

無人機邊坡噴植技術研發 及測試驗證

計畫主持人：長榮大學邵珮琪 副教授

報告人：邵珮琪副教授、林清一教授

前言

- 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°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。

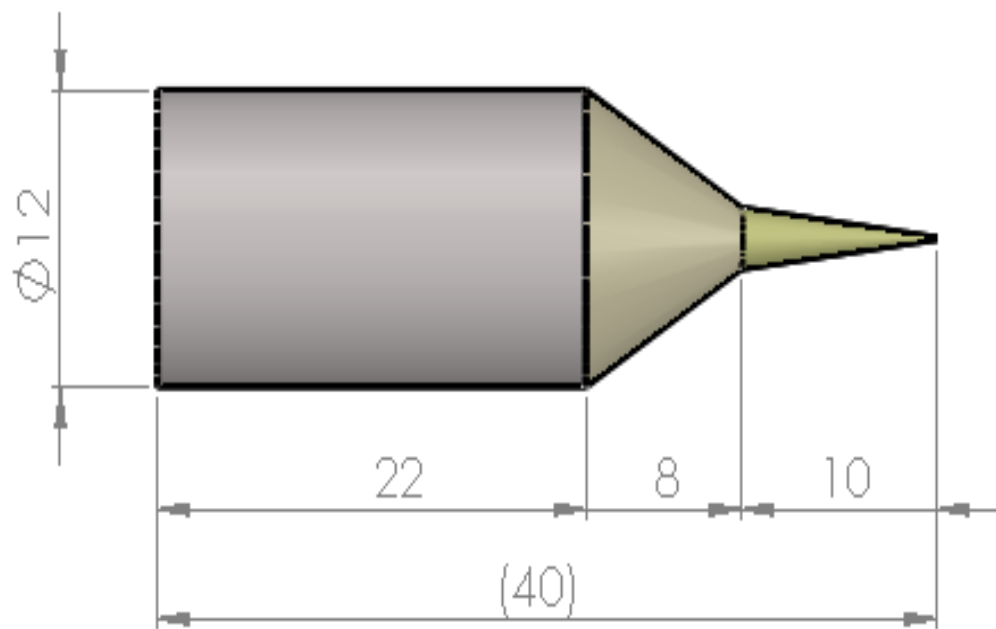
前言

- 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/m²，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/m²，於4週後觀測紀錄，獲得39%的發芽率及1.4棵/m²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。

研究方法

- 本計畫研發一套利用無人機的噴植技術與工法，設計種籽子彈裝入特別的彈匣內，安裝於軸距850mm的六軸無人機上，可以飛臨陡峭崩塌邊坡進行噴植。
- 種籽子彈的設計使用環保材料12mm直徑的大紙吸管，剪切為5公分彈殼，內填裝百慕達草與波斯菊種籽各約40顆，並混搭噴植地的泥土而成。
- 種籽子彈前端有突出的牙籤，經無人機氣壓噴射系統噴出後，可以沾黏於崩塌邊坡之泥土上，等待發芽。

