

出版編號：SWCB-105-110

以新穎技術改善植生工法之植物生長效益
**Improvement of Growing Efficiency of Plants by
Using a Novel Technique**

執行單位：國立屏東科技大學水土保持系

執行期間：105 年 04 月 01 日至 105 年 12 年 31 日

計畫主持人：簡士濠 副教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 105 年 12 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)

以新穎技術改善植生工法之植物生長效益

摘要

植物生長效益常受到植物初期發芽率不佳而影響。如能於工程初期有效運用保水保肥之有機資材方可增加工程效益。生物炭已被認為可有效保水及保肥之有機資材。本研究添加生物炭於植生初期，並與以往黏著劑聚丙烯醯胺(polyacrylamide, PAM)和雙效混合黏著劑(AB 劑)比較。試驗結果顯示，植物生長效益於共同添加生物炭與 PAM 之處理可顯著提升土壤有機質、有效氮、磷、鉀含量，土壤保水性與土壤抗蝕性。本研究依據試驗結果，建議最佳處理為 2% 生物炭及 50 ppm 之 PAM 共同施用。

關鍵詞：植物生長、黏著劑、生物炭、土壤抗蝕性。

Improvement of Growing Efficiency of Plants by Using a Novel Technique

ABSTRACT

The efficiency of plant growing is always influenced by poor germination, and it could be improved by selecting useful organic amendments to retain water and nutrients at beginning. Biochar has been considered as a good amendment for water and nutrient retention in soils. This study aims to evaluate the possibility of biochar application in soils to replace previous methods such as PAM and AB reagent. The results indicated that co-application of 2% biochar and 50 ppm PAM is the most useful way to improve soil fertility and water retain capacity and increase germination efficienc.

Keywords: Plant Growing, Flocculating Agent, Biochar, Soil Erosivility.

目錄

摘要	I
ABSTRACT	II
目錄	III
表目錄	V
圖目錄	VII
第一章 研究源起與擬解決之問題.....	1-1
第二章文獻回顧.....	2-1
第三章 材料與方法	3-1
第一節 供試材料	3-1
第四章 結果與討論	4-1
第一節 發芽率與發芽勢	4-1
第二節 各處理之有機質含量	4-2
第三節 土壤養分分析	4-3
第四節 土壤保水度	4-7
第五節 土壤沖蝕性	4-10
第五章 結論與建議.....	5-1
第一節 結論	5-1

第二節 建議	5-2
參考文獻	參考文獻-1
附錄	附錄-1
附錄一、期中報告書審查會議意見表	附錄-1
附錄二、期末報告書審查會議意見表	附錄-5

表目錄

表 3-1 施用資材之基本性質分析.....	3-2
表 4-1 各處理之保水度比較.....	4-9

圖目錄

圖 3-1 生物炭	3-2
圖 3-2 聚丙烯醯胺藥劑 (PAM).....	3-3
圖 3-3 雙液型(AB 劑)黏著劑.....	3-3
圖 4-1 各處理之發芽率（四重複）	4-1
圖 4-2 各處理之百喜草生長情形及覆蓋率.....	4-2
圖 4-3 各處理之有機質含量.....	4-3
圖 4-4 土壤有效鉀含量.....	4-4
圖 4-6 硝酸態氮第 3 天及第 28 天含量.....	4-6
圖 4-7 銨態氮第 3 天及第 28 天含量.....	4-7
圖 4-8 各處理之水份特性曲線.....	4-9
圖 4-9 各處理之土壤沖蝕量.....	4-10

第一章 研究源起與擬解決之問題

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，此舉往往造成種子發芽率降低、外來植物種演替過慢，黏著劑之二次代謝產物甚至造成環境危害等問題；若降低黏著劑濃度又會降低抗沖蝕的成效。此外，若當噴植物料，如廢棄木屑堆肥單獨使用與種子噴植時，於乾季，水分較為缺乏的情況下，可能造成基材乾裂收縮、含水率不佳而使種子不易發芽等問題，進而降低施工效率及增加施工成本。本研究主要針對植生工法中之噴植基材，以農業廢棄物稻殼或棄木進一步裂解碳化作為生物炭，並以之作為添加資材，嘗試改善噴植工法之效率，期待提升直升之發芽率、噴植基材之保水性及抗蝕性。

第二章 文獻回顧

現今噴植工法所使用的混合資材中，可概分為纖維資材、肥料資材、土壤改良劑、保水劑、黏著劑、種子及其他資材等(水保局，2006)。其中纖維資材如蔗渣堆肥或菇類廢棄物堆肥等，因具通氣、保水及保肥等特性，可將之視為替代土壤的材料，其用量在混合噴植基材中所佔的比例也最高。然而，混合資材中所用的有機堆肥若具高電導度($EC > 4 \text{ dS/m}$)或高碳氮比($C/N > 30$)可能不利於種子發芽以及對植物生長初期造成影響。黏著劑種類大多為高分子化合物，就其固結型態可概分為三型：(1)被膜形成型：即在地表或客土種子材料上被覆，薄層不透水性之材料，如柏油乳劑等；(2)滲透連結型：即可滲透至地面下與土壤粒子結合之材料，可直接與土壤、種子及肥料等預先混合，如丙烯酸樹脂等；(3)滲透填充型：即可滲透填入地表面之土壤顆粒間之材料，如高分子黏著劑、乳膠劑 CMC、團粒化劑等。在噴植工法中，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(吳，2005、江，2007、朱和林，2011、巫等人，2013)。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 年公佈 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 t 的土壤 (Orts et al., 2000; Sojka and Lentz, 1997)。

台灣地區稻穀產生量約 30 萬公噸，在處置上可做為禽畜舍墊料、育苗栽培介質及堆肥等。若能再將其資源化製成生物炭，將有助於農業廢棄物減量。生物炭(biochar)為一富含碳之固形物質，由生物質(Biomass)在低氧環境下高溫熱裂解產生(Lehmann et al., 2003)。因高溫炭化之故，生物炭本身所含有的有機碳較難以被礦化分解，因而可長期維持土壤中之碳含量。在特性上，生物炭具有多孔隙、低總體密度以及大比表面積等特性，使得生物炭可大量吸附水分和土壤中供植物生長所需的養分離子(陳，2014)。因此生物炭施用至土壤中將可增加土壤保水及保肥能力，提高植物的抗旱性，增加土壤抗沖蝕能力(Mulcahy et al., 2013; 簡和陳，2013)。Jien and Wang(2013)研究顯示酸性紅壤經添加 5%(w/w)之生物炭後，相較於對照組，添加生物炭處

理之土壤沖蝕量顯著減少 70%。目前生物炭的應用大多使用於改良土壤性質及促進植物生長，部分則應用於污染物處理等試驗。在過去的研究中，噴植工法所用的混合基材中，仍少有加入生物炭後對保水性、種子發芽率及抗沖蝕之影響的研究，因此其對噴植工法成效上的差異仍需進一步評估與探討。本計畫擬將稻殼資源化製成生物炭，此將有助於廢棄物減量，再以實務上常用的噴植基材中加入生物炭，研究在不同配比組合下，以期能提高噴植基材的種子發芽率、保水性及抗沖蝕性。擬由試驗結果開發生物炭在噴植工法應用上之技術與建議，提高噴植工法之效率。

