

# 雲嘉南地區設施蔬菜土壤肥力及安全性評估

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

本研究分別於 2020、2021 年於雲嘉南地區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，將有助於提高高風險農地蔬菜生產的安全性。

關鍵字：鎘、低鎘吸收、生物濃縮因子、安全性。

## 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土壤劣化，產生連作障礙而影響產量，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。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，對雲嘉南地區設施蔬菜進行土壤各項肥力與植體採樣調查，收集相關土壤及植體分析資料，以推薦合理之施肥及土壤管理並進行蔬菜之重金屬安全性評估。

## 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：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 個主要蔬菜產區
- 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 4ek7 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 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合成一個土壤樣品。所有植體樣品及土壤樣品均需裝於乾淨的塑膠密封袋內，並盡快送至實驗室進行處理。
- 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 °C 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. 植體鎘濃度

秤取 0.4 克植體樣品，加入 12 mL 硝酸+4mL 鹽酸，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°C，持溫時間 5 分鐘。溫度設定 200 °C，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)測定鎘濃度。

### 2. 土壤鎘濃度

秤取 0.5 克土壤樣品，加入 8mL 鹽酸和硝酸(體積比 3:1，王水)混合，以微波消化裝置(MARS 5；CEM, Mathews, NC, USA)加熱分解，加熱條件如下：功率設定 1,600W；升溫時間 20 分鐘，溫度設定 180°C，持溫時間 20 分鐘。分解液以 Whatman no.42 濾紙過濾，以去離子水定量至 50mL。濾液以感應耦合電漿質譜儀(Ultima 2C, Horiba jobin Yvon, Irvine, CA, USA)測定鎘濃度。

## 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詳如表 1 所示，本試驗總共採樣 84 個土壤樣品及 84 個植體樣品。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<sup>-1</sup>，土壤鉀濃度分布範圍為 45-1471mg kg<sup>-1</sup>，土壤鈣濃度分布範圍為 1428-10150mg kg<sup>-1</sup>，土壤鎂濃度分布範圍為 165-1719mg kg<sup>-1</sup>，土壤鋅濃度分布範圍為 2.1-41.8mg kg<sup>-1</sup>，土壤銅濃度分布範圍為 1.3-9.5mg kg<sup>-1</sup>，土壤鐵濃度分布範圍為 145-793mg kg<sup>-1</sup>，土壤錳濃度分布範圍為 10.2-209mg kg<sup>-1</sup>，土壤鎘濃度分布範圍為 0.003-0.09mg kg<sup>-1</sup>，土壤鉻濃度分布範圍為 0.19-1.3mg kg<sup>-1</sup>，土壤鎳濃度分布範圍為 0.48-2.48mg kg<sup>-1</sup>，土壤鉛濃度分布範圍為 0.13-9.7mg kg<sup>-1</sup>，土壤鈉濃度分布範圍為 22.47-2125mg kg<sup>-1</sup>，數據顯示田間土壤 pH 值、CEC、土壤各項肥力濃度分布相當廣泛，土壤重金屬濃度皆低於管制標準值，由分析結果顯示所採樣的土壤樣品皆在安全範圍內。

### 二、蔬菜各項肥力性質及重金屬濃度

其中碳濃度分布範圍為 29.06-47.58mg kg<sup>-1</sup>，氮濃度分布範圍為 0.069-7.92mg kg<sup>-1</sup>，磷濃度分布範圍為 0.009-0.985mg kg<sup>-1</sup>，鉀濃度分布範圍為 0.208-9.798mg kg<sup>-1</sup>，鈣濃度分布範圍為 0.334-0.378mg kg<sup>-1</sup>，鎂濃度分布範圍為 0.008-1.845mg kg<sup>-1</sup>，鋅濃度分布範圍為 0.702-66.637mg kg<sup>-1</sup>，銅濃度分布範圍為 0.322-18.3mg kg<sup>-1</sup>，鐵濃度分布範圍為 5.404-2189.2mg kg<sup>-1</sup>，錳濃度分布範圍為 0.4606-80.8mg kg<sup>-1</sup>，鎘濃度分布範圍為 0.-0.282mg kg<sup>-1</sup>，鉻濃度分布範圍為 0.1258-21.62mg kg<sup>-1</sup>，鎳濃度分布

範圍為 0.1830-109.493mg kg<sup>-1</sup>，鉛濃度分布範圍為 0-5.047mg kg<sup>-1</sup>，鈉濃度分布範圍為 208.02-24500mg kg<sup>-1</sup>。

