

花蓮縣第 65 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書

科別：生活與應用科學科(三)

組別：國中組

作品名稱：進化吧! 種子炸彈 - 種子球成分之研究及改良

關鍵詞：種子球

編號:

目 錄

摘要	3
壹、研究動機	3
貳、研究目的	4
參、研究設備及器材	5
肆、研究過程與方法	7
伍、研究結果	
實驗 1:比較添加不同黏土比例種子球失水情形	16
實驗 2:添加海藻酸鈉 (Sodium Alginate) 種子球失水情形之比較	17
實驗 3:添加甲基纖維素 (Methylcellulose) 種子球失水情形之比較	18
實驗 4:添加羧甲基纖維素鈉 (NaCMC) 種子球失水情形之比較	19
實驗 5:三種混合水膠種子球失水情形之比較	20
實驗 6-1:土壤溼度最高時種子球黏性之比較	21
實驗 6-2:不同土壤溼度種子球黏性之比較	21
實驗 7:種子球播種情形	22
陸、討論	24
柒、結論	29
捌、參考資料及其他	30

摘要

本研究探討種子球可應用在地震後裸露坡地的植被復育。初期配方使用培養土和黏質土進行初步實驗，後針對 0403 地震裸露坡地的條件，改良種子球來提升保水性與黏著性。

研究發現土壤添加天然聚合物於前三日均能提升種子球的保水力。實驗中，土壤配方加入海藻酸鈉後，水分保留能力顯著。3 天內水分保留量較對照組達 9.32%，5 天內較對照組達 2.55%。當濕度最高時，海藻酸鈉配方土壤黏著性表現出色，承重值可達 150 公克。此外，海藻酸鈉與甲基纖維素的混合配方在黏著度上亦有出色表現，適用於坡度較陡或是岩石較多的裸露坡地進行種子球投擲。

種子球可作為一項低成本、高效益植被復育方案，改良配方可提升種子萌芽力，也有助於大規模復育，尤其對災後環境修復或可提供解方。

壹、研究動機

2024 年 0403 地震造成太魯閣國家公園處處坍方，不少植被也隨土石崩塌而剝落，太魯閣國家公園管理處憂心強勢外來種植物趁機入侵，因此召集一批解說志工，在慈濟大學張木林教授指導下，採集原生植物種子製成種子球，希望原生植物能捷足先登，以阻絕銀合歡等強勢的外來植物入侵。我們看到相關報導一方面憂心土石坍方對坡地的破壞，一方面開始對種子球的成分產生好奇與興趣。

水分是種子發芽的關鍵因素之一，保水度高的土壤可以穩定地提供水分，促進發芽。黏著度的考量主因太魯閣國家公園特殊的地貌，太魯閣國家公園山高谷深、地形陡峭，再加上大理岩環境，單純的種子球成分或許黏著度不足，無法成功黏著至相對裸露及陡峭的岩石壁。

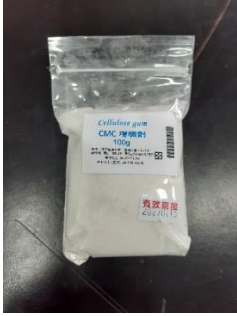
我們希望進一步改良種子球的成分，找出最適合的土壤水膠組合，提升種子球的保水度以及黏著度。颱風過後或是地震過後的土石流區域，都有坡地裸露的問題，希望改良後的種子球成分可以應用在災後裸露坡地的生態復育。

貳、研究目的

- 一、比較添加不同黏土比例種子球失水情形
- 二、添加海藻酸鈉 (Sodium Alginate) 種子球失水情形之比較
- 三、添加甲基纖維素 (Methylcellulose) 種子球失水情形之比較
- 四、添加羧甲基纖維素鈉 (NaCMC) 種子球失水情形之比較
- 五、三種混合水膠種子球失水情形之比較
- 六、種子球黏性之比較
- 七、種子球播種情形

