

計畫編號：109 保發-11.1-保-01-06-001(33)

功能化植生粒劑對邊坡植生復育之效益
評估

**Assessment of Effects of Functional
Seedling Materials on Vegetation
Restoration at Slopelands**

執行單位：國立屏東科技大學

執行期間：109 年 02 月 06 日至 109 年 12 月 31 日

計畫主持人：簡士濠 教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國一〇九年十二月

(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)

功能化植生粒劑對邊坡植生復育之效益評估

摘要

全球氣候變遷導致高強度及長延時降雨頻繁增加，導致臺灣山坡地嚴重侵蝕或崩塌而嚴重威脅國民生命財產安全。因此，山坡地植被復育為我國目前當務之急。傳統自然植生復育通常需長時間尚能發揮效益；而人工邊坡噴植雖能加速邊坡植生，但成本效益上仍為重要考量因子。本計畫目的主要為預計研製一款功能化植生粒劑，以促進種子發芽速率、減少邊坡施工成本，促進植生復育效益。本計畫以 1:3 比例複合生物炭及堆肥，同時置入草籽製為植生粒劑。計畫先模擬四種形狀(圓柱體、長方體、半圓柱體及三角柱體)之粒劑撒播於不同土壤種類(砂質土及黏質土)邊坡、不同坡度(20°、25°及 30°)、不同撒播高度(3 及 7 公尺)及土表粗糙度(n=1.01 及 1.03)的條件下進行撒播試驗。結果得知，「半圓柱體」坡面殘留率最佳，而撒播最佳條件為坡度<30°、撒播高度約 3 公尺，地表糙度高者為佳。現地無人載具撒播試驗得知，坡面殘留率約為 60%，經 56 天後之植被覆蓋率可達約 30% 以上。效益評估得知，以功能化植生粒劑於無人載具撒播方法為傳統噴植工法的成本之三分之一，亦降低施工人員之工安疑慮。然而，本創新方法未來建亦仍可進一步探討資材於坡面之殘留率之加強。

關鍵詞：功能化植生粒劑、無人載具、生物炭、邊坡植生。

Assessment of Effects of Functional Seedling Materials on Vegetation Restoration at Slopelands

Abstract

Global climate change obviously increase intensity and duration of rainfall and then intensified disasters to threaten safety of people in Taiwan. Therefore, vegetation recovery of the slopelands in Taiwan is a most important issue. Traditional vegetation recovery needs long time for vegetation succession and full coverage of slopelands, and artificial hydro seedling could effectively facilitate vegetation succession and coverage. In this study, we aim to make an innovation material to increase germination rate of seeds and reduce costs of construction. We used biochar and compost (1:3, w/w) to make a complexed material with different shapes (cylinder, cuboid, semi-cylinder and triangular prism). The grass seeds were also embedded in the materials and then were sprinkled into slopes with different soil types and under different situations including different slope gradients (20° , 25° and 30°), distances (3 m and 7 m) and surface roughness ($n=1.01$ and 1.03). The results of in-situ UAV sprinkling experiment indicated that ~60% of our complexed material with semi-cylinder shape could be effectively remained on the slopelands. A best operating condition might be in slope gradient of $<30^{\circ}$, in sprinkling height of 3 m and larger surface roughness. Grass coverage ratio could be about 30% after 8 weeks incubation. Regarding our recommended method, it could effectively reduce 2/3 costs compared with tradition hydro seedling methods and more safety for operators.

Keywords: Functional seedling materials, UAV, biochar.

目次

目次.....	III
圖次.....	VI
表次.....	VIII
第一章 緒論	1
第一節 計畫之背景及目的	1
第二節 團隊執行優勢	4
第二章 工作執行方法與步驟	5
第一節 工作執行方法	5
一、 “功能化”植生粒劑的研發	5
二、 植生粒劑撒播(投擲方式)	8
三、 研究文獻蒐集與回顧	13
第二節 工作執行方法	19
一、 木塊加工切割後模擬植生粒劑之形狀	20
二、 供試土壤採集與性質分析	21
三、 土壤粗糙度(n)之計算	21
四、 土盆密度及含水量	22
五、 選用植生網毯種類	23
六、 室內撒播粒劑之試驗土盆裝設	23
七、 撒播植生粒劑無人載具	24
八、 植生粒劑混合草種之選擇	25

第三章	工作進度與交付項目	27
第一節	計畫甘特圖	27
第二節	計畫交付項目	27
一、	研發一至二款「功能化」植生粒劑，功能化為使之輕 量化、肥力滯留優化及更具生態永續功能。	27
二、	評估最佳之植生粒劑形狀，可有效滯留於邊坡土表， 不至滾落坡腳影響植生復育效益。	27
三、	評估最佳之植生粒劑組成，可有效延長粒劑養分及予 以土壤碳吸存，有效促進植生復育效益。	28
四、	評估植生粒劑取代邊坡噴植之可能性。	28
五、	評估無人載具搭載功能化植生粒劑撒佈的可能性與成 本效益評估。	28
第三節	以如期完成所有交付項目	28
一、	期初檢核項目：	28
二、	期中檢核項目：	28
三、	期末檢核項目：	29
第四章	試驗結果與討論	30
第一節	不同形狀粒劑落於坡面後之「噴飛距離」評估	68
第二節	不同形狀植生粒劑落於坡面後之散佈範圍	75
第三節	無人載具撒播設備教學	82
第四節	現地以粒劑噴植與覆蓋率	82
第五章	結論與建議	95

參考文獻.....	97
附錄一、計畫提審時之審查意見及回復	100
附錄二、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	103
附錄三、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	106
附錄四、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形	109

圖次

圖 2-1 造粒機 (YOUNG & DEAR, YD300).....	5
圖 2-2 本計畫預計採用之植生粒劑形狀。	6
圖 2-3 本計畫預計採用之植生粒劑大小與重量	6
圖 2-4 本計畫採用之生物炭製具與方式	7
圖 2-5 本計畫先期試驗之植生粒劑基體礦化結果。	10
圖 2-6 本計畫預計採用之無人機與搭配撒佈之載具規格。	11
圖 2-7 本計畫先期試驗之生物炭堆肥覆合資材植生覆蓋率提升結果	12
圖 2-8 以木塊模擬植生粒劑之形狀	20
圖 2-9 不同粗糙度下之坡面示意圖。	22
圖 2-10 於土盆中填入土壤之過程。	22
圖 2-11 本試驗用之植生網毯種類	23
圖 2-12 本試驗所使用之土盆	23
圖 2-13 本計畫預計採用之無人基與搭配撒佈之載具規格	24
圖 2-14 本試驗所選用之植物種子	25
圖 2-15 本計畫室內噴植試驗之草種之準備與購置。	25
圖 3-1 計畫甘特圖	27
圖 4-1 殘留於坡面(綠色範圍)、滾落至坡下(藍色範圍).....	31
圖 4-2 砂土殘留坡面百分比(N=1.01, H=3M).....	40
圖 4-3 砂土殘留坡面百分比(N=1.01, H=7M)	40
圖 4-4 砂質土殘留坡面百分比(N=1.03, H=3M)	41
圖 4-5 砂質土殘留坡面百分比(N=1.03, H=7M)	41
圖 4-6 黏質土(紅壤)殘留坡面百分比(N=1.01, H=3M).....	42
圖 4-7 黏質土(紅壤)殘留坡面百分比(N=1.01, H=7M).....	42

圖 4-8 黏質土(紅壤)殘留坡面百分比($N=1.03, H=3M$).....	43
圖 4-9 黏質土(紅壤)殘留坡面百分比($N=1.03, H=7M$).....	43
圖 4-10 砂土於粗糙度為 1.01 時各試驗木粒殘留於坡面之情況.....	49
圖 4-11 砂土於粗糙度為 1.03 時各試驗殘留坡面之情況.....	55
圖 4-12 紅壤於粗糙度為 1.01 時各試驗木粒殘留於坡面之情況.....	61
圖 4-13 紅壤於粗糙度為 1.01 時各試驗木粒殘留於坡面之情況.....	67
圖 4-14 坡度較緩木粒噴飛距離式意圖 1。.....	68
圖 4-15 坡度較陡木粒噴飛距離式意圖 2.....	69
圖 4-16 在相同投影長時不同坡度之噴飛距離($D_1 > D_2$).....	69
圖 4-17 木粒噴飛距離實際情形.....	70
圖 4-18 粒劑散佈長寬示意圖。.....	77
圖 4-19 功能化粒劑。.....	83
圖 4-20 無人機及撒撥器具之規格.....	83
圖 4-21 使用無人撒播功能性粒劑之情況。.....	84
圖 4-22 無人機撒播範圍示意圖.....	85
圖 4-23 不同土壤澆水前後土壤含水量之比較.....	86
圖 4-24 不同土壤覆蓋率之變化。.....	87
圖 4-25 兩種土壤之覆蓋率變化。.....	92

表次

表 4-1 砂質土於各坡度、形狀及高度木粒各項之百分比 (N=1.01) ..	32
表 4-2 砂質土各坡度、形狀及高度木粒殘留於坡面之百分比 (N=1.03)	
.....	33
表 4-3 紅壤各坡度、形狀及高度木粒殘留於坡面之百分比(N=1.01)	34
表 4-4 紅壤各坡度、形狀及高度木粒殘留於坡面之百分比(N=1.03)	35
表 4-5 砂土各坡度、形狀及高度木粒各項之百分比 (N=1.01)(假定坡 長 240 CM)	36
表 4-6 砂土各坡度、形狀及高度木粒各項之百分比 (N=1.03)(假定坡 長 240 CM)	37
表 4-7 紅壤各坡度、形狀及高度木粒各項之百分比 (N=1.01)(假定坡 長 240 CM)	38
表 4-8 紅壤各坡度、形狀及高度木粒各項之百分比 (N=1.03)(假定坡 長 240 CM)	39
表 4-9 粒劑落於砂質土坡面之 D (N=1.01)	71
表 4-10 粒劑落於砂質土坡面之 D (N=1.03)	72
表 4-11 粒劑落於黏質土(紅壤)坡面之 D (N=1.01)	73
表 4-12 粒劑落於黏質土(紅壤)坡面之 D (N=1.01)	74
表 4-13 砂土各試驗之粒劑散佈長寬	78
表 4-14 紅壤各試驗之粒劑散佈長寬	80
表 4-15 無人載具撒播設備教學	82
表 4-16 不同土壤的覆蓋率變化	87
表 4-17 各天數生長勢的比較	93
表 4-18 成本比較分析	94

第一章 緒論

第一節 計畫之背景及目的

臺灣地處板塊交界處，地質複雜破碎，地形多變且坡度分布不均，近年來由於氣候變遷加劇，高強度且長延時的降雨趨頻繁，加上國土山坡地超限利用嚴重，坡地土壤嚴重沖蝕或崩塌而致使重大災害，損及人民生命財產，因此山坡地保育為臺灣目前當務之急。

政府間氣候變遷小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)指出「可觀察到的氣候變遷已經透過暖化改變降水模式以及更頻繁的極端氣候事件影響『土地劣化』，甚至糧食安全」。IPCC 在 2017 年發布的氣候變遷和土地特別報告中指出：當降雨模式發生變化，將導致植被覆蓋和組成改變，「這本身可能就是土地劣化的原因」，「如植被覆蓋本身就是水和風侵蝕造成土壤流失的重要因素」。氣溫每增加 1°C，一般來說空氣濕度可增加約 7%。報告稱，這表示氣候暖化可能導致更強烈的降雨，「增加降雨的侵蝕力，進而增加水蝕的機會」。例如在中亞地區，1950-2015 年間極端降雨事件增加了三倍，這影響了數個土地劣化過程，尤其是土壤侵蝕。降雨增加和隨之而來的土地劣化可能造成潛在致命後果—山崩機會增加。報告亦指出，理論上極端降雨與這些事件有很強的連結，目前尚需大量證據證明氣候變遷與山崩有關。

由於臺灣位居板塊碰撞帶及亞熱帶氣候下，加上地狹人稠，當人類活動範圍擴及大量山坡地時，便需時常面對崩塌所帶來之傷亡威脅。陳聯光等人(2011)指出，若將全臺以 500 公尺×500 公尺劃分成 144,996 網格空間單元，再將建立之網格空間單元與崩塌歷史資料予

以套疊，將能表現出包括現地調查之坡地災害點資料與遙測判釋之崩塌面資料。計算每一個空間單元的坡地崩塌發生頻率(次數)，統計結果顯示單一空間單元發生次數最高為 62 次，平均次數 2 次，標準差為 4 次，足以顯示臺灣正處於嚴重坡地災害及土地劣化的嚴峻環境下。詹勳全等人(2015)亦指出，臺灣各淺層崩塌地高程有 85.1%之崩塌地發生於高程小於 1200 公尺(低海拔地區)之邊坡，此區間亦為一般山坡地開發與聚落之所在，開發密度相對於中高或高海拔地區較高。此外，各淺層崩塌地坡度以 50 度以下佔全部崩塌地之 87%，尤其 30-40 度更高達 32%，且 20-30 度間亦佔 29%，此區間之山坡地即為山坡地可利用限度分類標準中可利用限度及保育處理之極限。整體而言，臺灣山坡地正處於嚴重坡地災害及土地劣化的嚴峻環境下；有鑑於此，受破壞的邊坡倘若能在『兼具生態永續功能下，進行完善且快速的植生復育』為目前臺灣必須面對的挑戰。

然而，傳統植生工法之「直播法」與「栽植法」，因九二一地震造成甚多大小規模邊坡崩塌後，均需快速而有效的邊坡植生復育之情況下已無法發揮植生復育應有之效應。傳統方法的自然植生復育通常需時數年至數十年時間，恐無立竿見影的功效，因此，在考量安全性及時效性上，必須以人工為輔；因此，近年來邊坡上鋪設地工網毯資材被視為普遍且適當之作法 (Balan et al., 1996; Ahn et al., 2002)。Auerswald et al.(2003)指出藉由設鋪地工資材於邊坡地表，能使坡面更加穩定，緩衝雨滴打擊力，進而達到護坡的功能。然而，此種人造產品鋪設於土坡及河床上是否可協助穩固草皮及防止土壤沖刷仍有待適當試驗加以驗證。

上述工法中，除地工網毯資材固定土壤及植生外，影響植生復育

的另一關鍵因子為噴植或灑播的「草種混合資材」。李元智等人(2007)採用臺灣赤楊及楓香等二種臺灣原生木本植物於板岩風化土壤邊坡進行不同噴植植生工法試驗，期間紀錄植生之成活株數、植生生長株高、植生覆蓋率及入侵植物之種類，結果指出土壤團粒化劑配合 1cm 厚之木屑堆肥噴植工法對中高海拔板岩地區道路邊坡對植物之存活株數及株高皆具有顯著較其他工法良好之效果。簡士濠(2017)於水保局創新計畫內容中亦指出，以農業剩餘資材製成之生物炭再利用作為植生噴植資材，不僅可促進 10%之草種發芽率，同時可降低 15%的土壤沖蝕量。利用炭材作為覆入噴植資材，同時亦可有效增加土壤碳吸存量與養分，減緩土壤劣化的速度。

因此，鑒於目前地工網毯及噴植方法的效益仍有待加強之下，本計畫目的希望參考本人以往既有的研究數據資料，研製一款植生粒劑，加強以往植生粒劑的功能，使之更為輕量、更具附著力且更具生態永續性，以符合未來的坡地災害管理或林業管理使用。本研究預計研發之功能化植生粒劑(functionalizing seeding materials)將同時搭載生物炭、堆肥與草木種子；同時，經特製形狀化植生粒劑以適合臺灣複雜且崩坍高好發率之地形。

第二節 團隊執行優勢

計畫主持人於 2012 年已開始研究與執行本計畫相關之內容。主持人於 2012 年主持“鋪設不同材質地工網毯對土壤流失量與植生生長之影響示範計畫”。該計畫主要為室內沖蝕試驗之模擬，以評估植生網毯之覆蓋率及抗沖蝕效益。此外，主持人於 2013 年共同主持國科會計畫“防沖蝕植生氈之研發”，主要協助地工織布網毯產品之抗沖蝕能力(室內降雨模擬)。因此，本人應有足夠之經驗與能力可主持本計畫內容之進行。計畫主持人亦於 2016 及 2017 年主持水土保持局的創新研究計畫，並提出以現地(台南市龍崎區之泥岩邊坡土壤)試驗結果，以 PAM 50ppm + 2% Biochar 混合搭配草籽電漿濺鍍後之植物發芽率可增加 10%、植生覆蓋率增加 15%與達到約 31%之存活率為最佳。基於此些經驗，搭配主持人土壤、植生與農業相關背景，足可勝任本計畫之進行。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

一、“功能化”植生粒劑的研發

本計畫的功能化(functionalyzing)可分為“物理性”及“化學性”之功能化。

1. “物理性”主要針對植生粒劑的大小(輕量化)與形狀。本計畫預計採用之大小與形狀如圖 2-1 及圖 2-2 所示，造粒設備採用臺灣 Young & Dear 所製造之 YD300 造粒機，植生粒劑造粒形狀可依據所需求形狀產製不銹鋼模板的製粒孔洞。



圖 2-1 造粒機 (Young & Dear, YD300)

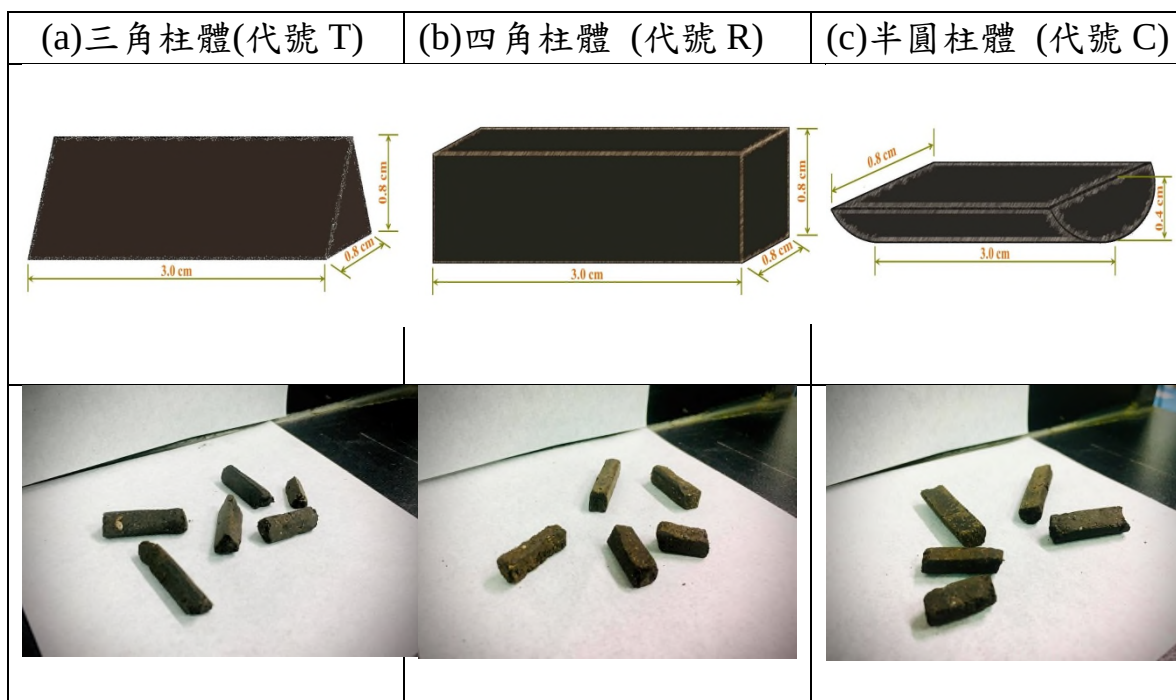


圖 2- 2 本計畫預計採用之植生粒劑形狀。

	樣本編號	每100顆粒劑重量
		g
	一重複	130 ± 12
	二重複	87 ± 4.2
	三重複	98 ± 11
	四重複	121 ± 2.8
每顆植生粒劑半徑約為 0.5-0.8 公分		每 100 顆粒劑重量約為 87-130 克

圖 2- 3 本計畫預計採用之植生粒劑大小與重量

- “化學性”主要針對植生粒劑的成分與各成分組成比例；
本計畫預計採用金門縣風災後清運之風倒木所製成之生物炭。本團隊評估比較各種生物質炭化設備，並諮詢國際生物炭協會(International Biochar Institute, IBI)專家意見，建議採用美國 Airburners Inc.所製造之 Fire Box S-119，氣簾式燃燒器(圖 4)。採用臺糖出產之蔗渣堆肥(田寶 11 號)，肥料品目 5-10 (一般堆肥)，基本性質為

全氮 1.5%、有機質 55%、全磷酐 0.9%、水分 40%以下、全氧化鉀 1.5%、酸鹼值 7.4。本計畫主要製備三種植生粒劑：生物炭-堆肥 (25:75，水分控制 15%)、生物炭-堆肥 (50:50，水分控制 20%)、生物炭-堆肥 (0:100，水分控制 10%)，計算生物炭及有機質肥料所需之重量，將其攪拌均勻並添加適當之水份(10-30%)後備用。

