高風險農地不同玉米栽培種對鎘吸收能力之研究

Studies on the cadmium absorption ability of different cultivars of corn 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

本研究選擇位於高風險地區受鎘污染的農田進行不同玉米栽培種栽培試驗，並於玉米收穫時同時採取玉米樣品及其根圈旁土壤樣品，分析玉米可食用部位鎘濃度、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，玉米食用部位鎘累積能力以食用玉米白龍王最高，硬質玉米臺南 24 號則較低，因此，於高風險農地種植低鎘吸收的玉米栽培種，將有助於提高高風險農地玉米生產的安全性。

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 104 年至 107 年度於高風險農地試驗田，分批種植有食用玉米華珍、玉美珍、雪珍、黑美珍、臺南 23 號、臺南 26 號、夏強、夏蜜、美粒甜、雙發、佳穗 9 號、168 號、彩珍、金珍珠、白光甜、金蜜、白龍王等 17 個品種；硬質玉米玉米明豐 3 號、農興 688 號、台農 1 號、台南 24 號等 4 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玉米樣品與土壤樣品。不同玉米品種依照其採收適期不同時間進行採收，採樣時係取 3-5 穗玉米進行混合成為一個樣品，並於採取玉米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

玉米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，玉米粒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.玉米鎘濃度

秤取 0.4 克玉米粒樣品，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光譜儀(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(HNO_3：H_2O_2,3:1,v/v)，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=玉米粒鎘濃度÷土壤鎘濃度

其中玉米粒鎘濃度以鮮重計算，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，其中土壤 pH 值分布範圍為 4.97-7.94，CEC 分布範圍為 3.79-9.07 cmol kg^{-1}，土壤鎘濃度分布範圍為 0.23-3.53 mg kg^{-1}，植體鎘濃度分布範圍為 0-0.1mg 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、不同玉米種類及品種之食用部位對鎘累積的能力

由表 1 之不同玉米栽培種 BCF 可知，各個玉米栽培種的玉米粒對鎘累積能力的差異性相當大。在 21 種玉米栽培種中，BCF 排列順序依序為白龍王>玉美珍>華珍>彩珍>金蜜>金珍珠>雪珍>臺南 23>夏強>雙發>佳穗 9 號>夏蜜>明豐 3 >黑美珍>美粒甜>>白光甜>168>臺南 26>農興 688>臺農 1 >臺南 24。

以玉米栽培種類來區分，以食用玉米類玉米粒鎘累積能力最高，硬質玉米類則較低，由圖 1 結果亦可以看出，不同玉米栽培種的鎘累積能力也有極大的差異。

由圖 1 之玉米栽培種 BCF 可知，BCF 最高前三名分別為白龍王、玉美珍、華珍，皆屬於食用玉米栽培種，BCF 最低後三名分別為以農興 688、台農 1 號、臺南 24 號，皆屬於硬質玉米栽培種。

由表 2 可知，在 21 種玉米栽培種中，其中華珍、雪珍、臺南 26 號、夏強、夏蜜、美粒甜、雙發、168、彩珍、金珍珠、白光甜、金蜜、明豐 3 號、農興 688、臺農 1 號、臺南 24 號等 16 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)，其中玉美珍、黑美珍、臺南 23 號、9 號、白龍王等 5 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}。由此可見食用玉米栽培種中以白龍王白色水果玉米是鎘吸收能力相當強的栽培種，而臺南 26 號、168、白光甜、臺農 1 號、臺南 24 號等 5 個品種則是鎘吸收能力低的玉米品種。

由毛壬杰、黃瑞彰(2017)高風險農地低鎘吸收作物篩選之研究，顯示玉米在各蔬果對鎘吸收能力調查中屬於中低吸收能力的作物種類。而不同玉米品種對個別吸收能力的差異性也相當大。因此建議高風險農地推廣種植低鎘吸收玉米栽培種

中仍須慎選品種如硬質玉米中的台南 24 號、農興 688、明豐 3 號及臺農 1 號等,食用玉米則以華珍、雪珍、臺南 26 號、夏強、夏蜜、美粒甜、雙發、168、彩珍、金珍珠、白光甜、金蜜、明豐 3 號、農興 688、臺農 1 號、臺南 24 號等品種，以降低高風險農地產出超過限量標準的農產品。

