



以廚餘堆肥化之液肥復育鋅污染土壤與地力回復之研究

林文經^{1*} 林文修¹ 李元陞² 劉鎮宗³

1. 宜蘭大學環境工程學系（所）研究生
2. 宜蘭大學環境工程學系（所）教授
3. 宜蘭大學環境工程學系（所）副教授

摘要

使用酸洗法處理重金屬污染之土壤是一種常見的方式；雖可移除重金屬，但也造成土壤中原有的營養元素因酸洗流失，而影響農作物之生長與生產力。本研究以廚餘液肥，作為土壤整治之清洗液來復育鋅污染土壤，過程中能將液肥所含肥力留存於土壤中減少肥分損失。以 pH 2.0 液肥清洗液清洗二次後，表土及裡土鋅的移除率分別達 45% 及 23%，可符合 $600 \text{ mg Zn kg}^{-1}$ 之食用農地管制標準。比較其肥力變化；經酸性水溶液清洗後之土壤肥力均明顯低於原土樣，而經液肥清洗後土壤肥力明顯提升；表土及裡土之有機質分別增加 5.0% 及 7.5%、銨態氮分別增加 120% 及 40%、有效性磷分別增加 65% 與 63%、交換性鉀分別增加 153% 與 499%。

關鍵詞：鋅、土壤肥力、廚餘液肥、土壤清洗法

*通訊作者 E-mail : linwinjen@yahoo.com.tw



Reclamation of Zinc-contaminated Soil Using Dissolved Organic Matter Solution Prepared from Liquid Fertilizer of Food Waste Composting

Wen-Jing Lin^{1*}, Wen-hsiu Lin¹, Yuan-sheng Li², Cheng-Chung Liu³

1. Graduate Student, National Ilan University, Department of Environmental Engineering
2. Professor, National Ilan University, Department of Environmental Engineering
3. Associate Professor, National Ilan University, Department of Environmental Engineering

ABSTRACT

Soil washing using an acid solution is a common practice for removing heavy metals from contaminated soil in Taiwan. However, significant soil fertility degradation and high operation costs are the major disadvantages of soil washing. Washing soil with a dissolved organic matter (DOM) solution has been identified as a method that can moderate the loss of nutrients in the soil and enhance metal removal. Liquid fertilizer of food waste composting can be used to prepare a dissolved organic matter (DOM) solution. This study employed DOM solutions to remediate Zn-contaminated soil (with concentrations up to 992 and 757 mg kg⁻¹ respectively in topsoil and subsoil) and determine the factors affecting removal of Zn, such as pH, initial concentration of DOM solution, temperature, and washing frequency. When washing with pH 2.0 and 1,500 mg L⁻¹ DOM solution twice, about 45% and 23% of Zn were removed from the topsoil and subsoil at 25°C, respectively. With this treatment, the increase in organic matter content ranged from 5.0% to 7.5%; available ammonium (N-NH₄) content ranged from 47% to 140%; available phosphorus content ranged from 63% to 65%; and exchangeable potassium content ranged from 153% to 499%.