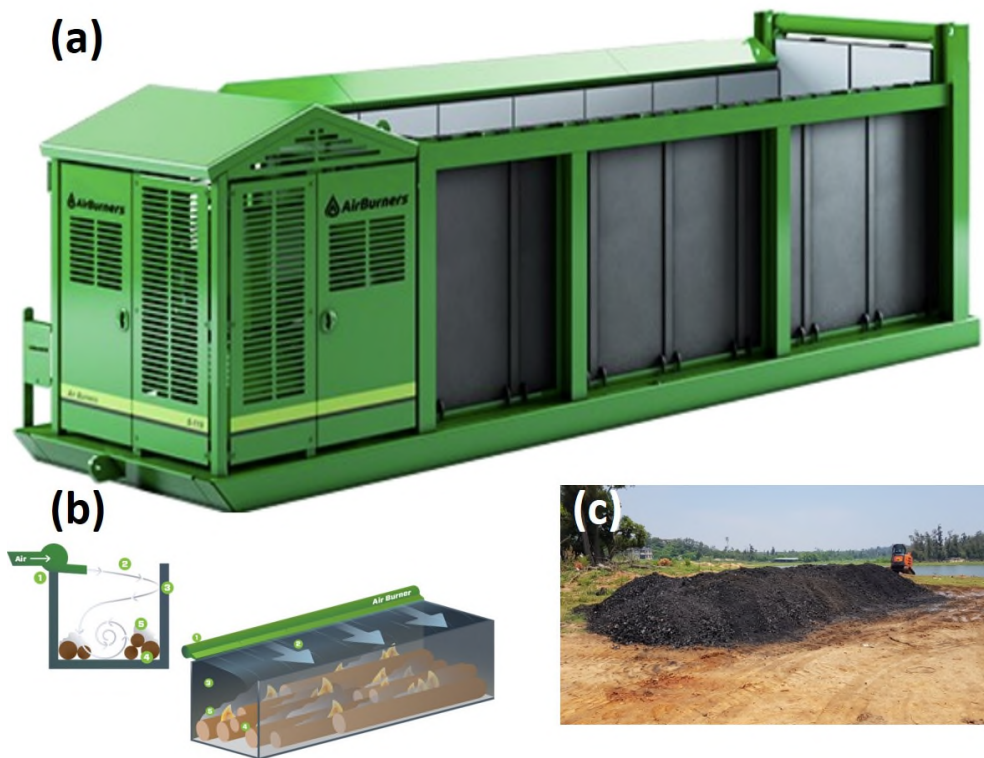


圖 2-4 本計畫採用之生物炭製具與方式

3. 植生粒劑內種子選取與包埋：

- (1).適應當地的氣候條件
- (2).適應當地的土壤條件(水分、pH 值、土壤性質等)
- (3).抗逆性(包括抗旱、抗熱、抗寒、抗貧瘠及抗病蟲害性等)強
- (4).地上部較矮、根系發達、生長迅速並能在短期內覆蓋坡面

(5).越年生或多年生

(6).適應粗放管理，能產生適量種子

(7).種子易得且成本合理

基於以上條件，本計畫預計選取百慕達草、黑麥草及百喜草做為試驗對象。同時，目前一般中高海拔邊坡植生綠化常採用多年生禾草類，其設計播種量約 $30-100\text{g/m}^2$ ，期待發芽株數約 $5,000-10,000$ 株/ m^2 ，因此本計畫主要預計於每 100 顆粒劑內包埋至少 5000 顆草籽，預計每米平方面積至少施灑 100 顆粒劑。

二、植生粒劑撒播(投擲方式)

1. 試驗土壤性質分析：將採回預計植生復育之土壤並進行風乾，風乾後隨即通過 4 號篩 ($<4\text{mm}$)，將土壤條件均勻化。通過 4 號篩之土壤備存以進行後續土壤沖蝕試驗。土壤風乾後，收集約 2 公斤之風乾土壤，通過 10 號篩，備存以進行後續土壤基本性質分析，項目與方法表示如下：

(1). 總體密度 (Bulk density, Bd)：土罐法 (Blake and Hartge, 1986)。

(2). 團粒穩定度 (Aggregate stability, AS)：濕篩法 (Kemper and Rosenau, 1986)。

(3). 飽和導水度 (Water conductivity)：利用導水度裝置測定之。

(4). 酸鹼值 (pH)：玻璃電極法 (McLean, 1982)。

(5). 有機質 (Organic matter)：濕式氧化法 (Nelson and Sommers, 1982)。

(6). 粒徑分析 (Texture analysis)：吸管法 (Gee and Bauder, 1986)。

(7). 土壤液性限度 (Liquid Limit)與塑性指標 (Plastic Index)：利用阿太保界限測定裝置測定。

2. 植生粒劑撒播(投擲方式)

(1). 室內植生復育試驗

室內試驗：以大小約為 $90 \pm 10 \text{ cm} * 120 \pm 10 \text{ cm}$ 的土盆進行試驗，坡度為 40 度，主要試驗處理為(1)不鋪設植生網毯及(2)鋪設植生網毯；每種處理另分為(1)直播草籽與堆肥，(2)植生粒劑 T；(3) 植生粒劑 R；及 (4) 植生粒劑 C，每處理各二重複。

土盆試驗前須以 Proctor 壓密法測定得知試驗土壤最佳含水量時之密度值與所需夯實次數。沖蝕試驗前置作業為將風乾土填入沖蝕盆，並依照 Proctor 試驗得知之夯實次數與水分含量將每土盆之土壤壓實（目的在於將試驗前之土壤性質均勻化）。每沖蝕盆鋪設網毯面積為 $120 \text{ cm (L)} * 60 \text{ cm (W)}$ 。

(1). 試驗項目：

A. 植生粒劑分解率：

本試驗將會以茶袋分裝填各種研製之植生粒劑，並置入各不同處理的土盆中，固定時間內取出秤重紀錄植生粒劑之分解情形，以評估粒劑同時對內之草籽與室放置土壤中之養分供給狀況。

本試驗已進行前置實驗，將各不同比例之植生粒劑基質(matrix)，置入茶包後埋入土壤中，並於各階段時間取出秤重以獲得粒劑基體之礦化率，初步結果顯示二個月內粒劑基體礦化率分別為：純堆肥(35%) > 1:3 炭肥混合粒劑(27%) > 1:1 炭肥混合粒劑(25%)(圖 6)。初步結果顯示純堆肥粒劑(傳統方式)將可能於半年內礦化殆盡，同時無任何養分與碳可吸存於土壤內，甚至更為消耗土壤肥力，促使土壤劣化。

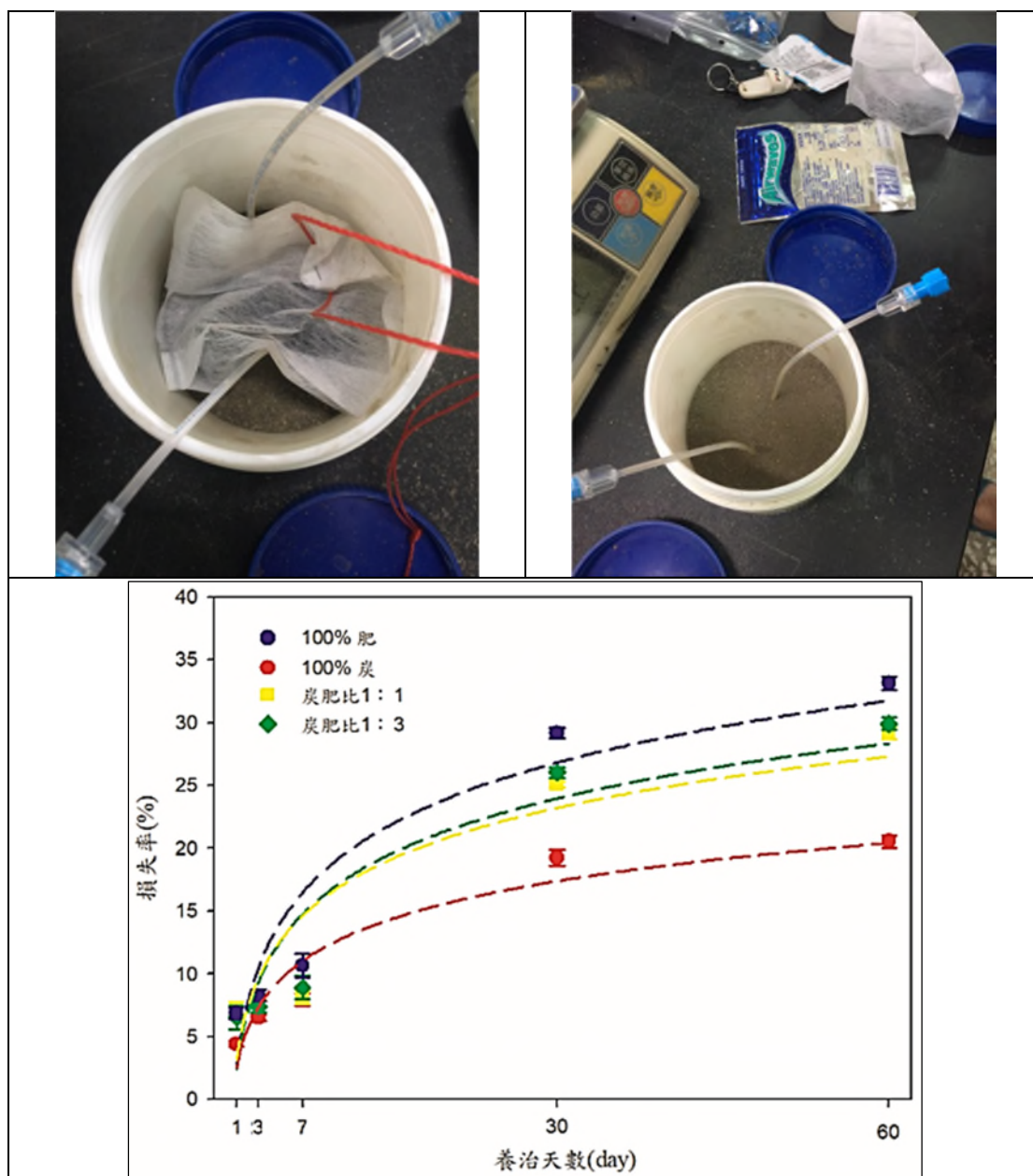


圖 2-5 本計畫先期試驗之植生粒劑基體礦化結果。

B. 投擲效益：

本計畫預計以無人機作為撒佈機具(圖 2-6)，嘗試 3-5 公尺高度撒佈植生粒劑於土盆內，每次撒佈攜帶 2 公斤植生粒劑 (約 750 顆粒劑共包含 35000 顆種子)，撒佈於一 $240 \pm 10 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} \pm 10$ 土盆內，過程會評估該高度下撒佈之面積範圍，同時亦收集逸散於土盆外之粒劑重量，以精確計算撒播。

C. 入土盆之粒劑重量與草籽量:

四旋翼無人機及飛行操作	粒劑撒佈載具																		
 	 FS2513 无人机颗粒撒布器 FS2513 Drone Fertilizer spreader FS2513颗粒撒播器是一款为农业应用无人机开发的产品，适应于颗粒肥料、农药、饲料以及其它颗粒物撒布使用。 FS2513 granulator supports the sowing of grain, fertilizer, urea, granulator fertilizer, bait and other solid particles, suitable for sowing, fertilizing, baiting and other operations.  规格参数: specification parameter <table border="1"> <tr><td>产品名称/Product name:</td><td>无人机颗粒撒布器</td></tr> <tr><td>型号/Type:</td><td>FS2513</td></tr> <tr><td>工作电压/Working voltage:</td><td>DC 22-26V</td></tr> <tr><td>功率/Power:</td><td>2.5W</td></tr> <tr><td>撒布宽度/Spreading width:</td><td>3-6 meters</td></tr> <tr><td>撒布距离/Spreading distance:</td><td>2-5 meters</td></tr> <tr><td>重量/N.W:</td><td>370g</td></tr> <tr><td>外壳材质/Shell material:</td><td>PP</td></tr> <tr><td>出线长度/line length:</td><td>40cm</td></tr> </table> 	产品名称/Product name:	无人机颗粒撒布器	型号/Type:	FS2513	工作电压/Working voltage:	DC 22-26V	功率/Power:	2.5W	撒布宽度/Spreading width:	3-6 meters	撒布距离/Spreading distance:	2-5 meters	重量/N.W:	370g	外壳材质/Shell material:	PP	出线长度/line length:	40cm
产品名称/Product name:	无人机颗粒撒布器																		
型号/Type:	FS2513																		
工作电压/Working voltage:	DC 22-26V																		
功率/Power:	2.5W																		
撒布宽度/Spreading width:	3-6 meters																		
撒布距离/Spreading distance:	2-5 meters																		
重量/N.W:	370g																		
外壳材质/Shell material:	PP																		
出线长度/line length:	40cm																		

圖 2- 6 本計畫預計採用之無人機與搭配撒佈之載具規格。

- (A). 草種發芽率及生長勢：本試驗將土盆以每 10 公分劃分一格以計算發芽率，同時亦計算發芽之草種高度，於生長期間內計算生長勢。
- (B). 發芽覆蓋率：本試驗將以無人機搭配拍攝鏡頭(2000 萬畫素)，於撒佈後各階段照相(7 天、14 天、21 天、28 天、42 天、60 天、90 天、120 天)，並以 ImageJ 計算覆蓋率之變化。本計畫參考先期試驗，於泥岩土壤地區施灑生物炭堆肥複合肥料，搭配以百喜草種植，1 月後，以影像評估覆蓋率，初步成果顯示，生物炭堆肥複合資才將顯著提升植生覆蓋率 25%以上(圖 2-7)。

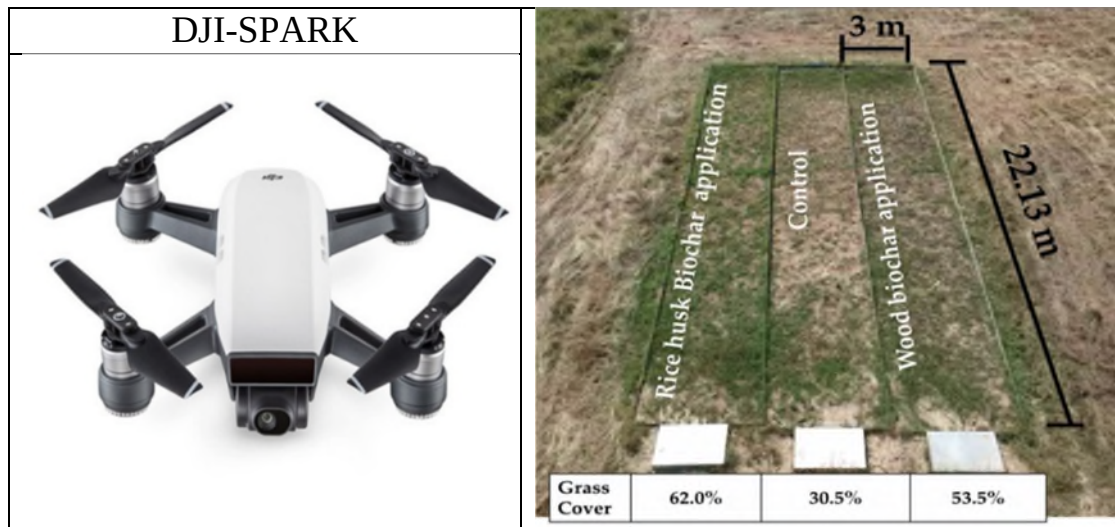


圖 2- 7 本計畫先期試驗之生物炭堆肥覆合資材植生覆蓋率提升結果

三、研究文獻蒐集與回顧

本計畫蒐集國內外期刊、論文及相關手冊等資料，初步蒐集近年數篇植生導入作業方式、航空噴植、噴植種子品質選用、噴植植生基材及噴植試驗案例相關文獻。

表 2-1 相關文獻初步蒐集統整表

學者	發表年份	研究地點	研究內容
水土保持手冊	2017	臺灣	植生工法之導入作業中概分為播種法、栽植法、植生誘導法。
			「播種法」係以草本類、木本類種子為植生材料，直接撒播或混合植生基材撒播、噴植或黏附於纖維網材後，覆蓋於地面上之植生方法。
			「栽植法」係利用扦插、分株或育苗苗木栽植於坡面上，如樹木栽植、藤類栽植、草苗栽植、草皮鋪植、土袋植生等。
			「植生誘導法」則是以簡單整坡、坡面排水，或利用臨近地區之表土、客土等設置規劃於坡面，以增函崩塌地周邊之植物自然入侵之方法。
			大面積的施工，或草本類植生覆蓋後栽植樹木困難的地方，可採草本種子和木本種子的混播，但引進種類或混播比率不適當時，木本植物會遭受草本植物壓抑，影響發芽或生育，因此需考慮採用葉量、高度不致影響或妨礙木本成長的草本類，或需減少草本種子之比例用量。
			一般草木本植物種子混播時，木本植物種子發芽比草本植物慢，故常有木本植物種子發芽不易或發芽後被壓之情形。因此有必要減少草本種子之播種量，或需考量木本種子發芽時可忍受的地被草類之覆蓋量限界。木本和草本種子重量比以1:1~1:2為佳。
			倘若僅撒播草本類種子，主要係求快速面狀綠化之效果，以防止坡面遭受沖蝕；而只撒播木本種

學者	發表 年份	研究 地點	研究內容
			子，多應用在不適苗木栽植或困難的地點。木本類發芽初期生長較緩慢，表面沖蝕嚴重的地方恐有遭流失之虞。木本種子粒徑大者，使用機械撒播可能有困難。 選定樹種時應一併考慮施工性及經濟性，崩塌地草選擇原則: 1.耐貧瘠地、抗環境應力之種類。2.有改良土壤，增函土壤有機質者。3.快速生長、葉量多、茂盛者。4.根系擴張，固結土壤效果大者。5.生育初期及成長後，覆蓋地表效果大者。木本植物選擇原則: 1.耐貧瘠地、抗環境應力的種類。2.成長快速、繁殖強、發芽率高者。3.根系擴張，固結土壤效果大者。4.抗蟲害、風害強者。5.葉量多、有肥分，改良土質增加肥力者。
塩見義郎	2009	日本	日本雲以岳於 1991 至 1995 年的時間裡，不定期的爆發，所產生的火山灰、熔岩塊等組成的火碎流，溫度高達 600°。函上後續之降雨沖蝕，導致雲以普賢岳環境條仞更函貧瘠，而使該坡面週遭植物難以進入生長，長時間呈裸露狀態。因此長崎縣原振興局林務課於 1995 年推動航空綠化工程，以促進該區域植被生長復育，當時先以乾式灑播微生物材料，以改善生長環境，之後導入植生基材與多函能生長基材。經過後續調查，七月雨季時，植生覆蓋率達到 60%，且先驅樹種之發芽旺盛。之後每年定期進行調查追蹤與追肥作業，約 15 年，該裸露地已植被復育完整，並持續趨近極盛相發展。
林俊男	2008	臺灣	「航空植生」廣義而言泛指運用直昇機等航空機具，進行植生施工的一種工法。舉凡人員之運輸、勘查、配合地面基礎工程（如截水工程、打樁編柵、鋪肥料袋甿等以及坡腳穩定工程）、基材機具搬運，及基材撒佈作業等，若有運用航空機具，均屬其範疇。而狹義而言，則指利用航空器將種子、肥料、沖蝕防止劑、土壤改良材、植生基材等，以撒佈或噴佈之方式導入坡面之工法
林信輝	2008	臺灣	早期國內外應用之航空植生工法，大多以較

學者	發表 年份	研究 地點	研究內容
			大型直升機進行航空撒播，即將種子與植生基材拌合水後，撒播於人力無法到達之植生復育地點如崩塌裸露地。 航空植生工法之適用地點與時機如下： 1.深山或偏遠地區、地形陡峻等條仃不佳之地點，使用其他植生工法作業較困難時。 2.施工地點多、零星分布或面積廣大之地區。 3.崩塌地、火災跡地等急需快速植生綠化地區。 4.施工地勞工不易取得時如勞力不足或偏遠地區。 5.依經費、施工地條仃及預期植生結果之綜合判斷下，以航空植生較有利時。 6.依技術觀點，使用航空器噴植較其他工法經濟且能達到預期成果時。
Ortolani et al.	2015	義大利	義大利 2015 年曾於圖西亞大學森林苗圃內，採用 Agusta-Bell 412 直升機進行播種，並由義大利國家森林服務中心人員進行駕駛。進行航空播種時，以人力在直升機內播種，將種子土球直接從高空投至崩塌區位或農作地區。其土球材料之製作，係先以圍膠材質製作土球模具，之後於模具內側塗上凡士林及黏土，並將調配好之植生基材(有機土、種子、肥料)填入黏土層中，最後土球風乾後將外層圍膠膜去除。經過蒔驗後種子順利於土球中生長，且他們發現，種子土球掉落之情形並不會因為不同高度或是形狀而受影響。
崩塌地噴植工法與應用基材	2015	臺灣	噴植植生基材指植物生長介質可能單一種物質或混合之物質(包括泥炭苔、樹皮、纖維、肥料等)。