結論

由本研究結果可知不同玉米之重金屬鎘累積能力，隨著玉米栽培種不同而有差異。未來可以累積更多試驗數據印證不同玉米種類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玉米品種。

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。
2. 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。
3. 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。
4. 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。
5. 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.
6. Lune P, Zwart KB 1997: Cadmium uptake by crops from the subsoil. Plant and Soil, 189, 231-237.
7. 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
8. 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: 各玉米栽培種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 vegetables

玉米品種	樣品數	pH	CEC ($cmol\ kg^{-1}$)	土壤鎘 ($mg\ kg^{-1}$)	植體鮮重鎘 ($mg\ kg^{-1}FW^{-1}$)	生物濃縮因子 BCF	生物濃縮因子(BCF)排序
食用玉米類							
華珍	40	6.34-7.69	5.14-8.11	0.23-0.81	0.003-0.02	0.01-0.03	3
玉美珍	44	5.54-7.24	5.04-7.32	0.31-1.36	0-0.1	0.04-0.199	2
雪珍	20	6.33-6.78	4.83-5.91	1.73-2.30	0.02-0.03	0.01-0.02	7
黑美珍	20	6.22-7.05	5.19-6.28	1.03-2.04	0.003-0.05	0.002-0.03	14
臺南 23	20	6.05-7.27	5.58-6.52	0.83-2.27	0.005-0.05	0.004-0.03	8
臺南 26	20	6.46-7.41	5.15-6.47	0.76-2.07	0.03-0.01	0.002-0.008	18
夏強	30	6.5-7.57	5.56-6.31	1.67-2.74	0.01-0.03	0.0106-0.017	9
夏蜜	30	6.2-7.2	4.54-5.90	1.40.-3.53	0.009-0.02	0.004-0.17	12
美粒甜	30	7.3-7.87	5.53-8.78	0.64-2.35	0.0004-0.002	0.004-0.01	15
雙發	30	6.94-7.87	5.43-6.53	1.00-2.39	0.001-0.03	0.001-0.02	10
佳穗 9 號	35	6.7-7.9	4.33-6.21	0.63-2.27	0.01-0.04	0.005-0.03	11
168	30	6.98-7.94	4.93-6.26	0.70-2.09	0.0008-0.01	0.0005-0.09	17
彩珍	30	6.88-7.9	5.61-6.25	0.52-2.44	0.01-0.03	0.009-0.03	4
金珍珠	30	7.1-7.71	5.15-6.24	0.52-2.72	0.009-0.03	0.008-0.02	6

白光甜	19	7.08-7.8	5.53-7.00	0.51-1.33	0.001-0.008	0.003-0.01	16
金蜜	10	4.97-6.32	5.04-5.84	0.67-1.16	0.009-0.02	0.01-0.02	5
白龍王	20	5.05-6.41	4.15-5.43	1.73-2.40	0.03-0.07	0.01-0.03	1
硬質玉米類							
明豐 3 號	20	6.35-7.28	5.19-6.41	0.57-2.52	0.003-0.02	0.006-0.01	13
農興 688	20	6.13-7.15	4.91-9.07	0.55-2.82	0.002-0.02	0.002-0.01	19
臺農 1 號	20	6.62-6.95	5.35-6.76	0.56-2.66	0-0.01	0-0.008	20
臺南 24	20	6.44-7.39	3.79-6.61	0.49-2.65	0-0.003	0-0.005	21
總計	538	4.97-7.94	3.79-9.07	0.23-3.53	0-0.1	0-0.199	

表 2: 各玉米栽培種食用部位鎘濃度與衛福部蔬果重金屬鎘的限量標準統計表

	未超過限量標準(0.05 mg kg^{-1})	部分超過限量標準(0.05 mg kg^{-1})
品種	華珍、雪珍、臺南 26 號、夏強、夏蜜、美粒甜、雙發、168、彩珍、金珍珠、白光甜、金蜜、明豐 3 號、農興 688、臺農 1 號、臺南 24 號	玉美珍、黑美珍、臺南 23 號、9 號、白龍王