生物炭(Biochar)是由農業廢棄材料於高溫及厭氧條件下，熱裂解製成之固態產物的混合物，由於生物炭為多孔性結構，促使有助於固定土壤中養分，並可提供微生物與益菌生長環境，也是使土壤肥沃的主要原因，而使用生物炭作為土壤改良劑已是近年全球趨勢。PAM (Polyacrylamide) 可降低土壤沖蝕、促進團粒穩定並維持土壤適當含水量。PAM 的增加雖然會提高土壤抗沖蝕的能力，但也會降低種子的發芽率，使用黏著劑甚至會降解成具致癌性的二次代謝產物，像是丙烯醯胺。如果使用過量，有可能會隨著降雨進入集水區影響飲用。而目前實務上所用的噴植基材以廢棄木屑堆肥加黏著劑並混合草本植物種子為主，然而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。因此本實驗擬將農業廢棄物資源化製成生物炭，研究在不同配比組合下，能提高噴植基材的種子發芽率、土壤肥力的最佳組合之可行性。

針對黏著劑濃度差異對種子發芽率的影響，吳(2005)指出黏著劑的種類與使用量會影響噴植成效，其研究在團粒化劑及乳膠劑兩種黏著劑處理後結果顯示，乳膠劑處理會在土壤表層形成不透水薄膜，降低水分的入滲能力，及影響植物的初期發芽生長。江(2007)研究探討黏著劑使用於減緩土壤侵蝕程度及對種子發芽的影響，結果發現泥岩與紅壤經黏著劑噴灑後在不同坡度及降雨強度下對抵抗雨滴打擊及抗逕流沖蝕均有明顯的效果，但黏著劑的濃度則明顯影響種子的發芽率。張等(2012)將菇類廢棄木屑堆肥與不同濃度的黏著劑混合後，探討其配比對黑麥草之發芽率與初期生長之影響，結果顯示，高分子黏著劑使用量在 0.01%~0.1%之間即有良好的黏著效益，且各濃度的發芽率皆達 85%，其中以黏著劑濃度 0.015%的發芽率(92%)為最佳，在植物初期生長情形，黏著劑濃度越高吸收水分也越快，也越易與初期生長的植物競爭水分，導致植株生長初期有變黃及倒伏現象發生。

許多學者已提出添加生物炭至土壤中可有效改善土壤品質，促進土壤構造、團粒穩定性、導水度；增加土壤中微生物活性及減少養份

流失，並促進植物生長(Lehmann and Joseph, 2009; Joseph et al., 2010)。

Jien and Wang(2013)研究顯示酸性紅壤經添加 5%(w/w)之生物炭，於 105 天後，pH 值由 4.0 顯著增加至 5.1，有機碳含量增加 0.7 %，總體密度顯著降低 24%，且土壤孔隙率明顯增加 10%，該研究亦指出添加生物炭後，土壤沖蝕量顯著減少 70%。Hseu et al. (2014)將稻殼炭分別以 2.5%、5% 及 10% 的比例添加到泥岩中，培育 168 天後以降雨強度 80 mm/hr，坡度 10 度及 20 度之模擬條件下進行沖蝕試驗，結果顯示土壤沖蝕量隨稻殼炭施用量增加而顯著降低，且其相較於對照組，生物炭在 2.5% 之施用量下，沖蝕量降低 30-40%，在 5% 施用量下沖蝕量降低 80-84%，而在 10% 施用量下其沖蝕量降低至約 90%。Antal 等人(2003)指出：以生物炭作為土壤改良劑能有效改善土壤理化性質和土壤養分，並對土壤微生物產生影響，進而提高土壤的生產力。張旭東(2003)研究指出：不同來源資材經過高溫無煙熱裂解後可形成多孔性，具有吸溼等性質，可做為土壤改良劑。李盈瑩(2011)指出：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。王重棋(2015)指出：PAM 可顯著降低沖蝕量 25~30%，堆肥使用後土壤沖蝕量可減少約 20%，堆肥及生物炭混合處理可有效減低土壤沖蝕量 10~25%，顯示生物炭取代 PAM 之可能性。

第三章 材料與方法

第一節 供試材料

一、 供試培養土：

本研究採用木屑培養土作為植生工法之基材，基本性質如表 3-1 所示。

二、 試驗種子材料：

本研究選用噴植工法常搭配之種子材料百慕達草 (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.)種子。

三、 供試黏著劑：

(一)聚丙稀醯胺(Polyacrylamide, PAM)

本研究採用為陰離子型 AN910SH，基本性質如表 3-1 所示。陰離子型聚丙稀醯胺($C_3H_5NO_n$)可促進土壤團粒化，維持土壤適當含水率，降低土壤侵蝕。

(二)雙液型黏著劑(KMCO-955，AB 劑)

屬於一種可披覆於坡面之噴植材料，為一種標準的雙液型反應，意即此未混合起化學反應前，兩種溶液分別擁有不同的性質，關鍵藥劑（或可稱 A 劑）為保水劑；輔助藥劑（或稱 B 劑）為水溶性液體，存放後易產生類似白色沉澱物，混合前須加以攪拌，遇水後會轉變為白色狀，其對土壤顆粒的滲透性佳，可在土壤表面形成防水、

透氣、類網狀之發泡彈性體，並可將植物種子混合植被，不會影響
植被種子發芽、成長。基本性質如表 3-1 所示。

表 3-1 施用資材之基本性質分析

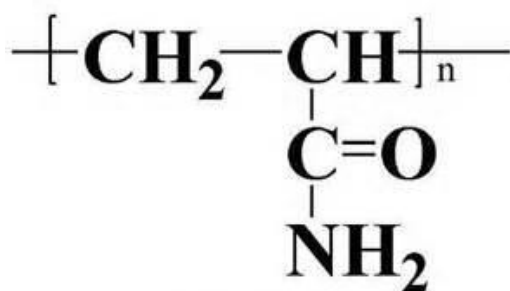
Items	Substrate	Biochar	Polyacrylamide (PAM)
pH	5.9 ± 0.1	6.9 ± 0.1	8.0 ± 0.1
TC (%)	84 ± 2.0	41 ± 0.3	82 ± 3.0
C/N	2.0	-	-
TN(mg kg ⁻¹)	$46,600 \pm 1780$	$3,670 \pm 493$	-
IN(mg kg ⁻¹)	453 ± 3.0	187 ± 38	-
Ex. Ca(mg kg ⁻¹)	242 ± 0	940 ± 40	-
Ex. Mg(mg kg ⁻¹)	75.0 ± 1	57 ± 2.0	-
Ex. K(mg kg ⁻¹)	$15,720 \pm 110$	88 ± 3.0	-

四、 生物炭選定：

生物炭(biochar)採用漂流木頭，主要原料為櫟木(*Zelkova serrata*)，在
厭氧狀態下以 300 °C 高溫燒製而成，由工業技術研究院綠能源與資源研
究所提供。基本性質如表 3-1 所示。