學者	發表 年份	研究 地點	研究內容
手冊			噴植基材之配合比例及目標種類應經試驗後認可後才得使用。(1)含水量曲線: 土壤中水分的提升對植物之生長發芽有著重要的關係, 尤其種子發芽時需有適當的水分, 此一需水量初期仰賴土壤之有效水來提供;(2)抗沖蝕性: 纖維的破裂強度愈高, 相互間結合能力愈強, 擁有愈高抗蝕能力。(3)混和基材之物理性檢測: 基材在常溫下純水吸水能力為100~1000倍、樹皮堆肥 EC 值 < 1 dS/m, 菇類堆肥 EC 值 < 2.8 dS/m、pH 值在 5.5~8.0 較為適宜。 過去噴植工法所使用之材料可概分為被覆網材及噴植基材, 其中被覆網材主要可安定土石、排水等功用。而植生基材包括纖維材料、肥料、土壤改良劑、黏著劑、保水劑、種子及其他基材等種類, 因基地條件不同而使用不同之混合配方, 以達坡面快速綠化、防止沖蝕等目的。
王兆鳳、 徐連魁	1985	中國	表示航空造林除做好規劃設計、航空作業外, 在營林技術上特別重視下述環節: 1. 播區選擇: 中國航空造林效果比較好的播區, 大多分佈在東半部年降水量 500 mm 以上的濕潤和半濕潤地區。而以濕潤地區為最好, 半濕潤地區次之, 半乾旱地區和乾旱地區效果甚微。因而在選擇播區時要考慮該地區的乾濕狀況。 2. 樹種選擇: 首先考慮本播區的鄉土樹種, 但鄉土樹種不一定都適於飛播。為適應飛播後不覆土的條仃, 選用的樹種宜具有吸水快、需水少, 發芽、紮根迅速的能力。同時航空造林面積大, 用種多, 要有充足的種子來源。中國誦用於飛播的樹種近 30 種, 但航空播種效果好、成林面積大的只有馬尾松、雲南松、油松 3 種。其他如高山松、思茅松、華山松、黃山松等也較適於航空播種。 3. 飛播季節: 中國主要航空播種地區的適宜播期大致為: 廣東、廣西南部山地 1~2 月, 福建、廣西北部山地 2~3 月, 浙江、四川東部、

學者	發表年份	研究地點	研究內容
			湖北西部山地 3~4 月，雲南東南部、四川東北部、秦嶺、巴山山地 4 月，廣西西部、貴州南部及東南部山地 4~5 月，雲南西北部、四川西南部山地 5 月中旬至 6 月上旬，陝西北部黃土高原，河北山地 6 月下旬至 7 月上旬。 4. 播後管護：播後播區嚴格封禁 3~5 年，應有組織地刈割雜草，並進行適當的撫育管理。
洪啟盛	2003	臺灣	於和竹鄉雙崎部落、新社鄉水井及東勢鎮下新里三地區採用百慕達草、百喜草、類地毯草與相思樹；而於中寮鄉月桃巷採用百慕達草、百喜草、類地毯草進行鋪網噴植，經後續植群特性調查，該 4 處崩塌地施工後，植生覆蓋情形良好，覆蓋率皆達 90%以上。
簡慶德	2014	臺灣	崩塌地整治時撒播的種子品質非常重要，通常需達發芽率 60%以上；空粒太多或發芽率低的種子，直播後的成效不佳，應予避免。此外，不建議施行打樁編柵，以節省成本。人員能到達的崩塌區域，土壤壓實後以挖橫穴播種，不能到達之區域則利用直升機或遙控機撒播種子。
李元智等人	2007	台灣	採用臺灣赤楊及楓香等二種臺灣原生木本植物於板岩風化土壤邊坡進行不同噴植植生工法試驗，期間紀錄植生之成活株數、植生生長株高、植生覆蓋率及入侵植物之種類，結果指出土壤團粒化劑配合 1 cm 厚之木屑堆肥噴植工法對中高海拔板岩地區道路邊坡對植物之存活株數及株高皆具有顯著較其他工法良好之效果。
陳聯光等人	2011	臺灣	本研究是針對臺灣地區大規模岩體滑動之案例與岩體滑動量體之推估方法，討論各種推估方法的適用性。以過去重要五個大規模岩體滑動案例之滑動面積、體積及土方量等調查資料，以面積—深度或面積—體積冪次關係等兩種方法推估滑動體之體積，發現均有低估的現象。

簡士濠	2016 2017	台灣	以農業剩餘資材製成之生物炭再利用作為植生噴植資材，不僅可促進10%之草種發芽率，同時可降低15%的土壤沖蝕量。利用炭材作為覆入噴植資材，同時亦可有效增加土壤碳吸存量與養分，減緩土壤劣化的速度。
-----	--------------	----	--

第二節 工作執行方法

本計畫利用木塊加工切割後模擬植生粒劑之形狀，預計利用無人載具將種子撒播於一 2.4 m×1.6 m，坡度為 35%以上(四級坡)、45%以上(五級坡)及 55%以上(六級坡，宜林地)的土壤沖蝕盆。撒播高度為 3 m 及 7 m。坡面土壤種類以砂質土及黏質土(紅壤)之坡面為主。試驗處理分別為：(1) 2 種土壤；(2) 4 種形狀粒劑；(3) 3 種坡度；(4) 2 種撒播高度；(5) 2 種粗糙度。試驗間評估投擲效益：包括植生粒劑的「撒播範圍」、「粒劑分布面積」及「滾落距離」，以及是否固定於坡面上之比例。

一、木塊加工切割後模擬植生粒劑之形狀

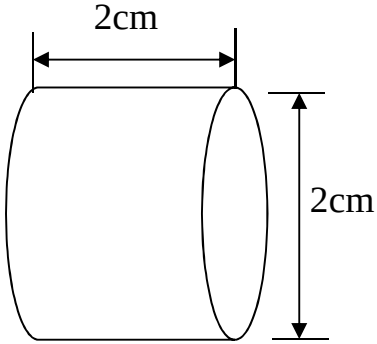
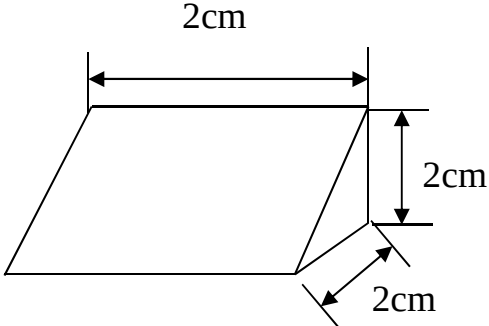
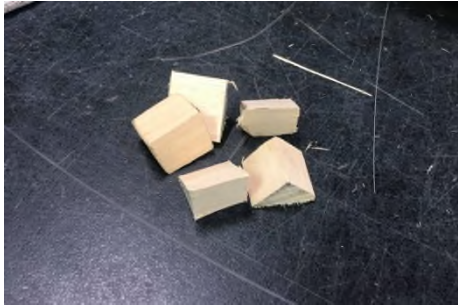
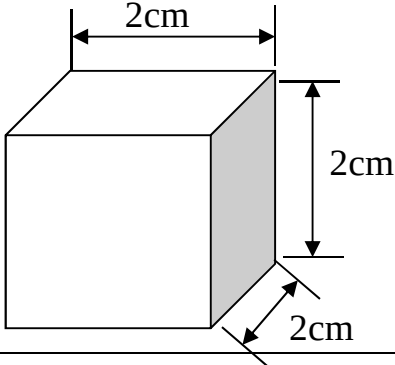
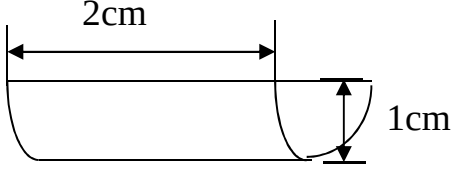
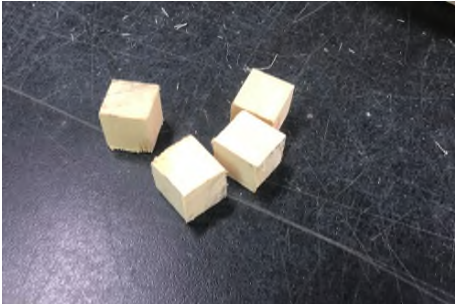
(a)圓柱體	(b)三角柱體
	
	
(c)四角柱體	(d)半圓柱體
	
	

圖 2- 8 以木塊模擬植生粒劑之形狀

二、供試土壤採集與性質分析

本研究之砂土於屏東縣竹田鄉一處農路旁採集，其座標為 22.5873199, 120.5172317。紅壤則於屏東縣內埔鄉老埤農場內農地採集，其座標為 22.6557383, 120.6084399。兩供試土壤性質分析如下：

表 2- 2 試驗土壤基本性質分析

土壤性質	砂質土	黏質土
pH	6.7± 0.1	4.5± 0.4
有機碳 (%)	1.0± 1.3	0.75± 0.9
總氮 (%)	0.06± 0.02	0.06± 0.01
NH ₄ ⁺ -N(mg/kg)	4.4± 2.24	7.1± 3.12
NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)	3.7± 1.3	27± 9.77
Av. P (mg/kg)	48.3± 0.9	33.1± 0.4
土壤質地	壤質砂土	黏土
砂粒含量(%)	80	33
粉粒含量(%)	14	27
黏粒含量(%)	6.0	40

NH₄⁺-N: 銨態氮；NO₃⁻-N: 硝酸態氮；Av. P: 有效磷。

三、土壤粗糙度(n)之計算

本試驗量測土壤表面粗糙度之方法為Ali Salch (1993)提出「鍊條法」，其做法如下

1. 在目標土地內隨機固定兩點，兩點之直線距離為 L。
2. 在兩點所在之直線上用無彈性軟繩緊貼土壤粗糙面，後量測其軟繩之長度為 L'。
3. 根據步驟 1. 及 2.可得土壤粗糙度 $n=L'/L$ 。

本試驗將的砂土以平坦坡面 ($n=1.01$)及利用移植鋤畫出些微蝕溝之坡面 ($n=1.03$)，試驗中以該兩種粗糙度進行討論。

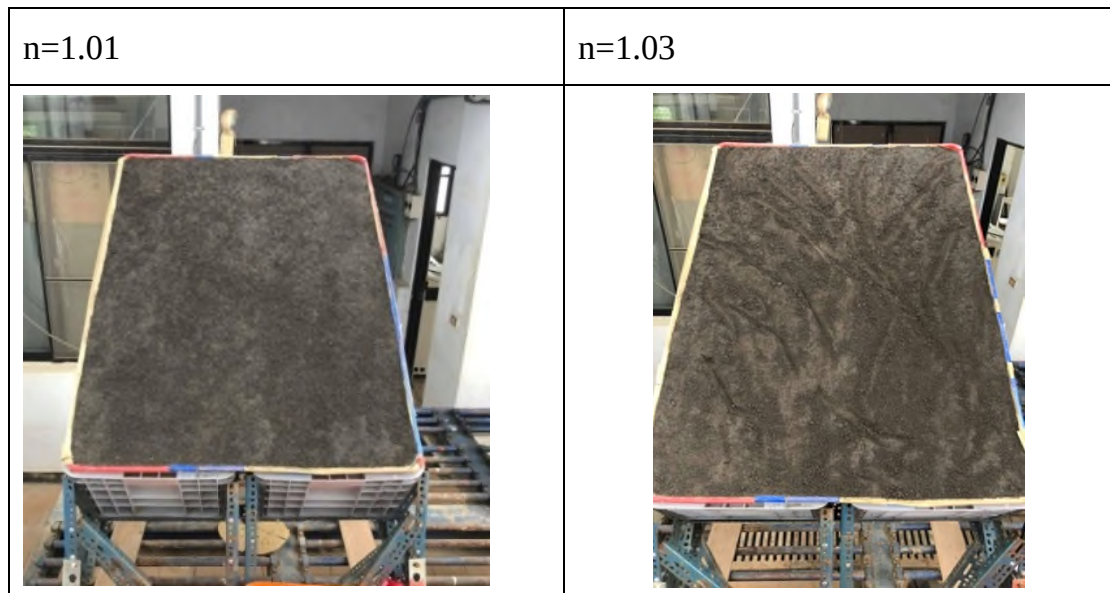


圖 2- 9 不同粗糙度下之坡面示意圖。

四、土盆密度及含水量

本試驗所選用之土盆其長寬高分別為 90 cm、120 cm 及 6 cm，體積為 64800 cm³，而其砂質土以密度 1.22 g/cm³ 填入土盆中並在過程中添加至田間容水量(10%)，黏質土(紅壤)則以密度 1.38 g/cm³ 填入土盆中並控制含水量在 20%。



圖 2- 10 於土盆中填入土壤之過程。

五、選用植生網毯種類

本試驗選取之抗沖蝕網毯(由七洲股份企業有限公司購入)，其型號為環絨狀植生網毯(TT10-HDPE)。

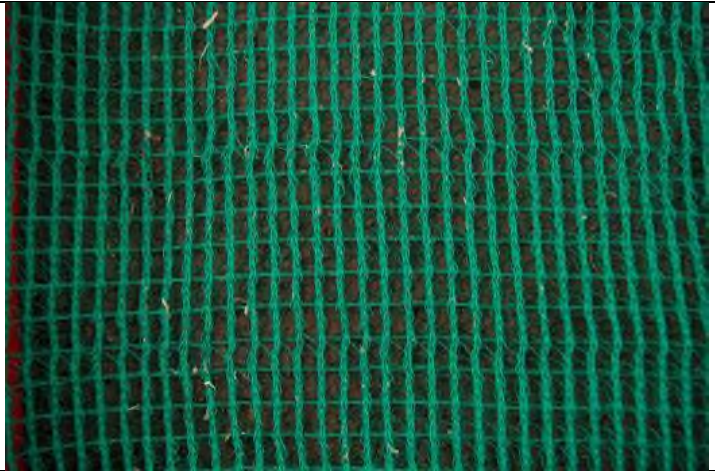
網毯名稱	照片示意
環絨狀植生網毯	

圖 2- 11 本試驗用之植生網毯種類

六、室內撒播粒劑之試驗土盆裝設

本試驗使用之土盆將由「四個」下圖之箱子組合而成，構成之撒播區總面積為 $2.5\text{ m} \times 1.6\text{ m}$ ，約為 4 m^2 ，填入試驗盆中之土壤約為 15 cm 。

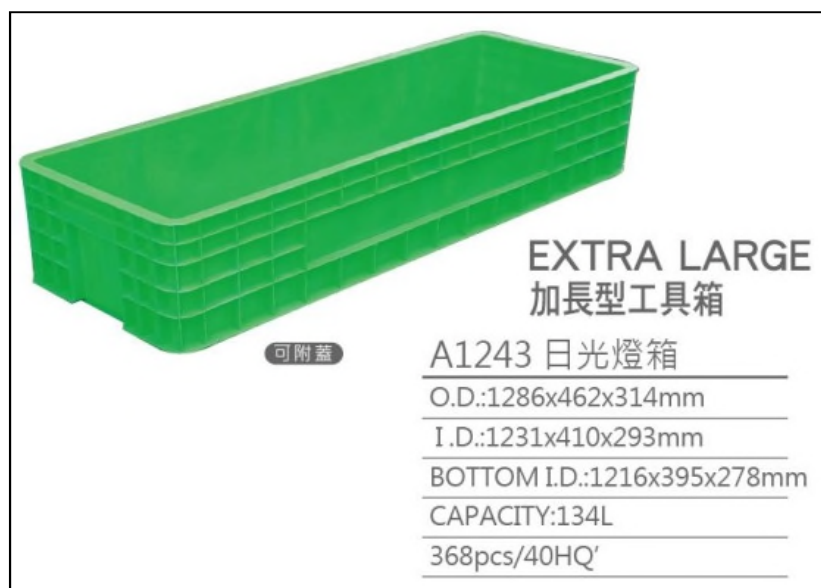


圖 2- 12 本試驗所使用之土盆

七、撒播植生粒劑無人載具

本計畫與翌通國際股份有限公司合作，租用該公司之無人撒播載具，型號如圖 2-13 所示。本計畫亦於 109 年 3 月 24 日請該公司至屏東科技大學示範並教學無人撒播載具之使用與飛行技巧 (圖 2-13)。

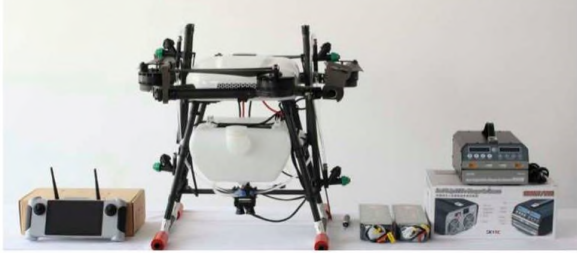
四旋翼無人機及飛行操作	粒劑撒佈載具																		
	 FS2513 无人机颗粒撒布器 FS2513 Drone Fertilizer spreader FS2513 颗粒撒播器是一款为农业应用无人机开发的产品，适应于颗粒肥料、农药、饲料以及其它颗粒物撒布使用。 FS2513 granulator supports the sowing of grain, fertilizer, urea, granulator fertilizer, bait and other solid particles, suitable for sowing, fertilizing, baiting and other operations.  规格参数： specification parameter <table border="1"> <tr><td>产品名称/Product name</td><td>无人机颗粒撒布器</td></tr> <tr><td>型号/Type</td><td>FS2513</td></tr> <tr><td>工作电压/Working voltage</td><td>DC 22-26V</td></tr> <tr><td>功率/Power</td><td>2.5W</td></tr> <tr><td>撒布宽度/Spreading width</td><td>3-6 meters</td></tr> <tr><td>撒布距离/Spreading distance</td><td>2-5 meters</td></tr> <tr><td>重量/N.W.</td><td>370g</td></tr> <tr><td>外壳材质/Shell material</td><td>PP</td></tr> <tr><td>出线长度/line length</td><td>40cm</td></tr> </table> 	产品名称/Product name	无人机颗粒撒布器	型号/Type	FS2513	工作电压/Working voltage	DC 22-26V	功率/Power	2.5W	撒布宽度/Spreading width	3-6 meters	撒布距离/Spreading distance	2-5 meters	重量/N.W.	370g	外壳材质/Shell material	PP	出线长度/line length	40cm
产品名称/Product name	无人机颗粒撒布器																		
型号/Type	FS2513																		
工作电压/Working voltage	DC 22-26V																		
功率/Power	2.5W																		
撒布宽度/Spreading width	3-6 meters																		
撒布距离/Spreading distance	2-5 meters																		
重量/N.W.	370g																		
外壳材质/Shell material	PP																		
出线长度/line length	40cm																		
																			

圖 2- 13 本計畫預計採用之無人基與搭配撒佈之載具規格

八、植生粒劑混合草種之選擇

本試驗預計採用三種臺灣常見之水土保持草種 (圖 2-12)，分別為(1)百慕達草、(2)百喜草，及(3)黑麥草。本試驗於民國一〇九年三月二十五日已於穗耕種苗全數購入。



圖 2- 14 本試驗所選用之植物種子



圖 2- 15 本計畫室內噴植試驗之草種之準備與購置。

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

重要工作項目	工作比重 %	預定進度	109 年				備註
			1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	
購置試驗器材	10%	工作量或內容	購買及設置試驗器材				
		累計百分比	100%				
投擲效益試驗	40%	工作量或內容	-	模擬粒劑投擲試驗			
		累計百分比	-	100%			
盆栽發芽試驗	40%	工作量或內容	-	盆栽發芽試驗準備	盆栽發芽試驗		
		累計百分比	-	50%	100%		
期中期末報告撰寫	10%	工作量或內容	-	期中報告		期末報告	
		累計百分比	-	50%		100%	
累計總進度	百分比		-	50%	75%	100%	

圖 3- 1 計畫甘特圖

第二節 計畫交付項目

一、研發一至二款「功能化」植生粒劑，功能化為使之輕量化、肥力

滯留優化及更具生態永續功能。

二、評估最佳之植生粒劑形狀，可有效滯留於邊坡土表，不至

滾落坡腳影響植生復育效益。

三、評估最佳之植生粒劑組成，可有效延長粒劑養分及予以土

壤碳吸存，有效促進植生復育效益。

四、評估植生粒劑取代邊坡噴植之可能性。

五、評估無人載具搭載功能化植生粒劑撒佈的可能性與成本

效益評估。

第三節 以如期完成所有交付項目

一、期初檢核項目：

1. 已採集試驗所需供試土壤；
2. 完成功能化植生粒劑資材形狀(方形、三角形及半圓形)製備；
3. 試驗器材(土盆及鐵架)購入與架設。

二、期中檢核項目：

1. 完成噴植試驗所需草種(百喜草、百慕達草及黑麥草)購置；
2. 完成功能化植生粒劑資材形狀(方形、三角形及半圓形)製備；
3. 已完成兩種土樣(砂土及紅壤)之木粒拋撒試驗；
4. 已完成砂土及紅壤拋撒試驗之各項計算，包括殘留於坡面百分比，坡下百分比，坡旁百分比及木粒噴飛距離；
5. 已準備計算及蒐集製造植生粒劑之場所及材料；

