

出國報告（出國類別：研討會）

參加「第十三屆微量元素之生物地質  
化學研討會」回國報告

服務機關：行政院農業委員會農業試驗所

姓名職稱：林毓雯 助理研究員

派赴國家：日本

出國期間：104.7.12~104.7.17

報告日期：104.11.18

## 摘要

2015 年微量元素之生物地質化學國際研討會於日本福岡縣舉辦，由國際微量元素之生物地質化學學會 (ISTEB) 主辦，日本土壤科學及植物營養學會 (JSSPN) 和國際土壤聯盟 (IUSS) 協辦。參與人員來自世界各地相關研究領域的學者。會議討論的主題為微量元素 (包括營養元素、污染重金屬及放射性元素) 在環境中的行為、作物的吸收和累積機制及管理 and 復育技術的相關研究成果。我國亦有多位學者進行口頭貨幣報發表，本所則發表我國在蔬菜鎘污染相關研究成果。本次聆聽之主要內容包括：日本已發現控制水稻鎘累積的三個基因座 (QTL)，並嘗試藉由各種調控技術(包括：調整土壤酸鹼值、水管理、植生復育、低鎘吸收品種或根砧篩選或開發、環境友善的整治技術等)來降低鎘的吸收。目前已知可降低水稻砷含量最有效的方法為間歇性灌水，以保持土壤在較為氧化的狀態。未來的研究及育種方向應同時考慮如何降低砷與鎘吸收且不影響其他養分吸收。參加本次研討會印象最深刻者為日本對於鎘污染相關研究，從發現痛痛病、尋找病因，後續一連串的環境化學、病理學與植物生理學研究，一直到污染農田管理技術的開發，完整的研究過程，顯示日本人解決環境污染問題時認真踏實的態度與團隊合作的精神，非常值得我國學習。由本次研討會的見聞，特針對農地及作物重金屬污染的問題，提出以下建議：1.加強選育重金屬低吸收特性之作物品種，除了提供國內輕度污染農田栽培用，未來在中國及東南亞應有推廣空間。2.在水稻抽穗前後延長田區浸水時間，為日本目前針對輕微受鎘污染農田最常採用的降低稻米格濃度的方法，對環境友善且成本低，可考量在國內推行。3.針對農田污染問題，應建立完整研究團隊，避免重複研究，造成資源浪費。4.土壤性質對重金屬的生物有效性有極大影響，相關田間試驗應納入土壤化學專長人員，以充分掌握土壤性質的影響。

## 目次

一、緣起與目的.....	3
二、研討會行程.....	4
三、研討會重點摘錄.....	5
四、心得與建議.....	12
五、附錄.....	13

## 一、緣起與目的

環保署訂定食用作物農地土壤重金屬污染管制標準，規範農地土壤重金屬濃度範圍，以確保農地生產作物品質。然而，台灣地狹人稠，許多人類活動仍不免對農田品質造成一定程度的衝擊，加上本身地質條件複雜，部分地區天然地質環境中即存有一定濃度的重金屬（例如關渡平原與西南沿海地區的石，東部海岸山脈的鉻與鎳），近年來農地重金屬污染的問題，已成為國人關注的焦點議題之一。為了確保農地生產作物品質安全，在土壤污染管理上可從二方向著手：一是調降食用作物農田土壤污染管制標準，另一是不調降土壤污染管制標準，而依據作物特性及金屬在環境中的含量與型態，進行各種農藝管理方式的調節，以降低作物的重金屬吸收量。由於調降土壤污染管制標準將會增加相當龐大的土壤污染整治費用，且酸洗等整治過程仍不免對農地的生產力造成影響，因此，目前歐美日等先進國家，均積極發展環境友善的重金屬污染農地管理技術。

微量元素之生物地質化學國際研討會創始於 1980 年，每兩年召開一次，由世界各國研究地質環境中微量元素的專家，發表有關地質環境中微量元素的相關研究，本屆研討會的主題包括：微量元素（包含營養元素、污染重金屬及放射性銫）在環境中與土壤—植物介面的傳輸、毒性元素在植物體內累積的生理及分子機制、污染元素減量或復育技術、日本痛痛病 50 周年的研究成果回顧、生物炭 (biochar) 與奈米粒子 (nanoparticle) 對於微量元素行為的影響，以及應用同步輻射技術於微量元素的研究等。參加此次研討會除可借鏡其他國家在重金屬污染的研究成果，作為我國後續相關研究及管理措施之參考外，我國過去在土壤鎘與作物之間的傳輸及累積特性已有相當成果，藉由參加此次研討會發表論文，亦可提升我國的學術研究地位。

