

# 現地以電漿技術搭配生物炭優化資材 改善邊坡植生工法效益 期末成果報告書

行政院農業委員會水土保持局  
與您一起打拼



行政院農業委員會水土保持局  
54044 南投市中興新村光華路 6 號  
<http://www.swcb.gov.tw>

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 106 年 11 月

計畫編號：106 保發-11.1-保-01-06-001(18)

---

現地以電漿技術搭配生物炭優化資材  
改善邊坡植生工法效益  
**In-situ improvement of plant growth  
efficiency using plasma technique and  
biochar**

---

執行單位：國立屏東科技大學水土保持系

執行期間：106 年 01 月 01 日至 106 年 12 年 31 日

計畫主持人：簡士濠 副教授

共同主持人：李英杰 教授

共同主持人：李明熹 副教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 106 年 11 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)





# 現地以電漿技術搭配生物炭優化資材

## 改善邊坡植生工法效益

### 摘要

近年氣候變遷劇烈，降雨強度與延時的驟變(強度與延時皆增強且更集中)，使得水土保持植物在邊坡植生工程方法上更需要調整以適切環境的變化；除可增加工程效益之外，亦可降低因氣候造成之額外工程花費。本計畫擬先以「大氣電漿」提升常見邊坡水土保持草種進行初步發芽率與生長速率研究，再利用電漿處理過之草種搭配優化資材使用於邊坡以提升整體工程之草種發芽率、速率與原生樹種入侵率，達到加速邊坡覆蓋完密之目的。根據本人先前研究結果，優化資材方面可利用 2%生物炭+PAM 50 ppm 達到增加 15%以上之植生發芽率。截至目前之初步程果顯示，大氣電漿濺鍍處理百喜草與百慕達草皆有顯著有促進種子發芽率與發芽速度之趨勢，主要原因可能為電漿濺鍍顯著開啟種子氣孔緣故。3 週之發芽率試驗中，功率 15W 之電漿濺鍍 5 分鐘處理，兩草種皆可達 25%以上之發芽率，而電漿處理 30W 之處理可達 60%以上之發芽率；然而，45W 功率處理兩草種之發芽情形皆差，應為電漿功率太高所致。現地(*in-situ*)邊坡試驗二個月後之結果顯示，兩草種之發芽率以 2%生物炭+50 ppm PAM (種子經電漿處理)最為顯著，皆可達 45-50%。經四個月後，覆蓋率及存活率仍以添加 2%生物炭+50 ppm PAM (種子經電漿處理)之百慕達草種子處理最高 (85.9%及>30%)，而提升率以 2%生物炭+50 ppm PAM (種子經電漿處理)之百慕達種子處理最高，相照於對照組 (無添加且無電漿濺鍍)，提升約 15-17%。

**關鍵詞：**生物炭、黏著劑、土壤沖蝕、大氣電漿。

# **In-situ improvement of plant growth efficiency using plasma technique and biochar**

## **Abstract**

In past decades, rainfall intensity and duration increase due to climate change. The traditional engineering techniques of vegetation growing on slopelands should be also adjusted and be cost-down to adapt climate change. This study aims to use “plasma” for seed pretreatment (Bahia grass (*Paspalum notatum* Flugge) and Bermuda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.)), and spray the seeds with biochar and polyacrylamide into slopelands to evaluate the seed germination percentage (SGP) and vegetation cover ratio (VCR). Based on our previous study (Jien (2016)), 2% (w/w) biochar+50 ppm PAM effectively increased by 15% of seed germination percentage of Bahia grass, and we will use this recipe in later experiment. So far, our study results indicated that “plasma” treatment could increase SGP by 15% in 15W-5min, and by 60% in 30W-5min for two grass types. In addition, in-situ planting experiment was carried out in Longchi, Tainan. The results present that the highest (40-50%) SGP were found in treatment of 2% biochar+50 ppm PAM (with plasma) for two grass types after 2 months. The highest VCR (85.9%) could also be found in 2% biochar+50 ppm PAM (with plasma) for Bermuda grass, and the this treatment could increase VCR by 37.8% for Bermuda grass in our *in-situ* experiment. In addition, the highest survival rates (>30%) of two grasses in our in-situ experiment were also found in the treatment of 2% biochar+50 ppm PAM (with plasma).

**Keywords : Biochar, adhesive, soil erosion, plasma.**





# 目錄

摘要 .....	I
Abstract .....	III
目錄 .....	V
表目錄 .....	VII
圖目錄 .....	IX
第壹章 前言 .....	1-1
第一節    計畫目的 .....	1-1
第二節    委託工作範圍 .....	1-3
第三節    工作項目及內容 .....	1-3
第四節    計畫工作組織 .....	1-4
第五節    工作時程與預訂進度 .....	1-6
第六節    整體工作架構 .....	1-6
第貳章 相關資料蒐集 .....	2-1
第一節    相關文獻蒐集與彙整 .....	2-1
一、    生物炭相關之研究 .....	2-1

二、	大氣電漿處理應用於種子之分析.....	2-6
三、	農業廢棄物之分析.....	2-8
四、	陰離子型聚丙烯醯胺之相關研究.....	2-9
第二節	肥料施用之研究.....	2-13
<b>第參章 計畫重要工作項目之實驗分析.....</b>		<b>3-1</b>
第一節	不同草種(百喜草與百慕達草)之最佳電漿化條件.....	3-1
第二節	室內種子發芽率試驗 (Ista, 1999) .....	3-2
第三節	現地(in-situ)種子發芽率、發芽勢及覆蓋率試驗 .....	3-5
第四節	現地土壤保水性試驗 .....	3-8
<b>第肆章 結果與討論.....</b>		<b>4-1</b>
第一節	現地種子發芽率與發芽勢.....	4-1
第二節	現地草種覆蓋率(四個月後) .....	4-3
第三節	百喜草與百慕達草之存活率.....	4-5
第四節	現地土壤保水度.....	4-6
<b>第伍章 結論與建議.....</b>		<b>5-1</b>
<b>參考文獻.....</b>		<b>參考文獻-1</b>
<b>附錄 .....</b>		<b>附錄-1</b>

## 表目錄

表 1.1 「現地以電漿技術搭配生物炭優化資材改善邊坡植生工法之效益」 預定進度表 .....	1-6
表 2.1 台灣 2012 年主要農業產品生產量 .....	2-9
表 2.2 台灣 2012 年各類農業廢棄物產生量 .....	2-9
表 3.1 百喜草經不同功率電漿濺鍍後之發芽率試驗 .....	3-3
表 3.2 百慕達草經不同功率電漿濺鍍後之發芽率試驗 .....	3-4
表 3.3 百喜草與百慕達草經不同功率電漿濺鍍後之發芽術與發芽率 ...	3-4
表 3.4 各處理之逢機區集設計(complete random block design, CRBD)	3-6
表 4.1 第二個月之發芽率 .....	4-1
表 4.2 第四個月之覆蓋率 .....	4-4
表 4.3 第四個月之存活率 .....	4-5



## 圖目錄

圖 1.1 計畫工作組織架構圖.....	1-5
圖 1.2 「現地以電漿技術搭配生物炭優化資材改善邊坡植生工法之效益」 工作架構.....	1-7
圖 3.1 百喜草種子受不同功率電漿濺鍍後於電子顯微鏡下之表徵 .....	3-1
圖 3.2 百慕達草種子受不同功率電漿濺鍍後於電子顯微鏡下之表徵 ...	3-2
圖 3.3 拍攝各處理之照片 .....	3-7
圖 3.4 以 Image J 分析並計算其覆蓋率 .....	3-7
圖 4.1 發芽率圖表 .....	4-2
圖 4.2 發芽勢圖表 .....	4-2
圖 4.3 P50B2_BD .....	4-3
圖 4.4 P50B2_BD+P .....	4-3
圖 4.5 P50B2_BH .....	4-3
圖 4.6 P50B2_BH+P .....	4-3
圖 4.7 覆蓋率圖表 .....	4-4

圖 4.8 第四個月之存活率圖表.....4-6

圖 4.9 百慕達草試區各處理之土壤水分特性曲線。 .....4-7

圖 4.10 百喜草試區各處理之土壤水分特性曲線。 .....4-7

## 第壹章 前言

### 第一節 計畫目的

在邊坡噴植工法中，黏著劑的使用雖可固定堆肥及種子等資材，亦可在植生覆蓋前發揮防止沖蝕的效果；但黏著劑的種類及使用濃度差異會直接影響噴植成效。多位學者研究將纖維資材與黏著劑以不同比例混合並進行噴植試驗後顯示，添加黏著劑可降低雨水的沖蝕，但隨黏著劑濃度的增加，發芽率則明顯降低。此外，黏著劑在施用後，於環境中降解產生具毒性之二次代謝產物，如：聚丙烯醯胺(polyacrylamide, PAM)在環境中會降解成具致癌性之丙烯醯胺，若過量施用再經由降雨流入集水區或飲用水體中，可能會有環境危害之虞。1991 年美國農業部(USDA)研究機構於溝渠灌溉中加入此改良資材降低土壤流失之相關研究取得了重大進展；但 PAM 因具有毒性，如施用過量(濃度 $\geq 0.05\%$ )將危害水生動物，故自然資源保育署(NRCS)於 1995 公佈 PAM 施用標準來限制 PAM 的施用，平均每公頃施用約 0.5-1 kg 的 PAM，每年可保留約 1 噸的土壤。目前實務上所用的噴植基材配方多以廢棄木屑堆肥加黏著劑並混合草本植物種子為主，然在施工上為加強抗沖蝕效果，黏著劑濃度勢必提高，此往往造成種子發芽率降低、外來植物種演替過慢及環境危害等問題，若降低黏著劑濃度又會降低抗沖蝕的成效。此外，若當廢棄木屑堆肥單