參、研究設備及器材

實驗器材:如表一

		
黏質土	培養土	電子秤
		
鐵架	雙鈎砝碼	原生種紅藜種子
		
燒杯	海藻酸鈉	羧甲基纖維素
		
甲基纖維素	自製土壤溼度檢測計	坩堝

		
水平儀	有機肥	

表 1、實驗器材

肆、研究過程與方法

一、研究架構與流程

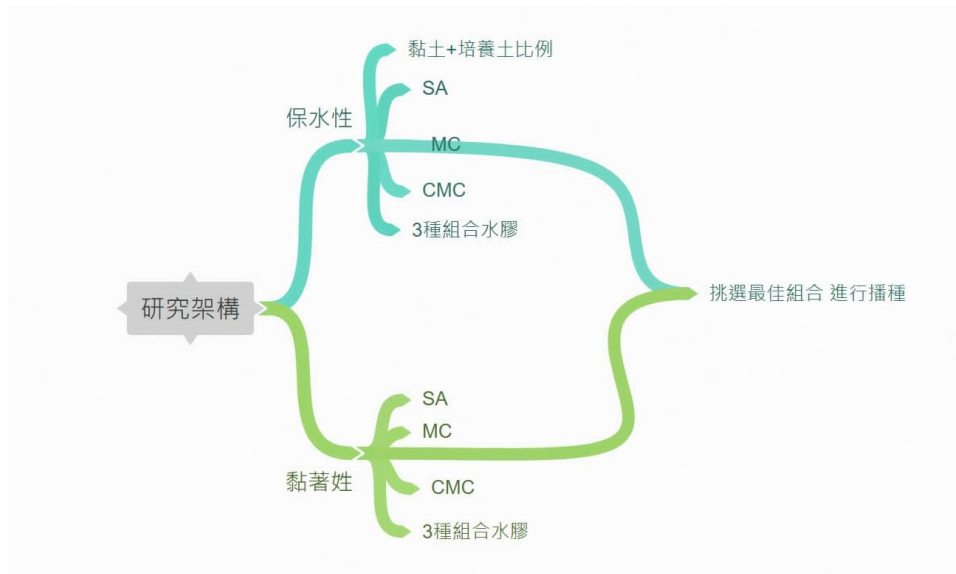


圖 1、實驗架構圖

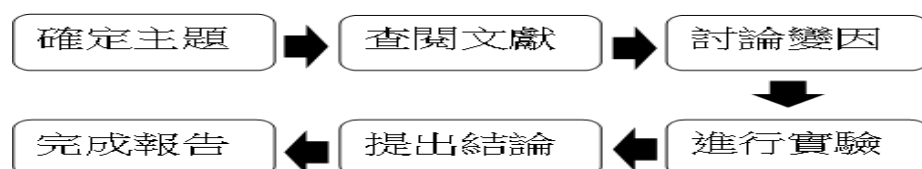


圖 2、實驗流程圖

二、文獻探討

(一)種子球 (seed ball、seed bomb)，是指將種子包在一個由黏土和其他物質所做成的球體中，幫助植物發芽，國外甚至有種子炸彈之稱。通常由市民或團體在公共或私人空地上進行園藝活動，目的是改善當地的綠地環境、增進綠化。製作上腐質土和堆肥等物質也常常跟種子一起包覆，以提供種子發育的養分。有時也會添加棉纖維或液化紙張，以進一步保護黏土球，特別是在苛刻的生長環境中。

此一技術是來自日本自然農法先驅-福岡正信 (Masanobu Fukuoka)，種子球可以適用於多方面的目的，例如：想在沙漠中播種、藉由種植重建生態系、防止昆蟲或動物啄食種子等。種下種子球，直到下雨或大水將外層土壤沖刷露出，並刺激種子生長，而當周遭的生長條件良好時，種子自然會撐開土點裂縫生長。

(二)海藻酸鈉 (Sodium Alginate)

海藻酸鈉為一種天然的多醣類化合物，從褐藻（如海帶、裙帶菜等）中萃取。具有多種有益的土壤改良效果。當用作土壤改良劑時，海藻酸鈉及其衍生物可以增強土壤的保水性、增加養分利用率、改善土壤結構並提供有效的地膜。這些特性使其成為一種有前景的土壤改良劑，特別是在沙質土壤和鹽鹼地。

(三) 甲基纖維素 (Methylcellulose)

甲基纖維素一種由植物纖維經化學處理後所製得的水溶性膠狀物質。它由木材、棉花或其他植物來源的纖維素所提取。它的黏度可以根據需要進行調整，通常用作增稠劑。無毒、無味。

(四) 羧甲基纖維素鈉 (NaCMC)

羧甲基纖維素鈉是一種廣泛應用於多個行業的水溶性高分子化合物。它是纖維素的衍生物，通過將纖維素與甲基化試劑（通常是氯甲基）反應制得。其主要特點是具有良好的水溶性、黏度調節能力和較好的穩定性。