## 二、研討會行程

研討會期程由 104 年 7 月 12 日至 7 月 16 日，共 5 天，行程安排如下表：

日數	日期	行程	工作重點
1	7 月 12 日 (週日)	台灣－福岡	出發前往會議地點
2	7 月 13 日 (週一)	福岡國際會議中心	會議研討並與國外學者交換意見
3	7 月 14 日 (週二)	福岡國際會議中心	會議研討並口頭發表” Prediction of cadmium concentration in vegetables based on the soil Cd content, pH, and CEC (以 土壤鎘濃度、pH 及陽離子 交換能量預測蔬菜鎘濃 度)
4-5	7 月 15 日-7 月 16 日 (週三-週四)	福岡國際會議中心	會議研討並與國外學者交 換意見

### 三、研討會重點摘錄

第13屆「微量元素之生物地質化學國際研討會」共規劃14個研討主題：

1. 污染沉積物中金屬的命運與傳輸—新的復育技術
2. 微量元素在土壤和地質介質中傳輸的原理和應用
3. 有毒微量元素在植物中積累的生理與分子機制
4. 土壤 - 植物、土壤 - 植物 - 微生物界面的微量元素生物地球化學
5. 了解與緩解福島事故後放射性銫的環境行為
6. 煤燃燒廢棄物中微量元素的生物地球化學
7. 自然界的放射性物質與人工放射性核素在環境中的行為
8. 日本鎘研究的最新進展：鎘被鑑定為痛痛病的病因50周年紀念
9. 受微量元素污染或富集土壤的溫和整治：有益於生態系統的最佳化方法
10. 重金屬污染土壤復育；科學上最先進的新穎實用的方法
11. 以生物炭作為土壤和水污染管理的吸附劑
12. 運用同步輻射於生物地質化學與環境地質化學之研究
13. 人工製造奈米物質對環境的衝擊
14. 其他技術

本次會議為多場地多議題同時進行，由於鎘、鉛等重金屬污染與部分地區天然地質環境中砷濃度偏高，為我國部分農田土壤所面臨問題，為了瞭解其他國家對於解決重金屬污染、提高農產品安全方面的研究成果與技術，故研討會期間除進行我國在蔬菜鎘污染相關研究成果之口頭發表外，選擇聆聽的場次以議題3、8、10為主，以下分別摘錄主要內容：

#### (一)發表我國有關蔬菜鎘污染之研究結果

**主題: Prediction of cadmium concentration in vegetables based on the soil Cd content, pH, and CEC(以土壤鎘濃度、pH及CEC預測蔬菜鎘濃度)**

Y.W. Lin(林毓雯), T.S. Liu(劉滄琴), P.F.A.M. Römkens, H.Y. Guo(郭鴻裕) and G.M. Chiang(江致民)

為了瞭解蔬菜食用部位鎘濃度與土壤鎘濃度之間的關係，本研究於八德、后里、大甲、虎尾等地區選擇受鎘污染的農田，進行蔬菜栽培，

於蔬菜收穫時同時採取蔬菜與對應之根域土，分析土壤與蔬菜鎘濃度及其他土壤性質。並於主要蔬菜產區進行採樣調查，同樣於蔬菜收穫時同時採取蔬菜與對應之根域土進行分析。並利用樣品分析結果建立 26 種蔬菜鎘濃度預測模式，其中有 17 種蔬菜鎘濃度主要受土壤鎘濃度及 pH 影響，而另外 9 種蔬菜鎘濃度則主要受土壤鎘濃度、pH 及 CEC 的影響。本研究並另外採取 514 個樣品進行模試驗證，結果顯示所建立的模式對於蔬菜鎘濃度的預測值略高於實測值，然相較於現行土壤污染管制標準只以土壤鎘濃度來考量作物的鎘安全性，加入土壤 pH 與 CEC 之預測模式，其預測結果更為準確。

