**雲嘉南地區設施蔬菜土壤肥力及重金屬含量現況分析**

毛壬杰\*、黃瑞彰

行政院農業委員會臺南區農業改良場

\*E-mail:jcmao@mail.tndais.gov.tw

**摘要**

本研究目的為調查設施蔬菜土壤及植體重金屬含量現況分析，研究調查分別在2020、2021年於雲林、嘉義、臺南地區設施蔬菜產區共收集了植體及土壤樣本各84個，及設施蔬菜使用的灌溉水21個樣品，採自雲林縣、嘉義縣、臺南市等11個地區設施蔬菜產區，調查土壤各項肥力及土壤重金屬含量，以及蔬菜植體分析，進行設施蔬菜生產的重金屬含量現況分析。結果顯示，土壤肥力分佈範圍相當廣泛，土壤EC值偏高，pH值偏高，有機質含量較低，土壤有效性磷、鉀、鈣、鎂濃度偏高，土壤重金屬濃度皆低於管制標準植，由分析結果顯示所採樣的植體(可食用部位)樣品皆在安全範圍內。土壤各項肥力偏高，建議減少過量使用肥料，以合理化施肥策略調整耕作模式。

**關鍵字：設施蔬菜、土壤肥力、重金屬。**

**前言**

設施栽培土壤經過長期連續性耕作及不當的施肥管理，容易造成過多肥力或有機質含量降低而容易造成土壤劣化，產生連作障礙進而影響產量與品質，甚至有些過度施用禽畜糞肥料造成重金屬累積而影響蔬菜安全性疑慮，不當的堆肥或磷肥使用容易造成土壤中重金屬鎘的累積汙染Loganathan et al.(2008)。土壤中的各項營養元素及重金屬，亦會透過植株的根部吸收到植體各部位，因此本研究針對雲嘉南地區設施蔬菜進行土壤各項肥力、植體及灌溉水採樣調查，收集相關分析數據，以推薦合理之施肥及土壤管理並進一步進行蔬菜植體之重金屬累積及安全性評估。作為合理化施肥及土壤管理的建議，避免連作障礙的發生，維持土地的永續生產力。

**材料與方法**

一、本研究採田間採樣調查方式進行。

二、採樣地點分佈：雲林縣古坑鄉、西螺鎮、嘉義縣朴子市、六腳鄉、民雄鄉、新港鄉、布袋鎮、臺南市下營區、新化區、新市區、善化區等11個蔬菜產區。

三、採樣蔬菜種類包括：苦瓜、辣椒、小果番茄、青松菜、美濃瓜、莧菜、油菜、青江菜、蚵白菜、山苦瓜、黑葉白菜、彩椒、小黃瓜等13種蔬果作物。

四、採樣點紀錄採集地區、採集日期、採樣農戶姓名、採集點座標、種植作物及農民慣用肥料種類。

五、蔬菜及土壤採樣：每位農戶設施為採樣單位，每戶採樣單位分別採取各4個植體樣品與4個土壤樣品。不同蔬菜種類依照其採收適期不同時間進行採收，採樣時每包約600~1,000克混合成為一個樣品，並於採取植體的同時採取其根圈旁土壤混合成一個土壤樣品。

六、樣品前處理：植體樣品經自來水與去離子水沖洗，以紙巾吸乾表面水分；去除非可食用部位，植體樣品若需要削粒時採用陶瓷刀進行削粒作業，稱量鮮重；以陶瓷刀切成小塊，置入烘箱以70 ℃ 烘至恆重；秤量其乾重，使用鈦刀磨粉機進行粉碎後，置入塑膠罐中儲存備用。土壤樣品經風乾後，以木製磨土棍粉碎，過2 mm篩網，另外秤取20至30克樣品，重新粉碎過0.5 mm篩網，此樣品用以分析土壤肥力濃度。

七、樣品分析

1.植體成分及重金屬濃度：秤取 0.4克植體樣品，加入5 mL硝酸至50mL，以微波消化裝置(MARS 5；CEM, Mathews, NC, USA)加熱分解，加熱條件如下：第一階段功率設定1,600 W；升溫時間10分鐘，溫度設定180℃，持溫時間5分鐘。溫度設定200 ℃，持溫時間10分鐘。分解液以Whatman no.42濾紙過濾，以去離子水定量至50 mL。濾液以感應耦合電漿質譜儀(Ultima 2C, Horiba Jobin Yvon, Irvine, CA, USA)測定其各項肥力及重金屬元素的濃度。

