中華民國109年3月17日

108年度創新研究計畫
(工程技術發展類)



陡坡崩塌地無人飛行載具(UAV)噴植工法作業與評估

簡報人：台灣環境綠化協會 **林政佑** 研究員

水土保持局

前言



人工噴植工法(交通可及)





航空噴植(交通不可及)

不同UAV噴植形式比較

比較項目	垂直灑播	水平噴植
動力	重力	空氣、水
可酬載資材量	多	少
資材成本	高	低
UAV所需機體大小	小	大
UAV距坡面需求高度	高	低
噴植適宜坡度	緩	陡
噴植精準度	低	高
操作技術	低	高

陡坡崩塌地

UAV濕式噴植



簡報大綱

1. 崩塌地無人飛行載具植生時機選擇及區位萃取
2. 大型無人飛行載具植生噴頭之設計研發(15公斤級以上)
3. 陡坡崩塌地應用無人飛行載具噴植之植生資材選用
4. 崩塌地應用大型無人飛行載具噴植實作
5. 崩塌地應用無人飛行載具植生成效之監測與評估

1

崩塌地無人飛行載具植生時機選擇及區位萃取



水土保持局

國立中興大學水土保持學系

噴植時機選擇 - 剩水量

降雨量多於蒸發散量，則有餘水可留蓄於土中；反之，將極易發生旱害。

$$I_m = I_h - I_d$$

$$Ih = 100\frac{S}{Pe}$$

$$Id = 100\frac{D}{Pe}$$

I_m濕潤指數(moisture index)

I_h為濕度指數(humidity index)

I_d為乾旱指數(aridity index)

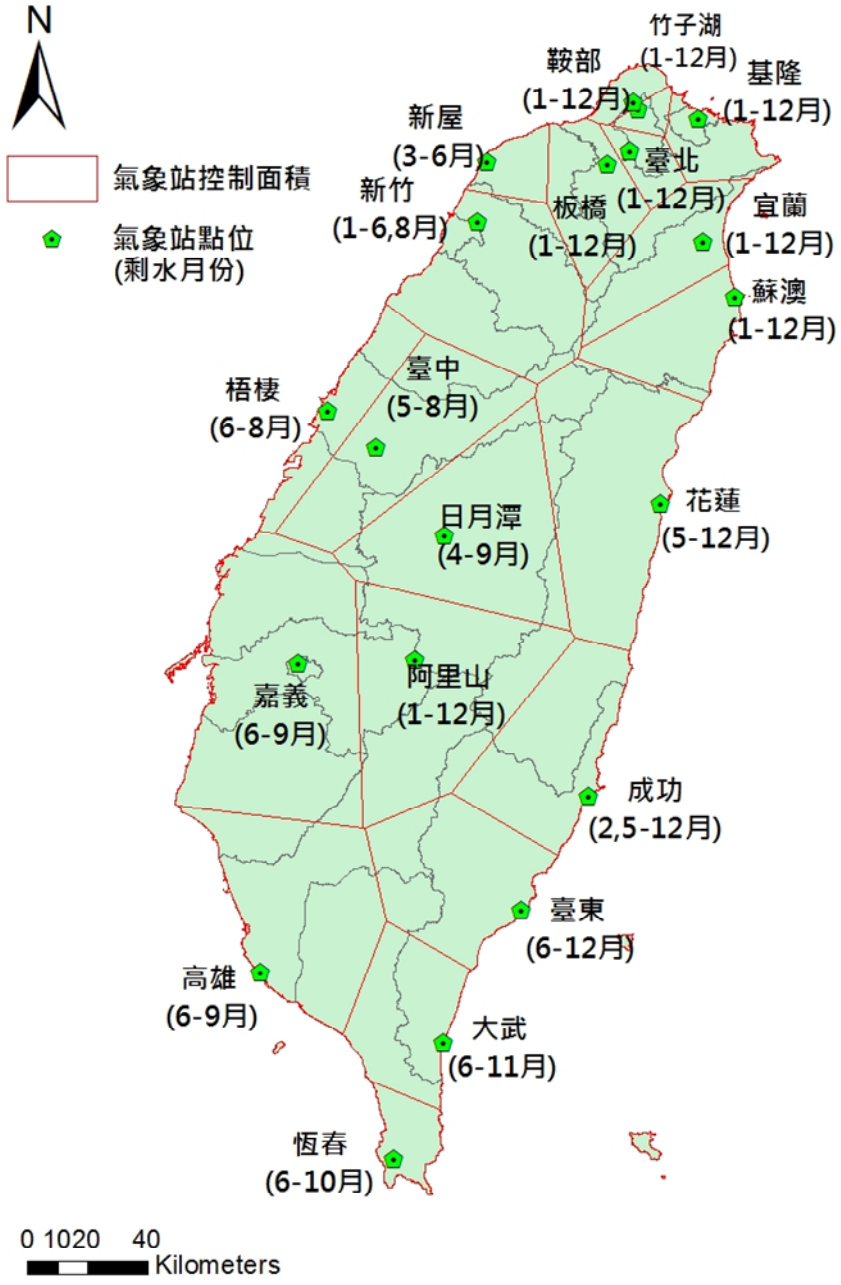
S 為剩水量(S=P-Ae);

D 為缺水量 (D=Pe-Ae)

P = 降水量

Ae = 實際蒸發散量

Pe = 潛在蒸發散量



噴植時機選擇 - 最大蓄水量推估

分類	土壤質地	SCS土壤分類
0	粗砂土、砂土	
1	細砂土、壤質砂土、壤質粗砂土	
2	壤質細砂土、粗砂質壤土、砂質壤土、細砂質壤土	A
3	極細砂土、壤質極細砂土、極細砂質壤土	
4	坋質壤土、坋土	B
5	壤土	
6	砂質黏壤土	C
7	黏質壤土、坋質黏壤土	
8	坋質黏土、砂質黏土	D
9	黏土	

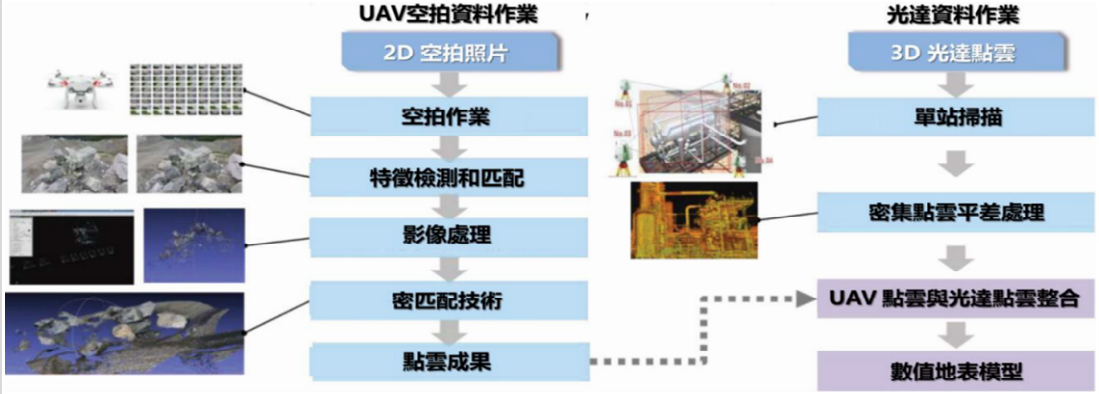
土地利用 \ SCS土壤分類	A類土壤	B類土壤	C類土壤	D類土壤
建地	74	84	90	92
針葉林	25	55	70	77
地表水	94	93	95	96
旱田	62	71	78	81
公園、墓地	39	61	74	80
荒地	77	86	91	94
濕地	92	93	94	95
闊葉林	36	60	73	79
水田	70	79	84	88
果園	45	66	77	83
其他林地	38	62	74	80