三、期末檢核項目：

1. 已完成使用無人機撒播功能化粒劑於沙土及紅壤兩種坡面上，以進行試驗；
 2. 計算功能化粒劑流於坡面之百分比；
 3. 分析功能化粒劑於坡面之發芽勢；
 4. 評估無人載具搭載功能化植生粒劑撒佈的可能性與成本效益評估。

第四章 試驗結果與討論

本試驗選用兩種土壤(砂質土及黏質土)、四種形狀(長方體、圓柱體、三角柱及半圓柱)、三種坡度(20° (四級坡)、 25° (五級坡)及 30° (六級坡))、兩種高度(H) (3 m 及 7 m)及兩種粗糙度($n=1.01$ 及 $n=1.03$)進行植生粒劑拋灑試驗。以下為試驗結果：

功能化植生粒劑撒播於坡面之試驗結果

本試驗分別蒐集拋灑過後三個部分，分別是殘留於坡面、滾落至坡面下 (由普立桶盛接)以及滾落至坡面外 (滾落至地面)，如圖 4-1 所示，並計算其分別佔撒播重量之百分比。由表 4-1、至表 4-4 可得知拋撒的四種形狀中，能夠集中在坡面及坡下的形狀依百分比多寡依序為半圓柱>三角柱>圓柱體>長方體。試驗結果顯示，各形狀粒劑在坡面為砂質土時之殘留率約為 2%-16%。將粗糙度提高後則殘留率可達 24%，其中以半圓柱在高度為 3 公尺拋撒至 20° 坡($n=1.03$)時最好，坡面殘留率為 23.8%；相同條件下，三角柱殘留率為 14%。坡面為黏質土(紅壤)時，殘留於坡面百分比約為 1.8%-14%，而粗糙度提高後可至 20%，其中半圓柱在高度為 3 公尺時拋撒至 20° 坡($n=1.03$)時最好，坡面殘留率為 19.3%，在相同情況下三角柱為 17.1%。

在坡度提升後不管其坡面粗糙度殘留率皆減少，而於 30° 時接近臨界值，在高度 3 公尺、坡面為砂土時三角柱及半圓柱皆只剩 2%，

而於 7 公尺則無殘留於坡面，但粗糙度提高後約有 1% 留於坡面；在相同情況下(坡度 30° 、 $H=7\text{ m}$ 及 $n=1.01$)，坡面為紅壤時三角柱及半圓柱約有 2% 留於坡面，但粗糙度提升後並沒有差異。

試驗之坡面實際長度僅 120 cm，因此我們將坡面「假定」延伸兩倍為 240 cm，並假設滾落坡下百分比的部分皆留於延伸之坡面上，則表 4-5 至表 4-8 呈現該假定結果，由表可看出如坡長延伸後四種形狀的粒劑殘留於坡面百分比，其中三角柱及半圓柱皆較長方體及圓柱體高，以半圓柱體殘留率最佳、最差為長方體。於相同的坡度、土壤類別、粗糙度及拋灑高度下，半圓柱體與長方體殘留率可差 10% 以上。



圖 4-1 殘留於坡面(綠色範圍)、滾落至坡下(藍色範圍)及滾落坡旁(其他範圍)示意圖

表 4- 1 砂質土於各坡度、形狀及高度木粒各項之百分比 (n=1.01)

坡度 (°)	拋撒高 (m)	形狀	拋撒重量 (g)	殘留於 試驗坡面 百分比(%)	滾落 坡面下 百分比(%)	滾落 坡旁 百分比(%)
20	3	長方體	564.6	0	70.5	29.5
		圓柱體	493.3	0	73.6	26.4
		三角柱	307.7	15.6	62.2	22.2
		半圓柱	315.5	12.6	67.2	20.2
	7	長方體	382.4	0	65.7	34.3
		圓柱體	348.9	0	64.4	35.6
		三角柱	345.7	6.1	69.4	24.6
		半圓柱	354.8	9.1	64.7	26.2
25	3	長方體	561.5	0	71.8	28.2
		圓柱體	567.5	0	74.9	25.1
		三角柱	358.7	4.9	74.0	21.1
		半圓柱	362.7	9.1	71.0	19.9
	7	長方體	563.3	0	63.5	36.5
		圓柱體	521.2	0	62.8	37.2
		三角柱	335.3	2.6	71.9	25.5
		半圓柱	326.6	9.1	62.8	28.1
30	3	長方體	441.9	0	69.5	30.5
		圓柱體	577.6	0	75.8	24.2
		三角柱	370.0	1.8	70.0	28.2
		半圓柱	303.8	2.2	73.7	24.1
	7	長方體	460.0	0	61.5	38.5
		圓柱體	442.7	0	59.4	40.6
		三角柱	352.9	0	72.9	27.1
		半圓柱	332.4	0	74.5	25.5

n：坡面表面粗糙度。

表 4-2 砂質土各坡度、形狀及高度木粒殘留於坡面之百分比

(n=1.03)

坡度 (°)	拋撒高 (m)	形狀	拋撒重量 (g)	殘留於 試驗坡面百 分比(%)	滾落 坡面下 百分比(%)	滾落 坡旁 百分比(%)
20	3	長方體	393.9	0	75.5	24.5
		圓柱體	368.0	0	76.4	23.6
		三角柱	343.5	13.9	65.0	21.1
		半圓柱	358.0	23.8	56.4	19.8
	7	長方體	373.1	0	76.8	23.2
		圓柱體	376.8	0	77.9	22.1
		三角柱	364.1	6.9	69.8	23.3
		半圓柱	366.6	8.4	67.8	23.8
25	3	長方體	350.3	0	73.8	26.2
		圓柱體	365.9	0	74.5	25.5
		三角柱	361.9	5.2	72.3	22.5
		半圓柱	359.7	9.5	70.0	20.5
	7	長方體	366.7	0	75.4	24.6
		圓柱體	376.0	0	76.8	23.2
		三角柱	364.7	1.9	71.2	26.9
		半圓柱	369.1	4.0	69.8	26.2
30	3	長方體	368.6	0	70.2	29.8
		圓柱體	373.1	0	74.5	25.5
		三角柱	363.1	1.8	76.7	21.5
		半圓柱	329.2	2.1	77.5	20.4
	7	長方體	388.25	0	74.6	25.4
		圓柱體	370.9	0	75.6	24.4
		三角柱	371.4	0.9	68.9	30.2
		半圓柱	381.1	0.5	70.2	29.3

n：坡面表面粗糙度。

表 4-3 紅壤各坡度、形狀及高度木粒殘留於坡面之百分比(n=1.01)

坡度 (°)	拋撒高 (m)	形狀	拋撒重量 (g)	殘留於 試驗坡面百 分比(%)	滾落 坡面下 百分比(%)	滾落 坡旁 百分比(%)
20	3	長方體	360.6	0	74.7	25.3
		圓柱體	361.8	0	75.1	24.9
		三角柱	360.4	10.3	63.9	25.8
		半圓柱	360.8	14.0	58.1	27.9
	7	長方體	363.4	0	74.2	25.8
		圓柱體	361.6	0	73.3	26.7
		三角柱	361.0	7.4	63.1	29.5
		半圓柱	360.4	10.2	64.0	25.8
25	3	長方體	369.8	0	71.1	28.9
		圓柱體	333.5	0	74.5	25.5
		三角柱	362.2	6.8	70.8	22.4
		半圓柱	355.4	9.5	63.0	27.5
	7	長方體	365.0	0	66.5	33.5
		圓柱體	366.2	0	67.6	32.4
		三角柱	359.8	5.8	65.7	28.5
		半圓柱	378.4	5.2	65.3	29.5
30	3	長方體	371.6	0	73.6	26.4
		圓柱體	373.6	0	77.3	22.7
		三角柱	348.5	5.9	69.6	24.5
		半圓柱	369.7	6.9	69.8	23.3
	7	長方體	356.4	0	70.5	29.5
		圓柱體	324.8	0	71.5	28.5
		三角柱	384.0	1.8	72.8	25.4
		半圓柱	398.2	2.4	67.3	30.3

n：坡面表面粗糙度。

表 4- 4 紅壤各坡度、形狀及高度木粒殘留於坡面之百分比(n=1.03)

坡度 (°)	拋撒高 (m)	形狀	拋撒重量 (g)	殘留於 試驗坡面百 分比(%)	滾落 坡面下 百分比(%)	滾落 坡旁 百分比(%)
20	3	長方體	360.4	0	76.5	23.5
		圓柱體	355.8	0	75.2	24.8
		三角柱	375.8	17.2	57.1	25.7
		半圓柱	359.6	19.3	55.5	25.2
	7	長方體	344.8	0	69.5	30.5
		圓柱體	388.6	0	70.2	29.8
		三角柱	376.5	7.0	67.4	25.6
		半圓柱	369.8	6.4	68.8	24.8
25	3	長方體	374.6	0	75.1	24.9
		圓柱體	348.5	0	77.5	22.5
		三角柱	369.7	5.7	67.6	26.7
		半圓柱	356.4	7.2	63.9	28.9
	7	長方體	324.8	0	69.6	30.4
		圓柱體	384.0	0	66.5	33.5
		三角柱	398.2	4.4	66.1	29.5
		半圓柱	363.2	5.2	69.1	25.7
30	3	長方體	366.2	0	77.6	22.4
		圓柱體	359.8	0	76.5	23.5
		三角柱	378.4	1.4	78.5	20.1
		半圓柱	371.6	3.1	77.4	19.5
	7	長方體	373.6	0	70.5	29.5
		圓柱體	386.8	0	73.4	26.6
		三角柱	366.4	0.9	70.5	28.6
		半圓柱	371.0	2.1	72.5	25.4

n：坡面表面粗糙度。

表 4-5 砂土各坡度、形狀及高度木粒各項之百分比 (n=1.01)(假定坡
長 240 cm)

坡度 (°)	拋撒高 (m)	形狀	拋撒重量 (g)	殘留於 試驗坡面百分比(%)	滾落 坡旁 百分比(%)
20	3	長方體	564.6	70.5	29.5
		圓柱體	493.3	73.6	26.4
		三角柱	307.7	77.8	22.2
		半圓柱	315.5	79.8	20.2
	7	長方體	382.4	65.7	34.3
		圓柱體	348.9	64.4	35.6
		三角柱	345.7	75.5	24.6
		半圓柱	354.8	73.8	26.2
25	3	長方體	561.5	71.8	28.2
		圓柱體	567.5	74.9	25.1
		三角柱	358.7	78.9	21.1
		半圓柱	362.7	80.1	19.9
	7	長方體	563.3	63.5	36.5
		圓柱體	521.2	62.8	37.2
		三角柱	335.3	74.5	25.5
		半圓柱	326.6	71.9	28.1
30	3	長方體	441.9	69.5	30.5
		圓柱體	577.6	75.8	24.2
		三角柱	370.0	71.8	28.2
		半圓柱	303.8	75.9	24.1
	7	長方體	460.0	61.5	38.5
		圓柱體	442.7	59.4	40.6
		三角柱	352.9	72.9	27.1
		半圓柱	332.4	74.5	25.5

n：坡面表面粗糙度。

表 4- 6 砂土各坡度、形狀及高度木粒各項之百分比 (n=1.03)(假定
坡長 240 cm)

坡度 (°)	拋撒高 (m)	形狀	拋撒重量 (g)	殘留於 試驗坡面百分比(%)	滾落 坡旁 百分比(%)
20	3	長方體	393.9	75.5	24.5
		圓柱體	368.0	76.4	23.6
		三角柱	343.5	78.9	21.1
		半圓柱	358.0	80.2	19.8
	7	長方體	373.1	76.8	23.2
		圓柱體	376.8	77.9	22.1
		三角柱	364.1	76.7	23.3
		半圓柱	366.6	76.2	23.8
25	3	長方體	350.3	73.6	26.2
		圓柱體	365.9	74.5	25.5
		三角柱	361.9	77.5	22.5
		半圓柱	359.7	79.5	20.5
	7	長方體	366.7	75.4	24.6
		圓柱體	376.0	76.8	23.2
		三角柱	364.7	73.1	26.9
		半圓柱	369.1	73.8	26.2
30	3	長方體	368.6	70.2	29.8
		圓柱體	373.1	74.5	25.5
		三角柱	363.1	78.5	21.5
		半圓柱	329.2	79.6	20.4
	7	長方體	388.25	74.6	25.4
		圓柱體	370.9	75.6	24.4
		三角柱	371.4	69.8	30.2
		半圓柱	381.1	70.7	29.3

n：坡面表面粗糙度。

表 4-7 紅壤各坡度、形狀及高度木粒各項之百分比 (n=1.01)(假定
坡長 240 cm)

坡度 (°)	拋撒高 (m)	形狀	拋撒重量 (g)	殘留於 試驗坡面百分 比(%)	滾落 坡旁 百分比(%)
20	3	長方體	360.6	74.7	25.3
		圓柱體	361.8	75.1	24.9
		三角柱	360.4	74.2	25.8
		半圓柱	360.8	72.1	27.9
	7	長方體	363.4	74.2	25.8
		圓柱體	361.6	73.3	26.7
		三角柱	361.0	70.5	29.5
		半圓柱	360.4	74.2	25.8
25	3	長方體	369.8	71.1	28.9
		圓柱體	333.5	74.5	25.5
		三角柱	362.2	77.6	22.4
		半圓柱	355.4	72.5	27.5
	7	長方體	365.0	66.5	33.5
		圓柱體	366.2	67.6	32.4
		三角柱	359.8	71.5	28.5
		半圓柱	378.4	70.5	29.5
30	3	長方體	371.6	73.6	26.4
		圓柱體	373.6	77.3	22.7
		三角柱	348.5	75.5	24.5
		半圓柱	369.7	76.7	23.3
	7	長方體	356.4	70.5	29.5
		圓柱體	324.8	71.5	28.5
		三角柱	384.0	74.6	25.4
		半圓柱	398.2	69.7	30.3

n：坡面表面粗糙度。

表 4- 8 紅壤各坡度、形狀及高度木粒各項之百分比 (n=1.03)(假定
坡長 240 cm)

坡度 (°)	拋撒高 (m)	形狀	拋撒重量 (g)	殘留於 試驗坡面百分 比(%)	滾落 坡旁 百分比(%)
20	3	長方體	360.4	76.5	23.5
		圓柱體	355.8	75.2	24.8
		三角柱	375.8	74.3	25.7
		半圓柱	359.6	74.8	25.2
	7	長方體	344.8	69.5	30.5
		圓柱體	388.6	70.2	29.8
		三角柱	376.5	74.4	25.6
		半圓柱	369.8	75.2	24.8
25	3	長方體	374.6	75.1	24.9
		圓柱體	348.5	77.5	22.5
		三角柱	369.7	73.3	26.7
		半圓柱	356.4	71.1	28.9
	7	長方體	324.8	69.6	30.4
		圓柱體	384.0	66.5	33.5
		三角柱	398.2	70.5	29.5
		半圓柱	363.2	74.3	25.7
30	3	長方體	366.2	77.6	22.4
		圓柱體	359.8	76.5	23.5
		三角柱	378.4	79.9	20.1
		半圓柱	371.6	80.5	19.5
	7	長方體	373.6	70.5	29.5
		圓柱體	386.8	73.4	26.6
		三角柱	366.4	71.4	28.6
		半圓柱	371.0	74.6	25.4

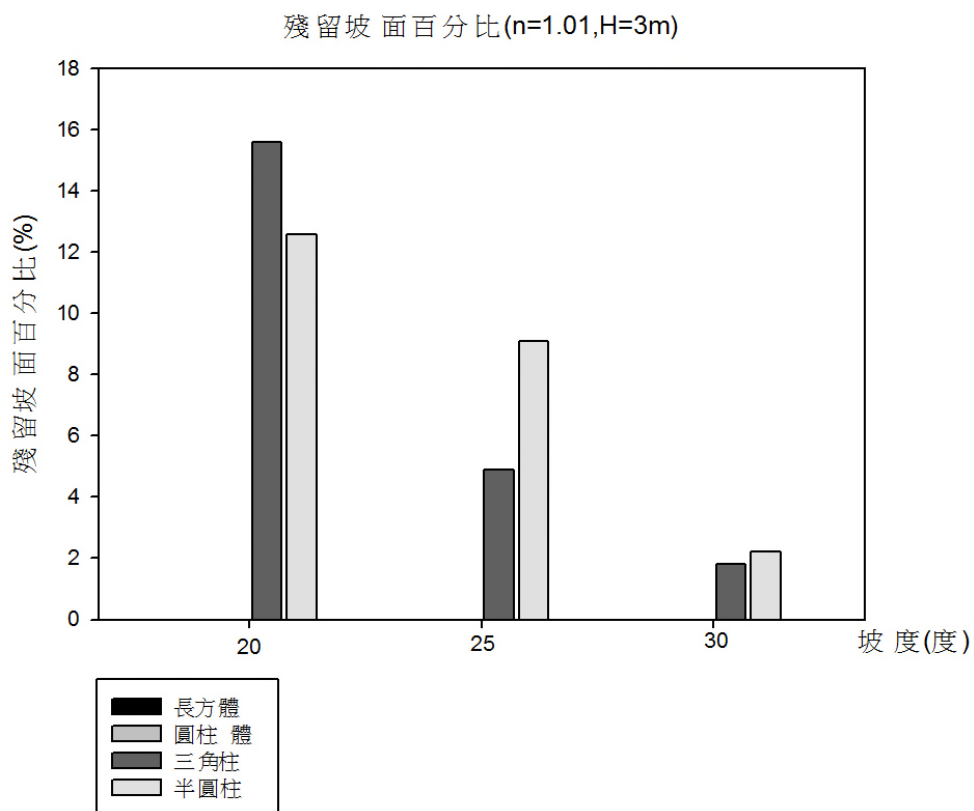


圖 4-2 砂土殘留坡面百分比(n=1.01, H=3m)

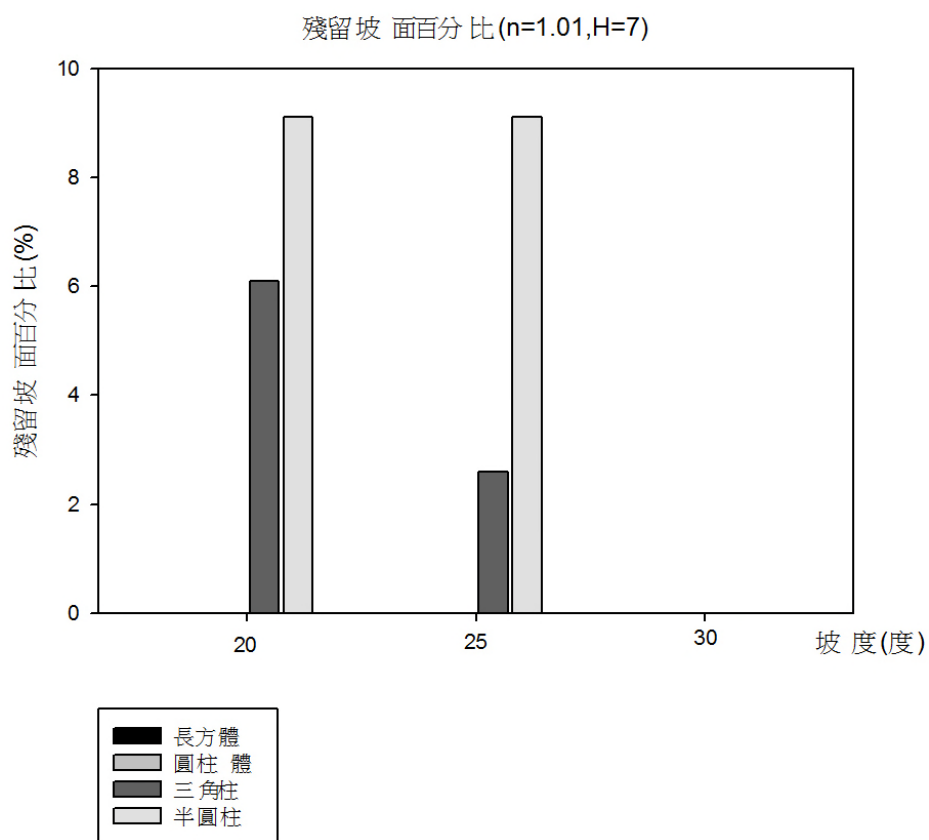


圖 4-3 砂土殘留坡面百分比(n=1.01,H=7m)