獨使用時，又在不加水的情況下，可能造成噴植基材乾裂收縮、吸水性不佳及種子不易發芽等問題，進而降低施工效率及增加施工成本。

電漿技術已應用於很多產業上，光電半導體產業、汽機車零組件產業、食品產業、生醫材料產業、表面處理產業、空氣與水污染處理產業等。目前大氣電漿技術已發展有十幾年了，設備成本低、操作容易、可適用於連續式的製程操作，因此已是產學界積極研究的題目之一。本研究將導入大氣電漿技術應用於草種之處理，期以促進草種之發芽率與生長速率，協助邊坡植草覆蓋以達邊坡穩定、保護坡面。前人研究指出，以電漿處理玉米種子後於試驗田種植，結果指出電漿處理使玉米籽粒的千粒重提高約 9.9 g 並提高了抗旱、抗冷、抗鹽的特性，玉米增產幅度提高 0.07-8.9%。另一研究結果顯示，以冷電漿處理綠豆種子，在電漿處理時間 2-6 分鐘內與電漿功率 30-70W 內處理下，綠豆種子的發芽時間沒有顯著差異，但種子的發霉時間具有顯著的延遲效果。亦即綠豆種子經冷電漿處理後有顯著的抑菌作用，但不影響其發芽與生命力。綜上述研究結果可知，如電漿溫度約只有 40℃ 左右，即所謂的冷電漿 (cold plasma)，其溫度影響種子生命力不大，或許電漿的應用可提供為解決的方法。本計畫擬引進大氣電漿處理草種，在不同處理時間、電漿功率與草種下，探討草種的發芽率與生長速率。以期能提高噴植基材的種子發芽率、保



水性及抗沖蝕性。擬由試驗結果使被處理的草種可以在噴植工法應用上有所進展，提高噴植工法之效率。

## 第二節 委託工作範圍

擬由試驗結果開發大氣電漿處理種子應用在噴植工法應用上之技術、方法與建議，提高邊坡噴植工法之應用效率。

## 第三節 工作項目及內容

本計畫擬引進大氣電漿處理草種，在不同處理時間、電漿功率與草種下，探討草種的發芽率與生長速率。以期能提高噴植基材的種子發芽率、保水性及抗沖蝕性。擬由試驗結果使被處理的草種可以在噴植工法應用上有所進展，提高噴植工法之效率。利用電漿處理草種促進發芽及生長之技術，評析草種經電漿處理後之噴植成效與改善效益，以及評估完工後之養護工作，並期能達成裸露邊坡快速綠化之目標。首先選擇二種草種，即百喜草及百慕達草為實驗樣品，經不同條件之電漿處理，再植栽至放有配製好的噴植基材之培養皿，噴植基材為一種有機堆肥、黏著劑及稻殼生物炭，評估草種的發芽率與生長速率。每天紀錄草的生長情形，也紀錄天氣變化與陽光照度。將在培養皿觀察的結果應用於實際邊坡實驗，搭配以培養基材、生物炭與黏著劑且適合草種子混合均勻，

製成噴植混合基材，以評估經電漿處理過之草種的噴植基材對保水性、種子發芽率及發芽勢的影響。本研究主要在台南市龍崎區 182 縣道一邊坡(坡度~40 度)，現地實際進行植生工程試驗，最後則評析經電漿處理過之草種並搭配生物炭優化基材應用於噴植工法上效益，同時以進行成本效益分析以作為未來工法之可行性評估。

#### **第四節 計畫工作組織**

本案「現地以電漿技術搭配生物炭優化資材改善邊坡植生工程效益」服務工作組織，乃是由國立屏東科技大學水土保持系組成，工作團隊具備各項專長的工作人員，組成資歷豐富、技術完備的計畫工作組織團隊，經由組織方式，配合良好之協調與聯繫，共同完成本委託計畫之工作項目與要求成果。為達成本委託計畫之工作目標，本單位具備各項專長的工作人員，組成資歷豐富、技術完備的計畫工作組織團隊，經由組織方式，配合良好之協調與聯繫，完成本委託計畫之工作項目與要求成果。工作團隊中設置計畫主持人 1 人、共同主持人 1 人、協同主持人 1 人、博士級計畫助理 1 人、碩士級計畫助理 2 人、研究生 3 人及行政人員 1 人，並依各工作之性質分工合作，戮力完成計畫工作項目，組織架構圖如圖 1.1 所示。

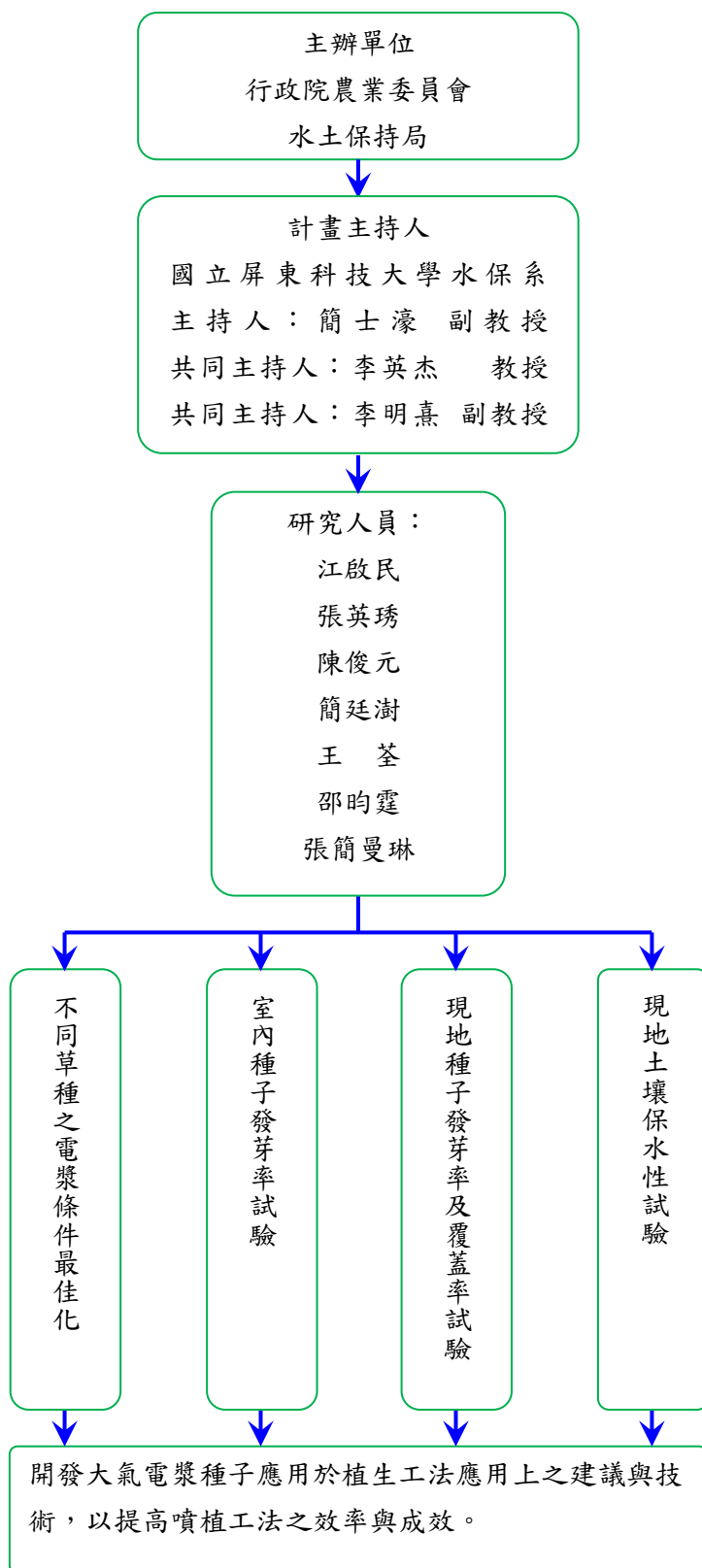


圖 1.1 計畫工作組織架構圖

## 第五節 工作時程與預訂進度

本計畫工作期限為自決標日起至民國一〇六年十二月三十一日完成，並依農業委員會水土保持局審查認可之工作計畫進度執行。計畫之各項工作預定進度如表 1.1 所示。

表 1.1 「現地以電漿技術搭配生物炭優化資材改善邊坡植生工法之效益」

預定進度表

工作項目	105 年											
	01 月	02 月	03 月	04 月	05 月	06 月	07 月	08 月	09 月	10 月	11 月	12 月
電漿處理條件最佳化及生物炭優化資材準備												
種子發芽率試驗與保水性試驗												
期中報告提交												
期末報告提交												
成果報告提交												
預定進度累計 (%)	3	11	19	30	41	50	62	72	70	85	98	100
各查核點工作進度	一、期初簡報時需完成工作： (一)完成試驗所需之電漿處理條件最佳化及生物炭優化資材之準備。 二、期中簡報時需完成工作： (一)完成現地發芽率試驗與保水性試驗之準備。 三、期末簡報時需完成所有工作。 四、期末報告至契約完成期間，如委託機關發現問題仍需協助修正。											

## 第六節 整體工作架構

本計畫「現地以電漿技術搭配生物炭優化資材改善邊坡植生工法效益」工作內容主體分為四大項目，主要內容包含：(1)生物炭優化資材準備、(2)電漿處理條件最佳化試驗、(3)室內發芽率試驗與(4)現地發芽率試