### 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、植體分析結果

由表二乾重含量植體(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。

由表三植體(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。

由表三植體(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。

由表三植體(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。

由毛壬杰、黃瑞彰(2017)高風險農地低鎘吸收作物篩選之研究，顯示莖臺屬蔬菜品種在各蔬果對鎘吸收能力調查中屬於較低吸收能力的作物種類。而不同莖臺屬蔬菜品種對個別吸收能力的差異性也相當大。由圖 3(B)青花菜(綠王)的植體鎘濃度與土壤鎘濃度散佈圖中，可以看出在土壤鎘濃度超過 1 mg kg<sup>-1</sup>(乾重計)以上，有部分超過衛福部蔬果重金屬鎘的限量標準 0.05 mg kg<sup>-1</sup>(鮮重計)。由圖 3(C)花椰菜(夏花)的植體鎘濃度與土壤鎘濃度散佈圖中，可以看出在土壤鎘濃度超過 2mg kg<sup>-1</sup>(乾重計)以上，花椰菜(夏花)的植體鎘濃度會有往上升高的趨勢。其他莖臺屬蔬菜品種由圖 3(A)，(D)~(P)散佈圖中，在土壤鎘濃度 3mg kg<sup>-1</sup>(乾重計)以下，植體鎘濃度符合衛福部蔬果重金屬鎘的限量標準 0.05 mg kg<sup>-1</sup>(鮮重計)以下，因此建議在土壤鎘濃度 3mg kg<sup>-1</sup>(乾重計)以下高風險農地考慮種植低鎘吸收莖臺屬蔬菜品種如青花菜(綠寶)、花椰菜(鳳玉)、花椰菜(愛玉)、花椰菜(雪姬)、甘藍(初秋)、甘藍(大福)、甘藍(大吉)、甘藍(大利)、甘藍(大華)、甘藍(大樂)、甘藍(夏安)、甘藍(夏天)、甘藍(高峰)、球莖甘藍(大頭菜)等品種，以降低高風險農地產出超過限量標準的農產品。

### 結論

由本研究結果可知莖臺屬蔬菜品種之重金屬鎘累積能力，隨著莖臺屬蔬菜品種不同而有差異。未來可以累積更多試驗數據印證不同莖臺屬蔬菜品種之鎘累積

能力的特性，以提供高污染風險農地選擇安全性較高作物品項之參考，因此，由本研究結果顯示可建議在鎘污染的高風險農地，應避免種植對鎘累積能力較高的莖葉屬蔬菜品種。

#### 誌謝

本研究承蒙土肥研究室全體同仁協助執行，並提供寶貴意見，特別感謝行政院農業委員會農業試驗所農業化學組林毓雯博士協助各項重金屬濃度分析，使得本試驗得以圓滿執行完成，謹此致謝。

#### 參考文獻

1. 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。
2. 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。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。
4. 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。
5. 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。
6. 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.
7. Lune P, Zwart KB 1997: Cadmium uptake by crops from the subsoil. *Plant and Soil*, 189, 231-237.
8. 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
9. 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.

表一、雲嘉南蔬菜生產區土壤重金屬含量分佈(樣本數共 84 點)

Table 1. 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	-----(mg kg <sup>-1</sup> )			
				鎘	鉛	鉻	鈉
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
總計	84						

表二、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 2. 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
		-----( $\text{mg kg}^{-1}$ )-----		
苦瓜	16	10.62	18.0	13.78
辣椒	4	10.4	12.6	11.6
小番茄	8	1.345	2.130	1.665
青松菜	4	5.98	6.31	6.13
美濃瓜	12	0.322	0.694	0.492
莧菜	4	11.328	12.088	11.683
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	16.156	13.39
小黃瓜	8	9.366	11.79	10.458
總計	84			

註：以上植體分析數值皆為乾基

Note : The data were showed as dry plant tissue.

表三、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 2. 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
		-----( $\text{mg kg}^{-1}$ )-----		
苦瓜	16	24.4	44.20	34.3
辣椒	4	18.8	21.0	20.0
小番茄	8	2.585	3.398	2.948
青松菜	4	42.26	44.83	43.21
美濃瓜	12	0.702	1.352	1.134
莧菜	4	59.492	66.637	62.988
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	24.506	58.022	40.385
小黃瓜	8	32.216	42.924	38.342
總計	84			

註：以上植體分析數值皆為乾基

Note : The data were showed as dry plant tissue.

表四、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 2. 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
		-----( $\text{mg kg}^{-1}$ )-----		
苦瓜	16	ND	0.08	ND
辣椒	4	ND	0.08	ND
小番茄	8	0.011	0.025	0.017
青松菜	4	0.122	0.184	0.145
美濃瓜	12	ND	0.0017	ND
莧菜	4	0.221	0.258	0.240
油菜	4	0.247	0.282	0.263
青江菜	4	0.191	0.234	0.209
蚵白菜	4	0.105	0.131	0.116
山苦瓜	4	0.013	0.068	0.034
黑葉白菜	4	0.106	0.142	0.121
紅彩椒	8	0.001	0.190	0.139
小黃瓜	8	0.089	0.159	0.121
總計	84			

註：以上植體分析數值皆為乾基

Note : The data were showed as dry plant tissue.