## (二)有毒微量元素在植物中積累的生理與分子機制

### **主題: Molecular mechanisms of cadmium accumulation in cereal crops(穀類作物中鎘累積的分子機制)**

J.M. Ma, N. Yamaji, A. Sasaki, D. Ueno, and D. Wu

穀類作物像是稻米及大麥為人類攝食鎘的主要途徑，這個議題受到全世界所關注。因此，了解鎘累積在穀類作物的分子機制對於限制鎘的吸收，甚至降低對人體健康的風險都是相當重要的。此研究發現其中 OsNramp5 基因座主要控制水稻根對鎘的吸收；OsHMA2 基因座則控制鎘由根轉運至莖葉，以及由莖葉再分配至稻穀；OsHMA3 基因座負責將鎘由細胞質中移入液胞中，以降低細胞質中的鎘濃度，進而降低鎘轉運至地上部的量。利用分子技術使 OsNramp5 與 OsHMA2 不表現，可降低稻穀中的鎘濃度，但會嚴重影響產量；若使 OsHMA3 大量表現，亦可降低稻穀中的鎘，且不影響產量。在大麥的研究結果發現，不同品種穀粒中鎘的累積具有很大的變異，作者未來將進一步找出控制大麥吸收鎘的基因。

### **主題: Detection of novel QTL controlling Cd accumulation in rice (控制水稻鎘累積之主要基因座研究)**

F. Deng, T. Yamaki, A. Shomura, T. Ando, S. Fukuoka, and J.F. Ma

雖然過去的研究已找出水稻中許多參與鎘累積的基因，但品種間對於鎘累積的分子機制差異仍尚未完全被瞭解。此研究找了兩個高鎘累積的水稻品種 (Nepal 555 及 Khau Tan Chiem) 及一個標準品種 (Nipponbare)。分析結果顯示 Nepal 555 及 Khau Tan Chiem 的地上部鎘濃

度大於 Nipponbare。Nepal 555 根部鎘濃度低於 Nipponbare，此結果指出 Nepal 555 植體中鎘從根部到地上部的轉移能力較 Nipponbare 高。相反的，研究結果發現 Khau Tan Chiem 根部的鎘濃度卻與 Nipponbare 相似。此研究結果證明不同品種間對於鎘的累積機制不同。以 Nepal 555 與 Nipponbare 雜交之 F2 世代進行基因座(QTL)分析，可發現在地 1、6、7 條染色體上有 3 個基因座分別可以解釋 11.4%、21.6% 及 11.4% 水稻吸收鎘表現型上的差異；而 Khau Tan Chiem 與 Nipponbare 雜交組合中的一個族群，其第 12 條染色體上的一個基因座則可解釋 34.3% 水稻吸收鎘表現型上的差異。

### **主題: Pathways of arsenic uptake and metabolism in rice(水稻砷吸收與代謝途徑)**

F.J. Zhao

砷為第一級的人體致癌物，而稻米為人體攝食無機砷的主要來源之一。本篇研究主要是說明不同砷物種被水稻吸收及代謝的途徑。水稻容易吸收砷是因為在浸水的環境下三價砷的移動性高，並且可透過根部砷的轉運蛋白吸收進入植體中。三價砷為浸水土壤中主要的砷物種，而五價砷及甲基砷的含量則受土壤性質及氧化還原電位所控制。五價砷被水稻根部吸收是經由磷酸轉運蛋白，吸收進入根內的五價砷容易被還原成三價砷，接著與含硫化物化合物錯合後儲存於液泡或轉移至地上部。過去的研究主要認為 OsACR2 負責水稻中五價砷的還原，但這個假設受到質疑。近年來的研究證明阿拉伯芥中的 ACR2 不扮演還原五價砷的角色。一個新的基因 *HAC1*，被認為對於阿拉伯芥中五價砷的還原及地上部砷的累積扮演重要的角色。在未來，水稻中 *HAC1* 同源基因的功能需要進一步地去探討。三價砷與含硫化物化合物像是植物螯合素 (PCs) 具有高度的親和力，As(III)-PCs 錯合物主要累積在根部的中柱鞘及內皮細胞和莖及葉中維管束內韌皮部的伴細胞。近期的研究發現液泡膜上具有 As(III)-PCs 錯合物的轉運蛋白(OsABBC1)。除了無機砷以外，土壤中也含有一定含量的甲基砷，特別是雙甲基砷。近年來的研究顯示，水稻缺乏將砷甲基化的能力，並且指出水稻植體的甲基砷主要來自於土壤微生物。甲基砷物種 (DMA, MMA) 透過砷轉運蛋白 (Lsi 1) 被水稻根部吸