圖 3-1 生物炭



聚丙烯酰胺分子式



圖 3-2 聚丙烯酰胺藥劑 (PAM)



圖 3-3 雙液型(AB 劑)黏著劑

五、試驗方法

(一)種子發芽試驗(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，各自與 2% 及 4% 的生物炭混合後，加入 50 mL 濃度為 0.05% 和 0.1% 的 PAM 黏著劑，及 50 mL 濃度為 0.5% 和 1% 的 KMCO-955 黏著劑攪拌均勻，將此基材鋪設於培養皿上，並在培養皿中放置 50 顆百喜

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 28 天。另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 28 天。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。種子發芽率試驗處理共有：(1)有機堆肥 + 2% 生物炭 + 50 ppm PAM；(2) 有機堆肥 + 2% 生物炭 + 100 ppm PAM；(3)有機堆肥 + 2% 生物炭 + 0.5% KMCO-955；(4) 有機堆肥 + 2% 生物炭 + 1% KMCO-955；(5) 有機堆肥 + 4% 生物炭 + 50 ppm PAM；(6)有機堆肥 + 4% 生物炭 + 100 ppm PAM；(7)有機堆肥 + 4% 生物炭 + 0.5% KMCO-955；(8) 有機堆肥 + 4% 生物炭 + 1% KMCO-955；(9)有機堆肥 + 2% 生物炭；(10)有機堆肥 + 4% 生物炭；(11)有機堆肥 + 50 ppm PAM；(12)有機堆肥 + 100 ppm PAM；(13)有機堆肥 + 0.5% KMCO-955；(14) 有機堆肥 + 1% KMCO-955。此試驗為探討生物炭加入噴植基材後，在不同配比處理下，於每日持續加水，及開始試驗時僅加一次水之兩種水分狀態下對種子發芽率及發芽勢的影響，以期能試驗出最佳的配比，所有處理均為四重複。

種子發芽試驗公式為：

1. 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。

$$\text{發芽率}(\%) = \frac{N1}{S} \times 100\%$$

(S=供試種子總數，N1=發芽種子總數)

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。

$$\text{發芽勢}(\%) = \frac{N2}{S} \times 100$$

(S=供試種子總數，N2=發芽種子總數)

(二) 土壤有效氮試驗 KCl 萃取(Mulvaney, 1996)：

稱取 0.1 g 土壤置於塑膠瓶中，加入 50 mL 2 N KCl 溶液，經往復震盪 1 小時後，過濾並收集濾液，濾液加入 MgO，經蒸餾後所得氮含量為銨態氮含量，濾液加入 Devarda's alloy 合金粉進行蒸餾後所得氮含量為硝酸態氮含量。

(三) 土壤有效磷試驗(Kuo, 1996)：

稱取 0.2 g 土壤置於塑膠瓶中，加入 15 mL 的萃取液(0.03 M NH₄F + 0.025 M HCl)，劇烈振盪 1 分鐘後，過濾並收集濾液，濾液利用離子層析 10 儀(ICS-1100; Thermo Fisher Scientific Inc.)，以 Anion 陰離子系統檢測，系統需配置新鮮 9mM 陰離子流洗液(0.954g

Na₂CO₃(碳酸鈉)定量 1L)，配置磷檢量線並建立於系統中，檢量線濃度為 0, 0.5, 1, 2, 5, 10 ppm。土壤磷(Available phosphorous, A-P)計算方法為：

$$P(\text{mg/kg}) = \text{Conc.} \times \left(\frac{50(\text{ml})}{V1} \right) \times \left(\frac{L}{1000(\text{ml})} \right) \times \left(\frac{V2}{\text{使用土壤重}} \right) \times (1 + W(\%)) \times 1000 \left(\frac{\text{g}}{\text{kg}} \right)$$

(四)土壤交換性陽離子鉀 (Rhoades, 1982)：

將土壤放置折好的濾紙中，加入 100 mL 中性醋酸銨過濾並收集濾液。運用火焰式原子吸收光譜儀 Atomic Absorption Spectrophotometer, AA)檢測收之濾液，檢測前需用 K 標準液檢測其檢量線，標準液濃度為 0、0.5、1.0、2.0、2.5、5.0 ppm，檢量線 R² 需達 0.995 以上，如果檢測樣本濃度過高則需稀釋。

(五)有機質含量測定-濕式氧化法 (Nelson and Sommers, 1996)：

秤取約 0.1g 團粒土壤磨碎後裝於錐形瓶中，加入 10mL 1N K₂Cr₂O₇ 與 20mL 95% H₂SO₄ 搖晃均勻，冷卻後加入 10mL 95% H₃PO₄ 與 100mL 超純水，加入 3~4 滴菲羅琳指示劑，以 0.5N(NH₄)₂Fe(SO₄) · 6H₂O 滴定溶液並判色。

(六)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 烘箱中乾燥 24 小時，秤其烘乾重，繼續施加較大壓力值至所有壓力值施壓完畢。此試驗為探討生物炭加入噴植基材後，在不同配比處理下，對土壤有效水分的影響，所有處理均為四重複。

(七)人工降雨沖蝕試驗：

沖蝕盆之設計參考 ASTM D7101-08 設計長： 90 ± 2 cm、寬： 25 ± 2 cm，並等分為三重複之沖蝕道。將植生基材噴植於已鋪植生網之土樣上，噴植厚度為 1 cm，移入屏東科技大學人工降雨實驗室進行沖蝕試驗，降雨強度設定值為 50 mm/hr、坡度為 35 度，降雨延時 20 min，每 10 min 收集一次流出土樣至沖蝕桶中。

第四章 結果與討論

第一節 發芽率與發芽勢

種子發芽試驗經過四周後，由研究結果得知 (圖 4-1、圖 4-2)，與對照組相較，添加生物炭的處理之發芽率及發芽勢均有明顯提高，而以 $P_{100}+B_2$ 處理上升 17% 最佳 ($p < 0.05$)。添加 AB 劑處理則明顯抑制種子發芽及生長勢。本研究同時將 $P_{50}+B_2$ 、AB 處理與 CK 比較，計算其覆蓋率，其中 CK 之覆蓋率為 $35.5 \pm 0.01\%$ 、 $P_{50}+B_2$ 覆蓋率為 $67.9 \pm 2.31\%$ 、AB 劑覆蓋率為 $19.0 \pm 1.12\%$ 。由結果得知， $P_{50}+B_2$ 處理在種子發芽率、發芽勢及覆蓋率為所有試驗中為最佳之處理，而 AB 處理則最差。根據本試驗之初步結果，結果意喻生物炭與 PAM 共同施用，可能使得培養土中養分增加，進而促進發芽率及增加發芽勢。