環保種子彈



單位：公厘



子彈彈匣

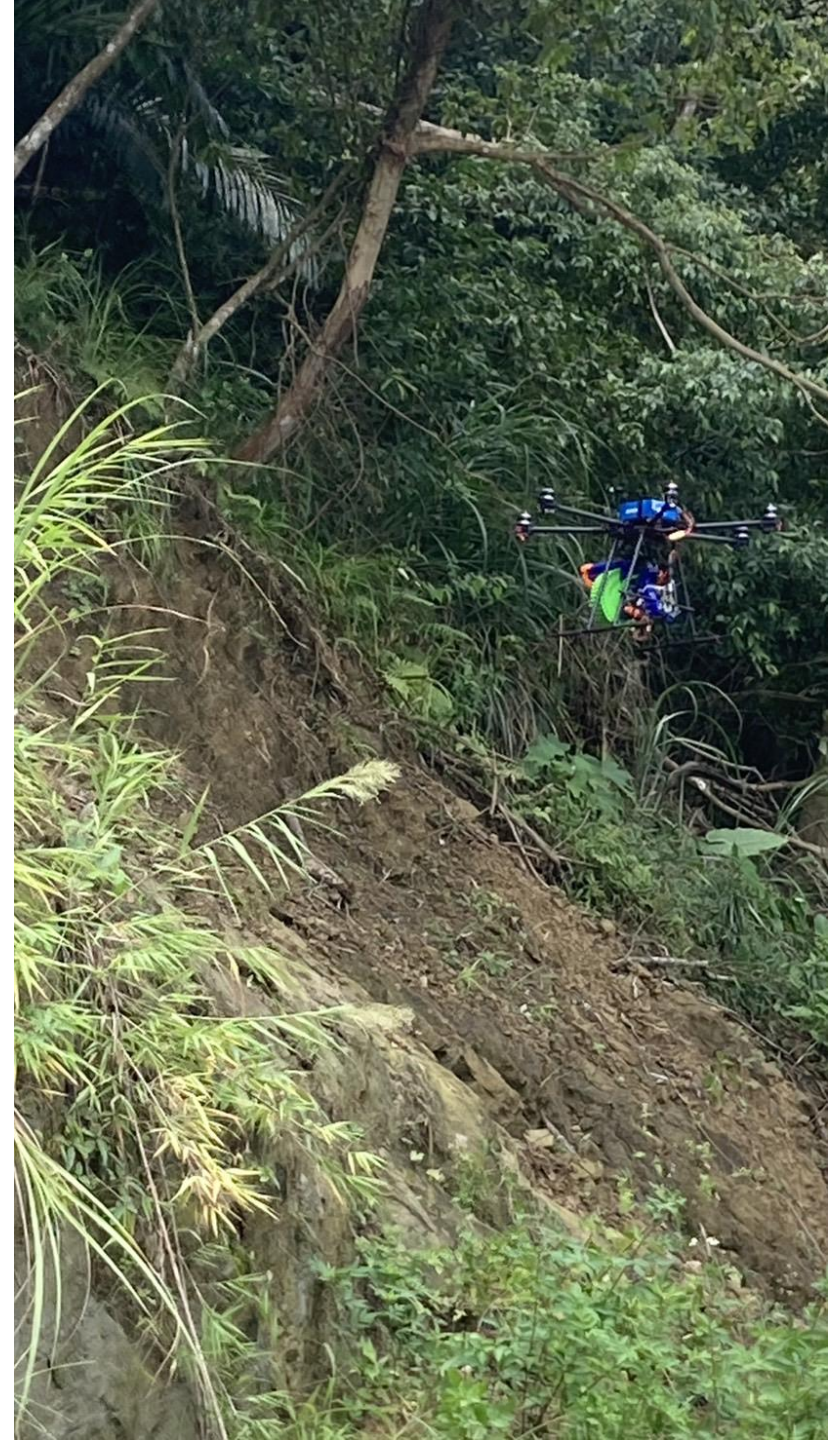


無人機組裝



槍機與發射機構

無人機噴植與鋪網噴植



研究方法

- 由於無人機操作可以飛至人員無法攀爬接近的陡峭崩塌邊坡進行噴植作業，本研究選擇坡度大於60度之邊坡進行小面積的實驗測試，主要是期待觀測本研究的工法之可行性與噴植發芽效益。
- 本計畫原選擇台南玉井沙田及龍崎牛埔邊坡，由於該地為明顯的惡地，經三次噴植均未獲的成果。