2.土壤肥力及重金屬濃度：將土壤樣品與孟立克3號抽出液以土、水依重量體積比1：5的比例混合後，以往復式震盪機 140 rpm速率震盪 5 分鐘，立刻以Whatman 5號濾紙過濾，濾液以感應耦合電漿原子放射光譜分析儀分析各項肥力及重金屬元素的濃度。

**結果與討論**

一、土壤各項肥力性質及重金屬濃度分析結果：本研究設施蔬菜調查之主要土壤性質分布，其中土壤EC值分布範圍為0.09-4.75(dS/m)、pH值分布範圍為5.01.-8.51，有機質分布範圍為0.91-4.22(%)，土壤磷濃度分布範圍為40-888mg kg-1，土壤鉀濃度分布範圍為45-1,471mg kg-1，土壤鈣濃度分布範圍為1,428-10,150mg kg-1，土壤鎂濃度分布範圍為165-1,719mg kg-1，土壤鐵濃度分布範圍為145-793mg kg-1，土壤錳濃度分布範圍為10.2-209mg kg-1，土壤鋅濃度分布範圍為2.1-41.8mg kg-1，土壤銅濃度分布範圍為1.3-9.5mg kg-1，土壤鎘濃度分布範圍為0.003-0.09mg kg-1，土壤鉻濃度分布範圍為0.19-1.3mg kg-1，土壤鎳濃度分布範圍為0.48-2.48mg kg-1，土壤鉛濃度分布範圍為0.13-9.7mg kg-1，土壤鈉濃度分布範圍為22-2,125mg kg-1。

結果數據分析如表1所示，顯示田間土壤EC值、pH值、有機質含量及土壤各項肥力濃度分布相當廣泛。土壤EC值超過0.6標準範圍內的比例較高，推測可能因為設施蔬菜土壤中因為缺乏天然雨水淋洗或是農民肥料過度施用，造成鹽分累積過高，土壤pH值屬於鹼性7.4以上的比例最高，土壤有機質含量低於2.0以下的土壤比例較高，推測可能設施蔬菜內能因為高溫多濕環境容易造成有機質分解速度較快或是調查訪談的農民較少使用粗纖維有機質肥料作為基肥，以維持土壤有機質含量。土壤有效性磷、鉀、鈣、鎂濃度比較偏高，推測農民長期連續使用肥料造成累積過高，土壤重金屬濃度皆低於管制標準植，由分析結果顯示所採樣的土壤樣品皆在安全圍內。

二、蔬菜植體各項成分及重金屬濃度：其中碳濃度分布範圍為29.06-47.58mg kg-1，氮濃度分布範圍為0.06-7.92mg kg-1，磷濃度分布範圍為0.009-0.98mg kg-1，鉀濃度分布範圍為0.21-9.79mg kg-1，鈣濃度分布範圍為0.33-0.37mg kg-1，鎂濃度分布範圍為0.008-1.84mg kg-1，鋅濃度分布範圍為0.70-66.63mg kg-1，銅濃度分布範圍為0.32-18.3mg kg-1，鐵濃度分布範圍為5.40-2189.2mg kg-1，錳濃度分布範圍為0.46-80.8mg kg-1，鎘濃度分布範圍為0-0.28mg kg-1，鉻濃度分布範圍為0.12-21.62mg kg-1，鎳濃度分布範圍為0.18-109.49mg kg-1，鉛濃度分布範圍為0-5.04mg kg-1，鈉濃度分布範圍為208.02-24,500mg kg-1。分析結果顯示，植體各項成分及重金屬元素濃度範圍差異性相當大。其中鈉濃度最小值與最大值相差超過100倍，值得進一步深入探討其原因。