表五、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 2. 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
		-----( $\text{mg kg}^{-1}$ )-----		
苦瓜	16	ND	1.98	ND
辣椒	4	1.16	1.81	1.56
小番茄	8	0.325	0.356	0.344
青松菜	4	1.351	1.716	1.534
美濃瓜	12	0.368	4.590	2.048
莧菜	4	0.061	0.079	0.070
油菜	4	0.171	0.281	0.229
青江菜	4	0.145	0.189	0.168
蚵白菜	4	3.457	5.047	4.550
山苦瓜	4	3.287	4.390	3.853
黑葉白菜	4	1.973	2.510	2.232
紅彩椒	8	2.021	3.120	2.443
小黃瓜	8	1.752	2.884	2.282
總計	84			

註：以上植體分析數值皆為乾基

Note : The data were showed as dry plant tissue.

表 1: 不同莖臺屬類蔬菜食用部位鎘濃度及其採樣田區之土壤性質分布範圍

Table1: Overview of pH, CEC, and total Cd of soil, and Cd concentrations of fresh vegetables (FW) along with BCF, and BCF rank of Cd in different brassica vegetables.

蔬菜種類 品種	樣 品 數	pH	CEC ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	土壤鎘 ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	植體鮮重鎘 ( $\text{mg kg}^{-1}\text{FW}^{-1}$ ) 平均值(範圍)	生物濃縮因子 BCF 平均值(範圍)	生物濃縮因子 (BCF)排序
球莖甘藍 (大頭菜)	49	6.52-7.69	4.32-6.87.	0.56-2.63	0.013(0.006-0.033)	0.0127(0.005-0.027)	8
青花菜(綠寶)	30	7.07-7.90	5.55-9.80	0.51-2.66	0.015(0.004-0.042)	0.0148(0.007-0.023)	4
青花菜(綠王)	30	6.16-7.74	4.79-6.23	0.54-2.27	0.040(0.017-0.068)	0.0388(0.014-0.063)	1
花椰菜(夏花)	30	6.82-7.45	5.64-9.80	0.52-2.20	0.026(0.016-0.051)	0.0273(0.020-0.034)	2
花椰菜(鳳玉)	30	5.83-7.55	3.06-6.51	0.65-2.52	0.015(0.007-0.028)	0.0131(0.007-0.019)	6
花椰菜(愛玉)	30	6.16-7.42	3.32-6.34	0.62-2.76	0.014(0.009-0.030)	0.0122(0.006-0.018)	10
花椰菜(雪姬)	30	6.38-7.49	5.25-6.42	0.79-2.45	0.027(0.020-0.045)	0.0227(0.015-0.034)	3
甘藍(初秋)	30	6.86-7.92	5.07-6.69	0.43-2.88	0.008(0.001-0.030)	0.0079(0.003-0.039)	13
甘藍(大福)	30	7.41-8.19	5.18-6.41	0.68-2.40	0.009(0.004-0.022)	0.0067(0.004-0.009)	14
甘藍(大吉)	30	7.29-8.16	3.79-6.18	1.15-2.57	0.018(0.013-0.021)	0.0102(0.006-0.013)	11
甘藍(大利)	30	7.38-8.00	4.64-6.18	0.84-2.51	0.021(0.002-0.031)	0.0132(0.001-0.019)	5
甘藍(大華)	30	7.43-8.00	3.65-6.58	0.74-2.79	0.018(0.010-0.031)	0.0130(0.006-0.026)	7
甘藍(大樂)	30	7.50-8.05	5.14-6.59	0.76-2.57	0.007(0.003-0.013)	0.0056(0.003-0.007)	15

甘藍(夏安)	30	7.00-8.01	4.33-6.49	0.51-2.90	0.006(0.003-0.010)	0.0054(0.003-0.009)	16
甘藍(夏天)	30	7.17-8.10	5.28-6.30	0.82-2.34	0.012(0.008-0.024)	0.0091(0.006-0.014)	12
甘藍(高峰)	30	7.23-7.95	5.15-6.46	0.66-2.81	0.015(0.009-0.029)	0.0124(0.007-0.018)	9
總計	499	5.83-8.19	3.06-9.80	0.43-2.90	0.001-0.051	0.001-0.063	