選址與噴植



沙田及牛埔惡地

研究方法

- 本計畫另增加苗栗明德水庫附近苗126、124、26縣道之邊坡。由於**苗栗地區較為潮濕**，有利噴植復育工作。經兩次的草本植物噴植，觀測到發芽成果。

苗126探勘



- 2022年9月照片，該兩處繼續崩塌

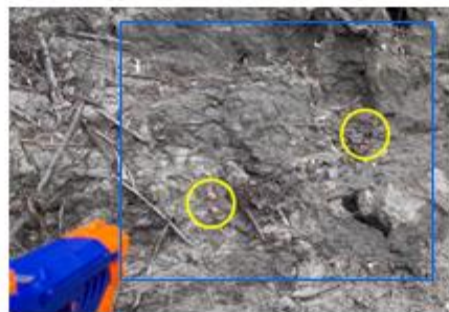


2023年4月26日現況，
進行邊坡鞏固工程

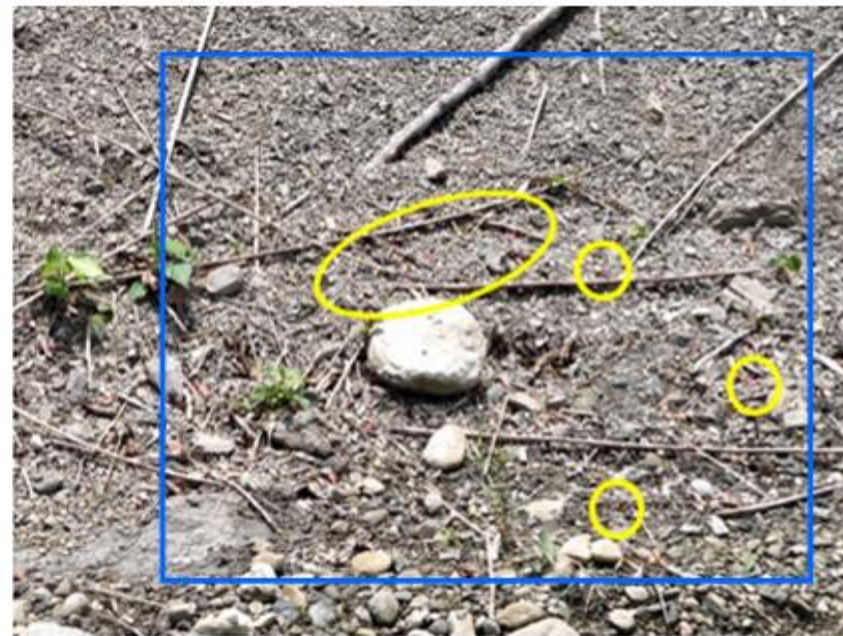
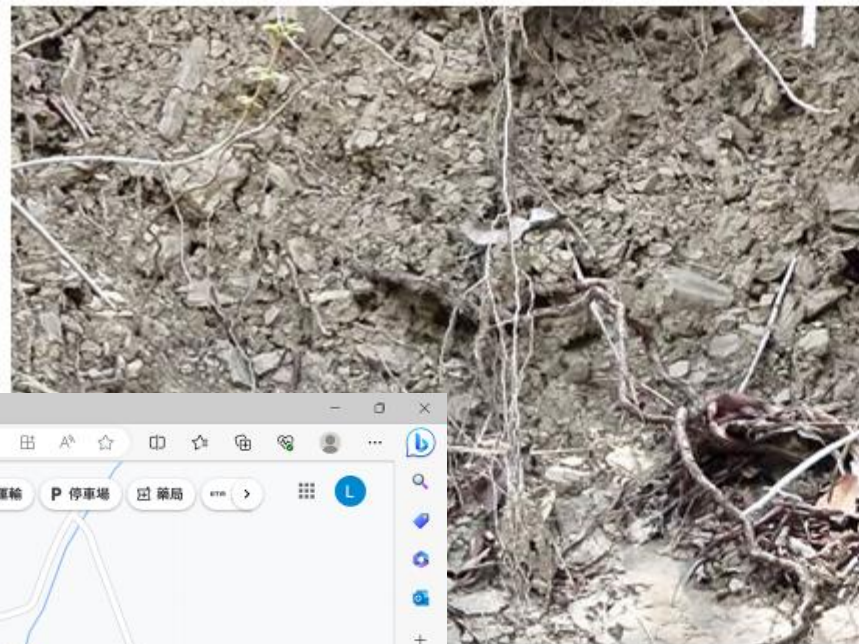
噴植場域土壤資料

