

中華民國第42屆中小學科學展覽會

∴ 作品說明書 ∴

國中-地球科學科

科 別：地 球 科 學

組 別：國 中 組

作品名稱：桃園縣中福地區鎘米污染之追蹤及土壤改善模擬實驗

關 鍵 詞：鎘 米、土壤污染、電 鍍

編 號：030506

學校名稱：

桃園縣立平興國民中學

作者姓名：

陳怡君、游舒含、黃孟涵、邱玉鵠

指導老師：

林建義



桃園縣中福地區鎘米污染之追蹤及土壤改善模擬實驗

壹、摘要：

本研究主要在追蹤了解桃園縣中福地區鎘米污染事件的始末，及近年整治的成效，進而探討改善土壤的方法，並設計模擬實驗尋找改善土壤的有效方法。受限於檢測儀器，本研究以 Cu^{2+} 的檢測為模擬的對象，並採「就地生物復育法」改良土壤，利用國中電鍍實驗的方法來檢測土壤中 Cu^{2+} 量。研究結果顯示， CuSO_4 電鍍標準實驗的檢量線可以有效推估溶液 Cu^{2+} 量，而兩次的模擬實驗亦發現，小白菜生長數量較多的組，殘留 Cu^{2+} 量較少，顯示此法可以有效改善高污染度的土壤。

貳、研究動機：

去年九月台灣中南部連續爆發很多鎘米、銅木瓜等重金屬污染事件，讓我們生活遭受很大威脅，其實，鎘米污染在桃園地區早已不是新聞，新屋與中福地區在 10 幾年前即有嚴重的鎘污染，剛好我們理化有介紹到第一章水污染的相關問題，引起我們想深入研究鎘米事件的決心，就讓我們一起進入恐怖的鎘米世界吧！

參、研究目的：

- 一、追蹤了解桃園縣中福地區鎘米污染事件的始末，及近年來整治處理的現況。
- 二、探討土壤遭重金屬污染的解決方法。
- 三、設計模擬實驗，尋找改善土壤的有效方法。

肆、研究設備與器材：

- 一、設備：電子天平（可準確到 0.001g）、電源供應器、等臂天平。
- 二、器材：燒杯、泥土、大玻璃缸、方形塑膠盆、硫酸銅晶體、刮匙、銅片（當電鍍之電極）、稱藥紙、鎢夾、吹風機。

伍、研究過程或方法：

一、資料蒐集：

- (一) 先利用電腦從網際網路上蒐集有關鎘米、銅木瓜事件新聞報導的內容及環保署相關的法規，以了解造成重金屬污染的原因及處理現況。
- (二) 為了進一步深入了解桃園地區鎘米污染之始末，我們利用寒假訪問了桃園縣環保局的蔡先生（事案負責人），得到有關桃園縣中福地區的鎘污染詳細數據資料，並了解目前可行的改善方式。

二、設計實驗：

- (一) 我們原本想設計簡易測量鎘污染程度的實驗，經過討論後，我們發現“鎘”一定要用精密儀器檢測---“原子吸光儀”才測的準，以目前學校的設備無法進行，因此我們便改變研究方向。
- (二) 我們從環保局的資料中發現，現行的改善方法「翻土」只是降低農作物吸收濃度，污染物並未處理掉，而且只適用於低污染區，而高污染區酸洗成本高，副作用也多，效果不見得好，因此，我們考慮是否有其他有效的簡易方法可以改善污染的土壤。
- (三) 因鎘不易測量，我們想到以國中理化普遍使用且容易觀察的硫酸銅作為探索對象，改以「銅污染」為模擬的對象，嘗試“就地生物復育技術”的試驗。
- (四) 我們想到既然鎘污染會被稻米吸收，那麼我們如果先種一些不重要的植物，先將高濃度污染物吸收掉，這樣土壤中的重金屬量不就可以明顯降低了嗎？所以我們選擇生長期短、吸水力大的植物---小白菜來做實驗，試試看小白菜是否能將銅離子有效吸收，進而達到降低土壤中高濃度銅污染的情況。

三、模擬方法：

(一) 土壤與種植：

1. 準備五個標籤分別貼在甲、乙、丙、丁、戊五個大玻璃缸（第二次試種改用方形塑膠盆），分別裝入約玻璃缸之 1/4 的土壤。
2. 量取 CuSO_4 晶體（甲 0.2g、乙 0.5g、丙 1.0g、丁 2.0g）溶於水中，再灑入玻璃缸中，其中戊缸作為對照組。
3. 每缸種入小白菜種子 20 顆，適時澆水，使土壤保持適當的溼度，每天紀錄小白菜的生長情形。