驗與保水性試驗，組織架構圖如圖 1.2 所示。

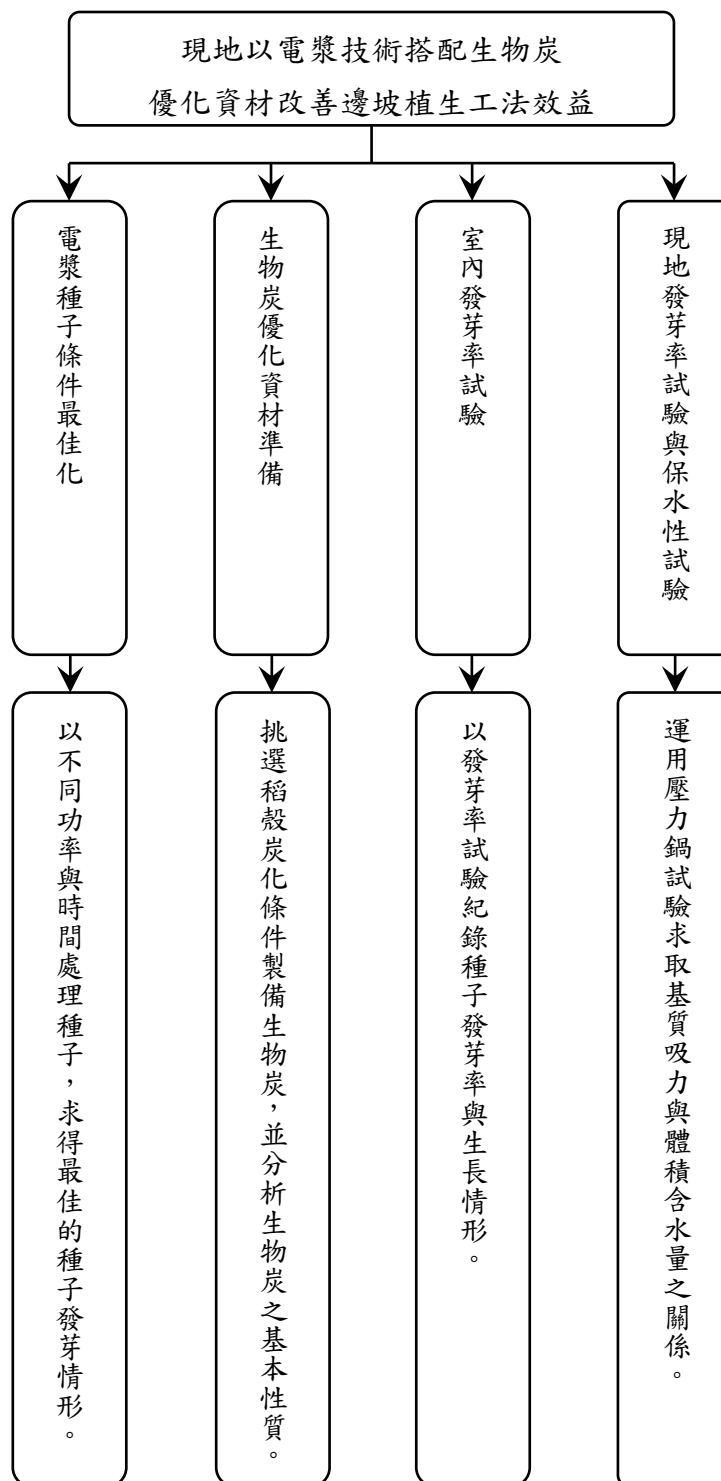


圖 1.2 「現地以電漿技術搭配生物炭優化資材改善邊坡植生工法之效益」

### 工作架構



## 第貳章 相關資料蒐集

### 第一節 相關文獻蒐集與彙整

本計畫將蒐集生物炭與大氣電漿工法應用之國內外相關文獻，及黏著劑使用於噴植工法之文獻，彙整作為後續分析參考依據。

#### 一、生物炭相關之研究

##### (一)生物炭的定義

生物炭為一種由生物材料在高溫密閉及氧氣受限制條件下熱裂解製成的固形產物(Lehmann et al., 2003；謝祖彬等人，2011)。生物材料包括農業廢棄物，如：花生殼、稻草及玉米穗軸等(勾芒芒等人，2013；Wu et al., 2012；Nelson et al., 2011)。並可有效改善土壤品質，促進土壤構造、團粒穩定性、導水度等(Lehmann and Joseph, 2009；Joseph et al., 2010)。

##### (二)添加生物炭對土壤物理性質的影響

由於生物炭本身具有較深的黑色，添加至土壤中會導致土壤顏色變深，進而提高土壤溫度(Oguntunde et al., 2008)。由於生物炭具有多孔隙、總體密度低的特性，因此可增加土壤孔隙度，降低土壤總體密度、硬度，使得土壤保水能力增加以促進植物生長，並提高植物的抗

旱性，增加土壤抗沖蝕的能力，以降低土壤沖蝕量及避免水土流失造成災害 (Artiola et al., 2012; Mulcahy et al., 2013; 簡士濠等人, 2013)。

### (三)添加生物炭對土壤化學性質的影響

添加生物炭至土壤中，可藉由改變土壤 pH 值和增加陽離子交換容量(cation exchange capacity)影響土壤中的肥力及化學成分(簡士濠等人, 2012; 張千豐等人, 2012)。Streubel et al. (2011)指出運用四種生物炭添加至五種土壤中，發現顯著提高土壤 pH 值約 0.1–0.9 個單位，其中又以砂質土壤的影響最大。添加生物炭可減少土壤養分損失，進而改善集水區下游水質劣化(Brockhoff et al., 2010)。Richard et al. (2012)運用木質生物炭添加至土壤中，生物炭添加量 0、25、50 t/ha 添加至田間土壤，三年後隔離生物炭處理 25、50 t/ha 部分土壤，分別在施加 25、50 t/ha 生物炭，並觀察各處理於 60 天內土壤 pH 值、交換性離子、銨氮、硝酸態氮、水溶性碳、有機碳、電導度、有效磷，發現生物炭添加量 0、25、50 t/ha 之處理各處理間均無顯著差異，生物炭處理 25+25 9 t/ha、50+50 t/ha 化學性質均大於生物炭添加量 0、25、50 t/ha 之處理，且有顯著差異，這說明了添加生物炭有可能會造成短期內土壤肥力的增加，但對長期的土壤肥力可能沒有顯著影響。

Jien and Wang (2013)研究指出酸性黏質土壤經添加 5 % (w/w)之



生物炭，於 105 天後，pH 顯著由 4.0 提升至 5.1，有機碳含量增加至少  $7.0 \text{ g kg}^{-1}$ ，總體密度顯著降低 24% 且土壤孔隙率明顯增加了 10%，該研究亦指出添加生物炭後，土壤沖蝕量顯著減少 70%。

#### (四) 添加生物炭對土壤微生物性質的影響

添加生物炭至土壤中可作為土壤微生物的棲息地，增加微生物活性以改善土壤生物性質(張千豐等人，2012)。添加生物炭對作物產量的影響由於目前生物炭種類繁多，故更應以炭化物質之原料來源、成分來評估選擇適用之改良土壤與施用添加量，以達到最佳之土壤改良效用。Richard et al. (2012) 運用木質生物炭添加至土壤中觀察作物產量，生物炭添加率為 0、25、50 t/ha 添加至田間土壤，三年後隔離生物炭處理 25、50 t/ha 部分土壤，分別在施加 25、50 t/ha 生物炭，並觀察各處理種植作物生產量情形，發現各處理間產量均無明顯差異。

### (五) 氮礦化作用

有機資材施用於土壤中，經微生物分解後產生  $\text{CO}_2$ ，有機氮會礦化為無機態氮，此為氮礦化作用，主要受銨化作用及硝化作用影響，由有機氮轉變為銨態氮為銨化作用，由銨態氮氧化成硝酸態氮為硝化作用。礦化作用後的無機態氮可被植物吸收利用。林毓文等人(2003)運用九種有機資材施入土壤中孵育三十六週，結果顯示孵育八週內，雞糞堆肥、木屑堆肥及蔗渣堆肥與豬糞 I 處理中，於第一週無機態氮持續釋出，累積量於第一週或第二週達到高峰，之後氮礦化逐漸減緩，其中豬糞 I 處理於孵育三十六週內礦化無機氮仍逐漸增加。Nelson et al. (2011)運用玉米穗軸製成生物炭，分別施入兩種土壤，三種生物炭添加量(0、2 及  $20 \text{ g kg}^{-1}$ )，施入土壤並孵育八週，各處理間銨態氮釋出量隨孵育時間逐漸減少，硝酸態氮釋出量隨孵育時間逐漸增加，其中添加生物炭  $20 \text{ g kg}^{-1}$  與對照組比較後，發現銨態氮於孵育十天內約增加  $1.1\text{--}4.8 \text{ mg kg}^{-1}$ ，硝酸態氮於孵育後持續減少  $5\text{--}10 \text{ mg kg}^{-1}$ 。

### (六) 氮的生物性固定

土壤中氮礦化作用常伴隨著相反的氮的生物性固定作用，為土壤中微生物代謝作用中，氮素併入有機化合物所引起的同化現象。一般腐熟堆肥的 C:N 約為 12–15，若堆肥的 C:N 大於 30，施入土壤中可

能會導致微生物固氮作用(Bernal et al., 1998 ; Zmora-Nahum et al., 2005)。林毓文等人(2003)運用九種有機資材施入土壤並孵育三十六週，結果顯示孵育八週內，牛糞、稻稈、田菁及蔗渣處理中除第一及第二天部分資材被氮礦化外，直到第八週皆呈現氮同化之固氮作用。其中牛糞處理至第二十八週後開始有氮礦化，而稻稈處理於孵育期間皆呈現氮固定化之情形，其 C: N 比約為 57。

#### (七)氮礦化及氮的生物性固定的影響因子

土壤的氮循環中，氮礦化作用與氮的生物性固定會於土壤中同時進行，並會影響有機資材施加於土壤後，對土壤養分有效性的增減效應。氮礦化作用與氮的生物性固定會受到有機資材的原料組成、土壤性質、土壤水分與溫度等因子影響。林毓文等人 (2003)運用九種有機資材施入土壤中，發現有機資材的組成 C:N 不同會影響其礦化速率。黃正介 (2010)運用汙泥堆肥添加至坩質粘壤土、砂質壤土及坩質壤土三種土壤中，在控制溫度及水分的條件下進行實驗室孵育試驗，並比較孵育開始至孵育結束後無機態氮差異，發現三種質地土壤無機態氮礦化量範圍約為 57–360 mg kg<sup>-1</sup>，其中坩質粘壤土無機態氮釋出量為最低。Xiao et al. (2013)指出土壤起始的 pH 值會影響加入的有機資材分解，進而影響孵育期間 pH 值、銨氮及硝酸態氮含量變化。莊作權

等人(1998)運用泥炭、堆肥、田菁及埃及三葉草施加至土壤中進行室內孵育試驗八週，並於不同溫度及水分條件下，測定不同時間 CO<sub>2</sub> 釋放速率、土壤 pH 值及氮素變化情形。實驗結果顯示溫度越高 CO<sub>2</sub> 釋放速率越快。田菁處理在維持田間容水量及半量田間容水量情況下，15 及 25℃ 恆溫孵育出現氮的生物性固定，於 35℃ 恆溫孵育出現氮礦化作用。

## 二、大氣電漿處理應用於種子之分析

電漿(plasma)在農業上的應用不多，但其部分特性如處理時間短、使用能量少、處理溫度低及適用材料廣泛等具有農業上應用的可行性（林，2003；遲，2004；徐與高，2004）。