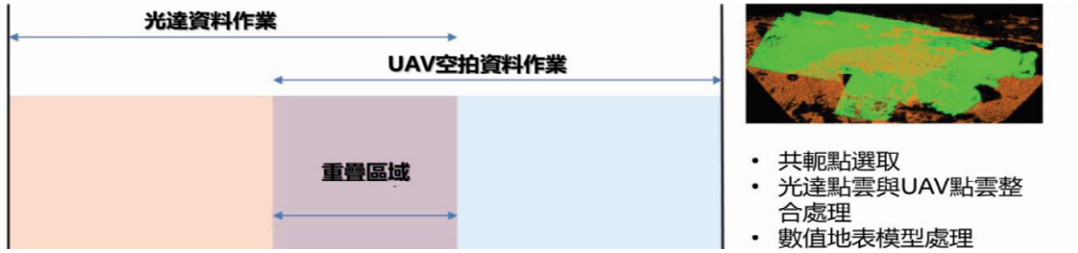
$$S_{(mm)} = \frac{25400}{CN} - 254$$

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}\ ,\ \mathbf{(P > 0.2S)}$$

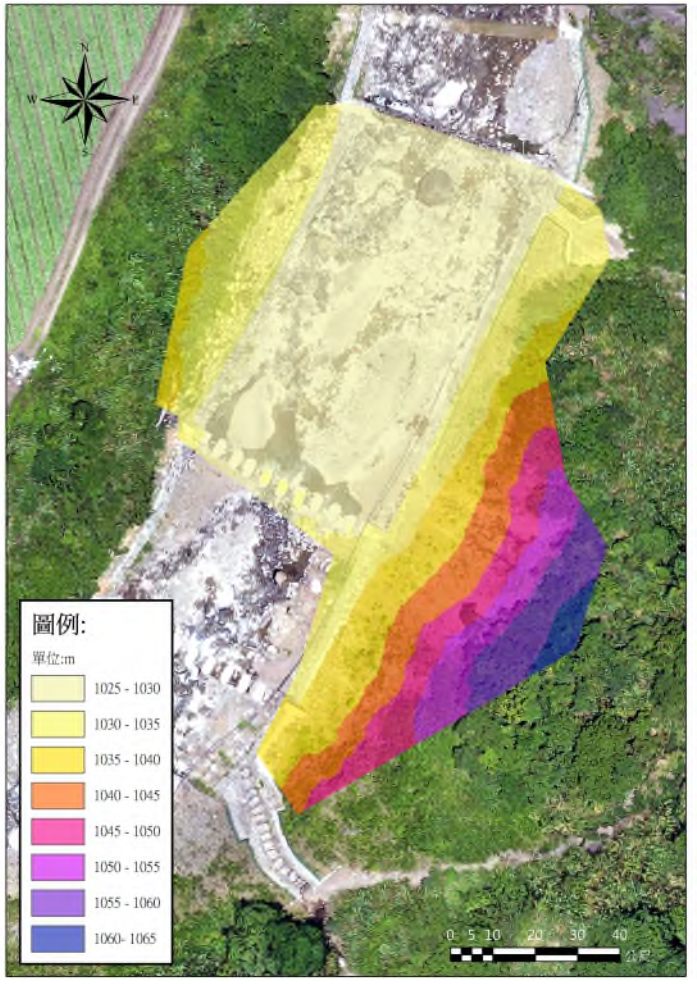
	A類土壤	B類土壤	C類土壤	D類土壤
CN值	77	86	91	94
最大蓄水量(S) (mm)	75.87	41.35	25.12	16.21
適宜噴植降雨量(P) (mm)	>15.17	>8.27	>5.02	>3.24

適宜噴植區位 - 地形資料建置



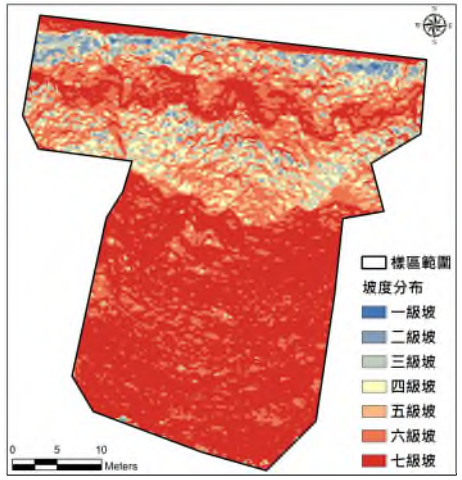




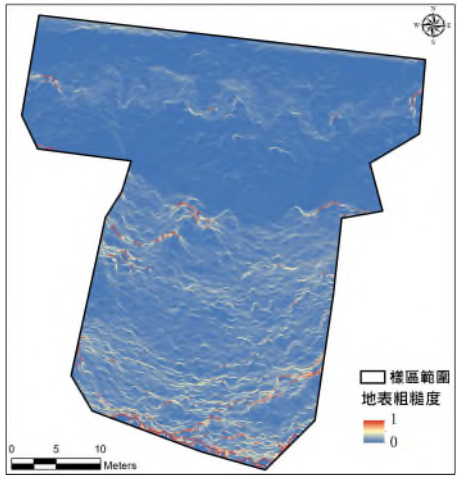


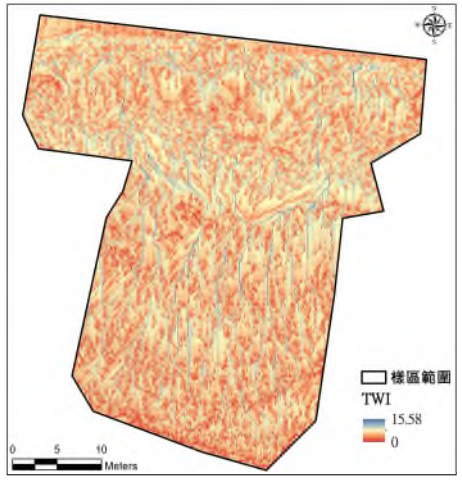
適宜噴植區位 - 最適噴植區位指標(Optimum hydroseeding index, OHI)

坡度



地形粗糙度

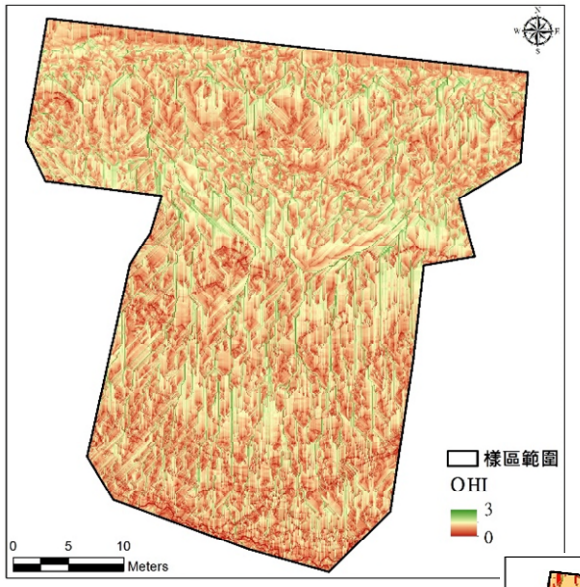




地形濕度指數

正規化

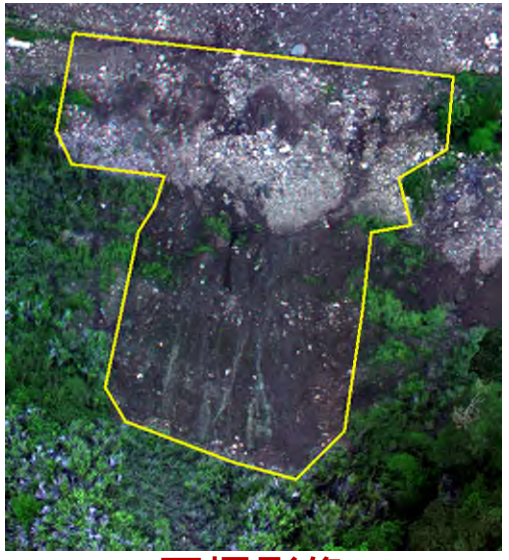
套疊



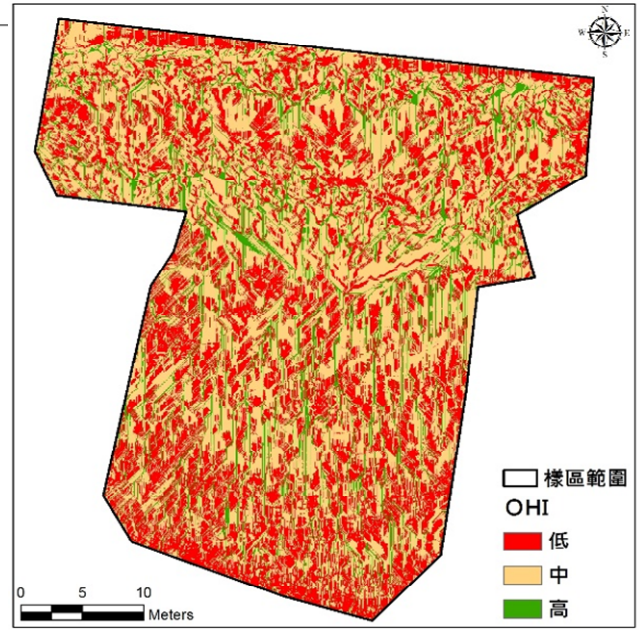
最適噴植

區位指標

分類



正攝影像



2

大型無人飛行載具植生噴頭之設計研發(15公斤級以上)