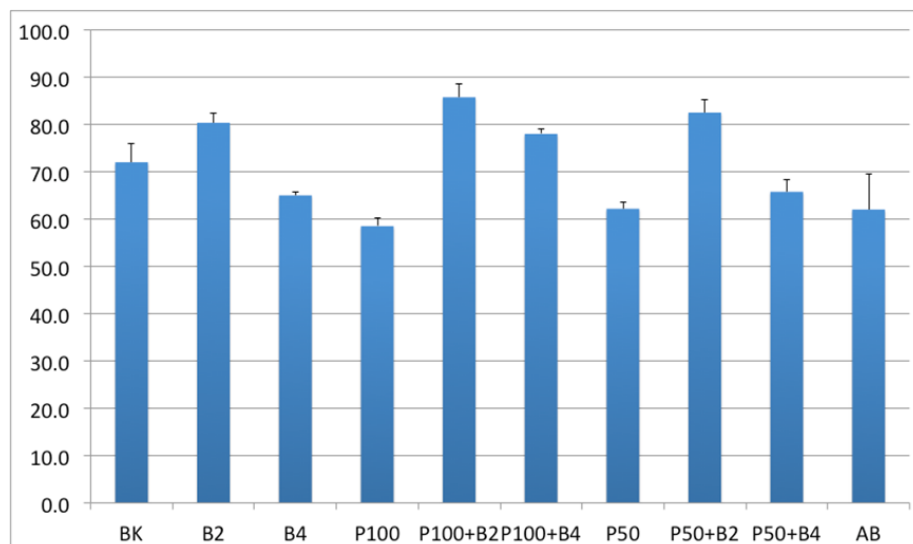


圖 4-1 各處理之發芽率 (四重複)

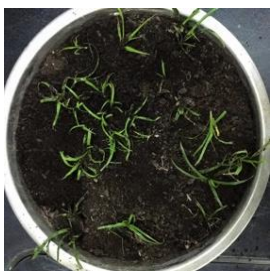









Control (CK)	2% Biochar (B ₂)	4% Biochar (B ₄)	PAM 50 ppm (P ₅₀)
			
PAM50 + B ₂	PAM50 + B ₄	PAM 100 ppm (P ₁₀₀)	PAM 100 + B ₂
			
PAM 100 + B ₄	AB reagent (AB)		
			

圖 4-2 各處理之百喜草生長情形及覆蓋率

第二節 各處理之有機質含量

試驗結果如圖 4-3 所示，在有機質試驗中，添加生物炭之處理之有機質含量均提高 0.2-0.4%。單獨添加 PAM 之處理與 AB 劑之處理則無法提供碳源，因而無明顯提升有機碳之趨勢。有機碳含量於土壤中可作為微

生物活性(microbial activity)及保水力(water retention capacity, WRC)的指標，因而有機碳增加可促進種子在發芽階段更為有機會由種子破繭而出，進而提升發芽率；次外，在乾季期間，土壤有機碳可增加保水力及含量，亦可增加種子發芽及幼苗存活的機率。