---

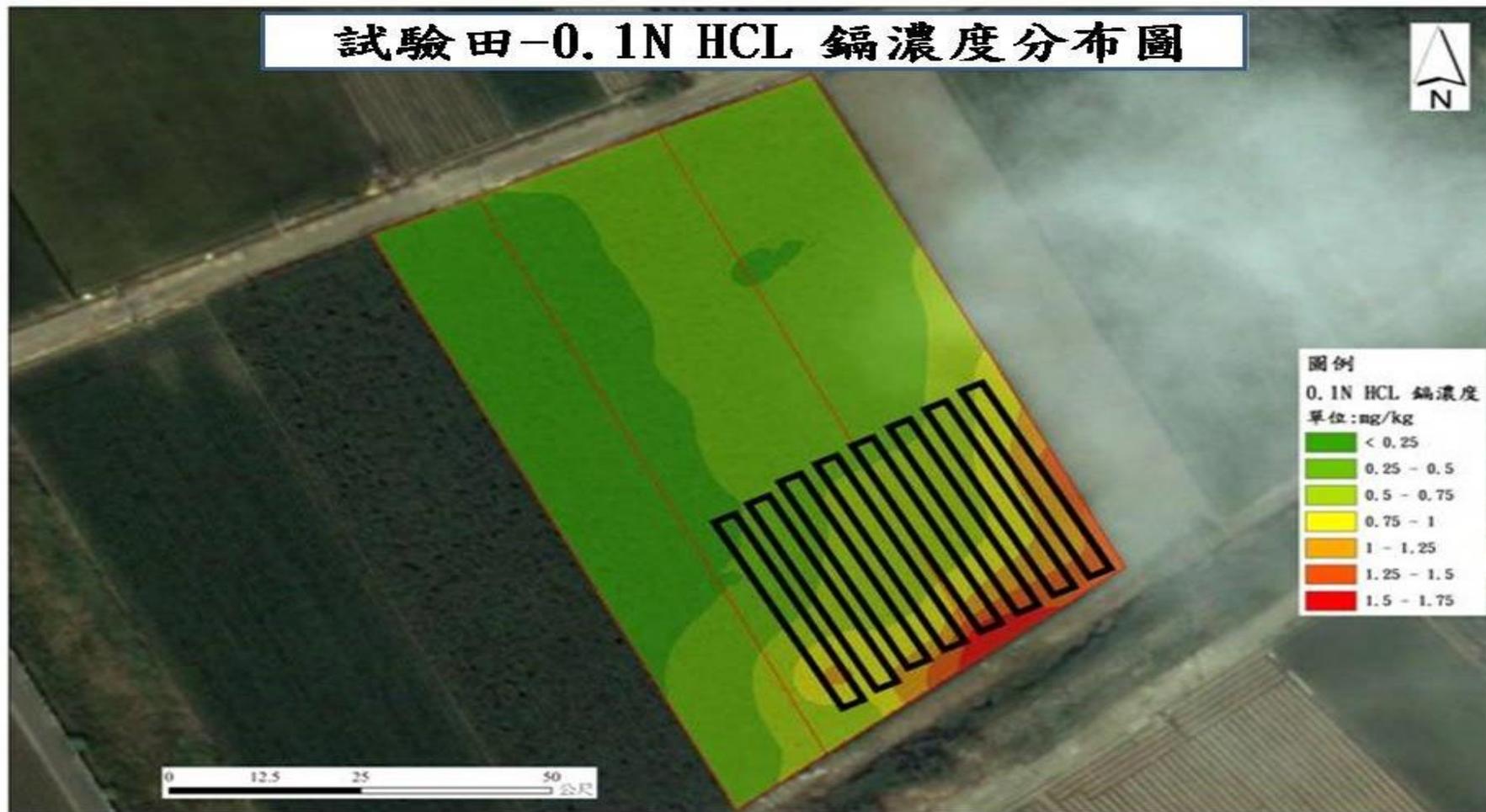


Figure 1: Distribution of Cd concentrations at experimental site

圖 1: 試驗田區土壤鎘濃度分布圖

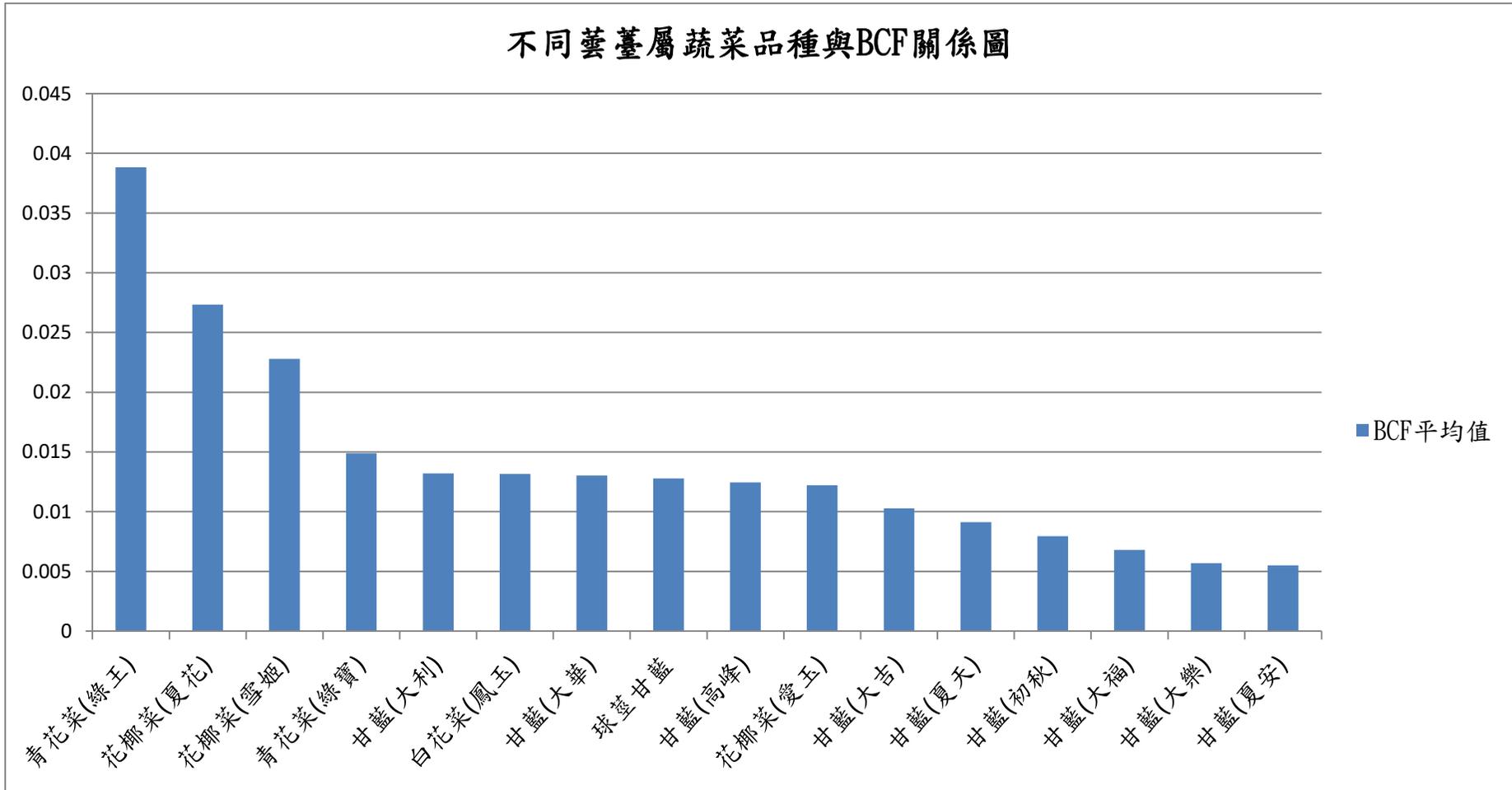