三、灌溉水檢測結果：主要以地下水為主，EC值分布範圍為0.02-2.41(dS/m)、pH值分布範圍為6.61.-8.94。

四、植體重金屬安全性評估分析結果

由表3乾重含量植體(可食用部位)分析資料，顯示重金屬銅含量高低，依序為山苦瓜＞苦瓜＞紅彩椒＞莧菜＞辣椒＞小黃瓜＞黑葉白菜＞蚵白菜＞青松菜＞油菜＞青江菜＞小番茄＞美濃瓜。 結果顯示，除了美濃瓜以外，果菜類蔬菜吸收銅能力比葉菜類蔬菜高。

由表4乾重含量植體(可食用部位)分析資料，顯示重金屬鋅含量高低，依序為莧菜＞黑葉白菜＞山苦瓜＞蚵白菜＞青松菜＞油菜＞青江菜＞紅彩椒＞小黃瓜＞苦瓜＞辣椒＞小番茄＞美濃瓜。結果顯示，除了山苦瓜以外，葉菜類蔬菜吸收鋅能力比果菜類蔬菜高。

由表5乾重含量植體(可食用部位)分析資料，顯示重金屬鎘含量高低，依序為油菜＞莧菜＞青江菜＞青松菜＞紅彩椒＞黑葉白菜=小黃瓜＞蚵白菜＞山苦瓜＞小番茄＞美濃瓜=苦瓜=辣椒。結果顯示，葉菜類蔬菜吸收鎘能力比果菜類蔬菜高。

由表六乾重含量植體(可食用部位)分析資料，顯示重金屬鉛含量高低，依序為蚵白菜＞山苦瓜＞紅彩椒＞小黃瓜＞黑葉白菜＞美濃瓜＞辣椒＞青松菜＞小番茄＞油菜＞青江菜＞莧菜＞苦瓜。結果顯示，果菜類與葉菜類蔬菜對鉛吸收能力都有較強的不同蔬菜種類。

由毛壬杰與黃瑞彰(2017)高風險農地低鎘吸收作物篩選之研究，顯示葉菜類蔬菜種類在各種蔬果中對鎘吸收能力調查中是屬於較強作物種類。與本研究調查結果相符。其中莧菜結果分析，對鎘吸收能力也是相當高的蔬菜種類，亦與Lin Y. W等人(2015)研究結果相符。

**結論**

由本研究結果可知，雲嘉南地區設施蔬菜土壤因為缺乏天然雨水淋洗容易造成EC值比例偏高，容易累積較高鹽分，建議引用較低EC值的灌溉水淋洗；pH偏鹼性，建議利用酸性資材進行土壤改良；土壤有機質含量較低，建議使用粗纖維有機質肥料累積土壤有機質含量；土壤各項肥力偏高，建議減少過量使用肥料，以合理化施肥策略調整耕作模式。各種重金屬含量因不同蔬菜種類而有不同累積能力，同時也受到土壤母岩影響、靠山或沿海地區及農民施肥種類及用量而有所差異，未來可以累積更多調查分析數據來印證不同土壤及蔬菜種類的累積能力的特性，以提供更多蔬菜安全性的評估。