Keywords: Zinc, Soil fertility, Liquid fertilizer, Soil washing

***Corresponding author E-mail:** linwinjen@yahoo.com.tw

一、前言

近年來因工商業迅速發展及人類經濟的活動，不肖廠商任意將含重金屬的廢水排放到水體中，農民取用此水源灌溉時造成農地品質惡化。土壤一旦遭受破壞或污染，很難恢復原來的功能（許正一，2000）。復育受重金屬污染土壤之技術，包括（1）化學處理法（包括萃取法、安定化法）（2）工程技術法（包括排土與客土法、現地淋洗土壤法、現地電熔法等）；及（3）生物處理法（即植生攝取法、植生綠化法等）（陳尊賢，2003）。雖然許多土壤復育技術可用於重金屬污染土壤之整治，但並不一定可將重金屬含量降低至可繼續農作之目標。淋洗法不僅可有效移除土壤重金屬，其他優點還包括有較佳之經濟效益及僅需著重於特定的粒徑，可適當的減少處理量、可循環與再利用現地物質等優點（陳尊賢，2008）。但此法對土壤性質之破壞較其他整治技術為大，造成之影響如土壤 pH 值降低時溶解大量的鐵、鋁、錳，對作物造成毒害。再者當土壤變酸時會致使磷與鐵、鋁結合形成不溶解性之磷酸鐵與磷酸鋁等化合物，有礙作物對磷之吸收，並使土壤中鈣、鉀、鎂等元素流失。此外在酸性土壤中分解有機物之放射菌及細菌、固氮菌、硝化細菌等，其繁殖活性會受阻，影響作物之生育及產量（羅秋雄，2002）。其他研究也指出，土壤以鹽酸進行淋洗後，容易造成土壤酸化及土壤組成流失，且對土壤之有機質、化學性質以及土壤微生物族群及活力會造成極大之影響，而使整治後的土壤有不適合再耕作之問題（陳尊賢，2003；Brewster et al, 1994）。因此復育之土壤若要回復於農用，有必要對原有處理技術加以改良。由於民生富裕與國人之飲食習慣，在日常生活所產生的垃圾中，含有極高比例的「廚餘」，約佔一般家庭垃圾量的二至三成，而一般廚餘的處置多以衛生掩埋、堆肥或焚化為主，造成掩埋場或焚化廠的負擔。「廚餘」若能回收再利用，不但可減輕垃圾處理壓力，並降低垃圾掩埋場臭味與滲出水之污染，以及紓緩垃圾焚化廠廢氣排放問題（行政院環境保護署，2008），而「廚餘液肥」為廚餘回收後經前處理與發酵，成為穩定化堆肥過程中所滲出之『液肥』，目前廚餘液肥的用途除了使用於農作物之施肥及植物增強抗病蟲害能力與產能外並無其他再利用方式。先前已有研究以酒廠污泥所含之高濃度有機質進行復育重金屬污染土壤之研究，且證實以有機質吸附重金屬之機制，具有相當成效（劉鎮宗，2007；陳冠步，2010；林盈蓁，2011；林文修、林文經，2012）；研究中遂以廚餘堆肥發酵過程中所產生含高濃度有機質的之液肥，進行鋅污染農地之清洗復育試驗，為液肥的再利用途徑進行驗證。鋅（Zinc, Zn）在人體含量約佔體重的 0.003%，相當於成人體內約有 2 公克鋅。90% 的鋅都存在肌肉與骨骼中，其餘

10% 在血中扮演舉足輕重的角色。鋅缺乏會導致免疫力低下、食慾不振、生長減緩、下痢、掉髮、夜盲、前列腺肥大、男性生殖功能減退、動脈硬化、貧血等問題。鋅也是人體之必需元素，一般生物對其耐受性皆高，但攝取過量的鋅同樣會造成毒害。食入高量的鋅(300 mg 以上)會產生腸胃不適、頭痛、視覺受影響等症狀、嚴重者可能會休克(陳建民，2008)。

本研究目的為：(1) 探究液肥清洗液對鋅的移除效率 (2) 比較液肥清洗與傳統酸洗對土壤基本性質的差異 (3) 建立以廚餘液肥復育受重金屬污染土壤的最佳操作參數。

二、材料與方法

本研究使用的土壤樣本採集自彰化縣嚴重鋅污染且未經整治之農田場址(TMD97 座標：203594, 2661464)，採樣時以適當間距將採樣區內相距一公尺之五個不同採樣點的土壤混合，以取得區域內的平均濃度，經風乾、磨碎，過 2.0 mm 篩網後裝罐儲存，作為建立最佳試劑萃取試驗之供試土樣。經王水消化處理後測得此土壤的表土鋅濃度 992 mg Zn kg⁻¹；裡土 757 mg Zn kg⁻¹；因此整治時鋅的移除率，須分別達到表土 40% 以及裡土 21% 以上，才可使其鋅含量降低至食用作物農地之管制標準(600 mg Zn kg⁻¹)。

表 1. 原始廚餘液肥之化學組成與性質

pH		7.42
TOC	mg L ⁻¹	7914
K	mg L ⁻¹	3663
Na	mg L ⁻¹	917
Ca	mg L ⁻¹	16.3
Mg	mg L ⁻¹	0.008
Fe	mg L ⁻¹	0.079
P	mg L ⁻¹	38.8

