計畫編號：**ARDSWC -112-028**

無人機邊坡噴植技術研發及測試驗證
Side Slope Spray Planting using Unmanned Aircraft System – An Innovation Study and Verification
（初稿）

執 行 單 位：長榮大學

執 行 期 間：112 年 02 月 08 日至 112 年 12 月 31 日

計畫主持人 ：邵珮琪 副教授

共同主持人 ：曾志民 教授、邵珮君 教授、林清一教授

農業部農村發展及水土保持署　編印

中華民國 112 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考）

無人機邊坡噴植技術研發及測試驗證

摘要

陡峭的崩塌山坡地人跡難以接近，人工噴植草種復育工作有相當的困難。在此環境下，利用無人機飛行遠端遙控噴植是一種可行的方案。 本年度計畫以種籽子彈形式，設計適用的發射機構，搭載於無人機上，噴撒於期望種植的 60 度以上的陡坡區域，進行觀測噴植成果。為降低種籽噴植對環境的影響，本設計以環保材料製作種籽子彈，種籽子彈材質能自然分解，融入泥土內，減少汙染。本年度先以草本植物百慕達草及波斯菊為主，噴植密度 20 顆/m^2，於 6~12 週後持續觀測紀錄，獲得大約 6~13%的發芽率。後期改以木本植物馬棘與羅氏鹽膚木，噴植密度 5 顆/m^2，於 4 週後觀測紀錄，獲得 39%的發芽率及 1.4 棵/m^2 的覆蓋率。本計畫是一個創新實驗計畫，從系統規劃、設計、製作、測試、噴植、觀察、紀錄、修訂，將建立一套本系統規劃的標準作業程序，以鋪陳後續的廣泛應用。由於種籽的醞釀期不均，需更長於 3 個月的觀測期，以檢視更大的成效。

關鍵詞：種籽噴植技術、無人機應用、種籽子彈、泥土催化、發射機構、環保材料

Side Slope Spray Planting using Unmanned Aircraft System – An Innovation Study and Verification

Abstract

Steep collapsed side slope is hard to approach to make the recovery planting. Under such circumstance, spray planting using unmanned aerial vehicle (UAV) in remote operation could find a feasible solution for the planting job. This project uses seed bullet with a suitable launch mechanism to mount on UAVs to spray planting on 60 degree steep side slope for sprouting observation. To reduce seed bullet to impact environment, the proposed system applies green materials to make seed bullets. The material can dissolve naturally into soil to reduce pollution. In this year, grass seed is selected to spray by 20 bullet/m^2 density and wait for 6~12 weeks to observe and record 6~13% sprout rate. In additkon, the spray planting has changed to woody seeds in 5 bullets/m^2. After 4 weeks, the observation gets 39% sprout rate and 1.4 trees/m^2 coverage rate. This project is an innovative experiment plan, from system planning, design, manufacture, test, spray, observe, record, analysis and revision to establish a standard operation procedure to apply the proposed system. Due to the non-uniform seed incubation, the expected observation period requires longer than 4 months to record better effect.

Keywords: Spray planting, application of UAS, seed bullet, soil catalyzing, injection machine, green material.

目次

摘要.....I

Abstract.....II

目次..... III

第一章　計畫概述 1

第二章　工作執行方法與步驟 3

第三章　工作進度與交付項目 90

第一節　計畫甘特圖 90

第二節　計畫交付項目 90

第四章　結論及建議 98

第一節　結論 98

第二節　建議 103

參考文獻.....106

附錄.....109

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形 109

112 年度創新研究計畫期末成效評核表 113

附錄二、計畫成果學術投稿 2023 航太年會 115

附錄三、計畫成果期刊投稿 初稿 115

第一章　計畫概述

本計畫為邊坡噴植技術的創新研究計畫，主要是設計特殊的種籽子彈、子彈彈匣、噴射發射機構、噴射沖壓系統、遙控裝置、無人機組裝、遙控飛行、噴植紀錄與追蹤。本計畫提案計畫書選定台南龍崎牛埔實驗場區、玉井沙田里場區以及苗栗苗 126 縣道明德水庫附近的場區，作為本計畫噴植實驗的地點。本計畫執行 11 次以上的每平方公尺 20 子彈的噴植及後續觀測，獲得百慕達草大約 7%的發芽率。

計畫進行中發現所選惡地的困難，增加台南南化水庫、苗栗苗 124、26 縣道附近場域等，增加噴植工作範圍。更以庭園為背景，進行小面積對照栽培，了解種籽子彈噴植的效益做比較。

由於南臺灣自 111 年下半年至 112 年 5 月底九個月乾旱無雨水，各地區都不適合進行噴植作業，本計畫將先做無人機噴植系統的研發製造、噴植材料的準備，並探勘各個噴植場區的狀況，進行前置作業與規劃。

臺灣地震及風災頻繁，呈現嚴重的土石災害，土砂覆蓋移動致使部分區塊裸露，尤其是在陡峭的邊坡上，容易造成風雨來臨時更大的災害。為減少坡地災害的發生，如何穩定崩塌面，噴植工法可以有效達成坡面快速綠化[1](林信輝教授 2013)。針對人跡不易到達的陡坡，利用無人飛行載具，建立有效的工法作業，將種籽做成冰粒，以強大壓力氣動式噴頭，將種籽噴出 5 公尺遠的陡坡上，可以快速有效的達成效果[2] (林政侑 2020)。

本計畫初期選擇以草本植物為主，選擇百慕達草及波斯菊為噴植種子。經 6 至 8 月之噴植，發現台南玉井、龍崎幾個場域的極端惡地，

均無發芽的跡象。8 月中旬於苗 126、124、26 線道邊坡上發現波斯菊發芽成長的成果。隨後於 9 月中旬發現苗 126、124、26 縣道之邊坡上百慕達草順利發芽成長。

由於噴植草本植物需要較大的覆蓋面積，6~8 月期間噴植的狀況大約每平方公尺打入約 20 顆種籽子彈，約有 300~400 顆混合種籽。經諮詢種籽專業人士，建議邊坡噴植改採較稀疏噴植密度，改以喬木或灌木。因此本計畫在草本植物外，增加灌木或喬木，經專家建議，選擇灌木的馬棘以及喬木的羅氏鹽膚木，兩種植物的根部吸附力較強，有利於邊坡種植。改採馬棘及羅氏鹽膚木，噴植密度降低到每平方公尺 1~2 顆種籽子彈即可，每顆種籽子彈內填充大約 7~8 顆種籽。馬棘及羅氏鹽膚木種籽，混搭波斯菊，於 9 月下旬進行南化水庫、苗 26 縣道場域噴植。

噴植環境的土壤 PH 值也是重要的參考因素，本計畫以簡單的採樣測試，統計噴植場域的土壤狀況，台南地區傾向弱鹼性、苗栗地區傾向弱酸性。

本計畫執行遇到問題，於苗 126、124 縣道之噴植後，發現種籽發芽成功，卻因縣道邊坡施工，全部被水泥強化的邊坡保護工程所覆蓋。本計畫原使用紙材質之吸管為種籽子彈之製作材料，後發現聚乙烯醇(PVA)為生物可分解環保水溶性材料，經混合助劑造粒後，可以利用 3D 列印，製造種籽子彈。本計畫後段於 9 月底開始將 PVA 子彈與紙吸管子彈並行噴植，施作於南化水庫及苗 26 縣道 12k 附近，以待 11 月初觀測其效益。

本計畫完成之噴植工作，已經獲得初步的成果，將繼續申請 113 年度創新研究計畫，以延續現有的技術發展。

第二章　工作執行方法與步驟

2.1 種籽子彈設計與製作

2.1.1 紙吸管種籽子彈

2.1.1.a 種籽子彈設計製作

從水保局過去的幾次執行報告，邊坡噴植的工作成效甚佳但仍待加強，原因之一是種籽無法沾黏在崩塌地邊坡上，邊坡越是陡峭，噴植的效果更難掌握。本計畫設計種籽子彈，如圖 2.1.1 所示，以包裹方式將選擇的種籽裝入子彈內。子彈的外型、尺寸大小與所找到的發射器配合，節省研發時間與經費。為此，種籽子彈以紙質大吸管來製作，大吸管 12mm 直徑，剪出 3~5cm 為一段，內部填裝等體積種籽與中性壤土的膠狀攪拌體。子彈彈頭為紙捲的圓錐，與子彈錐體以膠水及米飯固定。子彈前方埋入竹製或木製牙籤，作為噴植沾黏機構。完成的子彈重量必須大於 4.5g 以利發射。

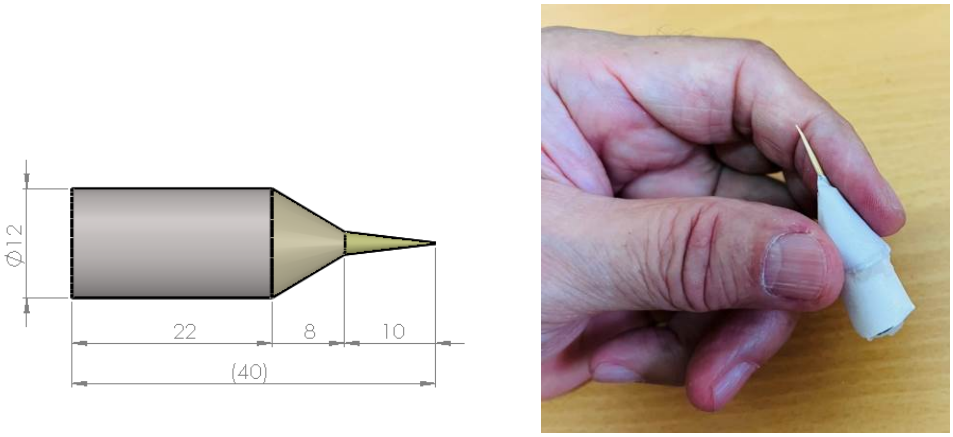


圖 2.1.1：種籽子彈設計與實作

紙吸管子彈製作材料：

(a)12mm 大吸管，紙材料製作，切成 30~120 mm。

(b)紙片錐形彈頭，加上牙籤突出彈頭，以利附著。尾部收尾封口泥土、米飯。

(c)彈體填充物拌土，棉花、壤土(Loam)、有機質、噴植種籽。泥土填裝配重。

伴隨填充材料為取自台南農改場土地內的壤土及少許有機質，壤土的酸鹼度測試為 6~7 之間。有機質為庭園花卉用材料，磨碎後，與選定的壤土 1:1 混合，取 4~6 公克填充於種籽子彈內。

2.1.1.b 種籽子彈前測

種籽子彈設計後，進行噴植模擬的實驗，將種籽子彈打入刻意挖過土地的花圃，在缺水的情況下，觀察其發芽的情形。花圃為農改場壤土，經測試過的 PH 值大約 6-7 之間，如圖 2.1.2 所示，可以適用於本實驗條件。

紙材料的吸管在含水分的環境泥土表面上，經實驗，大約 7~10 天會分解，內部填充的種籽將曝露出來，如圖 2.1.3 所示。因此從實驗的狀況觀察到幾個特性：

(1)種籽裝填入子彈內需混和等體積的壤土，並加水調配成膠稠狀，水分及泥土將催化種籽發芽，選擇實驗的種籽(a)四季豆約 6~8 天、(b) 小黃瓜約 4~5 天、 (c) 百慕達草約 15~20 天、(d)波斯菊約 20~25 天。

(2)種籽及泥土和水，可以先保存 3~4 天，有利於催化發芽。

(3)噴植後環境的溼度一定要夠，氣象觀測下雨預報來臨前一天

進行噴植。大雨的沖刷將不利邊坡或陡坡的噴植。雨後一天內立即噴植也是可以考慮的作業方式。



圖 2.1.2：種籽子彈於花圃噴植，7 天後的狀況，白色填充物無米飯。



圖 2.1.3：種籽子彈模擬噴植，12 天後的狀況(8/27~9/9)，白色為分解的紙吸管，發芽長出的小黃瓜，另有難分解的甘蔗渣吸管。

進行實驗的種籽子彈，每顆子彈大約 4g，於直徑 12mm、長度 40mm 彈殼內(體積 4520mm^3)，其中有 2250mm^3 為濕種籽，估計為 400 顆百慕達草種籽，以此數據推估未來進行邊坡噴植時播撒的種籽子彈數目，約以每平方公尺(1 公尺 x 1 公尺)噴植 10~15 顆種籽子彈，約略可以撒入 500~600 顆種子。因本實驗的環境為山坡惡地，噴灑種籽之發芽率只能預估為 7~10%。

2.1.2 PVA 材料種籽子彈

本計畫執行期間 112 年 8 月份發現聚乙烯醇(Polyvinyl alcohol, PVA)是一種用途廣泛的水溶性高分子聚合物，其性能介於塑料和橡膠之間，可以在自然界降解為生物可分解水溶性材料。PVA 又稱為綠色塑膠，是一種固體，呈白色粉末狀、片狀或絮狀。轉化溫度 60～85°C。PVA 含有許多醇基，具有極性，且可與水形成氫鍵，故能溶於極性的水。在有足夠的溼度、氧氣與適當微生物存在的自然掩埋或堆肥環境中，可被微生物所代謝分解產生水和二氧化碳或甲烷，所需的生物分解需氧量(Biochemical oxygen demand，BOD)也比一般澱粉少，對環境危害較小。

本計畫購買以環保水溶材料是由聚乙烯醇(PVA)與助劑混合造粒後，利用 3D 列印技術，完成種籽子彈之加工成型，如圖 2.1.4 所示。其彈頭部分空間填裝種籽，噴植於土地上。



圖 2.1.4：PVA 種籽子彈製作



圖 2.1.5：PVA 子彈入土後 2 天及 4 天自然分解

PVA 材料分解特性觀測，將所作之種籽子彈射於泥土內，如圖 2.1.5 所示，經 2 天、4 天的解離情況，可以完全分解。

2.2 種籽子彈發射機構

子彈發射機構從原來的機械彈射構想改為氣壓噴射裝置，氣壓噴射有一個加壓泵、壓力罐、壓力計及釋放控制。氣壓噴射時推動種籽子彈，從槍管發射出去，需考慮(1)壓力罐噴射壓力、(2)噴射出口管徑與子彈彈匣之密合度，影響氣壓效率、(3)壓力罐儲存壓力的設定為可調節、(4)發射後加壓泵的自動操作、(5)壓力泵衝壓時自動扣板機的機械連動、(6)可以設定為自動或手動發射。

為節省研發經費，本計畫搜尋可用系統來改裝，如圖 2.2.1 所示之玩具槍，並且利用 3D 列印，完成各機構的製作與組合，並進行初步的測試。



圖 2.2.1：左圖為 40 發子彈彈匣，右圖為彈匣及板機控制機構

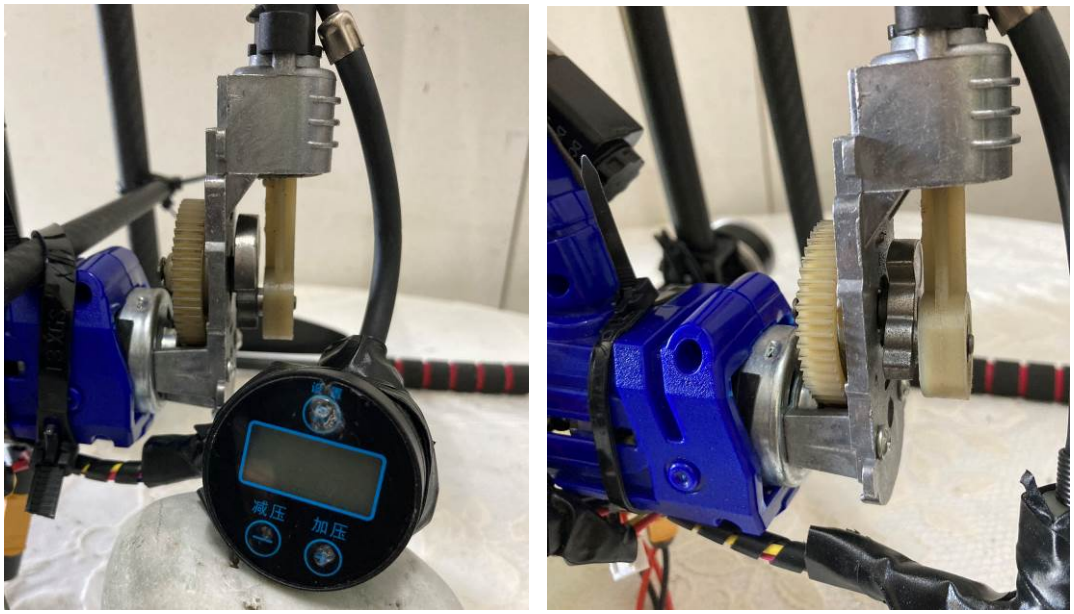


圖 2.2.2：左為噴射器可設定壓力計，右為板機扣動機構

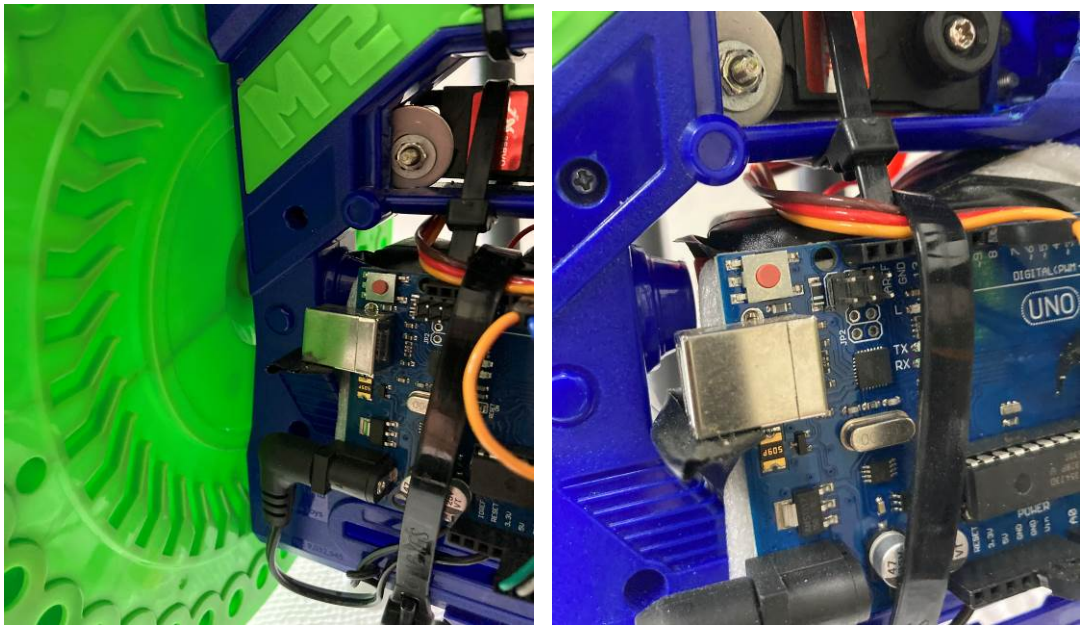


圖 2.2.3：設計改裝後的板機與發射控制機構

利用玩具槍之彈匣與其槍機構造，改裝噴射力較強的空氣裝置，以推動種籽子彈，如圖 2.2.2、圖 2.2.3 所示。發射機購包含控制電路，以遙控啟動發射，並於發射後自動扣板機，移動彈匣至下一個發射位置。發射機購之氣壓瓶加大氣量，並調節其衝壓，經反覆測試及調整，從 60psi 調到 100psi，以適合本系統功能所需，如圖 2.2.4 所示。

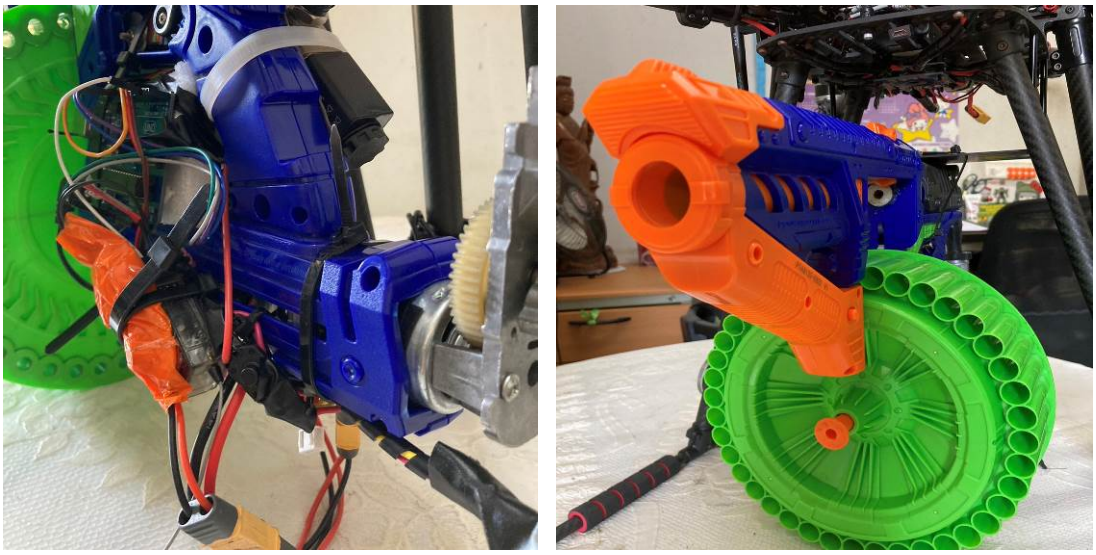


圖 2.2.4：左為彈匣板機控制電路，右為彈匣與 40 發子彈發射機構

2.3 無人機系統組裝

利用可用器材加工改裝後的子彈發射系統將與本計畫合作團隊租用的六軸多旋翼機組裝整合，如圖 2.3.1 所示。依計畫需求將使用兩架無人機，以保障實施時的無人機作業可靠性。



圖 2.3.1：組裝上無人機的子彈發射機構

發射機構第一組測試完成後，5 月 10 日繼續完成第二組，並做局部修改改進。5 月 31 日完成第三組發射機構系統，如圖 2.3.2 所示之機隊。





圖 2.3.2：完成製作之三組子彈發射機構安裝於三架無人機上完成之無人機組裝，開始進行陡邊坡噴植作業。

2.4無人機噴植測試

子彈發射機構完成組裝後，先做整機操作控制及系統組合剛性測試，以防發射機構搖晃造成無人機操控上的不穩定，如圖 2.4.1 所示。

組裝後的無人機在本計畫的庭園空間進行飛行操控及子彈發射測試。飛行測試用以了解無人機的操控狀況，並從飛行人員操作手動單發及連續發射。子彈射出的距離必須大於 8 公尺以上，以保持安全飛行距離。從發射器壓力控制設定，本測試從原來的壓力提升到 100psi，可以將 4~5 公克之種籽子彈打到 10 公尺的距離，並有足夠的動能可以黏著在較鬆軟的土地上。因此，在噴植作業上需注意噴植地的土地狀況。

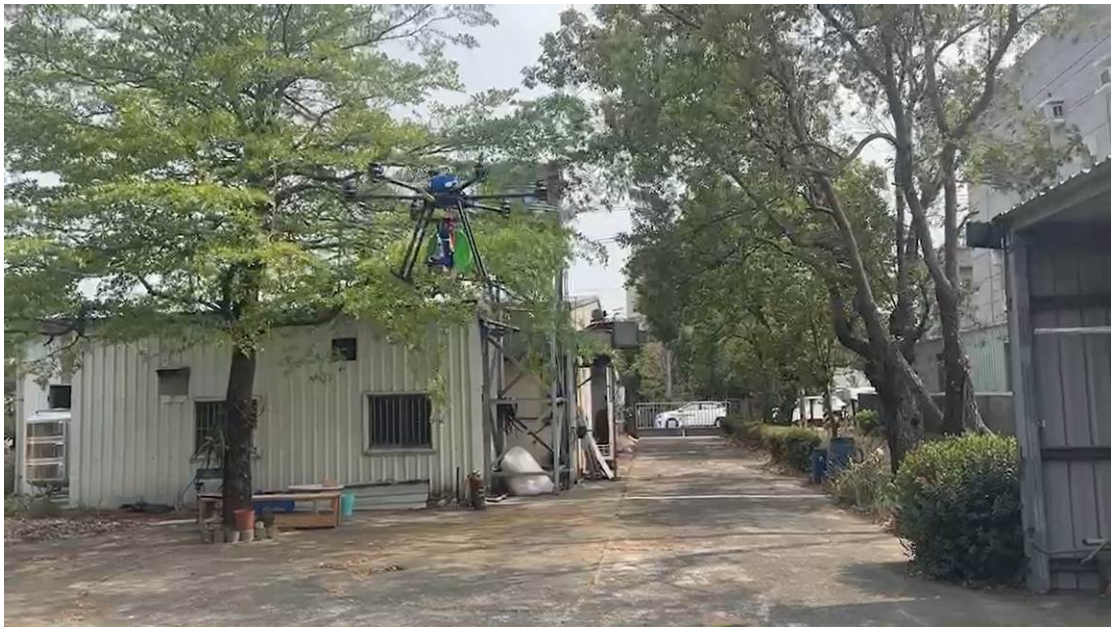


圖 2.2.7：無人機飛行測試及子彈發射壓力調整測試

2.5 噴植場區探勘

本計畫初始先進行噴植場地的探勘，以規劃後續噴植作業的程序及方法。因為南部地區自 111 年十月份以來均無下雨，已出現旱象，各水庫蓄水量都已經降到乾旱線下，如圖 2.5.1 所示。4 中旬台南市所依賴的南化水庫於已經降到 15%以下，4 月 19 日有小陣雨及至 5 月 7 日起第一波梅雨鋒面到來，開始陸續降雨。南部各水庫 5 月 15 日的蓄水狀況如下圖 2.5.1 所示，期待 5 月中旬以後第二波梅雨鋒面，可以帶來較豐沛的水分。本計畫將準備進行噴植作業。

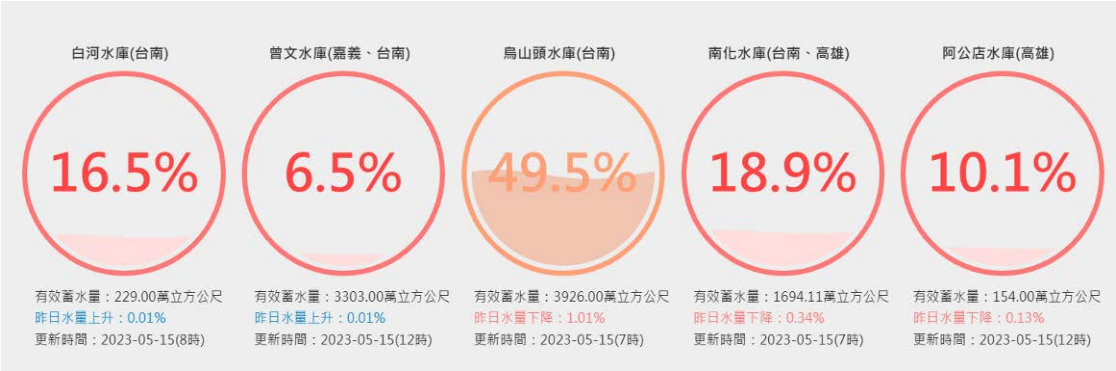


圖 2.5.1：5 月 15 日南部各水庫蓄水狀況

依據本計畫提送的計畫書，本計畫將進行台南龍崎牛埔實驗城區、玉井沙田里場區、苗栗 126 縣道明德水庫附近坍方等地，探勘噴植場區，並規劃後續的執行。根據本計畫諮商共同主持人曾教授的建議，所選惡地可能無法達到預期目標，建議探勘其他地方。