水土保持局

國立中興大學水土保持學系

UAS系統航空植噴作業

多旋(軸)翼型UAV

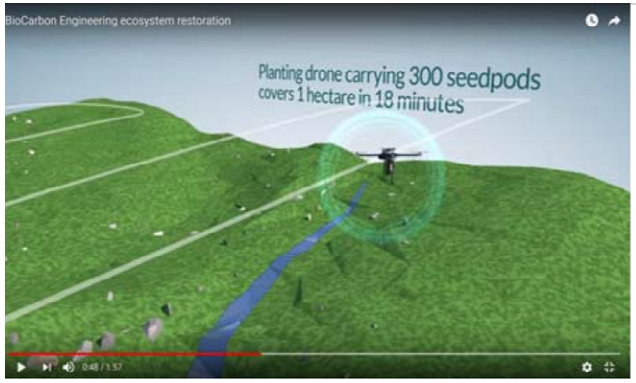
- 系統操控簡單
- 航線規劃、GPS定位
- 機械可靠性較高
- 成本相對低

適宜施作條件

- 種植規模小
- 地形複雜低
- 平坦坡面或農地區域

施作受限因素

- UAV酬載及通訊能力
- 腹掛、噴佈設計



資料來源：https://www.youtube.com/



https://www.youtube.com/watch?v=QPNhCa9IkA



ps://www.youtube.com/watch?v=0hMpJ9Y96_U&feature=youtu.be



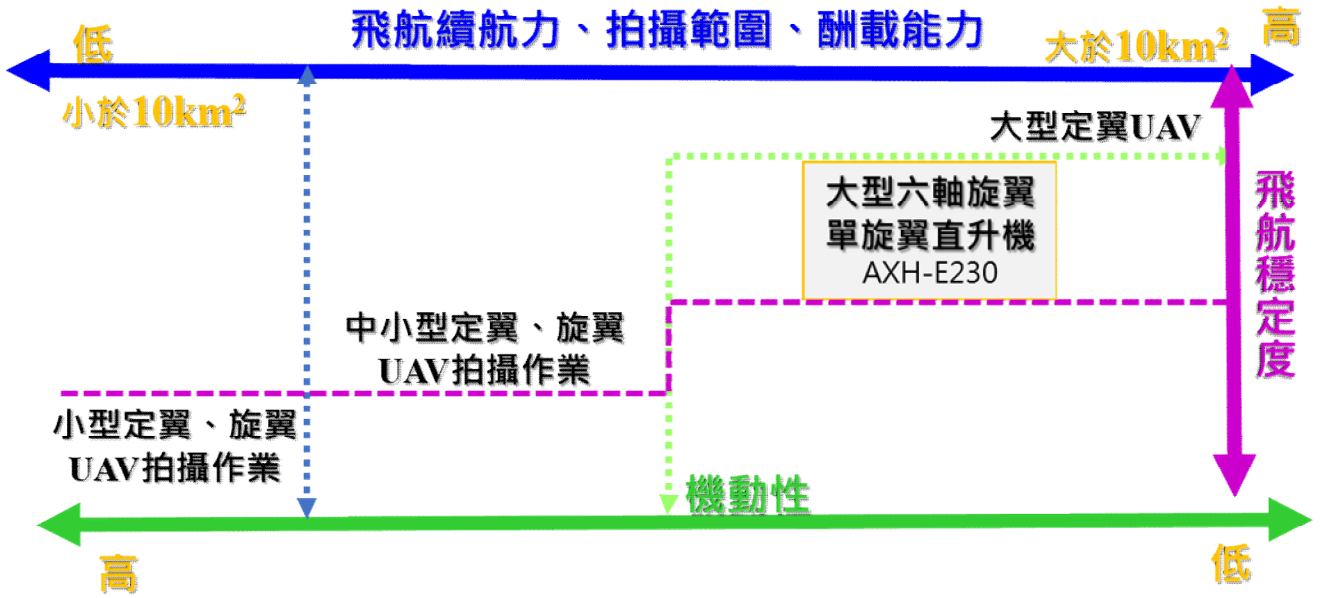
https://www.youtube.com/watch?v=o9ctKgzq5K

無人飛行載具優選評估

蒲福風級	3 (和緩 / 緩風)	4 (和緩 / 和風)	5 (清勁)	6 (強風)	7 (強風 / 疾風)	8 (烈風 / 增強烈風)
風速（km/h）	13 ~ 19	20 ~ 30	31 ~ 40	41 ~ 51	52 ~ 62	63 ~ 75
風速（m/s）	3.6~5.3	5.6~8.3	8.6~11.1	11.4~14.2	14.4~17.2	17.5~20.8
UAS機型						

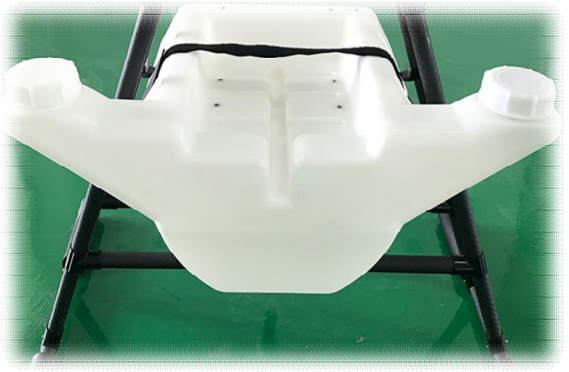
飛航申請許可
- 一般飛機:約2個月
- UAV載台:約1~2星期

飛行高度
- 400呎以上屬中央管
- 400呎以下屬地方

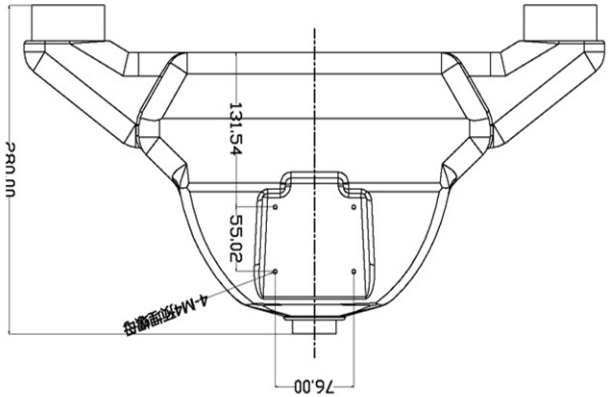


本計畫採用之UAS噴植設備 - 濕式噴頭

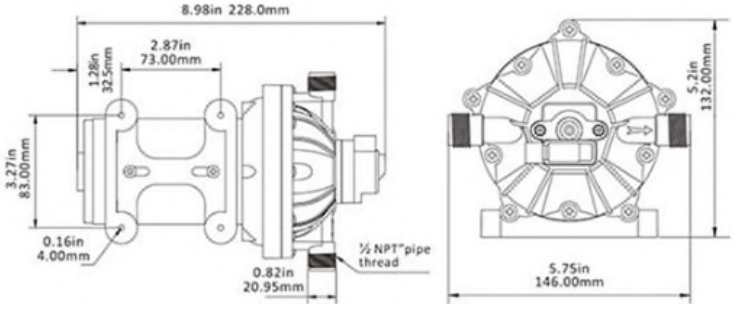




植生資材材料桶(16L)