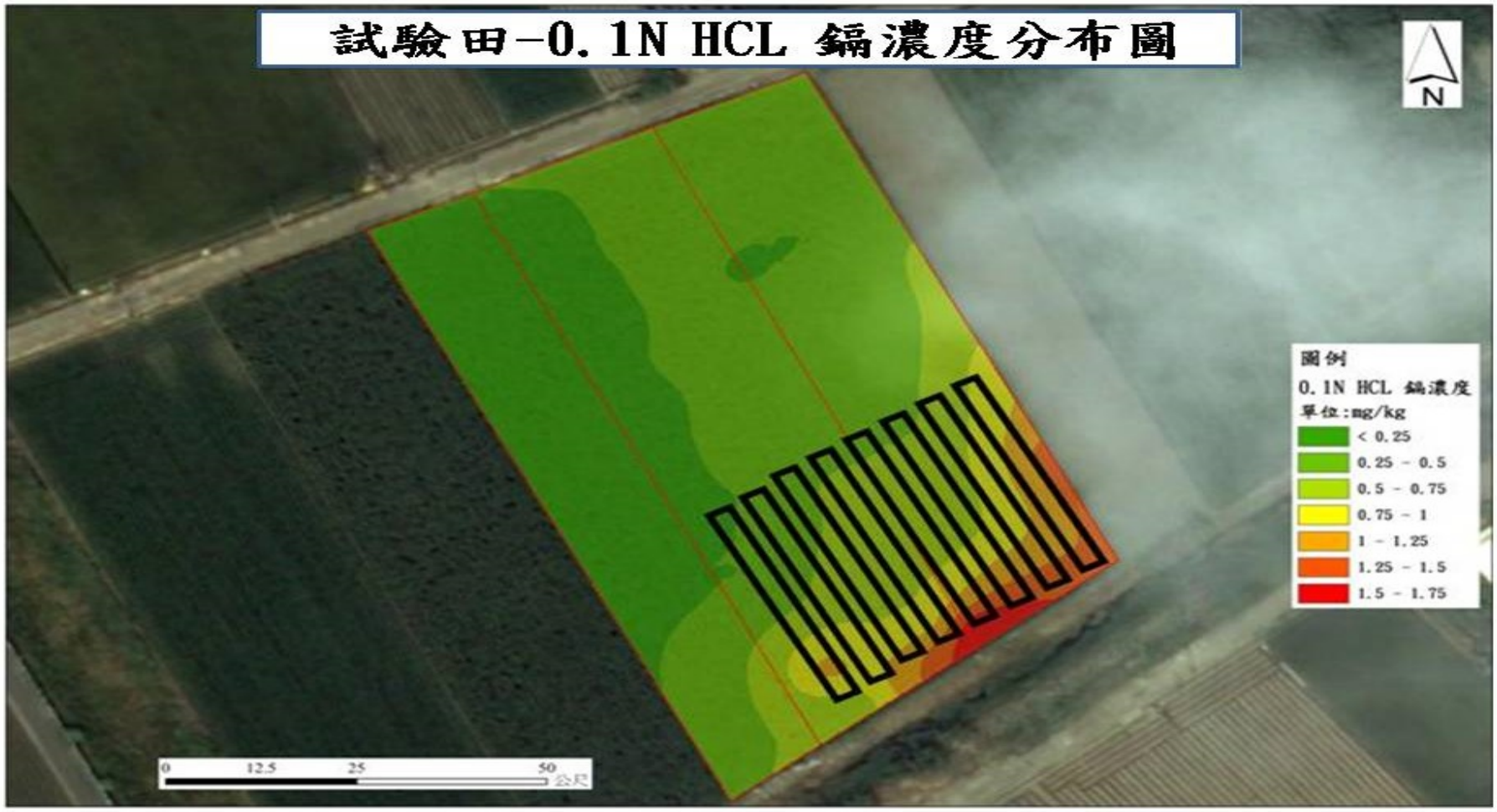


圖 1:試驗田區土壤鎘濃度分布圖

Figure 1: Distribution of Cd concentrations at experimental site

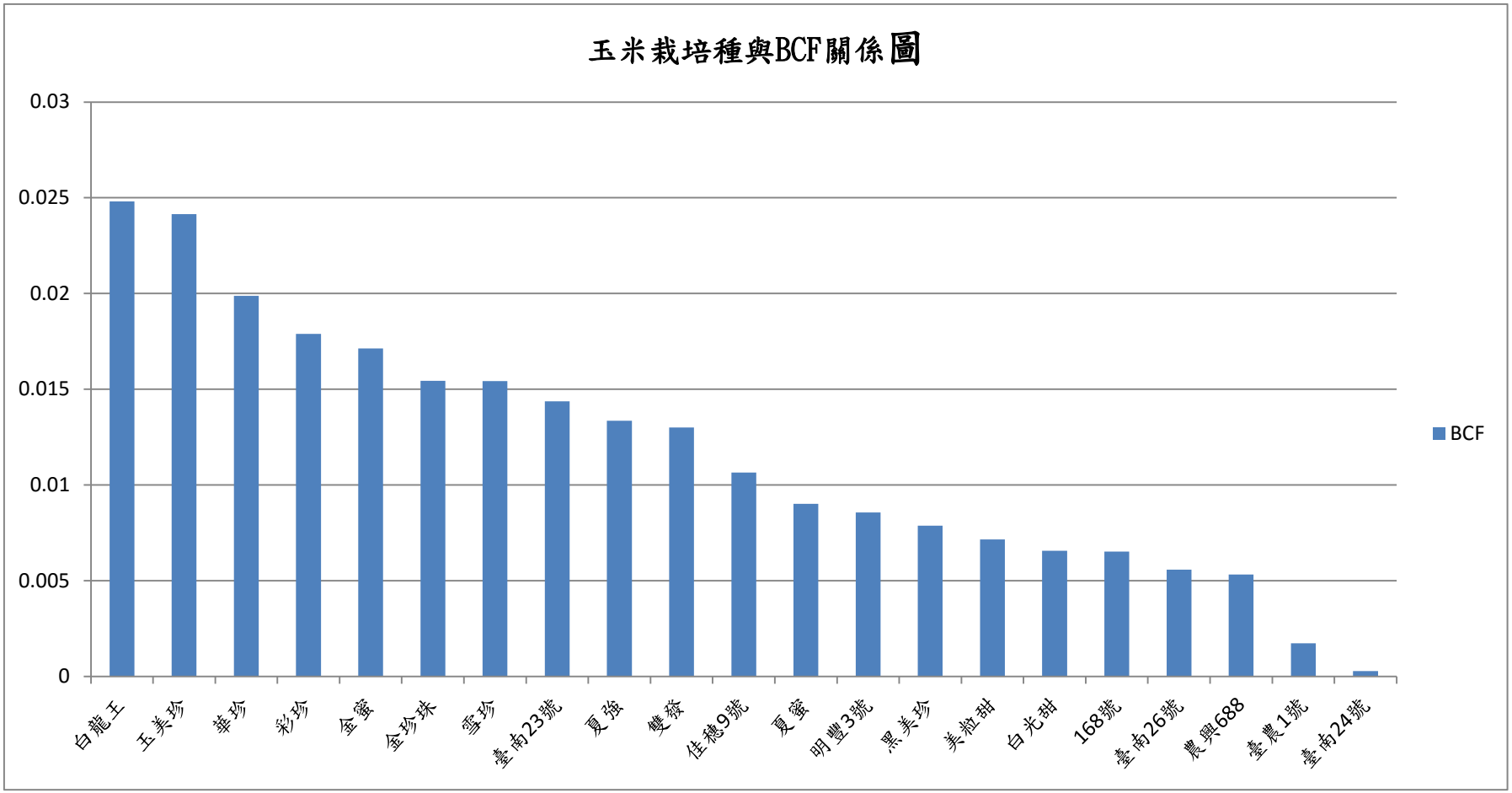


圖 2: 各種玉米栽培種 BCF 值關係圖

Figure 2: The BCF value of vegetables surveyed

Studies on the cadmium absorption ability of different cultivars of corn at high risky farmlands

Jen Chieh Mao and J. C. Huang

Abstract

The Cd accumulation capacity of various vegetables and the relationship between Cd concentrations in edible parts of corns and those in soils were assessed by conducting field experiments at Cd-contaminated sites at high risky farmlands. The Cd concentrations in edible parts of corns and soils、pH and cation exchange capacity (CEC) are analyzed. According to the bioconcentration factors calculated, the Cd accumulation capacity varied considerably among the cultivars of corn tested, and the order of the corns with the highest capacities is edible corn 白龍王. Tainan No 24(maize for feedstuffs) is the lowest. To enhance the food safety of vegetables, we suggest to choose the cultivars corns with low BCFs at high risky farmlands.

Keywords: Cd, low Cd accumulation abilities, bioconcentration factor, safety.