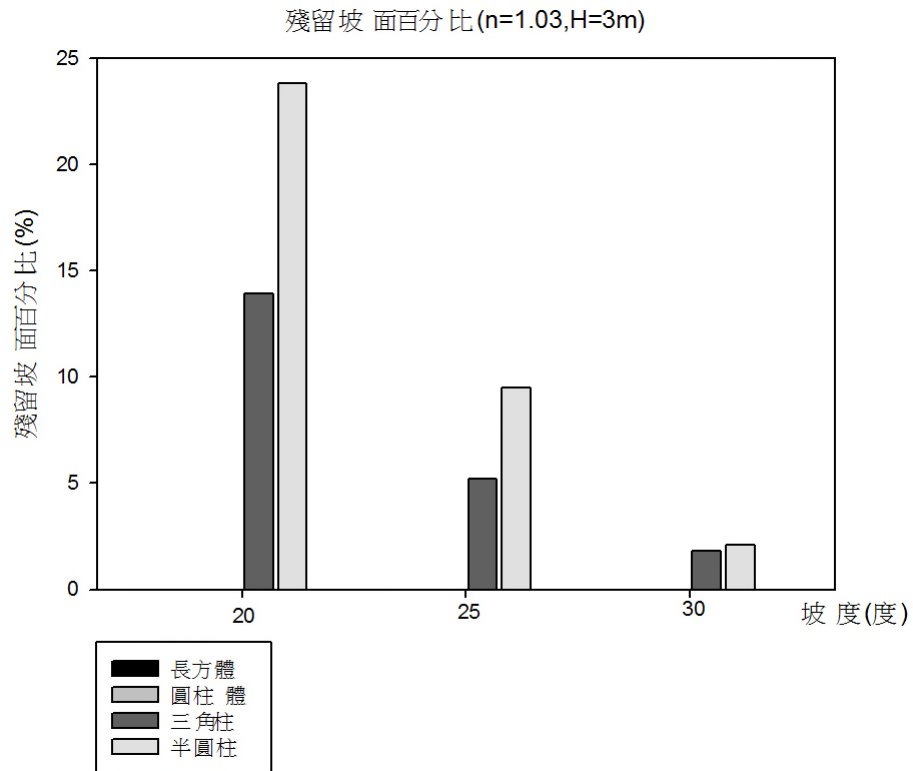


圖 4- 4 砂質土殘留坡面百分比(n=1.03,H=3m)

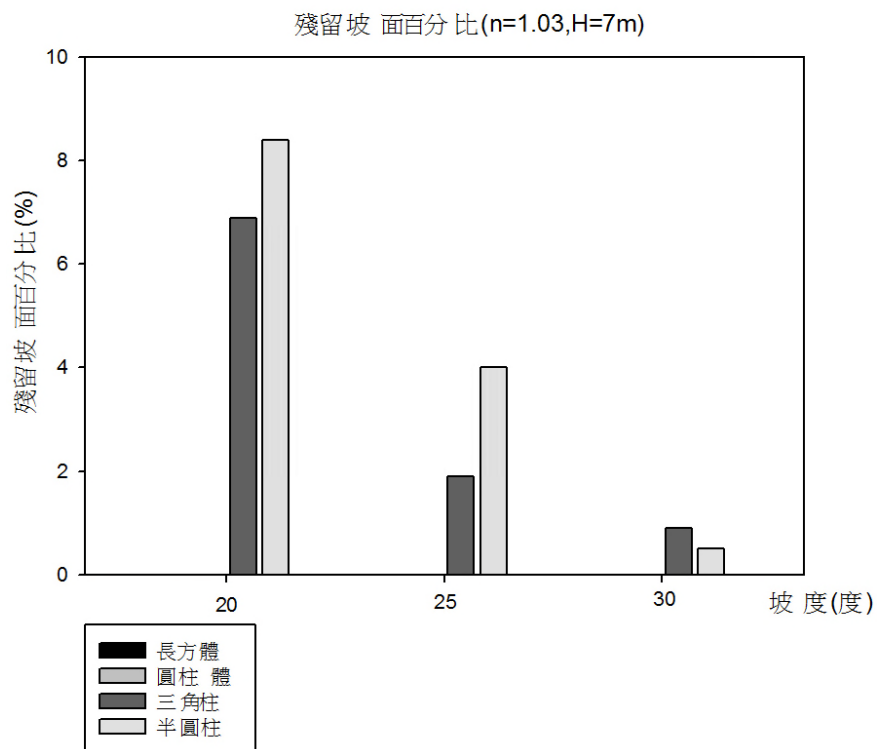


圖 4- 5 砂質土殘留坡面百分比(n=1.03,H=7m)

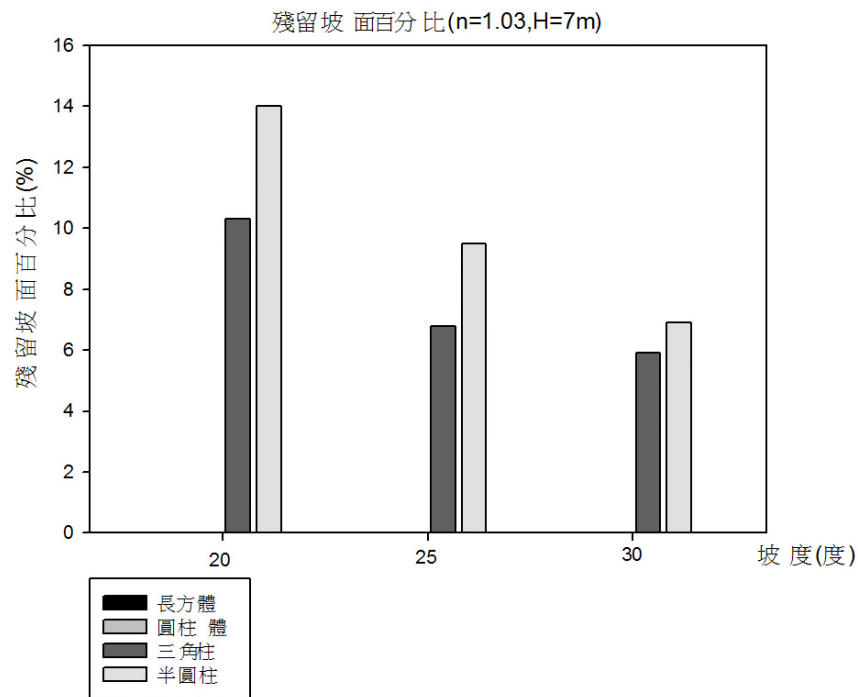


圖 4- 6 黏質土(紅壤)殘留坡面百分比(n=1.01,H=3m)

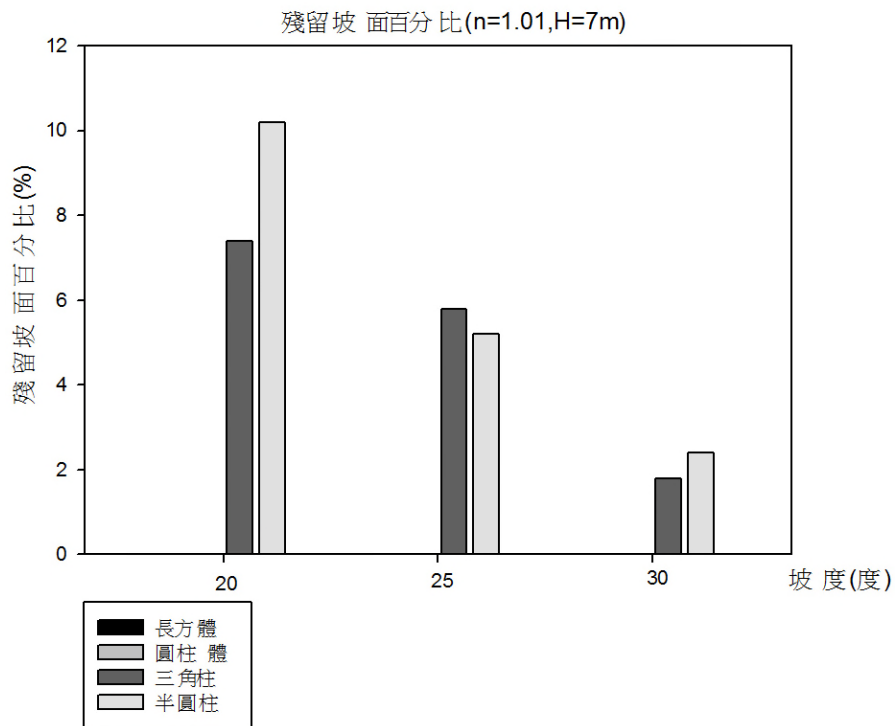


圖 4- 7 黏質土(紅壤)殘留坡面百分比(n=1.01,H=7m)

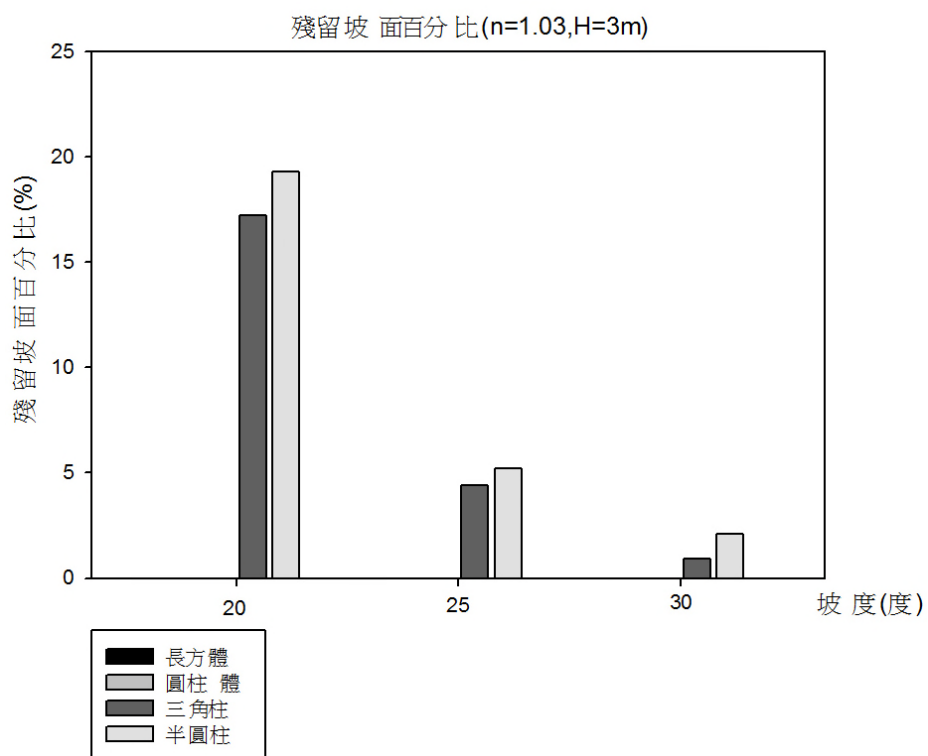


圖 4- 8 黏質土(紅壤)殘留坡面百分比(n=1.03,H=3m)

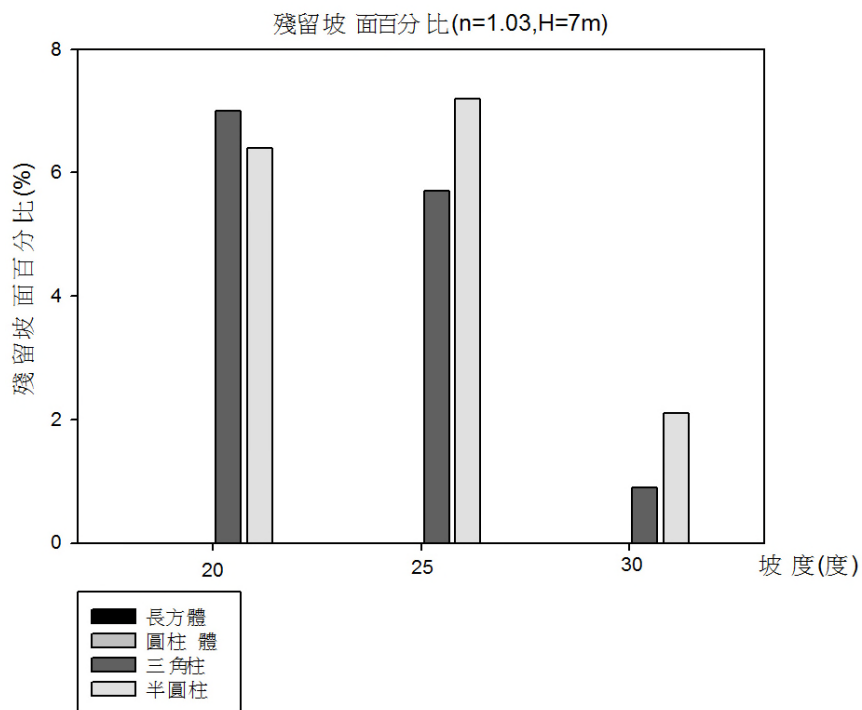


圖 4- 9 黏質土(紅壤)殘留坡面百分比(n=1.03,H=7m)

以下為各式試驗粒殘留於坡面之情況。

坡度 20° 高度 3 m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 25° 高度 3m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 30° 高度 3m



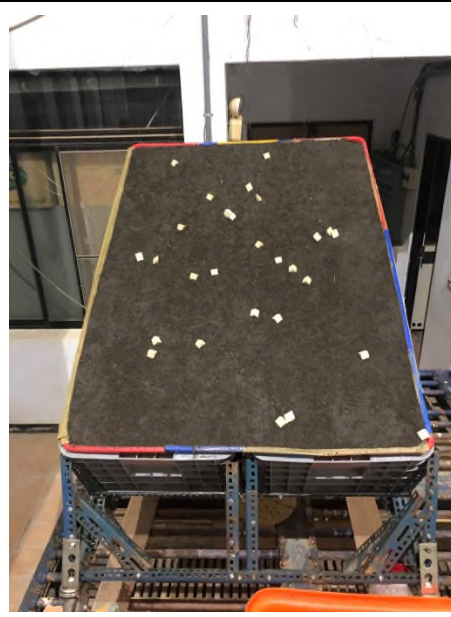
長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 20° 高度 7m



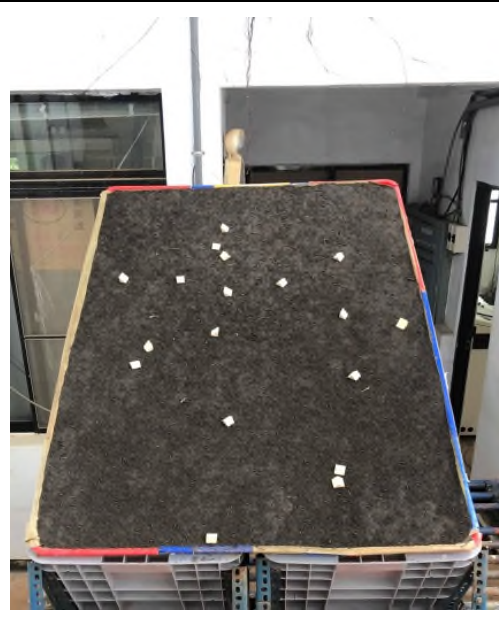
長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 25° 高度 7m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 30° 高度 7m



長方體



圓柱體



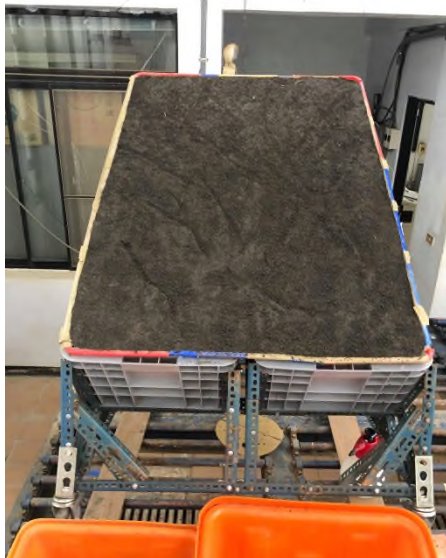
三角柱



半圓柱

圖 4- 10 砂土於粗糙度為 1.01 時各試驗木粒殘留於坡面之情況

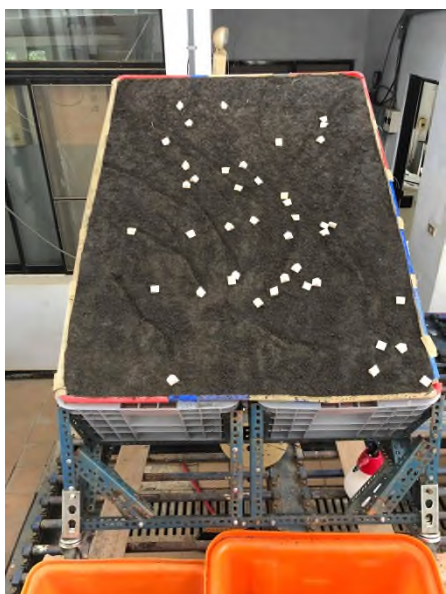
坡度 20° 高度 3m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 25° 高度 3m



長方體



圓柱體



三角柱

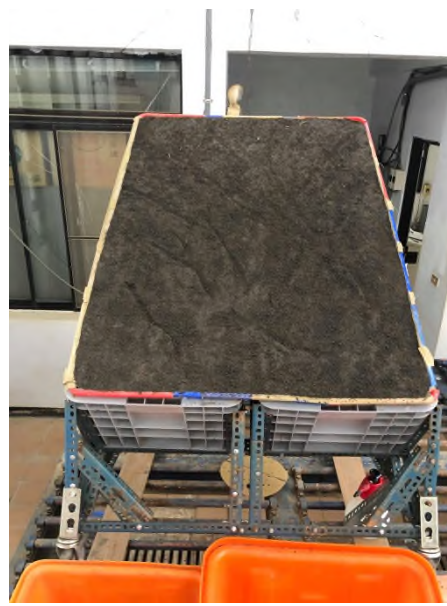


半圓柱

坡度 30° 高度 3m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 20° 高度 7m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 25° 高度 7m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 30° 高度 7m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

圖 4- 11 砂土於粗糙度為 1.03 時各試驗殘留坡面之情況

坡度 20° 高度 3m



長方體



圓柱體



三角柱

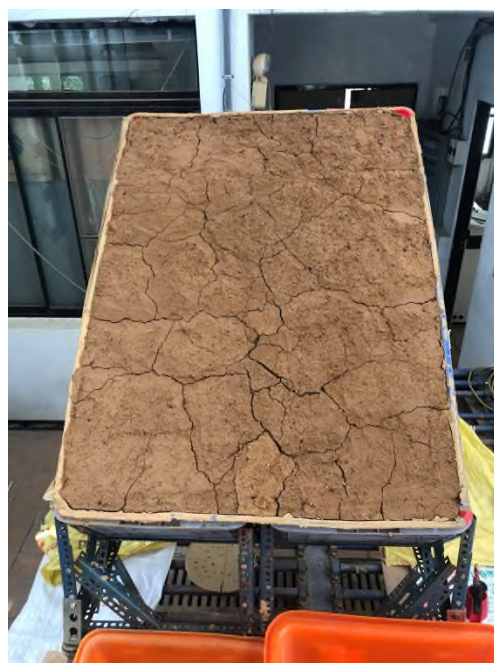


半圓柱

坡度 25° 高度 3m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 30° 高度 3m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 20° 高度 7m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

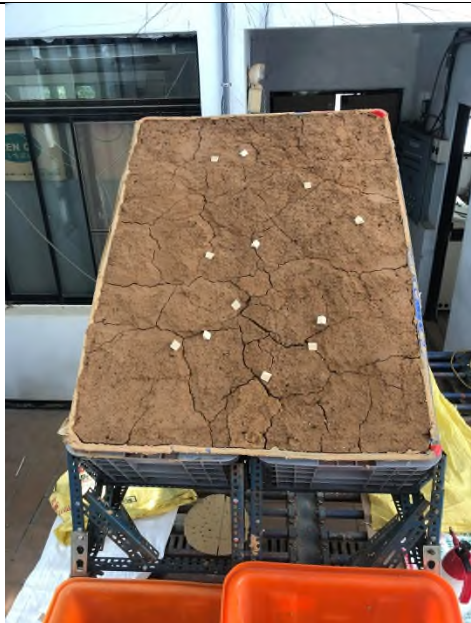
坡度 25° 高度 7m



長方體



圓柱體

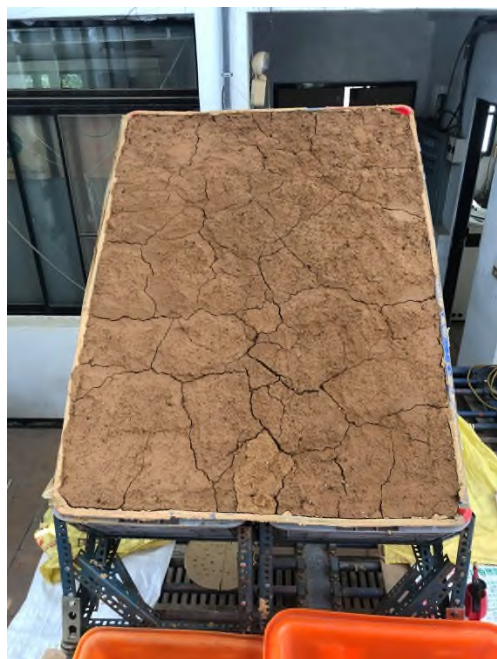


三角柱



半圓柱

坡度 30° 高度 7m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

圖 4- 12 紅壤於粗糙度為 1.01 時各試驗木粒殘留於坡面之情況

坡度 20° 高度 3m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 25° 高度 3m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 30° 高度 3m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 20° 高度 7m