(五) 水膠之名詞定義

水膠（Hydrogel）是一種三維網狀結構的高分子材料，具有能吸收大量水分而不溶解的特性。它主要由疏水性和親水性化學基團組成，能在吸水後保持膠狀狀態。本實驗所使用之海藻酸鈉、甲基纖維素及羧甲基纖維素鈉在溶解於水後，可以形成膠狀結構，可視為水膠。

三、研究流程

實驗 1：添加不同黏土比例種子球之失水情形比較

我們採用培養土及黏質土做混合，初期考量培養土相較黏質土稍輕，所以採用冰箱的製冰盒協助配土。十格全鋪滿培養土為對照組。10%黏質土的實驗組則是九格鋪培養土，一格鋪黏質土（如下圖 3）。依此類推，分別調配出 5%、10%、20%、30%、40%及 50%的黏質土比例。

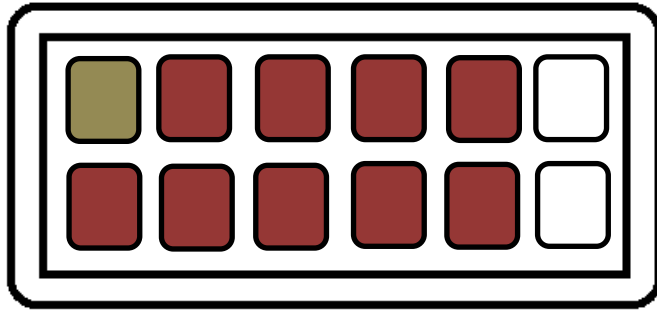


圖 3、配土示意圖

調配出之土壤接續加入常溫過濾水至土壤濕度及 90% 以上，土壤表面會滲出水膜呈現極度飽和狀態。

接續將調配好的土壤揉捏成四顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號（如圖 4），並單獨進行秤重、記錄。



圖 4、種子球進行編號並實驗

實驗 2：添加海藻酸鈉 (Sodium Alginate) 種子球失水情形之比較

1. 配置 SA0.2g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻（預估一土團約 40g），加入 0.8g 海藻酸鈉粉末 (Sodium Alginate)，後文以 SA 簡寫表示。攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

2. 配置 SA0.5g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻 (預估一土團約 40g)，加入 2g 海藻酸鈉粉末(SA)，攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

3.配置 SA0.8g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻 (預估一土團約 40g)，加入 3.2g 海藻酸鈉粉末(SA)，攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

實驗 3：添加甲基纖維素 (Methylcellulose) 種子球失水情形之比較

1.配置 MC0.2g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻 (預估一土團約 40g)，加入 0.8g 甲基纖維素粉末，後文以 MC 簡寫表示。攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

2.配置 MC0.5g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻 (預估一土團約 40g)，加入 2g 甲基纖維素粉末。攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

3.配置 MC0.8g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻 (預估一土團約 40g)，加入 3.2g 甲基纖維素粉末。攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

實驗 4：添加羧甲基纖維素鈉 (NaCMC) 種子球失水情形之比較

1.配置 CMC0.2g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻 (預估一土團約 40g)，加入 0.8g 羧甲基纖維素鈉粉末，後文以 CMC 簡寫表示。攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

2.配置 CMC0.5g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻 (預估一土團約 40g)，加入 2g 羧甲基纖維素鈉粉末。攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

3.配置 CMC0.8g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻 (預估一土團約 40g)，加入 3.2g 羧甲基纖維素鈉粉末。攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

實驗 5：三種混合水膠種子球失水情形之比較

1.配置 SA0.4g+MC0.4g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻 (預估一土團約 40g)，加入 1.6g 海藻酸鈉 (SA)和 1.6g 甲基纖維素 (MC)，攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

2.配置 MC0.4g+CMC0.4g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻，加入 1.6g 甲基纖維素 (MC)

和 1.6g 羧甲基纖維素鈉 (CMC)，攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

3.配置 SA0.4g+CMC0.4g 的土團:

取培養土 96 公克及黏質土 64 公克攪拌混合均勻，加入 1.6g 海藻酸鈉 (SA)和 1.6g 羧甲基纖維素鈉 (CMC)，攪拌均勻後加入足量的常溫過濾水，及至土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態。接續將調配好的土壤揉捏成五顆直徑約 5 公分左右之泥團，擺放至錫箔紙上進行編號，並單獨進行秤重、記錄。

實驗 6：種子球黏性之比較

海藻酸鈉以 SA 表示，甲基纖維素後以 MC 表示，羧甲基纖維素鈉後以 CMC 表示。以 40 公克土團 (40%黏質土 60%培養土)為對照組，其餘分別以 40 公克土團另添加水膠粉末，例如 SA-0.2 即表示 40 公克土團加入 0.2 公克之海藻酸鈉粉末，MC-0.5 即表示 40 公克土團加入 0.5 公克之甲基纖維素粉末。