收，DMA 在植體中具有較高的移動性，這也是為何 DMA 為水稻穀粒主要砷物種的原因。儘管現今對於砷的吸收及代謝有快速的進展，但是仍然不清楚水稻品種間對於砷吸收差異的原因，這也使得至今較難利用育種的方式降低水稻對砷的吸收。

**主題: Strategy for developing rice with reduced As accumulation in grain(發展低砷累積水稻品種)**

W.Y. Song, T. Yamaki, Naoki, D. Ko, M. Fujii, K.H. Jung, G. An, E. Martinoia, J.F. Ma, and Y.S. Lee

砷為慢性毒，它會造成嚴重的皮膚損害及癌症。水稻為人體攝食到砷的主要來源，因此，降低稻米砷的累積及減少砷進入到食物鏈的含量是非常重要的。本篇研究指出多個 ATP-Binding Cassette (ABC) 轉運蛋白家族，*OsABCC1* 可使砷累積在水稻節點 (node) 韌皮部伴細胞的液泡中，因此抑制砷轉移至穀粒。研究結果發現 *OsABCC1* 基因在許多器官表現，包含根、葉、節點、花梗及花軸，如果以分子技術使 *OsABCC1* 基因不表現，會降低水稻對砷的耐受性。當水稻在生殖生長期，野生型 (wild-type) 水稻的節點和其他組織的砷含量會高於 *OsABCC1* 突變株，但穀粒中的砷濃度則較低。本研究建議可發展藉由累積砷於根部液泡進而抑制砷轉移至地上部及穀粒的水稻。

**(二)日本鎘研究的最新進展：鎘被鑑定為痛痛病的病因 50 周年紀念**

**主題: Natural History of Itai-Itai disease (Cadmium –induced renal tubular osteomalacia): Results from population-based and observational studies (痛痛病[鎘引起的腎小管骨軟化症]的研究回顧：族群觀察研究)**

K. Aoshima

鎘為環境中的重金屬污染物，因為植物可將鎘從土壤或水體吸收，因此它可存在於作物的食用部位。鎘污染最著名的例子為在日本富山縣爆發的痛痛病 (Itai-Itai disease, IID)，主要是當地居民患有近端腎小管機能障礙 (proximal tubular dysfunction, PTD) 及軟骨症 (osteomalacia)。此地區種植的稻米含有高含量的鎘是因為利用上游流經礦區的水進行灌

溉。本研究整理過去 50 年來日本對於痛痛病在流行病學及臨床研究結果，說明當地居民受到痛痛病的影響，並且討論環境暴露誘導慢性鎘毒害的歷史。

自 1983 至 1986 年與自 1994 至 1997 年，分別針對 487 位 1914 年至 1929 年痛痛病被發現前出生之受測者進行 11 年的追蹤研究，利用尿液中的肌酸酐含量 (creatinine) 評估當地居民 PTD 的結果指出，有 69 % 的男性及 65% 的女性超過正常值，此結果顯示鎘導致的 PTD 在性別之間沒有顯著的差異。然而，2000 年至 2003 年針對前述 487 位受測者中的 129 位進行骨質代謝指標的研究結果指出，鎘導致的 PTD 對於性別之間骨質異常發展是具有差異的 (女性大於男性)。此外，於 2011 年所進行的 25 年追蹤研究結果則顯示，PTD 和 IID 的臨床症狀與血液檢測結果隨時間增加而加遽。

**主題: Cadmium exposure through consumption of home-harvested rice with high cadmium concentration and its effect on renal tubular function among farmers in northern Japan (日本北部農民食用高鎘含量水稻的鎘暴露量及其對腎小管功能之影響)**