- 4.第一次種植約 30 天後，將小白菜採收。第二次受限於時間因素，雖種植 12 天即採收，不過因氣溫較暖和，小白菜生長情況反而較快。

(二) 建立電鍍標準實驗：

- 1.另取五個 500ml 燒杯，各裝水 400ml，分別量取 CuSO_4 晶體 0.1g、0.2g、0.5g、1.0g、2.0g 溶於各燒杯。
- 2.各杯分別作電鍍實驗，以 3V 電壓電鍍 5 分鐘、10 分鐘、15 分鐘，每次取出後以吹風機吹乾，以免水殘留的質量干擾測量準確度，分別紀錄正負兩極銅片減輕或增加的質量。
- 3.以 CuSO_4 溶液之濃度為橫軸，正負極電鍍的金屬 Cu 質量變化為縱軸，繪製標準實驗檢量線，用以對照推估出實驗組的電鍍液 Cu^{2+} 濃度。

(三) 測量土壤中殘留 Cu^{2+} 量：

- 1.在玻璃缸中注入水至約 1/2 高，將泥水適當過濾，將清澈濾液裝在 500ml 燒杯中，接上正、負極，進行電鍍實驗。
- 2.利用電鍍 CuSO_4 的方法，以 3V 直流電持續電鍍 5 分鐘、10 分鐘及 15 分鐘，分別測量正負極銅片電鍍前後的質量變化，並記錄下來。
- 3.以標準實驗的檢量線比較出甲、乙、丙、丁、戊各缸水中所含 Cu^{2+} 的量，再計算土壤中減少的 Cu^{2+} 量，估計各玻璃缸中土壤改善狀況。

陸、 研究結果：

一、中福地區鎘米污染的始末：

- (一) 1988 年，桃園縣中福地區發現了鎘米的污染，桃園縣環保局便開始了一連串的追蹤調查及改善行動。
- (二) 污染原因：民國 66 年，基力化工公司在桃園縣蘆竹鄉中福村設廠生產「塑膠安定劑」硬脂酸鎘及硬脂酸鉛，排放未經妥善處理之高濃度鎘及鉛重金屬廢水，污染廢水沿桃園大圳第二支渠及桃園大圳第二支渠新興支流往下流，因農田引水灌溉而污染中福村、新興村及新莊村等三個村莊。
- (三) 桃園縣政府陸續公告污染土地，累計總面積高達 93.3 公頃，並列為「休耕區」，給予農民「休耕補助」。對污染土壤依其重金屬污染程度分為：監測區、翻土區及安定區。中福地區農田土壤含鎘量 5 ppm 以上的有 41.3 公頃，屬高污染區；含鎘量 5ppm~1 ppm 的有 42.2 公頃，屬中低污染地區；含鎘量小於 1 ppm 的有 9.8 公頃，屬監測區。

(四) 依「食品衛生標準」，含鎘量達 0.5ppm 以上的稻米即為鎘米。

(五) 污染農地處理方式：

- 1.針對高污染地區：局部採樣進行酸洗實驗，將土壤中的鎘萃取出來。但是此種方法價格昂貴，所以僅止於實驗階段，無法全面使用。也曾考慮以固化的方法換土，但仍有相關的困難點，目前尚未實施。
- 2.針對中低污染地區：採用翻土工程方式，減低土壤中每單位的濃度，使農作物含鎘量降到符合食品衛生標準的要求。

(六) 目前共完成了 12 公頃的土壤改革，其中：

- 1.民國八十八年約 8.9 公頃中低污染區完成翻土改善工程，至八十九年七月完成三期水稻試種，符合衛生署食品標準。
- 2.民國九十年五月完成 3 公頃中低污染區第二期翻土改善工程。
- 3.累計完成第一期及第二期翻土改善工程約 12 公頃，預計九十年底可連同監測區共約 22 公頃，報請辦理解除污染管制。

二、重金屬污染處理方式：

- (一) 翻土改善工程：使用挖土機或推土機翻土，使表土與裡土均勻混合，減低土壤中每單位的濃度，以減少每株植物吸收的量，目前中低污染地區大部分使用此種方法，但此方法並沒有根本解除污染物。
- (二) 酸洗：酸洗法是將鹽酸浸於土中，溶出土中的鎘元素，但是若如此做，將會破壞土壤的酸鹼值，使土壤呈酸性，此時的土壤不利農作，只適合用來做工業用地或是使用有機肥料，而且酸洗法成本很高，不適合大區域進行。
- (三) 文獻上其他可行方式：
 - 1.固定化技術。
 - 2.萃取法。
 - 3.土壤淋洗。
 - 4.電滲透法。
 - 5.就地生物復育法。