本研究使用之廚餘堆肥化液肥取自宜蘭縣羅東鎮有機廢棄物處理廠，其廚餘經分選、破碎、脫水、添加木屑做為介質後，再經前發酵、後發酵過程，在穩定化堆肥過程中所滲出之『液肥』，由其化學組成與性質(表 1)中得知廚餘液肥含有高濃度的有機質及氮、磷、鉀等營養元素，但其中的鈣與鎂含量則偏低。液肥原液的總有機碳(Total organic carbon, TOC)為 7914 mg L⁻¹，在適度稀釋後作為土壤重金屬污染復育之清洗液。由土壤清洗之預備實驗分別確認出具最佳移除效率之 pH、有機質濃度、固液比、時間、溫度等之清洗條件。經預備實驗得知，當液肥濃度 TOC > 1500 mg L⁻¹ 以上時，移除率無明顯提升，因此在考慮液肥萃取液稀釋用量之經濟性以及可達管制標準移除率之先決條件下，將污染物最佳移除效率萃取試驗條件確立為：TOC 1500 mg L⁻¹、反應萃取時間 30 min、固液比(S/L) 1:40、反應溫度 25°C，調整 pH 並分別比較液肥清洗液及水溶液之移除效率與清洗後各項土壤肥力的變化。

研究中以不同萃取液種類比較污染土壤中鋅的移除率：將 3.0 g 受鋅污染之土壤置入 250 ml 血清瓶內，分別加入表 2 中所列之萃取液，置於往復式振盪機反應(150 rpm)及離心過濾處理(Whatman No. 42 濾紙)後，以火焰式原子吸收光譜儀(機型 GBC 932 plus)測定濾液鋅含量，並以清洗液中的鋅含量來推算重金屬移除率。確認清洗效率後，依據相同清洗條件製備清洗後肥力分析土樣，再將土樣利用酒精清除土樣孔隙中多餘的離子後，進行處理前、後的土壤肥力變化分析，項目包括：pH、有機質(Organic matter, OM)、陽離子交換容量(Cation exchange capacity, CEC)、電導度(EC)、有效性磷(P)、交換性鉀(K)、交換性鈉(Na)、鈣/鎂比等。各項肥力分析項目及方法如表 3 所示。

表 2. 清洗液種類

類別	清洗液內容
A	pH 2.0~12.0 之水溶液
B	pH 2.0~12.0 之液肥清洗液(1500 mg L ⁻¹)

萃取條件: S/L= 1:40, Temperature= 25°C, rpm=150, Time= 30 min

表 3. 土壤肥力檢測項目及方法

分析項目	測定方法
土壤質地	吸管法
pH	電極法(NIEA S410.62C)
有機質(Organic matter)	濕氧法-中華土壤肥料協會-土壤與肥料分析手冊
陽離子交換容量(CEC)	醋酸鈉法(NIEA S202.60A)
電導度(EC)	電導度計法(NIEA S203.51B)
有效性磷(P)	白雷氏第一法-中華土壤肥料協會-土壤與肥料分析手冊
交換性鉀(K)	中性醋酸銨(1M)萃取法-土壤與肥料分析手冊
交換性鈉(Na)	中性醋酸銨(1M)萃取法-土壤與肥料分析手冊
鈣/鎂比	中性醋酸銨(1M)萃取法-土壤與肥料分析手冊

三、 結果與討論

本研究中以廚餘液肥做為處理鋅污染土壤之清洗液，其處理機制是利用液肥高含量有機質做為螯合劑，萃取吸附於土壤粒子上的鋅，而液肥中所含之有機質的羧基是其吸附重金屬最重要的官能基 (劉鎮宗, 2007)，並且有機物質可作為載體並形成有機金屬化合物，促使金屬從土壤中移轉出來(Lamy et al, 1993)。

由圖 1 顯示液肥清洗液之紅外線光譜位於 3383 cm^{-1} 間寬廣吸收帶是由水的官能基 ($-\text{OH}$)所致， 1637 cm^{-1} 附近的強吸收是由羰基和 COO^- 振動共軛之雙鍵對稱性的伸縮所造成，其中位於 1152 cm^{-1} 可能為為典型醣類連結的 $\text{C}-\text{C}$ ， $\text{C}-\text{OH}$ ， $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ，多醣類 $\text{C}-\text{O}$ 伸縮之明顯吸收帶，在 1093 cm^{-1} 附近的吸收帶則可能與微生物細胞壁上的幾丁質、甲殼素或蛋白質中 $\text{C}-\text{N}$ 之伸縮運動有關，在 1402 cm^{-1} 之吸收為羧基($-\text{COOH}$)、酚基(phenolic OH)等官能基所致。