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

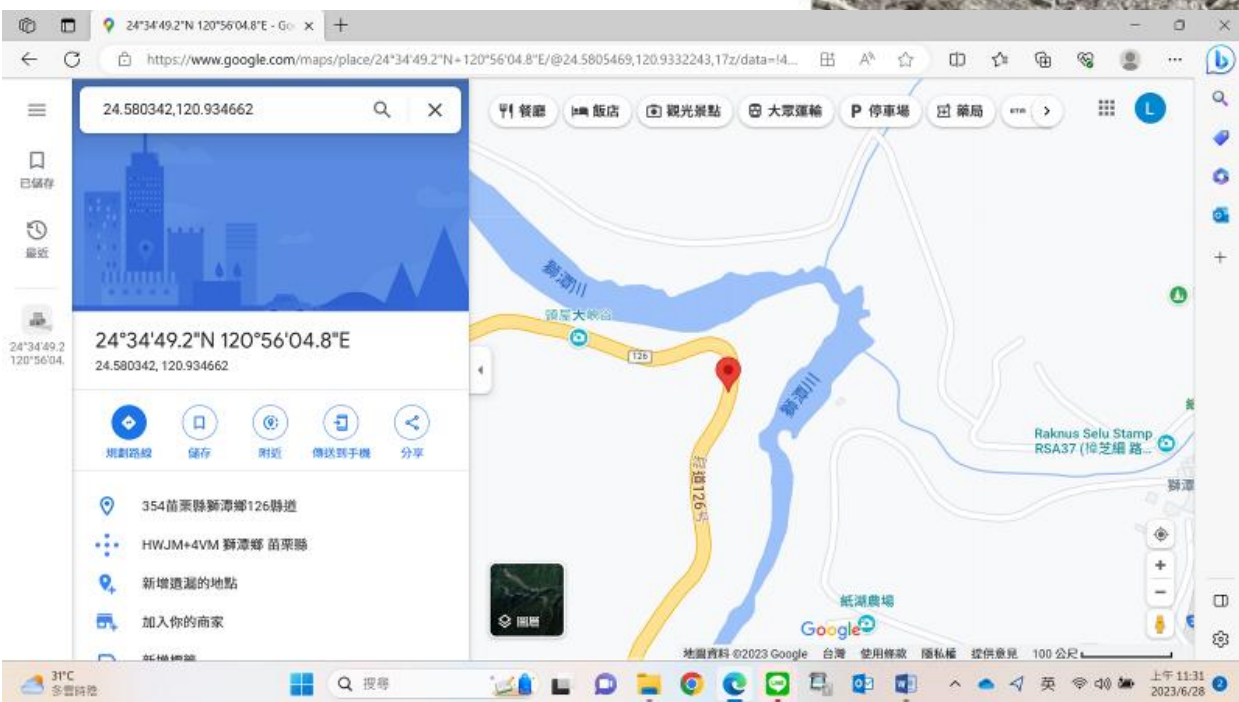
噴植狀況



苗126縣道噴植



苗 126 縣(24k)道噴植(方塊內為 1 平方公尺)