三.模擬實驗的結果：

(一) 電鍍標準實驗結果：

我們先以一般硫酸銅電鍍實驗做標準實驗，以實驗各組摻入量為標準濃度，測得結果如表（一）、圖（一）及圖（二）。

表（一）：標準實驗結果

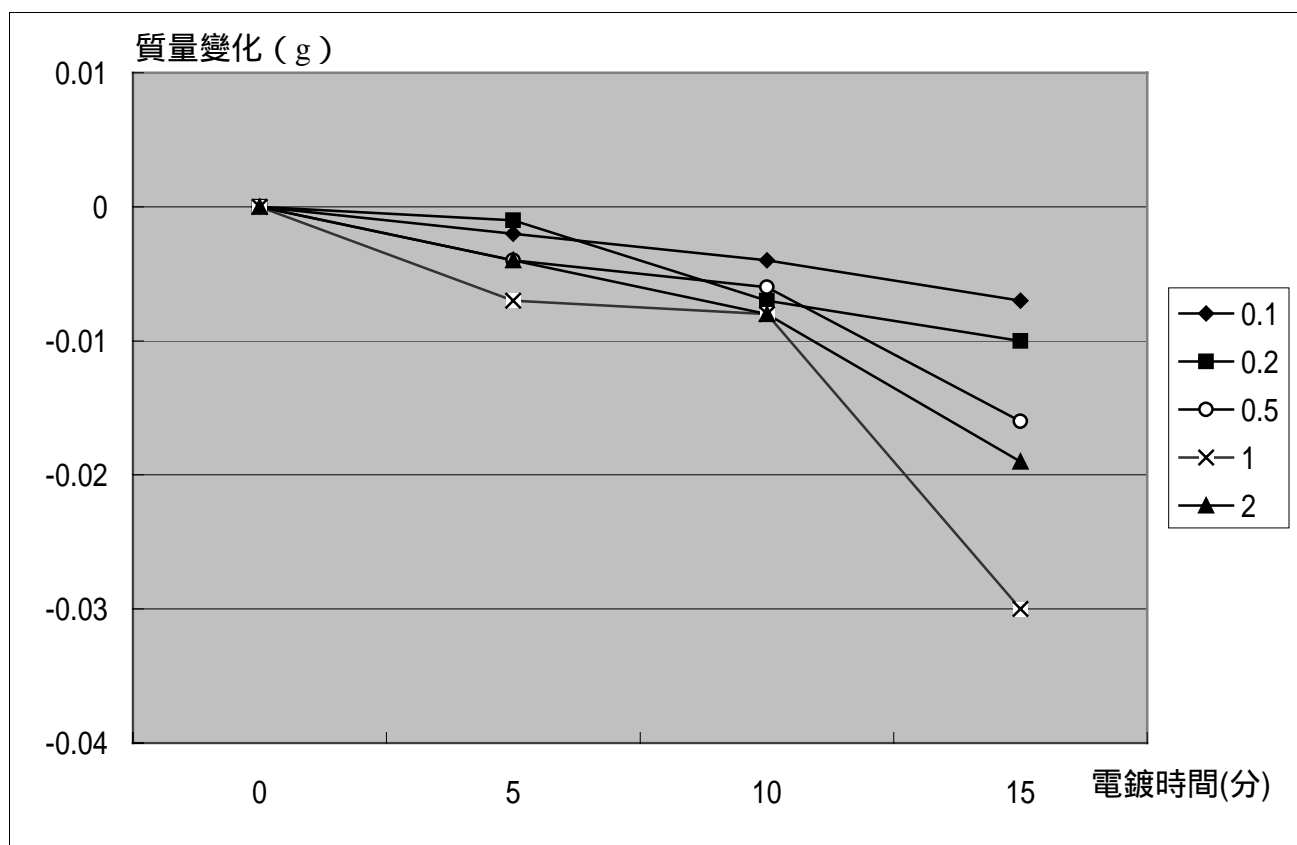
CuSO ₄ 量 (g)			0.1	0.2	0.5	1.0	2.0
溶液體積 (ml)			400	400	400	400	400
電 鍍 前	正極銅片重 (g)		13.522	13.643	14.040	13.623	13.872
	負極銅片重 (g)		13.495	13.452	13.486	13.477	13.474
電壓 (V)			3	3	3	3	3
電 鍍 後 銅 片 重 (g)	正極	5 分	13.520 (-0.002)	13.642 (-0.001)	14.036 (-0.004)	13.616 (-0.007)	13.868 (-0.004)
		10 分	13.518 (-0.004)	13.640 (-0.007)	14.034 (-0.006)	13.615 (-0.008)	13.864 (-0.008)
		15 分	13.515 (-0.007)	13.633 (-0.010)	14.024 (-0.016)	13.593 (-0.030)	13.853 (-0.019)
	負極	5 分	13.497 (+0.002)	13.455 (+0.003)	13.486 (0.000)	13.479 (+0.002)	13.484 (+0.010)
		10 分	13.497 (+0.002)	13.454 (+0.002)	13.487 (+0.001)	13.481 (+0.004)	13.485 (+0.011)
		15 分	13.498 (+0.003)	13.454 (+0.002)	13.487 (0.000)	13.483 (+0.006)	13.489 (+0.015)