我們比較項目如下表，並以 40%黏質土作為對照組

SA-0.2	SA-0.5	SA-0.8	MC-0.2	MC-0.5	MC-0.8
CMC-0.2	CMC-0.5	CMC-0.8	SA-0.4+MC-0.4	SA-0.4+CMC-0.4	MC-0.4+CMC-0.4

表 2 比較不同黏度之各種水膠組合

※實驗 6-1：土壤溼度最高時種子球黏性之比較

以上之配方土壤加水一直到濕度達最高 (自製儀器數值達 250) 土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態 (如圖 5)，再以直徑 4.5 公分之坩堝填充上述配方土壤，以藥匙適度壓實盡量使土壤貼合坩堝內壁，直至土壤填滿。以藥匙底面貼平土壤面使其表面水準平整 (如圖 6)，接著放上塑膠板稍作輕壓，使塑膠板面能盡量貼合坩堝口的土壤面 (如圖 7)。



圖 5、土壤表面滲出水膜情形



圖 6、以藥匙底面貼平土壤面

倒轉坩堝並在坩堝底部擺放水平儀 (如圖 8)，前後、左右皆要確定水平之後，開始掛上雙鉤砝碼，及至塑膠板掉落並記錄下來重量 (圖 9、圖 10)，一共測量 3 次，並取最重的兩次紀錄並做成表格。



圖 7、塑膠板面能貼合坩堝口的土壤



圖 8、坩堝底部擺放水平儀



圖 9、圖 10、 於塑膠板掛上吊勾砝碼過程

※實驗 6-2：我們取土壤配方保水度較佳的前四名，包括 SA-0.5、SA-0.8、SA-0.4+MC-0.4 及 MC-0.5 與 40%黏質土的對照組，再做進一步測試。將土壤濕度下調（分別是自製儀器數據 240 以及 230），與實驗 6-1 的方式相同，測量並記錄之。

實驗 7：種子球播種情形

1.實驗室種植:

我們取保水度最佳之 SA0.5g、SA0.8g、SA0.4g+MC0.4g 以及對照組 40%黏土質製作做成 20g 種子球放置塑膠盤上，每一種子球包入 10 粒紅藜種子（圖 11）。為比較加入肥料後的發芽情形。另做一組加入肥料的種子球，每 20g 加入 0.2 公克的有機肥。以上 8 球種子球於實驗室種植每日充分澆水一次，觀察發芽日期並記錄（圖 12）。



圖 11、種子球包入挑選後之紅藜種

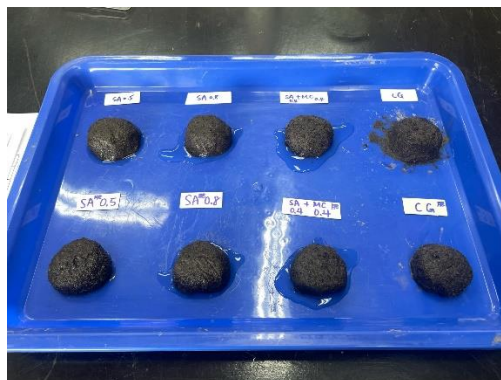


圖 12、種子球於實驗室種植

2.戶外種植:

我們取保水度最佳之 SA0.5g、SA0.8g、SA0.4g+MC0.4g 以及對照組 40%黏土質做成 20g 種子球，每球種子球都加入 0.2 公克的有機肥，將種子球放置校園花園進行觀察及記錄 (圖 13)。



