高風險農地不同雲薹屬類蔬菜品種對鎘吸收能力之研究

Studies on the cadmium absorption ability of different cultivars of brassica vegetables at high risky farmlands.

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

本研究選擇位於受鎘輕度污染高風險地區的農田進行不同蕓薹屬類蔬菜品種栽培試驗，並於蔬菜收穫時同時採取植體樣品及其根圈旁土壤樣品，分析植體可食用部位鎘濃度、土壤鎘濃度、pH 值及陽離子交換能量(cation exchange capacity, CEC)。由供試蔬菜的生物濃縮因子(bioconcentration factor ,BCF)可知，可食用部位鎘累積能力以青花菜(綠王)最高，甘藍(夏安)則最低，因此，於高風險農地種植低鎘吸收的薹屬類蔬菜品種，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

重金屬在自然環境中無法自行分解而消失，而且重金屬亦會隨著食物鏈中累積到不同的生物體內，其中「鎘」污染是現代相當嚴重的環境重金屬污染問題。日本的衛生福利部 1968 年證實「痛痛病」是由「鎘」所引起的，因此，為了確保國內農產品食用安全，行政院衛生福利部(前衛生署)針對國人日常生活飲食最大宗的食米及蔬果類等作物，訂定有重金屬限量標準以規範食米及蔬果類作物的鎘、鉛含量(2011 年 5 月 30 日行政院衛生署署授食字第 1001301183 號令訂定發布，2011 年 6 月 1 日施行)。此外，行政院環境保護署針對栽種食用作物的農田土壤，亦訂有較一般土壤更為嚴格的重金屬污染管制標準(2001 年 11 月 21 日行政院環境保護署環署水字第 0073684 號令土壤污染管制標準，鎘的管制標準值為 20 mg kg^{-1}，食用作物農地為 5 mg kg^{-1}；2011 年 1 月 31 日行政院環境保護署環署土字第 1000008485 號令土壤污染監測標準，鎘的監測標準值為 10 mg kg^{-1}，食用作物農地為 2.5 mg kg^{-1})。然而，重金屬元素鎘在土壤經由植物吸收並轉運至可食用部位的多寡，受到土壤、氣候因子、植物種類及不同的品種特性及不同的農業栽培管理等因素而有所影響；鎘對動物或人類毒害的濃度低於一般作物，在作物還能正常生長的濃度下，動物或人類食用該作物後便可能造成健康的危害。Zhang 等人(2014)採集珠江三角洲地區 170 組蔬菜與土壤樣品分析，其結果顯示種植在 pH 值較高的土壤的蔬菜鎘濃度比較低。Yang 等人(2010)將 28 種蔬菜種植於鎘濃度 1 mg kg^{-1} 土壤中約 40 天後採收地上部進行分析，結果顯示蔬菜地上部鎘濃度因作物種類而有明顯的不同，其中以菠菜為最高。Lune 和 Zwart (1997)以小型田間試驗，研究底土中的鎘對作物吸收鎘的影響，顯示菠菜及芹菜等葉菜類最高，玉米及馬鈴薯最

低；而台灣地區因為母質和氣候條件的不同，以致土壤性質相當複雜及多變。

材料與方法

一、本研究採田間試驗方式進行。

二、試驗地點：高風險農地試驗田(如圖 1)

三、參試品種

本場於 103 年至 106 年度於高風險農地試驗田，分批種植不同蔓薹屬類蔬菜品種有球莖甘藍(大頭菜)、青花菜(綠寶)、青花菜(綠王)、花椰菜(夏花)、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)等 16 個品種進行低鎘吸收作物篩選試驗。

四、田區設計

田區採作畦栽培方式，畦面寬約 1.5 公尺，畦面長約 40 公尺，依照鎘濃度梯度分佈圖，作成八條畦面，每畦面進行黑色塑膠布敷蓋，以減少雜草叢生，每畦作進行不同參試品種之種植作業。

五、蔬菜及土壤採樣

田間以小區為採樣單位，每個採樣單位分別採取植體樣品與土壤樣品。不同蔬菜品種依照其採收適期不同時間進行採收，採樣時係取一顆成為一個樣品，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。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，若無法立即運回則採低溫宅配方式送達。