其中羧基($-\text{COOH}$)、酚基(phenolic OH)等官能基之產生能對金屬離子產生吸附作用(林永鴻, 2008)。並有文獻指出胺基($-\text{NH}_2$)和羥基($-\text{OH}$)，可利用於物理或化學吸附上；此外藉由胺基其孤對電子和過渡金屬離子產生配位共價鍵，對金屬離子具有螯合功用 (Aly et al.,1997)，也佐證了液肥清洗液所含之有機物質確有萃取土壤中重金屬離子的作用。

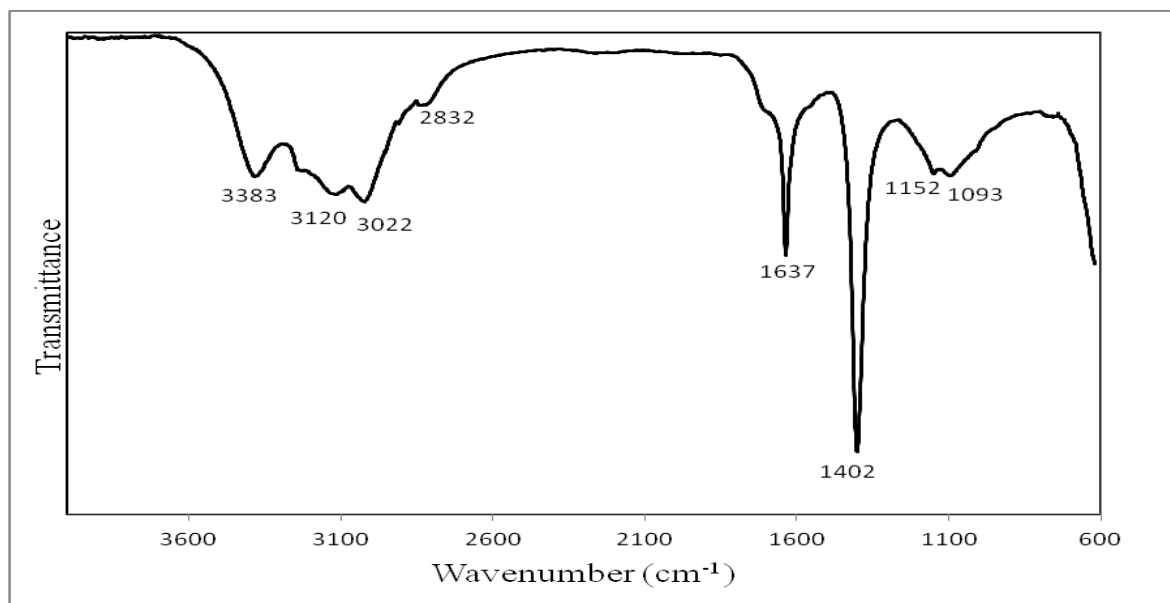


圖 1. 液肥清洗液之 FT-IR 傅立葉轉換紅外線光譜

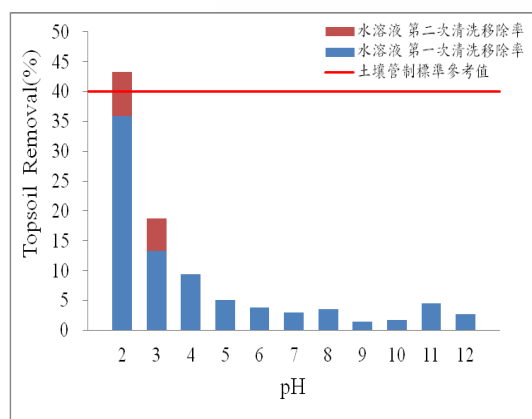
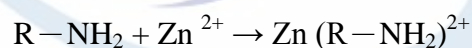
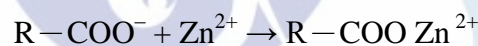
表 4. FT-IR 傅立葉轉換紅外線光譜主要吸收峰之鑑識