長方體



圓柱體

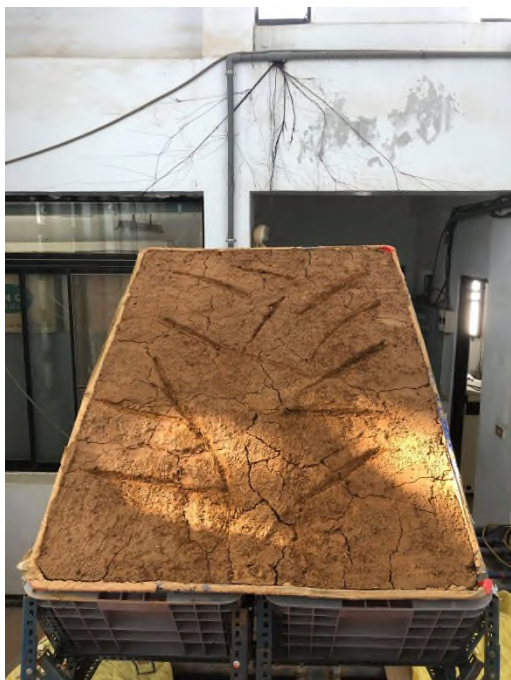


三角柱



半圓柱

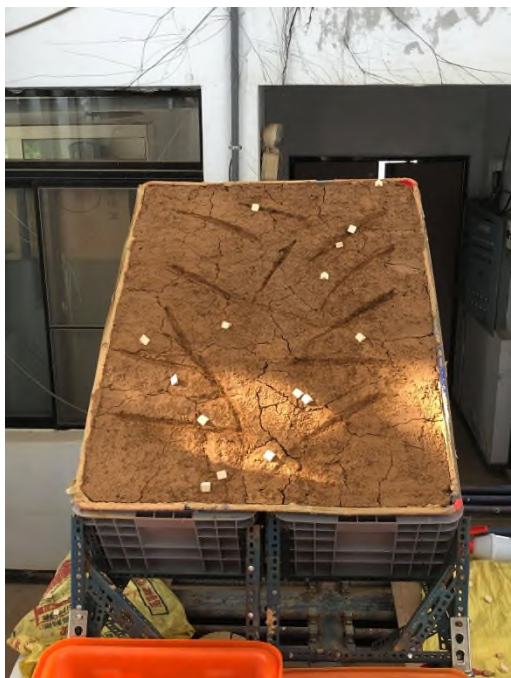
坡度 25° 高度 7m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

坡度 30° 高度 7m



長方體



圓柱體



三角柱



半圓柱

圖 4- 13 紅壤於粗糙度為 1.01 時各試驗木粒殘留於坡面之情況

第一節 不同形狀粒劑落於坡面後之「噴飛距離」評估

試驗木粒落於坡面後其動能可能將其彈飛坡面，因此利用錄影後分別記錄其噴飛距離(d)。由表 4-9 至表 4-12 可得知在不同土樣下其木粒落於坡面後之平均噴飛距離皆約為 30 cm-50 cm。其中半圓柱木粒之噴飛距離較其他形狀木粒短，推測是因為半圓柱木粒每顆之重量較小，因此造成的位能也較小，進而影響接觸到坡面時的動能進而造成彈飛的力量較小，因此飛行距離較短。而在不同坡度之下，在同種形狀下，坡度越陡其噴飛距離(d)則越長，推測其原因為在同樣重量下造成其噴飛距離之投影長相同，但換算至坡長時則有差別(如圖 4-16 所示)。

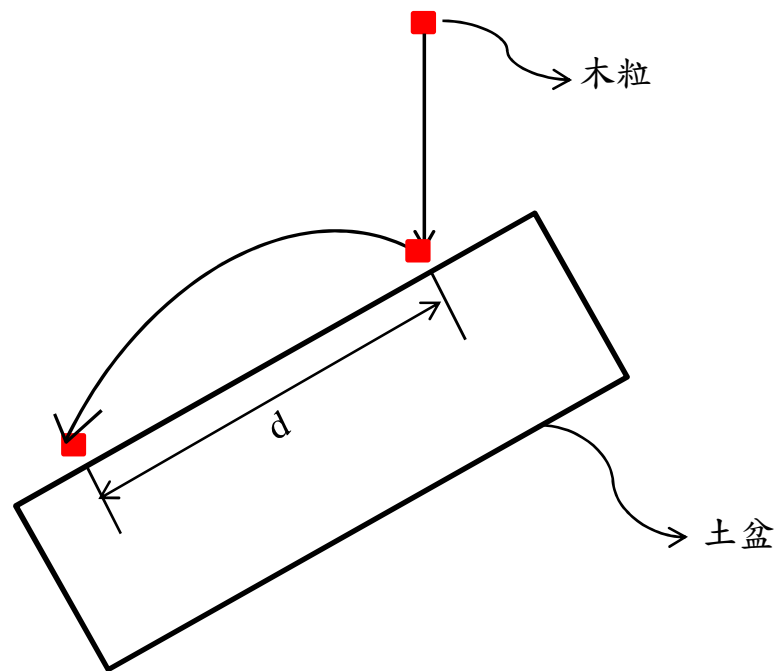


圖 4- 14 坡度較緩木粒噴飛距離式意圖 1。

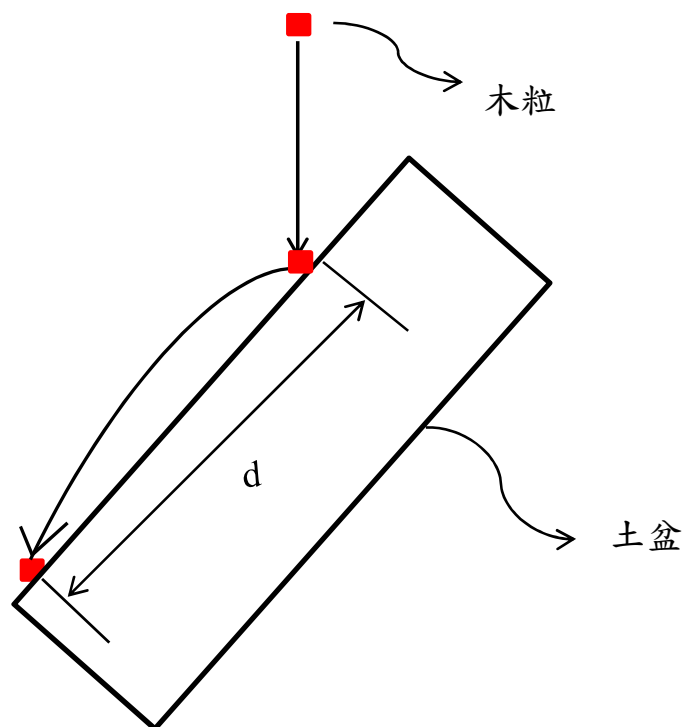


圖 4- 15 坡度較陡木粒噴飛距離示意圖 2

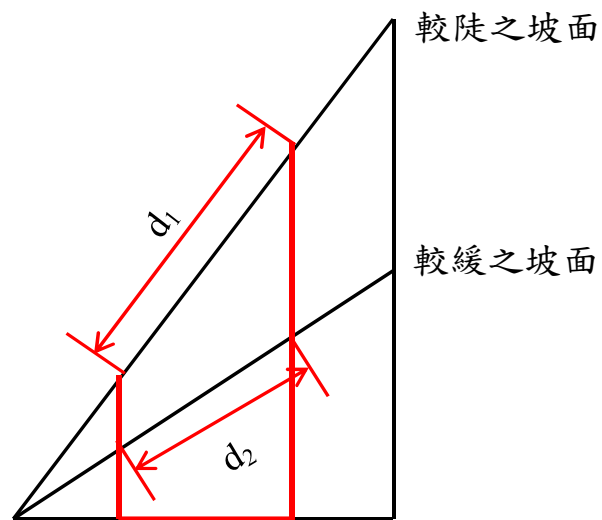


圖 4- 16 在相同投影長時不同坡度之噴飛距離($d_1 > d_2$)



圖 4- 17 木粒噴飛距離實際情形

表 4- 9 粒劑落於砂質土坡面之 d (n=1.01)

坡度(°)	高度(m)	形狀	d (cm)
20	3	長方體	38.5±10.5
		圓柱體	33.6± 8.9
		三角形	37.6±11.5
		半圓形	39.8± 9.6
	7	長方體	40.8± 8.8
		圓柱體	44.9± 9.7
		三角形	35.3± 8.9
		半圓形	37.8±12.4
25	3	長方體	43.5± 8.8
		圓柱體	38.5± 9.9
		三角形	40.2± 9.4
		半圓形	39.8± 7.6
	7	長方體	49.2± 5.4
		圓柱體	48.3±12.4
		三角形	46.7± 7.6
		半圓形	47.2± 5.6
30	3	長方體	44.5± 7.4
		圓柱體	30.5± 8.5
		三角形	39.5± 6.7
		半圓形	38.4± 9.5
	7	長方體	48.9± 8.9
		圓柱體	46.3± 7.6
		三角形	44.5± 5.5
		半圓形	44.8± 6.6

n：坡面表面粗糙度。

表 4- 10 粒劑落於砂質土坡面之 d (n=1.03)

坡度(°)	高度(m)	形狀	d(cm)
20	3	長方體	36.5± 4.8
		圓柱體	37.5± 9.5
		三角形	37.8± 5.5
		半圓形	34.5± 6.7
	7	長方體	40.5±5.6
		圓柱體	42.1±7.9
		三角形	38.8±6.4
		半圓形	37.6±8.4
25	3	長方體	44.5± 8.5
		圓柱體	39.8± 4.4
		三角形	44.6± 6.7
		半圓形	38.8± 8.5
	7	長方體	42.6±12.5
		圓柱體	39.8±6.6
		三角形	39.6±11.5
		半圓形	37.6±9.8
30	3	長方體	43.5± 5.9
		圓柱體	40.4± 6.8
		三角形	39.5± 5.9
		半圓形	38.6± 6.4
	7	長方體	40.8±9.8
		圓柱體	41.6±13.5
		三角形	40.6±8.4
		半圓形	43.4±9.5

n：坡面表面粗糙度。

表 4- 11 粒劑落於黏質土(紅壤)坡面之 d (n=1.01)

坡度(°)	高度(m)	形狀	d(cm)
20	3	長方體	38.9±6.6
		圓柱體	35.6±8.4
		三角形	34.3±7.6
		半圓形	33.4±8.8
	7	長方體	39.5±9.4
		圓柱體	41.1±12.4
		三角形	38.8±6.8
		半圓形	36.5±11.6
25	3	長方體	35.5±10.9
		圓柱體	36.6±9.8
		三角形	34.9±6.8
		半圓形	35.7±7.5
	7	長方體	43.5±7.8
		圓柱體	41.2±6.6
		三角形	38.6±10.8
		半圓形	39.6±9.9
30	3	長方體	33.6±6.4
		圓柱體	34.8±5.7
		三角形	39.5±8.9
		半圓形	34.6±6.4
	7	長方體	41.2±11.5
		圓柱體	43.8±12.4
		三角形	42.6±9.8
		半圓形	39.5±6.8

n：坡面表面粗糙度。

表 4- 12 粒劑落於黏質土(紅壤)坡面之 d (n=1.01)

坡度(°)	高度(m)	形狀	d(cm)
20	3	長方體	35.5±6.8
		圓柱體	36.9±9.8
		三角形	38.5±4.8
		半圓形	39.6±5.4
	7	長方體	38.5±9.4
		圓柱體	39.6±10.5
		三角形	34.8±11.6
		半圓形	39.5±6.5
25	3	長方體	39.5±4.6
		圓柱體	36.4±9.8
		三角形	34.5±6.8
		半圓形	33.6±7.8
	7	長方體	39.5±9.6
		圓柱體	40.5±6.9
		三角形	38.5±12.5
		半圓形	36.7±7.8
30	3	長方體	33.5±6.9
		圓柱體	32.4±5.8
		三角形	37.8±6.7
		半圓形	35.5±8.8
	7	長方體	42.5±9.6
		圓柱體	41.6±4.8
		三角形	39.8±6.4
		半圓形	36.6±7.9

n：坡面表面粗糙度。

第二節不同形狀植生粒劑落於坡面後之散佈範圍

此項目為量測不同形狀粒劑施撒於坡面後所分布之範圍長及寬，示意圖如圖 4-18 所示。由結果可算出粒劑於拋撒過後散布於坡面之面積，由於長方體與圓柱體於各條件下施灑，粒劑皆無法存留於坡面(試驗面積)上，因此無法計算；其他形狀粒劑計算過後的結果如表 4-13 及表 4-14 所示。本研究結果發現，粒劑灑播過程雖有些散佈面積較大，但殘留於坡面百分比比較小；而有些雖散佈面積較小但是殘留於坡面百分比卻較高的情形，形成較為集中或是非常稀疏的狀況，如坡度 25 度、拋灑高度為 7 公尺及 $n=1.01$ 時，三角柱的面積為 10200 cm^2 ，但殘留坡面百分比卻僅有 2.62%；而半圓柱則相反，面積較小但殘留坡面百分比卻較大。

相同條件下，「三角柱」及「半圓柱」兩種形狀粒劑灑播的坡面殘留率相近，若將殘留率 $\leq 5\%$ 的情況去除，本試驗可由下列八種情況來評估該兩種形狀植生粒劑灑於坡面之分布面積，以評估該兩種粒劑形狀之優劣：

1. 坡面為砂質土、坡度 20° 、拋灑高度 3 公尺、 $n=1.01$ 。
2. 坡面為砂質土、坡度 20° 、拋灑高度 7 公尺、 $n=1.01$ 。
3. 坡面為砂質土、坡度 30° 、拋灑高度 3 公尺、 $n=1.01$ 。

4. 坡面為砂質土、坡度 30° 、拋灑高度 7 公尺、 $n=1.03$ 。
5. 坡面為黏質土、坡度 20° 、拋灑高度 3 公尺、 $n=1.01$ 。
6. 坡面為黏質土、坡度 20° 、拋灑高度 7 公尺、 $n=1.01$ 。
7. 坡面為黏質土、坡度 25° 、拋灑高度 7 公尺、 $n=1.01$ 。
8. 坡面為黏質土、坡度 30° 、拋灑高度 3 公尺、 $n=1.01$ 。

以上情況中灑播面積有差異較大情況為：

1. 坡面為砂質土、坡度 25° 、拋灑高度 3 公尺、 $n=1.03$ 的條件下，半圓柱比三角柱粒劑的撒播面積高出 1500 cm^2 。
2. 坡面為黏質土(紅壤)、坡度 20° 、拋灑高度 7 公尺、 $n=1.01$ 的條件下，半圓柱比三角柱的面積高出 800 cm^2 。
3. 坡面為黏質土(紅壤)、坡度 25° 、拋灑高度 7 公尺、 $n=1.01$ 的條件下，半圓柱比三角柱的面積高出 900 cm^2 。由以上三種情況下，可得知在相同條件，「半圓柱」粒劑落於坡面後的散佈面積較「三角柱」粒劑顯著高。

試驗結果顯示未來邊坡植生撒播時，「半圓柱體」粒劑可能使得植生範圍將較為廣泛。

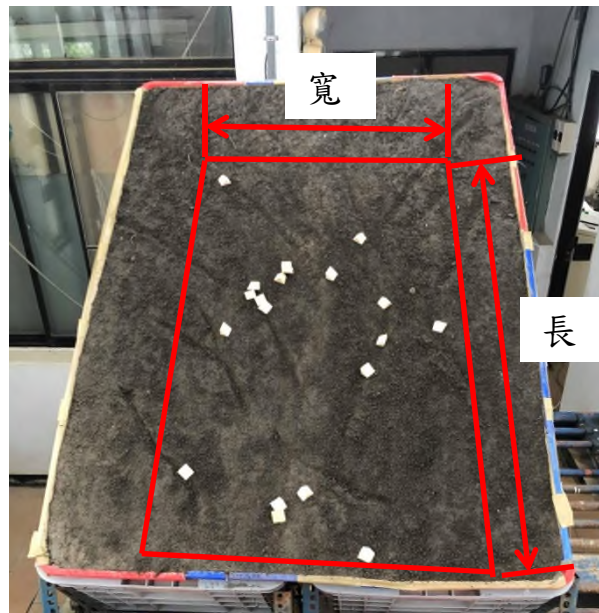


圖 4- 18 粒劑散佈長寬示意圖。

表 4- 13 砂土各試驗之粒劑散佈長寬

坡 度 (°)	拋 撒 高(m)	粗 糙 度 (n)	形 狀	散 佈 長 寬 (cm)		面積 (cm ²)	殘留於 試 驗 坡 面 百 分 比(%)
				長	寬		
20	3	1.01	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	110	87	9570	15.6
			半圓柱	110	80	8800	12.5
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	60	80	4800	6.05
			半圓柱	100	85	8500	9.13
	3	1.03	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	116	80	9280	13.9
			半圓柱	120	90	10800	23.8
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	110	70	7700	6.9
			半圓柱	100	85	8500	8.4
25	3	1.01	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	115	76	8740	4.86
			半圓柱	110	76	8360	9.08
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	120	85	10200	2.62
			半圓柱	115	86	9890	9.12
	3	1.03	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	110	75	8250	5.2
			半圓柱	90	70	6300	9.5
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	90	45	4050	1.9
			半圓柱	100	45	4500	4.0

30	3	1.01	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	75	85	6375	1.79
			半圓柱	80	110	8800	2.21
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	0	0	0	0
			半圓柱	0	0	0	0
	3	1.03	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	95	60	5700	6.0
			半圓柱	90	60	5400	5.0
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	50	45	2250	0.9
			半圓柱	30	35	1050	0.5

表 4- 14 紅壤各試驗之粒劑散佈長寬

坡 度 (°)	拋 撒 高(m)	粗 糙 度 (n)	形 狀	散 佈 長 寬 (cm)		面積 (cm ²)	殘留於 試 驗 坡 面 百 分 比(%)
				長	寬		
20	3	1.01	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	113	84	9492	10.3
			半圓柱	115	86	9890	14.0
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	96	86	8256	7.4
			半圓柱	107	88	9416	10.2
	3	1.03	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	98	82	8036	17.2
			半圓柱	111	91	8991	19.3
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	120	68	8160	7.0
			半圓柱	109	76	8284	6.4
25	3	1.01	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	111	74	8214	6.8
			半圓柱	107	72	7704	9.5
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	93	77	7161	5.5
			半圓柱	98	84	8232	5.2
	3	1.03	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	120	72	8640	5.7
			半圓柱	102	83	8466	7.2
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	110	79	8690	4.4
			半圓柱	100	67	6700	5.2

30	3	1.01	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	92	69	6348	5.9
			半圓柱	107	72	7704	6.9
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	81	44	3564	1.8
			半圓柱	92	73	6716	2.4
	3	1.03	長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	120	63	7560	1.4
			半圓柱	107	75	8025	3.1
	7		長方體	0	0	0	0
			圓柱體	0	0	0	0
			三角柱	47	33	1551	0.9
			半圓柱	108	80	8640	2.1

第三節 無人載具撒播設備教學

本試驗已於民國一〇九年三月十九日完成無人載具撒播設備教學，地點位於國立屏東科技大學行政中心前草地。



表 4- 15 無人載具撒播設備教學

第四節 現地以粒劑噴植與覆蓋率

本試驗之功能化植生粒劑於民國一〇九年八月十六日製造完成，其比例為生物炭：肥料＝1: 3，並在攪拌時混分別混入百慕達草、百喜草及黑麥草三種種子，混入粒數約為每種種子於每公斤粒劑 30,000 粒，倒入造粒機後進行造粒(圓柱體)後，再進行加工使粒劑變為半圓柱體，如圖 5-1 所示，每顆粒劑約為 1 公克，推估每粒粒劑中約含有

種子 90 顆種子，每種種子約 30 顆。



圖 4- 19 功能化粒劑。

本試驗於民國一〇九年九月一日進行無人機(規格如圖 4-20 所示)撒播，地點位於國立屏東科技大學水土保持系系館旁草皮。

規格表

機架		避障系統	
機軸距	1500 mm	可感知範圍: 1.5 - 30 m	
單臂長度	619 mm	(會因目標物體的材質、位置、形狀等不同而有所差異)	
外型尺寸	MG-1P: 1460×1460×578mm(機臂展開, 不含螺旋槳) 780×780×578mm(機臂摺疊)	使用條件: 飛行器飛行相對高度高於1.5 m 且速度小於 7 m/s	
飛行參數		安全距離: 3 m	
總重量(不含電池)	9.7 kg	避障方向: 根據飛行方向實現前後避障	
機架起飛重量	23.8 kg	動力電池	
最大有效起飛重量	24.8 kg (海平面附近)	型號	MG-12000P
最大推重比	1.71 @ 23.8 kg 起飛重量	重量	4.0 kg
最大功耗	6400 W	放電率	20 %
懸停功耗	3800 W @ 23.8kg 起飛重量	容量	12,000 mAh
*懸停時間為海平面附近、風速小於3m/s環境下測得, 僅供參考		電壓	44.4 V
最大作業飛行速度	7 m/s	遙控器	
最大飛行速度	12 m/s (P & F 模式, with GPS), 15 m/s (A模式)	型號	GL300N
最大起飛海拔高度	2000 m	工作頻率	2.400 - 2.483 GHz
推薦工作環境溫度	0 至 40°C	信號有效距離	5 km
噴灑系統		(無干擾、無阻擋)	
液體作業箱		顯示裝置	5.5英寸螢幕, 解析度1920x1080, 亮度1000 cd/m2, Android系統, 系統記憶體4G RAM + 16G ROM
容積	10 L	工作功耗	16W
標準作業載荷	10 kg	工作環境溫度	-10 - 40°C
電池安裝位置尺寸	151×195×70 mm	充電溫度	5 - 40°C
噴頭		遙控器智能電池	
型號	XR11001VS	型號	WB37-4920 mAh-7.6 V
數量	4	電池類型	鋰離子電池
高精度雷達模組		容量	4920 mAh
型號	RD2412R	電壓	7.6 V
高度測量範圍	1-30 m	能量	37.39 Wh
定高範圍	1.5 - 3.5 m	充電環境溫度	5 - 40°C
測定精度	< 10 cm		