伊等人(1990)觀察電漿作用後物體的微觀結構，報告指出，電漿的殺菌機制乃因電漿場中電子運動速度遠大於離子運動速度，電子間強大庫倫力形成強耦合系統改變附著於物體的菌類而達到殺菌效果。Moisan 等人(2002) 指出，電漿殺菌的三種機制中，主要是紫外光先對表面的生菌去活化，再由內部光脫附機制及蝕刻機制清除已去活化的生菌及碎片，致使紫外光得以再進一步將剩餘的生菌去活化，故紫外光照射是使生菌數減少的關鍵。

林等人(2005)用電漿處理聚丙烯不織布以探討其抗菌及親水性，報告

指出，細菌呈負電性，易被電漿中之正電荷吸引而使細胞質內部之電荷呈偏極化，導致新陳代謝無法運作而死亡。

洪昇利等人(2007)用綠豆種子為材料，調整冷電漿處理時間與功率為因子，配合中央合成設計(CCD)探討冷電漿處理對種子發芽與抑菌之影響。結果顯示：種子在冷電漿處理時間 2~6 分鐘內與電漿功率 30~70 W 範圍之處理組合條件下，其發芽時間沒有顯著差異，亦即經過冷電漿處理後不影響種子的生命力，但種子的發霉時間顯著延遲。在處理時間 5 分鐘及輸出功率 60W 的條件下，種子延遲發霉時間最大，亦即抑菌效果最明顯。

連振昌等人(2008)以綠豆種子為材料，經使用 12 kW、4 atm 的熱大氣與熱氮氣電將進行表面處理後，以 Fisher 最小顯著差異法(LSD)檢定綠豆在抑菌與發芽時間上是否具有差異。結果顯示，在發芽效應上，綠豆種子在通過熱大氣電漿場 81 毫秒後，亦可顯著縮短種子的

發芽時間。在抑菌效應上，綠豆種子在通過熱大氣電漿場 81 毫秒以及通過熱氮氣電漿場 81 毫秒後，可顯著延遲種子的發霉時間，亦即具有顯著的抑菌作用。

### 三、農業廢棄物之分析

農業廢棄物是指在農產、林產、漁產、畜產、農產品批發市場及食品加工等經由生產所產生的廢棄物，其中又可分為農業廢棄物(生物性)及農業資材廢棄物(非生物性)。早期台灣農業以小規模經營為主，所產生的生物性農業廢棄物大多製成堆肥並回歸施用於農田。然而近年來台灣人口急速增加，為對應人口增加所產生的糧食需求，產生的農業廢棄物往往超過環境所能負荷的能力(李健全，1999)。

對照 2012 年台灣地區主要農業產品生產量(行政院農業委員會，2012)農業廢棄物產出量(行政院主計處，2012)，全年主要農業產品生產量約為 1,257 萬公噸 (表 2.1)。農業廢棄物產出量約為 497 萬公噸 (表 2.2)，生物性農業廢棄物產出量為 484 萬公噸。其中，台灣每年約產生 30 萬公噸的稻殼及 150 萬公噸的稻草廢棄物 (田雲生，2011)。

目前國內對於農業廢棄物的處理方式，可分為：堆肥化、飼料化、食品化、能源化、其他資源化利用，以達到國際廢棄物處理趨勢—減量、回收、循環、再生利用(李健全，1999)。

表 2.1 台灣 2012 年主要農業產品生產量

生產類別	生產量(ton)
農作物	4,059,468
蔬菜類	2,692,898
菇類	8,773
水果類	2,668,055
漁產品	1,256,082
畜產品	1,881,203
總計	12,566,479

摘自行政院農業委員會(2012)農業統計要覽第 22 - 26 頁

表 2.2 台灣 2012 年各類農業廢棄物產生量

農業廢棄物類別	產生量(ton)
農產廢棄物(生物性)	2,231,300
漁產廢棄物(生物性)	161,500
畜產廢棄物(生物性)	2,286,300
農產品批發市場廢棄物 (生物性)	133,700
食品加工廢棄物(生物性)	27,800
農業資材廢棄物(非生物性)	130,100
總計	4,970,700

摘自行政院農業委員會(2012)綠色國民所得帳編製報告第 22 頁

#### 四、陰離子型聚丙烯醯胺之相關研究

陰離子型聚丙烯醯胺( $(C_3H_5NO)_n$ )可促進土壤團粒化，維持土壤適當含水率，降低土壤侵蝕，農業上常利用為土壤改良資材，但對種子發芽的影響尚待確立。李(2002)研究試驗選用 10、30 和 50% CD 三種電荷度及不同濃度之 PAM 溶液進行發芽試驗，結果顯示供試之四種草坪草，

PAM 電荷度及濃度越高對種子發芽負面影響越大，當 PAM 電荷度低於 30%、濃度低於 100ppm 對種子之發芽影響性較小。

PAM 自 1990 年起，已被認為可有效減低土壤沖蝕量及降低水中濁度之土壤改良藥劑(Lee et al., 2008)。至今，PAM 已普遍被使用為防止土壤流失、促進團粒穩定並減低殺蟲劑等化學藥劑流入水體造成的污染(張勛江，2012)。

PAM 可分為陽離子及陰離子型二種，以陰離子型產品因低毒性而被廣泛使用(Sojka et al, 2007)。美國農業部對陰離子型 PAM 提出使用規範(USDA-NRCS Code 450, 2011)，目的為減少土壤受水或風造成的流失及改善水及空氣品質，並建議噴灑灌溉時最大施用量不超過  $4.4 \text{ kg ha}^{-1}$ 。

Levy and Miller (1999)指出 PAM 能吸附於土壤團粒，進而促進土壤的團粒化，藉而提高團粒抵抗外力之能力；PAM 藉由本身之負電荷鍊以土壤中二價陽離子為橋樑，而吸附於土壤黏粒，且 PAM 的添加可吸附更多陽離子增加土壤團粒結構的穩定 (Sojka et al, 2007)；良好的團粒結構，有助於水分的入滲，同時增加土壤保水能力 (Green et al., 2000; Lentz et al., 1992; Sojka et al., 1998)。

Lentz(2015)利用濃度 500 ppm、分子量  $12\sim 15 \text{ Mg mole}^{-1}$  之 PAM，施用於粉質壤土並有效提高了 1.3-2.1 倍之水份入滲。Lee et al. (2015) 研究



指出 500 ppm( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ )、 $15 \text{ Mg mole}^{-1}$  之高分子量 PAM 及生物炭  $10 \text{ Mg ha}^{-1}$  分別施用於 pH 6.4 之壤土後，生物炭處理於 28 天後土壤含水量顯著增加 19.2 %，42 天後生物炭、PAM 處理則分別增加了 10.3 % 及 6.2 %。

在亞熱帶、熱帶氣候下，高溫度與高濕度環境下，PAM 分解快速，時效短，且對增加土壤保水力及土壤有機碳含量之效用不佳，Wang et al.(2011)分別噴灑 90、180、360 ppm 且電荷密度 30%陰離子 PAM 溶液於壤土中發現，PAM 並無法顯著防止土壤中養分元素的流失；因而在土壤功能永續性的前提下，發展新的方法以永續維持土壤功能乃為迫切之課題。

本國水土保持手冊植生篇中對噴植工法對於 PAM 亦有其定義：具絮聚土壤黏粒及排除多餘水分，吸水保水性極強，其吸水性可超過本身重量 1,000 倍，在乾燥環境下表面能形成阻力膜，防止膜內水分外溢蒸發；可應用於水力式噴植，其配比使用量為  $0.5\sim 10 \text{ kg m}^{-3}$ ，噴植厚度 0.3 cm(行政院農業委員會水土保持局，2006)。

表 2.3 PAM 對百慕達種子發芽率、發芽勢、平均發芽天數及發芽係數之

差異顯著性測試

CD <sup>†</sup> %	Concentration								Mean <sup>§</sup>
	0	1	5	10	50	100	500	1000	
----- ppm -----									
Germination percentage (%)									
0	81.3abc <sup>‡</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	86.0ab	62.0d	64.0d	72.7bcd	71.3cd	87.3a	86.0ab	75.6a
30	-	70.7cd	68.0cd	71.3cd	70.0cd	72.7bcd	69.3cd	70.1cd	70.3b
50	-	66.7d	67.3d	69.3cd	68.7cd	74.7abcd	68.0cd	64.0d	68.4b
Mean <sup>†</sup>	-	74.45a	65.8a	68.2a	70.4a	72.9a	74.9a	73.3a	71.4 <sup>£</sup>
Germination energy (%)									
0	69.3abcd	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	76.7a	47.3h	51.3gh	63.3cdefg	53.3fgh	71.3abc	76.0ab	62.8a
30	-	55.3efgh	57.3defgh	64.7abcdef	54.7efgh	64.0bcdef	60.0cdefg	57.3defgh	59.0a
50	-	58.7defgh	61.3cdefg	66.0abcde	54.0efgh	63.3cdefg	59.3cdefgh	56.0efgh	59.8a
Mean	-	63.6a	55.3a	60.7a	57.3a	60.2a	63.6a	63.1a	60.5
Mean germination time (days)									
0	4.5bcdefg	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	4.0g	4.9bcdefg	4.7bcdefg	4.2efg	5.1abcdef	4.8bcdefg	4.1fg	4.5b
30	-	6.0a	5.2abcde	4.8bcdefg	5.5ab	4.8bcdefg	4.8bcdefg	5.3abcd	5.2a
50	-	5.3abc	4.6bcdefg	4.4cdefg	5.3abc	4.9bcdefg	4.3defg	4.3defg	4.7b
Mean	-	5.1a	4.9a	4.6a	5.0a	4.9a	4.6a	4.5a	4.8
Germination coefficient (% day <sup>-1</sup> )									
0	18.3abc	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	21.6a	12.8e	13.8de	17.4abcd	13.9cde	18.3ab	21.2a	17.0a
30	-	11.8e	13.4de	15.2bcde	13.3de	15.4bcde	14.5bcde	13.6de	13.9b
50	-	12.5e	14.8bcde	15.9bcde	13.4de	15.4bcde	16.0bcde	15.2bcde	14.8b
Mean	-	15.3a	13.7a	15.0a	14.7a	14.9a	16.3a	16.7a	15.2

<sup>†</sup> CD, Charge density.