H. Horiguchi

富山縣的 Jinzu River 盆地為日本鎘污染面積最廣的單一區域，此區域有數百個因為鎘毒害導致腎病及痛痛病的病人。除此之外，在日本也有許多鎘污染的區域，當地居民也受到過量鎘暴露的影響。例如在日本北部的秋田縣，鎘污染區域的加總面積為全日本最高，當地也發現種植出來的稻米鎘濃度超出法規訂定的標準  $0.4 \text{ ug g}^{-1}$ 。秋田縣不同於富山縣鎘污染土壤主要集中在同一區域，它則是因為當地有多個礦區所以鎘污染土壤分散在不同區域。在日本，米在市場販售前都會分析其中的鎘濃度，防止消費者買到鎘濃度超標的產品。然而，在有些鎘污染地區，消費者會直接與自家採收的農民購買沒有經過檢驗但可能鎘濃度超標的米，這存在著過量鎘暴露的風險。根據 2000-2004 年的研究結果指出，秋田縣鎘污染區域的女性農民血液及尿液中的鎘濃度含量較高，約有 10% 超過標準值。

為了降低水稻對鎘的吸收，在當地發現利用浸水的方式可使稻米的

鎘濃度低於管制標準。即便如此，由於鎘的生物半衰期較長 (15-30 年)，雖然近年降低農民對鎘的暴露，但過去受到過量鎘暴露的農民仍會有腎臟功能及尿液和血液鎘濃度高的問題，研究結果也發現隨著年齡增加，這些問題會愈嚴重。因此，在鎘污染的區域，需要提供農民完整的身體檢查，並且觀察是否有過量鎘暴露的問題存在，並且給予受到痛痛病的農民合適的醫療照顧。

### (三)重金屬污染土壤復育;科學上最先進的新穎實用的方法

**主題: Alternate wetting and drying irrigation reduces total and inorganic As, but increases Cd in rice grain (乾濕交替灌溉降低稻米中無機砷含量但提高鎘含量)**

R.L. Chaney, A.M. McClung, M.E. Anders, and C.E. Green

本研究整理近年來有關水分管理對稻米砷與鎘含量影響之相關研究結果。一般而言，在浸水環境下，五價砷容易還原成移動性高的三價砷，使得水稻容易吸收及累積砷於植體中。相反的，鎘則是在氧化的狀態下具有較高的有效性，厭氧狀態下則是會形成 CdS 沉澱而降低其移動性。因此，在進行水分管理時，增加土壤排水的時間雖然可降低稻米中砷的累積，但同時會增加鎘的累積及降低產量。最近的研究數據顯示，當土壤水分含量達 40% 保水能力時進行灌溉，不但減少產量的降低，同時可降低稻米中砷及鎘的累積。在水稻中鎘和鋅使用不同的轉運蛋白進入植體，在其他植物 (小麥、萵苣、菠菜、向日葵)則發現，增加鋅可抑制鎘的吸收。水稻中的錳與鎘使用相同的轉運蛋白 (NRAMP5)，因此，在浸水狀態下，水稻對鎘吸收降低的原因除了形成 CdS 沉澱外，土壤溶液中錳濃度的提高也會抑制水稻對鎘的吸收。當土壤氧化後，因為 CdS 氧化使鎘的有效性上升及錳氧化降低土壤溶液中錳的濃度，所以提升水稻對鎘的吸收。利用分子技術使 NRAMP5 不表現而產生的水稻突變株，雖可降低鎘的吸收，卻也會造成嚴重的鎘缺乏。另外，由於多數水田土壤的鋅生物有效性很低，且鎘從水稻莖基部節點的木質部轉移至韌皮部的效率高，因此，在鋅、鉛、銅礦或冶鍊廠周邊農田稻米鎘濃度明顯累積，但鋅濃度則幾乎不受影響。最後，作者認為乾濕交替的水田管理加上低鎘吸收品種的育成也許可解決同時受鎘與砷污染的水田問題，