圖 13、種子球於戶外種植

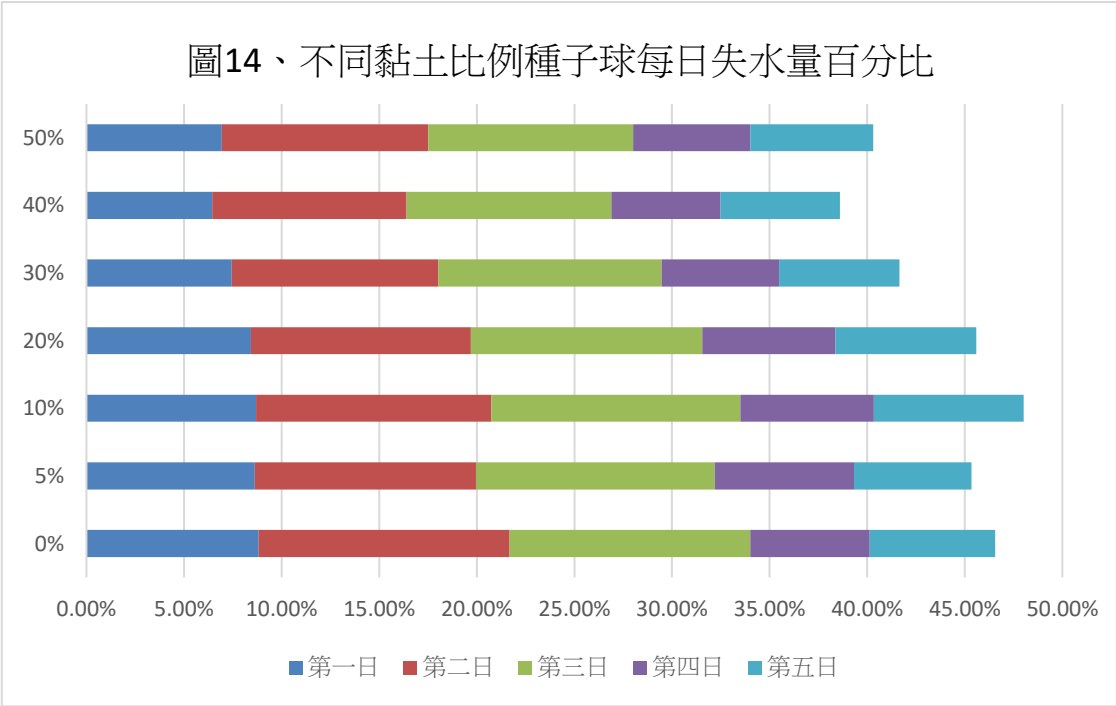
伍、研究結果

實驗 1：比較添加不同黏土比例種子球失水情形

將培養土及黏質土調配出 5%、10%、20%、30%、40%及 50%的黏質土比例，五天之間每日的失水百分比如下表，當黏質土比例為 40%時，五天後土壤失水比例為 38.61%，為其中保水度最佳的。黏質土比例為 30%及 50%也都有不錯的保水力。

	第一日	第二日	第三日	第四日	第五日	累計失水百分比
0%	8.82%	12.86%	12.33%	6.13%	6.43%	46.56%
5%	8.62%	11.33%	12.24%	7.14%	6.02%	45.35%
10%	8.69%	12.06%	12.75%	6.84%	7.68%	48.02%
20%	8.43%	11.27%	11.84%	6.83%	7.22%	45.60%
30%	7.44%	10.59%	11.45%	6.01%	6.17%	41.66%
40%	6.44%	9.95%	10.50%	5.60%	6.11%	38.61%
50%	6.93%	10.57%	10.50%	6.01%	6.31%	40.32%