本計畫規劃牛埔實驗場區及玉井沙田里AB場區為南部地區噴植實驗場地，如圖 2.5.2。場地狀況於 **3 月 21 日**進行探勘，紀錄該場區的狀況。台灣南部地區因為受到天氣長期乾旱影響，已經大約 9 個月

未下雨，**探勘地區土地乾燥，短期內不適合噴植作業**。牛埔實驗場區提供一般水土保持研究專用，部分地區為**乾燥裸露**區塊。崩塌地坡度超過 60°，將影響噴植效益。



圖 2.5.2：牛埔場區

沙田里 AB 兩處崩塌裸露區域，無任何植物，土地**極度乾燥惡劣**，如圖 2.5.3、圖 2.5.4、圖 2.5.5。崩塌地坡度近 60°，有道路可以接近場區，有利噴植作業及後續觀測。



圖 2.5.3：沙田里 A 區場地



圖 2.5.4：沙田里 B 區場地，有道路可以接近



圖 2.5.5：沙田里場地探勘

由於田寮、岡山、龍崎地區屬於極度乾旱的惡地，本計畫所選場地將面對有極大的挑戰。經諮詢計畫共同主持人曾志民教授，建議另探勘高雄寶來地區場地，以作為備用場地，如圖 2.5.6~2.5.8。經 3 月 24 日至桃源里現場探勘，發現諸多問題都需解決，(1)位置偏遠，距離道路約 3km，(2)有幾處電線、流籠線交錯，有礙無人機飛行，(3) 執行噴植任務，後勤極為重要。這些問題都對無人機的噴植作業有威

脅，但可以克服。新建議地點位置地圖顯示，環境偏遠複雜。惟這些地域都是極端的乾旱惡地，實施噴植作業困難度高。

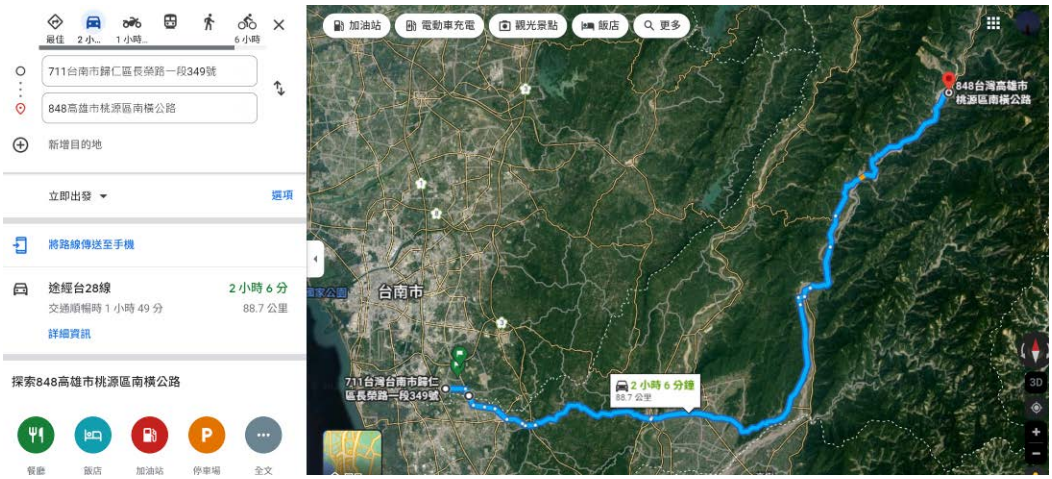


圖 2.5.6：高雄桃源里地圖指引

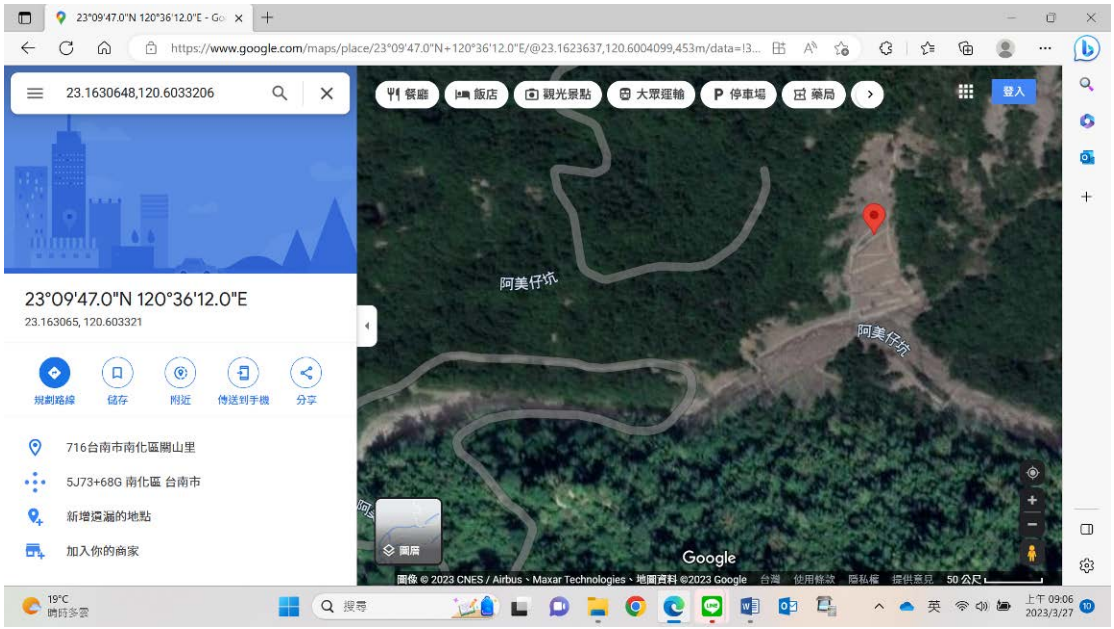


圖 2.5.7：高雄桃源區桃源里 Google 地圖

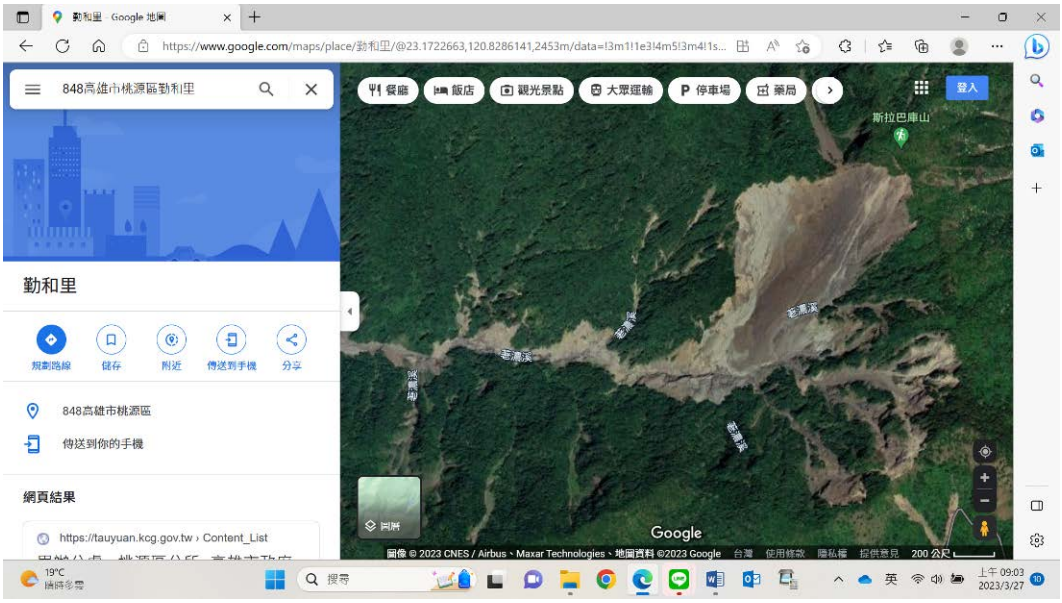


圖 2.5.8：高雄桃源區勤和里 Google 地圖

第一區河谷出口狀況，大型礫石遍地，徒步不易進入，河道上方空間有類似電纜繩或流籠線，可能有害無人機飛行，崩塌地坡度超過 60°。如圖 2.5.9。



圖 2.5.9：第一區河谷現況

第二區河谷出口小面積走山情況，且河谷出口開挖無法徒步進入，崩塌地坡度近 60°，如圖 2.5.10。



圖 2.5.10：第二區現況

第三區茗濃溪經過寶來二橋，側邊有大面積走山情況，此區值得進行噴植保育，崩塌地坡度近 60°，如圖 2.5.11。



圖 2.5.11：第三區寶來二橋茗濃溪

寶來二橋背山地區，空拍可見內部電纜橫列出現，需飛行比山脈更高，由河谷出口至崩塌點，高度驟升 2000 公尺左右，水平距離約 6 公里，崩塌地坡度大於 60°，如圖 2.5.12。



圖 2.5.12：第四區寶來二橋背山區

本計畫執行中電訪水保局台南分局陳偉迪副工程司，諮商台南地區水保現況，獲得南化水庫附近場域有實驗場區可選擇，有 11 個地點位置，可以做為噴植場地，如表 2.5.1 所列數據。

表 2.5.1：南化水庫水保需求位置

水庫	Link ID	CENTROID_X	CENTROID_Y	編碼	Y-109 Area	ORIG FID
南化水庫	南化 798	207203.9301	2560930.113	南化-0060	2556.57	12
	南化 800	207284.8053	2561066.364	南化-0051	4066.6	14
	南化 794	207341.38	2559980.909	南化-0098	877.579	9
	南化 797	207636.1969	2560778.323	南化-0039	3652.61	11
	南化 796	207263.0199	2560788.002	南化-0084	1558.8	10
	南化 809	208914.6177	2563317.707	南化-0008	13627.2	21
	南化 814	209150.7696	2564042.707	南化-0049	2743.24	23
	南化 811	207919.3602	2563816.79	南化-0073	1418.8	22
	南化 805	207750.9495	2561857.628	南化-0015	4637.95	19
	南化 825	209545.8135	2565123.305	南化-0025	5742.22	29
	南化 832	209555.625	2565864.502	南化-0034	5035.9	32

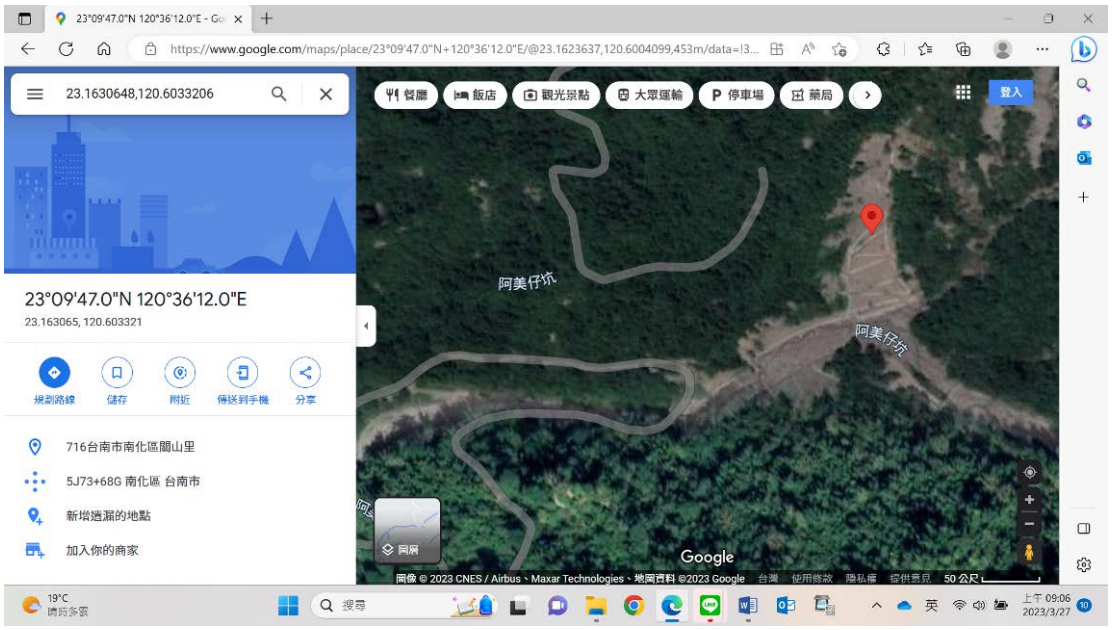


圖 2.5.13：台南市南化水庫 Google 地圖

本計畫於 4 月 11 日進行**南化水庫**附近場域探勘，圖 2.5.13，參考陳副工程司建議的位置點，進行空拍探勘。該區 11 個場域均經過無人機空拍取像，再來研商後續噴植作業。由於**乾旱問題**，目前南化水庫地區僅供取得影像資料，等雨季來臨再進一步做噴植規劃。

下列圖 2.5.14 為表 2.5.1 所列 11 個場址狀況。

南化800、798現況




南化794現況




南化797現況




南化796-1現況




南化796-2現況




南化809現況




南化814現況




南化811現況






圖 2.5.14：台南市南化水庫 11 個場址的探勘紀錄

南化水庫附近探勘，各點飛行狀況大致良好。部分走山地區背對公路部分不意發現，雖完成空中拍攝，後續執行噴植有安全疑慮，需進一步規劃。沿路有些位置樹木茂盛，需選擇相對安全的起降點。樹木茂盛將不作為本計畫噴植工作的目標區。因些許路段為產業道路，飛行做又需要警戒。每項任務必須配備飛行操作員兩位、道路警戒及氣象觀測兩員。起飛後須前後有警戒人員，引導車輛。

苗栗 126 縣道

4 月 26 日赴苗栗 126 縣道探勘，天氣陰天。過去兩個月內有幾次下雨，土地較濕。原於 111 年九月探勘之處，因為崩塌嚴重，工程單位已經進行水泥覆蓋工程。126 線道其他地方進行探勘，有幾處面積較小的地方可以進行噴植實驗。

探勘位置於苗 126 線道，明德水庫附近，座標 Y:24˚35’28.356”, X:120˚54’50.328” 附近，探勘範圍前後 2km，選擇多個噴植點 A~F，如圖 2.5.15 各圖所示為苗 126 縣道狀況。



苗126可進行噴植點A





苗126小區塊噴植點B





苗126小區塊噴植點C+D





苗126小區塊噴植點E+F



圖 2.5.15：苗栗苗 126 線道明德水庫附近六個場址的探勘紀錄

2.6 探勘各地土質狀況

從經濟部中央地質調查所地質資料整合查詢，本計畫將進行四個地區的場址進行噴植作業。從數據上來看，各選擇點都屬於惡地，不適合農作物的，本計畫的植披覆育將對水土保持帶來較大的貢獻。

表 2.6.1：本計畫探勘噴植地區土質狀況表

地點	座標 X	座標 Y
地質年代	地層名稱	地層組成
1. 月世界公園	120°23’12.9228”	22°53’17.592”
中新世晚期-更新世	古亭坑層	泥岩、夾砂泥岩互層及後層岩砂透鏡體
2. 南化水庫	120°33’35.8956”	23°06’01.1016”
上新世-更新世	北寮頁岩	頁岩和砂質頁岩
3. 玉井沙田里	120°29’47.4504’’	23°06’49.1256’’
上新世-更新世	北寮頁岩	泥岩
4. 明德水庫苗 126 縣道	120°54’33.4368’’	24°35’33.1944’’
中新世-上新世	桂竹林層魚藤坪砂岩段	厚層泥質砂岩、夾薄層至厚層砂質頁岩

另外，本計畫進行對照實驗，採歸仁附近農地壤土，PH 值大約為 5~6 左右，傾向弱酸性，種子子彈填充土為台南市農改場土壤，PH 值大約為 6~7，屬於中性。檢測結果如圖 2.1.2 所示。另採集噴植場域玉井沙田與南化水庫，PH 值大約為 7~8 左右，傾向弱鹼性土壤，檢測結果如圖 2.1.2 所示。苗 126 縣道、苗 124 縣道，PH 值大約為 6~7 左右，傾向弱酸性土壤。

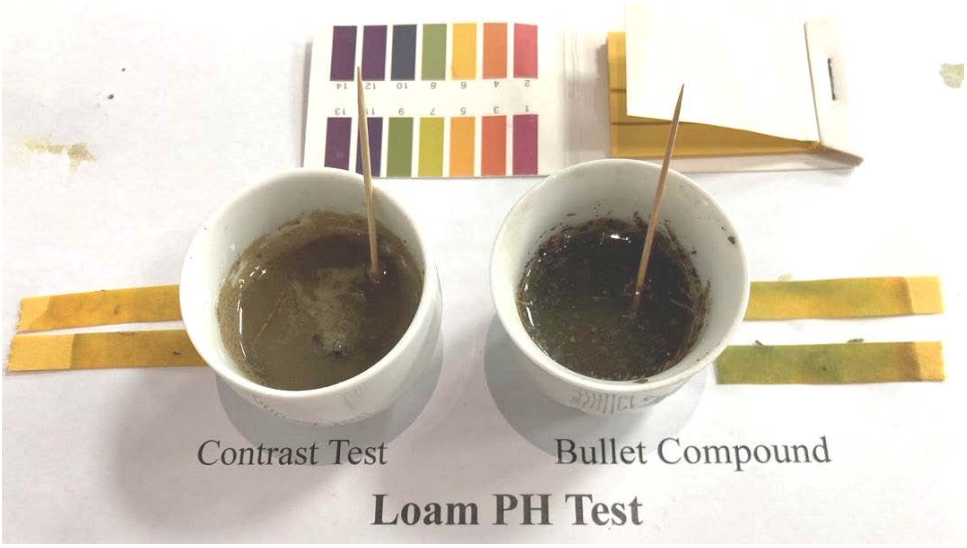


圖 2.6.1：對照實驗與子彈填充壤土之 PH 質檢測

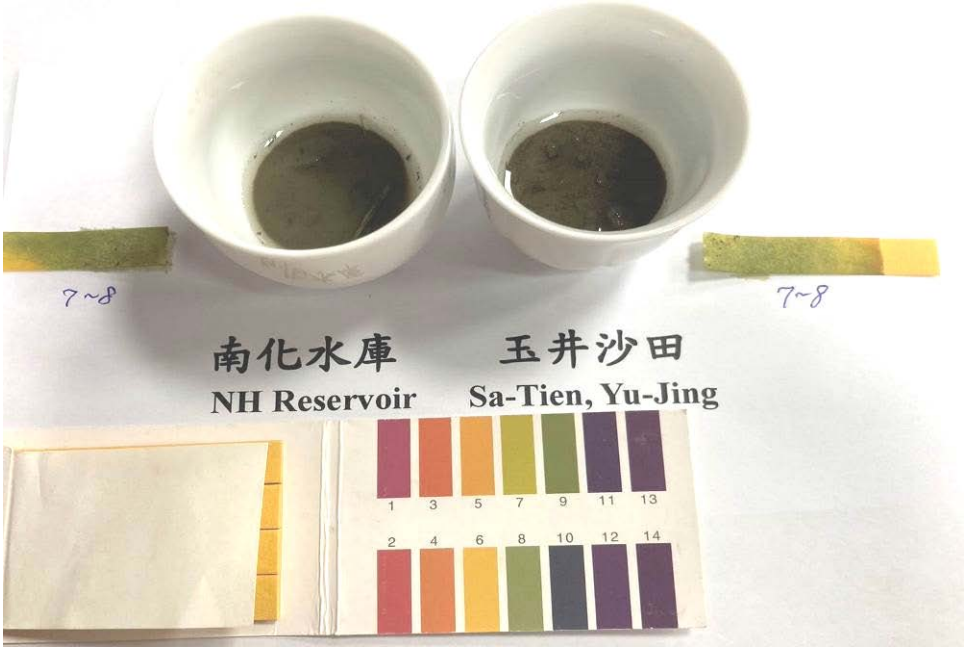
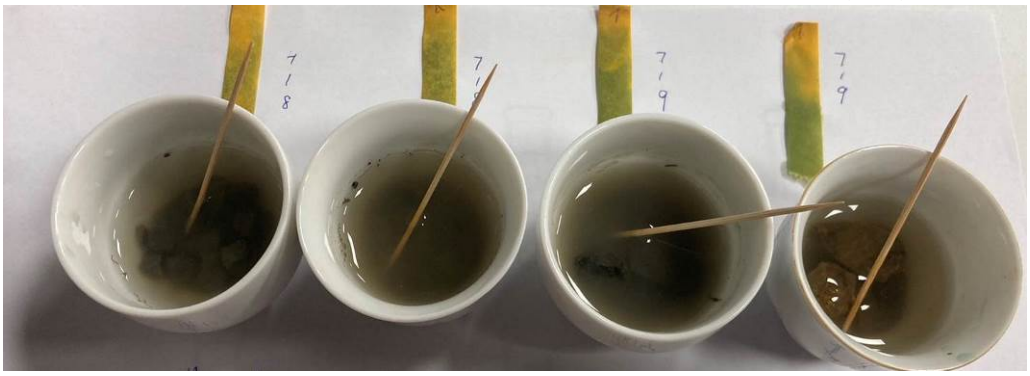


圖 2.6.2：南化水庫與玉井沙田之 PH 質檢測



圖 2.6.3：9 月 28 日採集苗栗土壤 PH 質檢測(8-9)



苗 126　　苗 124　　苗 26　　苗 26
25k N　　25k S　　28k　　12k

圖 2.6.4：10 月 6 日採集苗栗土壤 PH 質檢測(7-8-9)

表 2.6.3：各地噴植場域土壤 PH 質檢測

項次	場域	地域	PH 值	備註
1	台南玉井	沙田	7~8	採樣 弱鹼
2	台南龍崎	牛埔	7~8	採樣 弱鹼
3	台南南化	南化水庫	7~8	採樣 弱鹼
4	苗栗明德水庫	苗 126、124、26 縣道邊坡	8~9	採樣 弱鹼
5	對照栽培	歸仁	5~6	栽種 弱酸
6	種子填充土	台南市農改場	6~7	少量填充

2.7 植栽選擇

本計畫選擇植栽，初期以植草為主要考量，經諮詢植草業者，推薦**波斯菊**及百慕達草。經過六個月的技術研發、野地測試、成效觀測，再諮商種籽專業廠商，建議採用喬木或灌木，嘗試噴植作業。建議的植物有：喬木，**羅氏鹽膚木**、相思樹，灌木，**馬棘**、鐵掃帚。

本計畫前期選擇波斯菊及百慕達草，該植物多鬚根、節著土易生根的特性，適合山坡地保育種植，其中波斯菊外型特殊，於噴植後容易辨識。計畫後期選擇羅氏鹽膚木及馬棘，兩類各為喬木及灌木，根部大、易吸水，具山坡地功能，適合台灣山地氣候種植。

經查詢「**植物名實圖考**」[14]，了解所選植物之特性，並規劃於噴植作業。

a.**大波斯菊(Cosmos bipinnatus)**，是菊科秋英屬的一年生草本植物，原產於墨西哥海拔 1600－2800 米的高原地區。此植物喜陽怕半陰，耐寒性、耐熱性一般，是廣泛栽培的園藝材料，如圖 2.7.1。由於繁殖力強，常群生，形成花海。大波斯菊的花朵對鳥類和蝴蝶。**大波斯菊株高 0.3－2 米，紡錘形根，多鬚根，莖基生有不定根，對山坡地保育有特別功效。**種籽壽命 3~4 年，1000 粒大約重 6 克。改良種在秋季開多重瓣花型多種顏色粉色花。本是短日照植物，原種為早花型品種，花期 8~10 月，但也有 6 月開花的早花型品種，而在溫暖地區花期可從秋季至翌年春季，極適合台灣地區山區及平地種植。播撒後發芽迅速， 播後 7-10 天發芽。**7-8 月高溫期間較不易發芽生長**或開花結籽。



圖 2.7.1：波斯菊生長情形，成長後高約 1 公尺

b. **百慕達草**學名為狗牙根（*Cynodon dactylon*），為多年生草本植物，在台灣播種時間全年都適宜。百慕達草生長之形態，**其根稈常匍匐地面上，節著土易生根**，初夏抽花穗時，稈始上伸，頂生 3-6 枚穗狀花序排成指狀，夏秋開花。百慕達草多生於路邊或草地上。廣布於溫帶地區，中國大陸黃河以南各地都有分布。台灣亦有原生種恆春百慕達草 ，如圖 2.7.2。



圖 2.7.2：百慕達草生長情形

c. 馬棘 **(Moringa tree)** 台灣於 1930 年代引進種植。棘木在台灣曾風行一時，生長最好的地方是中南部其次才是北部。主要的原因是北部冬季較為寒冷，平均日照也沒有中南部多，棘木是喜歡陽光的植物，自然就以中南部為主要產地。葉喬木或灌木，成熟樹株高可達 12 公尺，有廣大典型傘狀樹冠，通常是單一主幹，不分枝，木材材質較柔軟，樹皮淺灰色，幼苗的莖幹粉紅色。**地下有肥大粗狀塊根，可以完整的保持水分**，所以棘木在年雨量 250~3000 公厘的環境裡，都可以生存，如圖 2.7.3。



圖 2.7.3：馬棘樹生長情形

d. 羅氏鹽膚木(Rhus chinensis var. Roxburghii) 分布於中國大陸、臺灣、韓國、中南半島與印度等地。生長範圍從海拔 1200 公尺到 2100 公尺，其果實於每年 12 月到隔年 1 月成熟。圖 2.7.4。台灣常見生長於全島低至中海拔山區林下或潮濕地。羅氏鹽膚木**的生長適應範圍很廣，從平地至中海拔山區之間曠地均可見其生長分布**，喜生長於陽光充足的地方。羅氏鹽膚木冬天葉會轉黃至變為紅色。



圖 2.7.4：羅氏鹽膚木生長情形

e. 截葉鐵掃帚(Lespedeza cuneata)，為豆科胡枝子屬下的一個植物種，藜科地膚屬草本植物。株叢緊密，株形呈卵圓至圓球形、倒卵形或橢圓形，分枝多而細，具短柔毛，莖基部半木質化。單葉互生，葉線性，線形或條形。植株為嫩綠，秋季葉色變紅。花極少，花期 9-10 月，脆果扁球形。生態分類：草本植物 ，二年生花卉；觀賞分類： 觀葉類株高，30-150cm；景觀用途： 自然叢植、花壇邊緣、綠籬、盆栽；生長習性：喜陽光，喜溫暖，不耐寒，極耐炎熱，耐鹽鹼，耐乾旱，耐瘠薄。如圖 2.7.5。