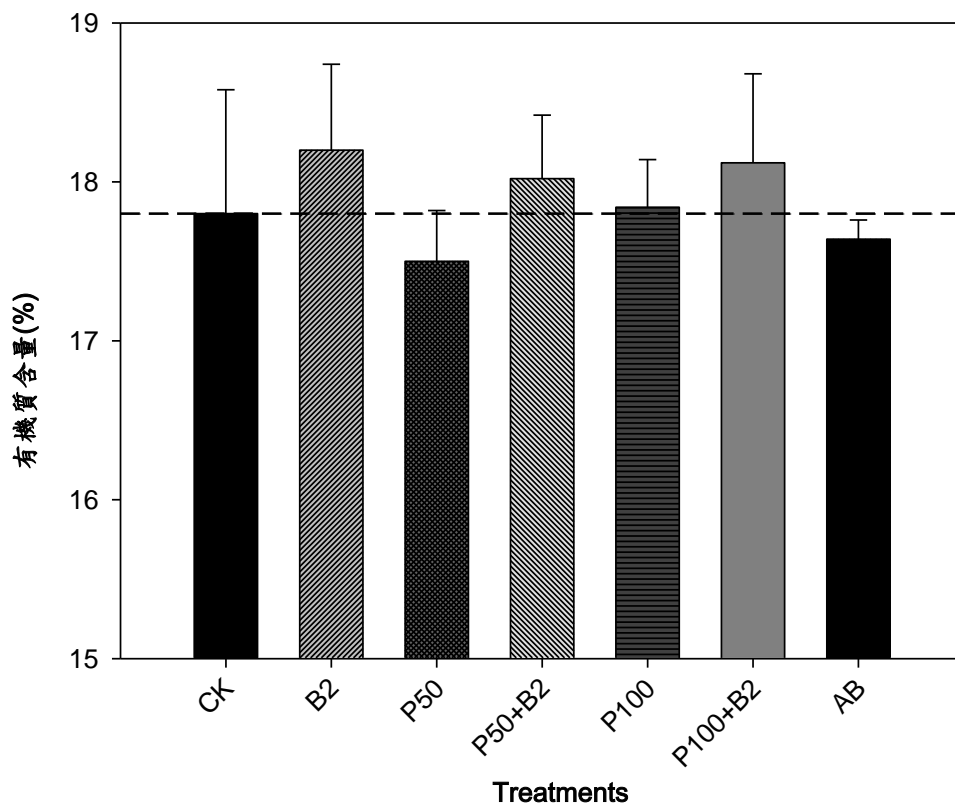


圖 4-3 各處理之有機質含量

第三節 土壤養分分析

一、有效鉀分析

各處理之土壤有效鉀含量如圖 4-4 所示，添加生物炭之處理均有所提高，可增加 20-40 mg/kg，其中以 B₂ 上升 11% 最為顯著，原因為生物炭由

稻殼裂解製成，因而本身含有鉀，施用後可緩慢以有效鉀的型態逐漸釋出。相反的，單純使用黏著劑之處理有效鉀含量並無明顯提升，同樣情形亦出現在 AB 劑處理中。

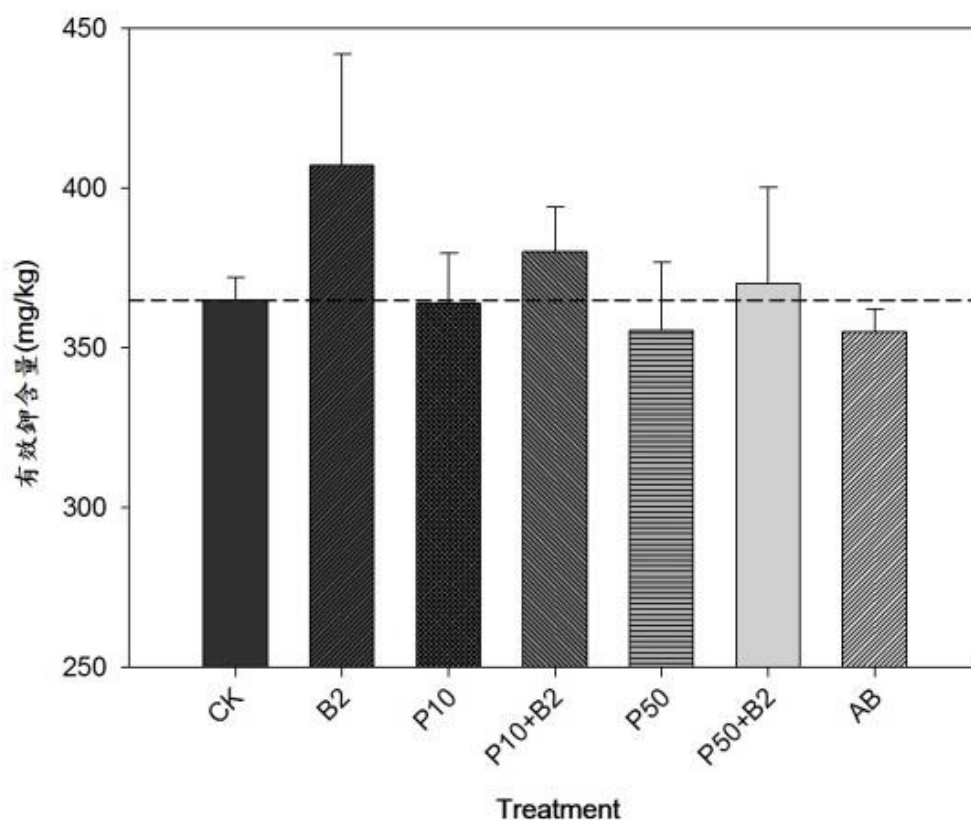


圖 4-4 土壤有效鉀含量

二、有效磷含量

有效磷為植物生長初期所必需之重要元素。如能明顯提升土壤有效磷含量，及可顯著促進植物之發芽與幼苗生長。磷於酸性及鹼性土壤中之利用率皆極低(<10%)，因此如能於該二類土壤中增加有效磷含量，則對植物之發芽與生長定有助益。本實驗對各處理分析有效磷 (圖 4-5)，結

果顯示，土壤有效磷含量以添加生物炭之各處理皆有顯著提升至少，並以 P₅₀+B₂ 上升 6.5% 最為明顯，而單獨添加 PAM 與 AB 劑之處理均無提高。

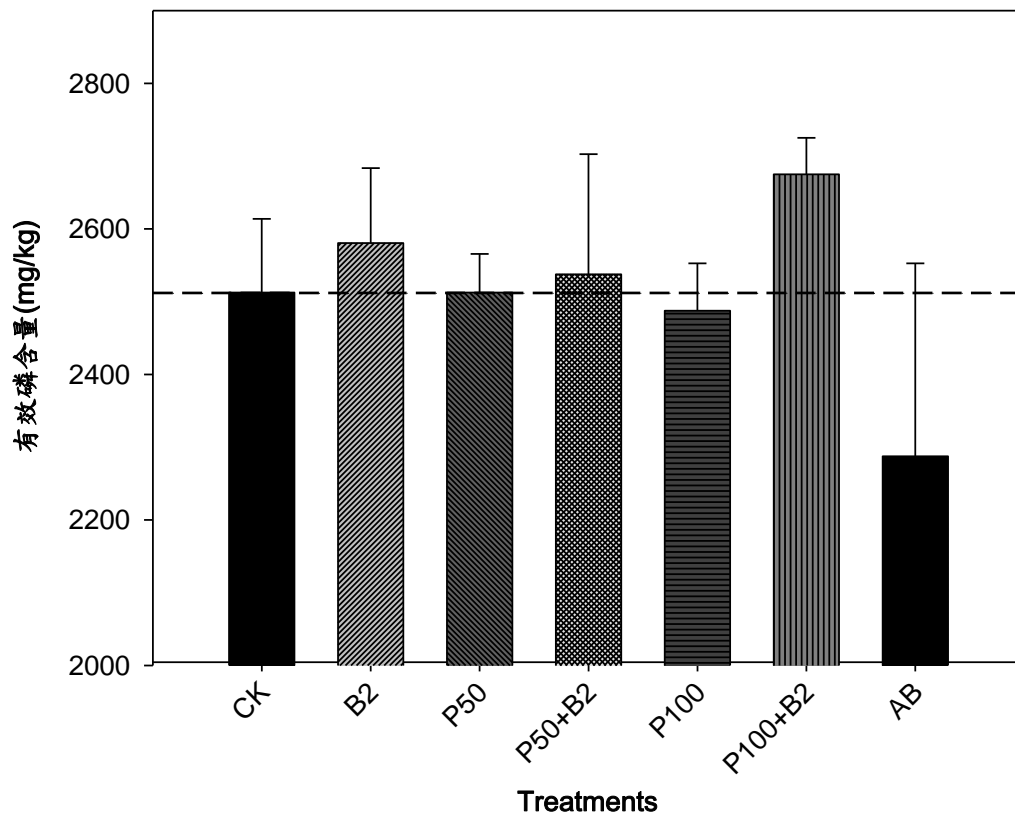


圖 4-5 土壤有效磷含量

三、有效氮含量

在土壤有效氮之試驗中，經過 3 天與 28 天後土壤無機氮含量如圖 4-6 及圖 4-7 所示。硝酸態氮方面，以添加生物炭處理均為下降，本研究推測原因為因添加生物炭之處理發芽率及發芽勢均顯著提高，故土壤中氮以硝酸態氮(NO_3^- -N)之形式被植體被吸收；而單獨添加 PAM 與 AB 劑處理硝酸態氮含量上升是因種子發芽不佳，且土壤當中銨態氮(NH_4^+ -N)會因硝