說明：1.括號內為銅片質量與電鍍前質量相差克數。

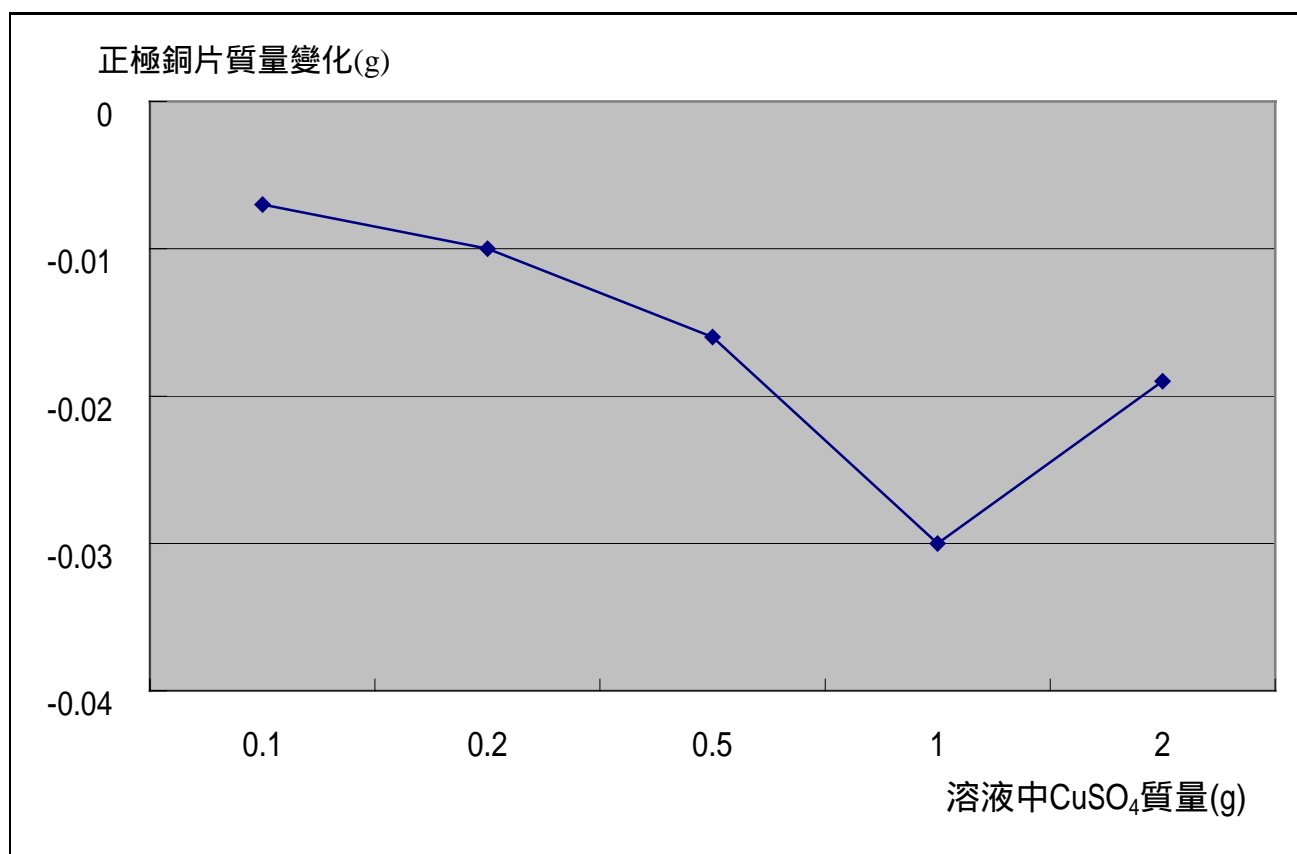
2.正極銅片電鍍的結果質量逐漸減少，符合電鍍反應的原理，且 Cu²⁺濃度增加時，電鍍後銅片減少量也較高，其質量變化如圖（一）所示，但 CuSO₄ 量 2.0g（最高濃度）時銅片減少量反而小，經重複實驗仍有此現象，可能是其他更複雜因素造成，我們暫時予以忽略，但保留其結果。