圖 3.7.5：鐵掃帚樹生長情形

f.相思樹(Acacia confusa)，為豆科含羞草亞科金合歡屬植物，原產於台灣南部、中國南方及東南亞一帶，於台灣日治時期被日本人廣泛種植至全台各地，是台灣早期知名的造林樹種之一。相思樹屬於常綠喬木，樹枝摸起來較平滑而且無刺。在種籽、幼苗的階段，可發現到它的「真葉」，真葉是二回羽狀複葉，在相思樹長大之後，葉子會退化成假葉。因為相思樹生長在較乾旱的地區，為了減少水分蒸發量，必須有自我保護的機制，就跟仙人掌一樣，如圖 2.7.6。



圖 2.7.6：相思樹生長情形

本年度工作暫不選鐵掃帚樹及相思樹。

2.8 種籽發芽生態特性觀察

本計畫選擇之植栽種籽，初期 4 月份先以草類，波斯菊及百慕達草兩項為主，如圖 2.8.1。因噴植成效未見顯著，九月底增加馬棘及羅氏鹽膚木，如圖 2.8.2，兩者為灌木及喬木，均有較大的種籽顆粒，與其發芽後容易辨識，且成長後對噴植地有水土保持功能。。



圖 2.8.1：波斯菊(左)及百慕達草(右)種籽



圖 2.8.2：馬棘(左)及羅氏鹽膚木(右)種籽

2.8.1 試種發芽觀察紀錄

a. 種籽，百慕達草
b. 4 月 9 日撒在盆子裡，充分水分
c. 4 月 15 日開始發芽(約 6 天)(在濕泥土裡比純泡水還快)
d. 4 月 20 日任由泥土缺水，百慕達草
e. 4 月 27 日全部乾枯死掉
f. 4 月 28 日土重新給水，水分不多
g. 5 月 2 日百慕達草開始恢復生機，其後任由乾燥
h. 5 月 14 日 百慕達早再度枯萎，0515 再度澆水，逐漸恢復生機



圖 2.8.3：4 月 19 日發芽長出 2cm 高，任由乾枯後再澆水，5 月 4 日百慕達草回復生機

由簡單的前置實驗可以了解草的韌性很強，乾燥枯萎後，遇水則能再度恢復生機，對未來的噴植實驗十分有利。如圖 2.8.3。噴植之種籽將可能有潛伏期，待水分、陽光、氣溫適當時才會發芽，因此觀測期需延長至 3 個月至 6 個月。

2.8.2 對照實驗

2.8.2 A 百慕達草及波斯菊

本研究以庭園規劃一個對照實驗區域，種植百慕達草，以手撒播種及種籽子彈播種為例，各為一平方公尺，如表 2.8.1 及表 2.8.2。參照實際的氣候狀況，無雨的天氣天澆少量的水，遇雨天暫停澆水 2 天。

表 2.8.1：播種對照實驗

實施日期	5 月 15 日	天氣 陰小雨	10 天預報梅雨季
種籽	百慕達草		
A 組 噴植種籽子彈	20 顆子彈	每顆子彈約有 25 顆種籽，約 1 公克種籽	計約 500 顆種籽
B 組 手撒種籽播種	1 公克種籽		計約 500 顆種籽



圖 2.8.4：5 月 15 日庭園內對照實驗，
左側 A 組為手撒種籽、右側 B 組為噴植種籽子彈



圖 2.8.5：6 月 1 日庭園內對照實驗生長狀況，
左側 A 組為手撒種籽、右側 B 組為噴植種籽子彈
較大葉子的雜草為本地野草，細長草為百慕達草



圖 2.8.6：6 月 1 日庭園內對照實驗生長狀況，A 組為手撒種籽，較大葉子的雜草為本地野草，細長草為百慕達草

6 月 1 日觀察庭園對照實驗，生長狀況良好，對照 A 組與 B 組差異不大，惟 A 組分布較均勻擴散，B 組則因子彈緣故，有小聚落的現象。對照組檢視時發生錯誤，誤以為本地雜草太密，經仔細比對周圍雜草生長狀況，發現本地雜草與對照種植的百慕達草不同。本地草之葉大、長高，百慕達草則是細長綠草。經過局部拔除本地草後，拍攝對照生植的結果。



圖 2.8.7：6 月 1 日庭園內對照種籽子彈噴植實驗生長狀況，較大葉子的雜草為本地野草，細長草為百慕達草



圖 2.8.8：左為本地雜草、右為百慕達草



圖 2.8.9：6 月 7 日對照實驗觀測，左為手灑播種、右為種籽子彈噴植

6 月 7 日對照實驗觀測，手灑播種及種籽子彈噴植成長差異不大，氣候降雨紀錄，從 5 月 15 日種植後有幾日充分的雨水，本實驗環境獲得良好生長條件。

由於百慕達草的外觀與本地雜草較難辨識，6 月 8 日另外種植新的對照組，以**波斯菊**栽種，觀察其結果。實驗場區與前一個對照組相同，都是在庭園內 1 公尺 x 1 公尺格子內。



圖 2.8.10：6 月 8 日**波斯菊**對照實驗，左為手灑播種、右為種籽子彈噴植



圖 2.8.11：對照種植之波斯菊，外觀差異較大，容易辨識。波斯菊有排斥性，其他草類容易被抑制。

表 2.8.2：播種對照實驗

實施日期	6 月 8 日天氣晴轉陰 10 天預報乾旱轉入雨季		
種籽	百慕達草及波斯菊混合		
A 組 噴植種籽子彈	30 顆子彈	每顆約 30-40 顆種籽 約 1 公克種籽	計約各有 200 顆種籽
B 組 手撒種籽播種	1 公克種籽		計約 300 顆種籽

2.8.2B 觀測馬棘與羅氏鹽膚木並使用 PVA 種籽子彈

9 月 23 日對照種植馬棘、羅氏鹽膚木及波斯菊，以手撒、紙吸管種籽子彈、PVA 種籽子彈等三種分開觀察生長對照。因為馬棘為灌木與羅氏鹽膚木為喬木，本身都有相當的體積，因此對照生長為 50 公分 x50 公分，紙打入五顆種籽子彈，每顆內約有 7~8 顆種籽，足夠對照生長面積測試，如圖 2.8.12、表 2.8.3。



(a)手撒種籽　　(b) PVA 種籽子彈　　(c)紙吸管種籽子彈

圖 2.8.12：對照種植之馬棘、羅氏鹽膚木、波斯菊三種混搭

表 2.8.3：播種對照實驗

實施日期	9 月 23 日天氣晴有陣雨預報		
種籽	馬棘、羅氏鹽膚木、波斯菊混合		
左組 手撒種籽播種	約 1 公克 種籽	每顆約 30 顆波斯菊種籽、7-8 顆馬棘與羅氏鹽膚木 各約打入 5 顆種籽子彈	7 天波斯菊發芽
中組 噴植 PVA 子彈			4 天 PVA 溶化 10 天波斯菊發芽
右組 噴植 紙吸管子彈			

10 月 31 日觀測對照實驗的結果，如圖 2.8.13 所示。(a)手灑種籽，羅氏鹽膚木有發芽出來，計三棵，(b)PVA 種籽子彈未見發芽，(c)紙吸管子彈，計羅氏鹽膚木 4 棵、馬棘 2 棵。



(a)手撒　　(b)PVA 種子　　(c)紙吸管種子

圖 2.8.13：對照種植三種混搭 10 月 31 日觀測

估算 9 月 23 至 10 月 31 日之三區對照實驗，各撒 5 個：

(a) 手灑區發芽率= 3/5 = 60%

(b) PVA 區發芽率 = 0%

(c) 紙吸管區發芽率 = 4/5 =80% 羅氏鹽膚木

= 2/5 = 40% 馬棘

波斯菊並未發芽。

2.9 場地噴植實驗

計畫執行完成噴植系統及植栽種植測試後，進行種籽子彈之製作，分別較近至玉井沙田、龍崎牛埔等勘查地進行噴植，每一個噴植彈匣裝 40 顆種籽子彈，選擇噴植地點都是陡峭的山坡惡地，噴植密度大約每 1 平方公尺噴植 40 顆種籽子彈。因為陡峭邊坡可施作面積不大，選擇範圍每次大約能噴植 4~6 平方公尺。

2.9.1 第一次噴植實驗

本計畫設計製作的無人機噴植系統已經製作完成，於 5 月 19 日進行玉井沙田邊坡之噴植、於 5 月 26 日進行牛埔邊坡之噴植作業，表 2.9.1。

表 2.9.1：5 月 19 日沙田噴植數據

確認項目	內容	
日期	112/05/19	
前天天氣	晴出太陽	
當天天氣	陰天(午後下雨)	
座標	Y: 23˚06’49.1832’’	X: 120˚30’30.816’’
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
噴植數量	150 發子彈，約 8 公克百慕達草種籽	
目測土地狀況	坡面較陡，泥土偏硬無黏性。	
可能發芽條件	透過 GoogleMAP 查看 2018 年邊坡已無植被，但周圍一樣有機會生長。	
噴植狀況	可破壞表面土層，小機率附著在邊坡上。	
缺點	邊坡經過長時間濕潤及曝曬循環，表面堅硬程度比剛走山後的一兩個月更難以打入土層。	

圖 2.9.1 為 5 月 19 日沙田噴植之實際成果，由於種籽子彈與邊坡對比的礫土，辨識不甚清楚。5 月 26 日進行牛埔園區之噴植作業，表為噴植數據及圖為噴植結果，每平方公尺大約 20 顆種籽子彈。為了容易辨識子彈與礫土，種籽子彈故意染紅。



圖 2.9.1：5 月 19 日沙田噴植結果(種籽子彈不易辨識)

表 2.9.2：5 月 26 日牛埔噴植數據

確認項目	內容	
日期	112/05/26	
前天天氣	晴午後下雨	
當天天氣	天晴	
座標	Y: 22°53’08.7756”	X:120°23’06.8316”
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
種籽子彈	250 顆子彈，約 13 公克百慕達草仔	
目測土地狀況	坡面緩陡，泥土有黏性密度高。	
可能發芽生殖條件	百慕達草可在黏質土泥岩上生長，但必須保持潮濕。220 發子彈	
噴植狀況	無法破壞表面土層，土質黏性高，噴打後會反彈，但因邊坡緩陡，子彈可以卡在邊坡上。	
缺點	土質黏性高，子彈噴打後會反彈，但子彈再滾落時可以卡在邊坡上。	

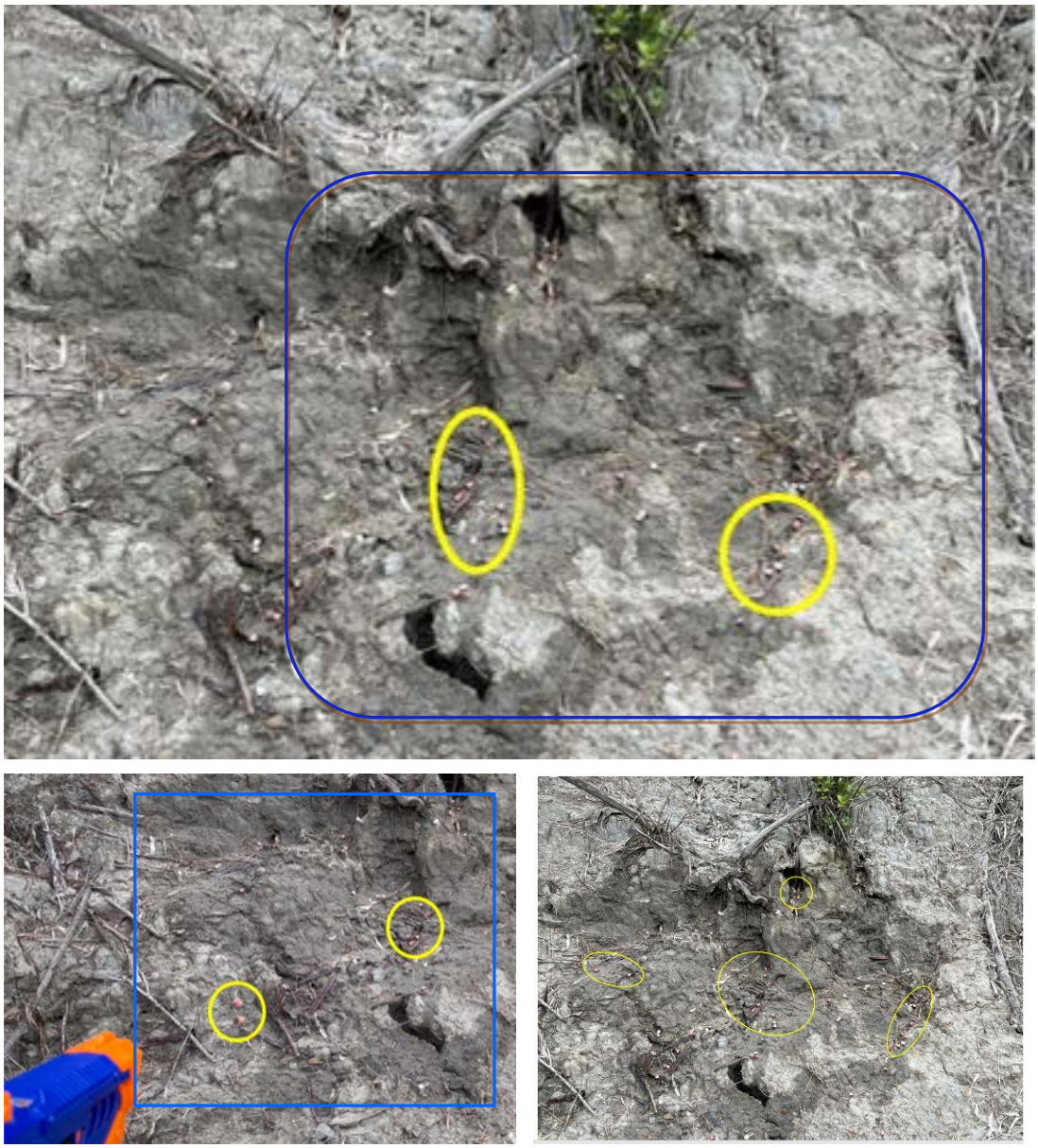


圖 2.9.2：5 月 26 日牛埔噴植結果(種籽子彈故意染紅)

圖 2.9.1 及圖 2.9.2 之方塊大約是 1 平方公尺,框內小顆粒為種籽子彈。

牛埔噴植後，6 月 2 日進行飛行觀測，獲得幾項結果。



圖 2.9.3：6 月 2 日觀察牛埔噴植生長情形，噴植之種籽子彈都已經分解種籽散播在邊坡土地上，土地乾燥尚未發芽

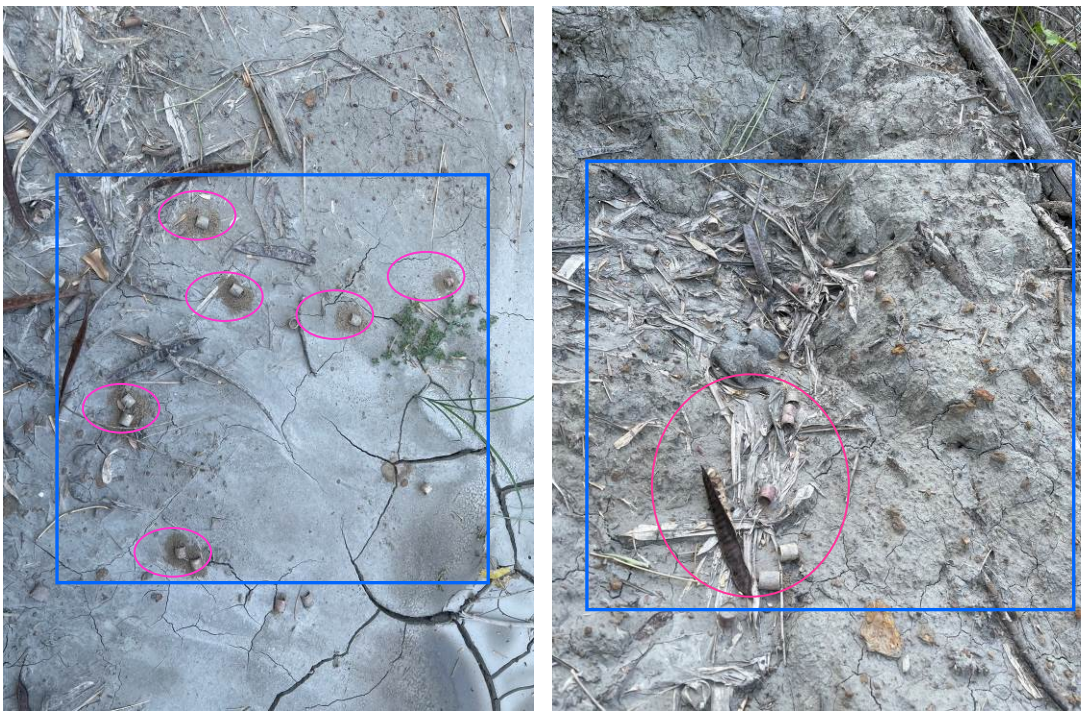


圖 2.9.4：6 月 2 日牛埔噴植生長情形，左圖種籽被螞蟻搬走了，形成蟻巢，另外，土地乾燥尚未發芽

圖 2.9.4 之方塊大約是 1 平方公尺，框內小顆粒為種籽子彈。



圖 2.9.5：6 月 19 日觀測沙田噴植結果，地面十分乾燥都無法發芽

噴植後玉井及龍崎地區的氣象資料紀錄，主要是追蹤降雨，如表紀錄。噴植地：玉井 A、龍崎 B，及對照組。七、八月份台灣地區大雨襲擊，造成多處山區沖刷棘崩塌嚴重。本計畫執行噴植成果有待觀察。

表 2.9.3：5-6 月份噴植區降雨追蹤紀錄

5 月　　久旱半年多

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
久	旱					大雨								對照	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
		A 噴雨		小雨		雨	雨		陰	B 噴雨				大雨	大雨

6 月

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	陰		小雨	大雨				雨		小雨	大雨		陰雨	大雨	
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
		雨		雨		小雨	雨								

2.9.2 第二次噴植實驗

從天氣紀錄表，自 5 月中旬以後台南地區降雨量較多，選擇的沙田及牛埔地區噴植實驗場域應該比較有雨水滋潤。6 月 20 日起進行第一次噴植之觀測，及第二次噴植。

表 2.9.4：6 月 20 日沙田噴植數據

確認項目	內容	
日期	112/06/20	
前天天氣	晴、轉陰	
當天天氣	陰天(午後下小雨)	
座標	Y: 23˚06’49.1832”	X:120˚30’30.816”
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
噴植數量	220 發子彈，約 8 公克百慕達草混波斯菊種籽	
目測土地狀況	坡面較陡，泥土偏硬無水分及黏性。	
可能發芽條件	近日有雨，但是噴植邊坡仍十分乾燥	
噴植狀況	5 月 19 日噴植結果極差，子彈已經分解，尚有殘跡	
缺點	邊坡陡坡達 75 度、表面堅硬，勉強可以附著種籽子彈。	



圖 2.9.6：6 月 19 日觀測後，同一現場繼續噴植



圖 2.9.7：6 月 19 日觀測後，同一現場繼續噴植

圖 2.9.7 方塊內約 2x2 平方公尺，噴植數 40 顆。

2.9.3 苗 126 縣道噴植

6 月 28 日進行苗里地區的噴植作業。原規劃為苗 126 線(24k)，因 126 線多處進行水泥覆蓋施工，無法噴植，故增加苗 124 線(20k)及 26 線(4k/ 8k)，進行噴植。

a. 苗 126 線道

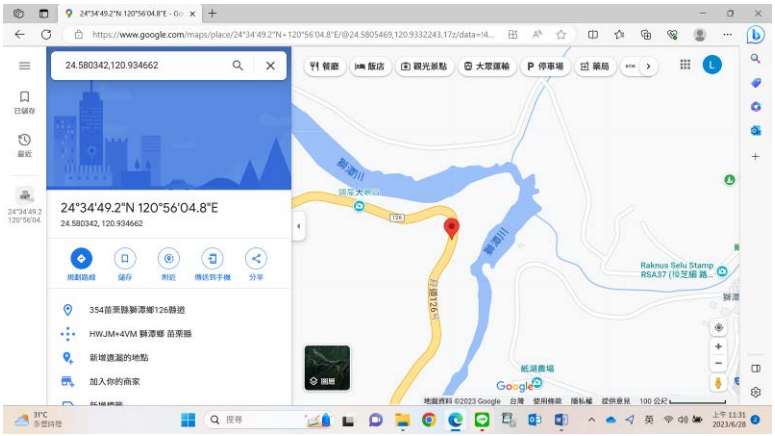


圖 2.9.8：苗 126 縣(24k)道標示區噴植

表 2.9.5：6 月 28 日苗 126(24k)噴植數據

確認項目	內容	
日期	112/06/28	
前天天氣	陰天(溼氣重)	
當天天氣	晴天(晴時多雲)	
座標	Y:24˚34’49.2312”	X:120˚56’04.7832”
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
目測土地狀況	泥土偏硬，有些許散土可以附著。	
可能發芽生殖條件	邊坡上有稀少植物，且鬆土偏多，利於生長。有取苗 126 縣道土壤回來種植。	
噴植狀況	可破壞表面土層，幾乎附著在邊坡上。	
缺點	鬆軟土層，可能下大雨過後，會沖走些許子彈。	



圖 2.9.9：苗 126 縣(24k)道噴植(方塊內為 1 平方公尺)

b. 苗 124 線道

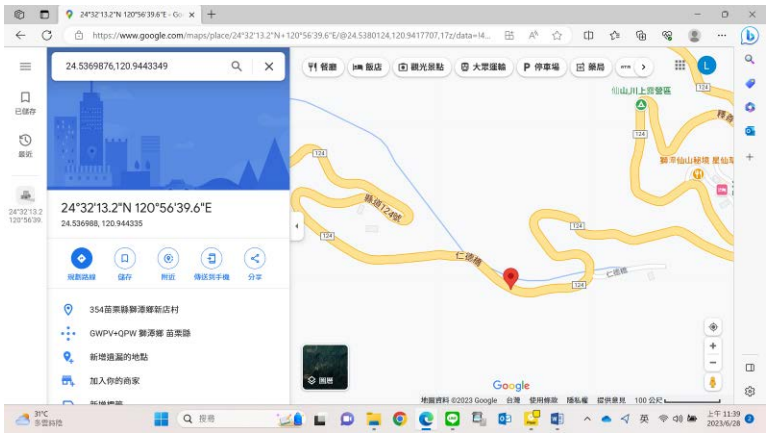


圖 2.9.10： 苗 124 縣(20k)道標示區噴植

表 2.9.6：6 月 28 日苗 124(20k)噴植數據

確認項目	內容	
日期	112/06/28	
前天天氣	陰天(溼氣重)	
當天天氣	晴天(晴時多雲)	
座標	Y:24˚32’13.15536”	X:120˚56’39.60564”
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
目測土地狀況	泥土潮濕，泥土附著性加。	
可能發芽生殖條件	邊坡近日發生崩塌,且泥土鬆軟濕潤,利於生長。有取苗 124 縣道土壤回來種植。	
噴植狀況	直接黏在土層，幾乎附著在邊坡上。	
缺點	鬆軟土層，可能下大雨過後，會沖走些許子彈。	



圖 2.9.11：苗 124 縣道(20k)噴植(方塊內約 1 平方公尺)

c. 苗 26 線道

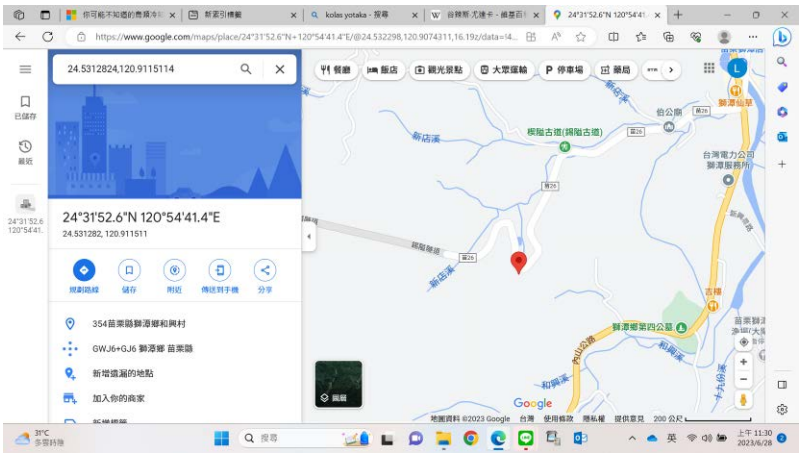


圖 2.9.12：苗 26 縣道(4k)標示區噴植

表 2.9.7：6 月 28 日苗 26(4k)噴植數據

確認項目	內容	
日期	112/06/28	
前天天氣	陰天(溼氣重)	
當天天氣	晴天(晴時多雲)	
座標	Y:24˚31’52.61664”	X:120˚54’41.44104”
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
目測土地狀況	泥土乾燥，外露泥土附著性差。	
可能發芽生殖條件	邊坡崩塌後裸露硬石塊偏多，且泥土鬆軟部分有利於子彈附著。 有取苗 26 縣道土壤回來種植。	

噴植狀況	掉落在土層，幾乎附著在邊坡上。
缺點	鬆軟土層，可能下大雨過後，會沖走些許子彈。



圖 2.9.13：苗 26 縣道(4k)噴植(方塊內為 1 平方公尺)

苗栗縣道當天狀況

苗 126、124、26 線道狀況崩塌甚多，養工處在特定地區進行水泥覆蓋防止崩塌，苗栗地區今年以來雨水較豐沛，土質比較鬆軟。本項噴植工作進行期間仍遇到局部崩塌。





圖 2.9.14：苗 126 縣道(24k)附近當時狀況

2.9.4 龍崎牛埔噴植

因逢下雨，本次於 8 月 8 日進行龍崎牛埔示範園區噴植工作。仍依循前例，以百慕達草及波斯菊混合於種籽子彈內。分三個噴植點實施。



圖 2.9.15：龍崎 1 噴植(方塊內為 1 平方公尺)

表 2.9.8：龍崎 1 噴植環境狀況

確認項目	內容	
日期	112/08/09	
前天天氣	雨天(溼氣重)	
當天天氣	晴天(早上下雨、下午出太陽)	
座標	Y:22°50’47.2992”	X:120°23’53.4012”
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
目測土地狀況	邊坡趨緩，有許多落葉。	
可能發芽生殖	植生條件	
噴植狀況	種子子彈可正常附著在邊坡上。	
缺點	鬆軟土層，可能下大雨過後，會沖走些許子彈。	