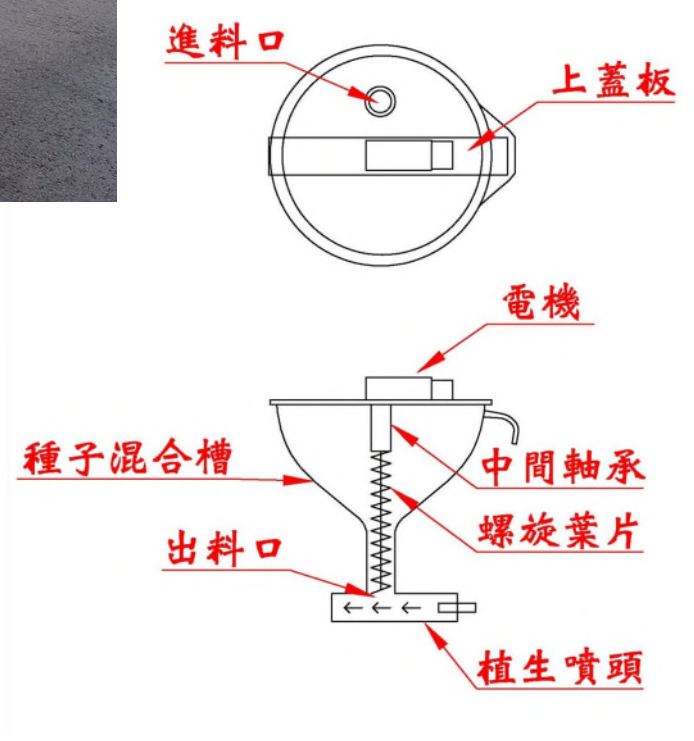


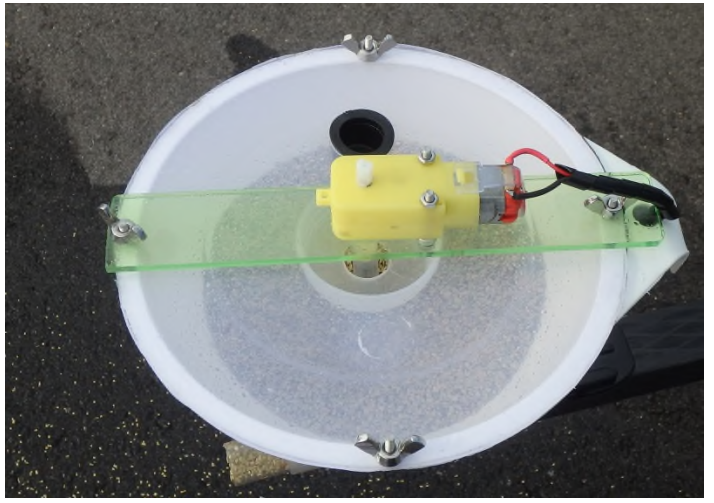


壓縮動力水泵

本計畫採用之UAS噴植設備 - 種子分離式









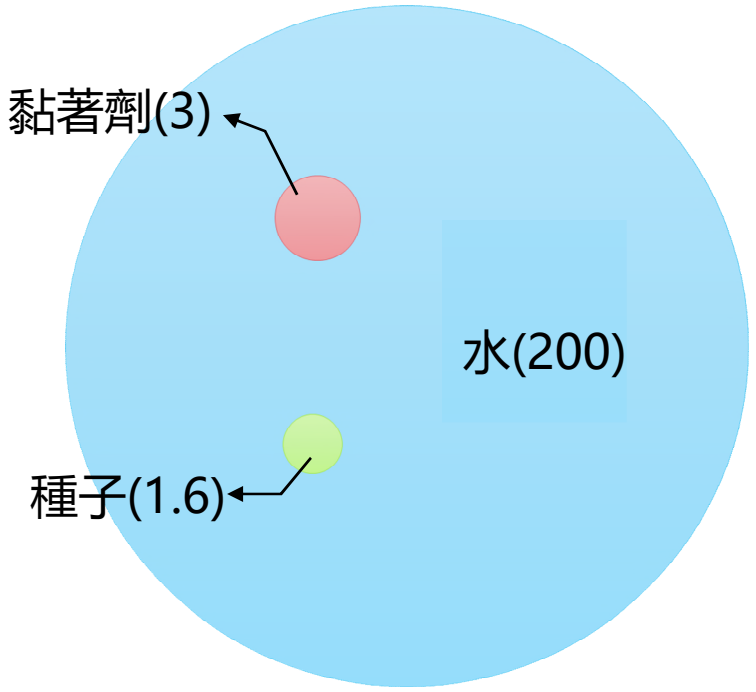
3 陡坡崩塌地應用無人飛行載具噴植之植生資材選用



水土保持局

國立中興大學水土保持學系

噴植資材配比



註：資材(比例)

由於陡坡崩塌地因地形陡峭，採用人工植生時種子不易附著，考量交通不易到達，無法預先進行開溝穴植，因此種子如何附著成為UAV噴植是否成功之主要關鍵。

UAV噴植受限於酬載能力之限制，無法全面進行噴植，考量種子附著及UAV酬載能力，噴植觀念宜有所改變，透過選擇適當區位及可快速生長草種，與陡坡崩塌地上呈現數個樹島效應，藉由速生草種改變崩塌地之粗糙度，此外，種子本身有水即可發芽，因此可不需考量加入肥料。

黑麥草



學名： *Lolium perenne*

科別：禾本科

黑麥草，又叫多年生黑麥草，是一種禾本科植物。這種植物在中國南方各省區都有種植以及在世界各地被廣泛種植。它原產於西南歐、北非及亞洲西南。可用作飼料，或者用來鋪草坪。

黑麥草為崩塌地植生復育常用草種之一，黑麥草常適用於**中、高海拔地區**噴植，目前現地噴植大多為多花黑麥草和多年生黑麥草，所以選定黑麥草研究其生育狀況和其在崩塌地的適用情形。



室內發芽試驗

3/14



3/20



3/27



試 驗 環 境

溫度約24度

溼度約80%

	種子發芽數量	發芽率	平均生長高度
一號培養皿	17顆	68%	1.99cm
二號培養皿	17顆	68%	1.56cm
三號培養皿	14顆	56%	1.39cm

	種子發芽數量	發芽率	平均生長高度
一號培養皿	25顆	100%	13.78cm
二號培養皿	23顆	92%	11.31cm
三號培養皿	24顆	96%	9.98cm

黏著劑選用評估

侵蝕防止劑定義為**施工初期**的種子發芽到形成植物覆蓋這段時間中，能發揮**防止沖蝕效果**的一種短暫性藥劑，一般黏著劑之濃度越高，用量越多，黏滯度通常也會越大，保護坡面的效果越好。

高分子黏著劑



C-710



團粒化劑

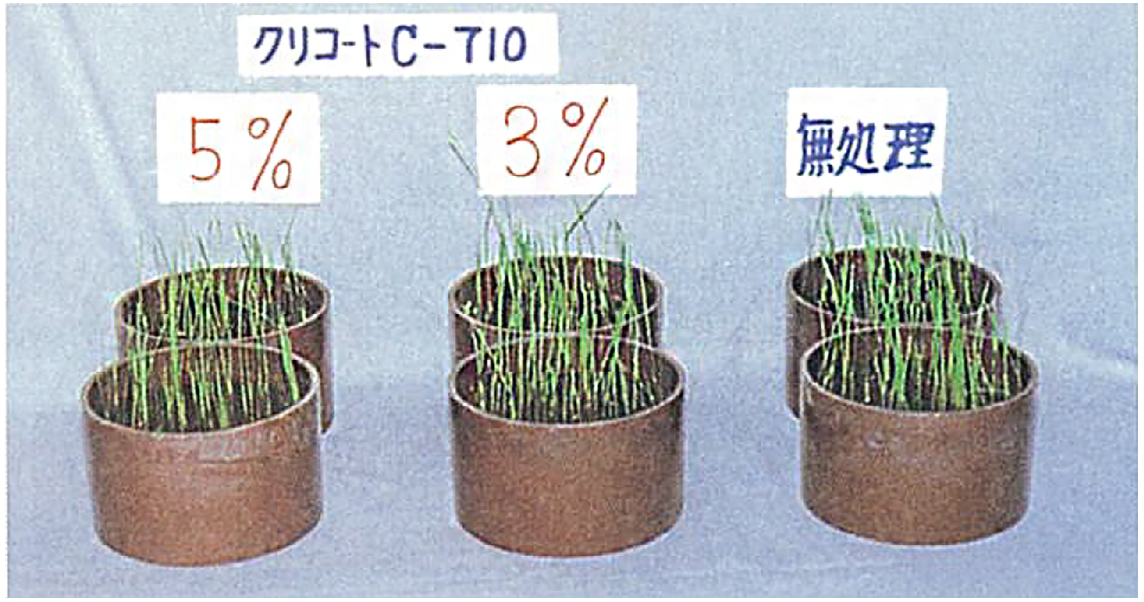


黏著劑C-710簡介



1. 良好的防止降雨沖蝕效果
2. 具有保水、保溫及通透性的效果，滿足種子發芽及生長條件
3. 防止鳥類啄食種子及螞蟻搬運種子

黏著劑之相關試驗





試驗種子：高狐草(Tall fescue)