波數 cm^{-1}	波長 μm	官能基鑑識
3400~3300	3.94~3.03	OH 和 N-H 的伸縮
3380	2.950	氫鍵的 OH
2985	3.35	CH ₃ 和 CH ₂ 的伸縮
2940~2900	3.40~3.44	脂肪族 C-H 的伸縮
1725~1720	5.79~5.81	COOH 官能基中 C=O 的伸縮
1650~1630	6.00~6.10	第一級胺中 C=O 的伸縮，芳香族 C=C，H 鍵結之 C=O，與羰基和 COO ⁻ 振動共軛之雙鍵
1650~1613	6.00~6.19	COO ⁻ 對稱性的伸縮
1460	6.85	脂肪族的 C-H，CC-H ₃
1440	6.95	甲基中之 CH 的伸縮
1435	6.97	C-H 彎曲
1400	7.14	COO ⁻ 非對稱性的伸縮
1390	7.20	COOH 的鹽類
1280~1230	7.80~8.10	C-O 伸縮，芳香族的 C-O，酯類的 C-O，以及酚類的 C-OH
1170~950	8.50~10.5	典型醣類連結的 C-C，C-OH，C-O-C。Si-O 不純物，多醣類 C-O 伸縮
1035	9.67	O-CH ₃ 的振動
840	11.9	芳香族 C-H 的振動

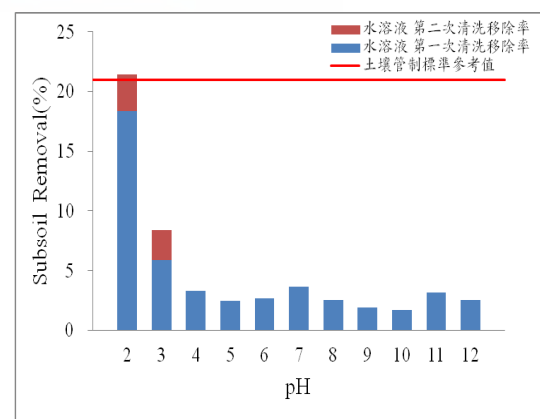
(Tan, 1994; Stevenson, 1994)

比較以相同 pH 2.0 的液肥清洗液(表 2A)與水溶液(表 2B)，清洗復育鋅污染土壤樣本，經第一次清洗時，水溶液處理之移除率表土為 36%，裡土為 18% (圖 2)；經液肥清洗液處理之移除率表土為 37%，裡土為 20% (圖 3)，均未能達到食用農地管制標準(表土 40%、裡土 21%)，遂再以相同萃取條件進行第二次清洗，經第二次清洗後水溶液累計之總移除率，表土為 43%，裡土為 21%；液肥清洗液累計之總移除率，表土為 45%、裡土為 23%。顯示經二次清洗後，液肥與水溶液萃取液之移除率皆可符合管制標準，且液肥清洗液之總移除率皆高於水溶液。而以 pH 3.0 以上的液肥清洗液與水溶液進行清洗，則土壤中鋅的移除率皆無法降至管制標準以下。

檢視液肥與水溶液清洗液在 pH 2~12 各區段之移除率 (圖 2 和 圖 3)，均以 pH 2.0 之清洗效果最佳，但移除率隨 pH 的上升而下降，尤其以水溶液之移除率在 pH 3.0 以上的下降趨勢最為明顯；其餘 pH 2~5 與 pH 8~12 之區段，液肥清洗液之移除效率皆較水溶液為佳。值得注意的是，水溶液在 pH 3~4 之移除率甚至急遽下降到不到液肥清洗液的一半，也證實了液肥在酸性環境下有強化移除率的貢獻。而堆肥液肥對重金屬之吸附機制為其富含之有機質中的腐植酸具有羧基結構，因表面帶負電而可吸附帶正電之重金屬離子(林永鴻，2008)；其中 -COO^- 及 -COOH 與重金屬離子發生錯合作用的機制如下(劉鎮宗，2007)：