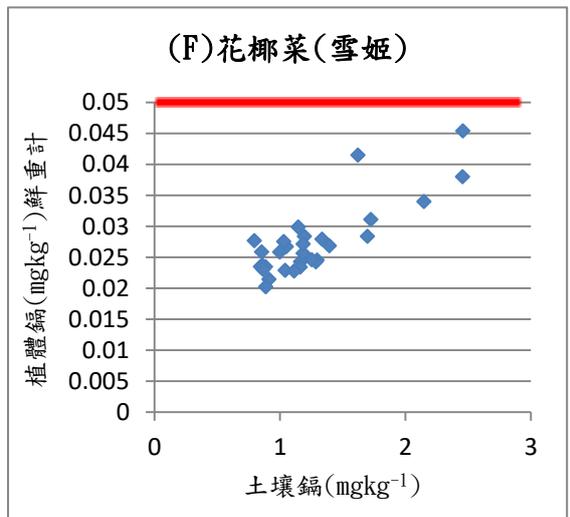
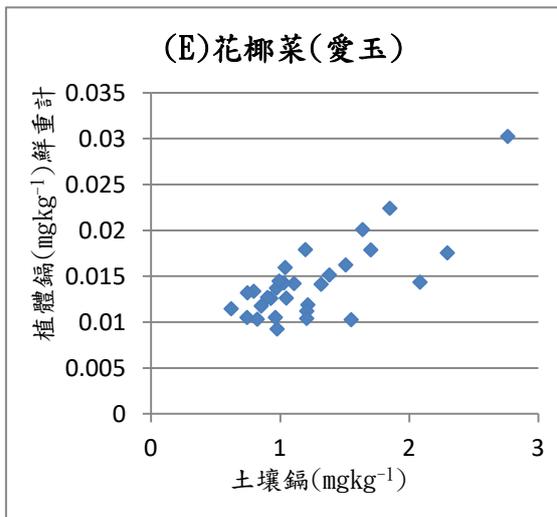
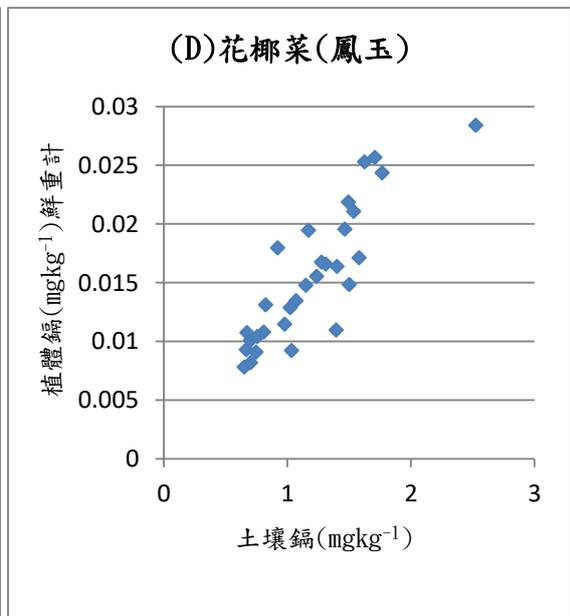
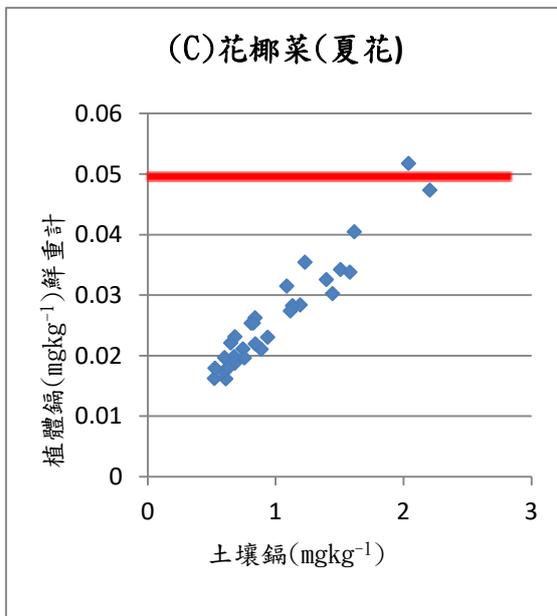