試驗條件：

1. 將土壤與化合肥混和均勻後，填入發芽
2. 撒播種子後，覆上薄土輕壓。
3. 將一定份量3%(60g/m^2)及5%(100g/m^2)的C-710均勻散佈在土壤表面。

試驗結果 ：

播種後第五日發芽，第十二日生長高度平均為7.6cm，C-710對發芽成長**無不良影響**。

本團隊已針對C-710之防沖蝕能力進行試驗，左側為添加C-710之土壤樣本，右側則無添加，經人工灑水一段時間後，左側土壤幾乎停留於木板上，而右側則大多數被沖走，可見C-710對於降雨之防沖蝕有其成效。

4 崩塌地應用大型無人飛行載具噴植實作



水土保持局

國立中興大學水土保持學系

崩塌地試驗地點

行政區域	南投縣信義鄉
WGS84座標	23°35'36.2"N 120°52'02.8"E
地點描述	阿里不動溪右岸邊坡
崩塌面積	約0.1 ha



崩塌地坡頂植生
(山鹽菁、山黃麻、五節芒等)



右側護岸上方邊坡崩塌狀況



裸坡面可見湧(滲)水情形



各項設備檢查



加入十公升的溪水



添加黏著劑



地面噴灑測試



UAV空中噴灑實作



多光譜拍攝

UAV噴植實作 - 濕式噴頭

種子、黏著劑預先混和

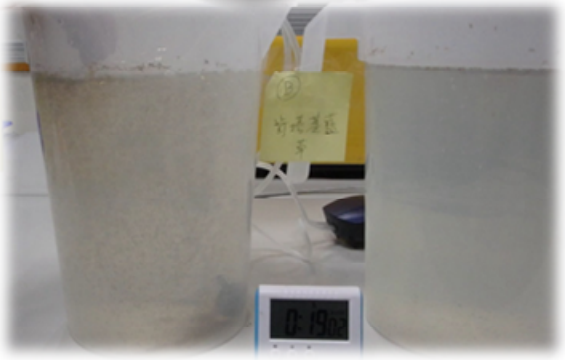




噴頭口徑



資材混和



旋翼干擾



噴植前



噴植後



種子分離式噴頭之戶外噴灑實驗





UAV組裝



添加種子





添加黏著劑



定點噴射

種子分離式噴頭之戶外噴灑實驗





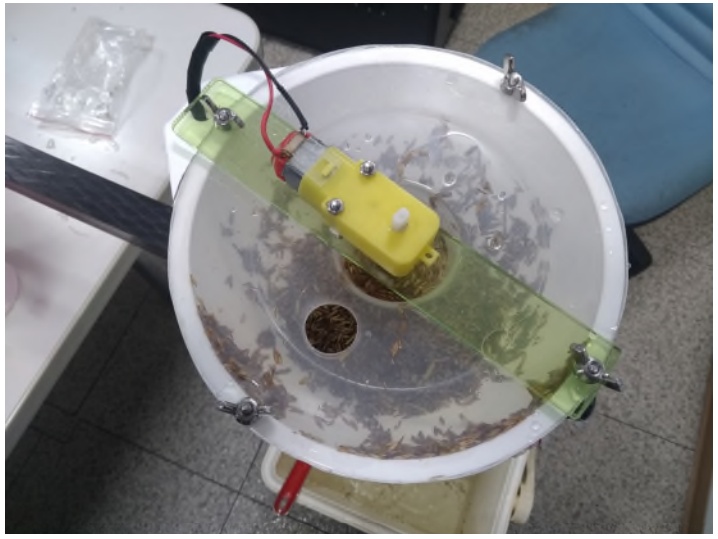


種子均勻撒佈

噴灑距離約5米

種子分離式噴頭試驗(不同種子處理及形狀)

實驗一、 泡水種子(律柏草)噴灑實驗



實驗二、瘦長型種子噴灑實驗



實驗三、圓型種子噴灑實驗





實驗四、混合種子噴灑實驗



種子分離式噴頭實作(2019/09/03)







速綠草草籽



本次噴灑作業於2019/09/03上午進行一次性噴植，噴植範圍約50平方公尺，噴植後以人工攀爬崩塌地，利用相機進行草籽散布紀錄，結果顯示，由於草籽較小且輕，在包附黏著劑之情形下，容易附著於崩塌地之凹槽或岩石上，草籽透過乾濕分離式噴頭帶出效果佳。

5

崩塌地應用無人飛行載具(UAV)植生成效之監測與評估



水土保持局

國立中興大學水土保持學系

植生生長成效(2019/09/16)







約兩個禮拜後(2019/09/16)在同一地點進行相關之植生成效觀察，結果顯示，沿地面噴灑測試區之直線區域恰可作為邊坡之對照組，該直線區植生生長良好，其原因在於河床區有充足之水源，提供草籽發芽，由於9/3當天噴植午後有降雨發生，9/16河床區位植生仍可生長，代表這兩個禮拜之降雨，未產生較大之逕流量將河床草籽帶走。

植生生長成效(2019/09/16)