**參考文獻**

1. 毛壬杰、黃瑞彰。2020。 高風險農地不同蕓苔屬蔬菜對鎘吸收能力之研究. 農田土壤肥料成載量及土壤管理研討會論文。
2. 毛壬杰、黃瑞彰。2019。高風險農地不同玉米栽培種對鎘吸收能力之研究. 農田土壤肥料成載量及土壤管理研討會論文。
3. 毛壬杰、黃裕銘、黃政華、黃瑞彰、王聖善、吳東鴻、林毓雯。2018.高風險農地不同毛豆栽培種對格吸收能力之研究.農田土壤肥料成載量及土壤管理研討會論文。
4. 毛壬杰、黃裕銘。2018。不同毛豆栽培種對鎘吸收之研究.中興大學土壤環境科學系碩士論文。
5. 毛壬杰、黃瑞彰。2017。高風險農地低鎘吸收作物篩選之研究.台南區農業改良場研究彙報。第69期。P 58-68。
6. 毛壬杰、黃瑞彰。2016。雲嘉南蔬菜生產區之蔬菜重金屬含量之安全性評估.台南區農業改良場研究彙報。第67期:49-61。
7. Lin Y. W., T. S. Liu, H. Y. Guo, C. M. Giang, H. J. Tang, H. T. Chen, and J. H. Chen. 2015: Relationships between Cd concentrations in different vegetables and those in arable soils, and food safety evaluation of vegetables in Taiwan. Soil Sci. Plant Nutr. 61: 983-998. DOI: 10.1080/00380768.2015.1078219.
8. Lune P, Zwart KB 1997: Cadmium uptake by crops from the subsoil. Plant and Soil, 189, 231-237.
9. Loganathan, P., M.J. Hedley, and N.D. Grace. 2008: Pasture soils contaminated with fertilizer-derived cadmium and fluorine: livestock effects. Rec. Envirn. Contam. Toxicol. 192:29-66
10. Yang J, H Guo, Ma Y, Wang L, Wei D, Hua L 2010: Genotypic variations in the accumulation of Cd exhibited by different vegetables. *J. Environ. Sci.* 22:1246-1252
11. Zhang H, Chen J, Zhu L, Yang G, Li D 2014: Transfer of Cadmium from Soil to Vegetable in the Pearl River Delta area, South China. PLoS ONE. doi:10.1371/journal.pone.0108572.

表1.2020-2021年設施蔬菜調查土壤各項肥力分析結果(樣本數共84點)

Table 1.Analysis results of various soil fertility in the greenhouse vegetables survey from 2020 to 2021.( sample size : 84 )

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 項目 | 範圍 | 件數(件) | 比例(%) | 合計(件) |
| EC(1:5)  (dS/m) | 低至中<0.6  高>0.6(0.09-4.75) | 31  53 | 37  63 | 84 |
| pH  (1:1) | 強酸性土5.5以下  微至中度酸性土5.6～6.5  中性土6.6～7.3  鹼性土7.4以上(5.01~8.51) | 4  16  27  37 | 5  19  32  44 | 84 |
| 有機質  (%) | 低2.00以下  中2.01～3.00  高3.01以上(0.91~4.22) | 47  25  12 | 56  30  14 | 84 |
| 有效性磷  (mg kg-1) | 低100以下  中100～200  高200以上(40-888) | 6  10  68 | 7  12  81 | 84 |
| 有效性鉀  (mg kg-1) | 低100以下  中100～200  高200以上(45-1471) | 10  18  56 | 12  21  67 | 84 |
| 有效性鈣  (mg kg-1) | 低1000以下  中1000～3000  高3000以上(1428~10150) | 0  32  52 | 0  38  62 | 84 |
| 有效性鎂  (mg kg-1) | 低100以下  中100～250  高250以上(165~1719) | 0  11  73 | 0  13  87 | 84 |

表2.雲嘉南蔬菜生產區土壤重金屬含量分布(樣本數共84點)

Table 2. The distribution of soil heavy metal content in **Yulin, Chiayi and Tainan Area** with different vegetable crops ( sample size : 84 )

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 蔬菜  種類 | 樣品數 | 銅 | 鋅 | 鎘 | 鉛 | 鉻 | 鈉 |
| -------------------------------------------------------------------------------------------(mg kg-1) --------------------------------------------------- | | | | | |
| 苦瓜 | 16 | 1.3-6.5 | 2.1-22.6 | 0.005-0.062 | 1.28-40 | 0.19-0.7 | 167-1687 |
| 辣椒 | 4 | 1.6-2.1 | 11.9-13.7 | 0.01-0.02 | 0.7-1.2 | 0.92-1.00 | - |
| 小番茄 | 8 | 1.3-5.6 | 5.5-8.5 | 0.06-0.09 | 1.0-6.5 | 0.57-1.02 | 417-2125 |
| 青松菜 | 4 | 1.7-2.4 | 6.6-12 | 0.01-0.03 | 8.2-9.7 | 0.57-0.73 | 42-55 |
| 美濃瓜 | 12 | 1.6-4.4 | 3.5-17 | 0.01-0.05 | 2.49-8.9 | 0.62-1.3 | 22-83 |
| 莧菜 | 4 | 6.3-7.3 | 39-41.8 | 0.07-0.09 | 0.13-0.34 | 0.32-0.36 | 128-182 |
| 油菜 | 4 | 2.8-3.2 | 8.0-10.8 | 0.03-0.05 | 2.3-2.8 | 0.52-0.64 | 171-174 |
| 青江菜 | 4 | 2.7-4.0 | 8.6-12.9 | 0.04-0.06 | 2.3-3.5 | 0.6-0.72 | 172-182 |
| 蚵白菜 | 4 | 2.8-3.0 | 7.2-8.5 | 0.02-0.04 | 6.84-7.98 | 0.66-0.74 | 184-381 |
| 山苦瓜 | 4 | 1.8-2.5 | 4.0-5.1 | 0.01-0.03 | 4.50-5.49 | 0.46-0.6 | 458-1828 |
| 黑葉  白菜 | 4 | 1.7-2.1 | 3.7-4.2 | 0.01-0.01 | 4.78-5.4 | 0.54-0.59 | 167-492 |
| 紅彩椒 | 8 | 4.2-9.5 | 5.7-16.0 | 0.003-0.012 | 3.12-7.65 | 1.10-1.22 | 427-815 |
| 小黃瓜 | 8 | 2.1-7.8 | 6.9-23.4 | 0.003-0.053 | 2.60-4.12 | 0.96-1.07 | 270-1508 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