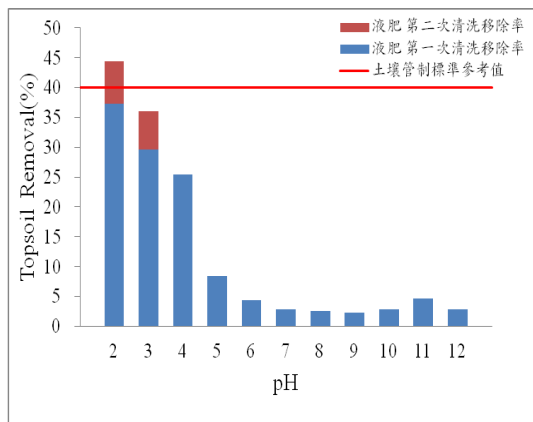


(a) 表土

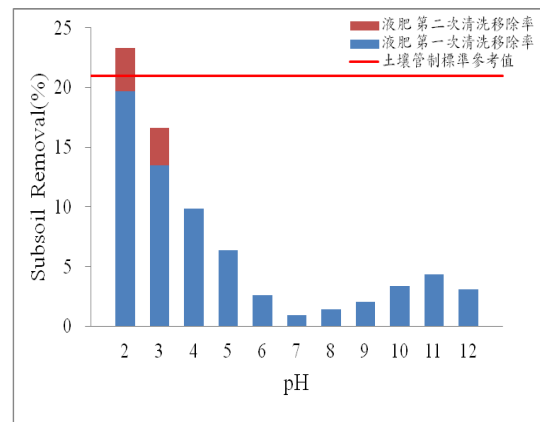


(b) 裡土

圖 2. 不同 pH 水溶液對中鋅之移除率 (S/L=1:40, Temperature=25°C, rpm=150, Time=30min)



(a) 表土



(b) 裡土

圖 3. 不同 pH 液肥清洗液對中鋅之移除率(TOC= 1500 mg L⁻¹, S/L=1:40, Temperature= 25°C, rpm= 150, Time= 30 min)

表 5. 廚餘堆肥化液肥-清洗(表土層)後的土壤性質及肥力變化(1500 mg L⁻¹, 25°C, 30 min, S/L 1:40)

表土	Unit	Original soil	pH 2 /液肥	pH 2 /Water	pH 3 /液肥	pH 3 /Water
Zn (1 st washing)	mg kg ⁻¹	992	622	636	698	698
Zn (2 nd washing)	mg kg ⁻¹	---	550	563	634	644
pH		5.4	4.1	3.4	4.8	4.3
Organic matter	%	6.2	6.5	5.3	6.9	5.3
CEC	cmol _c kg ⁻¹	13.4	11.7	11.0	12.9	11.3
EC 1:5	dS m ⁻¹	0.15	0.10	0.06	0.08	0.02
NH ₄ ⁺ -N	%	0.05	0.11	0.01	0.14	0.02
Available P	mg kg ⁻¹	3.77	6.21	2.70	8.05	3.31
Exchangeable K	mg kg ⁻¹	580	1470	150	1660	218
Exchangeable Na	mg kg ⁻¹	155	97	56	122	79
Exchangeable Ca	cmol _c kg ⁻¹	3.13	0.85	1.59	0.3	0.45
Exchangeable Mg	cmol _c kg ⁻¹	0.66	0.35	0.39	0.16	0.32
Ca ²⁺ /Mg ²⁺		4.7:1	2.4:1	4.1:1	1.98:1	1.4:1
ESP	%	2.17	1.33	1.31	1.57	1.43

食用作物農地管制標準 600 mg Zn kg⁻¹

表 6. 廚餘堆肥化液肥-清洗(裡土層)後的土壤性質及肥力變化(1500 mg L⁻¹, 25°C, 30 min, S/L 1:40)

裡土	Unit	Original soil	pH 2 /液肥	pH 2 /Water	pH 3 /液肥	pH3 /Water
Zn (1 st washing)	mg kg ⁻¹	757	608	618	655	655
Zn (2 nd washing)	mg kg ⁻¹	---	580	594	631	636
pH		5.2	4.2	3.6	4.6	4.4
Organic matter	%	4.0	4.3	3.1	4.8	3.7
CEC	C mol _c kg ⁻¹	11.5	11.2	10.0	13.5	10.1
EC _{1:5}	dS m ⁻¹	0.08	0.06	0.05	0.07	0.02
NH ₄ ⁺ -N	%	0.05	0.07	0.03	0.08	0.05
Available P	mg kg ⁻¹	3.16	5.15	2.55	6.98	2.85
Exchangeable K	mg kg ⁻¹	242	1450	155	1620	177
Exchangeable Na	mg kg ⁻¹	168	90	83	116	93
Exchangeable Ca	cmol _c kg ⁻¹	3.07	1.07	1.25	0.33	0.58
Exchangeable Mg	cmol _c kg ⁻¹	0.72	0.32	0.34	0.1	0.22
Ca ₂ ⁺ /Mg ₂ ⁺		4.3:1	3.3:1	3.7:1	3.3:1	2.6:1
ESP	%	2.35	1.51	1.04	1.57	1.35

