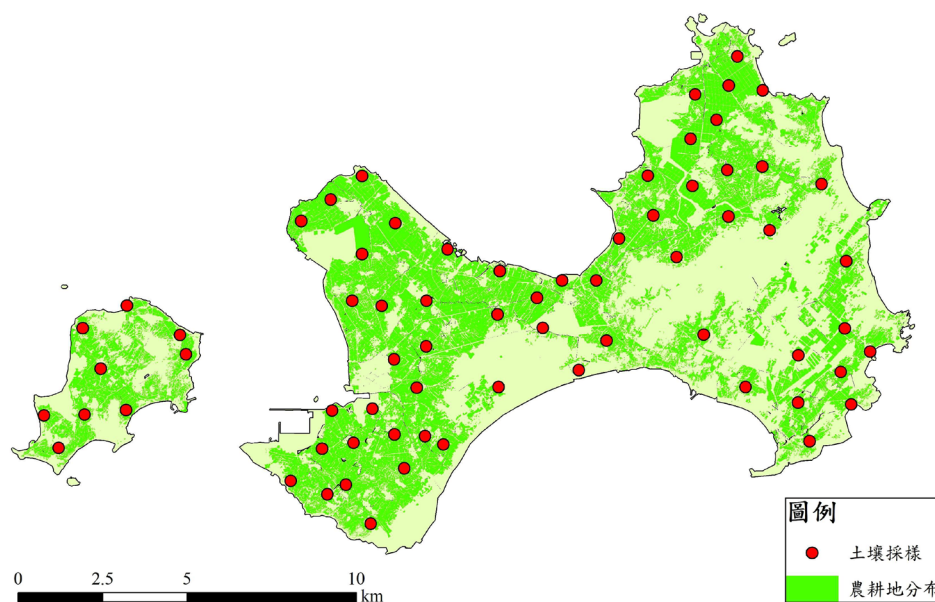


圖 1 本研究區域及土壤取樣分布

## (二).土壤取樣作業方法

土壤取樣作業係根據環保署公告實施之「土壤取樣方法(NIEA S102.63B)」辦理。土壤取樣過程中紀錄座標位置、採樣條件，採樣深度為表土至深度 30 cm 之混合土樣，依前置作業選定採樣坵塊之取水口位置進行衛星定位與拍照紀錄，採樣前先將土壤表層雜質去除，以圓鍬挖取該區域之表土下方 30 cm 以內之土壤樣本，當場置入塑膠袋內密

封並標註。採樣完畢後即清理採樣器具，以避免樣品受採集器具污染，採樣後依分析項目適當保存(詳表 1)，土壤取樣情形及現場概況如圖 2 所示。

表1 土壤樣品保存方法

| 檢測項目  | 建議最少<br>樣品量 | 容器                     | 保存方法      | 最長保存期限                             |
|-------|-------------|------------------------|-----------|------------------------------------|
| 土壤重金屬 | 500 g       | 塑膠(袋)瓶或附鐵氟龍墊片<br>廣口玻璃瓶 | 4±2 °C 冷藏 | 48 小時內冷凍乾燥或 30°C 低<br>溫乾燥可保存 180 天 |



圖 2 農地土壤現場採樣情形

### (三).土壤重金屬檢驗方法—快篩測定

本研究對於土壤重金屬濃度的測定方式乃依據行政院環境保護署環境檢驗所規範農地土壤重金屬检测方法—「土壤和底泥中元素濃度快速篩選方法—攜帶式 X-射線螢光光譜儀分析法(NIEA S322.60C)」之規範進行快篩測定。快篩測定分析原理為利用高強度 X-射線照射樣品，將放射出來之螢光，利用分光晶體分光後偵測不同波長強度，即可分析樣品中所含元素種類，也可進一步定量分析，惟待測元素受到樣品其他元素基質干擾為目前之技術瓶頸，故截至目前國內對於底泥重金屬含量測定，仍僅被發展成以攜帶式 XRF 之半定量篩選方法(葉玉珍等，2011)，其與 ICP-OES 比較如表 2 所示。