表3. 不同蔬菜種類植體(可食用部份)重金屬銅含量調查(樣品數共84點)

Table 3. The content of Copper in different vegetables (the edible part) ( sample size : 84)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 蔬菜種類 | 樣品數 | 最小值 | 最大值 | 平均值 |
| --------------------------------(mg kg-1) -------------------------------- | | |
| 苦瓜 | 16 | 10.62 | 18.0 | 13.78 |
| 辣椒 | 4 | 10.4 | 12.6 | 11.6 |
| 小番茄 | 8 | 1.34 | 2.13 | 1.66 |
| 青松菜 | 4 | 5.98 | 6.31 | 6.13 |
| 美濃瓜 | 12 | 0.32 | 0.69 | 0.49 |
| 莧菜 | 4 | 11.32 | 12.08 | 11.68 |
| 油菜 | 4 | 5.84 | 6.38 | 6.09 |
| 青江菜 | 4 | 4.95 | 5.86 | 5.42 |
| 蚵白菜 | 4 | 5.9 | 6.9 | 6.5 |
| 山苦瓜 | 4 | 17.7 | 18.3 | 18.0 |
| 黑葉白菜 | 4 | 7.1 | 7.6 | 7.4 |
| 紅彩椒 | 8 | 10.1 | 16.15 | 13.39 |
| 小黃瓜 | 8 | 9.36 | 11.79 | 10.45 |
|  |  |  |  |  |

註：以上植體分析數值皆為乾基

Note : The data were showed as dry plant tissue.

表4. 不同蔬菜種類植體(可食用部份)重金屬鋅含量調查(樣品數共84點)

Table 4. The content of Zinc in different vegetables (the edible part) ( sample size : 84)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 蔬菜種類 | 樣品數 | 最小值 | 最大值 | 平均值 |
| --------------------------------(mg kg-1) -------------------------------- | | |
| 苦瓜 | 16 | 24.4 | 44.20 | 34.3 |
| 辣椒 | 4 | 18.8 | 21.0 | 20.0 |
| 小番茄 | 8 | 2.58 | 3.39 | 2.948 |
| 青松菜 | 4 | 42.26 | 44.83 | 43.21 |
| 美濃瓜 | 12 | 0.70 | 1.35 | 1.134 |
| 莧菜 | 4 | 59.49 | 66.63 | 62.98 |
| 油菜 | 4 | 38.74 | 42.70 | 40.86 |
| 青江菜 | 4 | 38.46 | 42.22 | 40.61 |
| 蚵白菜 | 4 | 47.4 | 51.1 | 49.7 |
| 山苦瓜 | 4 | 51.4 | 55.7 | 53.2 |
| 黑葉白菜 | 4 | 54.0 | 62.6 | 58.4 |
| 紅彩椒 | 8 | 24.50 | 58.02 | 40.38 |
| 小黃瓜 | 8 | 32.21 | 42.92 | 38.34 |
|  |  |  |  |  |

註：以上植體分析數值皆為乾基

Note : The data were showed as dry plant tissue.