3.負極銅片電鍍的結果一直很差，經多次重測，質量仍是時增時減，可能還有剝離的問題存在，因此我們標準實驗負極部分不予採用。

圖（一）：正極銅片質量變化圖。



圖（二）：正極銅片質量變化標準實驗檢量線。



(二) 試種後泥水電鍍實驗結果：

甲、乙、丙、丁、戊五缸泥水經仔細過濾後，以電鍍法測量水中殘留 Cu^{2+} 量，兩次結果分別如表(二)、表(三)所示，其中電鍍前後銅片(只比較正極)質量變化分別如圖(三)、圖(四)所示，並以內差法與圖(二)標準實驗檢量線比較，估計溶液中殘留 Cu^{2+} 量。

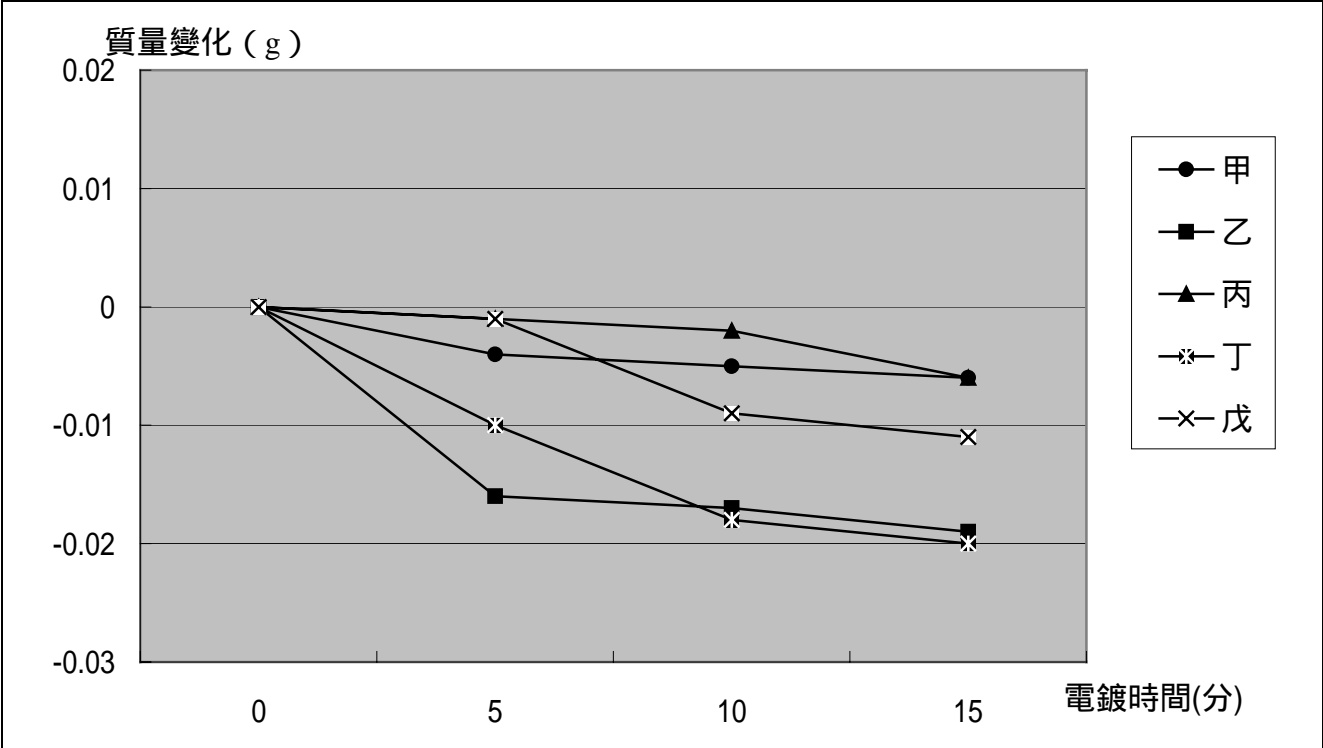
表(二)：第一次試種電鍍結果。

編號			甲	乙	丙	丁	戊 (對照組)
泥水體積 (ml)			470	450	600	420	400
電 鍍 前	正極銅片重(g)		13.434	13.468	14.014	13.480	13.854
	負極銅片重(g)		13.844	13.594	13.464	13.599	13.468
電壓 (V)			3	3	3	3	3
電 鍍 後 銅 片 重 (g)	正極	5 分	13.430 (-0.004)	13.452 (-0.016)	14.013 (-0.001)	13.470 (-0.010)	13.853 (-0.001)
		10 分	13.429 (-0.005)	13.451 (-0.017)	14.012 (-0.002)	13.462 (-0.018)	13.845 (-0.009)
		15 分	13.428 (-0.006)	13.449 (-0.019)	14.008 (-0.006)	13.460 (-0.020)	13.843 (-0.011)
	負極	5 分	13.845 (+0.001)	13.591 (-0.003)	13.472 (+0.008)	13.597 (-0.002)	13.469 (+0.001)
		10 分	13.856 (+0.002)	13.607 (+0.013)	13.479 (+0.015)	13.598 (-0.001)	13.470 (+0.002)
		15 分	13.857 (+0.003)	13.608 (+0.014)	13.476 (+0.013)	13.601 (+0.002)	13.472 (+0.004)
正極最終 減少質量 (g)			-0.006	-0.019	-0.006	-0.020	-0.011
內差法估計 CuSO ₄ 殘餘量 (g)			0.08	0.6	0.06	0.7	0.25