表 3、不同黏土比例種子球失水百分比

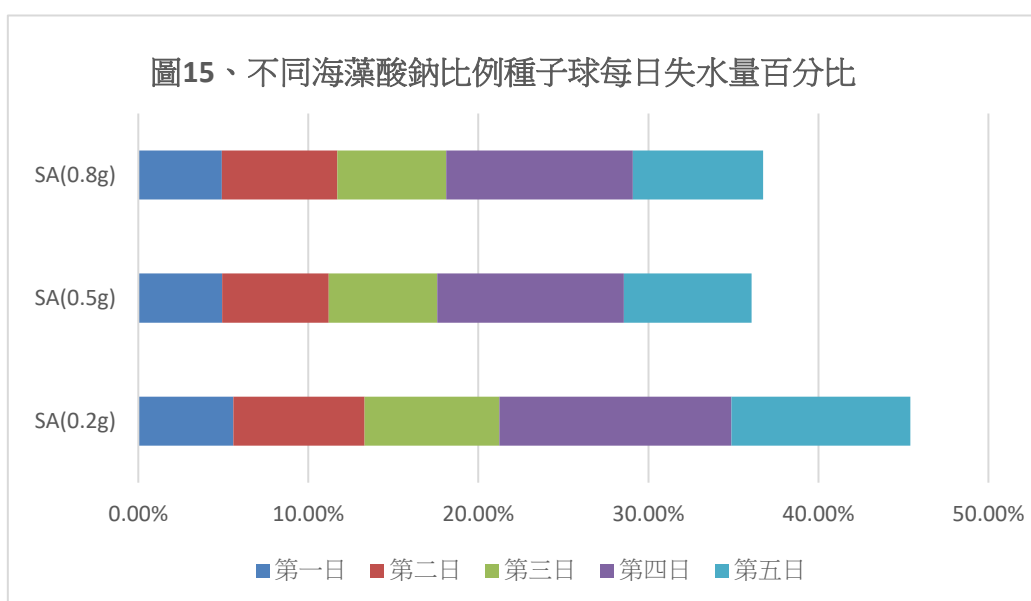


實驗 2：添加海藻酸鈉 (Sodium Alginate) 種子球失水情形之比較

種子球添加 SA0.5g 累計失水僅 36.06%，相較添加 SA0.2g 的 45.40%有顯著差異。

	第一日	第二日	第三日	第四日	第五日	累計失水百分比
SA(0.2g)	5.59%	7.71%	7.94%	13.64%	10.52%	45.40%
SA(0.5g)	4.92%	6.27%	6.39%	10.98%	7.50%	36.06%
SA(0.8g)	4.92%	6.79%	6.40%	10.97%	7.66%	36.75%

表 4、添加 SA 種子球失水百分比

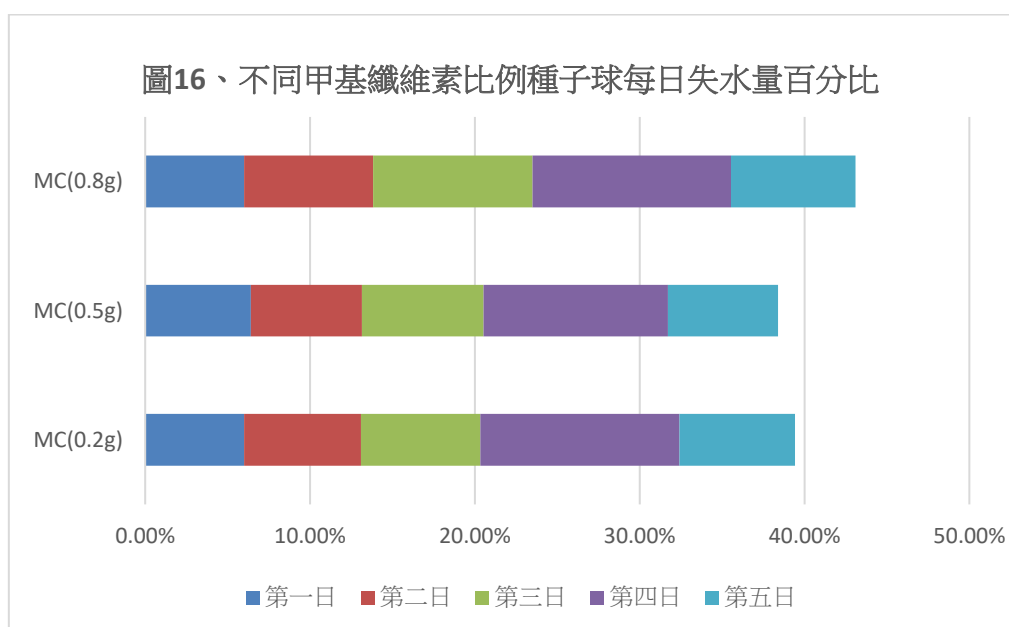


實驗 3：添加甲基纖維素 (Methylcellulose) 種子球失水情形之比較

種子球添加 MC0.5g 累計失水僅 38.40%，相較添加 MC0.8g 的 43.09%有 4.69%的顯著差異。

	第一日	第二日	第三日	第四日	第五日	累計失水百分比
MC(0.2g)	6.00%	7.09%	7.23%	12.09%	7.02%	39.42%
MC(0.5g)	6.42%	6.73%	7.37%	11.20%	6.68%	38.40%
MC(0.8g)	6.00%	7.83%	9.66%	12.04%	7.56%	43.09%