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，此樣品用以分析鎘濃度。

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℃，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℃，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。

八、數據計算及分析

生物濃縮因子(bioconcentration facter,簡稱 BCF)

BCF=植體鎘濃度÷土壤鎘濃度

其中植體鎘濃度以鮮重計算，土壤鎘濃度則為乾重計。

結果與討論

一、土壤性質及鎘濃度

本研究田間試驗之主要土壤性質分布詳如表 1 所示，本試驗總共採樣 499 個土壤樣品及 499 個植體樣品。其中土壤 pH 值分布範圍為 5.83.-8.19，CEC 分布範圍為 3.06-9.80 cmol kg^{-1}，土壤鎘濃度分布範圍為 0.43-2.90 mg kg^{-1}，植體鎘濃度分布範圍為 0.001-0.051mg kg^{-1}，數據顯示田間土壤 pH 值、CEC、土壤鎘濃度及植體鎘濃度分布相當廣泛。

二、不同蓼薹屬蔬菜品種之可食用部位對鎘累積的能力

由表 1 之蓼薹屬蔬菜品種 BCF 可知，各個蔬菜品種對鎘累積能力的差異性相當大。在 16 種蓼薹屬蔬菜品種中，BCF 排列順序依序為青花菜(綠王)>花椰菜(夏花)>花椰菜(雪姬)>青花菜(綠寶)>花椰菜(鳳玉)>甘藍(大華)>球莖甘藍(大頭菜)>甘藍(高峰)>花椰菜(愛玉)>甘藍(大吉)>甘藍(夏天)>甘藍(初秋)>甘藍(大福) >甘藍(大樂)>甘藍(夏安)。

以不同蓼薹屬蔬菜品種來區分，以花朵為食用部位的青花菜及花椰菜鎘累積能力最高，以莖部為食用部位的球莖甘藍(大頭菜)次之，以葉片為食用部位的甘藍類則最低，由圖 1 結果亦可以看出，不同蓼薹屬蔬菜品種的鎘累積能力也有極大的差異。

由圖 1 之不同蓼薹屬蔬菜品種 BCF 可知，BCF 最高前三名分別為青花菜(綠王)、花椰菜(夏花)、花椰菜(雪姬)，皆屬於以花朵為食用部位的蓼薹屬蔬菜品種，BCF 最低後三名分別為以甘藍(夏安)、甘藍(大樂)、甘藍(大福)，皆屬於以葉片為食用部位的蓼薹屬蔬菜品種。

16 種蓼薹屬蔬菜品種中，其中青花菜(綠王)、花椰菜(夏花)等 2 個品種有部分樣品超過衛福部蔬果重金屬鎘的限量標準 0.05 mg kg^{-1}。其餘青花菜(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 14 個品種樣品全部未超過衛福部蔬果重金屬鎘的限量標準 0.05 mg kg^{-1}(鮮重計)。

由毛壬杰、黃瑞彰(2017)高風險農地低鎘吸收作物篩選之研究，顯示蔓薹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。而不同蔓薹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^{-1}(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^{-1}(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^{-1}(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。其他蔓薹屬蔬菜品種由圖 3(A)，(D)~(P)散佈圖中，在土壤鎘濃度 3mg kg^{-1}(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^{-1}(鮮重計)以下，因此建議在土壤鎘濃度 3mg kg^{-1}(乾重計)以下高風險農地考慮種植低鎘吸收蔓薹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

由本研究結果可知蔓薹屬蔬菜品種之重金屬鎘累積能力，隨著蔓薹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蔓薹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蔓薹屬蔬菜品種。

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。
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 1: 不同蕓薹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 (cmol kg^{-1})	土壤鎘 (mg kg^{-1})	植體鮮重鎘 (mg $kg^{-1}FW^{-1}$) 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	