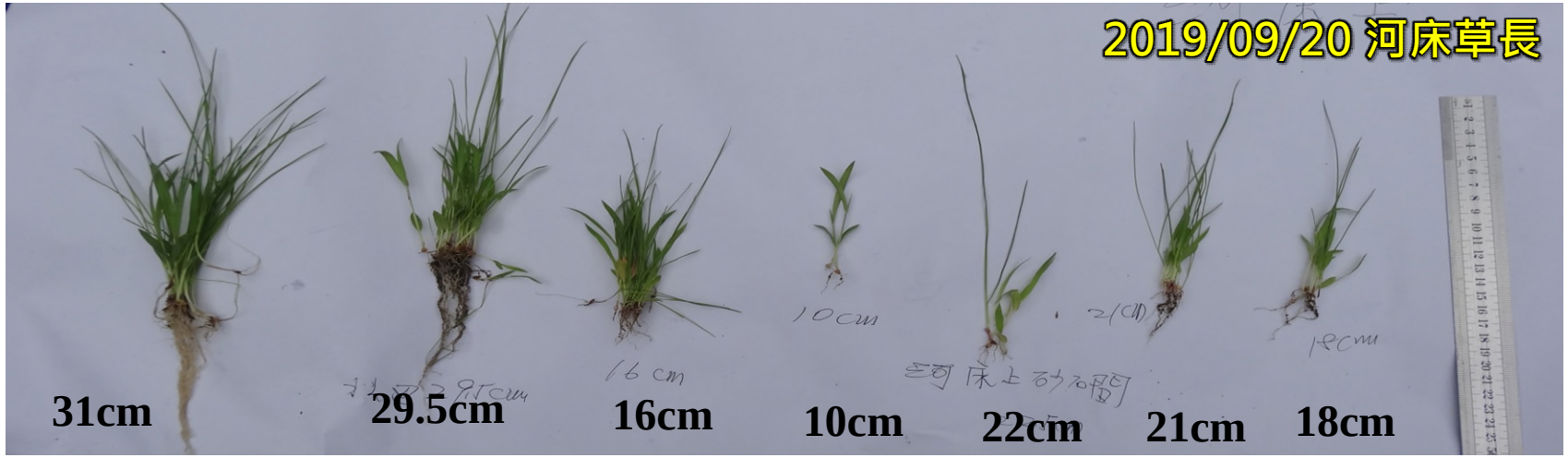


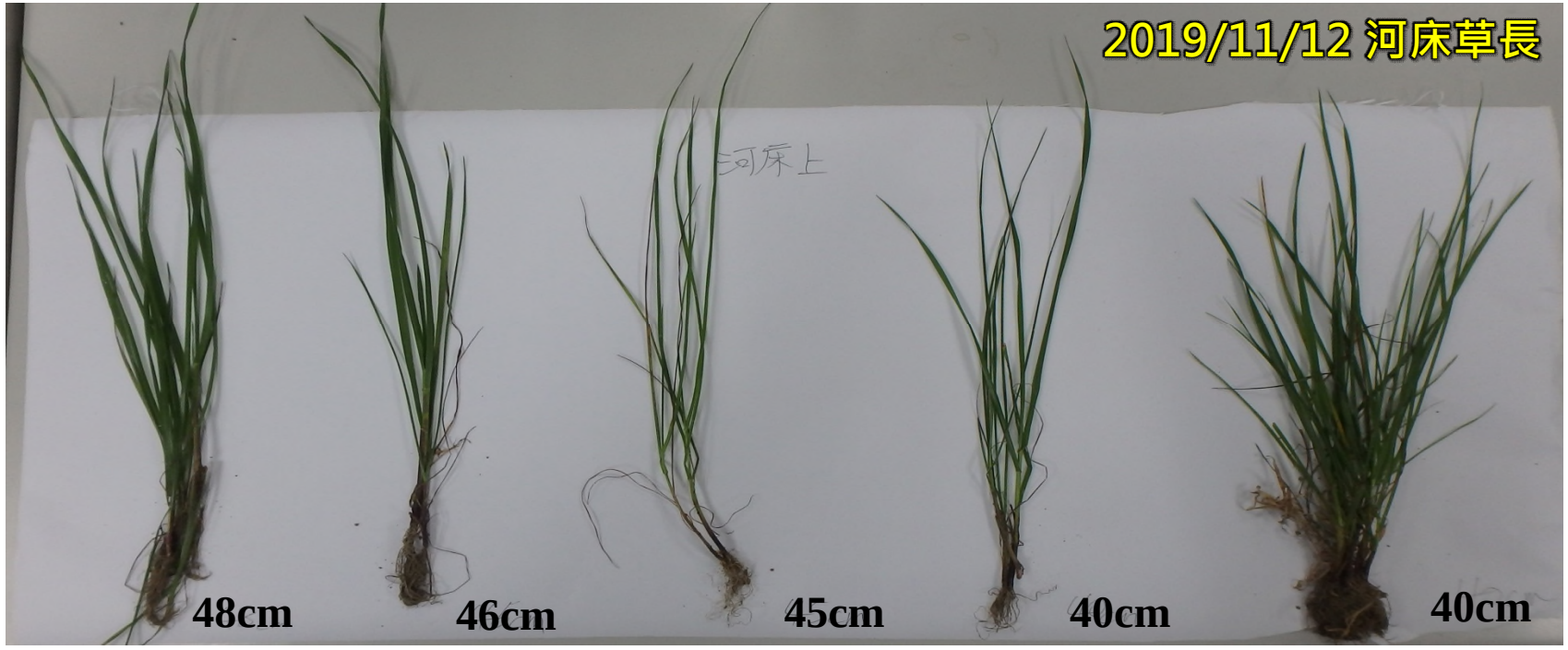


從坡面植生成效結果顯示，可明顯觀察到速綠草及黑麥草皆有發芽，其中又以速綠草分布最廣，其原因乃該草籽在本次噴植使用上比例較高，且屬於圓形草籽，較容易被帶出，此外，9/3當日午後發生一場降雨，提供種子發芽之水源，從本次噴植結果而言，利用本團隊開發之UAV噴植系統，在配合適當天氣及草種下，可有效完成陡坡崩塌地之UAV噴植工作。

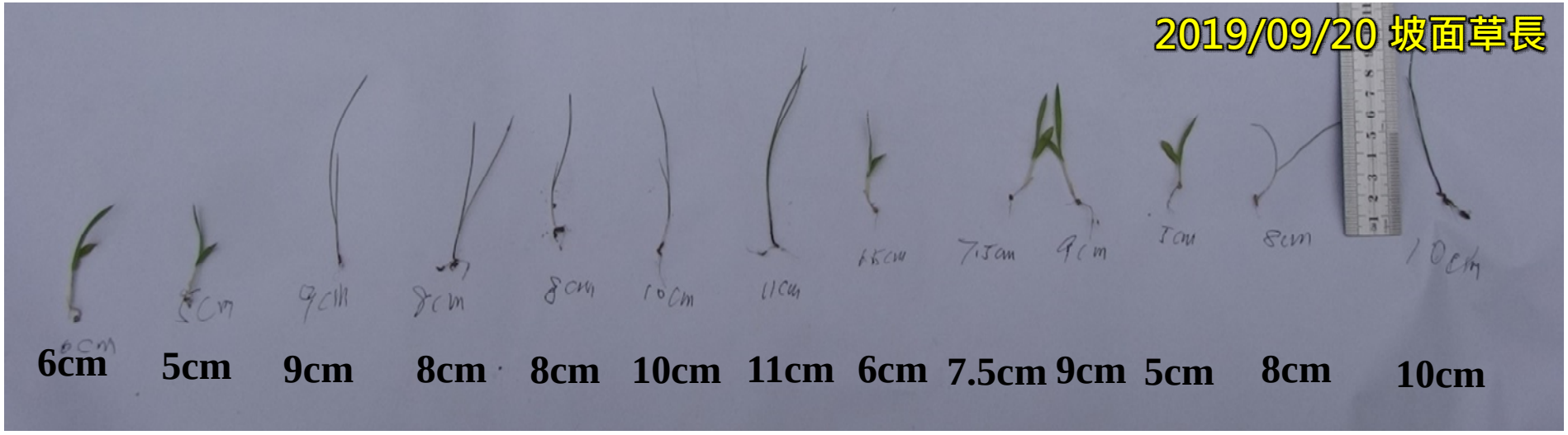
日期	9/3	9/4	9/5	9/6	9/7
降雨量(mm)	9.5	17	16	11.5	1
日期	9/8	9/9	9/10	9/11	9/12
降雨量(mm)	0.5	0	0.5	0	0
日期	9/13	9/14	9/15		
降雨量(mm)	0	0	7		