本研究使用 XRF 設備之廠牌為 Olympus Innov-XDP-4050 手持式 X 射線螢光光譜儀，檢測操作均依據前述「土壤和底泥中元素濃度快速篩選方法—攜帶式 X-射線螢光光譜儀分析法(NIEA S322.60C)」進行檢測，由於本研究著重於農作物與土壤之關係，故土壤重金屬檢測標準則依據食用作物農地土壤規範如表 3 所示)，另表 2 顯示 XRF 其優點為其可攜式之便利性及快速掌握土壤重金屬概況，然而存在其對各項重金屬檢測標準之下限值，鉛之偵測下限值最高為 1~3 g/kg，其次為鉻 5~10 mg/kg、鎳與銅為 5~7 mg/kg、汞砷及鋅為 2~4 mg/kg，最後為鎘之 2~3 mg/kg，對照表 3 可發現，鎘、汞之偵測下限值

約與食用作物農地土壤規範大約相同，此顯示鎘與汞之檢測成果可能存在其誤差。相關操作照片如圖 3 所示，相關步驟如下：

- 1.分析前儀器需暖機 15~30 分鐘。
- 2.採集長和寬為 10×10 cm 且 2、3 cm 深之樣品，並將樣品內的石礫由土壤中移走。
- 3.若樣品屬於含有水分和高黏土成分，可將樣品置放在塑膠袋中揉捏使之均勻化。
- 4.自然烘乾使土壤盡可能保持乾燥。
- 5.以研鉢和碾槌磨碎土壤或底泥樣品，再以 60 篩目的篩網過篩，樣品應連續研磨至最少 90 %以上樣品通過 60 篩目之篩網。
- 6.將過篩後樣品混合均勻。
- 7.取適量過篩後樣品放置在 31 mm 的聚乙烯樣品承裝器內，以 2.5μm 的聚酯薄膜(Mylar)蓋住樣品承裝器，等待分析。
- 8.此外土壤表面應該盡量平坦，以便探針端的視窗有較佳表面接觸，建議壓緊土壤以增加土壤的緊密度，以得到較好的重複分析和代表性。
- 9.檢測時射源計數時間通常使用 30~120 秒，但射源計數時間會隨儀器不同而改變，和依偵測限值之需求而定，依儀器使用手冊之說明操作。

表2 ICP-OES與XRF比較一覽

| 儀器名稱  | ICP-OES                                              | XRF                                                                                                                                                        |
|-------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 檢驗用途  | 定量分析，適用於單一材料，需要隨貨附上檢驗報告者，如原料供應商，簡單零件供應商。             | 定性分析，用作確效、品保、線上生原料之快速分析，適用於零件組裝廠、成品廠。                                                                                                                      |
| 前處理方法 | EPA 3050B, EN 1122, EPA 3052                         | 不需要前處理，直接上機                                                                                                                                                |
| 環境危害  | 1.前處理使用強酸、實驗危險性高。<br>2.實驗室廢氣問題。<br>3.廢棄樣品容易造成二次環保問題。 | 無環境化學物污染問題                                                                                                                                                 |
| 廢溶劑處理 | 廢酸、化學廢水、實驗室廢氣                                        | 無實驗室廢棄物                                                                                                                                                    |
| 實驗時間  | 240~360 分鐘                                           | 4~6 分鐘                                                                                                                                                     |
| 特點    | 1.可作定量分析。<br>2.檢測法規明確。<br>3.高度擴充性。                   | 1.日本及歐洲官方建議使用之方法。<br>2.可保持樣品完整性，不需消化，省時、沒有廢氣及廢酸之污染，實驗無危險性。<br>3.偵測下限值門檻較高<br>2~3 mg/kg：鎘<br>2~4 mg/kg：汞、砷、鋅<br>5~7 mg/kg：鎳、銅<br>5~10 mg/kg：鉻<br>1~3 g/kg：鉛 |

資料來源：賴俊杰，2005。

表3 食用作物農地土壤規範

| 項目 | 銅       | 鎘     | 鉛       | 鋅       | 鉻       | 鎳       | 砷     | 汞   |
|----|---------|-------|---------|---------|---------|---------|-------|-----|
| 合格 | <120    | <2.5  | <300    | <260    | <175    | <130    | <30   | <2  |
| 監測 | 120~200 | 2.5~5 | 300~500 | 260~600 | 175~250 | 130~200 | 30~60 | 2~5 |
| 管制 | >200    | >5    | >500    | >600    | >250    | >200    | >60   | >5  |