<sup>‡</sup> All number followed by the same letter are not significant difference at 0.05 level by LSD for comparing any two treatments.

<sup>§</sup> Mean within a column followed by the same letter are not significant difference at 0.05 level by LSD.

<sup>¶</sup> Mean within a row followed by the same letter are not significant difference at 0.05 level by LSD.

<sup>£</sup> Combined average of all PAM treatments.

## 第二節 肥料施用之研究

在地狹人稠前提下，台灣農民為求提高作物產量及品質，多超量施用化肥或堆肥，自 1932~2002 年台灣化學肥料施用量提高為原先 6 倍，而使土壤退化情況更為加劇，加上台灣地形陡峭且高溫多雨，施用之化肥或堆肥不僅因淋洗或沖蝕而快速流失，亦因分解快速進而降低了施用效率。

台灣在農業耕作上，由於化學肥料價格便宜且施用上較省時省工，使得化學肥料的施用相當普遍。然而，若以產酸型化學肥料施用，可能導致土壤酸化，且長期過量施用化學肥料，土壤若無有機物質添加，可能使土壤有機質降低、土壤物理性質劣化、硝酸鹽或可溶性鹽類等被淋洗到地下水體等問題(黃正介，2010)。故近十年來，由綠肥或農畜廢棄物所轉製而成之堆肥已被提出並大量研究其成為新興土壤改良資材之可能性。

Aggelides and Londra (2000)利用都市廢棄物及廢水污泥製成堆肥後，分別以 0, 39, 78 及 156 t ha<sup>-1</sup> 之施用率施加於黏質土及壤質土中，結果顯示添加堆肥可有效降低土壤總體密度，最高添加量可降低總體密度至少 0.18-0.27 g cm<sup>-3</sup>，且土壤有機質顯著提高 5 %；然而，過高之堆肥施用量將不符合經濟效益。施用堆肥雖也有改良土壤性質優點，但也具有

價格較高、用量較大、肥效較緩及施用成本較高等缺點。

## 第參章 計畫重要工作項目之實驗分析

### 第一節 不同草種(百喜草與百慕達草)之最佳電漿化條件

本計畫試驗設計為：將大氣電漿功率設定在 15 W、30 W、45 W，處理時間為 5 min；同時，亦對二草種泡水 4 小時前處理，再進行陰乾過程，以促進發芽率。種子於電漿濺鍍前後已電子顯微鏡觀察種子表徵，以鑑定種子受電漿打擊之變化，結果如圖 3.1 及 3.2 所示。至期中之目前結果呈現，兩種子(百喜草與百慕達草)受不同功率電漿濺鍍後，種子氣孔顯著受電漿激化而開啟，尤以 15W 之功率濺鍍 5 min 之氣孔開啟最為顯著。氣孔放大將使植物吸收土中水分及養分增加，利於植物生長。

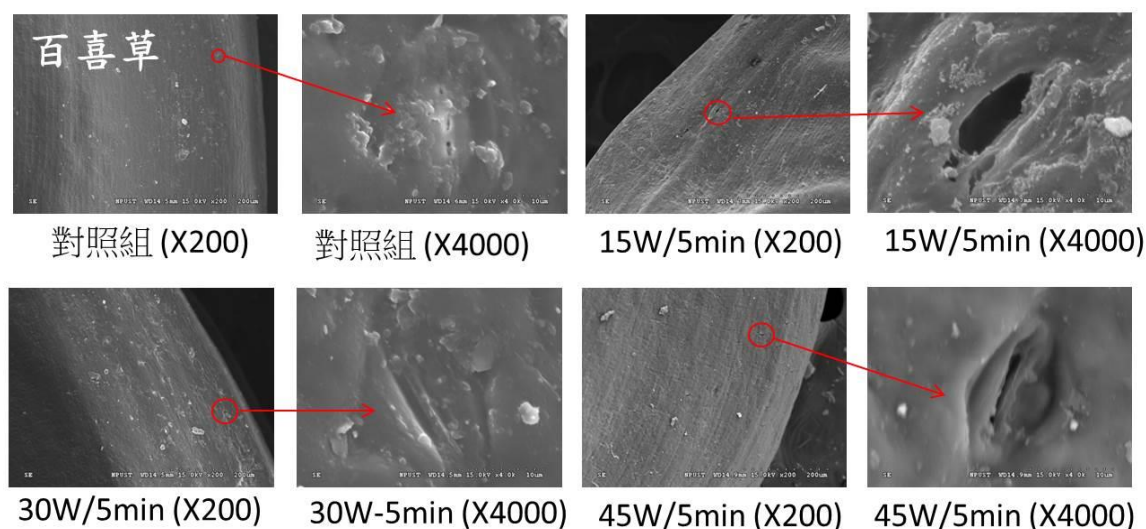


圖 3.1 百喜草種子受不同功率電漿濺鍍後於電子顯微鏡下之表徵

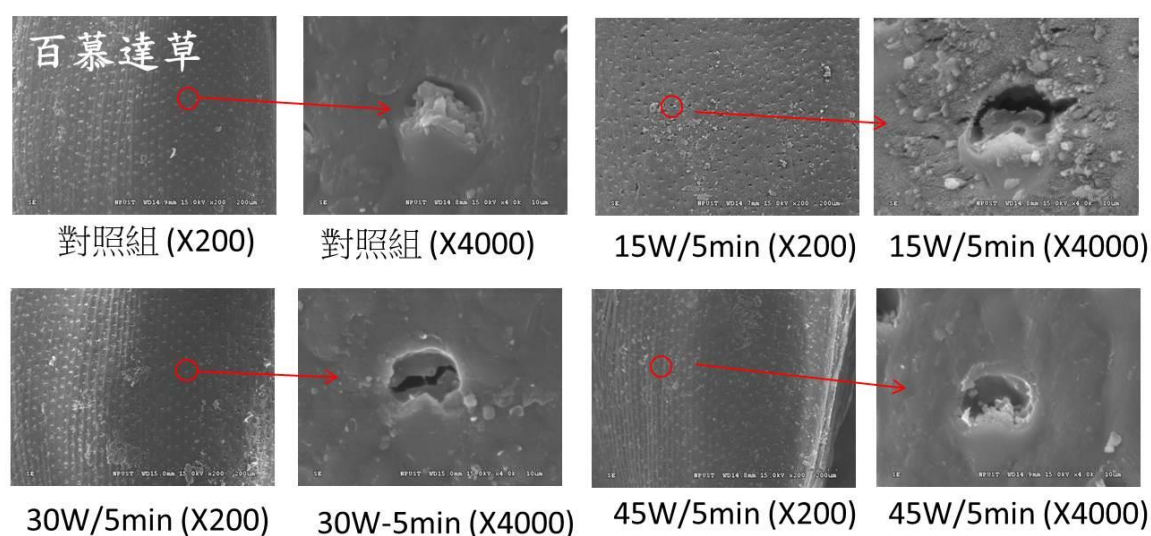


圖 3.2 百慕達草種子受不同功率電漿濺鍍後於電子顯微鏡下之表徵

## 第二節 室內種子發芽率試驗 (Ista, 1999)

選擇一市售有機堆肥並分析基本特性，將乾重 15 g 的有機堆肥，與 2 % 的生物炭混合後，加入 50 mL 濃度為 0.05 % 之 PAM 黏著劑，將此基材鋪設於培養皿上，並在三個培養皿中分別放置 200 顆被電漿處理後百喜草種子、百慕達種子與假儉草種子進行發芽率試驗。於試驗第二天開始每天加入 10 mL 的去離子水，每日紀錄發芽數量，共進行 21 天(三周)。另外，再設置一批次相同之處理，於第一次加水後，就不再繼續於基材表面添加水分，此設計為模擬現地施工狀態，同樣每日紀錄種子發芽數量，共進行 21 天。

實驗中也設計無電漿處理草種之對照組，以利於評估電漿處理之優劣情形。試驗完成後，將所記錄的種子發芽數量換算為發芽率及發芽勢，

並記錄試驗植被之存活率，用以顯示利用該技術在增加發芽率及生長速率之餘亦不降低存活率。

種子發芽率試驗處理共有：(1) 未濺鍍電漿；(2)15W+5min；(3) 30W+5min；(4) 45W+5min。此試驗為探討草種經電漿處理後，在不同電漿條件下，其不同草種發芽率與生長率之差異。觀察電漿處理後，以實際量測數據、實際調配成噴植基材對種子發芽率及發芽勢的影響，以期能試驗出最佳的電漿處理條件，所有處理均為四重複。本計畫試驗結果顯示，百喜草與百慕達草的發芽率皆以功率 30 W 之電漿濺鍍 5 min 的發芽狀況顯著較佳，皆可達 60 % 以上 (表 3.1)，其中以百喜草的發芽受電漿影響較顯著。因此，本計畫之野外現地試驗，則選擇以 30W 之電漿濺鍍 5 分鐘為種子前置基本條件。

表 3.1 百喜草經不同功率電漿濺鍍後之發芽率試驗





試驗草種	種植時間(天)	氣溫(°C)	濕度(%)
百喜草	21	24	83
			
未鍍	15W-5 min	30W-5 min	45W-5 min



表 3.2 百慕達草經不同功率電漿濺鍍後之發芽率試驗





試驗草種	種植時間(天)	氣溫(°C)	濕度(%)
百慕達草	21	23.3	83
			
未鍍	15W-5 min	30W-5 min	45W-5 min

表 3.3 百喜草與百慕達草經不同功率電漿濺鍍後之發芽術與發芽率

瓦數一分鐘數	試種數	發芽數	發芽率(%)
百喜草			
未鍍	20	2	10
15W—5min	20	9	45
30W—5min	20	13	65
45W—5min	20	3	15
百慕達草			
未鍍	20	8	40
15W—5min	20	5	25
30W—5min	20	12	60
45W—5min	20	2	10