食用作物農地管制標準 600 mg Zn kg⁻¹

比較以 pH 2.0 液肥及水溶液復育後土壤地力變化之結果，分別詳見於表 5 與表 6。液肥清洗後：銨態氮表土增加了 1.2 倍，裡土增加 0.4 倍；有效性磷表土增加 0.65 倍，裡土增加了 0.63 倍；交換性鉀表土則增加 1.53 倍；裡土增加 4.99 倍；僅交換性鈉及鈣、鎂則有部分流失；交換性鈉表土減少 0.4 倍，裡土則減少 0.46 倍；鈣鎂比表土減少 0.49 倍，裡土則減少 0.13 倍。其鈣鎂比減少原因，推測為清洗過程中土粒上的 Ca²⁺和 Mg²⁺被大量的析出、脫附所致；而液肥清洗後之土壤其 Ca²⁺和 Mg²⁺無法提升的原因，可能為液肥原液中所含之 Ca²⁺和 Mg²⁺不足之因素所致。而另外比較以 pH 2.0 水溶液清洗後之土壤肥力：銨態氮表土降低了 0.8 倍，裡土降低 0.4 倍；有效性磷表土降低 0.28 倍，裡土降低了 0.19 倍；交換性鉀表土則降低 0.9 倍；裡土降低了 0.36 倍；交換性鈉表土減少 0.67 倍，裡土則減少 0.51 倍；鈣鎂比表土減少 0.23 倍，裡土則減少 0.14 倍。另外鈉飽和度 (Exchangeable Sodium Percentage, 簡稱 ESP) 是指土壤溶液中鈉離子佔總陽離子之當量濃度的百分比。鈉可使土粒分散，並可能使土壤結構緊密，造成透水性降低，導致排水不良等，土壤中鈉飽和度愈大，愈易使土壤趨向於鹼性反應。當鈉飽和度大於 15 就可視為鹼土，因此鈉離子含量增多對土壤有害 (謝兆申、王明果, 1995; Brady, 2002)。淋洗後土壤中的 Na⁺離子因酸洗而流失，因此鈉飽和度皆有降低：表土降低 0.39

倍，裡土降低 0.36 倍；而以水溶液酸洗者尤其嚴重分別降低了 0.4 倍及 0.56 倍。另外以 pH 3.0 液肥及水溶液清洗後土壤中的鋅含量雖均未能達到管制標準，但其各項土壤肥力以 pH 3.0 溶液清洗皆較以 pH 2.0 溶液清洗者為高；其中以水溶液清洗者其表土與裡土：有機質高出 0~22%；銨態氮高出 67~100%；有效性磷高出 23~120%；交換性鉀高出 14~45%；交換性鈉則高出 12~41%；而以液肥清洗者其表土與裡土之有機質高出 6~13%、銨態氮高出 14~27%、有效性磷高出 30~36%；交換性鉀高出 12~13%；交換性鈉則高出 26~29%；顯示以 pH 越低的清洗液清洗者，其土壤肥力流失情形愈嚴重。以上結果顯示，以水溶液清洗後土樣各項肥力都有大量流失情形；而以液肥清洗之土壤肥力流失情形則有明顯改善，僅在交換性鈉及鈣、鎂略有流失，其他肥力如銨態氮、有效性磷、交換性鉀等含量則皆有顯著提升。證實使用經液肥溶液清洗後，可將土壤鋅濃度降至管制值標準，並有助於土壤肥力之維持。

四、結論

本研究在妥善復育受鋅污染土壤的前提下，驗證了經二次的液肥溶液（pH 2.0）清洗後，表土及裡土層中鋅含量最後分別降至 550 mg kg^{-1} 及 580 mg kg^{-1} ，符合食用農地管制標準，也證實了廚餘液肥在清洗時，可利用其富含之有機質中的羧基碳結構及羥基與胺基等官能基，對金屬離子產生螯合、吸附作用，有效的萃取土壤中的重金屬離子；在清洗後也能將所富含的有機質與營養元素留存於土壤中，避免傳統酸洗中土壤肥力的損失，有效降低整治後地力回復之經濟及時間成本。本研究之成果也為廚餘液肥之再利用形式開啟嶄新的方向。