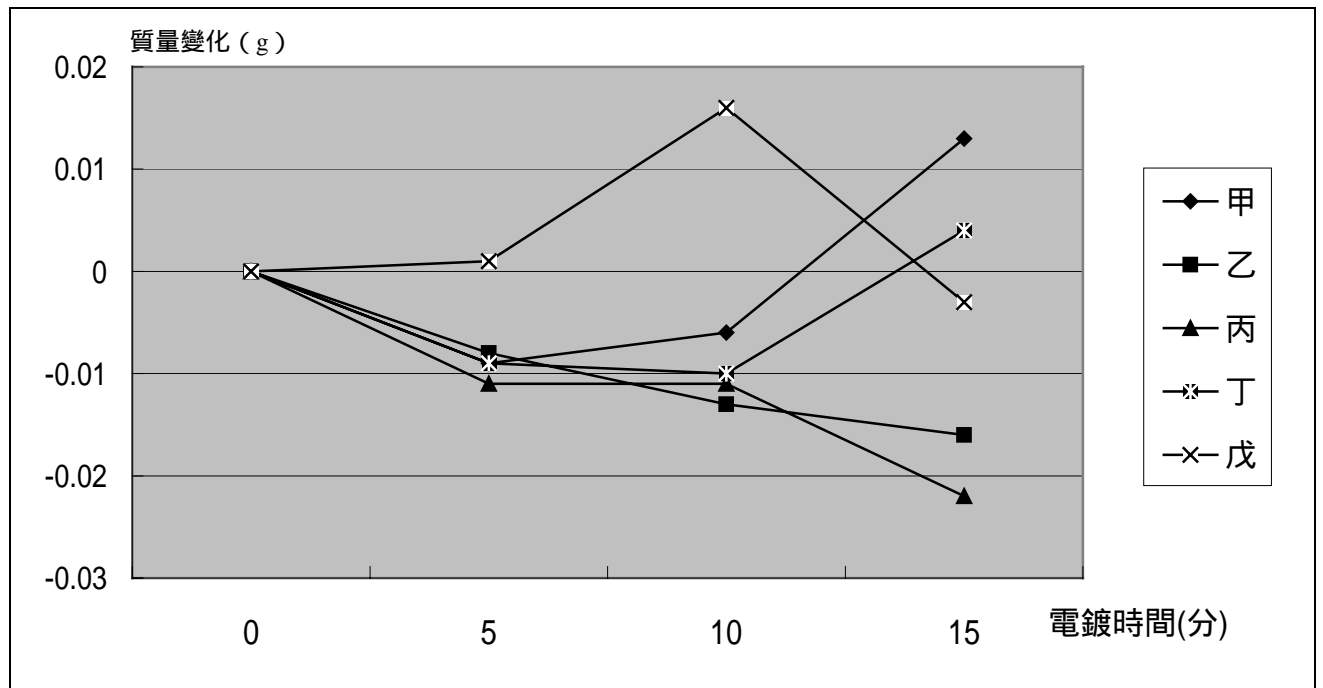
表 (三)：第二次試種電鍍結果。

編號			甲	乙	丙	丁	戊 (對照組)
泥水體積 (ml)			477	474	517	468	471
電鍍 前	正極銅片重 (g)		13.436	13.978	13.399	13.784	13.428
	負極銅片重 (g)		13.450	13.818	13.573	13.875	13.304
電壓 (v)			3	3	3	3	3
電 鍍 後 銅 片 重 (g)	正極	5 分	13.427 (-0.009)	13.970 (-0.008)	13.388 (-0.011)	13.775 (-0.009)	13.429 (+0.001)
		10 分	13.430 (-0.006)	13.965 (-0.003)	13.388 (-0.011)	13.774 (-0.010)	13.444 (+0.016)
		15 分	13.449 (+0.013)	13.962 (-0.016)	13.377 (-0.022)	13.788 (+0.004)	13.425 (-0.003)
	負極	5 分	13.450 (+0.000)	13.815 (-0.003)	13.571 (-0.002)	13.885 (+0.010)	13.308 (+0.004)
		10 分	13.464 (+0.014)	13.815 (-0.013)	13.572 (-0.001)	13.898 (+0.023)	13.312 (+0.008)
		15 分	13.417 (-0.033)	13.812 (-0.006)	13.517 (-0.056)	13.913 (+0.038)	13.320 (+0.016)
正極最終減少質 量 (g)			+0.013	-0.016	-0.022	+0.004	-0.003