化作用轉化為硝酸態氮(NO_3^- -N)，因此上升。

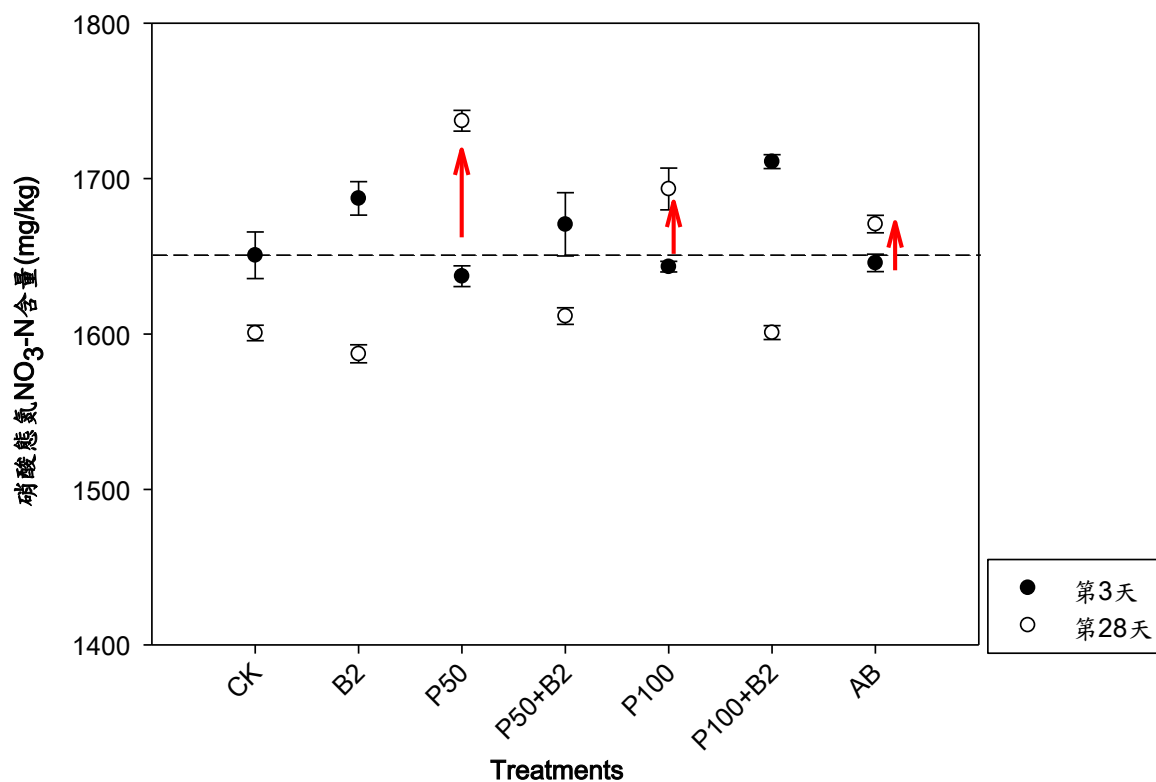


圖 4-6 硝酸態氮第 3 天及第 28 天含量

經過 3 天與 28 天後，土壤氨態氮 (NH_4^+ -N) 含量如圖 4-7 所示，趨勢與硝酸態氮相同，添加生物炭處理因種子發芽較佳而被吸收，單獨添加 PAM 與 AB 劑之處理因發芽率不佳而未被吸收，故其含量較多。

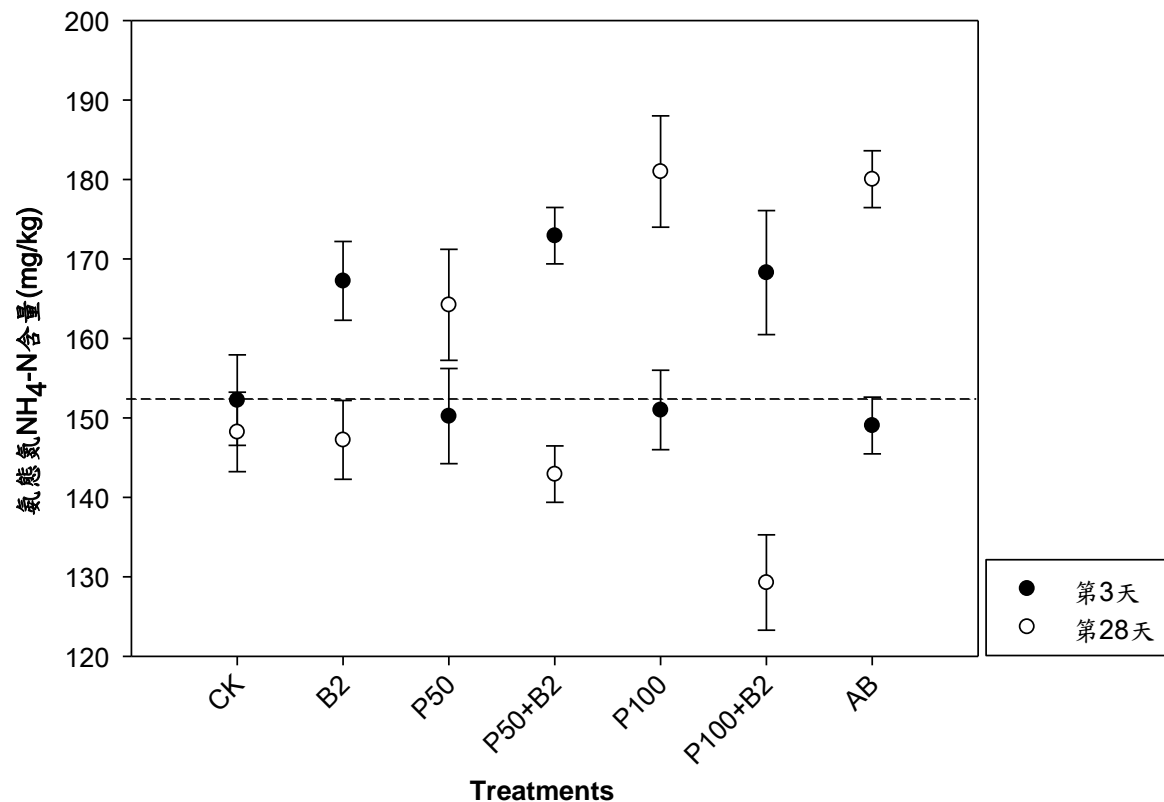


圖 4-7 銨態氮第 3 天及第 28 天含量

第四節 土壤保水度

本試驗僅取對照組(CK)、單添加 PAM (P_{50})、單添加生物炭(B_2)及共同添加 PAM 及生物炭處理 ($P_{50}+B_2$)於既定壓力(33 kPa)下，測得各處理土壤之含水量，亦即土壤之田間含水量(Field water contents, FWC) (表 4-1)。相較於對照組，除 PAM 處理對田間含水量提升程度較不明顯外，其餘處理之田間含水量皆顯著增加；此外， $P_{50}+B_2$ 處理之田間含水量顯著提升 54% 以上。Liu and Rempel (1997)提出，PAM 能藉由親水基與水分子以氫鍵鍵結，進而儲存水分子以達到保水能力。Hseu et al. (2014)將稻殼炭添

加至坭質壤土中，結果顯示稻殼炭可促進土壤之田間容水量及有效水分含量至少 15% 以上。

圖 4-8 呈現各處理之水份特性曲線，結果顯示，PAM 結合生物炭處理更可保水，無論是在粗孔隙(>50 μm)或細孔隙 (<50 μm)上，皆可明顯增加進而提升保水能力(圖 4-8)。本試驗僅取對照組(CK)、單添加 PAM (P_{50})、單添加生物炭(B_2)及共同添加 PAM 及生物炭處理 ($P_{50}+B_2$)於既定壓力(33 kPa)下，測得各處理土壤之含水量，亦即土壤之田間含水量(Field water contents, FWC) (表 4-1)。相較於對照組，除 PAM 處理對田間含水量提升程度較不明顯外，其餘處理之田間含水量皆顯著增加；此外， $P_{50}+B_2$ 處理之田間含水量顯著提升 54% 以上。Liu and Rempel (1997)提出，PAM 能藉由親水基與水分子以氫鍵鍵結，進而儲存水分子以達到保水能力。Hseu et al. (2014)將稻殼炭添加至坭質壤土中，結果顯示稻殼炭可促進土壤之田間容水量及有效水分含量至少 15% 以上。