並點出未來的研究及育種方向應同時考慮如何降低砷與鎘吸收且不影響其他養分吸收。

**主題: Mitigation technologies of cadmium and arsenic in rice (水稻中鎘與砷的減量技術)**

T. Arao, T. Makino, S. Ishikawa, M. Murakami, K. Abe, K. Baba, N.

Yamaguchi, A. Kawasaki, T. Abe, Y. Maejima, I. Akahane, S. Matsumoto

在日本，有許多農地土壤重金屬污染都是源自於礦場及精煉廠。特別是鎘，對於人體健康具有高度的危害。本篇研究探討利用土壤改良、水分管理、化學清洗土壤、植生萃取等方式來降低農作物對鎘的吸收。此外，食用稻米除了為人體攝食鎘的來源外，它也是攝食砷的主要來源之一。水稻田浸水可使砷的移動性增加，同時增加水稻對砷的累積。本篇研究探討如何藉由水分管理、種植低鎘吸收品種及施用農業資材來同時降低稻米中砷及鎘的濃度。

**主題: Low-Cd rice cultivar enables to reduce simultaneously cadmium and arsenic in rice grains (以低鎘吸收吸收水稻品種同時降低穀粒中鎘與砷濃度)**

S. Ishikawa, T. Makino, M. Itoh, K. Harada, H. Nakada, I. Nishida, K.

Takehisa, T. Tokunaga, K. Shirao, T. Abe, T. Arao

毒性金屬像是鎘和砷會對人體健康造成嚴重的威脅。其中，稻米鎘和砷的污染問題受到許多關注，因為稻米為全世界近半數人口的主食。一般而言，土壤的水分管理對於水稻對鎘和砷的吸收影響很大，浸水有助於砷的吸收，而排水則有助於鎘的吸收。本篇研究將種植低鎘吸收的水稻品種並且找出適合的水分管理方式來同時降低稻米中砷和鎘的濃度。

本篇研究選用低鎘吸收的水稻品種 Koshihikari Kan (KK1) 及野生型 Koshihikari (KSH) 種植於九個試驗田，分布於日本七個不同縣。將水稻種植在三個不同水分管理處理的土壤中（浸水、間歇性浸水、保水狀態）。試驗結果指出，浸水處理下，土壤 Eh 和土壤溶液鎘濃度下降，砷濃度上升；保水處理下則是相反的趨勢。在三種水分處理下，KK1 穀粒

中鎘濃度都低於偵測極限，KSH 穀粒鎘濃度則是隨 Eh 增加而上升。KK1 及 KSH 穀粒砷濃度在保水狀態下則沒有顯著的差異，並且相較於浸水處理有顯著的降低。因此，本研究建議在保水狀態下種植低鎘吸收品種 (KK1) 可同時降低穀粒鎘及砷的濃度。

**主題: Effect of Soil and Foliar Application of Sodium Silicate on Arsenic Accumulation in Rice Seedlings Grown in As-Contaminated Paddy Soils (土壤與葉面施用矽酸鈉對砷污染土壤中水稻秧苗砷累積的影響)**

D.Y. Lee, C.C. Huang, H.Y. Wang, P.Y. Jiang, and C.H. Syu

矽和三價砷共用水稻根部吸收砷的路徑，推測矽的添加會降低水稻對砷的吸收。因此，本試驗將評估葉面及土壤施用矽肥對種植於砷污染土壤中的水稻幼苗砷累積的影響。試驗結果指出土壤施用矽肥，雖然土壤溶液中的砷濃度會隨矽肥添加量增加而增加，但地上部砷濃度也會有下降的趨勢。這是因為土壤溶液高 Si/As 比，溶液中有足夠的矽與砷競爭根部的吸收所致。然而，葉面施用矽肥對於降低水稻吸收砷則沒有顯著的影響。本篇研究建議，如果要使用矽肥降低水稻對砷的吸收，必須注意土壤溶液的 Si/As 比，Si/As 比太低反而會導致水稻受到砷的毒害。