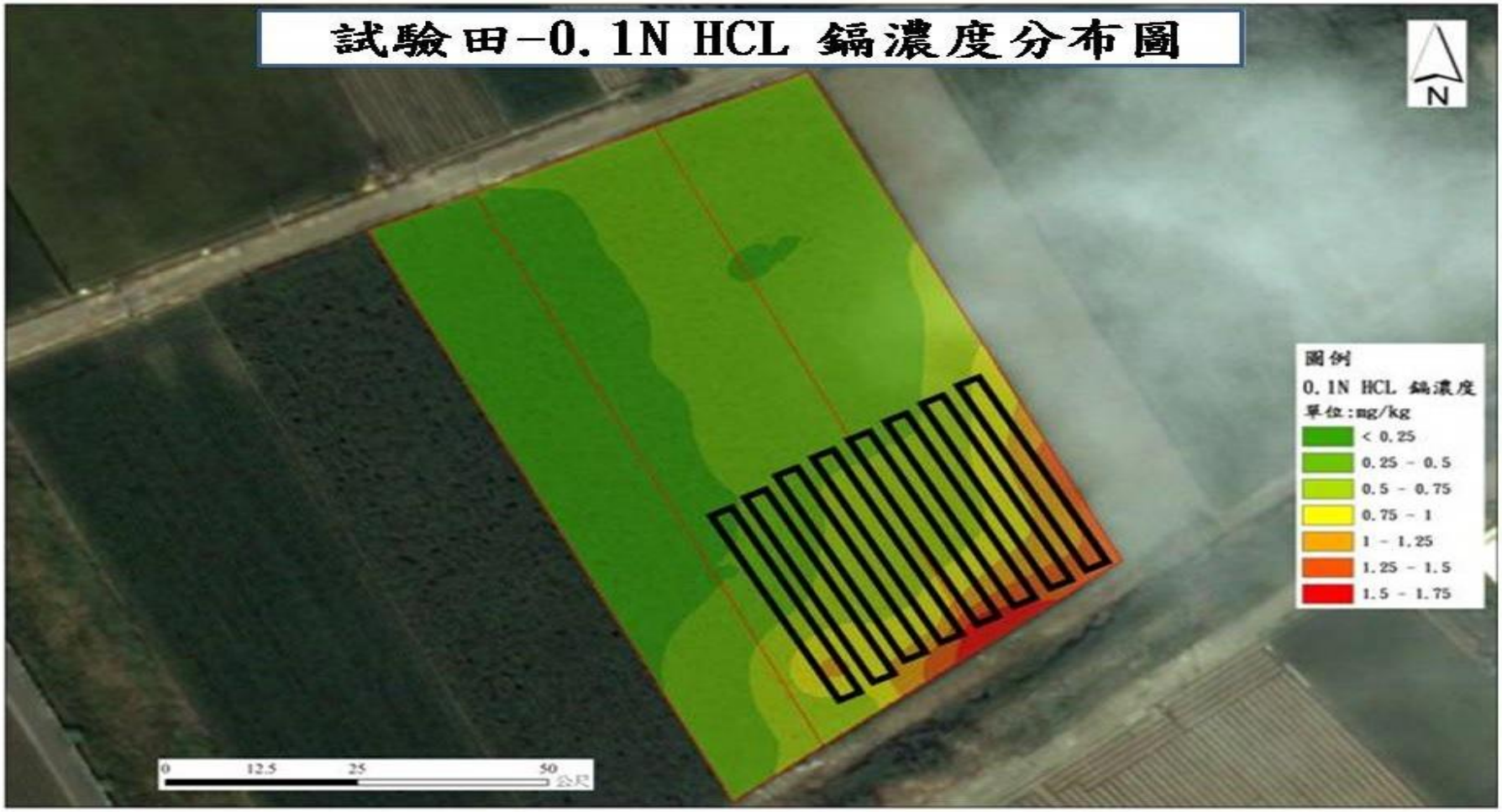


Figure 1: Distribution