### 第三節 現地(in-situ)種子發芽率、發芽勢及覆蓋率試驗

本試驗已於台南市龍崎區 182 縣道一處邊坡(坡度約 40 度)植生工程進行初步試驗，觀察天數為 4 個月，第一個月監測 7、14、21 天，其後以一個月觀察一次，主要以水泥格框作為試驗小區，格框大小為 1.5 m × 1.5 m，試驗設計及處理如下：(1)對照組； (2) 2%生物炭+ PAM 50 ppm；均添加 1000 顆之百慕達種子和百喜草種子，另設經大氣電漿處理(30 瓦-5 分鐘)後之種子處理：共有以下八組：(1)CK+百慕達 (CK\_BD)；(2)CK+百喜草 (CK\_BH)；(3)CK+電漿後百喜草 (CK\_BH+P)；(4)CK+電漿後百慕達草 (CK\_BD+P)；(5) 2%生物炭+ PAM 50ppm+百慕達草 (P50\_B2\_BD)；(6) 2%生物炭+ PAM 50ppm+電漿後百慕達草 (P50\_B2\_BD+P)；(7) 2%生物炭+ PAM 50ppm+百喜草 (P50\_B2\_BH)；(8) 2%生物炭+ PAM 50 ppm+電漿後百喜草 (P50\_B2\_BH+P)。均有二重複，於現地以逢機完全區集(random complete block design, RCBD)設計來排列分配如下表：

**表 3.4 各處理之逢機區集設計(complete random block design, CRBD)**

P50B2_BH+P-1	P50B2_BH+P-2	CK_BH-2	P50B2_BD-2	P50B2_BH-3
P50B2_BD-3	CK_BH-1	P50B2_BH+P-3	CK_BH+P-2	CK_BD+P-1
P50B2_BD+P-1	P50B2_BH-2	CK_BD+P-2	P50B2_BD+P-3	P50B2_BD+P-2
P50B2_BH-1	CK_BD-1	P50B2_BD-1	CK_BD-2	CK_BH+P-1

種子發芽試驗公式為：

(A)發芽率 (germination percentage, GP)定義為試驗結束時之發芽種子數占供試種子總數之百分比。發芽率( $\%$ )= $N1/S \times 100$ ，(S=供試種子總數，N1=發芽種子總數)。

(B)發芽勢 (germination energy, GE)定義為試驗開始至發芽高峰時段內發芽種子數占供試種子總數之百分比。發芽勢( $\%$ )= $N2/S \times 100$ ，(S=供試種子總數，N2=發芽種子總數)。

植生覆蓋率試驗將於第 7、14、21 天分別拍攝一次，之後則每月拍攝照片一次，用於監測發芽狀況及以 Image J 分析並計算其覆蓋率，如下圖：



圖 3.3 拍攝各處理之照片



圖 3.4 以 Image J 分析並計算其覆蓋率

#### 第四節 現地土壤保水性試驗

另設置上述所有處理，進行壓力鍋試驗，求取基質吸力與體積含水量之關係，並繪製土壤水分特性曲線。試驗儀器計有 5 bar 及 15 bar 壓力鍋各一個，用以量測不同壓力下的土壤含水量。試驗步驟為：(1)將壓力板以水浸濕，把土環放置其上，將土壤樣品置入土環中，然後在土環外壓力板上加足量的水，靜置過夜，使達飽和平衡狀態；(2)以吸管將壓力板上多餘的水吸除，然後將壓力板連同土壤放置到壓力鍋內，開始施加壓力，觀察一段時間內，無水繼續流出，即可視為平衡；(3)平衡終了時，將樣品取出置於 105 °C 烘箱中乾燥 24 hr，秤其烘乾重，繼續施加較大壓力值至所有壓力值施壓完畢。



圖 3.5 保水性試驗前處理

## 第肆章 結果與討論

### 第一節 現地種子發芽率與發芽勢

現地種子發芽率試驗至民國一〇六年十月三十日目前已收集第二個月之發芽數目，經過計算後，其發芽率如表 4.1 所示。結果發現“經過”大氣電漿處理後種子發芽數目均較“未經”大氣電漿處理高，其中又以添加 2%生物炭 + 50 ppm 之 PAM 的百慕達草種子之發芽率為最高，達約 50%。第 60 天之發芽率與發芽勢比較，如圖 4-1 所示，以添加 2%生物炭與 50 ppm 之 PAM 混合經電漿處理後之百慕達與百喜草兩組最為顯著；發芽勢以以添加 2%生物炭與 50 ppm 之 PAM 混合百慕達草種子最佳。

表 4.1 第二個月之發芽率

Samples	發芽率(%)
CK_BD	40.2±2.65
CK_BD+P	42.9±1.75
P50B2_BD	46.1±1.33
P50B2_BD+P	48.9±3.90
CK_BH	38.5±1.00
CK_BH+P	41.0±0.90
P50B2_BH	42.4±2.16
P50B2_BH+P	46.9±2.39