南化水庫噴植

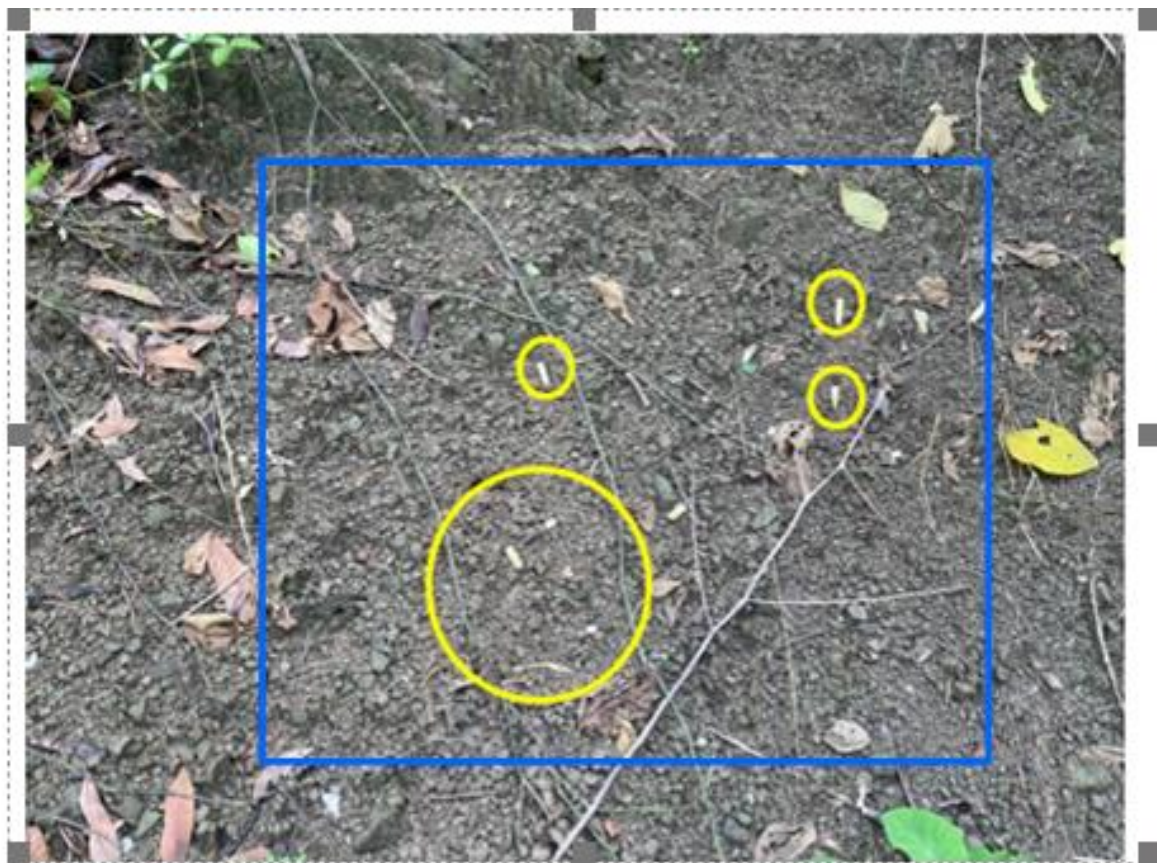


圖 2.9.27：9 月 28 日南化水庫 A 區 PVA 木本噴植狀況
(方塊內為 1 平方公尺)

發芽觀測



- 苗126縣道(15k)成果

發芽觀測



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



圖 2.10.4: 9 月 15 日苗 26 線道(4k)百慕達草發芽生長

苗 26 縣道(4k)

南化水庫木本噴植成果

- 馬棘



羅氏鹽膚木



苗26縣道 12k 木本植物



圖 2.10.24：馬棘

成果檢視

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 ↴	6 棵/m ² ↴	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/m²，草本植物>10 棵/m² ↴

計畫執行甘特圖

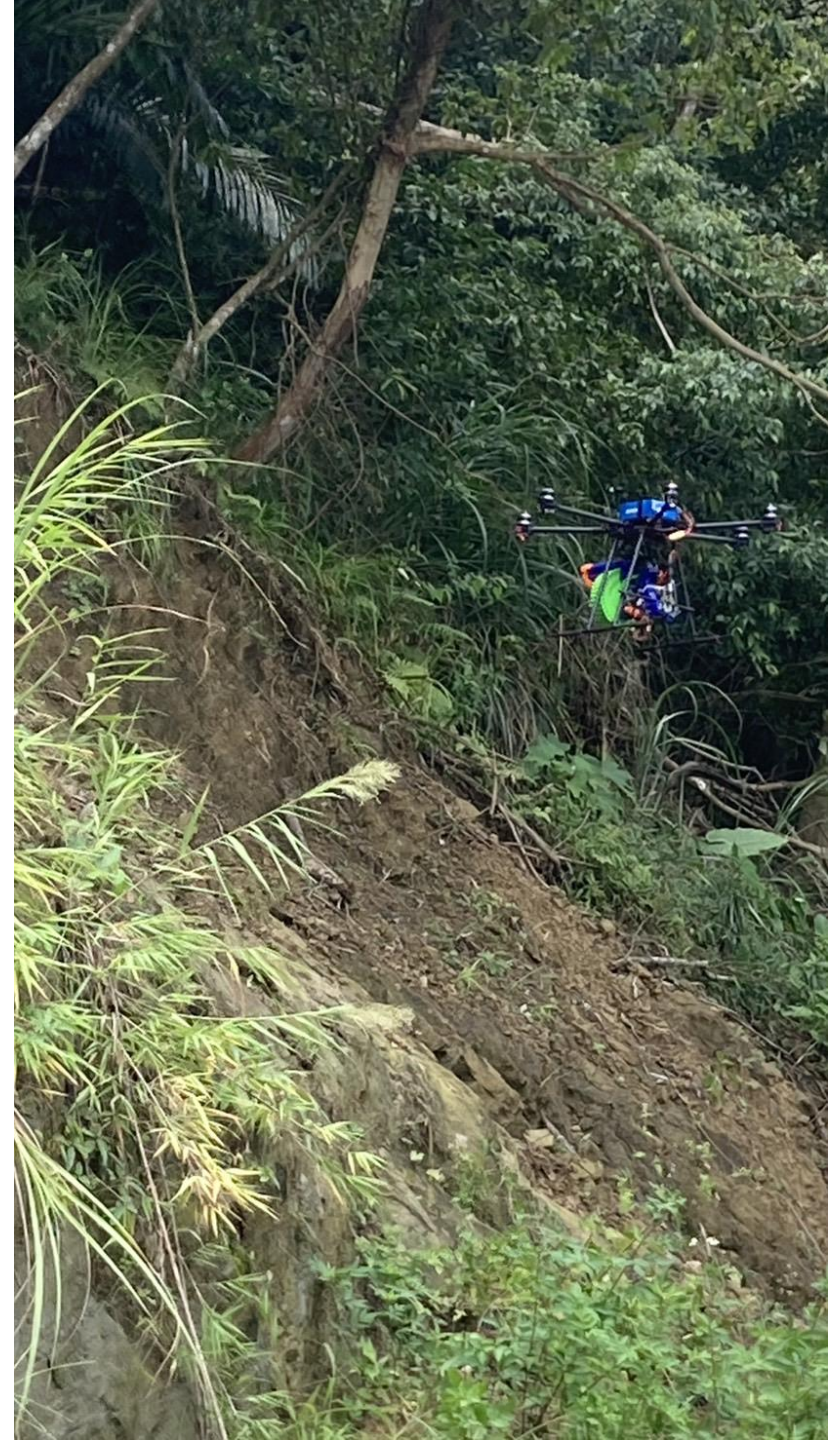
[illegible]