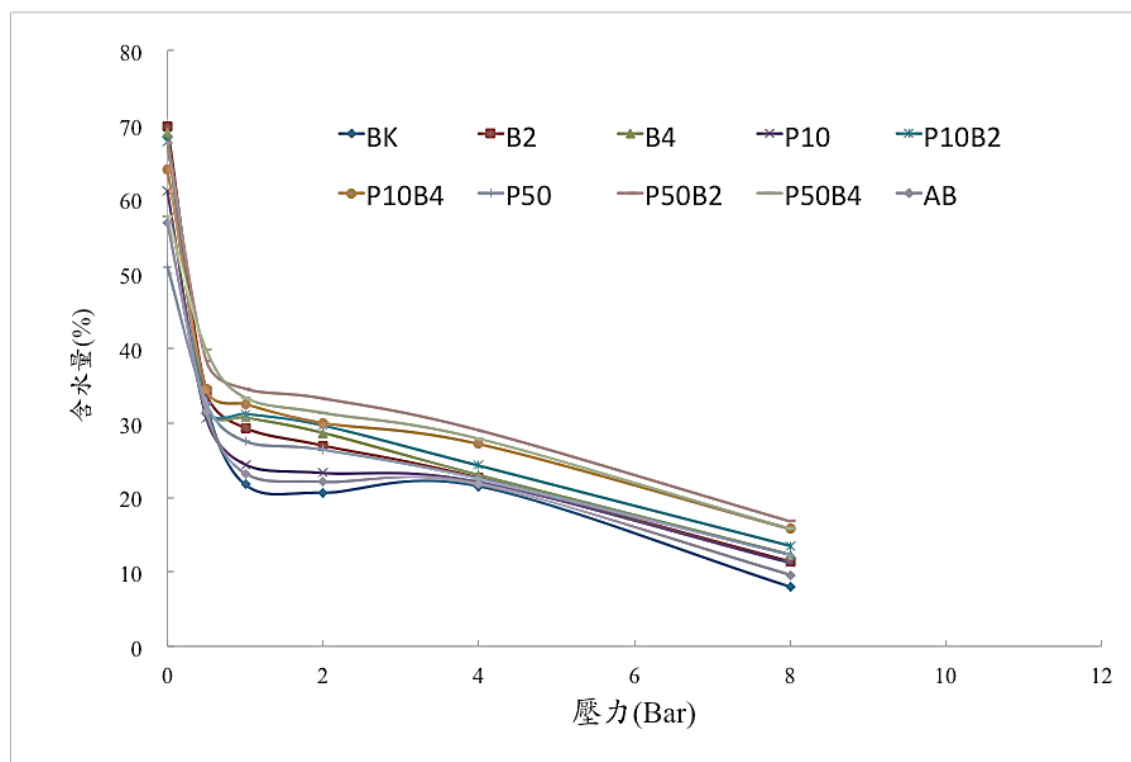


圖 4-8 各處理之水份特性曲線

表 4-1 各處理之保水度比較

	WHC	Macro-pore	FWC	WP	AWC
	-----%-----				
Control (CK)	44.2	26.9	13.1	8.70	4.40
P ₅₀	48.0	29.3	14.0	8.90	5.10
B ₂	50.4	30.0	15.2	9.71	5.49
B ₂ + P ₅₀	62.4	36.1	20.2	11.4	8.80

WHC: water holding capacity; FWC: Field water contents; WP: Wilting point; AWC: Available water contents.

第五節 土壤沖蝕性

土壤沖蝕試驗乃於國立屏東科技大學人工降雨實驗室(高度 12 公尺)進行，降雨強度為 50 mm/hr、坡度 35 度，降雨延時 20 min，每 10 min 收集一次沖蝕量。相較於對照組(無任何添加)，各種處理皆可顯著減少沖蝕量，尤以 2% 生物炭、PAM 50 ppm 與 2% 生物炭共同添加可最有效降低土壤沖蝕量至少 53%-58% 以上 (圖 4-9)。

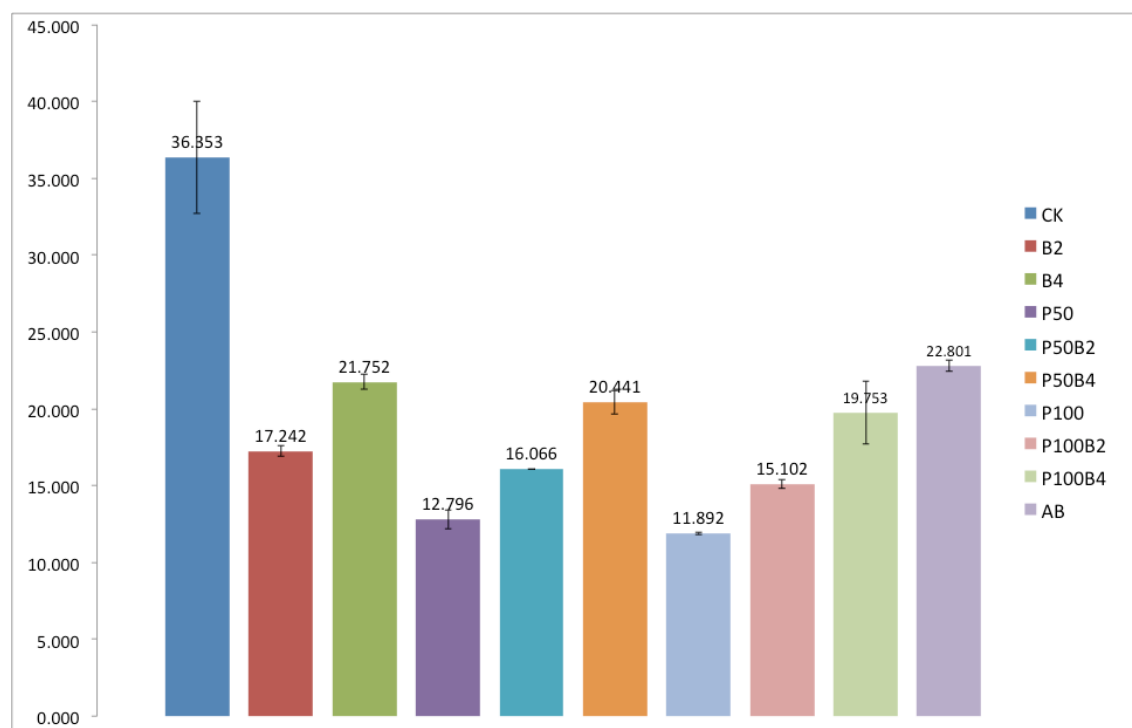


圖 4-9 各處理之土壤沖蝕量

第五章 結論與建議

第一節 結論

1. 實驗結果顯示（四週後），相較於對照組，添加生物炭之處理的種子發芽率皆有顯著上升之趨勢，其中以 $P_{100}+B_2$ 上升 17% 最佳，而 $P_{50}+B_2$ 也顯著提升 10% 之發芽率。
2. 土壤養分方面，有機碳含量、無機氮、有效磷及鉀含量皆以添加生物炭之處理有明顯提升之趨勢，其中以添加 $P_{50}+B_2$ 之處理上升最明顯。顯示 PAM 與生物炭共同施用，將更能有效增加種子發芽率以及增加土壤養分。
3. 僅添加 PAM 處理無法改善土壤性質，無機氮、有效磷及鉀含量皆無提升，且發芽率與添加濃度成反比，添加 PAM 50 ppm 時，發芽率下降 13%，添加 PAM 100 ppm，發芽率下降 20%。僅添加 AB 劑之處理最為抑制種子發芽，發芽率下降 63%。
4. 共同添加 PAM 50 ppm 與 2% 生物炭的處理可顯著增加 13% 的粗孔隙含量及 4% 以上的有效含水量（植物可利用之水份）。
5. 共同添加 PAM 50 ppm 與 2% 生物炭共可最有效降低土壤（標準砂土）沖蝕量至少 58% 以上，為所有處理中最佳之抗沖蝕處理。