圖 2.9.16：龍崎 2 噴植

表 2.9.9：龍崎 2 噴植環境狀況

確認項目	內容	
日期	112/08/09	
前天天氣	雨天(溼氣重)	
當天天氣	晴天(早上下雨、下午出太陽)	
座標	Y:22°49’53.2416”	X:120°25’19.5132”
概略範圍面積	2x2 平方公尺	

目測土地狀況	泥土潮濕，但坡度較陡。
可能發芽	植生條件
噴植狀況	坡度較陡上有凹槽會子彈會卡在裡面
缺點	鬆軟土層，可能下大雨過後，會沖走子彈



圖 2.9.17：龍崎 3 噴植(方塊內為 1 平方公尺)

表 2.9.10：龍崎 3 噴植環境狀況

確認項目	內容	
日期	112/08/09	
前天天氣	雨天(溼氣重)	
當天天氣	晴天(早上下雨、下午出太陽)	
座標	Y:22°58’14.124”	X:120°24’26.0136”
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
目測土地狀況	因前天下雨環境潮溼，外露泥土有吸附性	
可能發芽	植生條件	
噴植狀況	掉落在土層，幾乎附著在邊坡上。	
缺點	鬆軟土層，可能下大雨會沖走些許子彈。	

2.9.5 苗栗第三次噴植

因為南部地區所選之廠址均為陡峭之惡地，地質乾燥、硬，施打噴植子彈很難吸附。苗栗地區經常有雨，土地表較鬆軟且有足夠水分，因此本計畫的執行將重點轉移到苗栗126、124、26三條縣道部分。

苗栗噴植成果看到波斯菊發芽，因此8月21日繼續追加噴植，同樣是百慕達草與波斯菊混合。



圖 2.9.18：苗 126(15k)噴植前評估(方塊內為 1 平方公尺)

表 2.9.11：苗 126(15k)噴植環境狀況評估

確認項目	內容	
日期	112/08/21	
當天天氣	晴天	
座標	Y:24˚34’49.2312”	X:120˚56’04.7832”
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
目測土地狀況	土地就算大雨過後質地也偏硬，周圍剩下很多子彈彈殼，但無發芽的跡象，更換地點。	



圖 2.9.19：苗 126(15k)噴植新地點(方塊內為 2x2 平方公尺)

表 2.9.12：苗 126(15k)噴植新點環境狀況

確認項目	內容	
日期	112/08/21	
前天天氣	晴天	
當天天氣	晴天	
座標	Y:24˚35’28.356”	X:120˚54’50.328”
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
目測土地狀況	泥土柔軟，可以正常附著。	
發芽生殖條件	土壤鬆軟，周圍充分潮濕，利於生長。	
噴植狀況	都有附著在邊坡上。	
缺點問題	養工處沿路施工，有可能會被直接用水泥掩蓋。	



圖 2.9.20：苗 124(24k)噴植地點(方塊內為 1 平方公尺)



圖 2.9.21：苗 124(24l)噴植狀況，邊坡施工覆蓋



圖 2.9.22：苗 26(12k)噴植地點，百慕達草發芽(方塊內為 1 平方公尺)

表 2.9.13：苗 26(12k)噴植狀況

確認項目	內容	
日期	112/08/21	
前天天氣	晴天	
當天天氣	晴天	
座標	Y:24˚31’52.61664”	X:120˚54’41.44104”
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
目測土地狀況	半個月前檢查還未生長，一個月檢查後有些微生長，數量不多，為百慕達草。	
8/21 作業動作	繼續復噴，讓種子持續覆蓋。	



圖 2.9.23：8 月 21 日苗 26(12k)噴植工作狀況

2.9.6 苗栗第三次噴植

9 月 15 日苗栗追加噴植劑量，針對新崩塌邊坡，進行噴植，同時觀測前次的發芽狀況。

表 2.9.14：9 月 15 日苗 126(20k)噴植狀況

確認項目	內容	
日期	112/09/15	
前天天氣	晴天	
當天天氣	晴天	
座標	Y:24°35'28.356"	X:120°54'50.328"
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
目測土地狀況	半個月前百慕達草明顯生長。	
9/15 作業動作	繼續復噴，讓種子持續覆蓋。	



圖 2.9.24：9 月 15 日苗 126(20k)新增噴植工作狀況
(方塊內為 2x2 平方公尺)

表 2.9.15：9 月 15 日苗 26(12k)噴植狀況

確認項目	內容	
日期	112/09/15	
前天天氣	晴天	
當天天氣	晴天	
座標	Y: 24°31'52.61664'	X:120°54'41.44104"
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
目測土地狀況	半個月前檢查還未生長，一個月檢查後有些微生長，數量不多，以百慕達草較為明顯，一個半月百慕達草明顯生長。	
9/15 作業動作	繼續復噴，讓種子持續覆蓋。	





圖 2.9.25：9 月 15 日苗 26(12k)新增噴植工作狀況，黃圈圍百慕達草

9 月 15 日苗 124 縣道(24k)原噴植各點均備邊坡施工，水泥覆蓋上去，無適當空間可以施作噴植。

2.9.7 南化水庫 PVA 噴植

因南部地區所選之玉井沙田、龍崎牛埔土地極度惡劣，經水保局台南分局陳偉迪副工程司提供較需要噴植改善的南化水庫區域，以進行噴植工作。9 月 28 日噴植改變為 PVA 材質填裝木本植物之馬棘與羅氏鹽膚木混合波斯菊，每顆 PVA 種籽子彈內填裝 7~8 顆馬棘或羅氏鹽膚木種籽及數十顆波斯菊種籽，施打密度每平方公尺 2-3 顆子彈。



圖 2.9.26：新研發之 PVA 子彈

表 2.9.16：9 月 28 日南化水庫 A 區 PVA 樹木噴植狀況

確認項目	內容	
日期	112/09/28	
當天天氣	晴天	
座標	Y:23°05'12.0"	X:120°31'34.5"
概略範圍面積	2x2 平方公尺	

目測土地狀況	泥土柔軟，周圍潮濕、可以正常附著。
可能發芽植生條件	土壤鬆軟，周圍充分潮濕，利於生長。
噴植狀況	都有附著在邊坡上。
缺點	如大雨來襲可能將種子沖刷走。

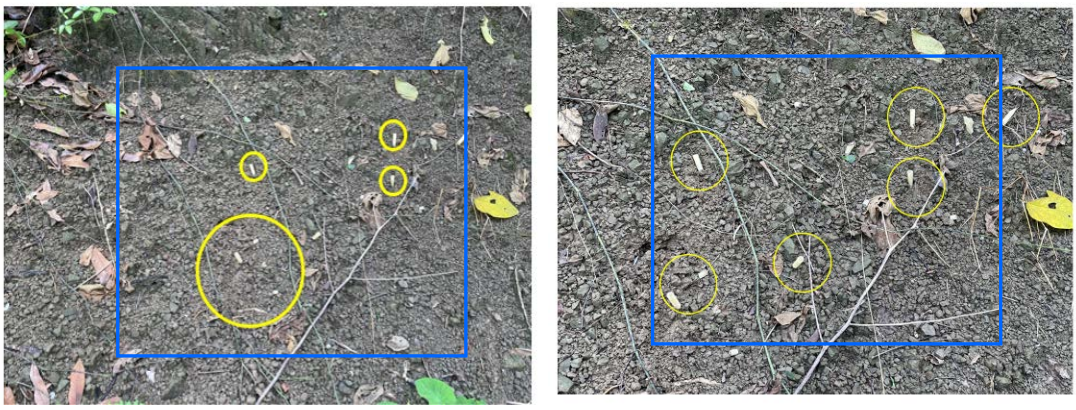


圖 2.9.27：9 月 28 日南化水庫 A 區 PVA 木本噴植狀況
(方塊內為 1 平方公尺)

表 2.9.17：9 月 28 日南化水庫 B 區 PVA 噴植狀況

確認項目	內容	
日期	112/09/28	
當天天氣	晴天	
座標	Y:23°05'08.9"	X:120°31'48.0"
概略範圍面積	2x2 平方公尺	
目測土地狀況	大面積坍塌，泥土柔軟，可以正常附著。	
可能發芽植生條件	土壤鬆軟，周圍充分潮濕，利於生長、新型子彈不易滑落。	
噴植狀況	都有附著在邊坡上。	
缺點	沿路施工有可能會被直接用水泥掩蓋。	



圖 2.9.28：9 月 28 日南化水庫 B 區 PVA 噴植狀況
(方塊內為 1 平方公尺)

苗 26 線道 12k 觀測及噴植

10 月 6 日苗 26 縣道 12k 處 PVA 種籽，噴植馬棘與羅氏鹽膚木。當日順便觀察 7-9 月其他噴植之成果。



圖 2.9.29：10 月 5 日苗 26(12k)噴植 PVA 種籽子彈

2.10 噴植成果檢視

2.10.1 初步成果

本計畫完成玉井沙田、龍崎牛埔、苗 126(124、26)縣道於 5~6 月噴植的結果。

7 月 19 日赴苗栗查核噴植的成果。由於苗栗地區降雨量較多，噴植後預期的水分滋潤就豐富，檢視後發現噴植種籽子彈已經發芽。由於五月下旬降雨甚為劇烈，造成陡峭山坡的沖刷十分嚴重，噴植種籽存留不多，本次查核確定噴植的波斯菊有成功的局部於山壁上發芽。本計畫噴植百慕達草及波斯菊於種籽子彈內。由於波斯菊外觀與一般青草不同也有利於觀測時的辨識。

苗栗明德水庫地區苗 126(15k)的噴植成果，可以看到噴植環境十分惡劣，但是能夠檢視到波斯菊發芽，確定本計畫的執行方式正確可用，將繼續進行噴植。

噴植成果照片黃圈圍噴植百慕達草或波斯菊，紅圈圍當地草種。



圖 2.10.1：苗 126(15k)縣道噴植成果，明顯看到波斯菊發芽





圖 2.10.1：苗 126(15k)縣道噴植成果，明顯看到波斯菊發芽 (續)

圖 2.10.1 為苗 126 縣道(15k)噴植成果統計，該區發芽統計有 6 個單位面積(平方公尺)觀測到 3~5 顆發芽的百慕達草。6 月 28 日當時的噴植密度為每平方公尺 20 顆，為 3/20，2/20，2/20，4/20，1/20，3/20，平均為 15%。該區總噴植面積 160 平方公尺，包含未觀測到發芽區塊，統計數據只剩 5%。依據 9 月 15 日苗栗地區觀測數據，換算發芽率於表 2.11.1。

7 月 26 日(當天天氣下雨)進行玉井沙田噴植成果檢視，沙田地區邊坡十分陡峭，**大約 80 度**，土地十分乾燥，6 月份大雨的沖刷十分厲害，此次檢視，噴植種籽子彈全部被沖刷乾淨，甚至於山腳下都不留痕跡。



圖 2.10.2：玉井沙田噴植區狀況，非噴植草種



圖 2.10.3：玉井沙田噴植區狀況，非噴植草種

9 月 15 日苗栗縣道成果檢視，噴植區域百慕達草明顯發芽成長。下列照片圈出百慕達草發芽生長情況，與當地草種大葉蔓藤有相當大的差異。按，從文獻上查到，波斯菊 7-8-9 月間因為太熱，不會發芽。



圖 2.10.4：9 月 15 日苗 26 線道(4k)百慕達草發芽生長



圖 2.10.5：9 月 15 日苗 26 線道(4k)百慕達草發芽生長



圖 2.10.6：9 月 15 日苗 26 線道(4k)百慕達草發芽生長

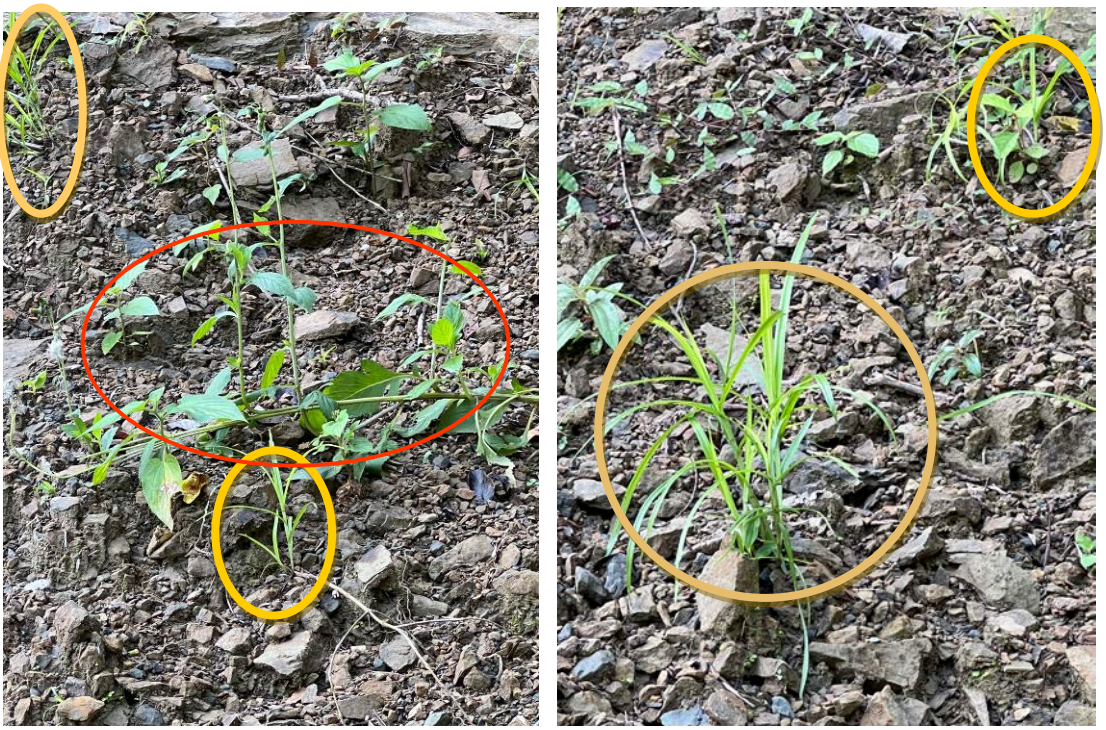


圖 2.10.7：9 月 15 日觀測黃圈為百慕達草發芽生長與紅圈為當地草種之大葉蔓藤



圖 2.10.8：9 月 15 日苗 26 線道(4k)百慕達草發芽生長

圖 2.10.4 至圖 2.10.8 為苗 26 縣道(4k)噴植成果統計，該區發芽統計有 13 個單位面積(平方公尺)觀測到 1~6 顆發芽的百慕達草。6 月至 8 月噴植次數每平方公尺 20 顆。依據 9 月 15 日觀測數據，換算發芽率於表 2.11.1。

10 月 9 日苗 26 縣道(12k)檢視成果，百慕達草發芽稀疏，與當地草有極大差異，如圖黃圈為百慕達草，紅圈圍當地草本。



圖 2.10.9：10 月 6 日苗 26 線道(12k)百慕達草發芽生長(黃圈)



圖 2.10.10：10 月 6 日苗 26 線道(12k)百慕達草發芽生長(黃圈)



圖 2.10.11：10 月 6 日苗 26 線道(12k)百慕達草發芽生長(黃圈)



圖 2.10.12：10 月 6 日苗 26 線道(12k)百慕達草發芽生長，黃圈百慕達草，紅圈當地草種

圖 2.10.9 至圖 2.10.12 為苗 26 縣道(12k)噴植成果統計，該區發芽統計有 10 個單位面積(平方公尺)觀測到 1~6 顆發芽的百慕達草。8 月噴植 1 次每平方公尺 20 顆。依據 9 月 15 日觀測數據，換算發芽率於表 2.11.1。

2.10.2 明德水庫噴植成果

噴植成果檢視玉井沙田里、龍崎牛埔園區均是極為惡劣的環境，經三次噴植，均未觀測到發芽的波斯菊或百慕達草。9 月 28 日改變噴植物種，以馬棘棘羅是鹽膚木為主，並改用 PVA 為材料製作種籽子彈，並變更地點至南化水庫附近噴植。

苗栗明德水庫附近水分比較濕潤，適合植物生長，因此持續進行噴植，並同時檢視前次成果，於 7 月 19 日、9 月 15 日及 10 月 6 日進行觀測檢視，獲得紀錄。表 2.11.1 為苗栗明德水庫附近之噴植成

果。其中每個區域大約有十來個噴植一平方公尺之區塊，紀錄該發芽成果，苗栗地區對水土保持極為積極，崩塌區域可能危及交通，會進行邊坡覆蓋工程。本計畫執行之苗 126、苗 124 縣道噴植發芽後，均被覆蓋工程掩埋。

針對苗栗明德水庫附近之噴植，所獲得的發芽比率平均值為 6.9%。由於草本種籽發芽潛伏期甚長，本研究將須持續進行半年以上的觀測。

表 2.11.1：苗栗明德水庫附近噴植成果觀測

地區	區塊數	噴植次數	種子密度/m^2	觀測日期	發芽數	發芽率	附註
苗 126 15k	6	2	20	7/19	12	12/240 5%	被工程掩蓋
苗 124 24k	4	2	20	9/15	15	15/160 9.375%	被工程掩蓋
苗 26 4k	4	2	20	9/15	22	22/160 13.75%	生長良好
苗 26 12k	4	2	20	10/6	15	15/160 9.375%	生長良好, 10/6 續噴 PVA
					概略發芽率	9.375%	
單位區塊面積為 m^2，發芽率為該區目測發芽數/總噴植數							

2.10.3 南化水庫木本植物噴植成果

南化水庫 9 月 28 日噴植木本植物，馬棘與羅氏鹽膚木，於 10 月 30 日檢視成果。



圖 2.10.13：左 2x2 m^2 內有 8 顆、右 1x1 m^2 內有 3 顆羅氏鹽膚木

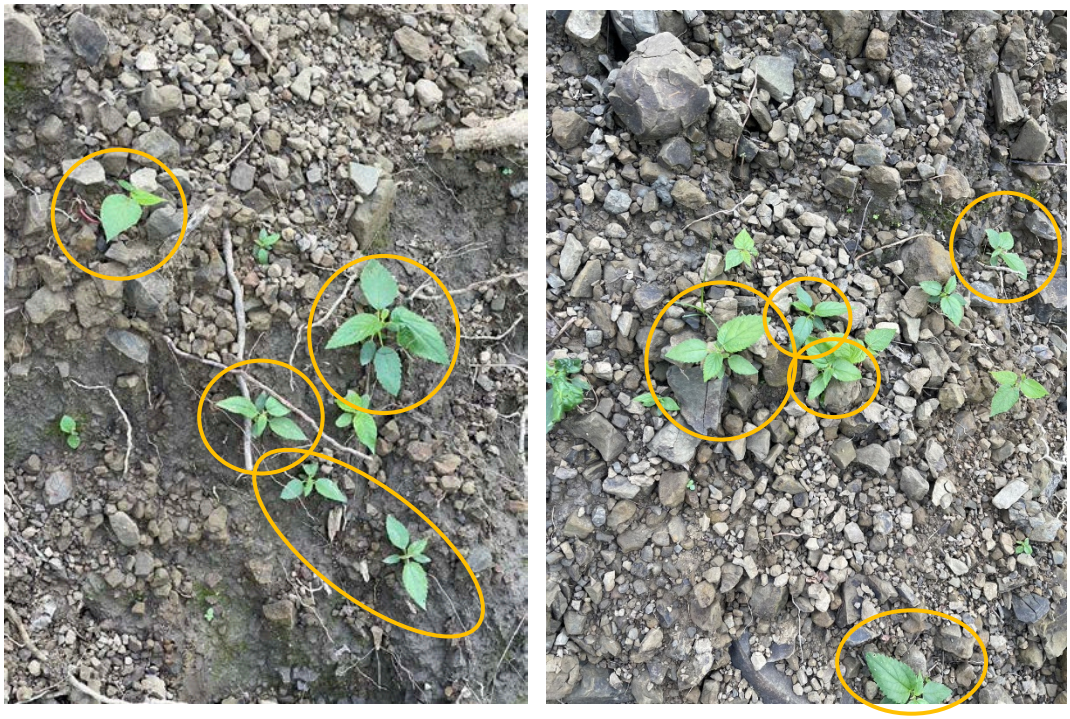


圖 2.10.14：2x2 m^2 內有 5 顆、2x2 m^2 內有 5 顆羅氏鹽膚木



圖 2.10.15：左 1x1 m^2 內有 2 顆、右 1x1m^2 內有 2 顆羅氏鹽膚木



圖 2.10.16：3x4 m^2 內有 12 顆羅氏鹽膚木



圖 2.10.17：3x4 m^2 內有 19 顆羅氏鹽膚木



圖 2.10.18：2x2 m^2 內有 5 顆羅氏鹽膚木

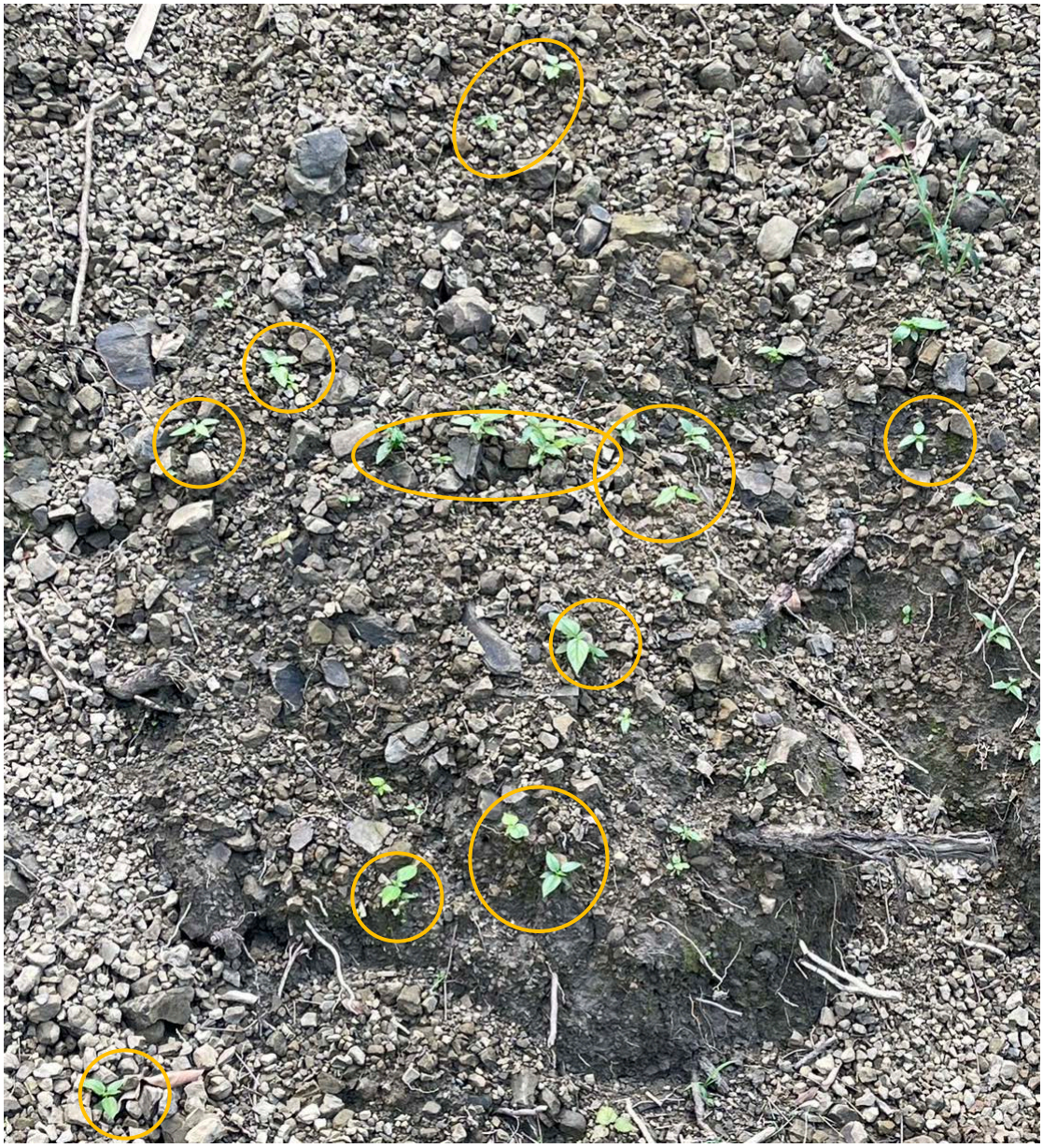


圖 2.10.19：3x4 m^2 內有 16 顆羅氏鹽膚木



圖 2.10.20：整區發現馬棘 1 顆

9 月 28 日噴植南化水庫周邊崩塌邊坡，計噴植木本植物種籽子彈 5 個彈匣，計 200 發種籽子彈，包含馬棘與羅氏鹽膚木。經 10 月 30 日邊坡檢視，累計成果計約 100 m^2 面積，容易目測範圍約 55m^2，累計發芽數 77 棵羅氏鹽膚木、1 棵馬棘，統計數據：

(a)統計發芽率：78/200 = 39%

(b)覆蓋率：78/55 = 1.4 棵/m^2

南化水庫的追加噴植，主要是木本植物的馬棘與羅氏鹽膚木。從參考文獻[5, 18]，每一平方公尺發芽一棵以上的喬木或灌木，對水土保持及山坡地復育均有價值。

2.10.4 苗 26 縣道木本植物噴植成果檢視

10 月 6 日於苗 26 縣道 12K 處噴植木本植物馬棘與羅氏鹽敷木，10 月 31 日觀測發芽結果。

a. 9 月以前噴植的百慕達草



圖 2.10.21：百慕達草



圖 2.10.22：百慕達草

b. 9 月 28 日噴植的羅氏鹽膚木



圖 2.10.23：羅氏鹽膚木

c. 9 月 28 日噴植的馬棘



圖 2.10.24：馬棘

苗 26 縣道 12k 噴植 40 棵種籽子彈，面積約 20m^2，

木本植物 發芽率 = 7/40 = 17.5%

覆蓋率 = 7/20 = 3.5 棵/m^2

同一區域，8 月份噴植的草本植物 約 80 顆種籽子彈

草本植物 發芽率 = 17/80 = 21.25%，比 10 月 6 日的觀測樹稍多。

2.11 成果討論

本計畫執行台南玉井沙田、龍崎牛埔兩區域的惡地噴植，達不到預期成果。修改目標至苗栗明德水庫附近苗 126、124、26 縣道進行噴植，於 8 月 19 日初步檢視，此時噴植期間雖然只有大約 40 天，仍發現少量成果。後續繼續加強苗栗縣道之噴植工作。惟苗栗的水土保持工程，水泥鋪網工程覆蓋了發芽區塊。只剩苗 26 縣道可以繼續噴植，至 10 月 31 日觀測，成果尚佳。