無人機噴植成本

- 無人機噴植成本器材、勞務、消耗等費用，加上種籽子彈成本，
- 草本植物每平方公尺噴植>13顆，
- 木本植物每平方公尺噴植>3顆，每公頃費用。

			每公頃	<u>噴植作業</u>	成本	533800
種子成本						
	項目	單價	顆數/m ²	Ha (m ²)	種籽成本	Ha <u>噴植成本</u>
13	種籽子彈(草)	3	13	10000	390000	923800
14	種籽子彈(木)	7	3	10000	210000	743800

無人機噴植與鋪網噴植



小結

- 本計畫以種籽子彈從無人機上發射的技術與工法，經過六個月的實際場域測試，除了玉井、龍崎之惡地無法檢測到發芽外，在苗栗明德水庫與台南南化水庫附近的噴植，有獲得顯著成果。本年度計畫主要是驗證本團隊所提之**無人機種籽子彈噴植技術是可行的**。然而，種籽發芽時程還需假以更長的時日來觀測。

小結

利用本計畫研發之無人機噴植技術，可以達到幾項特色

- (1)種子子彈的沾粘特性，在**60°以上**的陡峭崩塌邊坡實施，
- (2)噴植人員無需攀爬陡峭邊坡，**工安顧忌較低**，
- (3)噴植種籽可以**草本或木本**，以符合噴植地之需求，
- (4)噴植成本不高，適合多場域推廣，
- (5)技術門檻不高，可以有更多團隊參與實施，
- (6)種籽選擇可以因地制宜，
- (7)種子子彈仍以手工製作。

12月4日補記

- 本計畫噴植後成長時間不夠，至12月3日及4日分別赴苗栗26縣道及南化水庫觀測新的成果，兩地區發芽成果有顯著成長。
- 苗栗26縣道百慕達草持續成長，噴值得馬棘與羅氏鹽膚木都有發現發芽。
- 南化水庫附近馬棘與羅氏鹽膚木混搭成長特別茂盛，本區無噴植草本植物，成長結果十分豐富。

新增苗木 觀測結果

- 12/3 苗26縣道



苗 26 縣道 12k 發芽的馬棘(左)、羅氏鹽膚木(右)



苗 26 縣道 12k 發芽的馬棘(左)、羅氏鹽膚木(右)

新增苗木 觀測結果

- 12/3 苗木26縣道



苗木26縣道 12k 發芽的羅氏鹽膚木(左右)以及百慕達草(左)