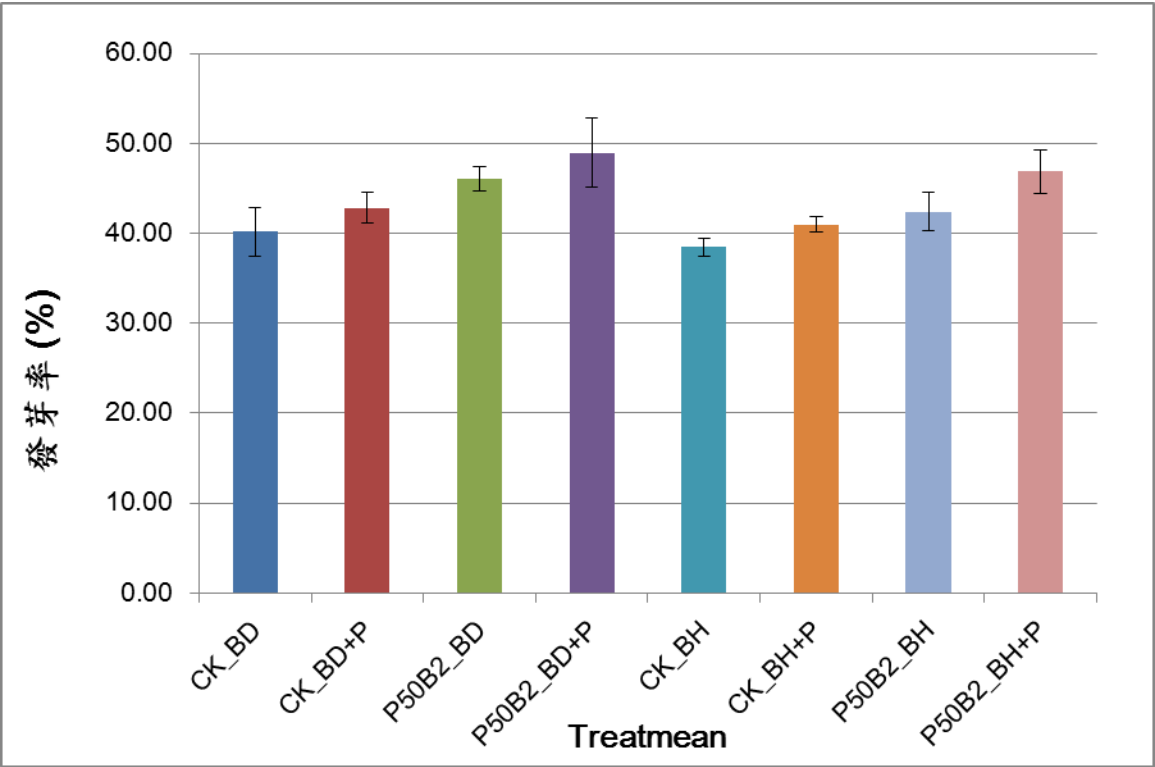


圖 4.1 發芽率圖表

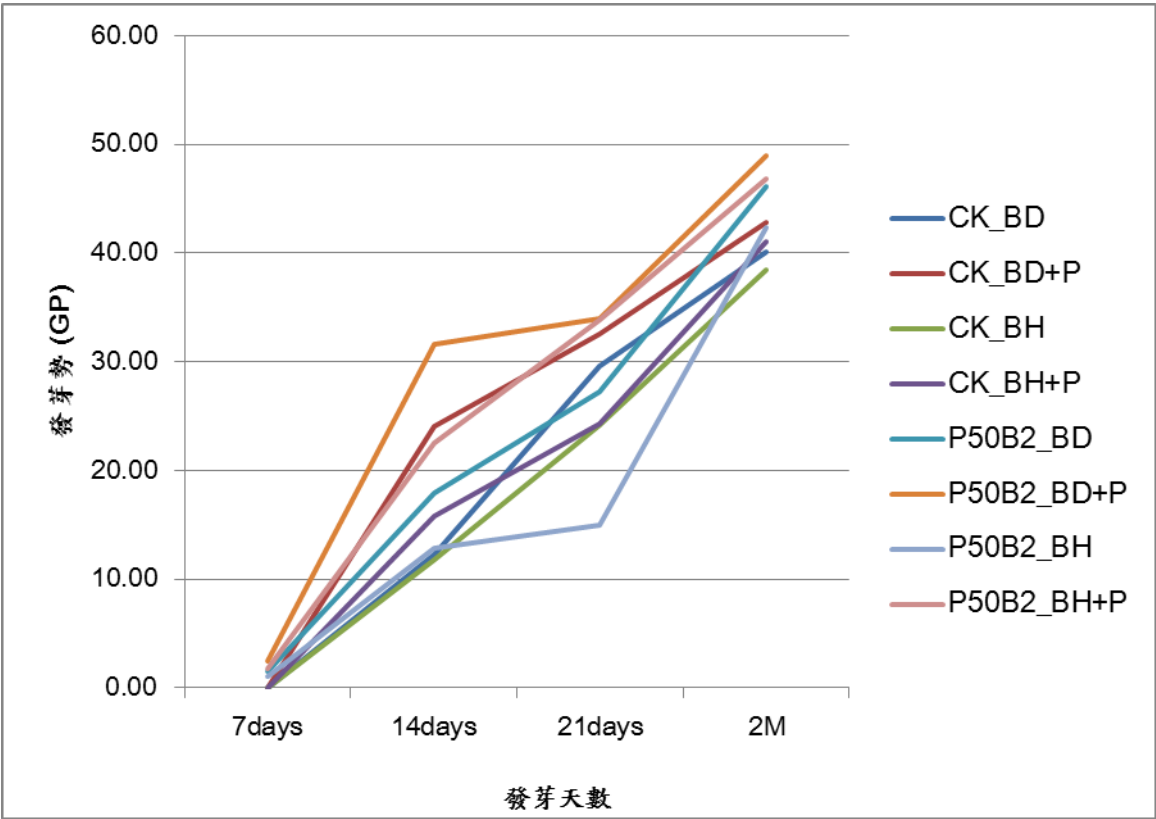


圖 4.2 發芽勢圖表



圖 4.3 P50B2\_BD



圖 4.4 P50B2\_BD+P

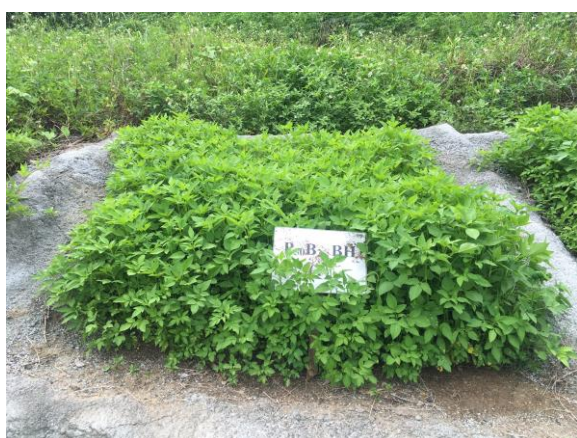


圖 4.5 P50B2\_BH



圖 4.6 P50B2\_BH+P

## 第二節 現地草種覆蓋率(四個月後)

現地種子發芽覆蓋率試驗結果如表 4.2 所示，以添加 2% 生物炭與 50 ppm PAM 混合經電漿處理後之百慕達草種子處理最高 (85.9%)。經四個月後之覆蓋率，兩草種覆蓋率依序為：生物炭+電漿濺鍍處理 (80-90%) > 生物炭處理 (70-80%) > 對照組 (60-65%)，其中又以百慕達草之覆蓋率較佳百喜草佳。

表 4.2 第四個月之覆蓋率

Sample	覆蓋率(%)
CK_BD	62.4 ± 0.12
CK_BD+P	75.0 ± 5.66
P50B2_BD	80.7 ± 0.78
P50B2_BD+P	85.9 ± 4.32
CK_BH	65.9 ± 0.07
CK_BH+P	82.7 ± 0.28
P50B2_BH	76.8 ± 3.30
P50B2_BH+P	80.4 ± 2.57

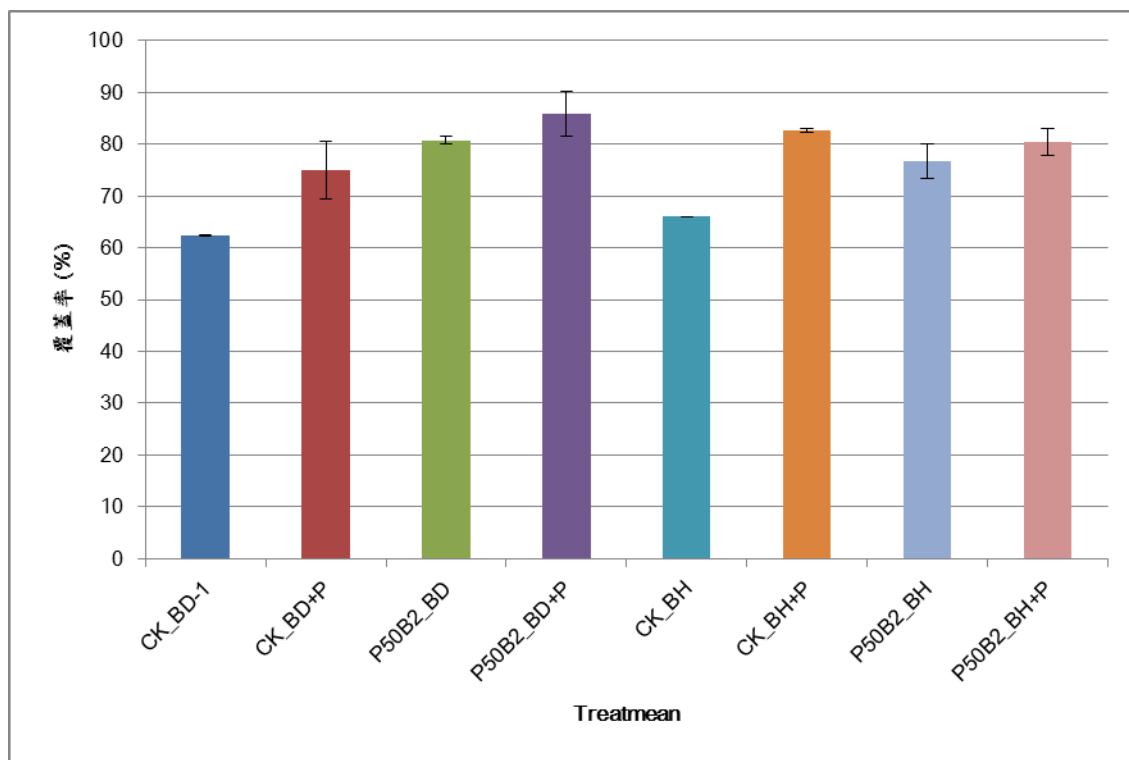


圖 4.7 覆蓋率圖表



### 第三節 百喜草與百慕達草之存活率

龍崎現地因環境因素，其入侵植物以大花咸豐草為主，於第二個月即入侵試區格框內，其後因發芽迅速且傳播快速，進而影響實驗草種之發芽情況。因此，本實驗於第四個月時間測存活之試驗種子並計算存活率，且以添加 2% 生物炭與 50 ppm PAM 混合經電漿處理後之百慕達草種子處理最高 (31.9%)。本試驗可得結論，邊坡植生工法資材，經添加生物炭且種子經電漿濺鍍後，於四個月後存活率皆尚能超過 30% 以上。

表 4.3 第四個月之存活率

Samples	存活率(%)
CK_BD	25.9
CK_BD+P	30.7
P50B2_BD	24.8
P50B2_BD+P	31.9
CK_BH	19.9
CK_BH+P	28.2
P50B2_BH	25.5
P50B2_BH+P	31.5

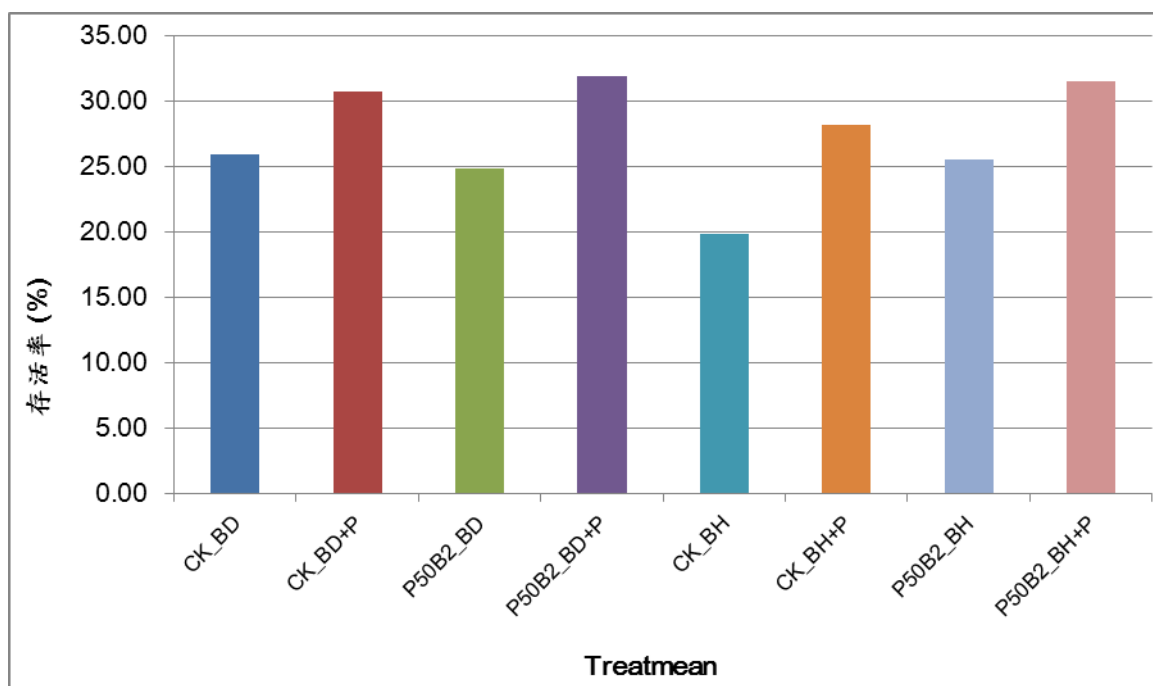


圖 4.8 第四個月之存活率圖表

#### 第四節 現地土壤保水度

邊坡植生工法須注意資材或土壤之保水能力。本試驗經四個月後，採集現地土壤，並進行壓力鍋試驗，及水分特性曲線試驗，如圖 4.9 及圖 4.10 所示。結果顯示，兩種試驗草種，生物炭添加於資材中可有效增加土壤水分含量，無論於粗孔隙或細孔隙之保水力，經添加生物炭後，土壤保水力皆增加至少 3-8% 以上。電漿濺鍍種子後，對水分之保水力並無顯著提升。因此，本試驗可得結論，土壤保水力皆由生物炭貢獻，電漿濺鍍並無貢獻土壤保水功能。