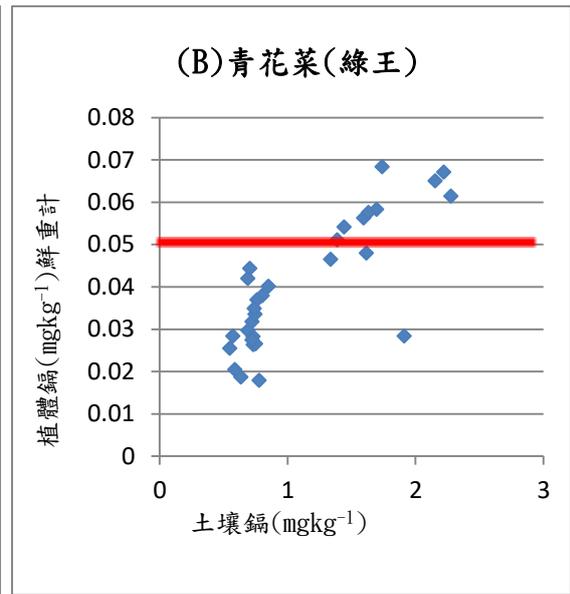
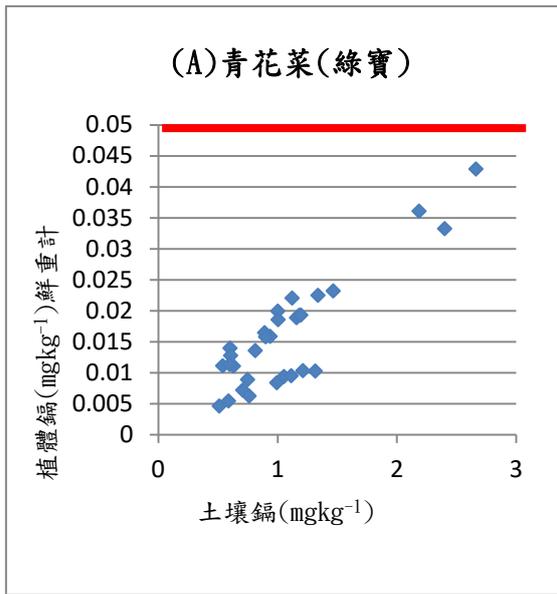
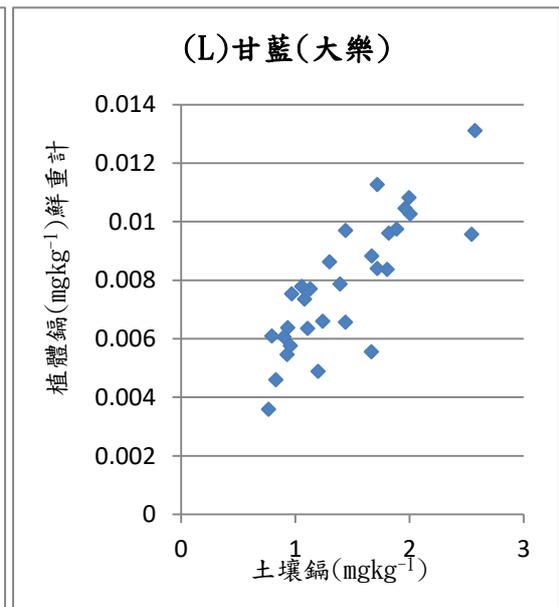
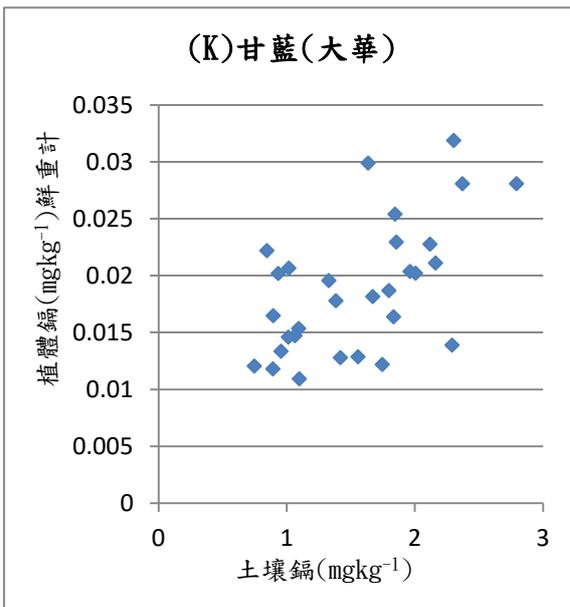