註：本表單位為 mg/kg。



A. 土壤烘乾



B. 60 篩號篩網



C. 樣品裝袋



D. X 射線螢光光譜儀



E. 校正片



F. 機台箱

圖 3 土壤重金屬快篩相關步驟與設備

#### (四).空間推估方法

本研究除了為針對空間上各點土壤取樣之重金屬數據進行檢測標準分析，為進一步掌握灌區之土壤重金屬含量及分布，擬採樣空間推估方法中較常見之反距離權重法(IDW, inverse distance weighting)，反距離權重法是美國國家氣象局(U.S. National Weather Service)於 1972 年發展出的方法，主要依照平均權重的概念，利用未知測站的附近測站之水文量推估未知測站的水文量(Bedient et al., 1992; Goovaert, 2000)。反距離權重法之計算觀念源自於 1970 年提出之地理學第一定律(Tobler's first law)的觀念進行數據內插；依據未知點(目標點)和各個測站的距離關係給予權重，距離越近的權重越大，距離越遠的權重越小，權重乘以各個測站的水文或地文值，其總和即為未知點的估計量，其方程式表示如(1)~(2)式(Bedient et al., 1992; Burrough et al., 1998; Goovaert, 2000)：

$$\hat{R}_p = \sum_{i=1}^N w_i R_i \dots\dots\dots(1)$$

$$w_i = \frac{d_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-\alpha}} \dots\dots\dots(2)$$

式中： $\hat{R}_p$ 為未知點的估計地文量(mm/day)、 $R_i$ 為各測站的地文量(mm/day)、 $N$ 為土壤樣站的數量、 $w_i$ 為各樣站所佔之權重。 $d_i$ 為未知點和各樣站的距離(m)、 $\alpha$ 為指數，一般設為 2 (Zhu et al., 2004; Lin et al., 2008)。

### 三、結果與討論

#### (一).農地土壤重金屬含量檢測成果

金門地區土壤重金屬檢測成果如表 4 所示，利用食用作物農地土壤規範最為標準其各項重金屬合格、監測與管制之數量統計如表 5 所示，重金屬各個項目中銅最大濃度為 107 mg/kg 小於標準值 120 mg/kg，未發生有銅超標現象，鎘之檢測成果顯示均為 0 mg/kg，均未檢測出鎘含量，鉛之最大濃度為 85.9 mg/kg 均符合標準 300 mg/kg，鋅之最大濃度為 203 mg/kg 小於標準值 260 mg/kg，鉻之最大濃度為 104 mg/kg，小於標準值 250 mg/kg，鎳之最大濃度為 46 mg/kg，小於標準值 130 mg/kg，砷之最大濃度為 12.8 mg/kg，小於標準值 30 mg/kg，故總結金門地區農地土壤取樣檢測結果顯示銅、鎘、鉛、鋅、鉻、鎳及砷均未發生有超過食用作物農地土壤規範，然而汞之檢測結果顯示有 1 處土壤其濃度為 27.3 mg/kg，屬於管制標準，25 處汞之濃度為 2~3.6 mg/kg 屬於監測標準，而其他 45 處為合格。

綜合上述，土壤 8 大重金屬檢測結果中僅汞發生超標，71 處土壤樣品中合格點次有 45 處(合格率为 63.4%)、不合格點次 26 處，其中 25 處為監測(35.2%)、1 處管制(1.4%)；此外，另將 8 大重金屬檢測成果是否超過食用作物農地土壤規範之分布圖繪製如圖 5 所示，並將土壤合格與否標準利用鄉鎮進行統計，統計結果如表 6 所示，成果顯示金城鎮 11 個採樣點中有 7 處合格、4 處屬於監測、合格率約 63.6%，金湖鎮 15 個採樣點中有 11 處合格、4 處為監測、合格率 73.3%，金沙鎮 18 個採樣點中有 16 處合格、2 處監測、合格率為 88.9% 為 5 個鄉鎮中土壤合格率最高者，金寧鄉 19 處採樣點中僅 5 處合格、12 處監測及 1 處管制，合格率僅 27.8% 為 5 個鄉鎮中合格率最低者，烈嶼鄉 9 個採樣點中有 6 處合格、3 處監測、合格率为 66.7%。