苗木26縣道 12k 發芽的百慕達草

新增苗木 觀測結果

- 12/3 苗26縣道
- 及126縣道



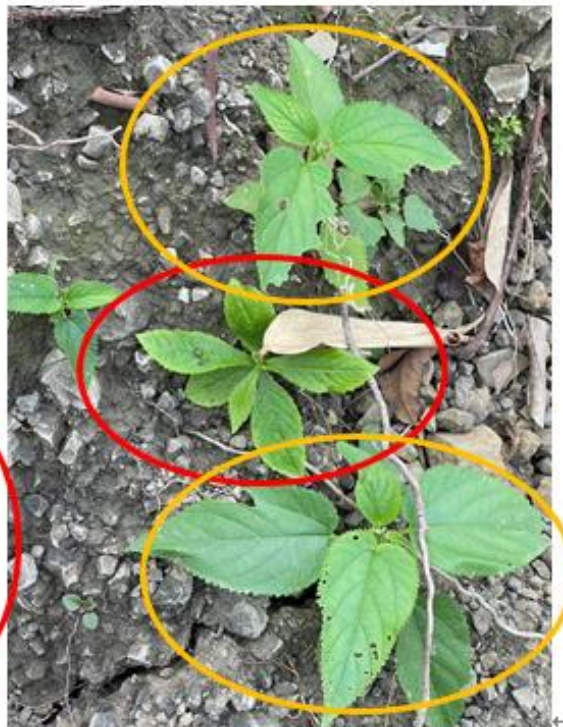
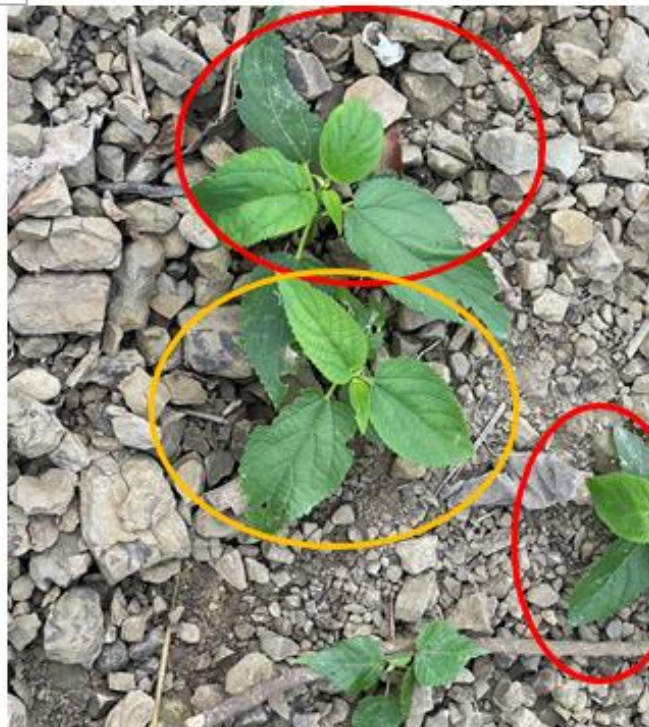
苗 26 縣道 12k 發芽的百慕達草



苗 126 縣道 24k 發芽的羅氏鹽膚木

新增南化 觀測結果

- 12/4南化水庫
- 地區觀測



南化水庫羅氏鹽膚木混搭馬棘



南化水庫羅氏鹽膚木(左)、馬棘(右)

新增南化 觀測結果

- 12/4南化水庫
- 地區觀測



南化水庫羅氏鹽膚木(左)、馬棘(右)



南化水庫高密度羅氏鹽膚木混搭馬棘，高發芽率

新增南化 觀測結果

- 12/4南化水庫
- 地區觀測



南化水庫高密度羅氏鹽膚木混搭馬棘，發芽率大於 10 棵/平方公尺



南化水庫高密度羅氏鹽膚木混搭馬棘，發芽率大於 10 棵/平方公尺

新增南化 觀測結果

- 12/4南化水庫
- 地區觀測



南化水庫高密度羅氏鹽膚木混搭馬棘，發芽率大於 10 棵/平方公尺⁴

新增南化 觀測結果

- 12/4南化水庫
- 地區觀測





- 南化水庫9月28日噴植場景
 - 12月4日觀測結果





• 南化水庫9月28日噴植場景及12月4日發芽狀況

修訂 | 表 4.1：噴植效益觀測紀錄⁴

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 ↴	6 ↴	3.75 ↴	5.5 ↴	3.75 ↴	0 ↴	0 ↴	7.5 ↴	9 ↴
棵/m ² ↴								
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 ↴								

成果檢視

重複表4.1 比較

分項 ↴	<u>噴植場域</u> ↴							
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 ↴
<u>噴數</u> ↴	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 ↴
<u>噴植日</u> ↴	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 ↴	6 棵/m ² ↴	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/m²，草本植物>10 棵/m² ↴

結論

- 從12月3日與4日的成果檢視，本計畫的噴植作業需要假以相當時日才能看到成果。南化水庫的馬棘與羅氏鹽膚木發芽率及覆蓋率都已經超過預期的比例。
- 本計畫為一個創新技術與工法的初步驗證，本年度主要在噴植發芽的可行性，並無量化數據的規劃設計，未來必須規劃特定面積有規模的施作，以**統計量化數據成果**。