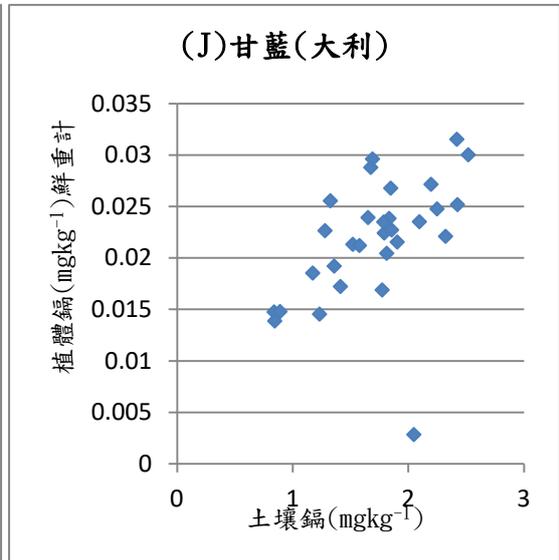
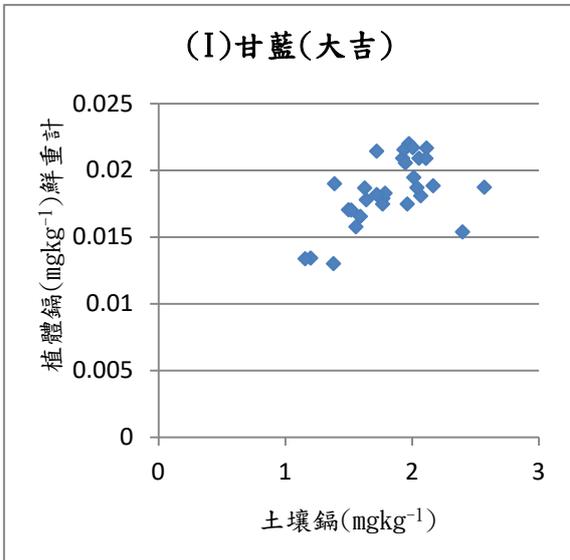
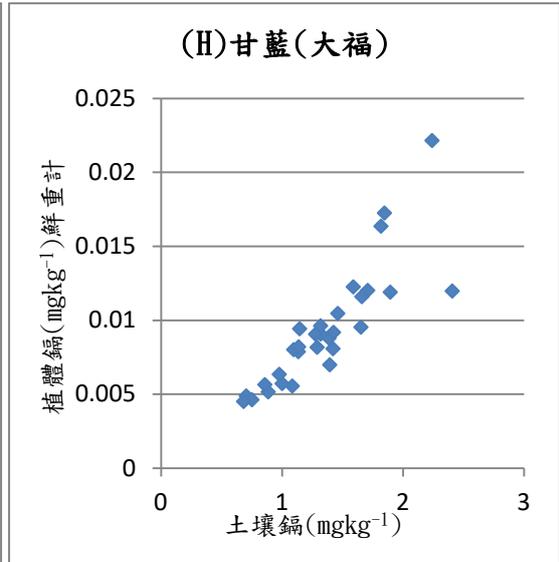
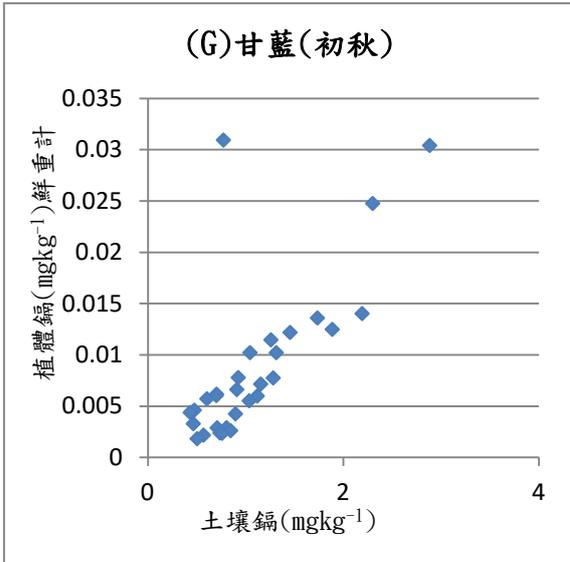