表5. 不同蔬菜種類植體(可食用部份)重金屬鎘含量調查(樣品數共84點)

Table 5. The content of Cadmium in different vegetables (the edible part) ( sample size : 84)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 蔬菜種類 | 樣品數 | 最小值 | 最大值 | 平均值 |
| --------------------------------(mg kg-1) -------------------------------- | | |
| 苦瓜 | 16 | ND | 0.08 | ND |
| 辣椒 | 4 | ND | 0.08 | ND |
| 小番茄 | 8 | 0.011 | 0.02 | 0.01 |
| 青松菜 | 4 | 0.122 | 0.18 | 0.14 |
| 美濃瓜 | 12 | ND | 0.001 | ND |
| 莧菜 | 4 | 0.221 | 0.25 | 0.24 |
| 油菜 | 4 | 0.247 | 0.28 | 0.26 |
| 青江菜 | 4 | 0.191 | 0.23 | 0.20 |
| 蚵白菜 | 4 | 0.105 | 0.13 | 0.11 |
| 山苦瓜 | 4 | 0.013 | 0.06 | 0.03 |
| 黑葉白菜 | 4 | 0.106 | 0.14 | 0.12 |
| 紅彩椒 | 8 | 0.001 | 0.19 | 0.13 |
| 小黃瓜 | 8 | 0.089 | 0.15 | 0.12 |
|  |  |  |  |  |

註：以上植體分析數值皆為乾基

Note : The data were showed as dry plant tissue.

表6. 不同蔬菜種類植體(可食用部份)重金屬鉛含量調查(樣品數共84點)

Table 6. The content of Lead in different vegetables (the edible part) ( sample size : 84)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 蔬菜種類 | 樣品數 | 最小值 | 最大值 | 平均值 |
| --------------------------------(mg kg-1) -------------------------------- | | |
| 苦瓜 | 16 | ND | 1.98 | ND |
| 辣椒 | 4 | 1.16 | 1.81 | 1.56 |
| 小番茄 | 8 | 0.32 | 0.35 | 0.34 |
| 青松菜 | 4 | 1.35 | 1.71 | 1.53 |
| 美濃瓜 | 12 | 0.36 | 4.59 | 2.04 |
| 莧菜 | 4 | 0.06 | 0.07 | 0.07 |
| 油菜 | 4 | 0.17 | 0.28 | 0.22 |
| 青江菜 | 4 | 0.14 | 0.18 | 0.16 |
| 蚵白菜 | 4 | 3.45 | 5.04 | 4.55 |
| 山苦瓜 | 4 | 3.28 | 4.39 | 3.85 |
| 黑葉白菜 | 4 | 1.97 | 2.51 | 2.23 |
| 紅彩椒 | 8 | 2.02 | 3.12 | 2.44 |
| 小黃瓜 | 8 | 1.75 | 2.88 | 2.28 |
|  |  |  |  |  |

註：以上植體分析數值皆為乾基

Note : The data were showed as dry plant tissue.

**Analysis of heavy metals and fertility in soil and greenhouse vegetables** **in Yulin, Chiayi and Tainan**

Jen Chieh Mao\* and J. C. Huang

Tainan District Agricultural Research and Extension Station Council of Agriculture, Executive Yuan

\*E-mail:jcmao@mail.tndais.gov.tw

**Abstract**

This study is to investigate heavy metals of greenhouse vegetables in soils and plants. The 84 plant , soil and 21 water samples were collected from the greenhouse vegetables production areas, including **Yulin, Chiayi and Tainan Area**, in 2020 and 2021. To investigatefertility andheavy metal in soil and vegetables evaluated safety of greenhouse vegetables. The results showed that the range of soil fertility is very wide, EC, pH in soil are higher , organic matter in soil are lower, soil available P, K, Ca, Mg are higher, and heavy metals in soil are under regulatory standards. The results showed that samples of vegetables (the edible part) are under range in safety. Due to the higher soil fertility, reducing fertilizer rate and rational fertilization were recommended.

**Keywords: greenhouse vegetables , soil fertility, heavy metals.**