**主題: Impact of biochar on metal mobility and microbial community in contaminated soil (生物炭處理對污染土壤中金屬移動性及微生物族群的影響)**

M. Ahmad, S.S. Lee, and Y.S. Ok

本研究將評估生物炭對於重金屬污染農地土壤中金屬移動性、微生物濃度、細菌群落及碳儲存的影響。本試驗使用的生物炭為大豆莖桿和松針經燃燒 300 及 700°C 下製成。試驗結果顯示，使用 700°C 燃燒製成的大豆莖桿生物炭可降低土壤中鉛的移動性。相反的，生物炭添加會因為磷酸根競爭導致砷從土壤脫附。在 300°C 下製成的生物炭處理下，因為可溶性有機碳及活性有機碳的增加，使得土壤中格蘭氏陽性菌及陰性菌、真菌、放線菌、叢枝菌根真菌的豐度增加。在 700°C 下製成的生物炭處理下，對微生物濃度沒有影響，這是因為高溫製成下生物炭提供的

碳源主要為不可被生物利用的型態。生物炭處理的土壤中細菌群落會因原料及裂解溫度而改變。相較於控制組，添加生物炭可增加土壤中不可被利用的碳源比例，這代表可被長期儲存碳源增加。

#### 四、心得及建議

本次參與的會議為微量元素之生物地質化學國際研討會，發表內容主要為地質環境中微量元素（包含營養元素、污染重金屬及放射性銫）的相關研究，其中包含已發表或未發表之最新的研究結果，以及過去的研究成果回顧。參與的人員來自世界各國，包括學校、政府研究單位及公司研究單位，參與人員包含生物化學、地質化學、土壤化學、植物育種、分子生物、流行病學等相關背景，參與人數約 450 人。在主辦單位的巧心安排下，將研究成果依性質分類成 14 個不同的議題，參與人員可依自己的研究領域選擇有興趣的研究議題，透過口頭發表、壁報發表及用餐休息的機會與學者交換意見及相互討論。

在本次的會議中，除了發表我國在蔬菜鎘污染相關研究成果之外，也透過討論及其他論文發表中得知目前相關議題研究的成果及進展，這有助於日後的研究規劃。由於參與會議的人員來自不同的領域，從會議中不但可學習到不同領域的人面對同一個問題時解決問題的方法及思維，也可從中激盪出其他的研究想法。此外，在會議中也看到一些相當完整的研究成果，例如降低水稻鎘吸收及人體鎘毒害的研究，這個研究結合了分子生物、植物育種、土壤化學、風險評估及流行病學的試驗成果，建立一個完整且可靠的研究基礎，並可提供日後實際應用及法規制定的參考。印象最深刻者為日本對於鎘污染相關研究，從發現痛痛病、尋找病因，後續一連串的環境化學、病理學與植物生理學研究，一直到污染農田管理技術的開發(包括：調整土壤酸鹼值、水分管理、植生復育、低鎘吸收品種或根砧篩選或開發、環境友善的整治技術等)，完整的研究過程，顯示日本人解決環境污染問題時認真踏實的態度與團隊合作的精神，非常值得我國學習。

農地重金屬污染為台灣重要的環境議題，不但影響作物生長，也對食品安全及人體健康造成衝擊。因此，降低重金屬在土壤中的有效性及食物鏈中的轉移是現今急需解決的問題。參加此次研討會除可借鏡其他國家在重金屬污染的研究成果，作為我國後續相關研究及管理措施之參考外，我國過去在土壤鎘與作物之間的傳輸及累積特性之研究已有相當豐碩的成果，本次發表獲得澳洲、中國、泰國等有類似污染問題國家的學者專家極大關注，顯示我

國在污染農田管理技術之相關研究，亦獲得國際的認同。此外，農試所擁有龐大的土壤及種原資料庫、成熟的土壤調查經驗、完善的育種研究及分析技術，在適當的整合下應可解決國內農地及作物重金屬污染的問題。

最後，由本次研討會的見聞，特針對農地及作物重金屬污染的問題，提出以下建議：1.加強選育重金屬低吸收特性之作物品種，除了提供國內輕度污染農田栽培用，未來在中國及東南亞應有推廣空間。2.在水稻抽穗前後延長田區浸水時間，為日本目前針對輕微受鎘污染農田最常採用的降低稻米格濃度的方法，對環境友善且成本低，可考量在國內推行。3.針對農田污染問題，應建立完整研究團隊，避免重複研究，造成資源浪費。4.土壤性質對重金屬的生物有效性有極大影響，相關田間試驗應納入土壤化學專長人員，以充分掌握土壤性質的影響。