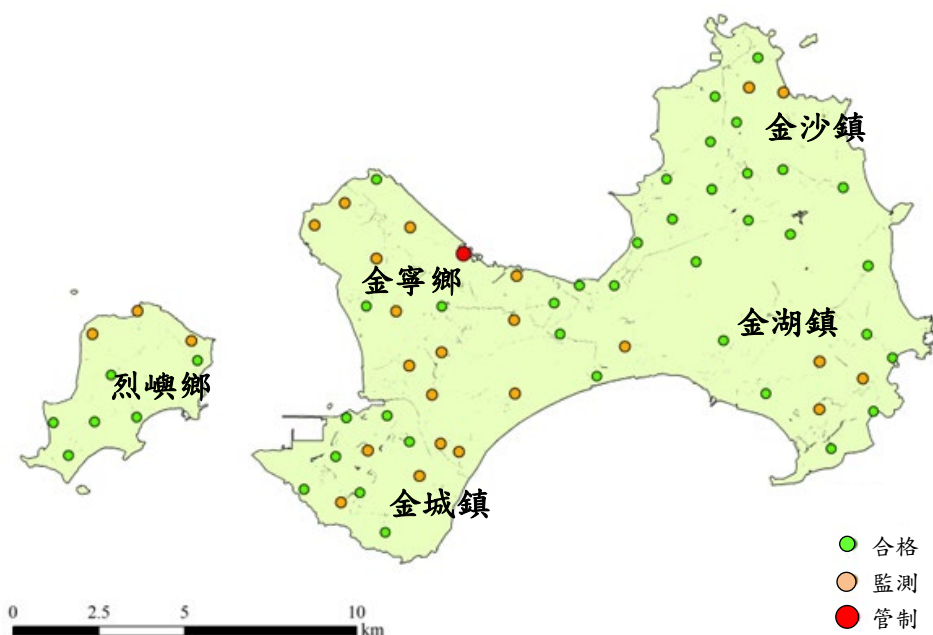


圖 4 土壤重金屬檢測成果點位分布

表4 農地土壤重金屬檢測成果統計

| 重金屬項<br>統計別 | 銅     | 鎘   | 鉛    | 鋅     | 鉻     | 鎳    | 砷    | 汞    |
|-------------|-------|-----|------|-------|-------|------|------|------|
| 最大值         | 107.0 | 0.0 | 85.9 | 203.0 | 104.0 | 46.0 | 12.8 | 27.3 |
| 平均值         | 19.7  | 0.0 | 25.5 | 61.1  | 42.1  | 14.3 | 3.7  | 2.1  |
| 最小值         | 0.0   | 0.0 | 7.8  | 10.3  | 9.8   | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| 標準差         | 18.0  | 0.0 | 15.1 | 40.2  | 25.1  | 8.8  | 3.1  | 3.3  |

本表單位：mg/kg

表5 農地土壤重金屬合格、監測與超標統計

| 重金屬項<br>類別 | 銅           | 鎘           | 鉛           | 鋅           | 鉻           | 鎳           | 砷           | 汞          | 整體         |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| 合格處<br>(%) | 71<br>100.0 | 71<br>100.0 | 71<br>100.0 | 71<br>100.0 | 71<br>100.0 | 71<br>100.0 | 71<br>100.0 | 45<br>63.4 | 45<br>63.4 |
| 監測處<br>(%) | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 25<br>35.2 | 25<br>35.2 |
| 管制處<br>(%) | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 0<br>0.0    | 1<br>1.4   | 1<br>1.4   |

註：整體之合格標準亦即 8 大重金屬項皆合格，任一項重金屬類別含量達管制則屬管制標準，而未達管制標準者任一項重金屬含量達監測標準則屬監測標準。

表6 各鄉鎮農地土壤重金屬檢測合格、監測與超標統計

| 鄉鎮別<br>類別  | 金城鎮       | 金湖鎮        | 金沙鎮        | 金寧鄉        | 烈嶼鄉       |
|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|
| 合格處<br>(%) | 7<br>63.6 | 11<br>73.3 | 16<br>88.9 | 5<br>27.8  | 6<br>66.7 |
| 監測處<br>(%) | 4<br>36.4 | 4<br>26.7  | 2<br>11.1  | 12<br>66.7 | 3<br>33.3 |
| 管制處<br>(%) | 0<br>0.00 | 0<br>0.00  | 0<br>0.00  | 1<br>5.56  | 0<br>0.00 |