of Cd concentrations at experimental site

圖 1:試驗田區土壤鎘濃度分布圖

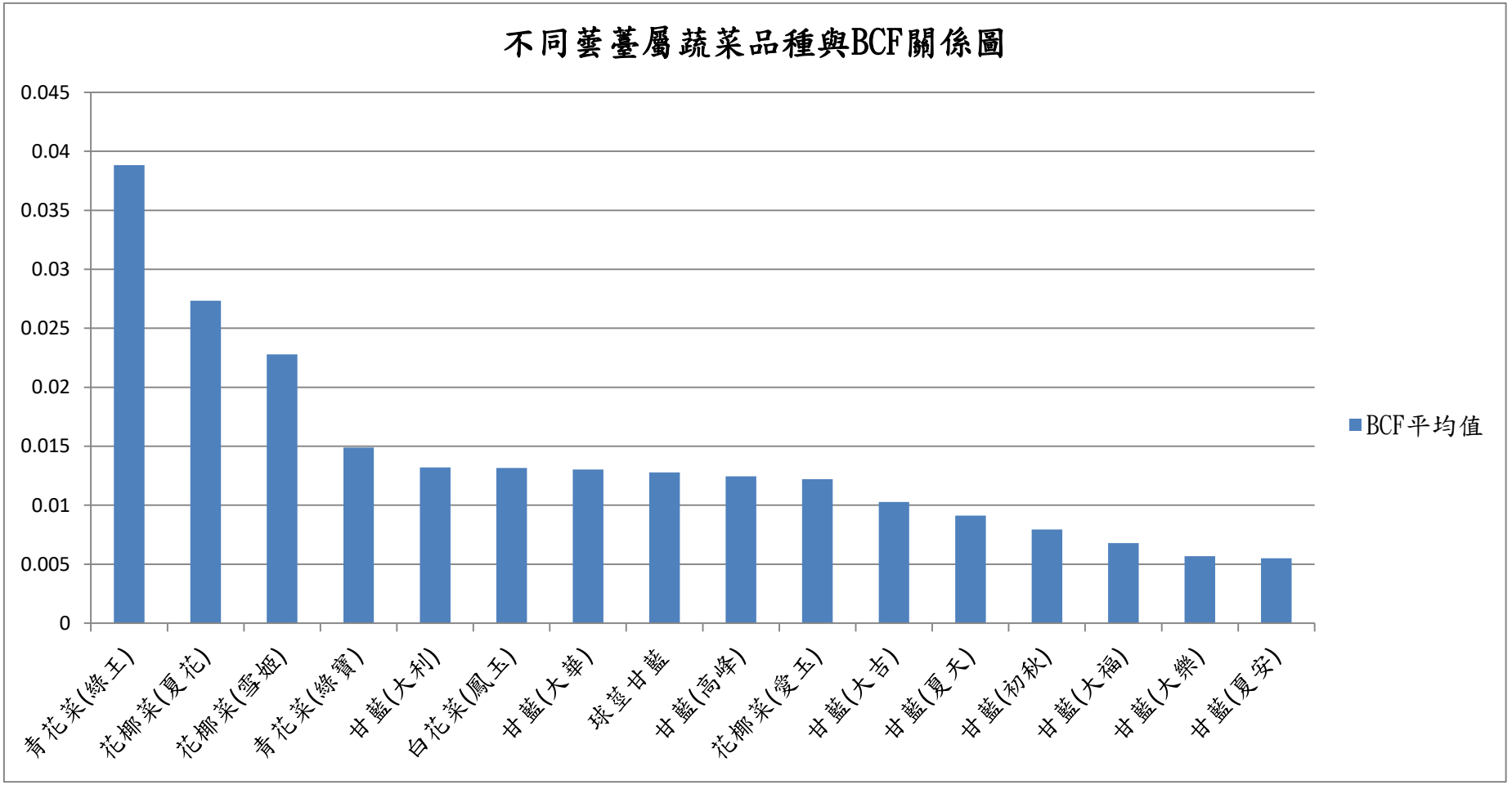
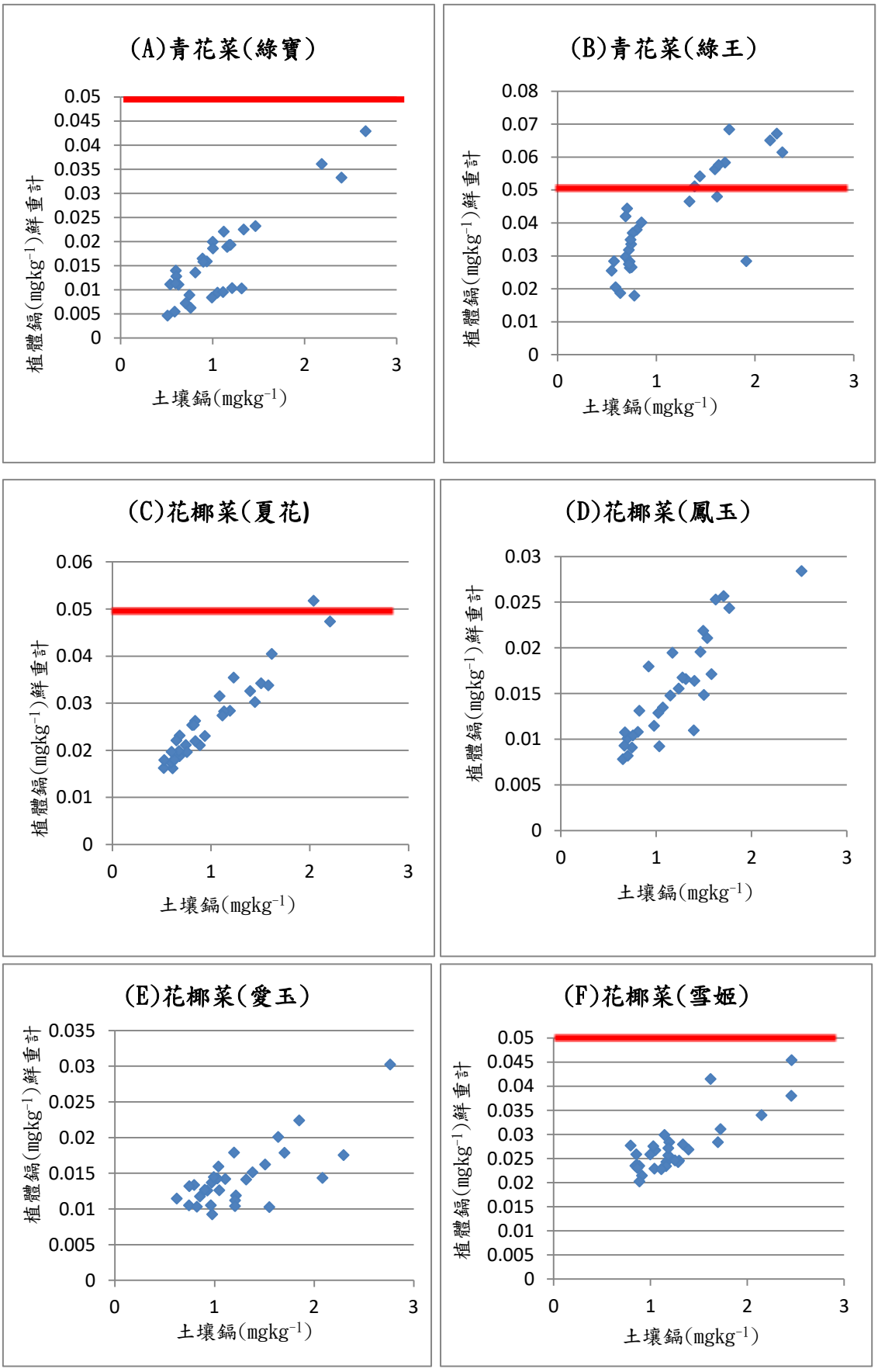