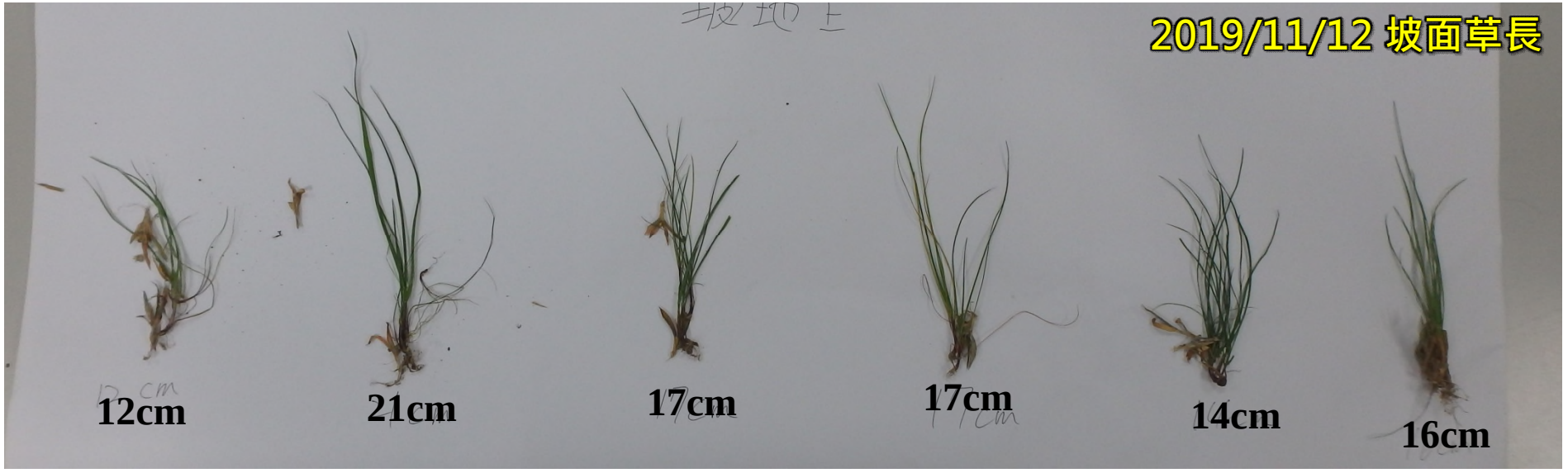
植生生長成效


2019/09/20 河床草長
31cm
29.5cm
16cm
10cm
22cm
21cm
18cm


2019/11/12 河床草長
48cm
46cm
45cm
40cm
40cm

植生生長成效


2019/09/20 坡面草長
6cm
5cm
9cm
8cm
8cm
10cm
11cm
6cm
7.5cm
9cm
5cm
8cm
10cm


2019/11/12 坡面草長
12cm
21cm
17cm
17cm
14cm
16cm

植生成效監測

本團隊將採用無人飛行載具(UAV)搭載多光譜相機於固定時間進行航空攝影，並產製出正射影像及NDVI假色影像等作為植生生長監控參考資料。

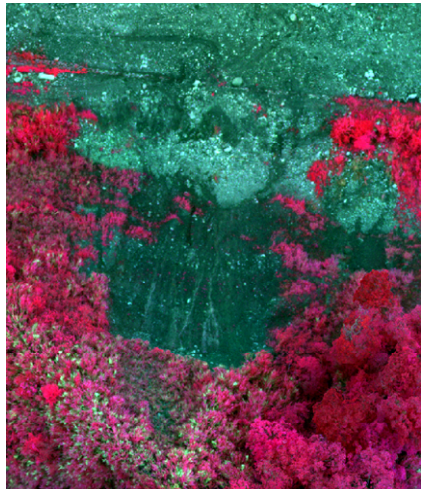
$$NDVI=\frac{NIR-R}{NIR+R}$$

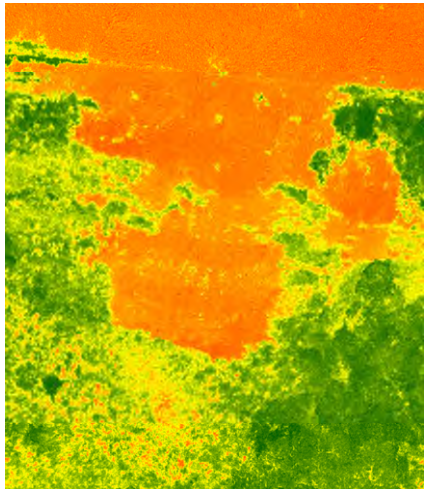
NIR：近紅外光之光譜值

R：紅光波段之光譜值





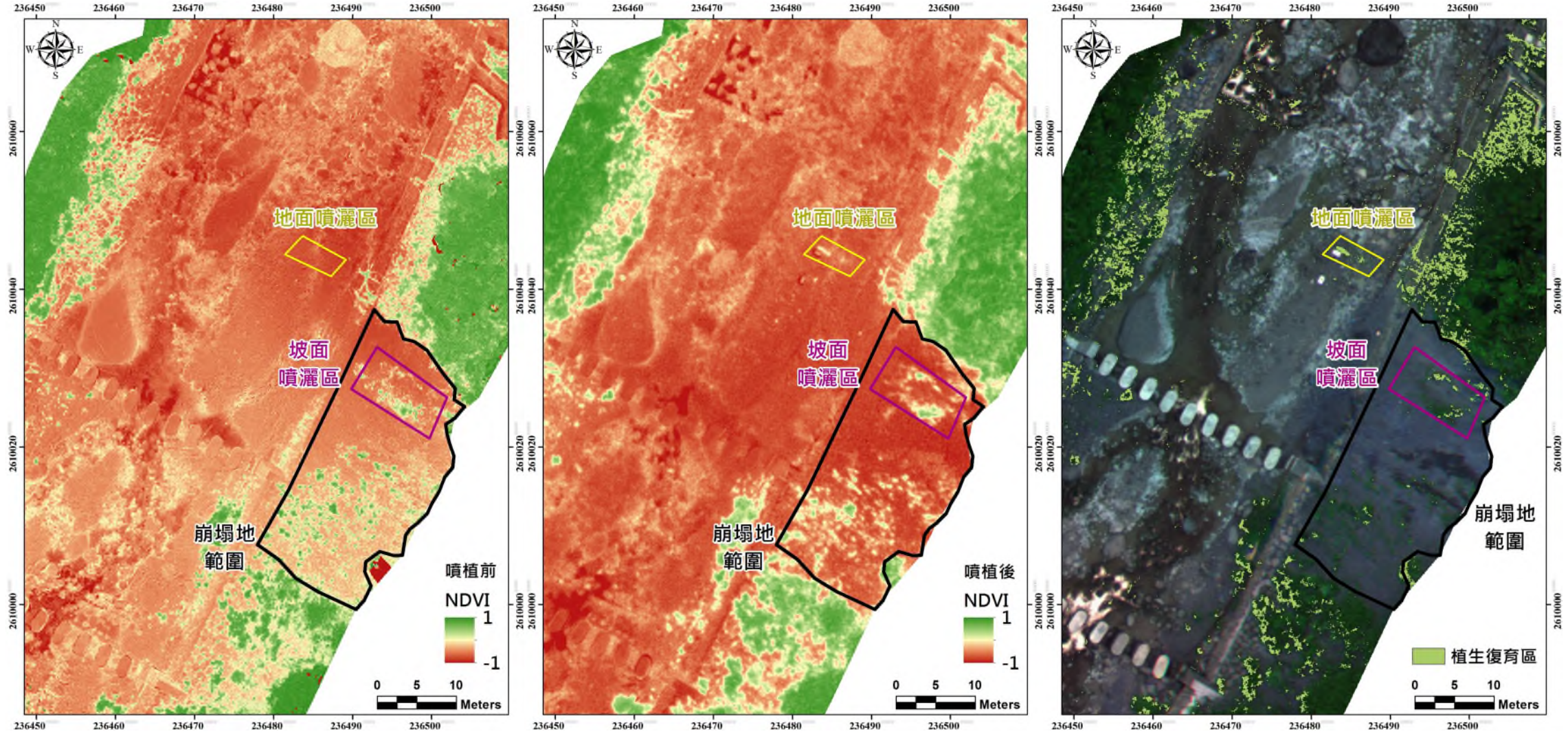






DJI Phantom 4 PRO		MicaSense RedEdge TM3 Multispectral Camera	
旋翼	4旋翼	重量	150公克
機身重量	1.388公斤(含電池)	光譜數	5個 (B、G、R、Red Edge、NIR)
動力來源	22.2V 5870mA鋰電池	焦距	5.5釐米
滯空時間	約30分鐘	HFOV	47.2度
最大升限	500公尺	影像尺寸	1280 x 960