內差法估計 CuSO ₄ 殘餘量 (g)			誤差無法估 計	0.5	0.9	誤差無法估 計	0.05

圖（三）：第一次電鍍正極銅片質量變化圖。



圖（四）：第二次電鍍正極銅片質量變化圖。



(三)試種土壤中 Cu^{2+} 污染量前後比較結果：

我們將兩次試種的結果及推估整理在表（四）及表（五）。

表（四）：第一次模擬實驗的結果。

編號	甲	乙	丙	丁	戊 (對照組)
土壤量 (g)	3000	3000	3000	3000	3000
加入 CuSO_4 污染量 (g)	0.2	0.5	1.0	2.0	0.0
含 Cu^{2+} 量	0.08	0.2	0.4	0.8	0.0
種植顆數	20	20	20	20	20
小白菜生長情況	有 10 株生長 完成	有 7 株生長 完成	有 14 株生長 完成	有 8 株生長 完成	有 7 株生長 完成
收成後土壤中殘餘 CuSO_4 量 (g)	0.08	0.6	0.06	0.7	0.25
估計收成後土壤中 殘餘 Cu^{2+} 量 (g)	0.032	0.24	0.024	0.28	0.1

表（五）：第二次模擬實驗的結果。

編號	甲	乙	丙	丁	戊 (對照組)
土壤量 (g)	4000	4000	4000	4000	4000
加入 CuSO_4 污染量 (g)	0.2	0.5	1.0	2.0	0.0
含 Cu^{2+} 量	0.08	0.2	0.4	0.8	0.0
種植顆數	20	20	20	20	20
小白菜生長情況	有 12 株生長 完成	有 13 株生長 完成	有 19 株生長 完成	有 10 株生長 完成	有 12 株生長 完成
收成後土壤中殘餘 CuSO_4 量 (g)	誤差 無法估計	0.5	0.9	誤差 無法估計	0.05
估計收成後土壤中 殘餘 Cu^{2+} 量 (g)	誤差 無法估計	0.2	0.36	誤差 無法估計	0.02