註：整體之合格標準亦即 8 大重金屬項皆合格，任一項重金屬類別含量達管制則屬管制標準，而未達管制標準者任一項重金屬含量達監測標準則屬監測標準。

## (二).利用 IDW 空間推估農地土壤重金屬空間分布概況

承前述土壤重金屬檢測成果，本研究利用反距離權重空間推估將農地重金屬分布以圖資繪製呈現如圖 5 所示，結果顯示銅、鉛、鋅、鉻及砷等 5 類污染分布類似，均呈現金門南部及西部有含量較高之情形，而重金屬鉛、鋅、鉻及砷等 4 類重金屬元素則分布較為類似，主要以金門西部之金寧鄉含量較高，鎳之含量分布除主要為西北方及金門南方區域，而汞主要分布位置則相對集中在西北方沿海地區。

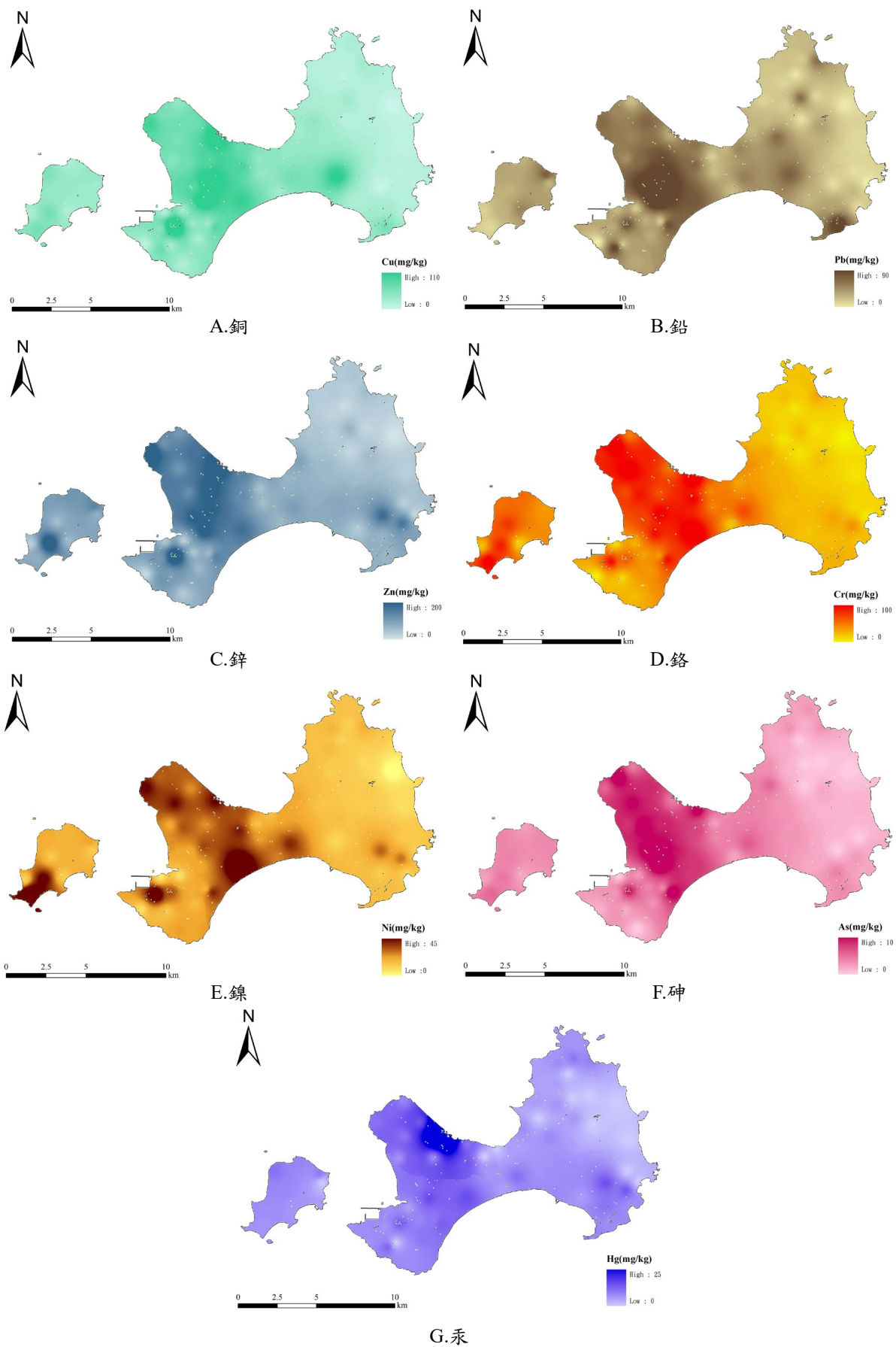


圖 5 應用 IDW 推估重金屬空間分布

#### 四、結論與建議

本研究針對金門地區進行農地土壤重金屬分布調查，透過現地農田土壤取樣並利用 XRF 快篩進行 8 大重金屬含量分析，檢測標準以食用作物農地土壤規範依重金屬含量區分合格、監測、管制等 3 類標準，本次研究共採集金門 71 處土壤樣品，其中 45 處達監測標準、1 處達管制標準，合格土壤樣品為 45 處，合格率 63.4 %，主要超標之重金屬項目為汞，然而食用作物農地土壤規範之汞濃度低於 XRF 儀器之偵測極限，故汞之檢測成果建議作為參考。本研究進一步以反距離權重法進行重金屬空間含量分布圖繪製，可藉由圖資迅速直觀判斷重金屬之空間分布特性，圖資誠顯示鉛、鋅、鉻及砷等 4 種元素分佈情形相似，顯示位於金門西側之金寧鄉或金城鎮其含量相對較高，本研究後續建議可建立土壤 ICP 精測成果與 XRF 快篩之關係，則可利用 XRF 之方便操作特性快速掌握農地土壤受污染之程度。

#### 參考文獻

1. Bedient, P. B., Huber, W. C., 1992, "Hydrology and floodplain analysis", 2nd ed., Addison-Wesley, Reading, MA.
2. Burrough, P. A., McDonnell R. A., 1998, "Principles of geographical information systems", Oxford.