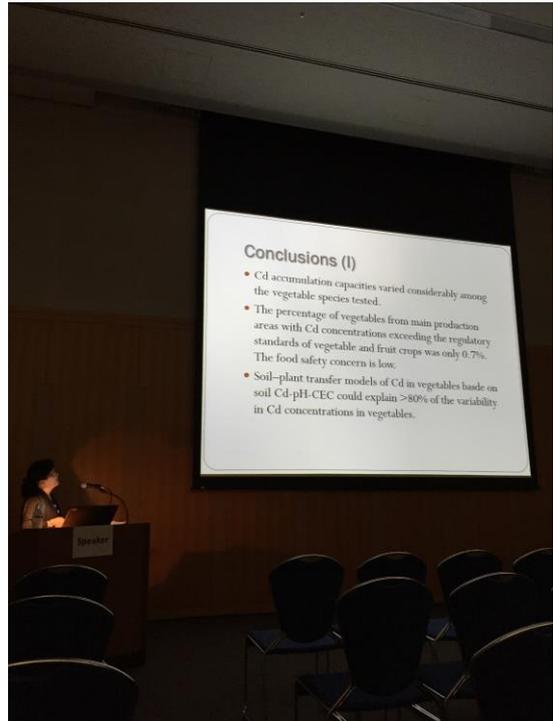
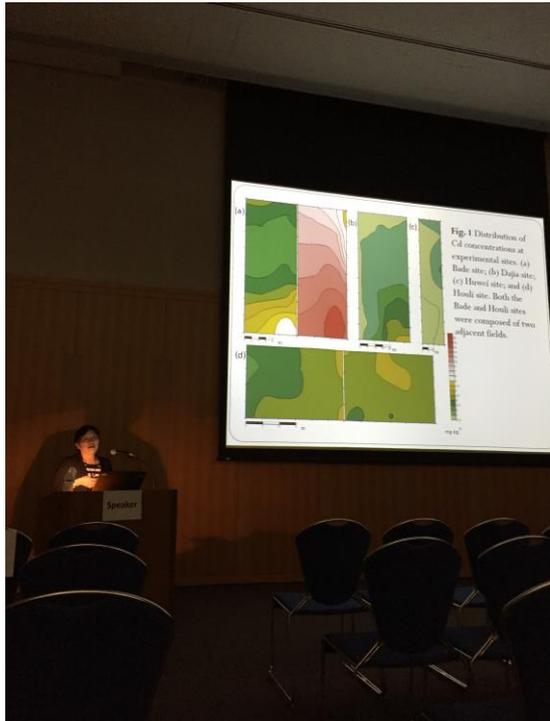
## 五、附錄



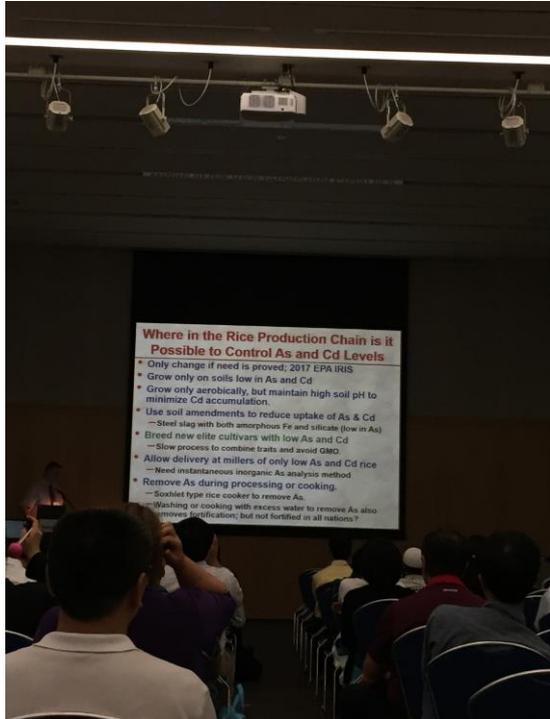
開會地點：福岡國際會議中心



台灣與會學者及學生合影



論文發表照片



美國土壤化學大師 R.L. Chaney 演講照片

臺灣大學李達源教授演講照片



大會閉幕照片(優秀論文頒獎、公佈下屆舉辦城市)