雖然土壤中的鈣鎂有所流失但已較單純以水溶液酸洗者為少，為了解清洗復育後之土壤直接施用於農業行為之可行性，未來可在清洗後之土壤進行盆栽試驗及模擬雨季淋洗之土柱淋洗試驗；藉以分析其土壤肥力變化並實際調查對作物生長情形之影響，用以評估田間再利用之可行性。進而由嘗試加入各項營養元素來改良液肥成份，期能更加精確調控土壤中各項肥力含量，有效提高復育後農作物之產量。

致謝

感謝【國立宜蘭大學土壤環境科學實驗室】，林文修同學之殷切指導與協助。

參考文獻

- 中華土壤肥料協會，**土壤分析手冊**，行政院農業委員會，台北，台灣。
- 林永鴻，2008，“不同堆肥的腐植酸之光譜特性及對鋁的吸附行為研究”，**行政院農委會高雄區農業改良場研究彙報**，第19卷第一期，第46-56頁。
- 林盈蓁，2011，“以酒廠污泥備製之可溶性有機碳溶液複合EDTA、Citric Acid復育銅污染土壤之研究”，**環教永續低碳城市建構暨資源與環境學術研討會**。
- 林文修、林文經，2012，“以可溶性有機質溶液復育鉛污染土壤之研究”，**海峽兩岸土壤肥料學術研討會**，第九屆。
- 行政院環境保護署，2008，**廚餘回收再利用操作管理參考手冊**，台北，台灣。
- 許正一，2000，“台灣環境教育中不可缺席的一環：土壤環境生態教育”，**環境教育季刊**，第42期，第59-66頁。
- 陳尊賢，2003，“受重金屬污染農地土壤之整治技術與相關問題分析”，**台灣土壤及地下水環境保護協會簡訊**，第九期，第2-9頁。
- 陳尊賢、蘇紹璋，2008，“土壤清洗法整治重金屬污染土壤 國內外最新研究與整治案例之回顧”，**台灣土壤及地下水環境保護協會簡訊**，第42期，第4-12頁，台北，台灣。
- 陳建民，2008，**環境毒物學 金屬篇**，新文京開發出版有限公司，台北，台灣。
- 陳冠步，2010，“以酒廠污泥備製之可溶性有機碳溶液復育鎘污染土壤之研究”，**海峽兩岸土壤肥料學術研討會**，第八屆。
- 劉鎮宗，2007，**以酒廠污泥移除水中鉻銅鋅鎳之研究**，博士論文，農業化學研究所，國立臺灣大學，台北，台灣。
- 謝兆申、王明果，1995，**土壤調查技術手冊**，國立中興大學土壤調查試驗中心，台中，台灣。
- 羅秋雄，2002，**強酸性土壤改良**，桃園區農業改良場，桃園，台灣。
- Aly, A.S., Jeon, B.D., Park, Y.H., *Preparation and evaluation of the chitin derivatives for wastewater treatments*, John Wiley & Sons Incorporated, 1997.
- Brady, N.C., Weil, R.R., *The Nature and Properties of Soils*, Upper Saddle River, America, New Jersey, 2002.
- Brewster, M., Peters, R., Patton, T., Martino L., 1994, “Treatability study for evaluating treatment of metals-contaminated soil,” Paper presented at the *Industrial and Engineering Chemistry Special Symposium on Emerging Technologies in Hazardous*

Waste management VI., pp.436–439.

Lamy, I., Bourgeois, S., Bermond, A., 1993, “Soil cadmium mobility as a consequence of sewage sludge disposal,” *Journal of Environment Quality*, Vol. 22, pp. 731–737.

Mann, M.J., 1999, “Full-scale and pilot-scale soil washing,” *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 66, pp. 119-136.

Stevenson, F.J., *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*, 2nd ed., John Wiley & Sons, America, New York, 1994.

Tan, K.H., *Environmental soil science*, Marcel Dekker, America, New York, 1994.