表 5、添加 MC 種子球失水百分比

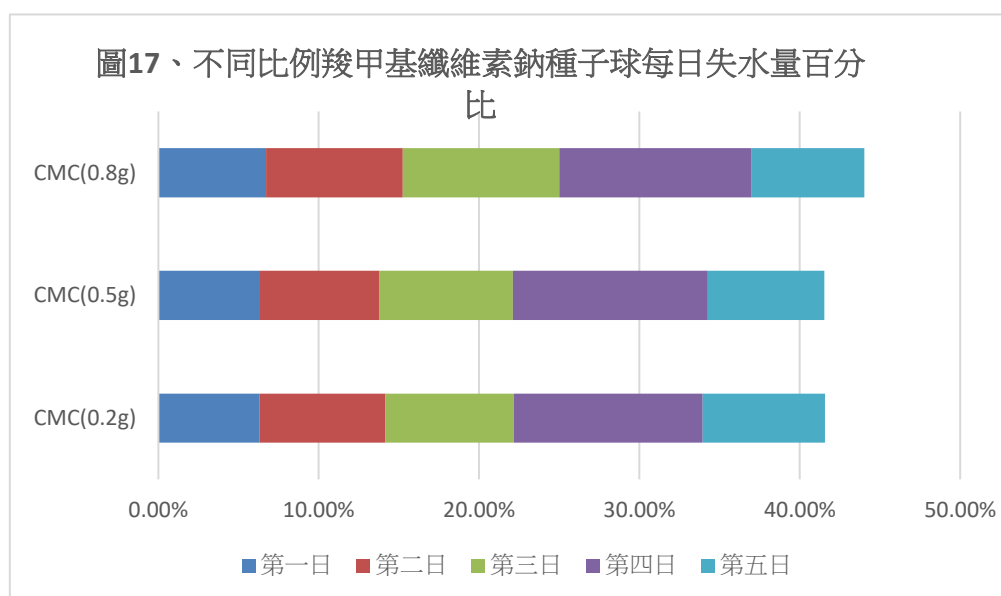


實驗 4：添加羧甲基纖維素鈉 (NaCMC) 種子球失水情形之比較

種子球添加 CMC0.5g 累計失水 41.52%，相較添加 CMC0.8g 的累計失水 44.02%。

	第一日	第二日	第三日	第四日	第五日	累計失水百分比
CMC(0.2g)	6.29%	7.87%	8.00%	11.79%	7.62%	41.57%
CMC(0.5g)	6.34%	7.42%	8.34%	12.15%	7.27%	41.52%
CMC(0.8g)	6.71%	8.53%	9.77%	11.99%	7.03%	44.02%

表 6、添加 CMC 種子球失水百分比

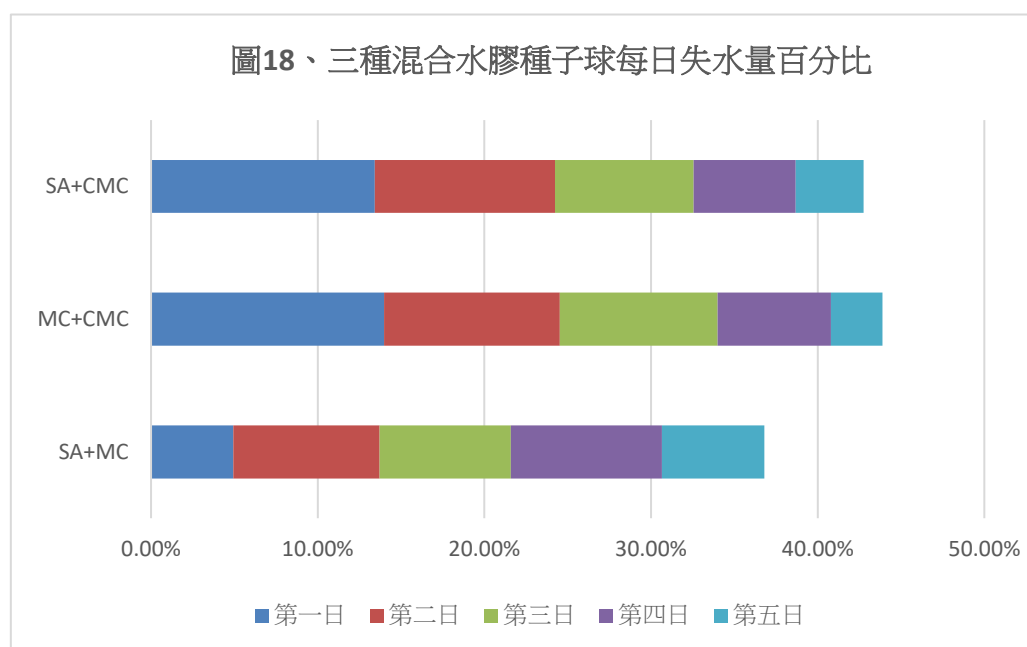


實驗 5：三種混合水膠種子球失水情形之比較

種子球添加混合水膠以 SA0.4g+MC0.4g 失水率較低，累計失水僅 36.81%，相較添加 MC0.4g+CMC0.4g 的累計失水率為 43.88%，差異高達 7.07%