圖 4- 20 無人機及撒播器具之規格

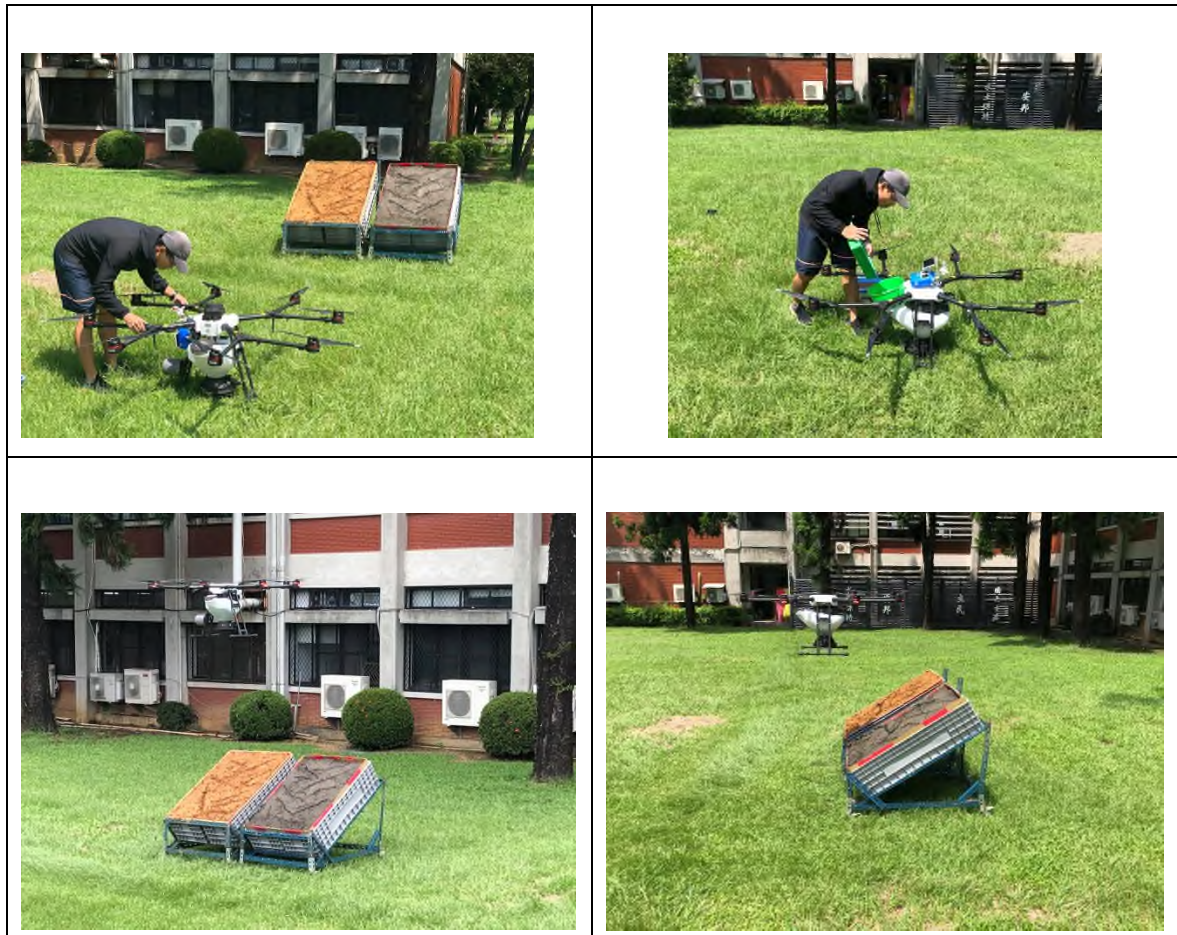


圖 4- 21 使用無人撒播功能性粒劑之情況。

1. 功能化粒劑留於坡面之百分比

本試驗利用無人機拋灑機器之開口(80°)及拋灑距離(3.5m)，估算其拋灑總面積(5.34m^2)及各坡面(2m^2)之比例，再利用每粒粒劑之重量推算留於坡面的重量(紅壤約 1.25 kg、砂土約 1.0 kg)，估算其粒劑留於「目標坡面面積內 (4m^2)」的百分比分別為，紅壤：66.8%及砂土 53.5%。

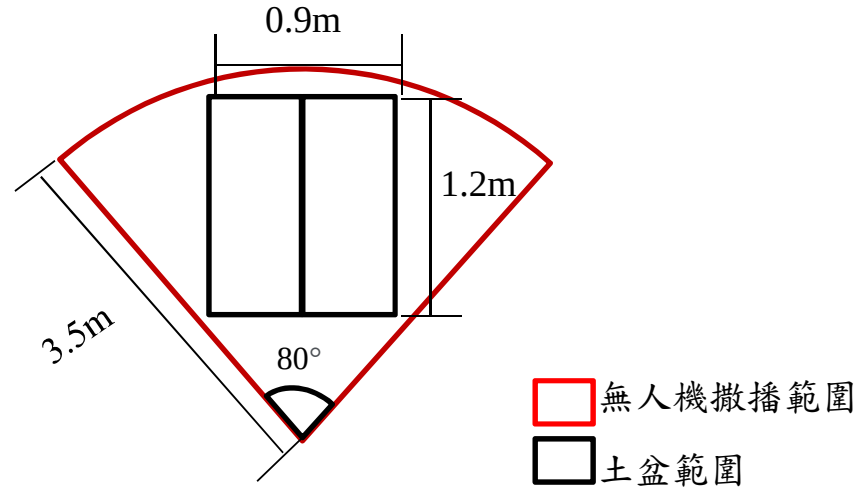


圖 4-22 無人機撒播範圍示意圖

2. 覆蓋率評估

本試驗於拋灑後第 1、3、7、14、28、35、42、49 及 56 天利用相機固定距離拍攝照片，並利用影像辨識軟體 ImageJ (1.53e Ver., National Institutes of Health, NIH, USA)判斷坡面植生覆蓋率(表 4-16、圖 4-23 及圖 4-24)。植生期間，團隊於每天 8:30 AM 及下午 4:30 PM 澆灌水分，使坡面土壤保持濕潤。澆灌水量每次約 1500 mL，並將土盆分為上中下三個部分，在早上澆水後 10 分鐘後及下午澆水前量測土壤水分含量，每 10 天記錄一次，結果如圖 4-22 所示。

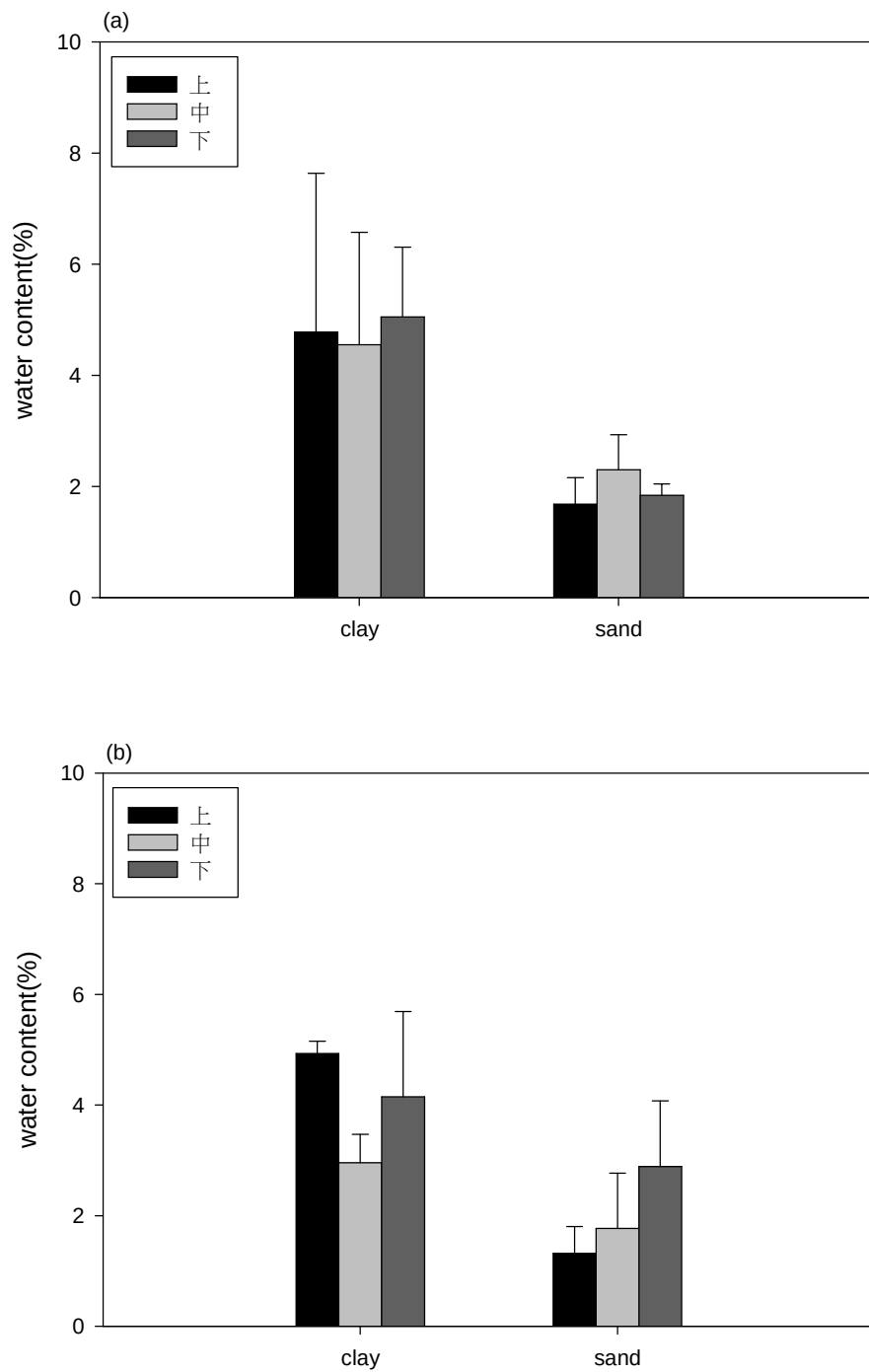


圖 4- 23 不同土壤澆水前後土壤含水量之比較
(圖 a 為澆水後，圖 b 為澆水前)。

由圖 5-2 可知第 14-21 天間其覆蓋率增加較多，推測原因為種子大多於這期間發芽成長，因其後續天數中每星期增加的覆蓋

率約為 1-2%，並沒有像 14-21 天間相同的情況。最終，於第 56 天，兩種坡面的覆蓋率分別是紅壤為 22.7%及砂土 16.3%，兩者間差異原因為粒劑留於坡面百分比的差別，以及砂土較紅壤不易保持水分導致。

表 4- 16 不同土壤的覆蓋率變化

天數	覆蓋率(%)	
	紅壤	砂土
1	0	0
3	0.6	0.5
7	0.7	0.7
14	1.2	1.0
21	9.1	6.2
28	14.6	9.5
35	17.8	13.5
42	20.4	15.6
49	22.6	16.0
56	22.7	16.3

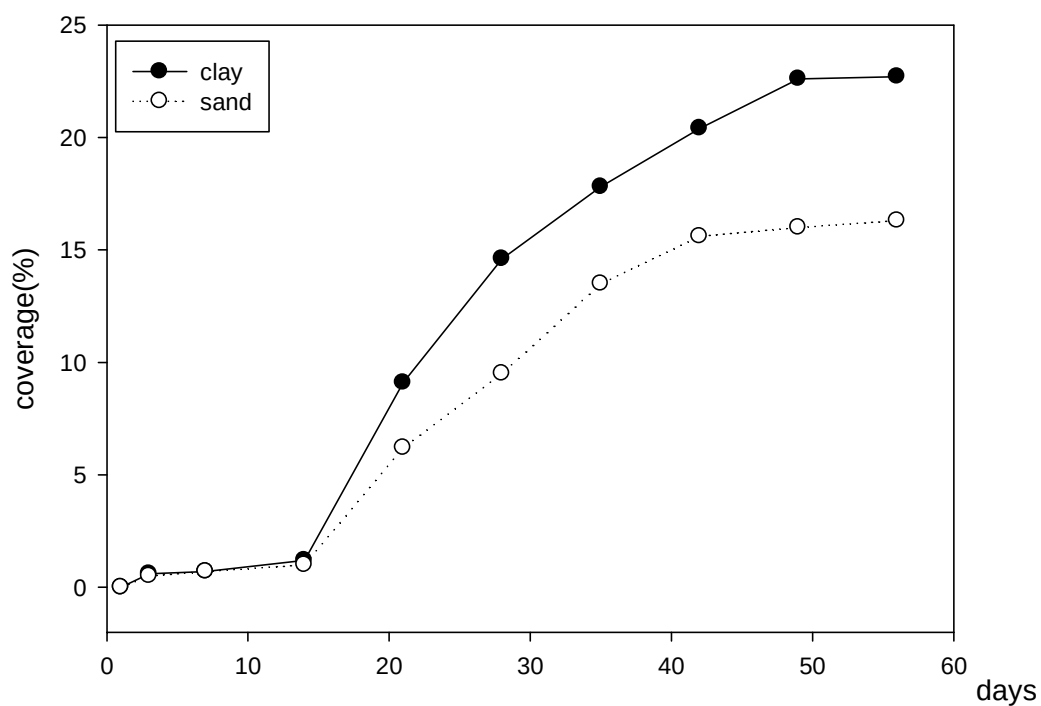


圖 4- 24 不同土壤覆蓋率之變化。

天數	紅壤	砂土
1	 A rectangular tray filled with reddish-brown soil. The surface is uneven and shows numerous small, dark, irregular cracks and fissures, indicating some initial drying or cracking.	 A rectangular tray filled with dark, almost black, soil. The surface is relatively smooth but shows some faint, irregular cracks and a slightly uneven texture.
3	 A rectangular tray filled with reddish-brown soil. The surface is highly textured and shows a dense network of dark, irregular cracks and fissures, indicating significant drying or cracking compared to day 1.	 A rectangular tray filled with dark, almost black, soil. The surface is relatively smooth but shows some faint, irregular cracks and a slightly uneven texture, similar to the day 1 sample.

7



14



21



28



35



42



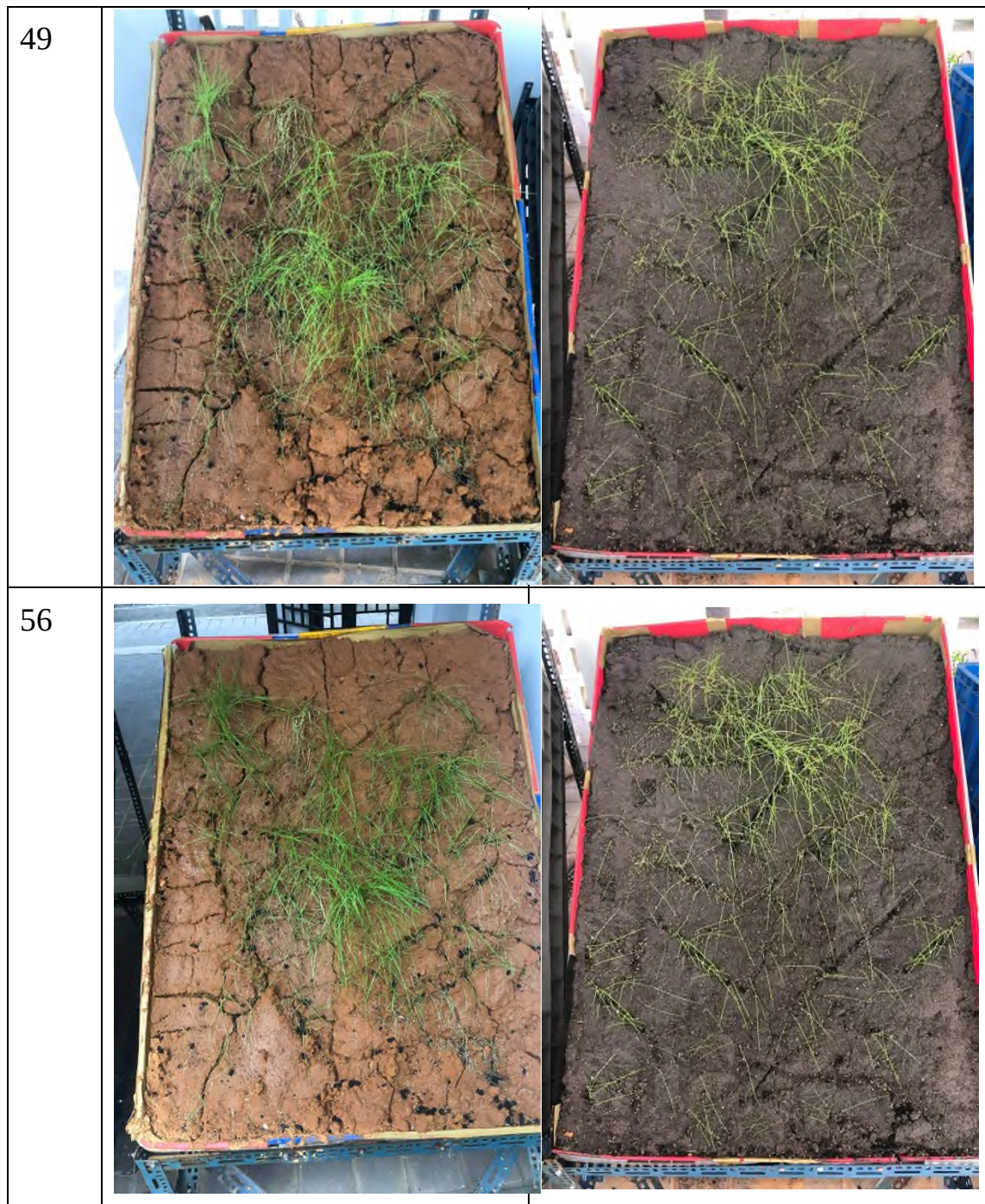


圖 4- 25 兩種土壤之覆蓋率變化。

3. 生長勢比較

本試驗於拋灑後第 1、3、7、14、28、35、42、49 及 56 天分別量測生長勢，其方法為於坡面生長之植物中隨機挑選三株後固定量測。其結果如表 5-3 所示。約在第 14 至 28 天植生的生長勢有較明顯的成長而在第 35 天過後其生長勢並沒有明減增加，其增加量則減至 1-2 cm。

表 4- 17 各天數生長勢的比較

天數	生長勢(cm)	
	紅壤	砂土
1	0	0
3	0.20±0.04	0.21±0.03
7	0.55±0.10	0.87±0.34
14	0.68±0.21	1.24±0.33
21	3.81±1.61	4.42±2.35
28	10.5±3.33	9.87±2.48
35	16.6±3.75	18.3±2.55
42	17.5±3.13	19.0±2.70
49	17.7±2.88	19.1±2.56
56	18.2±2.47	19.2±2.42

4. 效益評估計算

本試驗將傳統人工噴植工法以及此次無人機撒播工法進行成本比較，其中此工法之生物炭及田寶 11 號的假設所需量由本試驗每平方公尺所需量推估，於試驗中 4m² 的坡面所撒撥的功能性粒劑為 1.5kg 之生物炭及 4.5kg 之田寶 11 號混和造粒而成，其結果如表 4-18 所示。

由表 4-18 可知在相同施用面積的狀況下，使用無人機撒播的成本較傳統人工噴植低，且於施作時不需由人力至坡面操作，只需要在坡腳或坡頂上操作無人機撒播即可，危險性大幅度降低，但於施作前須先進行造粒，準備天數較長。而且撒播過後留於坡面的功能性粒劑多寡將會直接影響其發芽率，這個方面傳統人工噴植則可以避免，因其覆蓋物(肥料及生物炭)及種子皆是直接黏著於坡面。