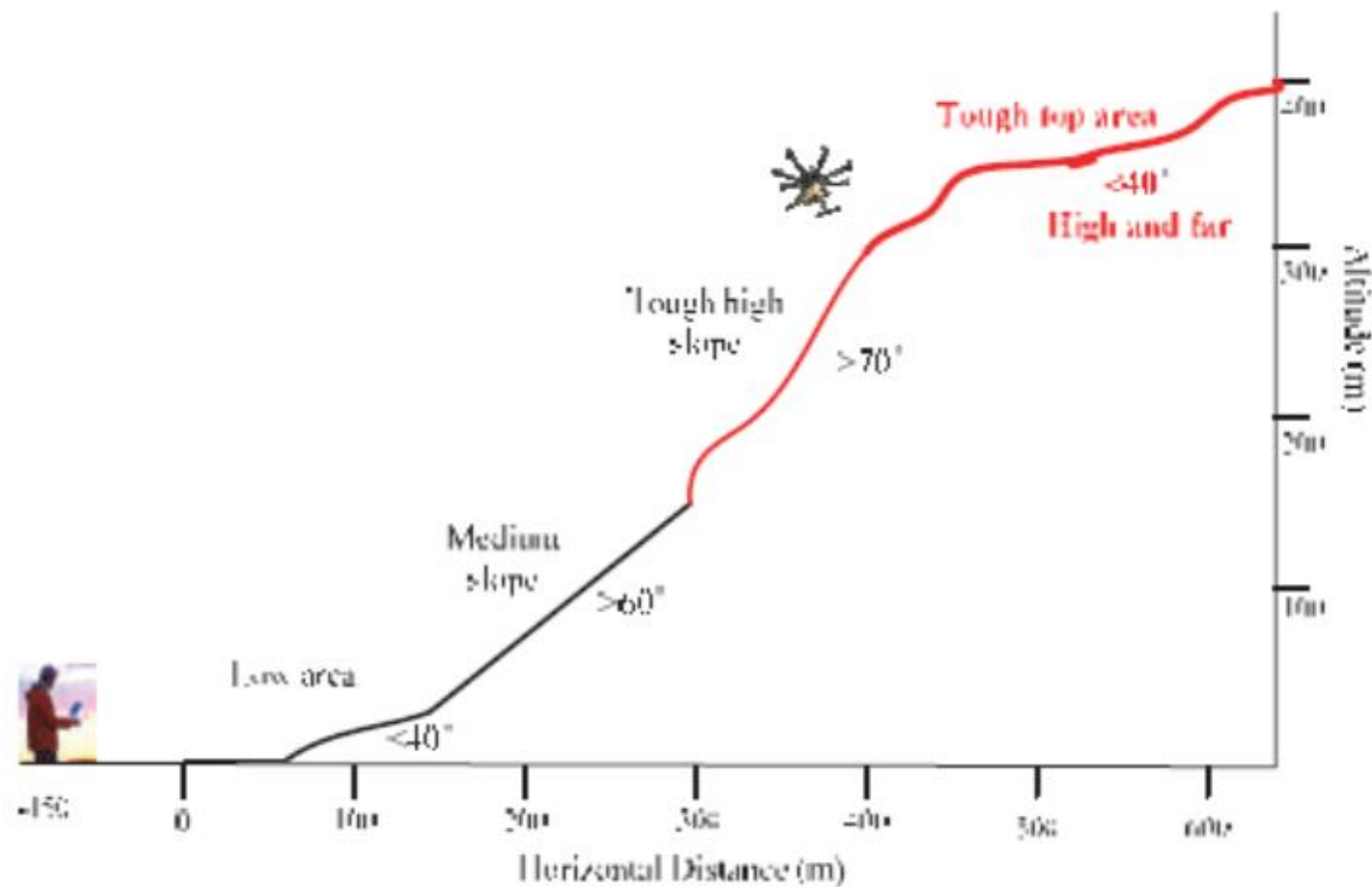


圖 15 建議的操作範圍至崩塌邊坡

Fig.15 The suggested operating range to collapse side slope

資料來源：中華水土保持學報，55(2), 2024, p.80。



圖 16 後續研究屏東來義邊坡噴植實驗場地

Fig16. The experiment site in Lai-Yi, Ping-Tong of the continuing studies

資料來源：中華水土保持學報，55(2), 2024, p.81。

謝謝聆聽

敬請指教

- 計畫主持人 邵珮琪副教授
- 0958-669951
- pcshao@mail.cjcu.edu.tw

- 報告人 林清一教授
- 0987-071071
- chinelin@mail.ncku.edu.tw