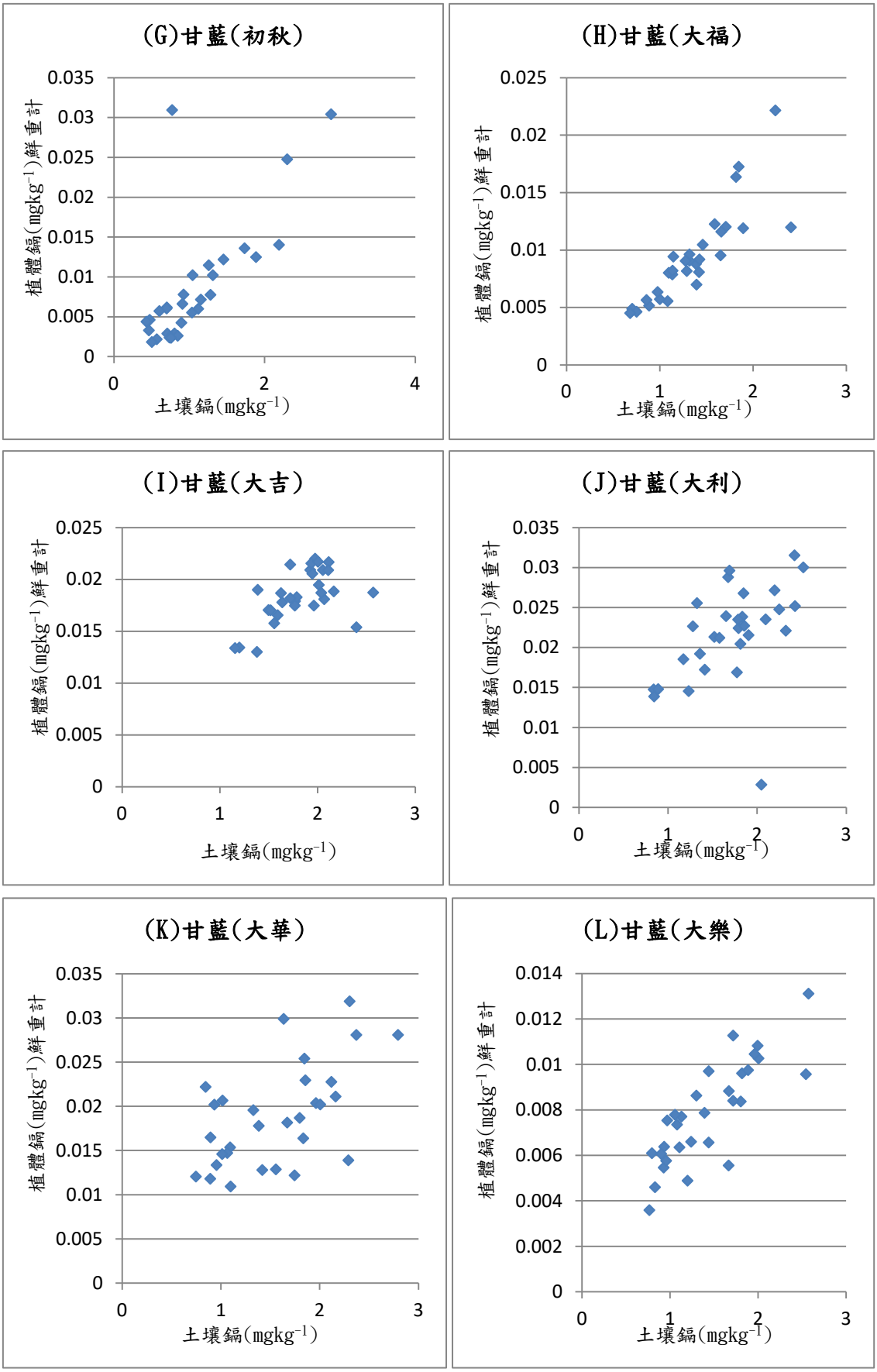