表 4- 18 成本比較分析

工法	材料品項	價錢	假設所需量	面積 0.1ha 工程 總成本分析
傳統人工噴植	生物炭	10 元/kg	$700\text{kg/m}^3 \times 30\text{m}^3 = 23,100\text{kg}$	$10 \text{ 元/kg} \times 23,100\text{kg} +$ $10 \text{ 元/kg} \times 46,200\text{kg} +$ $500 \text{ 元/kg} \times 30\text{kg} +$ $1,000 \text{ 元 / 人}$ $/\text{hr} \times 8\text{hr} \times 13 \text{ 人} +$ $5 \text{ 元/m}^2 \times 1,000\text{m}^2 +$ $20 \text{ 元/支} \times 4,000 \text{ 支} +$ $400 \text{ 元/kg} \times 30\text{kg} =$ 909,000 元
	田寶 11 號	10 元/kg	$1540 \text{ kg/m}^3 \times 30\text{m}^3 = 46,200\text{kg}$	
	種子	500 元/kg	$1 \text{ kg/m}^3 \times 30\text{m}^3 = 30\text{kg}$	
	工人 (含噴植機具)	1,000 元 / 人/hr	8hr×13 人	
	菱形鐵絲網	5 元/m ²	1,000m ²	
	鉚釘	20 元/支	$4 \text{ 支/ m}^2 \times 1,000 \text{ m}^2 = 4,000 \text{ 支}$	
	抗沖蝕劑 (DP-850)	400 元/kg	$1 \text{ kg/m}^3 \times 30\text{m} = 30\text{kg}$	
無人機撒播	生物炭	10 元/kg	$0.375 \text{ kg/m}^2 \times 1000 \text{ m}^2 = 375\text{kg}$	$10 \text{ 元/kg} \times 375\text{kg} +$ $10 \text{ 元/kg} \times 1,125\text{kg} +$ $500 \text{ 元/kg} \times 26\text{kg} +$ $20,000 \text{ 元/天} \times 3 \text{ 天} +$ $2,000 \text{ 元/天} \times 25 \text{ 天} +$ $160 \text{ 元/人/hr} \times 8 \text{ 人}$ $\times 200\text{hr} =$ 394,000 元
	田寶 11 號	10 元/kg	$1.125 \text{ kg/m}^2 \times 1000 \text{ m}^2 = 1,125\text{kg}$	
	種子	500 元/kg	$0.026\text{kg/m}^2 \times 1000 \text{ m}^2 = 26\text{kg}$	
	無人機租借 (含操作人員)	20,000 元/ 天	3 天	
	造粒機租借	2,000 元/ 天	25 天	
	臨時人員	160 元/人 /hr	8 人×200hr	

第五章 結論與建議

1. 功能化植生粒劑(functional seedling materials)灑播結果顯示，各形狀粒劑在坡面為砂質土時之殘留率約為 2%-16%。將粗糙度提高後則殘留率可達 24%，其中以半圓柱在高度為 3 公尺拋撒至 20° 坡(n=1.03)時最好，坡面殘留率為 23.8%；相同條件下，三角柱殘留率為 14%。坡面為黏質土(紅壤)時，殘留於坡面百分比約為 1.8%-14%，而粗糙度提高後可至 20%，其中半圓柱在高度為 3 公尺時拋撒至 20° 坡(n=1.03)時最好，坡面殘留率為 19.3%，在相同情況下三角柱為 17.1%。因此，在四種粒劑形狀中，本計畫建議以「半圓柱體」為佳。
2. 坡度提升後，無論坡面粗糙度，植生粒劑殘留率皆顯著減少，於 30° 之坡度時接近臨界值，殘留率皆小於 2%，顯示該粒劑噴灑方法較適用於坡度<30° 之邊坡。
3. 由粒劑噴飛距離試驗得知，於相同環境條件下，以半圓柱體粒劑之噴飛距離為最短，三角柱體次之，而圓柱體及長方體相近，皆較其他兩種形狀噴飛距離較長，顯示圓柱體及長方體較不易殘留於坡面。
4. 試驗結果可得知拋撒高度 3 公尺較 7 公尺較適合；於 3 公尺拋撒粒劑於坡面之殘留率較 7 公尺顯著高。此外，粒劑噴飛距離在同樣的坡度下拋撒高度 3 公尺亦具較短之噴飛距離。
5. 本試驗運用無人機現地噴灑植生粒劑試驗顯示，即便控制閘門方向及開口，仍無法有效明確控制粒劑拋灑範圍，主要由於無人機的螺旋槳造成的風壓使粒劑噴灑範圍受到影響。

6. 現地無人機噴灑植生粒劑試驗顯示，如以受噴面積回推粒劑留存量與覆蓋率，回推之坡面覆蓋率約為 28~30% (8 週)，建議未來須更長時間觀察植生生長情形。
7. 於相同施作面積下，雖無人機撒播準備材料的天數較長，但於成本及操作危險程度皆明顯較傳統人工噴植低出許多，仍為可於未來作為節省成本與人力之創新方法，然而，未來仍可持續研究裡劑資材與條件以加強植生粒劑於坡面之殘留率與發芽率。

參考文獻

1. 王兆鳳、徐連魁(1985)，「飛機播種造林技術的研究」，林業科學，第 21 卷，第 1 期，第 1-9 頁。
2. 李元智、李錦浚、黃育珍、張禎驩(2007)，「不同噴植植生工法應用於道路邊坡之研究」，水土保持學報，第 39 卷，第 2 期，第 201-215 頁。
3. 林信輝(2001)，「水土保持植生工程」，高立圖書有限公司，臺灣，227-229. (Lin, S.H. (2001). Vegetation engineering in soil and water conservation, GauLih Book Co. Ltd., Taiwan, 227-229 ,Taiwan, ROC. (in Chinese))
4. 林俊男(2008)，「我國航空植生資源及經營策略探索性研究」，開南大學空運管理學系，碩士論文。
5. 洪啟盛(2003)，「崩塌地鋪網噴植施工後植群特性之研究」，國立中興大學水土保持學系，碩士論文。
6. 徐文義(2008)，「鋪網噴植應用於山區道路邊坡保護效果之探討」，國立屏東科技大學水土保持系碩士論文。(Hsu, W.I. (1992). Study of Hydroseeding Applied on the Mountain Road Hillslope Conservation Effectiveness, Master thesis, National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan, ROC. (in Chinese))
7. 陳樹群、王士豪、林俊岳、陳駿豪(2008)，「不同類型人造被覆資材抑制坡地沖蝕之成效分析」，中華水土保持學報，39(3)，289-302。(Chen,S.C., Wang,S.H.,Lin,J.Y., and Chen,C.H. (2008) “The Efficiency of Artificial Geo-Textiles for Hillslope Erosion Control.” Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 39(3), 289-302, Taiwan, ROC. (in Chinese))
8. 劉哲欣、吳亭燁、陳聯光、林聖琪、林又青、陳樹群、周憲德(2011)，

- 「臺灣地區重大岩體滑動案例之土方量分析」，中華水土保持學報，第 42 卷，第 2 期，第 150-159 頁。
9. 賴睽翔(2009)，「崩塌地噴植地區植物初期生長對入侵演替機制影響之研究」，國立中興大學水土保持學系，碩士論文。
 10. 詹勳全、張嘉琪、陳樹群、魏郁軒、王昭堡、李桃生。2015。臺灣山區淺層崩塌地特性調查與分析。中華水土保持學報，46(1): 19-28。
 11. 簡慶德、陳舜英、游漢明(2014)，「臺灣山區崩塌地林木種子直播造林作業的新思維」，林業研究專訊，第 21 卷，第 4 期，第 15-19 頁。
 12. 簡士濠(2017)，「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」，行政院農業委員會水土保持局，創新研究計畫。
 13. 蘇煒哲(2007)，「坡度影響地表逕流與土壤沖蝕之探討」，國立中興大學水土保持系碩士論文。(Su, W. J.(2007). Effect of Slope on Surface Runoff and Soil Erosion, Master thesis, National Chung Hsing University, Taiwan, ROC. (in Chinese))
 14. 塩見義郎(2009), "有關荒廢山地、崩壞地綠化，空中播種工法〃綠化實例".
 15. Ahn T. B., Cho, S.D. and Yang, S.C.(2002), “ Stabilization of soil slope using geosynthetic mulching mat.” Geotextiles and Geomembranes, 20, 135-146.
 16. American Society of Testing, Materials (ASTM), 2008. Standard index test method for determination of unvegetated Rolled Erosion Control Product (RECP) ability to protect soil from rain splash and associated runoff under bench-scale conditions. Annual Book of ASTM Standards, D7101-08.
 17. American Society of Testing, Materials (ASTM), 2012. Standard Test

- Method for Determination of Rolled Erosion Control Product (RECP) Performance in Protecting Earthen Channels from Stormwater-Induced Erosion¹. Annual Book of ASTM Standards, D6460-12.
18. Auerswald, K., Kainz, M., Fiener, P.(2003), “Soil erosion potential of organic versus conventional farming evaluated by USLE modelling of cropping statistics for agricultural districts in Bavaria” Soil Use and Management. 19, 305-311.
 19. Balan, K, and VenkatappaRao, G. (1996), “Erosion control with natural geotextiles. In:Rao.” The sianSocietyfor Environmental Geotechnologyand CBIP, New Delhi, 317-325.
 20. Blake, G.R., and K.H. Hartge. 1986. Bulk density. In A. Klut et al.(ed.) Methods of soil analysis, Part 1. Physical and Mineralogical methods- Agronomy monograph No. 9. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA., 363-375.
 21. Gee, G.W., and Bauder, J.W.(1986). Particle-size analysis.p. 383-411.In A. Klute(ed.) Methods of Soil Analysis, Part 1. 2nd ed. Agron.Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, USA.
 22. Kemper, W.D. and Rosenau, R.C.(1986), Aggregate stability and size distribution. 524-441. In A. Klute(ed.) Methods of soil analysis.Part 1.2nd ed. Agron.Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
 23. McLean, E.O., 1982. Soil pH and lime requirement. In: Page, A.L., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed. Agronomy Monograph, vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 199–224.
 24. Nelson, D.W., Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed. Agronomy Monograph, vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, 539-577.

附錄一、計畫提審時之審查意見及回復

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	有關計畫書格式及經費審查部分: 1.經整體預算審查及調整，本計畫請於補助經費630,000元內調整編列。 2.執行期限請修正為自109年2月6日至109年12月31日。(10.8個月) 3. 執行人同為計畫主持人(不宜填校長)。 4. 六(七)預期效益:(1)請改以新表格查填。(2)為利未來業務應用及呈現本計畫效益，請評估、查填預期效益中「技術應用面」、「學術創新面」、「制度及其他面」所列指標(建議評估、查填各1項以上) 5. 「11-00薪俸」：(1)請註明待聘人員之「職級、年資」。(2)請以預算明細表補充說明。 6. 「23-00按日按件計資酬金」：(1)請補列主持人費(10.8月)。 7. 「25-	有關計畫書格式及經費審查部分: 1.感謝委員意見，已經將整體預算重新調整(其補助經費編列 630,000 元內)。 2. 感謝委員意見，已將執行期限請修正為自 109 年 2 月 6 日至 109 年 12 月 31 日。 3.感謝委員意見，已將執行人更改。 4.感謝委員意見，已將(七)預期效益改以新表格查填，並已查填預期效益中「技術應用面」、「學術創新面」、「制度及其他面」所列指標。 5.感謝委員意見，已於「11-00薪俸」說明欄內，補充註明待聘人員之「職級、年資」及預算明細說明。 6.感謝委員意見，已於「23-00 按日按件計資酬金」補列主持人費。 7.感謝委員意見，已於「25-00 物

項次	審查意見	回覆辦理情形
	00物品」：所列物品，請細分量化說明。 8. 「26-10雜支」：各階段報告書(彩色印刷)提交數量，期初執行計畫10冊、期中報告5冊、期末報告5冊、成果報告5冊。 9. 「26-20行政管理費」：(1)請按計畫經費總額(不含行政管理費)之10%調整計算。(2) 行政管理費之「代號」請修正為「26-20」。	品」細分說明。 8.感謝委員意見，已於「26-10 雜支」補充「各階段報告書(彩色印刷)提交數量，期初執行計畫 10冊、期中報告 5 冊、期末報告 5 冊、成果報告 5 冊」。 9.感謝委員意見，已於「26-20 行政管理費」重新調整行政管理費，並將行政管理費之「代號」請修正為「26-20」。
二	為配合本局業務需求，計畫內容建議調整(或納入後續執行評估參考)部分：1. 植生粒劑「組成」、「形狀」，請朝作業標準化、製程規格化努力，以利導入未來業務應用。 2. 室內之植生復育試驗，有其必要性，惟應確立試驗設計方法，以說明試驗目的及通用之分析方法。 3.針對試驗使用之草種建議可增加種類，進行功能化植生粒劑之適合評估。 4.建議對不同土壤坡面去測	為配合本局業務需求，計畫內容建議調整(或納入後續執行評估參考)部分：1.感謝委員意見，本計畫將先以室內試驗(投擲試驗)確認 3 種形狀粒劑於坡面上以何者之立地穩定性最佳；並依據此形狀進行坡面栽植試驗，並朝向標準化製作程序為方向建議。 2.感謝委員意見，本計畫之室內之植生復育試驗，將會於期中、末報告建立標準試驗設計。分析項目為植生粒劑分解率、投擲

項次	審查意見	回覆辦理情形
	試。	效益、草種發芽率及生長勢、發芽覆蓋率皆依據水土保持手冊或國際建議之標準建議方法進行。 3.感謝委員意見，本計畫預計僅選用百慕達草及黑麥草作為試驗對象，以供未來功能植生粒劑之適合評估。 4.感謝委員意見，本計畫之室內植生復育試驗，所採用之坡面坡度為 40 度(六級坡)進行測試。同時，將增加一坡度：25 度(五級坡)做測試。

附錄二、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	本計畫擬研發功能化的植生粒劑，利用載具(如無人載具)將其撒播在邊坡上，以進行植生復育，具實用性，值得肯定。	謝謝委員肯定。
二	功能化之植生粒劑，如何在邊坡上安全穩定的固著至為重要。需考量問題有邊坡太陡容易滾落、降雨易沖落、風太大容易吹走等。	感謝委員意見，目前已進行拋灑實驗，其結果已發現在坡度為25度為極限，於30度時木粒沒有殘留在坡面上。
三	台灣部份地區(例如南部)，有時長時間不下雨，特別是氣候變遷下的極端降雨尤甚，旱澇現象顯著。本計畫請考量長期不下雨，植生所需水份的問題。	感謝委員意見，如有水分問題也可以利用無人機進行灑水作業，以保持植生所需水分。
四	本計畫建議先設試驗區，在試驗區中，克服各項問題，確保可達成本計畫之目標，再提出標準作業程序(S.O.P)。	感謝委員意見，已有利用木粒進行試驗後，找出最佳形狀並著手製作該形狀之粒劑，其所一開始準備之S.O.P是為確定是驗流程所訂定。
五	本計畫循序漸進達成目標後，未來可以嘗試複式撒播，例如先撒播草種粒劑，等草長得不錯，再進行撒播灌木種的粒劑。	感謝委員意見，本計畫先行試驗此粒劑是否可行，爾後可再行將木本植物種子加入其中。

項次	審查意見	回覆辦理情形
六	本案係以木塊加工切割之塊體，模擬植生團粒撒播後之滾落情況，惟此處木塊之尺寸(p18)與團粒尺寸(P6)差距2倍以上，重量若亦不同，模擬結果能否反映真實情況，請說明。	感謝委員意見，木塊與團粒只有尺寸上的不同，其重量為相近的，而也有利用原本使用的圓柱體粒劑，其試驗結果相近。
七	粒劑尺寸、UAV之相對效能及可撒播範圍宜加以說明，並補充條件限制。	感謝委員意見，本團隊將補入期末報告中。
八	粒劑之植生效益目前是以植栽盆加以測試，此與山坡地所處條件仍有異(例如邊坡之覆土及坡度等)，宜加強探討影響粒劑固著等因素。	感謝委員意見，本計畫進行在不同形狀及坡度下進行試驗，探討粒劑殘留於坡面的多寡，以便後續便於選擇較容易留於坡面的形狀。
九	計畫中強調加強植生粒劑的輕量化功能，建議比較本計畫製作出植生粒劑與其他植生粒劑之重量差異。	感謝委員意見，因目前階段並無製造出新形之粒劑，因此還無法比較其重量，待製造完成後會進行說明。
十	文獻蒐集建議按照年份排序。2017 年之水土保持手冊(p13)，以及如後之2017 年水土保持手冊植生篇(p15)是否為同冊文獻。	感謝委員意見，已經將其統整。
十一	建議比較各文獻提及之植生粒劑與本次計畫改良植生粒劑功能的差異性，以彰顯本研究特色或效益。	感謝委員意見，本次研究計畫之植生粒劑還尚未完全研究開發完成，與現行植生粒的差異性將在期末報告補足。

項次	審查意見	回覆辦理情形
十二	計畫提審時之審查意見及回復情況，未附於本工作執行計畫書，請補充於各期報告附錄。	感謝委員意見，已於附錄補上。

附錄三、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	本期中報告書已針對計畫之背景和目的、前人(包括其本人)研究；工作執行方法與步驟，乃至部分完成的結果，例如功能化植生粒劑之物理及化學性質進行設計，並在不同高度和坡度上進行拋灑測試，且初步得到成果，值得肯定。	感謝委員肯定。
二	功能化植生粒劑拋灑在邊坡上，再生長固著之前仍可能會遭到大雨、逕流、乃至大風沖(吹)移，建議研究團隊對此設法克服。	感謝委員意見，目前團隊只進行到室內拋灑試驗，未來在製作粒劑時會考慮添加黏著劑增加其在坡面上的殘留率。
三	功能化植生粒劑之測試，尚未進入實際之邊坡以及成長和固著的階段，建議研究團隊未來能夠設法完成。	感謝委員意見，目前本團隊本期進度只進行到室內試驗，望未來可實行現地試驗。
四	內文所提到之參考文獻部分補正，如P1-1陳聯光等(2011)、P1-3李元智等(2007)、簡士濠等人(2017)均未見於參考文獻內。	感謝委員意見，已於內文中補上。

項次	審查意見	回覆辦理情形
五	P2-2圖2-3所述之粒劑重量，P2-4每100顆粒劑包埋至少5000顆草籽，與P2-6 2公斤植生粒劑(約750顆粒計共包含20000顆種子)數量似不符？	感謝委員糾正，已重新計算並更正，2公斤植生粒劑約為750顆供包含35000顆種子。
六	P2-21圖中，應為百喜草	感謝委員糾正，已於報告中修正。
七	P5-1結論7，拋灑範圍較大可建議以長方體或圓柱體，反之則以半圓體及三角柱，此推論如何得知，請補充說明。	感謝委員意見，由結果與討論第二點「木粒落於坡面後噴飛距離」的結果整理後可得知，圓柱及長方體期噴飛距離皆較半圓體及三角柱長，因此推測此結果。
八	P2-6似有漏字，勞請再注意。	感謝委員意見，已於期末報告中校正筆誤。
九	想請問每次拋灑不同狀木塊數量是否相同？其各項百分比為殘留重量百分比亦或是殘留木塊數量百分比呢？假定每顆木塊包含種子數量相當，若木塊重量不相當，則使用重量進行不同坡度、形狀、及高度木粒殘留於坡面百分	感謝委員意見 1. 木塊數量不同，但重量相同 2. 坡面殘留百分比為重量百分比 3. 木塊拋灑試驗僅要預估其不同形狀的粒劑殘留於坡面之百分比，感謝委員提

項次	審查意見	回覆辦理情形
	比是否能反映真實情況需再進行考量。	出不同參數，未來可考慮加入試驗中討論。

附錄四、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	UAV灑播植生高度設定為三公尺，實務上UAV操作是否可行？	感謝委員意見，詢問UAV操作人員，如現地為無灌木或喬木，其飛行高度可行。
二	成果良好，UAV的操作方式需現地測試，有無建議適合噴植區位條件。	感謝委員意見，經拋灑試驗其坡度建議約為20-30°。
三	植生粒劑如在相同條件下增加粒劑重量是否其殘留率會有影響？	感謝委員意見，推測可能會有影響，因為重量可能跟粒劑噴飛距離及滾落距離有相關。
四	植生粒劑噴植目標為整個崩塌地或是崩塌地中適合植生之區位，若為後者須注意噴植的精準度。	感謝委員意見，於無人機撒播時發現其精準度並沒有非常準確，其原因主要為無人機旋翼產生之風壓影響粒劑拋灑方向，推估若欲撒播面積擴大及撒播高度上升，可減少影響。
五	本計畫以功能性植生粒劑試驗進行植生復育之效益評估，創新性非常高。	感謝委員肯定。

項次	審查意見	回覆辦理情形
六	不同形狀的植生粒劑對於復育可能有影響，但現地條件相當複雜且範圍廣，有限尺度的試驗設計和似仍不已說明現地質生復育之效益。	感謝委員意見，本計畫為推估最適合粒劑之形狀且試驗中並無實行現地試驗，未來如有機會於現地施行，仍可討論其他形狀之粒劑的可行性。
七	報告中未見其中審查意見回復，請補充。	感謝委員意見，已於期末報告中補上