本計畫諮詢顧問建議改噴木本植物，單位面積所需噴植數量及觀測的覆蓋率數量較少，容易實施。因此於 9 月下旬選擇苗 26 縣道 12k 觸及南化水庫附近噴植木本植物之馬棘與羅氏鹽膚木。經一個月的等待，於 10 月 30 日檢視南化水庫之成果及苗 26 縣道之成果，均觀測到相當多的發芽數，顯示改變木本植物的噴植是正確的方向。

本計畫噴植及觀測成果統計於表 4.1 中，所獲得的成果數據驗證本計畫所提的無人機噴植技術與工法是可行的，值得進行後續的推廣研究。

2.12 後續成果觀測

本計畫報告於 11 月 4 日完成編撰、11 月 10 日提送，針對苗 26 縣道、南化水庫附近之木本植物噴植成果，所作的觀測並不充分。為探討本計畫所採用之無人機種籽子彈之噴植工法所能達成的效益，於計畫成果報告(12 月 5 日)前，12 月 3 日赴苗 26 縣道 12k 附近探勘，及 12 月 4 日赴南化水庫附近探勘，收集最新資料。

2.12.1 苗 26 縣道 12k 觀測結果

26 縣道噴植包含稍早 8-9 月份的草本植物及 10 月 6 日新的木本植物噴植成果觀測，各噴植地點均有顯著的發芽，包含百慕達草，馬棘與羅氏鹽膚木。由於噴植路量較少及分散，觀測的結果發芽率及付改率變化不大。

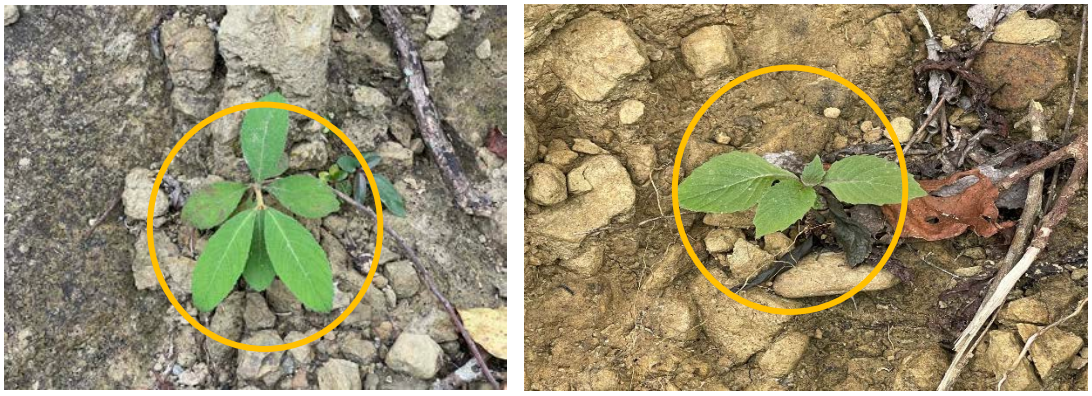


圖 2.12.1：苗 26 縣道 12k 發芽的馬棘(左)、羅氏鹽膚木(右)



圖 2.12.2：苗 26 縣道 12k 發芽的馬棘(左)、羅氏鹽膚木(右)




圖 2.12.3:苗 26 縣道 12k 發芽的羅氏鹽膚木(左右)以及百慕達草(左)




圖 2.12.4：苗 26 縣道 12k 發芽的百慕達草




圖 2.12.5：苗 26 縣道 12k 發芽的百慕達草



圖 2.12.6：苗 126 縣道 24k 發芽的羅氏鹽膚木

2.12.2 南化水庫觀測結果

南化水庫附近於 9 月 28 日噴植木本植物，選定位置較集中，因此 12 月 4 日觀測的成果十分突出。從照片上看到原來光禿禿的邊坡面上，長出參差馬棘與羅氏鹽膚木，容易辨識，且發芽率及覆蓋率均極高。為凸顯噴植發芽之成果，圖 2.12.7 及圖 2.12.8 為南化水庫同一位置 9 月 28 日噴植後及 12 月 4 日觀測之對照。



圖 2.12.7：南化水庫同一位置噴植後之發芽狀況對照 A



圖 2.12.8：南化水庫同一位置噴植後之發芽狀況對照 B

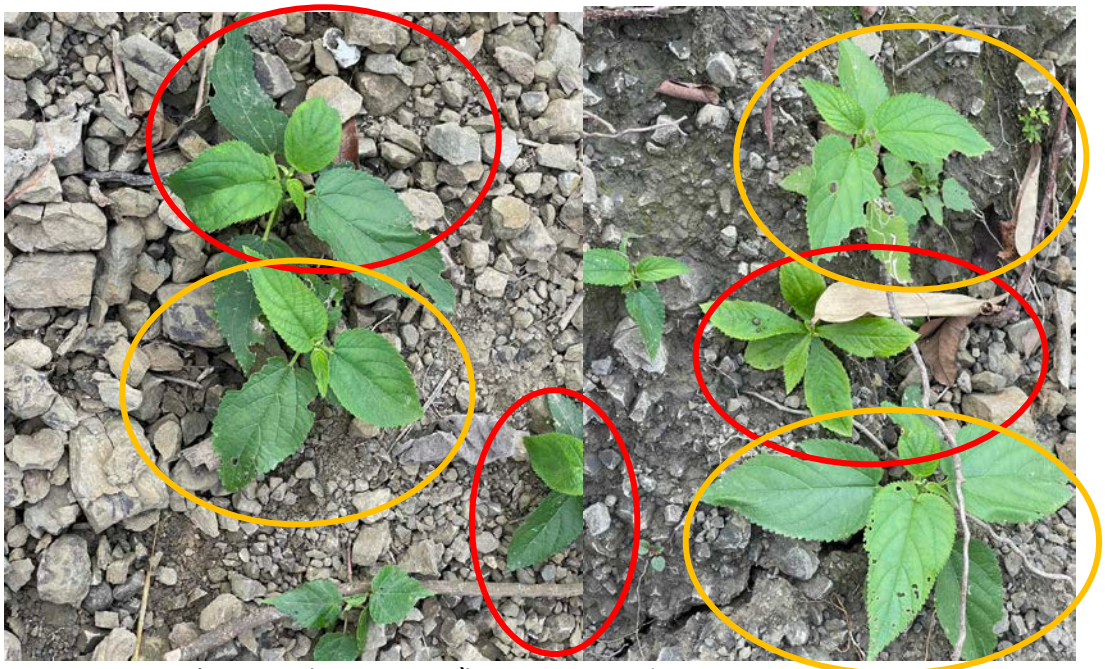


圖 2.12.9：南化水庫羅氏鹽膚木混搭馬棘

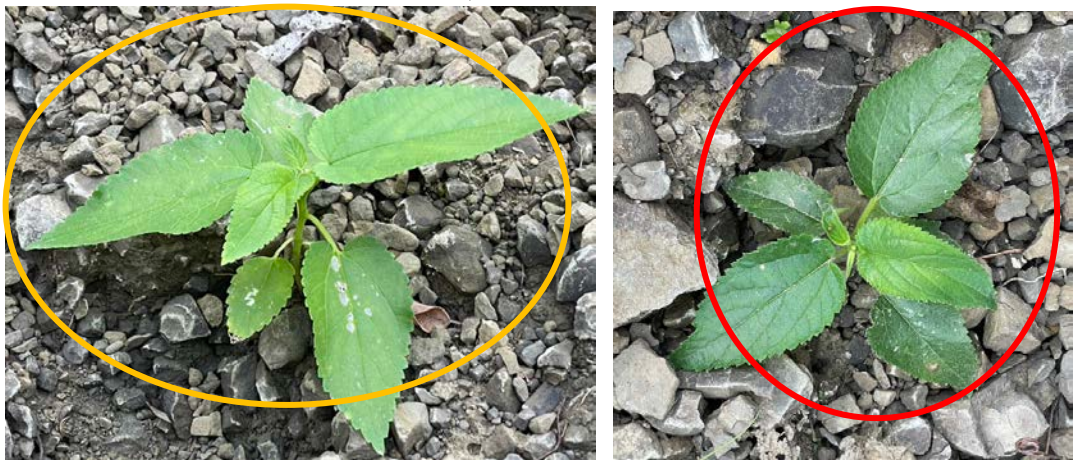


圖 2.12.10：南化水庫羅氏鹽膚木(左)、馬棘(右)

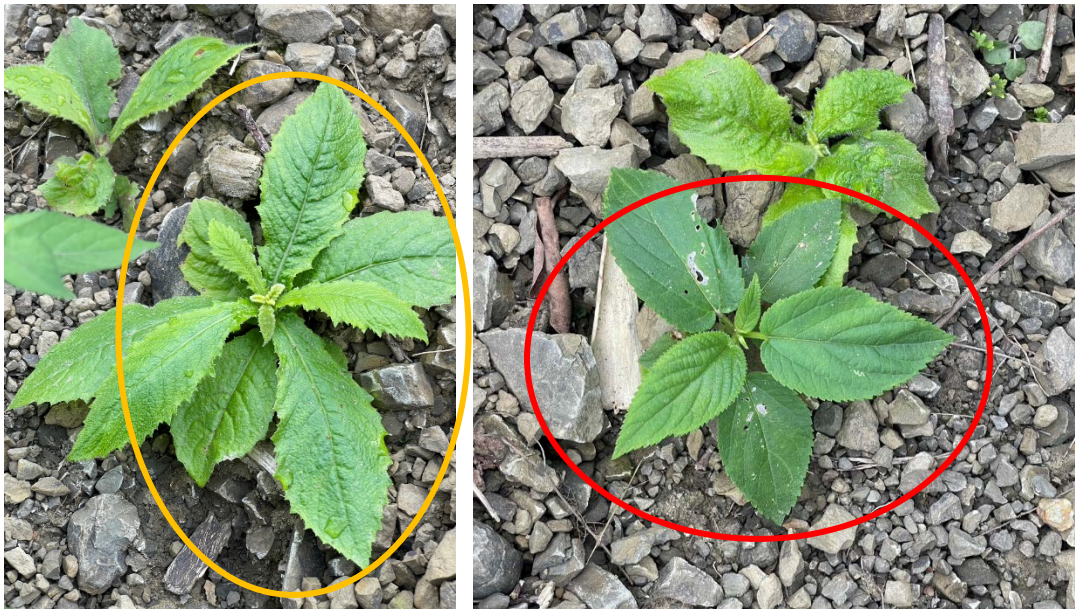


圖 2.12.11：南化水庫羅氏鹽膚木(左)、馬棘(右)



圖 2.12.12：南化水庫高密度羅氏鹽膚木混搭馬棘，高發芽率



圖 2.12.13：南化水庫高密度羅氏鹽膚木混搭馬棘



圖 2.12.14：南化水庫高密度羅氏鹽膚木混搭馬棘



圖 2.12.15：南化水庫高密度羅氏鹽膚木混搭馬棘

第三章　工作進度與交付項目

第一節　計畫甘特圖

本計畫執行進度甘特圖，自 112 年 2 月至 11 月計十個月。其中前兩個月為準備工作，完成噴植技術硬體與軟體的研發、建置與初步測試。由於台灣地區長期乾旱無雨，直至 5 月份開始有雨，計畫選擇噴之場域之惡劣狀況稍有緩解，才進行噴植作業。

表 3.1：計畫執行甘特圖

工作內容		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	規劃設計製作噴植機具										
2	無人機測試改進作業方式										
3	台南苗栗場域探勘										
4	草本對照種植實驗										
5	種籽採購子彈製作準備										
6	噴植作業、人員派遣噴植										
7	觀測成果、人員派遣觀測										
8	木本對照實驗										
9	苗栗南化場域木本噴植及觀測										
10	成果分析及報告綜整										
11	後續研究建議										

第二節　計畫交付項目

針對本計畫書所評估之預期效益及 KPI，計畫執行中逐項檢討，並與紀錄。其中零散項目比較不重要，最後做整體的 KPI 評估。

表 3-1：計畫預期效益及 KPI 項目對照期末報告章節

類別	KPI 項目	期末報告章節	預期效益
新技術 無人機噴植發射系統 完成設計製作及組裝測試	子彈設計 彈匣設計 子彈發射器	2.2 種籽子彈發射機構 (p.7~p.9) 2.3 無人機系統組裝 (p.5)	研發兩種材質種籽子彈，一為紙吸管、二為 PVA 材質，填充二種種籽，每個彈匣容納 40 個種籽子彈。3 個子彈發射器、三架 850 無人機可以執行任務。每架 850 無人機噴植一顆電池足夠噴植一個彈匣。
850 噴植無人機 完成測試	搭載噴植器材	2.4 無人機噴植測試 (p. 11)	2 架 850 無人機、1 架備用
環境因子 完成採樣檢測及分析評估	土壤性質 土壤硬度 酸鹼值	2.5 噴植場域探勘 (p. 13) 2.6 探勘各地土質狀況 土壤酸鹼度 (p.26~p.29)	了解環境因子並搭配合適的噴植種籽。 實驗地點為玉井沙田、龍崎牛埔泥岩惡地 60 度以上陡峭邊坡。新增苗栗地區苗 126、124、26 縣道，以及南化水庫周圍邊坡之噴植。 種籽子彈混合噴植地土壤之效益。 採集各噴植場域土壤做酸鹼度測試，噴植結果，弱鹼性土壤比較有利種子發芽。
噴植密度	草本種籽百慕達草及波斯菊混合。9 月下旬增加木本種籽馬棘及羅氏鹽膚木，混玻斯菊。	2.7 植栽選擇 (p. 29, p. 33)	每顆草本種籽子彈約含 1 公克百慕達草及波斯菊，噴植每平方公尺月 20 顆子彈。 噴植木本馬棘及羅氏鹽膚木，每顆子彈約含約 7-8 顆種籽，噴植每平方公尺 1-2 顆子彈。
實驗對照組 草本科百慕達草與波斯菊 馬棘與羅氏鹽膚木加波斯菊	5/15，7/6 舖兩塊 1 公尺 x1 公尺種質實驗	2.8 種籽發芽生態特性觀察 (p.34) 2.8.2 對照組實驗 (p35)	一區為直接灑種、一區為種籽子彈灑種 變更實施，百慕達草外觀不易與都地草分辨，改混種百慕達草及波斯菊於同一種籽子彈內。 9/23 新研發 PVA 材質，進行對照實驗。
	9/23 以 0.5 公尺 x0.5 公尺種植實驗	對照實驗(p. 41)	
	三塊 0.5 公尺 x 0.5 公尺 對照實驗種值觀察	對照實驗(p. 42)	9/23 用手撒、紙吸管種籽子彈、PVA 種籽子彈，內裝馬棘、羅式鹽膚木各約 5~8 顆，及約 20 顆波斯菊

類別	KPI 項目	期末報告章節	預期效益
噴植無人機飛行計畫	噴植環境 噴植路徑規劃 噴植次數	2.9 場地噴植實驗 (p.43)	完成實驗城區空中探勘，噴植路徑規劃。 5 月至 9 月完成牛埔及玉井沙田區、苗 126、124、26 線道邊坡噴植各三次。噴植百慕達與波斯菊混合籽彈。9 月 28 日改於南化水庫邊坡、10 月 6 日苗 26 縣道邊坡噴植馬棘、羅式鹽膚木與波斯菊混合種籽。 噴植後各區每三週(或更長時間)做一次觀測。
固定翼無人機探勘	未執行	無	固定翼無人機觀測，速度快範圍大，本計畫本年度執行範圍尚不需使用到。
UTM 管理	未執行	無	本年度工作都在目視範圍內執行，尚無需 UTM 支援。 UTM 計畫已於 6 月份終止，不再支援無人機管理任務。
成果觀測	噴植後種籽發芽成長,達成計畫預期目標	2.10 噴植成果檢視 (p.67~p.74) 2.11 噴植結果討論 (p.76) 2.12, 2.13 觀測效益 (p. 76~)	8/10 至 11/6 間多次觀測噴植發芽結果。 8/19 苗 124 線波斯菊發芽，數目寥寥稀疏。 9/15 觀測到苗 26 縣道百慕達草發芽，成果頗為顯著。 10/6 觀測到苗 26 縣道百慕達草發芽，狀況佳。 10/30 觀測南化水庫 PVA 木本植物羅氏鹽膚木發芽成效。 10/31 觀測苗 26 縣道(12k)PVA 木本植物噴植成果。
無人機噴植成本分析	完成無人機噴植技術推廣之成本效益分析,可達預期目標,節省經費、達成人員不可及場域之噴植作業	-「無人機噴植作業」成本分析 -表 4.1：無人機噴植作業成本分析，p.91 -附錄一、期中報告審查意見及回覆辦理之問項八，p.102	噴植草本築物種籽，百慕達與波斯菊，每公頃成本約 92.38 萬元；噴植木本植物種籽，馬棘、羅式鹽膚木混合波斯菊，每公頃約 74.38 萬元。噴植任務各由兩組四名飛行員執行 16 人工天任務。 本計畫無人機噴植工法將延續申請下一年度水保計畫，選擇兩區完整的 1/4 公頃進行噴植與評估。

類別	KPI 項目	期末報告章節	預期效益
新型專利	新型專利 M636155 2023.01.01~2032.09.13	申請日期 2022 年 9 月 14 日	利用拋投工具播撒用的種子彈筒
PVA 種籽子彈	發現 PVA 環保材料應用於種籽子彈之製作	圖 2.1.4 所示，p. 7	PVA 種籽子彈噴植馬棘與羅氏鹽膚木於 9/28 噴植南化水庫及 10/6 噴植苗 26 縣道(12k)，10/30, 10/31 觀測成果甚佳。
學術成果	計畫投稿文章 航太學會 2023 年會 Journal of Soil and Water Conservation	附錄二 投稿初稿, p. 106 附錄三 投稿初稿	題目 Side Slope Spray Planting using Unmanned Aircraft System - An Innovation and Feasibility Study 無人機邊坡噴植技術之系統研發與初步驗證
完成基礎科學發展成果	以無人機搭載噴植機構，在遠端對陡峭邊坡噴射種籽子彈，達到人跡無法到達實施的噴植效果	2.1~2.3 技術說明，基礎物理概念 p.3~p.11	完成環保種籽子彈設計與製作，包含紙吸管與 PVA 材質。噴植草本植物，百慕達草與波斯菊，以及木本植物馬棘與羅氏鹽膚木
促進前瞻策略擬定	計畫成果將延續擴大實驗	延伸本計畫成果申請 113 年度創新發展計畫 p.2	建立標準作業程序，推廣應用價值
促進無人機產業發展	計畫研發技術可以帶動無人機產業應用於水土保持工作需求	第四章之二、中長期建議，培育團隊 p. 97	無人機噴植技術可以協促改善陡峭邊坡之噴植復育技術瓶頸，加速復育工作。

本計畫預期交付之成果包含如下：

(1)**噴植作業之技術建置與標準作業程序**，提供無人機噴植作業系統之硬體、軟體設計資料，分敘如下。

(a)前置作業：

i.種籽相關： 選擇種籽並準備一定數量 — 種籽泡水令其濕潤 — 準備膠狀攪伴體 — 填充子彈 — 製成一定量子彈 (手工製成)。

ii.無人機相關： 噴植場區探勘 — 目標地區的可及性 — 目標地區噴植作業可行性 — 目的地確切座標 — 目的地季節天候狀況查閱 — 衡量無人機噴植之熱區與相對高度 — 噴植熱區之土質狀況探勘 — 依噴植熱區之面積進行種籽(子彈)密度估算發芽率。

(b) 噴植作業： 依目的地土質植栽種籽選擇 — 規劃無人機飛行路徑及熱區噴植作業 — 依熱區規劃子彈噴植密度進行作業 — 影像照片紀錄，待後續比對作業。

(c) 後續觀測： 依植栽種籽特性預估生長期 —**1** 個月後再至噴植熱區 — 以無人機進行種籽生長觀測紀錄 — 對照噴植熱區之生長密度狀況 — 影像與照片拍攝紀錄、人工比對作業 — 作業檢討與回饋。

(2) 無人機噴植技術建置：

(a)建置無人機噴植的技術，環保種籽子彈的設計與製作，完成紙吸管成品及 PVA 成品，可以量化製造與推廣。(由於種籽顆粒細小、微軟，目前尚如法設計自動化包裝機具)

(b)設計噴植機構裝置，目前以玩具槍改裝之彈匣容量 40 發子彈，未來經費充裕下，可以依據本計畫成果重新設計較大彈匣容量所需之機構系統，以配合實際需求。

(c)利用 850 軸距多旋翼無人機能噴植 200 公尺範圍內的邊坡區域，其電池容量、子彈數量均可以配合，逐步進行噴植面積。未來將請配合公司提高為 1300 軸距無人機，以利攜帶更多種籽子彈進行更遠至 2 公里範圍之噴植，可以飛到山背面噴植。

(d)噴植成果觀測，本計畫使用波斯菊，其外觀特徵與其他草類不同，容易辨識。選擇噴植之草種，可以混搭波斯菊，以利成果觀測。改噴植馬棘與羅氏鹽膚木，發芽後可以有明顯外觀的差異。(最近的實驗四季豆種籽發芽更快可合併填充於子彈內)

(e)本計畫著重的噴植崩塌坡地面積都零散不大，目測大約在 3 公尺 x5 公尺範圍，為初期驗證之場域。未來將改 50m x 50m 方整面積以灌木或喬木噴植，可以降低噴植密度，達到崩塌區域的水土保持。

(3)**針對不同地區地質 PH 值**，選擇草本植物(百慕達草及波斯菊) 或木本植物(馬棘與羅氏鹽膚木)，進行測試噴植，達到預期效益之初步評估。苗栗、台南各噴植場域之土壤之酸鹼度測試，苗栗地區弱鹼性 PH 值約 8-9，除了土地較潮溼外，PH 值對種子發芽可能有影響。

(4)無人機種籽子彈噴植技術推廣，可以培育具備基本飛行能力之團隊，學習種籽子彈之製作、噴射機構之製作組裝及調校、噴植場

地探勘土質判定，噴植成果之檢驗。無人機噴植團隊須有基本的組織架構，包含(1) 團隊需登錄通過民航局「無人機飛行操作手冊」；(2) 建立適用的無人機，15kg 級以下； (3) 一組三員有 Ia, G2 專業執照的飛行操作員，負責飛行、操控與安全，以及無人機的經常維護；(4) 有機械控制人員支援噴射機夠組裝加工；(5) 飛行作業申請適當(綠區)空域內執行種籽拋投；(6) 噴植場域探勘及場地紀錄與成果分析。

(5)**完成本計畫「無人機噴植作業」之成本分析**，針對噴植草本種籽(百慕達與波斯菊)，每公頃成本約 92.38 萬元；針對噴植木本種籽(馬棘、羅式鹽膚木混合波斯菊與四季豆)，每公頃約 74.38 萬元。噴植任務各由兩組四名飛行員執行 8 天任務可以完成 1 公頃面積。惟邊坡噴植面積可能都是零星區塊， 1 公頃單位面積噴植所需時間會拉長一倍以上。

(6)**種籽子彈製作**

本計畫成果之無人機種籽子彈噴植工法推廣後，種籽子彈之製作，因為種籽細小、質輕，且須多種種子混合，仍需以人工裝填完成比較順利。經本計畫之實施之經驗，以時薪計算含材料費用，估算單位成本約草本 3 元、木本 7 元，容易教學推廣。

表 3.1：無人機噴植作業成本分析

噴植每公頃單位成本						
	機具與人員					
	項目	成本	評估比率	每天費用	需求	Ha 需求成本
1	1300 無人機	250000	0.02	5000	16	80000
2	註冊與保險	18000	0.5	9000	1	9000
3	噴植器材	40000	0.1	4000	8	32000
4	LiPo 電池 8800	9200	0.1	920	16	14720
5	器材與維護	20000	0.3	6000	2	12000
6	發電機	50000	0.05	2500	16	40000
7	飛行員	6000	2	12000	16	192000
8	人員保險	200	2	400	16	6400
9	誤餐飲水	500	2	1000	16	16000
10	交通租車	2500	2	5000	16	80000
11	油耗過路	33	60	1980	16	31680
12	住宿費	2500	1	2500	8	20000
			每公頃	噴植作業	成本	533800
消耗種籽						
	項目	單價	顆數/m^2	Ha (m^2)	種籽成本	Ha 噴植成本
13	種籽子彈(草)	3	13	10000	390000	923800
14	種籽子彈(木)	7	3	10000	210000	743800

第四章　結論及建議

第一節　結論

本計畫提出「**無人機噴植噴值系統**」構想，經幾個月、不同地區、不同植物的噴植成效，獲得成果證實本構想之噴植效益可以達到陡峭邊坡之噴植保育能力。

本計畫完成「**無人機噴植噴值系統**」實驗硬體之設計製作，在台南、苗栗惡劣環境之 60%以上陡坡進行噴值草本植物(百慕達草及波斯菊) 或木本植物(馬棘與羅氏鹽膚木)，以觀察植物發芽生長之狀況，經多處、多次之噴植測試，發現在台南玉井沙田及龍崎牛埔之惡地，仍無法達成預期效果。然而在苗栗 126、124、26 線道邊坡之噴植，觀測到波斯菊與百慕達草成功發芽，顯示在恰當的季節、氣候條件下，本計畫「**無人機噴植噴值系統**」的噴植效益可以預期。

本計畫先以草本植物之百慕達草及波斯菊為噴植物種，選擇波斯菊之主要目的為波斯菊之外觀特徵容易辨識，噴植後觀測容易。圖 4.1 及表 4.1 所示之噴植與發芽率觀測，(其他成果請參與本報告第 67 頁「**2.10 噴植成果檢視」以後)**，苗 126 縣道之波斯菊大約 5%，苗 124 縣道之百慕達草約 9.375%，苗 26 縣道之百慕達草約 13.75%。因為植物發芽生長會有潛伏期，需要較長的時間來觀測，本計畫執行噴

植至今約三個月，碰巧遇到 7~9 月太熱，波斯菊不會發芽開花。改噴木本植物後，南化水庫於 10 月 30 日觀測到部分成果，發芽率達 39%，覆蓋率達 1.4 棵/m^2；苗 26 縣道 12k 於 10 月 31 日觀測到發芽率 17.5%。



圖 4.1：波斯菊(苗 124)與百慕達草(苗 26)噴植成果(一例)



圖 4.2：南化水庫羅氏鹽膚木噴植成果(一例)