圖 2: 不同蔓薹屬蔬菜與 BCF 值關係圖

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


(A)青花菜(綠寶)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)
(B)青花菜(綠王)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)
(C)花椰菜(夏花)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)
(D)花椰菜(鳳玉)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)
(E)花椰菜(愛玉)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)
(F)花椰菜(雪姬)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)


(G)甘藍(初秋)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)
(H)甘藍(大福)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)
(I)甘藍(大吉)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)
(J)甘藍(大利)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)
(K)甘藍(大華)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)
(L)甘藍(大樂)
植體鎘(mgkg⁻¹)鮮重計
土壤鎘(mgkg⁻¹)

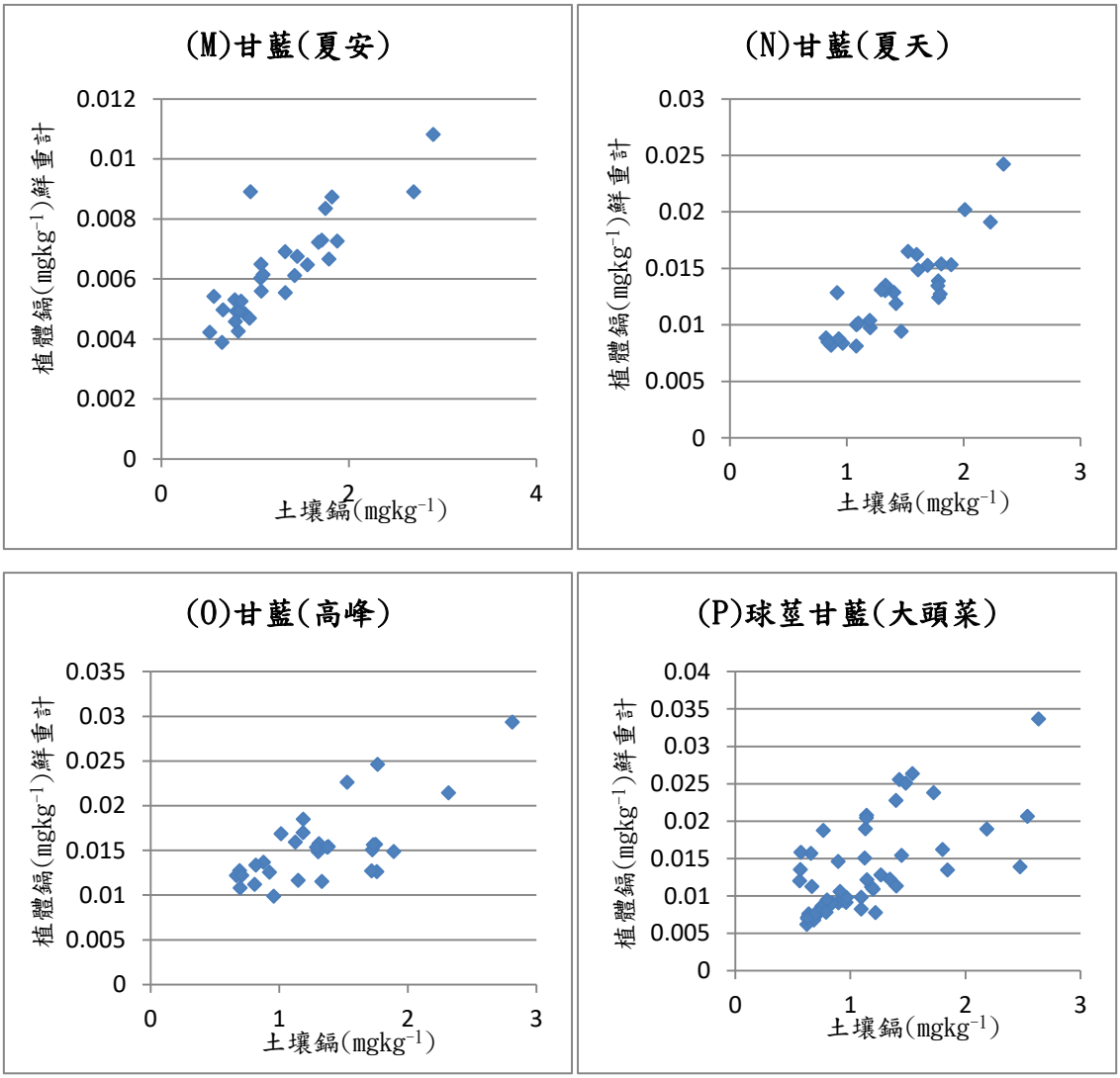


圖 3: 不同蔓薹屬蔬菜植體鎘濃度與土壤鎘濃度關係散佈圖(A~P)

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