第二節 建議

1. 本計畫試驗結果顯著證明於邊坡植生工法上，初期如以培養土添加 2% (重量比)生物炭後，可明顯提升百喜草之發芽率，但如欲增加抗沖蝕性，則建議同時噴灑 50 ppm 之聚丙烯醯銨(PAM)。未來可進行試驗在嘗試減少生物炭的比例，比如為 1% 或 0.5%，使施工成本上可更加節省。
2. 施用適量由農業廢棄物製成之生物炭於邊坡植生工法中，促進植生快速覆蓋裸坡與加速原生樹種的入侵，是未來值得考量的方法。一為減少廢棄物清運與處理的經費，二為減少邊坡植生工程因降雨造成的沖蝕而再度施工補強所造成之成本浪費。
3. 本計畫成果可建議未來政府制訂生物炭販售標準與品質，無論於農業上或生態工程上皆可明顯受益。
4. 未來建議可進行『現地』邊坡植生試驗，搭配發芽率與原生樹種入侵率的測定，在搭配本次實驗室室內試驗結果，更可強化生物炭協助邊坡植生工法效益之證據與理論。

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、張瑋珈、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、期中報告書審查會議意見表

時間：105 年 09 月 06 日(星期五)下午 1 時 30 分

地點：行政院農業委員會水土保持局第三會議室(南投市中興新村光華路 6 號)

主持人：林簡任正工仕修代

委員意見	回覆說明
1. 本案目前的成果為 PAM 與生物炭共同施用更能有效增加種子發芽率，而在沖蝕性部分則未有實驗結果。	感謝委員意見。本計畫沖蝕性之結果已於 P.4-10 呈現。
2. 植生的效益，建議把重點放在土壤沖蝕防止，而非邊坡穩定。	感謝委員意見。本計畫已將重點轉為抗沖蝕性。
3. 黏著劑之影響，建議增加導電之度之測定。	感謝委員意見，黏著劑施加量皆低於一般推薦量，應無電導度超標之疑慮。
4. 發芽試驗需要國際種子檢查規則之試驗標準，如發芽勢之測定日期、試驗所需之種子種類...等。	感謝委員意見，期末報告已依國際標準，將發芽試驗調整至 200 顆的種子。

委員意見	回覆說明
5. 應有實地應用於噴植工法之單價說明。	感謝委員意見。本方法僅為提供初步之創新技術思維，未來將陸續針對成本效益進行分析。
6. 採用材料不宜掛上公司名稱。	感謝委員意見。已改正。
7. 各處理之培養皿置放有無環境之差異？	感謝委員意見。本計畫之培養皿在試驗過程皆放置於植物培養箱中，去除環境影響因素。
8. 種子有無經篩選，其品質差異如何？	感謝委員意見。本計畫試驗前皆會進行種子前處理，如四分法、種子精選及濕潤處理，使品質差異減少。
9. 試驗設計之處理方式是否會有刊擾效應?(交感效應太高)	感謝委員意見。本計畫試驗處理皆會進行 ANOVA 分析，判斷是否存在交感效應。
10. 試驗之重複似未考慮，試驗結果之代表性如何？	感謝委員意見。本計畫之處理皆為 4 重複。
11. 黏著率增加是否取代土壤質量，造成生長環境之影響？	感謝委員意見。黏著率增加並未造成土壤質量增加。
12. P.16，圖 5 中，建議可將 14 種試驗成果照片×4 呈現處來，以為比對。	感謝委員意見。試驗成果照片於 P.4-2 呈現。

委員意見	回覆說明
<p>13. 稻殼或漂流木裂解碳化為生物炭之成本?或是生物炭取得成本與目前慣用之噴植基材，建議可進行成本分析比較。</p>	<p>感謝委員意見。未來將陸續針對成本效益進行分析。</p>
<p>14. 採生物炭噴植基材或資材，於工地之檢(抽)驗之方法與標準，建議亦可補充。</p>	<p>感謝委員意見。未來將陸續建立標準方法。</p>
<p>15. 試驗方式與工地略有不同試驗採將基材平鋪於培養品上再放置草種，與工地「基材+草種混和後噴植於坡面」之進程不同。</p>	<p>感謝委員意見。</p>

附錄二、期末報告書審查會議意見表

時間：105 年 12 月 3 日(星期六)上午 9 時

地點：國立中興大學雲平樓一樓 F2 推廣教室(台中市南區國光路 250 號)

主持人：林副局長長立、孫副局長明德、連主任秘書榮吉

委員意見	回覆說明
1、如可多增加現地試驗更佳，生物炭於工程招標時，建議以市售現有相關材料，避免製程品質不一等問題。	感謝委員意見。因現地工程需求影響，本計畫之現地試驗區域因此受到局限。本計畫之黏著劑、種子及培養土皆為市售現有材料，而生物炭為高溫(一般溫度接近 700°C)裂解製成，目前市售生物炭製備溫度幾乎皆為接近 700°C，品質主要取決於原生質料(biomass)。
2、生物炭的原料製作如何控制製程不會影響環境，及如何達成品質管理。	感謝委員意見。生物炭為高溫(一般溫度接近 700°C)裂解製成，目前市售生物炭製備溫度幾乎皆為接近 700°C，品質主要取決於原生質料(biomass)。未來建議可比照堆肥品項的管控，由政府制定規範，符合後方可販售。

委員意見	回覆說明
3、實際草種為百喜草，如以其他草種生物炭及黏著劑配比是否調整。	感謝委員意見。生物炭添加主要改善土壤保水及肥力貧脊問題。建議的比例已為最佳比例，將不隨草種變化而變動，如此未來方可統整並建議最佳施用量。
4、建議將使用生物炭增加孔隙率約 17% 加入結論。	感謝委員意見。已將生物炭增加孔隙率約 17% 加入結論中，詳細內容說明於 P.5-1。
5、將雨量、坡地因子納入考量，以確認本方法受其影響情況，建議加入實際工程結果及坡度之試驗結果。	感謝委員意見。本計畫之降雨強度及坡度因子已納入試驗中，其詳細說明於 P.3-7。
6、以稻殼燒製生物炭過程損失多少炭量及其成本為何，燒製過程對環境影響情形應予考量。	感謝委員意見。稻殼在裂解過程中，生物炭的獲取率大約在三至五成。生物炭燒製過程皆為密閉，所以對環境影響較低。