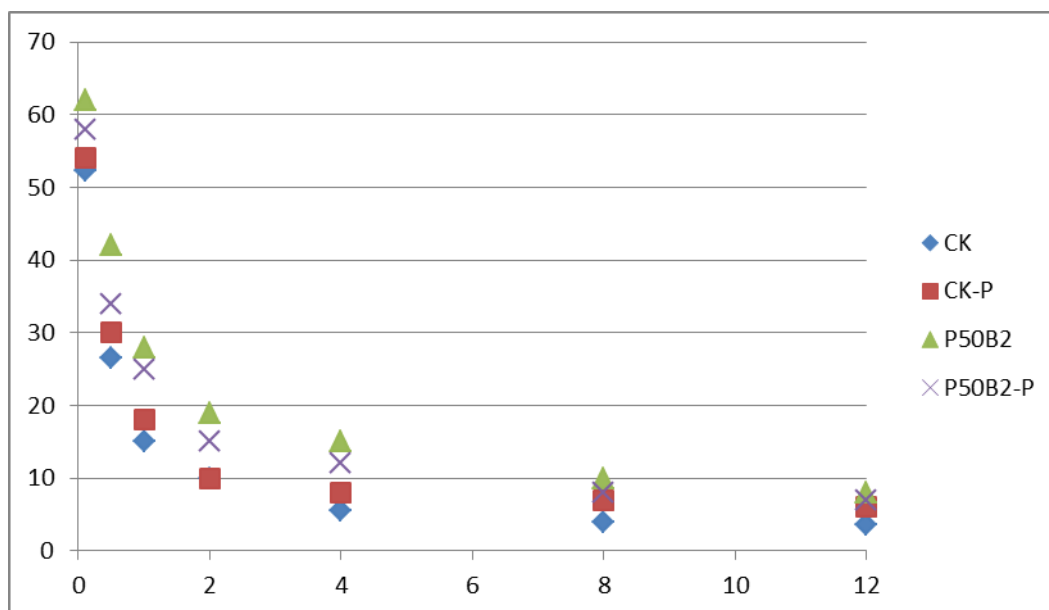


圖 4.9 百慕達草試區各處理之土壤水分特性曲線。

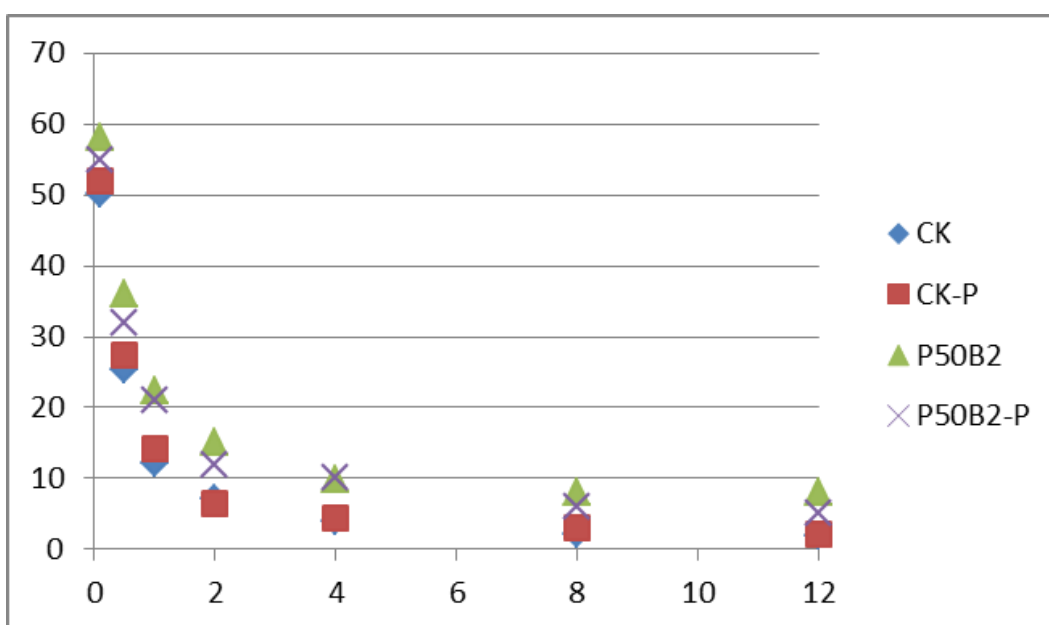


圖 4.10 百喜草試區各處理之土壤水分特性曲線。



## 第伍章 結論與建議

本計畫自計畫起始至目前截至十月底止(期末進度)，完成：(1)生物炭選用、(2)不同功率電漿濺鍍之種子發芽率試驗、(3)現地發芽率與覆蓋率。電漿濺鍍種子發芽率試驗主要與 30W-5 分鐘的濺鍍條件可使種子氣孔開啟，且有效增加發率至 60% 以上。現地試驗截至十月底為止，結過顯示，均以 **PAM 50ppm + 2% Biochar 混合電漿處理後之種子**在植物發芽率與覆蓋率中最佳，其中以 **PAM 50ppm + 2% Biochar 混合電漿處理後之百慕達種子**處理最佳(85.9%)，以建立更完整的資料，以提供日後實施邊坡植生噴植方法之建議。此外，試驗經現地邊坡種植百慕達草與百喜草後，存活率皆尚能達 30% 以上，土壤含水率亦較對照組顯著增加 5% 以上。



## 參考文獻

1. 朱祐賢、林信輝。2011。菇類廢棄木屑堆肥保水性及種子發芽率試驗之研究。水土保持學報 43 (1): 67-80。
2. 江秀雯。2007。黏著劑對土壤抗沖蝕性改良之研究。碩士論文。國立屏東科技大學。屏東縣。
3. 行政院農業委員會水土保持局，2013，水土保持手冊，行政院農業委員會水土保持局。
4. 行政院農業委員會水土保持局。2006。植生資材應用手冊。行政院農業委員會水土保持局。
5. 吳盈政，2005，「噴植用黏著劑材料特性與適宜性分析」，碩士論文，國立中興大學，臺中市。
6. 巫清志、張瑋玠、林信輝。2013。噴植工法不同資材種子發芽與覆蓋率比較分析。水土保持學報 45 (3): 737-752。
7. 李盈瑩，侯金日，2011，「陰離子型聚丙烯醯胺對四種草坪草種子發芽之影響」，中華民國雜草會刊，32: 35-49。
8. 林信輝、黃保維、許榮峰，2004，「附土壤團粒化劑對紅壤抗蝕性及種子發芽影響之研究」，坡地防災學報，3(1): 15-28。
9. 張勛江，2012，「聚丙烯醯胺在水土保持中的應用研究」，碩士論文，西北

大學，中國西安市。

10. 張瑋珈、朱祐賢、林信輝。2012。菇類廢棄木屑堆肥混和不同濃度 CMC 之種子發芽試驗研究。水土保持學報 44 (2): 151-160。
11. 許中立，2009，「紅壤噴灑黏着劑之防冲效果探討」，坡地防災學報，8(2): 45-55。
12. 陳文棋。2014。施用不同生物炭對土壤氮礦化之影響。碩士論文。國立屏東科技大學。屏東縣。
13. 簡士濠、陳文棋。2013。添加不同溫度下製備之稻殼炭對泥岩土壤物理性質的影響。生物炭在農業與環境上之應用研討會論文集，第 55-69 頁。
14. Hseu Z. Y., S. H. Jien, W. H. Chien, and R. C. Liou. 2014. Impacts of biochar on physical properties and erosion potential of a mudstone slopeland soil. *Sci. World J.*
15. Jien, S. H. and C. S. Wang. 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena* 110: 225-233.
16. Joseph, S. D., M. C. Arbestain, Y. Lin, P. Munroe, C. H. Chia, J. Hook, L. van Zwieten, S. Kimber, A. Cowie, B. P. Singh, J. Lehmann, N. Foidl, R. J. Smernik, and J. E. Amonette, 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil. *Austra. Aust. J. Soil Res.* 48: 501-515.
17. Lehmann, J. and S. D. Joseph. 2009. Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan, London.



18. Lehmann, J., J .P. Jr Silva, C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil* 249: 343-357.
19. Mulcahy, D. N., Mulcahy, D. L., and D. Dietz. 2013. Biochar soil amendment increases tomato seedling resistance to drought in sandy soils. *J Arid Environ.* 88: 222-225.
20. Orts, W. J., R. E. Sojka, and G. M. Glenn. 2000. Biopolymer additives to reduce erosion-induced soil losses during irrigation. *Ind. Crops Prod.* 11: 19-29.
21. Sojka, R. E. and R. D. Lentz. 1997. Reducing furrow irrigation erosion with polyacrylamide (PAM). *J. Prod. Ag.* 10: 47-52.



## 附錄

### 附錄一、期末報告書審查會議意見表

時間：106 年 11 月 28 日(星期二)上午 10 時

地點：行政院農業委員會水土保持局第一會議室(南投市中興新村光華路 6 號)

主持人：柯總工程司燦堂

委員意見	回覆說明
1.種子發芽試驗材料，建議可添加選用發芽困難之木本植物，如臺灣赤楊等。	謝謝委員意見，未來視計畫延續性將可採試其他水土保持植物物種。
2.生物炭取代一般常用纖維材料，可能減低在坡面上抗降雨沖蝕之能力。	謝謝委員意見，生物炭本身具有電荷，可促進土壤團粒穩定，但需要至少三個月以上，建議本方法可於乾季運用。
3.發芽勢之計算方法與二個月後計算發芽率是否合乎國際種子檢查規則。	本計畫之發芽率與發芽勢計算方法乃採用本國水土保持技術規範中的規範方法。
4.PAM 之試驗，建議有滲透壓(或滲透潛勢)之測值及其可能對發芽之影響	謝謝委員意見，本計畫所運用之 PAM 濃度相當低，為 10 ppm，對於滲透壓的影響應相當小。
5.野外發芽試驗照片似非百喜草或	野外試驗經第三個月後，咸豐草益蔓

委員意見	回覆說明
百慕達草之生長情形。	延多數試驗框格，導致不易鑑識草種。
6. 邊坡植生的基本條件，應建立在穩定的基盤。	謝謝委員意見。
7. 4 個月的存活率均低於 32%，此存活率是否太低，其對邊坡抗侵蝕效果是否下降，對實用上是否有很大影響。	試驗草種存活率雖不高，但第四個月之後，其他樹種已逐漸入侵，造成覆蓋率達 80% 以上，可抵禦沖蝕。
8. 是否考量季節性的影響？	謝謝委員意見，未來視計畫延續性將可繼續於不同季節下試驗。
9. 本研究後續應用的可能性為何？在後續應用上，還需要做那些的試驗？	本計畫未來可同時應用混合草種來試驗，獲得結果後可有效應用於植生工程。
10. 本計畫以稻草燒製的生物炭為材料，若以不同材料燒製之生物炭其效果是否不同？	生物炭特性(電荷特性)主要取決於燒製溫度，本身生物質的來源影響較小。
11. 經研究以 PAM 50 ppm 加上 2% Biochar 混合電漿處理最佳，請問若實際運用，是否計算其成本效益？	成本效益分析已於服務建議書，期初報告中列出。