噴植之種籽依其特性，會潛伏至 11 月以後天氣轉涼才發芽。後續噴植的結果，須有 3~4 個月的觀測期。

表 4.1：噴植效益觀測紀錄

分項	噴植場域							
地區	苗 126 15k	苗 124 24k	苗 26 4k	苗 26 12k	沙田	牛埔	苗 26 12k	南化
種籽	A+B	A+B	A+B	A+B	A+B	A+B	C+D+B	C+D+B
坡度	60°	70°	60°	60°	60°	70°	60°	70°
面積 m^2	6	4	4	4	20	20	20	55
噴數	2	2	2	2	3	3	1	1
密度/m^2	20	20	20	20	20	20	20	20
面積基數	240	160	160	160	1200	1200	40	200
噴植日	6/28, 8/21		9/15		6/20, 8/09		10/06	9/28
觀測日	8/19	9/15		10/06	8/10, 9/15		10/31	10/30
發芽數	12	15	22	15	0	0	7	78
發芽率%	5	9.375	13.75	9.375	0	0	17.5	39
覆蓋率 棵/m^2	6	3.75	5.5	3.75	0	0	3.5	1.4
種籽　A 百慕達草、B 波斯菊、C 馬棘、D 羅氏鹽膚木								
基數=地區噴植子彈數量，發芽率=發芽數/基數								
覆蓋率=發芽數/檢測面積，目標 木本植物>1 棵/m^2，草本植物>10 棵/m^2								

台南地區所選之惡地十分乾旱，相較於苗栗地區雨水較多，土地比較濕潤，種籽順利發芽。利用「**無人機噴植系統**」技術與噴植場域的邊坡陡峭程度關係不大。本計畫發展之工法適合邊坡 60%以上之測試場與地點，種籽子彈的設計特色，可以沾黏於邊坡土地上等待發芽。

噴植草本植物，百慕達草與波斯菊，噴植密度每平方公尺約 20 顆種籽子彈，約有 200 顆種籽。估計發芽率 5~10%，可以觀測到噴植的效果，若發芽率能達到 10%以上，可以明顯看到噴植覆蓋。

噴植種籽發芽情形，可能種籽有潛伏期，觀測時間需 3 個月至 6 個月，以完整獲得噴植成果及分析其效益。未來可能在種籽子彈內加一顆四季豆種籽，促進發芽觀測。經本計畫實驗，四季豆灑於地面 7

天後即可長出明顯的成果，有利於噴植後的觀測。

後續追蹤噴植效益成果

本計畫報告於 11 月上旬完成後，於 12 月 3 日、4 日再度觀測 26 縣道及南化水庫之拚值成果。於 2.12 節之報告增加許多觀測成果。圖 2.12.1 至圖 2.12.6 各圖可見苗 26 縣道 12k 附近幾處零星的噴植，40 棵種籽子彈，面積約 20m^2，苗 26 縣道**木本植物**之成果如下。

發芽率 = 15/40 = 37.5%

覆蓋率 = 15/20 = 0.75 棵/m^2

圖 2.12.9 至圖 2.12.15 各圖可見該南化水庫噴植面積約 55 平方公尺，目視觀測發芽數大約 117 棵，南化水庫**木本植物**之成果如下。

發芽率 = 115/200 = 58.5%

覆蓋率 = 117/55 = 2.1 棵/m^2

依據此一結果修改表 4.1 之噴植效益觀測紀錄，如表 4.2 之修訂。從本計畫諮詢顧問給予的指導，覆蓋率能達到木本植物>1 棵/m^2，草本植物>10 棵/m^2，在崩塌邊坡的噴植尚將有極大的價值。表 4.1 之修訂成果已經接近噴植作業的期待值了。

表 4.2： 修訂 表 4.1 之噴植效益觀測紀錄

分項	噴植場域							
地區	苗 126 15k	苗 124 24k	苗 26 4k	苗 26 12k	沙田	牛埔	苗 26 12k	南化
種籽	A+B	A+B	A+B	A+B	A+B	A+B	C+D+B	C+D+B
坡度	60°	70°	60°	60°	60°	70°	60°	70°
面積 m^2	6	4	4	4	20	20	20	55
噴數	2	2	2	2	3	3	1	1
密度/m^2	20	20	20	20	20	20	20	20
面積基數	240	160	160	160	1200	1200	40	200
噴植日	6/28, 8/21		9/15		6/20, 8/09		10/06	9/28
觀測日	8/19	9/15		10/06	8/10, 9/15		12/3	12/4
發芽數	12	15	22	15	0	0	15	117
發芽率%	5	9.375	13.75	9.375	0	0	37.5	58.5
覆蓋率 棵/m^2	6	3.75	5.5	3.75	0	0	0.75	2.1
種籽 A 百慕達草、B 波斯菊、C 馬棘、D 羅氏鹽膚木								
基數=地區噴植子彈數量，發芽率=發芽數/基數								
覆蓋率=發芽數/檢測面積，目標 木本植物>1 棵/m^2，草本植物>10 棵/m^2								

縱觀本計畫本年度整體成果已經展現出可行的效益，有助於後續的推廣。

從本計畫執行的成效分析，影響種籽發芽的機率，與下列因素有關：(1)噴植場域的土地濕潤程度，(2)噴植季節(波斯菊 7、8、9 月不發芽)，(3)選擇種籽類別，(4)噴植地域土壤 PH 值，(5)噴植後的自然或人為破壞。

本計畫本年度經費不含設備費，因此使用合作廠商 850 軸距六軸無人機，未來需提升噴植作業性能，將重新設計製作容量較大的彈匣，增強發射機構，改用較大型的 1300 軸距六軸無人機，以提升噴植作業範圍達 2 公里距離。2 公里範圍將可能針對山坡地背面進行噴

植。參考文獻對背山地區的噴植有期待。

依據目前多旋翼無人機的技術能力，操控穩定性高，可以依據需求變更設計，包含飛行距離、酬載容量、飛行操作、視距外通訊、資料保存，在無人機作業法規下，保障工作人員安全等必要條件。

第二節　建議

(一)立即可行建議

本計畫研發**「無人機噴植系統」**技術，以無人機搭載特定的噴植機構，針對陡峭(>60°)崩塌邊坡進行種籽子彈之噴射附著於山坡上，嘗試播種發芽的可能性。將本計畫 5 個月約 10 次噴植百慕達及波斯菊，發現在苗栗明德水庫地區，因為天候比較潮濕，成功的觀測到百慕達草及波斯菊發芽，南部玉井沙田、龍崎牛埔均為極惡劣之旱地，未發現發芽成果。本計畫於苗栗之實驗證實本計畫**「無人機噴值系統」**技術構想可行、技術可用。本計畫 9 月下旬改以**馬棘(灌木)**與**羅式鹽膚木(喬木)**製作種籽子彈，於南化水庫地區及苗 26 縣道實施，各約 20 平方公尺，於 10 月底觀測的成果十分顯著，發芽率及覆蓋率都可達到預期效益。木本植物的噴植，噴質密度較低，有繼續嘗試的潛力價值。

基於本計畫的架構，將繼續申請 **113 年度創新研究計畫**，以木本

植物為主，噴植**馬棘(灌木)**與**羅式鹽膚木(喬木)**，與將與草本植物，噴植**百慕達草、波斯菊**與**羅滋草**，混合施作。未來之工作將請教農村發展及水土保持署專家，提供水土保持工作必較需要執行保育的場域，以進行有效的噴植工作。新的延續計畫將改進噴植系統機構，使用較大的無人機，以利攜帶更多種籽子彈及執行飛行更大範圍。預計喬木或灌木的噴植密度約每平方公尺 2~3 顆種籽子彈，內包含 7~8 顆馬棘及羅氏鹽膚木種籽、1 公克波斯菊種籽、1 顆四季豆種籽。



圖 4.3：新規劃噴植種籽子彈內容

下一年度將選擇開闊之場域，進行標準面積 50m x 50m 之噴植，以觀測及計算發芽率及覆蓋率。

(二)中長期建議

「無人機噴植系統」技術與工法，可以教授更多願意加入的團隊做技術推廣工作，本計畫團隊將協助建立本技術與工法應用，以利分布於各地進行水土保持噴植工作。

「無人機噴植系統」技術為本計畫支援廠商**「上暘飛行股份有限公司」**已於 111 年 9 月申請獲得新型專利 M636155，可以獲得技術推廣應用的保障。未來噴植機構與噴植方式也將申請專利。新的 PVA 種籽子彈及噴射機構設計都可以繼續申請新型專利，以擴大無人機噴植工法的作業成效。

參考文獻

[1] 經濟部水利署施工規範第 02924 章鋪網噴植，110 年 02 月 05 日經水工字第 11005038590 號函頒訂，網路資料: https://wralaw.wra.gov.tw/Law_Content.aspx?n=9334&s=11857&sms=9191。

[2] 農業部“水土保持技術規範”， 網路資料: https://law.moa.gov.tw/GLRSnewsout/LawContent.aspx?id=FL014521。

[3] 經濟部水利署“工法-修坡植栽”，https://www.wra.gov.tw/cp.aspx?n=25176#，2022 年 8 月網路資料。

[4] 行政院農業委員會水土保護局第 0940030270 號函發布，第 02921 章“噴植草”， https://www.swcb.gov.tw/Home/。

[5] 李元智、李錦浚、黃育珍、張禎顴，“不同噴植植生工作法應用於道路邊坡之研究”，水土保持學報，39(2):201-215(2007)。

[6] 巫清志、張瑋珈， 國立嘉義大學，“無人機載具噴灑植生粒劑之研究成果報告書”， 行政院農業委員會水土保持局(2018)。

[7] 張集豪，“無人飛行載具(UAV)播種作業機具與噴植設備之精進研發成果報告書”，行政院農業委員會水土保持局(2019)。

[8] 詹勳全、林政侑，“ 陡坡崩塌地無人飛行載具(UAV)噴植工法作業與驗證成果報告書”，行政院農業委員會水土保持局(2019)。

[9] 林政侑，“陡坡崩塌地無人飛行載具 UAV 噴植工法之精進研究”，水保局計畫報告：109 保發-11.1-保-01-06-001(13)。

[10] 黃國峰，“荒月變綠洲 泥岩創生機－牛埔泥岩水土保持教學園區”，農政與農情，第 206 期(2009)，https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=20026

[11] 臺南市龍崎區公所，龍崎悠遊樂－牛埔泥岩教學園區，2022 年 10 月 22 日，取自臺南市龍崎區公所網頁：https://longci.tainan.gov.tw/cp.aspx?n=7371

[12] “新校植物名實圖考”，世界書局股份有限公司出版，第一版 2018 年 07 月，ISBN: 978-957-06-0473-3。

[13] 陳彥宏、林信輝，“崩塌地應用無人機播種植生工法技術研發與試驗性研究”，專輯: 治山防災工程及無人機應用，2020。

[14] 郭玉麟、簡士豪，“ 坡地人工噴植復育區植生演替趨勢調查分析”，水保技術 2020.11， Vol. 14, No. 3, pp. 42-57。

[15] 邱創益、謝衫舟，“農業技術在坡面植生方面應用之方法”，農業綜合調整方案試驗研究年度總報告，1995。

[16] 簡士豪，“功能化植生粒劑對邊坡植生復育之效益評估”，水保局報告，109 保發-11.1-保-01-06-004(33)。

[17] 許愷岐、宋國彰、林信輝、蕭惠民，“UAV 於崩塌地植生播種作業與實施應用”，中華水土保持學報 52(1):16-26(2021)，Doi: 10.29417/JCSWC.20210352(1).0002。

[18] 林信輝，“噴植工法不同資材種籽發芽與覆蓋率比較分析”， 水土保持學報，45(3): 737-752(2013)。

[19] 巫清志、章瑋珈、林信輝，“噴植工法不同材質種籽發芽與覆蓋率比較分析”，水土保持學報 45(3): 737-752 (2013)。

附錄

附錄一、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	貴校所提期中報告書，經書面審查通過，同意撥付第2 期款，審查意見請納入期末報告書回應，並於112 年11 月13 日前函送期末報告書5 份，俾利辦理期末審查作業。	謝謝委員指導
二	UAV 技術與功能日新月異，其價格日降、酬載力日增，請蒐集分析目前商用UAV 之功能，尋求經濟有效之酬載設備，使無人機邊坡噴植能實際運用，而非仍停留於測試階段。	本計畫無人機的應用於噴植作業，經測試及改進後，已經十分成熟。針對應用場域，本計畫使用 850 軸距六旋翼無人機，因為酬載及機具，航程大約 200 公尺以內，足夠完成噴植一個彈匣。有考慮未來飛到更遠的廠與執行噴植，本計畫將可以延伸在距為 1300 軸距六旋翼機，將可以涵蓋 1~2 公里遠端人人不可及的距離，或背山面，去執行任務。 無人機噴植技術成熟，本計畫建議可以推廣為無人機產業的一項普及應用。 本計畫改以木本植物噴植於南化水庫附近，獲得顯著成果。
三	於期末階段若經試驗研究種籽子彈之有效性、可行性達實用程度，應同時尋求量產之方法、機具，避免手工製作之規格變異，及產量停滯影響大面	本計畫以草本植物為噴植的主要目標，九月中旬請教種子專業廠商，對邊坡噴植有不同意見，建議改噴植物根部抓地力大的灌木或喬木，每單位平

項次	審查意見	回覆辦理情形
	積之噴植作業。	方公尺 1-2 顆種籽子彈，內裝 5~8 顆種子，若發芽率 30%，每平方公尺內可能有一棵種子發芽，足夠覆蓋所需的崩塌邊坡。經種子商指導，選擇馬棘、羅氏鹽膚木，搭配波斯菊製作噴植種籽子彈。本計畫已於 9 月下旬在苗栗 124、26 縣道及南化水庫開始執行，已逾 10 月 30、31 日檢視兩地的成果均十分明顯。
四	無人機邊坡噴植之應用，主要使崩塌地於崩塌初期時迅速恢復植被，減緩沖蝕，於此階段崩塌地表層多經擾動，常呈較鬆軟狀態，故試驗區域應選擇新崩塌地，且交通方便容易進行觀察量測區域，而非刻意於老崩塌地之惡地地形進行。	選擇台南玉井及牛埔惡地進行本計畫的實驗，有特別的緣由，將初步實驗後，遇到困難，將改變實驗方式，如前“三”一項敘述，於苗栗地區水氣較豐的邊坡，進行實驗。 惡地的實驗測試，行有餘力，採用無人機的噴植，仍可再設法改進。 謝謝指導，本計畫已於 8、9 月改變方向至苗栗明德水庫及南化水庫方向，另改噴植木本植物，獲得顯著成果。
五	泥岩惡地植生經相關機關學校，超過一甲子的努力，效果仍微，毋須將其納為研究目標。研究目的在使此技術經濟可行、並擬定操作機制，若以可量測之人工整坡坡面作為試驗區，更可獲得較多有用之定性定量資訊。	謝謝指導與提醒，本計畫選擇惡地進行實驗工作，確實不十分恰當。以無人機的特殊功能，在人員不方便接近的邊坡、陡坡，確實可以協助完成較難的任務。如前“三”所敘述，改變噴植植栽根部抓地力大的喬木或灌木，有有價值。 本計畫已於 8、9 月改變方向至苗栗明德水庫及南化水庫方向，另改噴植木本植物，獲得顯著成果。

項次	審查意見	回覆辦理情形
六	本計畫初步研發噴植技術，並剛開始進行現地噴植工作，以觀察植生存活情形，建議在汛期豪雨來臨前，盡速完成各試驗區噴植工作，以利後續觀察並追蹤植生情形，驗證所研發噴植技術具有一定成效。	本計畫執行期間今年七八月的豪雨確實將所有的噴植成果全部沖刷。惟苗栗縣道在執行本計畫後，仍獲得相當程度效益，噴植的波斯菊與百慕達草確實可以從活生長。本計畫結束前將繼續觀測成果。 本計畫已於 9 月改噴植木本植物，有獲得顯著成果。
七	依摘要所述,本計畫係以UAV搭載噴植發射系統,惟每次飛行僅能攜帶40 顆種籽子彈,如後續需使用在大範圍崩塌區域,何以規模化作業,是否有足夠的經濟效益? P.45 預期效益部分,建議以整體研究撰寫預期效益,非單一KPI 節點之效益,另請說明本研發試驗之後續應用評估及發展建議。	本計畫因經費限制噴植機構及載具均湧配合廠商現有機具及小經費改裝的器具。未來本計畫的工作值得繼續發展，將採用 1300 軸距的載具，並重新設計高容量彈匣，已提升任務執行之效益。 本計畫整體 KPI 將以建立無人機於噴植作業上的 SOP 為主，考慮成本與效益包含於期末報告內。本計畫已改變方向至苗栗明德水庫及南化水庫方向，並改噴植木本植物，獲得顯著成果。
八	本署歷年辦理多次UAV 噴植試驗,包括垂直撒播、垂直草種撒播、水平噴植、冰劑噴植等,唯垂直劑撒播、垂直草種撒播較具規模化作業之經濟效益,其單價仍偏高,每公頃作業費用約需85-100 萬元左右,普遍遭遇問題如下: (一)UAV 酬載重不高及電池效率問題,飛行2 趟左右即需充電不易規模化施工。 (二)山上作業除有地形干擾訊號,且有電線、烏擊等墜機風	本計畫無人機噴植，以每平方公尺為單位面積基礎，噴植草性植物，每單位面積需 13 顆種籽子彈，每顆成本約 5 元，噴植一公頃約 1 組(2 名)飛行員 16 人天時間(32 個人工天)，含機具、維護、旅運、耗材，估計每公頃成本約 92.38 萬元。在山地邊坡陡峭處，可能須加碼費用。若改為噴植喬木或灌木種籽，每單位面積需 3 顆，種子子彈成本每顆 13 元，噴植人工時與機具需求差

項次	審查意見	回覆辦理情形
	險,廠商多選擇視距內飛行,撒播距離受限。本計劃是否有相關對策。	不多,估計每公頃成本約 74.38 萬元。 無人機有其充電、續航、障礙物之缺點，若能完成人員不可及的地區執行任務，技術問題可以克服改善。有任務需求，長滯空高酬載無人機可以提供必要的解決方案。混合動力系統可以提供超過兩小時以上的飛行，足以承擔任務需求。山上地區電線流籠線到處都是，飛行前的勘察，制定飛行路徑規劃是必要的。視距外飛行須建立較低頻的有效通訊，以通訊繞射能力改善訊號通暢。
九	報告書格式請以本署規定製作、報告書無目錄、內頁左上角及右上角都未標示計畫名稱與章節、座標建議以TWD97為主、P44 二及三「期中報告暫缺」為何意?	遵照提示辦理修訂 座標已更修為 TWD97(度分秒) 「期中報告暫缺」項目，已於期末報告完整呈現

112 年度創新研究計畫期末成效評核表

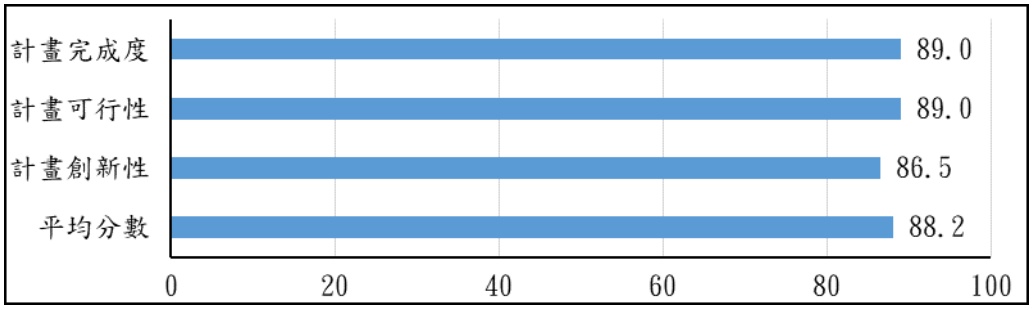
一、計畫編號: 112 保發-5.1-保-01-06-001(7)

二、計畫名稱：無人機邊坡噴植技術研發及測試驗證

三、計畫執行機關：財團法人私立長榮大學

四、計畫主持人： 邵珮琪副教授

五、期末聯合審查評核問卷統計



六、審查意見：

(一)子彈內土壤及種子配比是否明列供參，噴植密度可否說明。

(二)種子來源宜考量，避免外來種影響原生植物生長。

(三)UAV 植生噴植技術對水保植生復育很重要。

(四)使用之植物均為外來種，但草本之後演替會被取代掉，但木本不容易，建議木本應使用本土種，例如羅氏資膚木為本土種建議多使用。

七、計畫主辦單位期末評核結果

請勾選	■通過，相關建議如上項說明
	□修正後通過，修正事項如上項建議 說明：_____
	□不予通過，辦理□複審或□計畫終止 說明：_____

創新研究計畫期末成效評核意見回覆

(1) 子彈內土壤及種子配比是否明列供參，噴植密度可否說明。

(a)種籽子彈內當地土穰與種籽體積比例大約 1:1，種籽子彈重量大約 5 公克，草本植物種子數目約 200-250 顆/種仔子彈，木本植物約 7-8 顆/種籽子彈，每顆種籽子彈均混搭兩種種籽。

(b)噴植密度，前期的草本植物約 20 顆/ m^2，後期的木本植物約 5~10 顆/ m^2。

(c)噴植後約兩個多月(9/28-12/4)發草本植物芽率 37.5%，木本植物發芽率 58.5%、覆蓋率 9 棵/m^2，如表 4.2 (修訂表 4.1)。

(2) 種子來源宜考量，避免外來種影響原生植物生長。

(a)本計畫前期採用草本植物為波斯菊、百慕達草、四季豆。計畫後期諮詢種籽專業顧問飛榮國際公司周榮豐先生，選用木本植物馬棘、羅氏鹽膚木、相思樹。

(b)從參考文獻上獲得資料，這些項目都為中興大學、屏東科技大學、嘉義大學等單位所引用之本土植栽。

(3) UAV 植生噴植技術對水保植生復育很重要。

本計畫嘗試利用無人機、種籽子彈、氣壓噴植發射等技術及噴植工法，建立一套安全可行的噴植技術。

(4) 使用之植物均為外來種，但草本之後演替會被取代掉，但木本不容易，建議木本應使用本土種，例如羅氏資膚木為本土種建議多使用。

本計畫採用波斯菊、百慕達草、四季豆、馬棘、羅氏鹽膚木、相思樹，均為參考文獻所引用之本土植栽。

附錄二、計畫成果學術投稿 2023 航太年會

2023.11.25 於逢甲大學航太系舉辦之航空太空學會年會發表

附錄三、計畫成果期刊投稿 初稿(計畫 12 月完成後投稿)

Gretchen F. Sassenrath, Professor
Research Editor & Chair Editorial Board
Journal of Soil and Water Conservation

25092 Ness Rd.
Southeast Research and Extension Center
Kansas State University
Parsons, KS 67357
620-820-6131

文稿將待 11 月初完成最後成果檢視後，再繼續完成文稿與投稿。

插入附錄二、三，pdf 檔案

無人機邊坡噴植技術之系統研發與初步驗證
Side Slope Spray Planting using Unmanned Aircraft System – Technical Development and Verification

林清一　　邵珮琪　　李佳儒
成功大學航空太空學系　　長榮大學航運管理學系　　上暘飛行股份有限公司
chinelin@mail.ncku.edu.tw; pcshao@mail.cjcu.edu.tw; jialu0330@gmail.com;

摘要

陡峭的崩塌山坡地人跡難以接近，人工噴植草種復育工作有相當的困難。在此環境下，利用無人機飛行遠端遙控噴植是一種可行的方案。本技術將種籽包裝成子彈形式， 搭載於無人機上，經過飛行定位，精確的噴撒於期望種植的區域。種籽子彈的設計以環保材料製作，種籽包裝混入泥土以加速催化發芽。本研究研發特殊種籽子彈，設計適用的子彈發射槍機、能安裝於無人機上的多容器子彈彈匣，每次飛行能攜帶數四十顆子彈， 接近目標區瞄準發射，將種籽沾黏在邊坡上。為降低種籽噴植對環境的影響，本設計以環保材料製作種籽子彈，種籽發芽冒出後，子彈材質能自然分解，融入泥土內，減少汙染。本技術是一個創新實驗研究，從系統規劃、設計、製作、測試、噴植、觀察、紀錄、修訂，將建立一套本系統規劃的標準作業程序，以鋪陳後續的廣泛應用。經過多區域的噴植實驗，在苗栗明德水庫附近縣道邊坡上，在 4 個月內觀測到明顯的效益，達到約 9% 的發芽率。噴植初步成果印證本項技術具有潛在無人機應用價值。

關鍵詞：種籽噴植技術、無人機應用、種籽子彈、發射機構、環保材料

Abstract

Steep collapsed side slope is hard to approach to make the recovery planting. Under such circumstance, spray planting using unmanned aerial vehicle (UAV) from remote operation could find a feasible solution for the planting job. In this project, the grass seeds are molded into bullet and mount on UAV. The seeds are stuffed with soil to catalyze seed sprouting and sprayed onto the planting area. A set of spray planting mechanical system is designed to inject seed bullet to stick on the side slope to sprout. This project designs special seed bullet magazine carrying 40 bullets with its injection machine to mount on UAV for spray planting. To reduce the impact to earth environment, the designed bullet uses green organic materials to pack the seed. The seed will naturally break out from the package to expose to air for sprouting. This project is an innovation experiment from system planning, design and manufacturing, field flight and spray planting test, record and modification to finally establish an improved standard operation procedure for future applications. After several area spray planting experiments, an evident effect has been found after 4 months observation in Mao-Li MT Reservoir country road side slopes. The sprout rate is recorded about 9%. The proposed UAV spray planting technique is verified with viable and feasible value for further developments.

Keywords: Spray planting, application of UAS, seed bullet, injection machine, environmental protection material.