3. Goovaerts, P., 2000, "Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall", Journal of Hydrology 228: 113-129.
4. Li, J., Heap, A. D., 2008, "Spatial interpolation methods: A Review for environmental scientists", Geoscience Australia, Record.
5. Zhu, H. Y., Jia, S. F., 2004, "Uncertainty in the spatial interpolation of rainfall data", Progress in Geography 23(2): 34-42.
6. 內政部營建署，2002，金門國家公園土壤調查分析及植生適應性研究，金門國家公園管理處委託研究報告。
7. 行政院農業委員會，2021，農業統計年報。
8. 行政院環境保護署，2015，土壤取樣方法(NIEA S102.63B)。
9. 林浩潭，2005，重金屬及微量元素對作物之影響，台灣農家要覽(三)農作篇，P.557-560。
10. 金門縣政府，2019，金門縣第五期(108~111 年)離島綜合建設實施方案(核定本)。
11. 陳吉村，1993，重金屬對農業的影響，花蓮區農業專訓 6，P.8-10。
12. 陳豐文、譚允維、卓宇謙、徐聖軒，2020，金門地區埤塘之蓄水量及水質調查及空間分析，109 年度農業工程研討會。
13. 陳豐文、陳靖葳、陳獻，2007，農業灌溉水質標準與工業放流水標準之差異性探討，水利工程研討會。

14. 葉玉珍、莊士群、潘復華、鄭先佑、蔡坤龍、高月裡、曹明浙，2011，以 XRF 直接定量底泥中鉛鎳鋅銅砷及鉻成分之檢測技術，環境分析化學研討會。
15. 農業工程研究中心，2018，金門地區複合式栽培之合理灌溉用水料調查及推估(第 1 年)，AERC-18-RR-18 研究報告。
16. 農業工程研究中心，2019，金門地區複合式栽培之合理灌溉用水料調查及推估(第 2 年)，AERC-19-RR-12 研究報告。
17. 臺灣省農田水利聯合會，1995，農田水利技術人員訓練教材-灌溉管理類合訂本(上)。
18. 賴俊杰，2005，RoHS 檢測方法比較(ICP-OES&ED-XRF)，檢驗技術簡訊第 12 期，BSMI 標準檢驗局。