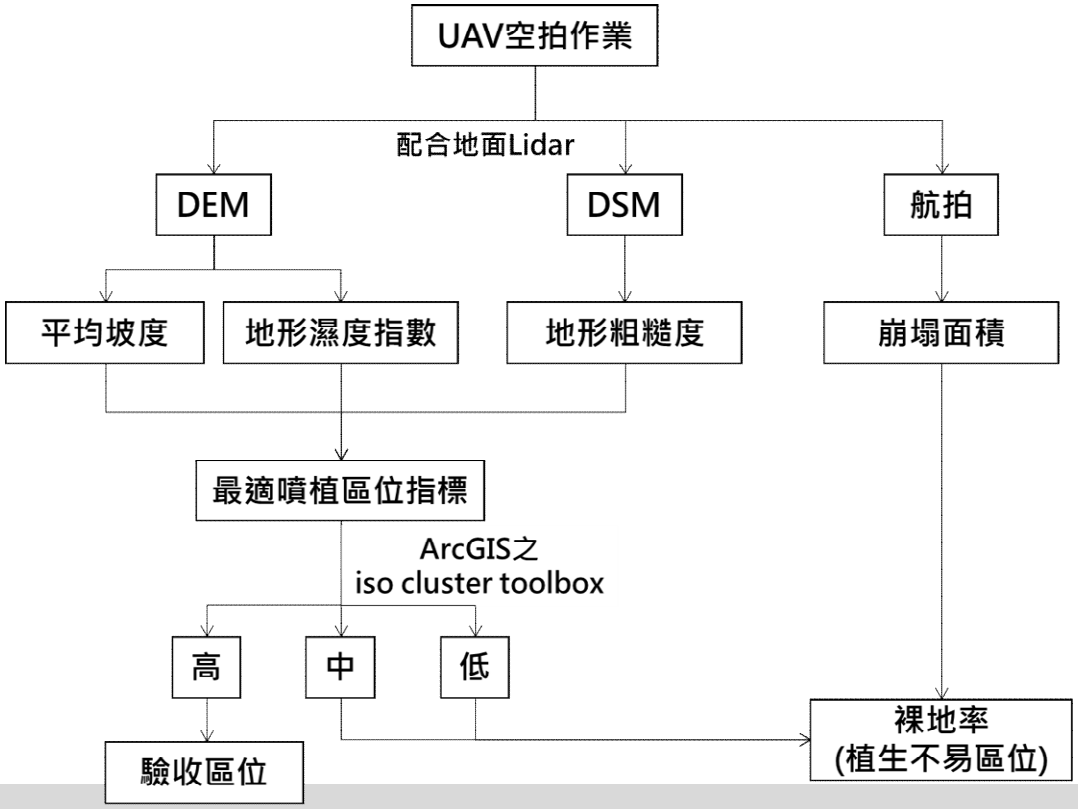
植生成效監測

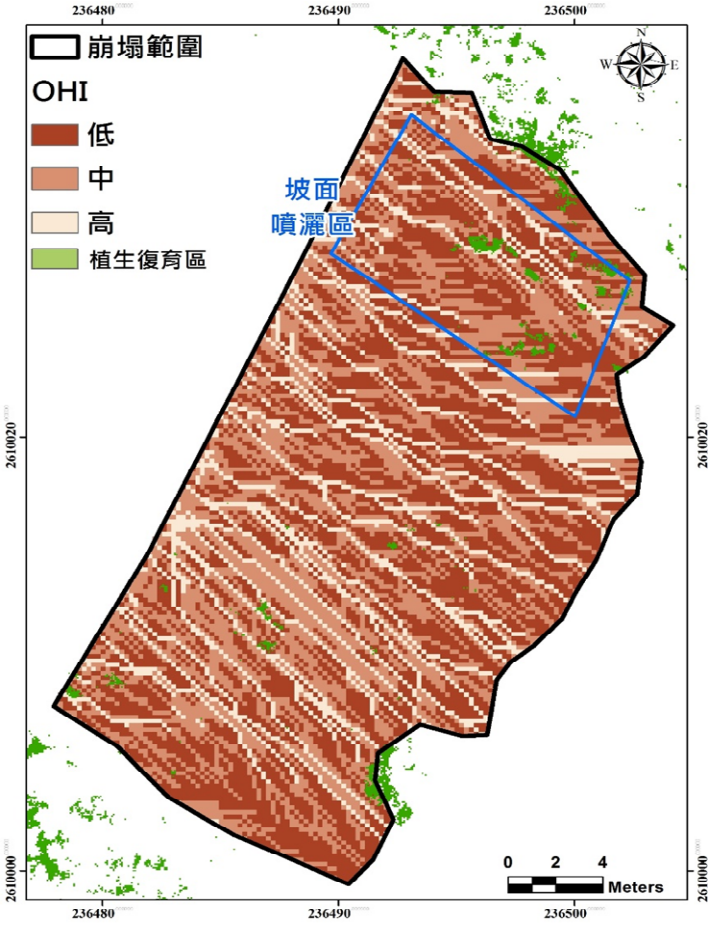


經計算兩期NDVI相減可初步發現，在地面噴灑區恰有一直線植生復育區，而坡面噴灑區亦有植生復育，另崩塌地邊緣則易有植物入侵，因此部分植生復育良好。

植生成效評估

裸地率指去除土木構造物、岩石、浮石、極陡坡地區等植物無法生長之區域，播種植物種子沒有發芽生長之面積比率，亦即植生不易生長之區位，其量化方式恰與本計畫提出之最適噴植區位指標(OHI)相反。





OHI值域分布	高	中	低
植生復育區面積(m^2)	0.57	2.36	3.54

UAV噴植乃採手動操作，視覺上易有誤差，較難精準噴植於高OHI值處，此外，原崩塌地之樹島易附著種子，因此植生復育佳之區位多鄰近該處。

噴植實作成本評估(每0.1公頃)

水平噴植

項目及說明	單位	工料數量	單價(元)	複價(元)
土壤侵蝕防止劑	KG	0.15	980	147
環保型綠色色料	KG	0.05	800	40
水土保持草種(律柏草)	KG	0.25	300	75
水	KG	10	2	20
總計(趟，約0.005公頃)				282

工料名稱	單位	數量	單價	複價
植生資材	趟	20	282	**5,640**
技術工	工	10	3,000	30,000
小工	工	10	2,000	20,000
車輛租金	天	10	3,000	30,000
UAV租金	天	10	2,000	20,000
UAV機具折損	式	0.2	150,000	30,000
總計				**135,640**

垂直灑播

材料		單價(元/公斤)	使用量(公斤)	複價(元)	附註
基底材料	赤玉土	120	8.6	1,032	
生長材料	黏質壤土	15	31.5	473	
	台灣培養土	13	31.5	410	
	緩效性肥料	200	0.5	100	
種子材料	小葉百喜草	525	5.1	2,678	
	高狐草	375	2.9	1,088	
	山胡枝子	2,250	2.9	6,525	
	相思樹	1,500	4.8	7,200	
包覆材料	木質纖維	50	10.7	535	
膠結材料	團粒化劑	200	1.5 (未稀釋)	300	使用時須加水稀釋6~8倍
總計(0.1公頃)			100.0	20,339	約20,000顆粒劑

工料名稱	單位	數量	單價	複價
植生粒劑(材料費)	公斤	100	203.39	**20,339**
植生粒劑(製作費)	公斤	100	240	**24,000**
技術工	工	3	3,000	9,000
小工	工	3	2,000	6,000
車輛租金	天	3	3,000	9,000
UAV租金	天	3	2,000	6,000
UAV機具折損	式	0.1	150,000	15,000
總計				**89,339**

6 結論與建議



結論與建議

一、本計畫針對噴植時機及區位等前置作業，提出以剩水量及最大蓄水量，計算全臺適宜噴植時機於北部地區全年皆可施作，臺中及花蓮以南則約6~10月；噴植區位則以平均坡度、地形粗糙度及地形濕度指數套疊而得最適噴植區位指標，透過該指標之萃取可提供未來航空噴植工法於噴植區位設定之參考。

二、在飛行載具部分採用六旋翼且可酬載15公斤以上之UAV，噴頭設計則採用乾濕分離式，將草籽至於噴頭上方之攪拌裝置，在以水結黏著劑混和成液體動力噴出，藉此可防止植生資材阻塞問題。

三、植生資材採用人工噴植常用之比例，種子採用圓形與狹長形草種混和，黏著劑採用C-710，噴植成果顯示，植生資材附著於崩塌地之成效極佳。

四、本計畫以阿里不動溪崩塌地為UAV噴植實作樣區，於2019/09/03上午進行一次性噴植，約完成50平方公尺之噴植範圍，由於草籽較小且輕，在包附黏著劑之情形下，易附著於崩塌地之凹槽或岩石上，本計畫亦據此成果訂定UAV水平噴植之流程及成本評估，以0.1公頃為例約需135,640元。

五、從本次噴植後之植生生長成效觀察結果，本團隊開發之UAV噴植系統，在配合適當天氣及草種下，可有效完成陡坡崩塌地之UAV噴植工作。

中華民國109年03月17日

108年度創新研究計畫
(工程技術發展類)



簡報結束
敬請指教

水土保持局　國立中興大學水土保持學系