一、緒論

臺灣地震及風災頻繁，呈現嚴重的土石災害，土砂覆蓋移動致使部分區塊裸露， 尤其是在陡峭的邊坡上，容易造成風雨來臨時更大的災害。水土保持工程通常是針對有限尺度小範圍、小地形坡地等作局部的地表植被改善，以利用光、溫、水來恢復原來的土地生態。經濟部水利署“工法-修坡植栽”資料[1]，針對坡面植栽以基本植物根系之固土能力來補強土壤之保存力， 憑藉植物根系之柔韌性與土壤本身具有之剛性相結合，降低受控坡面之沖刷與滑動。國家防災中心、內政部農業委員會水土保護局、經濟部水利署、交通部高速公路工程局等中央及地方單位投入相當大的人力與資源在持續執行水土保護邊坡維持的措

施與研擬正確的策略。許多地方都可以看到經常性的邊坡植被復育工作。坡地是具有坡度的地形結構，隨著傾角坡度越大 1：1 至 1：2，受地球重力作用之地表移動的可能性越大，形成潛在崩塌危險或擴大已崩塌之地區，造成危險[2]。為減少坡地災害的發生，如何穩定崩塌面，噴植工法可以有效達成坡面快速綠化[3]。

近年來生態保育，人員可及的坡地治理多以植生工法取代過去的工法，如型框護坡、種籽直接噴植、種籽撒播、二次植生等。這類型工法可以同穩定坡面，更有助於增加地表覆蓋、減少土壤沖蝕、增加涵養水土，或可以吸引動物利用坡地棲息， 更有道路景觀綠化之功效[2]。坡地植栽植物特性可分為草本與木本植物兩大類，草本植物以噴植方式為主，主要是百喜草、百慕達草、假儉草、羅滋草、黑麥草、律柏草、果園草、波斯菊、牽牛花、四季果、台灣葛藤或豆科的賽葛豆、爪哇大豆等[1, 2, 4]，而木本植物可能以噴植、撒播、苗木栽植或打入萌芽樁等類型，使用物種可以多元，楓香、台灣赤楊、小鹽菁、九芎、番石榴[1, 2, 4]，而訪談植栽專家後，也有建議灌木的馬棘以及喬木的羅氏鹽膚木進行邊坡植栽的選項，兩種植物的根部吸附力較強，有利於邊坡種植。至於草本植物或木本植物的選擇，都以中高海拔適應的原生植物品種為主。人工植被的工作適合於坡度1∶1 的大範圍來進行[4, 5]。在人跡難以接近的地區，或坡度更陡峭(1∶1.5，1∶2) 的地方，人工施作的方法與技巧有極高的危險性，鋪灑的種籽無法攀附在地表上， 較難實施。

針對人跡不易到達的陡坡，利用無人飛行載具，建立有效的工法作業，將種籽做成冰粒，以強大壓力氣動式噴頭，將種籽噴出 5 公尺遠的陡坡上，可以快速有效的達成效果[2] 。無人機進行邊坡噴植作業仍有部分無法克服的障礙，不論是多旋翼無人機或固定翼無人機，都會受到酬載、續航、天候、通訊、起降區、飛行路徑等因素的影響，必須做做詳細的前置作業規劃與設計以排除使用上的障礙，達到預期效益[7, 8]。本研究之作業範圍屬邊坡區域， 面積小，因此使用多旋翼無人機，在續航力可及的範圍，可以進行空拍與偵蒐作業， 找尋崩塌山坡、鎖定座標位置，以為噴植作業的精確位置參考。

為了瞭解邊坡噴植作業的現況與問題， 本研究與水保局業管水土保持人員訪談後， 得知以無人機邊坡噴植作業，最常見的問 題在於：陡坡種籽噴灑密度及入土深度不 足。陡坡面由於垂直投影面積較小，因此 以往以垂直重力噴灑種籽作業方式，不僅 坡面附著種籽數量密度過低，同時因種籽 入土深度不足，因此地表種籽受降雨地表 逕流掏刷而流失，影響植生復育成效。本 研究擬設計彈射機構及可調角度設計之無 人機載噴灑設備，來改改善此項問題。基 於上述，本研究利用無人機進行陡峭崩塌 邊坡的種籽子彈播種技術，並研發適用的 噴植方法與機構，以達成下列目標：

(1) 設計噴植種籽子彈：特殊造型包容準備散播的種籽，並以噴植當地 (<1 km 範圍)的土壤為填充物，種籽落地後，受到該地土壤的催化，遇到充足的水分較易發芽；
(2) 製作種籽子彈發射器：將發射器安裝在多旋翼無人機上，以影像目視追瞄，接近目標區，利用 RC 遙控操作無人機單發或連續發射子彈；
(3) 設計一個多子彈容量的彈匣：該彈匣可以攜帶適當數量子彈進行種籽播撒；彈匣的設計可以容納多顆子彈，於一次飛行作業完成；
(4) 選擇草本種籽：本年度研究以波斯菊及百慕達草為主，進行大於 60 度的坡度執行無人機噴植；
(5) 檢視噴植任務成效：在噴植任務後的45~108 天進行任務成效目測檢視紀錄植栽生長情形，統計發芽率。

二、文獻回顧

根據 112 年 5 月公告的「水土保持技術規範」中的第 68 條[8]提及植生方法為崩塌地處理方法之一，而植生方法又包含打樁編冊、植草木苗法、噴植法、穴植法及土壤袋植生…等；該條文亦提及交通不便處，可利用空中撒播的方式處理。

根據水利署對邊坡植栽的設計準則為[1]：以植物根系固土能力來補強土壤的抗剪力，並憑藉植物根系之柔韌性與土壤本身具有剛性，二者結合之後，繼而控制坡面之沖刷與滑動。邊坡植栽工法可分為噴植工法、植草製品工法、植草苗工法等三

種，分述如下：

(1) 噴植工法：將種籽、肥料、粘著營養劑 混合，利用壓縮空氣或水壓力噴射在 坡面上，坡面即成種苗生長處，噴植的 種籽分為草本種籽(百喜草、百慕達草、肯塔基草、假儉草、黑麥草、類地毯草、高蘆草..等)如與木本種籽(相思樹、台 灣欒樹、野桐、苦楝...等)[9, 10]。本工法為坡面植生方法最為常用，建議苗 床的厚度為 10mm 左右，種籽宜選用快速生長的品種。

(2) 植草製品工法：為花圃或工廠所生產之草製品，係草籽已和肥料或混合營養劑在工廠中先行完成植草製品，成為可搬運與鋪設的商品，坡面施工時只需鋪設植草製品，並將其固定於坡面，本工法較不受坡面性質所限，如泥岩邊坡、淺表土與急陡坡的環境。植草製品工法可避免草籽在發芽前不穩定的生長環境夭折(如草籽未附著於坡面或下雨被沖刷至坡面底部)。植草製品的種類依需求及特質而定，如植生網、植生筒、帶、袋及紙等。

(3) 植草苗工法：於苗圃先行種育草籽後， 將草苗移植並覆蓋邊坡，以利保護坡面之工法，其優點在於增加植栽存活的機率，並加速草苗覆蓋坡面的時間。本工法可分為直接育苗法及塑膠帶育苗法二種，直接育苗適用於直接挖填土坡坡面種植草苗，塑膠帶育苗法則適用於礫石邊坡之挖坡面種植，二者依坡面土質的性質不同而作業方法不同，但二種方法皆建議填挖土壤厚度為1:1 左右 [1]。

關於邊坡植栽工法應用於惡地水土保持的案例介紹：農業部水土保持局的「水保局牛埔泥岩教學園區」，是以埤仔溝溪為主要水域，集水區內多屬黃砂土及青灰岩地質，這樣的地質抗蝕能力低，且經長年溪水沖蝕的狀況下就形成寸草不生的惡地[8]，土質為鹼性(ph 值介於 8 至 9)，該土質並含有遇水膨脹的黏土礦物質，水土保持難度極高。該區由屏東科技大學吳嘉俊主任研究先期規劃，藉由泥岩水土保持自然生態工法進行工程施作，建立多樣性之複層林，增加綠被率，以穩定邊坡及涵養水源，同時也營造動植物棲地環境。在長期維護與管理的部分，農委會水土保持局分年、分期於埤仔溝溪集水區內以自然生態工法進行土壩及土堤的設置、裸露坡面植生等水土保持工作[11]。

考慮到植生工法當地原生植物的優勢與生態平衡，在植生的選擇上應以鄉土植物為優先考慮，水土保持局指出[10]：在青灰岩地區自然植生的防沖功效，似乎優於人工植生的處理工法，推論自然植生多為鄉土植物，在地發育良好且不需攪動土壤， 降低土壤沖蝕的機會。而邊坡植生首要功能為水土保持，表現最傑出為邊坡森林， 因林地之落葉、枯枝、腐植質如同海棉吸附水分，也改善土壤的物理條件(促進土壤團粒構造)，強化保水能力。在邊坡植物選擇的原則上，為了得到良好的水土保持功效，設計由草本與喬木或灌木的組合植木， 水土保持的功效會比單一植生來得更好， 原因在於草本植物功能為防止土壤被沖刷流失、灌木叢可防止雨水拍打地面，其根系有極佳的縛地力，而喬木根系廣而深， 其樹冠幅也大，對於微氣候的穩定與邊坡系統景觀美化有具體功效[8, 10]。

三、系統設計與噴植作業

3.1 噴植概念

落地種植的植栽，對氣候、土壤、雨水、種植方式，有相當敏感的反應。從參考文獻，中興大學的研究報告中[2, 3]，規劃的噴植工作區域，可能在不同地區實施， 以利規劃噴植地區特性(如土壤酸鹼程度、地形)以不同植栽。種籽噴植後必須落到泥土上才能發芽，為此，在種籽子彈內田中噴植地區的泥土，於種籽子彈落地後，吸收雨水或露水，可以催化種籽發芽。子彈內填充之泥土最好取自噴植第 1 公里範圍內的泥土樣品，以催化種籽。泥土的採樣越接近噴植區越好，若能於 1 公里範圍內， 土壤的特質可能相近。土壤取的後陰乾、篩選，取下質地較佳的部分，與種籽混合， 種籽/土壤體積比大約 1/4 [12]。噴植前應先給種籽子彈適當水分，以促進種籽催生， 並增加子彈重量，以利發射。

從水保局過去的幾次執行報告，邊坡噴植的工作常發生的問題之一在於：種籽無法沾黏在崩塌地邊坡上，邊坡越是陡峭， 噴植的效果更難掌握。本研究設計種籽子

彈，如圖 3.1 所示，以包裹方式將選擇的種籽裝入子彈內。子彈的外型、尺寸大小與所找到的發射器配合，節省研發時間與經費。為此，種籽子彈以紙質大吸管來製作， 大吸管12mm 直徑，剪出 3~5cm 為一段， 內部填裝等體積種籽與中性壤土的膠狀攪拌體。子彈彈頭為紙捲的圓錐，與子彈錐體以膠水及米飯固定。子彈前方埋入竹製或木製牙籤，作為噴植沾黏機構。完成的子彈重量必須大於 4.5g 以利發射。

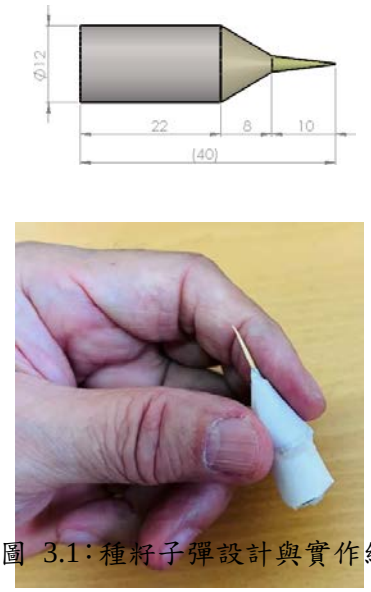


圖 3.1：種籽子彈設計與實作紙

吸管子彈製作材料：

(a) 12mm 大吸管，紙材料製作，切成 30~120 mm。
(b) 紙片錐形彈頭，加上牙籤突出彈頭，以利附著。
(c) 尾部收尾封口泥土或米飯。
(d) 彈體填充物拌土，棉花、壤土(Loam)、有機質、噴植種籽。泥土填裝配重。

伴隨填充材料為取自台南農改場土地內的壤土及少許有機質，壤土的酸鹼度測試為 6~7 之間。有機質為庭園花卉用材料，磨碎後，與選定的壤土 1:1 混合，取 4~6 公克填充於種籽子彈內。

種籽子彈設計後，進行噴植模擬的實驗，將種籽子彈打入刻意挖過土地的花圃， 在缺水的情況下，觀察其發芽的情形。花圃為農改場壤土，經測試過的 PH 值大約6-7 之間，可以適用於本實驗條件。紙材料的吸管在含水分的環境泥土表面上，經實驗，大約 7~10 天會分解，內部填充的種籽將曝露出來。因此從實驗的狀況觀察到幾個特性：進行實驗的種籽子彈，每顆子彈大約 4g，於直徑 12mm、長度 40mm 彈殼內(體積 4520mm^3)，其中有 2250mm^3 為濕種籽，估計為 400 顆百慕達草種籽，以此數據推估未來進行邊坡噴植時播撒的種籽子彈數目，約以每平方公尺(1 公尺 x 1 公尺)噴植 10~15 顆種籽子彈，約略可以撒入 300 多顆種籽。因本實驗的環境為山坡惡地，噴灑種籽之發芽率只能預估為 7~10%。

3.2 種籽子彈發射機構

種籽子彈發射機構從原來的機械彈射構想改為氣壓噴射裝置，氣壓噴射有一個加壓泵、壓力罐、壓力計及釋放控制。氣壓噴射時推動種籽子彈，從槍管發射出去， 需考慮(1)壓力罐噴射壓力、(2)噴射出口管徑與子彈彈匣之密合度，影響氣壓效率、(3)壓力罐儲存壓力的設定為可調節、(4)發射後加壓泵的自動操作、(5)壓力泵衝壓時自動扣板機的機械連動、(6)可以設定為自動或手動發射。為節省研發經費，本研究搜尋可用系統來改裝，如圖 3.2 所示之玩具槍，並且力越 3D 列印，完成各機構的製作與組合，並進行初步的測試。



圖 3.2：左圖為 40 發子彈彈匣，右圖為彈匣及板機控制機構

利用玩具槍之彈匣與其槍機構造，改裝噴射力較強的空氣裝置，以推動種籽子彈， 如圖 3.3 所示。發射機購包含控制電路，以遙控啟動發射，並於發射後自動扣板機， 移動彈匣至下一個發射位置。發射機購之氣壓瓶加大氣量，並調節其衝壓，經反覆測試及調整，從 60psi 調到 100psi，以適合本系統功能所需。



圖 3.3：左為彈匣板機控制電路，右為彈匣與40發子彈發射機構

3.3　無人機系統組裝

本研究委託上暘飛行股份有限公司之無人機團隊進行共同研究 (如：地形探勘、噴植作業及噴植成效檢測飛行作業)， 上暘飛行公司提供使用 850 六旋翼無人機執行飛行探勘與噴植作業。



圖 3.4：噴植無人機組裝上子彈發射機構表

3.1：規劃無人機規格表

項目	Apex 850
型式	VTOL 垂直起降
功能	噴植作業
最大起飛重量	12 kgw
空重	7 kgw
電源	LiPo 8800mAh
續航	<40 min
巡航速度	<8m/sec, 8.8km/hr
航程	<10 km
航高	<400feet AGL
抗風	<12 m/sec (F5)
裝置	噴植機構發射器
通訊	2.4GHz 數據 + 5.8GHz 影像，通訊 範圍>3km
飛行控制器	自主導航飛行

利用行控器材加上自製彈匣與子彈發射系統將與本研究合作團隊租用的六軸多旋翼機組裝整合，如圖 3.4 所示。依研究需求將使用兩架無人機，以保障實施時的無人機作業可靠性。發射機構第一組測試完成後，繼續完成第二組，並做局部修改改進， 完成第三組發射機構系統成立機隊。子彈發射機構完成組裝後，先做整機操作控制及系統組合剛性測試，以防發射機構搖晃造成無人機操控上的不穩定。

組裝後的無人機在本研究的庭園空間進行飛行操控及子彈發射測試。飛行測試用以了解無人機的操控狀況，並從飛行人員操作手動單發及連續發射。子彈射出的距離必須大於 8 公尺以上，以保持安全飛行距離。從發射器壓力控制設定，本測試從原來的壓力提升到 100psi，可以將 4~5 公克之種籽子彈打到 10 公尺的距離，並有足夠的動能可以黏著在較鬆軟的土地上。因此，在噴植作業上需注意噴植地的土地狀況。

3.4 噴植場區探勘

本研究初始先進行噴植場地的探勘， 以規劃後續噴植作業的程序及方法。因為南部地區自 111 年十月份以來均無下雨， 已出現旱象，各水庫蓄水量都已經降到乾旱線下。4 中旬台南市所依賴的南化水庫於已經降到 15%以下，4 月中旬有小陣雨及至 5 月初起第一波梅雨鋒面到來，開始陸續降雨。

本研究增加苗栗明德水庫附近 126 縣道坍方等地，探勘噴植場區，並規劃後續的執行。6 月下旬進行苗栗地區的噴植作業。原規劃為苗 126 線(24k)，因 126 線多處進行水泥覆蓋施工，無法噴植，故增加苗124 線(20k)及26 線(4k/ 8k)，進行噴植。

下圖各方塊內面積約為 1 平方公尺。

a. 苗126 線道



圖 3.5：苗 126 縣(24k)道噴植

b. 苗124 線道



圖 3.6：苗 124 縣道(20k)噴植

c. 苗26 線道



圖 3.7：苗 26 縣道(4k)噴植

苗126、124、26 線道狀況崩塌甚多，養工處在特定地區進行水泥覆蓋防止崩塌，苗栗地區今年以來雨水較豐沛，土質比較鬆軟。本項噴植工作進行中仍遇到局部崩塌。



圖3.8：苗 126 縣道(24k)附近當時狀況

四、噴植作業實驗與實驗結果

依據上述的構想進行種籽子彈、米飯粒劑、彈匣、發射器設計之設計與製作， 以進行模擬實驗及實體實驗。

4.1 噴植結果

本研究噴植作業系統設計與製作、飛行測試與紀錄、建立標準作業程序、紀錄及分析評估，並以本研究所發展的無人機噴植系統，進行初步的實驗，以對照實驗的方式，取得無人機邊坡噴植的結果，以做為研發技術的基礎。本研究的執行將重點為苗栗 126、124、26 三條縣道部分。苗栗噴植成果看到波斯菊發芽，因此 8 月 21 日繼續追加噴植，同樣是百慕達草與波斯菊混合。



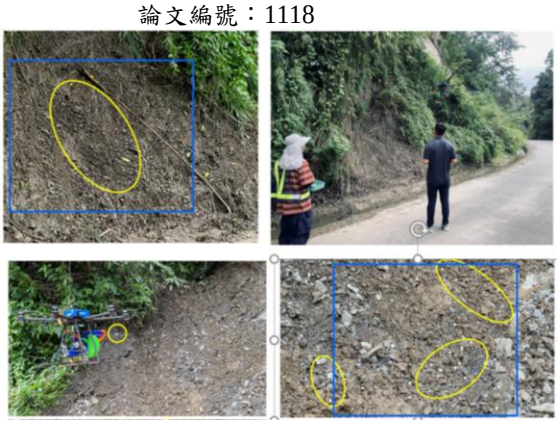


圖 4.1：苗 124(15k) (24k)噴植地點

各觀測發芽狀況如如圖 4.1、4.2、4.3 所示。



圖 4.2：苗 26(12k)噴植點，百慕達草發芽



圖 4.3：8 月 21 日苗 26(12k)噴植狀況

9 月 15 日苗栗追加噴植劑量，針對新崩塌邊坡，進行噴植，同時觀測前次的發芽狀況，如圖 4.4。



圖4.4：9 月15 日苗 126(20k)新增噴植工作狀況，右圖為發芽百慕達草(左圖方塊內約為2x2 平方公尺)



圖4.5：9 月15 日苗 26(12k)新增噴植工作狀況，黃圈圍百慕達草

9 月 15 日苗 124 縣道(24k)原噴植各點均備邊坡施工，水泥覆蓋上去，無適當空間可以施作噴植。



圖 4.6：10 月 5 日苗 26(k)噴植種籽子彈

4.2 噴植成果檢視

本研究完成苗 126(124、26)縣道於5~6 月噴植的結果。**7 月19 日赴苗栗查核噴植的成果。**由於苗栗地區降雨量較多， 噴植後預期的水分滋潤就豐富，檢視後發現噴植種籽子彈已經發芽。由於 5 月下旬降雨甚為劇烈，造成陡峭山坡的沖刷十分嚴重，噴植種籽存留不多，本次查核確定噴植的波斯菊有成功的局部於山壁上發芽。本研究噴植百慕達草及波斯菊於種籽子彈內。由於波斯菊外觀與一般青草不同也有利於觀測時的辨識。

苗栗明德水庫地區苗 126(15k)的噴植成果，可以看到噴植環境十分惡劣，但是能夠檢視到波斯菊發芽，確定本研究的執行方式正確可用，將繼續進行噴植。

噴植成果照片黃圈圍噴植百慕達草或波斯菊，紅圈圍當地草種。

圖 4.7 為苗 126 縣道(15k)噴植成果統計，該區發芽統計有 5 個單位面積(平方公尺)觀測到 3~5 顆發芽的百慕達草。6 月28 日當時的噴植密度為每平方公尺 20 顆，為 3/20，2/20，2/20，5/20，3/20，平均為 15%。該區總噴植面積 220 平方公尺，包含未觀測到發芽區塊，統計數據只剩6.8%。依據 9 月15 日觀測數據，換算發芽率於表 4.1。



圖 4.7：苗 126(15k)縣道噴植成果，明顯看到波斯菊發芽

9 月 15 日苗栗縣道成果檢視，噴植區域百慕達草明顯發芽成長。下列圈出百慕達草發芽生長情況，與當地草種大葉蔓藤有相當大的差異。按，從文獻上查到， 波斯菊 7-8-9 月間因為太熱，不會發芽。





圖 4.8：9 月 15 日檢視成果



圖4.8：9 月15 日苗 26 線道(4k)百慕達草發芽生長

圖4.8 為苗 26 縣道(4k)噴植成果統計，該區發芽統計有 13 個單位面積(平方公尺)觀測到 1~6 顆發芽的百慕達草。6 月至 8 月噴植次數每平方公尺 20 顆。圖 4.9 為苗26 縣道(12k)噴植成果統計，該區發芽統計有 10 個單位面積(平方公尺)觀測到 1~6 顆發芽的百慕達草。(黃圈為百慕達草發芽生長與紅圈為當地草種為大葉蔓藤)。8 月噴植 1 次每平方公尺 20 顆。依據 9 月 15 日觀測數據，換算發芽率於表 4.1。

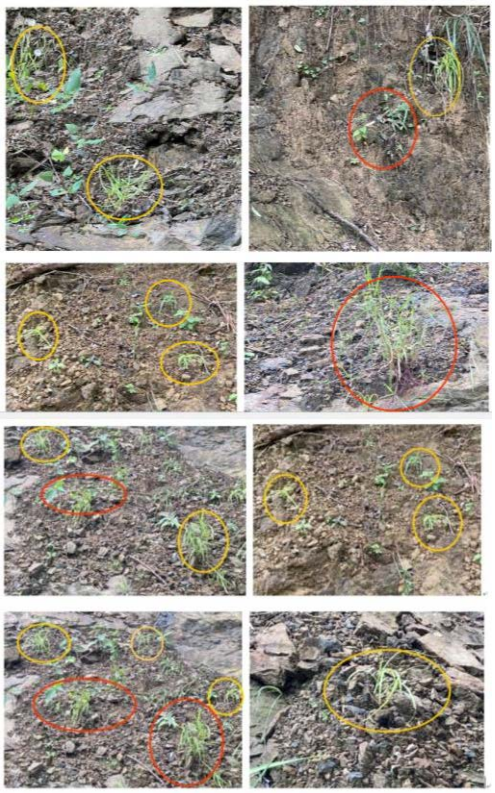


圖4.9：10 月6 日苗 26 線道(12k)百慕達發芽生長，黃圈百慕達草，紅圈當地草種

表 4.1：苗栗明德水庫附近噴植成果觀測

分項								
地區	苗 126 15k	苗 124 24k	苗 26 4k	苗 26 12k	沙田	牛埔	苗 26 12k	南化
種籽	A+B	A+B	A+B	A+B	A+B	A+B	C+D+B	C+D+B
坡度	60˚	70˚	60˚	60˚	60˚	70˚	60˚	70˚
面積 m^2	6	4	4	4	20	20	2	8
噴數	2	2	2	2	3	3	1	1
密度/m^2	20	20	20	20	20	20	20	20
基數	240	160	160	160	1200	1200	40	160
噴植日	6/28, 8/21		9/15		6/20, 8/09		10/06	9/28
觀測日	8/19	9/15		10/06	8/10, 9/15		尚無	結果
發芽數	12	15	22	15	0	0		
發芽率	5%	9.375%	13.75%	9.375%	0	0		
種籽　A 百慕達草、B 波斯菊、C 馬棘、D 羅氏鹽膚木								
基數=地區噴質量，發芽率=發芽數/基數								

4.3 研究成果與討論

苗栗明德水庫附近水分比較濕潤，適合植物生長，因此持續進行噴植，並同時檢視前次成果，於 7 月19 日、9 月15 日及 10 月 6 日進行觀測檢視，獲得紀錄。表 4.1 為苗栗明德水庫附近之噴植成果。其中每個區域大約有十來個噴植一平方公尺之區塊，紀錄該發芽成果，苗栗地區對水土保持極為積極，崩塌區域可能危及交通，會進行邊坡覆蓋工程。

本研究執行之苗 126、苗 124 縣道噴植發芽後，均被覆蓋工程掩埋。針對苗栗明德水庫附近之噴植，噴植密度為：每顆草本種籽子彈約含 1 公克百慕達草及波斯菊，噴植每平方公尺 20 顆子彈。所獲得的發芽比率平均值約為 9%。由於草本種籽發芽潛伏期甚長，本研究將須持續進行半年以上的觀測。針對本研究之實驗結果進行以下 5 點的討論：

1. 環境因子評估：本研究完成採樣檢測及分析評估土壤性質、土壤硬度、酸鹼值。針對苗栗地區苗 126、124、26 縣道， 以及南化水庫周圍邊坡之噴植。種籽子彈混合噴植地土壤之效益。採集各噴植場域土壤做酸鹼度測試，噴植結果，弱鹼性土壤比較有利種籽發芽 。

2. 無人機噴植發射系統：本研究完成設計製作及組裝測試，包含無人機噴植子彈設計彈匣設計、子彈發射器。研發二種環保材質種籽子彈(均可分解)，一為紙吸管、二為PVA 材質，填充二種種籽，每個彈匣容納 40 個種籽子彈。3 個子彈發射器、三架 850 無人機可以執行任務。每架850 無人機噴植一顆電池足夠噴植一個彈匣。

3. 噴植成果觀測：噴植後種籽發芽成長， 如表2.11，平均發芽率約為 9%。

4. 噴植作業之技術建置與標準作業程序，提供無人機噴植作業系統之硬體、軟體設計資料，分敍如下。

(a) 前置作業：

i. 種籽相關： 選擇種籽並準備一定數量 — 種籽泡水令其濕潤 — 準備膠狀攪伴體 — 填充子彈 — 製成一定量子彈 (手工製成)。

ii. 無人機相關： 噴植場區探勘 — 目標地區的可及性 — 目標地區噴植作業可行性 — 目的地確切座標 — 目的地季節天候狀況查閱 — 衡量無人機噴植之熱區與相對高度 — 噴植熱區之土質狀況探勘 — 依噴植熱區之面積進行種籽(子彈)密度估算。

(b) 噴植作業： 依目的地土質植栽種籽選擇 — 規劃無人機飛行路徑及熱區噴植作業 — 依熱區規劃子彈噴植密度進行作業 — 影像照片紀錄，待後續比對作業。

(c) 後續觀測： 依植栽種籽特性預估生長期 — 1 個月後再至噴植熱區 — 以無人機進行種籽生長觀測紀錄 — 對照噴植熱區之生長密度狀況 — 影像與照片拍攝紀錄、人工比對作業