柒、討論：

- 一、中福地區 93.3 公頃受污染農田，目前已有 12 公頃中低污染區完成翻土改善工程，稻米含鎘量均已低於衛生署食品標準。我們的看法覺得，這樣做只是把重金屬分散到各期稻米，濃度雖降低，但仍會進入人體累積，應設法先將污染物分離出來才是根本改善之道。
- 二、我們選擇採用「就地生物復育法」來處理高污染度的土壤，希望利用植物的高吸收力先將污染物吸入植物根莖之中，再將它收成集中焚化銷毀處理。原先我們打算以地瓜這種根莖類植物來進行模擬實驗，可是地瓜栽種期太長，無法配合我們的時間，後來改用小白菜進行模擬實驗。又因鎘很難測出，改為測量 Cu^{2+} 的污染。
- 三、我們最先使用國中課本教導的電解法來進行測量水中 Cu^{2+} 的方法，但試驗過程中遭遇很多狀況，如：碳棒產生氣體量不合理，鍍上的銅會大量剝離，後來改用電鍍法（兩極均用銅片），並將電壓調小，現象才明顯改善；另外過濾方式也費了很大勁才克服。
- 四、電鍍實驗的過程，由結果的表（一）~（三）發現，負極銅片的質量並不是一直增加的，且有增加之後突然反而下降，我們推論可能仍有部分剝離的情況，而正極銅片質量減少則較穩定，因時間上來不及重新尋找新方法，決定用電鍍法建立標準實驗檢量線，再用內差法估計溶液中 Cu^{2+} 量。
- 五、第一次試種的情況，由結果的圖（三）及表（四）初步可知，乙、丁兩缸殘留 Cu^{2+} 量較大，而甲、丙兩缸殘留量較小，可能與甲、丙兩缸白菜生長情況較佳（有一半以上生長完成）有關，顯示就地生物復育法可以有效將污染物吸收掉。
- 六、第二次試種因時間較趕，種植時間較短，但因氣候回暖，小白菜反而長得較好。由結果的圖（四）及表（五）發現，第二次量測的結果反而比第一次糟，由甲、丁兩杯正極銅片質量反而增加，無法進行估計，而乙、丙、戊三杯則較符合預期的結果。表示我們量測的穩定度還不夠好。
- 七、雖然我們檢測實驗練習了十幾次，由結果表（三）發現，估計出來的 Cu^{2+} 殘留量甲、丙、丁均遠低於原來摻入量，但乙、戊（對照組）居然高於原來摻入量。而第二次則因電鍍實驗出現正極銅片變黑的情況，但經檢查接線並無錯誤，測量出來的結果發現，甲、丁兩杯的正極銅片質量不減反增，令我們十分困惑。
- 八、兩次實驗中，戊杯（對照組）估計出來的 Cu^{2+} 質量均比甲~丁杯低，顯示此法可以有效估計溶液中 Cu^{2+} 量。
- 九、基於環保觀念，我們實驗時所用的 CuSO_4 溶液，在量測完畢後，均有放入銅絲絨，確實將 Cu^{2+} 還原為金屬銅濾出後，溶液才倒掉。

捌、結論：

- 一、電鍍 Cu 標準實驗的結果，大致上符合我們預期的趨勢，溶液中 Cu^{2+} 量愈大，電鍍時銅片質量變化也愈大，可以建立標準檢量線。
- 二、銅污染模擬實驗的結果，小白菜生長較佳者，測得 Cu^{2+} 殘留量有明顯降低，符合預期趨勢，可惜量測精準度不夠，第一次試種推估出來的殘留 Cu^{2+} 量有兩缸不合理，而第二次試種結果誤差更大，這是值得再進一步尋求改進的地方。

玖、參考資料：

- (一) 國立編譯館：國中理化第一冊，1-4 水污染，民國 90 年。
- (二) 國立編譯館：國中理化第三冊，13-6 電鍍，民國 90 年。
- (三) 桃園縣環保局：<http://www.tyepb.gov.tw>
- (四) 南亞技術學院環境與安全衛生中心製作：桃園縣蘆竹鄉中福地區鎘污染區污染改善工程圖。
- (五) 桃園縣環境保護局編譯：桃園縣蘆竹鄉中福鎘污染區二期翻土改善工程----前置土壤採樣檢驗作業期末報告，民國 88 年。
- (六) 李國欽、林浩潭：土壤重金屬檢驗技術。
<http://www.tactri.gov.tw/htdocs/project/proj44a.htm>
- (七) 方金祥：化學物質與水污染，教育部學習加油站：
http://content.edu.tw/junior/phy_chem/pd_kc/f1/chap1/chap1-4.htm
- (八) 中國時報：鎘米污染相關報導。
http://www.teputc.org.tw/env_news/199803/87030903.htm
- (九) 電解質，教育部學習加油站：
http://content.edu.tw/junior/phy_chem/ty_lk/std/content/elec/cphI3/cphd61.htm
- (十) 聯合報：全台 252 公頃農地重金屬污染，民國 91 年 6 月 18 日第 10 版。