圖 2: 不同莖臺屬蔬菜與 BCF 值關係圖

Figure 2: The BCF value of different brassica vegetables surveyed.







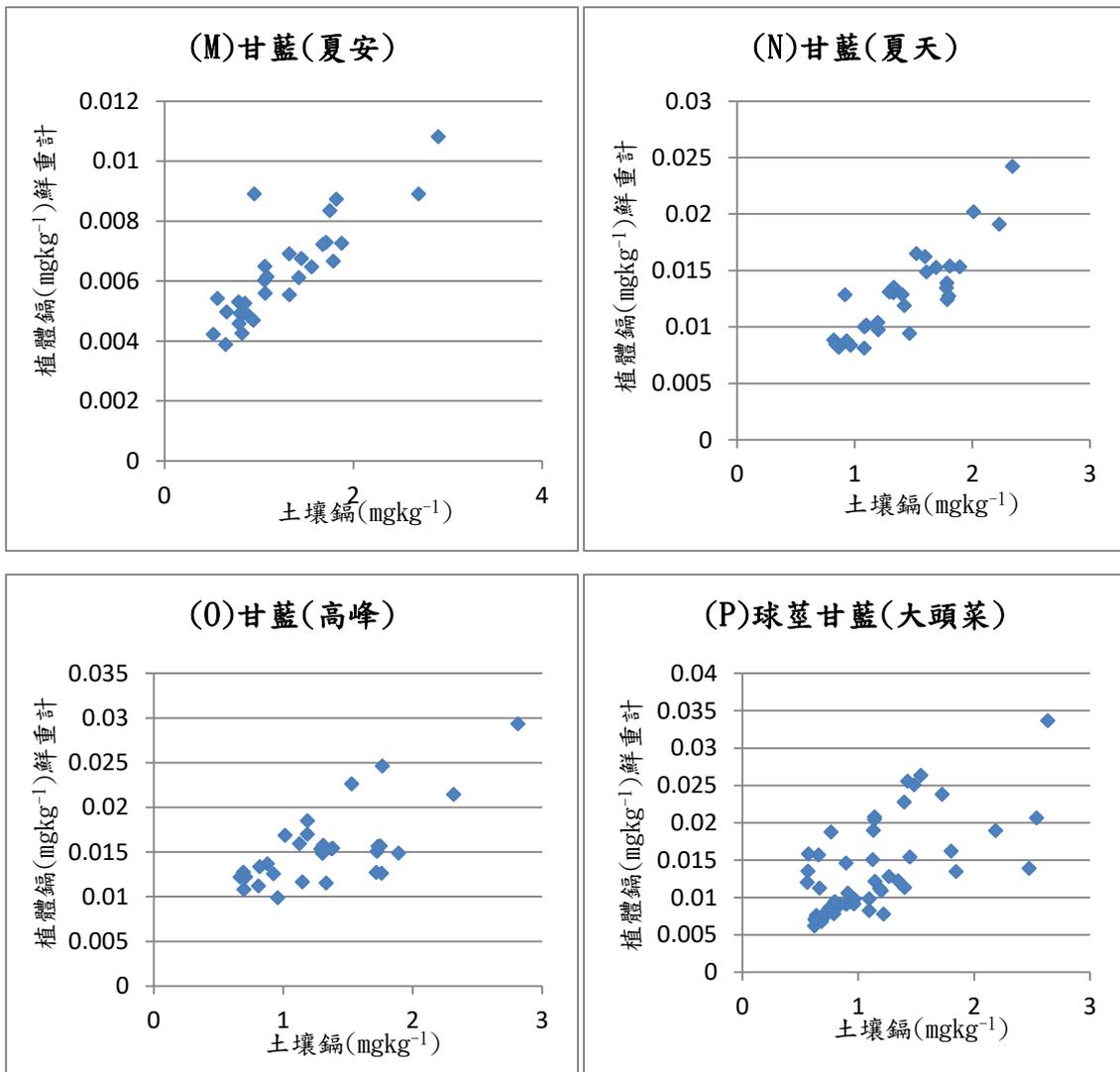


圖 3: 不同莖臺屬蔬菜植體鎘濃度與土壤鎘濃度關係散佈圖(A~P)

Figure 3(A~P): The response of Cd concentrations of different brassica vegetables to corresponding Cd concentration in soil.