— 作業檢討與回饋。

5. 無人機噴植技術建置：

(a) 設計噴植機構裝置，目前以玩具槍改裝之彈匣容量 40 發子彈，未來經費充裕下，可以依據本研究成果重新設計較大彈匣容量所需之機構系統，以配合實際需求。

(b) 利用 850 軸距多旋翼無人機能噴植 200 公尺範圍內的邊坡區域，其電池容量、子彈數量均可以配合，逐步進行噴植面積。未來將請配合公司提高為 1300 軸距無人機，以利攜帶更多種籽子彈進行更遠至 2 公里範圍之噴植，可以飛到山背面噴植。

(c) 噴植成果觀測，本研究使用波斯菊， 其外觀特徵與其他草類不同，容易辨識。選擇噴植之草種，可以混搭波斯菊，以利成果觀測。

(d) 本研究著重的噴植崩塌坡地面積都不大，目測大約在 5 公尺x10 公尺範圍，未來改以灌木或喬木噴植(如馬棘與羅氏鹽膚木)，可以降低噴植密度，達到崩塌區域的水土保持，獲得不同效益。

5. 結論與建議

本研究以無人機為噴植載具，以種籽子彈之形式，裝填種籽於子彈內，以利噴植機構之發射。無人機攜帶噴植機構，飛到適當高度，進行噴植。種籽的特殊設計，

容易附著沾黏於崩塌邊坡上，等待發芽。本無人機噴植系統每次可以攜帶 40 顆子彈之彈匣，在接近崩塌邊坡進行噴植。噴植之種籽子彈大約每平方公尺 20 顆子彈，每顆約有 200~300 顆百慕達草與波斯菊種籽。噴植後 30 天開始觀測成果。

由於選擇台南玉井及龍崎實驗場地都 是極段惡劣的環境，多次噴植都未能獲的 成果。另外選擇的苗栗明德水庫附近，苗126、124、26縣道，經過幾次噴植，於 8 月中旬發現波斯菊與百慕達草發芽之跡象。時至 9 月底，苗栗地區之發芽觀測，獲得

比較具體的成果，如表 4.1 所示。其中苗 26 縣道(12k)與南化水庫附近噴植木本植物的成果尚未能獲的結果。

本研究為初期的驗證性工作，除了驗證無人機噴植系統的有效性之外，由於本研究選定的噴植地點面積都很小且零星分散，並未達到發芽率及覆蓋率的條件，噴植成效尚不完整。 表 4.1 中顯示苗栗地區比較潮濕，3 個月內觀測到的發芽率平均達到 5~13%，由於種籽潛伏期較長，觀測期需延伸至 6 個月以上。

本研究為一個創新實驗計畫，實驗的結果證明以種籽子彈的無人機噴植技術是可行的方法，尤其是本實驗都在坡度 60 度以上的崩塌地區，人員無法接近，利用無人機噴植可以在安全的作業程序下，達到預期的成果。

謝誌:

本研究為農業部農村發展及水土保持署 112 年度創新技術研究計畫，計畫編號 ARDSWC -112-028。

參考文獻

[1] 經濟部水利署(111 年網頁)。工法-修坡植栽。經濟部水利署生態工程網頁。https://www.wra.gov.tw/default.aspx。

[2] 林政侑，“陡坡崩塌地無人飛行載具 UAV 噴植工法之精進研究”，水保局計畫報告：109 保發-11.1-保-01-06-001(13)。

[3] 巫清志、章瑋珈、林信輝，“噴植工法不同材質種籽發芽與覆蓋率比較分析”，水土保持學報 45(3):737-752 (2013)

[4] 陳建男，“坡地保育治理植栽運用的省思”，環境資訊中心 生態工程，2010 年01 月29 日及 02 月 05 日，https://e-info.org.tw/node/51440。

[5] 張集豪，“無人飛行載具(UAV)播種作業機具與噴植設備之精進研發成果報告書”， 行政院農業委員會水土保持局(2019)。

[6] 詹勳全、林政侑，“ 陡坡崩塌地無人飛行載具(UAV)噴植工法作業與驗證成果報告書”， 行政院農業委員會水土保持局(2019)。

[7] 行政院農業委員會水土保護局 第0940030270 號函發布，02921 章“噴植草”，https://www.iachu.nat.gov.tw/iachu/redirect_file.php?theme=web, file:///C:/Users/user/Downloads/第 02921 章%20 噴植草.pdf。

[8] 黃國峰，“荒月變綠洲 泥岩創生機－牛埔泥岩水土保持教學園區”，農政與農情，206 期(2009)https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=20026

[9] 邱創益、謝衫舟，“農業技術在坡面植生方面應用之方法”，農業綜合調整方案試驗研究年度總報告，1995。

[10] 楊秋霖，林務局(91 年)。道路邊坡綠化植物的選擇與規劃。台灣林業，第 28 卷，第二期，pp.29-33。

[11] 巫清志、張瑋珈， 國立嘉義大學，“無人機載具噴灑植生粒劑之研究成果報告書”， 行政院農業委員會水土保持局(2018)。

[12] 郭玉麟、簡士豪，“ 坡地人工噴植復育區植生演替趨勢調查分析”，水保技術 2020.11， Vol. 14, No. 3, pp. 42-57。

Side Slope Spray Planting using Unmanned Aircraft System – An Innovation and Feasibility Study

C. E. Lin[1] P. C. Shao[2]
[1] Department of Aeronautics and Astronautics, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan
[2] Department of Aviation & Maritime Transportation Management, Chang Jung Christian University, Tainan, Taiwan chinelin@mail.ncku.edu.tw; pcshao@mail.cjcu.edu.tw;

Abstract
A steep collapsed side slope is hard to approach and execute the recovery planting. Under such circumstances, spray planting using unmanned aerial vehicle (UAV) in remote operations can find a feasible solution for the planting job in hard areas. In this paper, a spray planting technique is proposed and implemented. The grass seeds are molded into bullets and mounted on UAVs to shoot onto side slopes. The seed bullets can precisely spray onto the desired area with GPS positioning, image aiming, and obstacle avoidance. The seeds will be packed with soil to catalyze seed sprouting and sprayed onto the planting area. A set of spray planting mechanisms is designed to inject seed bullets to stick on the side slope to sprout. The proposed system designs a special seed bullet magazine carrying 40 bullets with its injection machine for spray planting from UAV. The designed bullet uses green organic materials to pack the seed to maintain a clean earth environment. The seed will naturally break out from the package to expose it to air for sprouting. This project is an innovation experiment from system planning, design, manufacturing, field flight, and spray planting tests, records, and modification to establish an improved standard operation procedure for future applications. Three bad side slope areas are selected for spray planting under extremely dry and hard soil. Some preliminary sprouting has been observed after enough rains. The proposed UAV spray planting technique is optimistic for continuing the survey with improvements.

Keywords: Spray planting, UAV applications, seed bullet, soil catalyzing, injection mechanism, positioning, and aiming.

1. Introduction

Taiwan is in the earth's quack belt, and hurricanes strike the ocean's west coast. Natural disasters cause serious destruction to land frequently. Earth recovery by water and land conservation is important.

From the Water and Soil Conservation Technical Regulations [1], it specifies the necessary methods and surveys of the applications of engineering, geoponics, vegetation methods in treatment and maintenance for Water and Soil Conservation. The purpose will clarify water, protect natural ecology and environment to conserve water and soil resource, preserve water source, prevent washout, collapse, landslide, mudflow, flood, earth and sand disaster.

For recovery and conservation plantation, planting mechanism is as important as selecting seeds to spray. There are physical and chemical properties of plants and seeds concerning land property [2]. An earth survey should be studied in advance. For each land property, some pioneer species can be chosen to suit a certain territory of climate [3] and a certain group of ecology [4].

To apply a side slope restoration, the geology survey by basic rock and earth structure for groundwater is necessary [1]. This will collect information to assess the viable species to plantation to the conservative area. Following the regulations, a spray planting site is selected for about 20~25 meters squares. Referring to previous research report, most plains and hills are easy for restoration plantation [5]. Only the side slope with higher inclination, such as >50%, and in distance to approach, such as remote mountain sides.

Studies on the flora of Taiwan offer a vital guide to finding appropriate species, doses, and seasons in planting [6]. In Taiwan, there is regularly plenty of rain. Most agricultural species can sprout and grow with watering and fertilizing under regular climate circulation.

After natural disasters, the dangerous collapse areas aside from mountains need to be recovered by planting. This job should follow the "Water and Soil Conservation Technical Regulations" using appropriate engineering, geoponics, vegetation methods in treatment and maintenance [1]. To steep side slopes, spray planting and hydroseeding are adopted to recover the unstable slopes [5]. Several major research teams have devoted in these projects with hard work. Studies focus significantly on executing recovery planting to steep mountains and side slopes aside different highways. The developed method designed bulky seed packs to plant on side slopes. The results were successful but difficult [7, 8].

The steep side slopes are mostly far from reachable distance or environment, such as distant from roads, over the river bed, or behind the mountain.

When unmanned aerial vehicle (UAV) technology has become mature in applications, the use of UAVs can extend human's vision into unreachable area [9]. A multi-rotor UAV is designed to easily take-off and land without a runway in a narrow airspace. Small multi-rotor UAVs is easy to carry into mountain area and release into air surveillance to find the ruined areas. In addition to aerial surveillance, an alternative design is proposed to mount a spray mechanism onto UAVs and fly to collapse areas for spray planting.

For spray planting, a spray mechanism is as important as selecting seeds to spray. The planting species property investigations [2] to the planting area before real implementation should be studied in advance. Water and soil [3], regional climate and ecology [4], and adopted methodology are key to success. To stimulate seed sprouting, getting assistance from natural materials such as mixed with local earth, retaining water, and sunlight [10]. But in the hard soil areas with steep side slopes, it is most interested and cared area to explore.

Regarding local research papers, many useful methods were adopted for spray planting [8]. The alternative proposal of a UAV spray planting system would try to simply the heavy stuff and tedious process of carrying on a spray planting job.

This paper tries to accomplish the idea of a UAV spray mechanism. A helpful system is designed and fabricated for pioneer runs. Three mountainside areas with extremely hard earth are chosen for the spray planting tests with records.

2. UAV Spray Planting System

2.1 Spray Planting by Bullet

From some references [7, 8], seed balls are usually made for throw planting. The manufacturing process is tedious with complicate process and is bulky and heavy to throw. The throw planting is also constrained by hillside inclination angle and location to release the balls. The proposed UAV seed spray planting tries to design seed bullets and fire from an air blast mechanism. This idea is inspired and reconfigured from a toy

set.
A bullet is designed with a 12mm paper drinking straw, as shown in Figure 1, to fit into a toy gun bullet magazine.

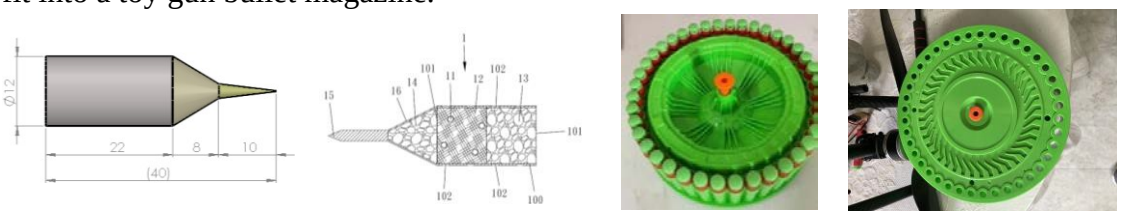


Figure 1：The seed bullet and a 40 bullet magazine.

The bullet is a section of paper straw from 50mm to 120 mm, depending on the demand. It is stuffed with wet mud and grass seeds. This study selects two kinds of seed, Cynodon Dactylon (known as Bermuda) Grass and Cosmos Grass. They are easy to sprout in tropical weather in Taiwan of plenty of water [6] in all seasons.
A tooth stick is added in the front to help the seed bullet stick on the steep side slope. The bullet needs a certain weight to get enough momentum to stick on. Moisturized mud is mixed with two kinds of seed and is enclosed by cooked rice. Each bullet is weighed about 8 grams with about 300 seeds.
To reduce the impact on the environment, the selected materials are (1) paper straw, (2) grass seeds, (3) tooth sticks, and (4) cooked rice. These materials are easy to decompose and absorb into the earth's soil.

2.2 Pre-Planting

A pre-planting experiment is tested to observe the bullet aging and decomposing process as shown in Figure 2. The test used Gherkin to sprout and overgrow. The bullets will leave no pollutant to the environment. Figure 2 just to observe the aging and decomposing of the paper straw. It appears the idea is quite correct to cause no pollution concern to the planting earth.



Figure 2：Bullet of Gherkin in natural decomposition, 2 days, 10 days, and 30 days.

2.3 Contrast Planting

Figure 3 shows a contrast growth in two ways, by hand spray at the left and by bullet spray to the right. Each plane is 1x1 meter square. This result shows after 14 days under natural decomposition. The paper straw bullets have decomposed, and the seed spread. Both grasses grow well, but the Cosmos appears significantly distinguishable from other grasses. The comparing samples look different.
From web survey and ebook [6], Bermuda (Cynodon dactylon) grass is found to suit for hot or cold, dry or wet environment, but cannot be shaded without sunlight. It is almost everywhere in Taiwan; while the Cosmos grass is also a sunny species, suit for cold or hot environment. It is easy to breed into massive area as sea of flowers. Both grasses can grow as high as 1~2 meter tall with big fibrous root. Fibrous roots are

good in hillside slopes to grasp the earth.
Two contrast grows are tested for two grass species each in 1 meter square block. The first test applied on Bermuda grass. But it is quite difficult to distinguish from other local original grass. The second test mixed two kinds of grass in each block. Since the bullet can decompose easily, they appear little difference in grow after 14 days as shown in Figure 3 and Table 1. Both two grasses grow, but it is easy to tell from Cosmos.

Table 1：Contrast grow of two species.

Date	June 8, cloudy to sunny dry	
Sample	Bermuda and Cosmos, mixed	
Part A Right Bullet spray	30 bullets	About 400 seeds
Part B Left Hand spray	1 gram seeds direct to earth	About 300 seeds



Figure 3：Contrast grow by hand spray (left) and bullet spray (right) after 14 days.

Since the Cosmos is quite different from other grass and is easily distinguished. Its property also easily sprouts in all seasons. The Cosmos and Bermuda are mixed in a seed bullet. From the contrast grow, both grasses can grow up to 70 cm or longer. But the Bermuda grass has longer roots more than other grass. This is an important nature to grow on hillside to grasp the earth to prevent slide or collapse. The grown Cosmos grass is shown in Figure XX, lay on 30 cm tile floor, about 60 days, grass top 75 cm, root 10 cm.



Figure XX：Grown Cosmos Grass.

3. Spray Mechanism

When the bullet is made to fit into the magazine, a shooting mechanism is designed using a pneumatic air blast device. This includes an air pump, a small air tank, a pressure setting device, a release switch, and an automatic re-pressure process, as shown in Figure 4. This system is directly converted from a toy gun. The bullet magazine is designed in detail and manufactured to turn each step after firing. The air pump is tested to set enough pressure to fire the bullet with the required speed. After testing, the pressure is tuned to 100 psi to fire an 8 gram bullet toward an 8 meter wall target. Since the UAV should fly too close to the side slope, 5~8 meter distance is necessary for controllable safe flight, depending on the wind turbulence on the side slope.

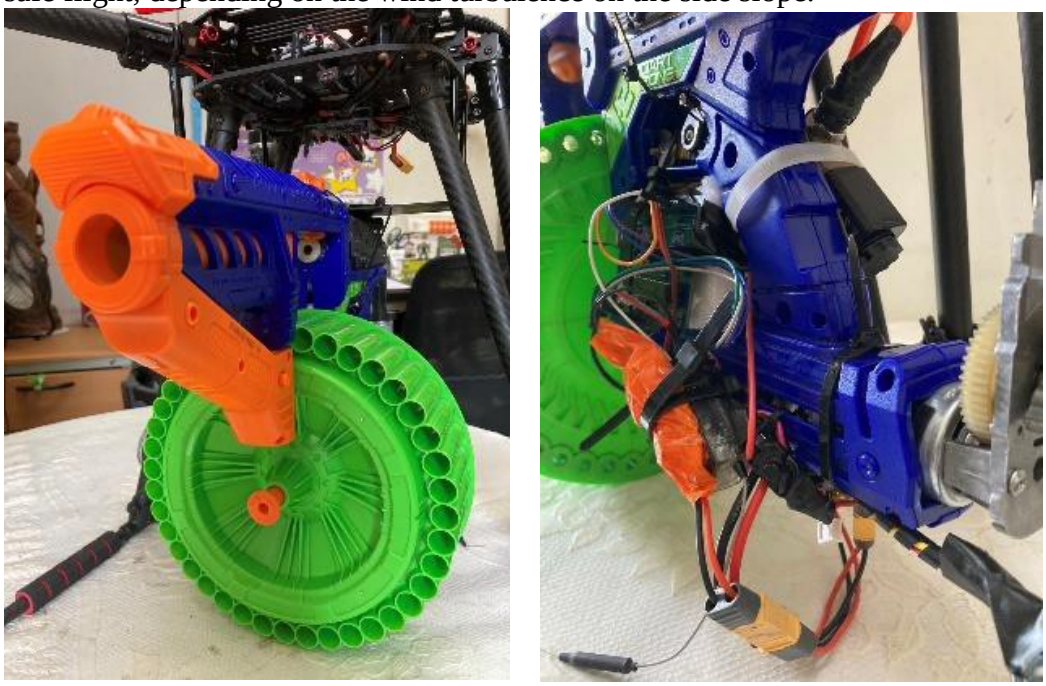


Figure 4：Bullet magazine and pneumatic air blast control.

The pneumatic air blast is mounted onto the 850 mm pitch hexa-rotor UAV as shown in Figure 5, carrying 40 bullet magazines in test flight. The total weight does not affect the maximum weight limit to fly with 8700 mAh LiPo battery for enough endurance. Three UAVs are equipped with a spray planting system for use.



Figure 5：Complete assembly of spray plating UAV in flight test.

4. Spray Planting

After preparation for spray planting, Taiwan has suffered with draughty weather since September 2022, especially in Tainan. It is forecasted to turn into plum rain season after May. The spray planting is waiting until May 15.

Three areas were selected at the beginning of this project with extremely bad conditions. There are more than 12 sites from the selected areas to carry out the tests. The selected sites were too dry for any planting. Three areas are (1) Yu-Jing, Tainan,
(2) Niu-Pu, Kaohsiung, and (3) Country Road 126, Miao-Li, as shown in Figure 6. It has been a drought with no rains from September 2022 until May 2023. Each area was explored by aerial photography in April 2023, as shown in Figure 6. The earth is terribly hard and dry. From the pioneer view, it is apparent that Miao-Li area (to the right) can be more moisture than others.



Figure 6：Three bad areas for spray planting, Tainan (1)(2) and Miao-Li (3)

The spray planting jobs were waiting for possible plum rains until May 2023. The first spray planting started from (1) Yu-Jing and (2) Niu-Pu on May18-30, with each site 250 bullets, as shown in Figure 7. The spray sites are still very dry until late June. A second spray planting was carried out in June, as shown in Figure 8, after seasonal rains.





Figure 7：First spray planting on Area Tainan (1)(2) in May.



Figure 8：Second spray planting on Area Tainan (1)(2) in June.

The spray job turned to Area Miao-Li (3), which is the northern part of Taiwan with more rain and lower temperatures. The first spray is shown in Figure 9. The condition seemed much better than in Area Tainan (1)(2) with moisturized earth.



Figure 9：First spray planting on Area Miao-Li (3) on June 28 after rains.

The spray planting is operating with photos as shown in Figure 10.



Figure 10：A spray operation in Area Miao-Li (3).

The spray jobs continued three times from May to August. Each site was examined before next spray. However, the results are poor.

5. Spray Planting Result

5.1 Weather and Land

The spray plantings in Tainan and Miao-Li areas are recorded in Table 2, with the weather records in Table 3.

Table 2：Spray planting records.

Date	Grass	Site/Soil	Slope	Hum.	Temp	Density	Remark
5/19	B	TN1/SS	70%	40%	30C	4000	Dry out
5/19	B	TN2/SS	65%	40%	30C	4000	Dry out
5/26	B	TN1/SS	70%	40%	30C	4000	Dry out
5/26	B	TN2/SM	60%	40%	30C	5200	Dry out
6/20	B+C	TN1/SS	75%	70%	32C	5000	Wash out
6/28	B+C	ML1/SM	70%	75%	29C	4000	Sprout, 7/19, C,
6/28	B+C	ML2/SM	65%	75%	29C	4000	Sprout, 7/19, B+C
6/28	B+C	ML3/SM	65%	75%	29C	4000	Sprout, 7/19, C

Remarks: Grass: Bermuda (B) and Cosmos (C), Site: Tainan 1 (TN1)/Miao-Li (ML), Soil: Sand Shale (SS) and Soft mudstone (SM), Density: spray seeds/m^2.

Table 3：Weather records to planting.

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
May					**		drought season ends							
17	18	19	20	20	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
	*			•	*	*			*				**	**
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
June			*	*				**		*	**		•	**
16	17	18	19	20	20	22	23	24	25	26	27	28	29	30
		*		**		•	*		Rain season starts					

Rain: small “ • ”, heavy “*”, “**”.

Most importantly, the physical and chemical properties of plants and seeds about land property by Lemaire [4]. An early earth survey should be studied for each land property with some pioneer species chosen to suit a certain territory of climate and a certain ecology group to suit spray planting by Whitemore [5, 6].
Table 1 and Table 2 indicate the key in species and site selection.

5.2 Dry and Hard Area

In August, all three areas were examined with their sprouting while executing the third spray planting. In Tainan area, there is no signs of grass sprouting in Area (1) and (2) since the earth is still dry and hard. It is difficult to get the seed to sprout, even if the seeds are released from the bullet onto the ground.
From the observed sprouting results, all Tainan sites are not sprouting. The actual spray areas in Tainan are more than 6 in the vicinity area. But the environment is not so friendly to any kinds of seeds to grow.
This matches what Lemaire and Whitemore assessed in reference [4, 5]. The spray planting sites are desperate to fight against Nature.

5.3 Moisture Area

In Area (3) Miao-Li area, since the weather has more rain and the earth is more moisturized, the Cosmos seed has sprouted as shown in Figure 11(a)(b). In Miao-Li area, the soil is moisture and soft; the temperature is usually 4~6°C lower than Tainan area.



Figure 11(a)：Spray planting sprouting of Cosmos in Area (3) Miao-Li.



Figure 11(b)：Spray planting sprouting of Cosmos in Area (3) Miao-Li.

The sprout seeds are the Cosmos. From Flora of Taiwan [1] by Huang, the Cosmos is easy to sprout and distinguish from other grass. From the results, the Miao-Li area can put more effort into experimental spray planting with a higher seed population.
In the experiments, the near spray planting has finished on August 22. It is expected to get better results since the hurricanes continue to strike Taiwan in August and September. More rain is expected.

6. Discussion

7. Conclusion

This paper proposes an application system of UAVs in spray planting. It uses a toy gun to reconstruct an automatic pneumatic blast system for spray planting. The UAV system is flying to spray 40 bullets on the steep side slopes at each flight. In the experiments, more than 4,000 bullets can be projected onto the steep side slopes in each mission flight. Due to the poor environment of dry and hard earth, the seeds are not easy to sprout. However, in a moisture area, the condition benefits the proposed application using UAV spray planting.
The seed sprouting takes 3 to 4 weeks after the previous spray onto the earth. The weather environment is the key factor in spray planting. Since the selected Areas Tainan (1) and (2) are terrible to survive, the UAV spray planting trial will also explore a possible breakthrough solution.
The proposed UAV spray planting technology is viable and feasible for wider implementation to steep side slope applications. A higher density of seed spray is required. Beyond the selected Bermuda and Cosmos, some other pioneer species should be studied from reference [1] to find more suitable species for the current weather and soil environment in Taiwan mountain areas.

[13]Acknowledgment

This work is supported by the Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, Ministry of Agriculture, under research project contract SWCB-112-028.

[14]References

[1] Water and Soil Conservation Technical Regulations, Forestry and Nature Conservation Agency, Ministry of Agriculture, March 21, 2000, retrieved May 4, 2023, https://law.moa.gov.tw/GLRSnewsout/LawContent.aspx?id=FL014521.
[2] Lemaire, F. (1995), “Physical, chemical and biological properties of growing medium”, Acta Hort, 396: 273-284. 26.

[3] Whitemore, T. C. (1983), “Secondary succession from seed in tropical rain forest”, Forestry Abstracts, 44: 767-779. 28.
[4] Whitemore, T. C. (1989), “Canopy gaps and the two major groups of forest trees” Ecology, 70: 536-538.
[5] Lin, S. H., Y. J. Wang, H. S. Hsu, “Vegetative Restoration and Vegetation Materials Used on Hydroseeding of Landslide Areas”, Journal of Soil and Water Conservation, 43 (2): 147 - 170 (2011).
[6] Huang, T. C., Editor, “Flora of Taiwan”, 1997-2003, Vol. 1-6, https://tai2.ntu.edu.tw/ebooks/FlTaiwan2nd/1.
[7] Forestry and Nature Conservation Agency, Ministry of Agriculture, “The Feasibility Study on UAV Plantation Applications to National Forest Collapse”, 2019 Report, retrieved July 13, 2021, available on web: https://www.forest.gov.tw/report/0003887.
[8] Lee, Y. C., J. H. Chang, Y. J. Huang, C. C. Lee, “A Study on The Application with Different Spray Planting Methods on Road Side – Slopes”, Journal of Soil and Water Conservation, 39(2)：201 - 215 (2007).
[9] Fahlstrom, P. G., T. J. Gleason, “Introduction to UAV Systems”, 4th edition, Wiley On-line Library, DOI: 10.1002/9781118396780. Available on web: August 24, 2012, https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118396780.
[10] Mustart, P. J., R. M. Cowling. (1993), “Effects of soil and seed their possible roles in determining field emergence patterns of four Agulhas plain (South Africa)”, Proteaceae, Can.J.Bot.71: 1363-1368. 27.

Editor’s comments for revision
From: Gretchen Sassenrath <gsassenrath@ksu.edu>
Sent: Sunday, September 3, 2023 5:19 AM
To: Chin E. Lin <chinelin@mail.ncku.edu.tw>
Cc: Jody Thompson <jody.thompson@swcs.org>
Subject: Re: Paper submission

Dear Chin,
This looks like work with potentially good impact on conservation. It would be of interest to our readership. Please be sure to focus the presentation on conservation. Please resubmit after revision.
Kind regards,

Gretchen

Gretchen F. Sassenrath, Professor Research
Editor & Chair Editorial Board Journal of Soil
and Water Conservation

25092 Ness Rd.
Southeast Research and Extension Center
Kansas State University, Parsons, KS 67357
620-820-6131