	第一日	第二日	第三日	第四日	第五日	累計失水百分比
SA0.4g+MC0.4g	4.94%	8.78%	7.87%	9.07%	6.15%	36.81%
MC0.4g+CMC0.4g	13.99%	10.54%	9.47%	6.80%	3.09%	43.88%
SA0.4g+CMC0.4g	13.43%	10.80%	8.33%	6.12%	4.07%	42.76%

表 7、添加混合水膠種子球失水百分比



實驗 6：種子球黏性之比較

※實驗 6-1：

土壤溼度最高時 (自製儀器數值 250 以上)，各配方土壤之黏度比較如下表。

黏度比較	吊掛公克數
SA-0.8	150
SA-0.5	117.5
MC-0.8	112.5
MC-0.5	94
SA-0.4+MC-0.4	90
SA-0.2	85
SA-0.4+CMC-0.4	70
CMC-0.5	67.5
MC-0.2	65
MC-0.4+CMC-0.4	62.5
對照組	57.5
CMC-0.8	52.5
CMC-0.2	47.5

表 8、最高濕度下土壤黏度比較

※實驗 6-2：

我們取土壤配方保水度較佳的前四名跟 40%黏質土的對照組，再做進一步

將土壤濕度下調，分別是自製儀器數據 240 以及 230，結果如下表。

SA-0.5	公克	SA-0.8	公克	SA-0.4+MC-0.4	公克	MC-0.5	公克	對照組	公克
value250	117.5	value250	150	value 250	90	value250	94	value250	57.5
value240	155	value240	127.5	value 240	222.5	value240	130	value240	70
value230	140	value230	62.5	value 230	100	value230	160	value230	82.5

表 9、不同土壤濕度下土壤黏度比較

實驗 7：種子球播種情形

(一)實驗室種植：

實驗室種植之種子球至第六天開始有發芽情形，有添加有機肥的種子球發芽期較短，發芽率也較高。

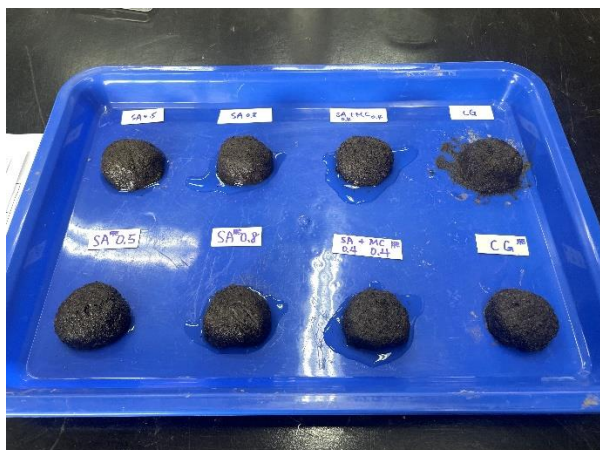


圖 19、種子球於實驗室第一天種植



圖 20、種子球於實驗室種植第 15 天

3月31日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料				
有肥料				1

4月1日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料				3
有肥料				7

4月2日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料				5
有肥料	5			8

4月3日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	1			6
有肥料	6			8

4月4日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	1			6
有肥料	6		1	8

4月5日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	4			6
有肥料	6		3	8

4月6日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	7	4	1	6
有肥料	6		5	8

4月7日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	7	4	1	6
有肥料	6		6	8

4月8日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	8	6	4	8
有肥料	6		5	8

4月9日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	8	6	7	8
有肥料	6	2	5	8

表 10、實驗室種植之種子球發芽情形

(二)戶外種植:

戶外種植之種子球第五天即有紅藜發芽。



圖 21、種子球於戶外種植第 1 天



圖 22、種子球於戶外種植第 8 天

陸、討論

(一)、網路上種子球相關的組成資料並不多，組成的內容也隨播種者自行搭配培養土、腐質土或是其他椰棕纖維製作。我們的種子球初期配方是參考太魯閣國家公園的網頁報導，其中慈濟大學張木林教授約半年前率領志工們製作種子球，他們進行種子球製作並投擲到裸露的坡地，最近報導已取得了明顯的成效，文內提及種子球內容物包括土壤及黏土，因此，我們最初期的實驗就只採用培養土及黏質土兩種土質做搭配並實驗。

我們考量 0403 地震後太魯閣國家公園大片山坡地崩落及裸露，而種子發芽的條件有許多，其中首要的就是足夠的土壤濕度。除此之外，鑒於太魯閣國家公園特殊的大理岩地形，地震後的裸露山坡土壤濕度可能不足導致種子難以萌芽，加上混雜著大塊變質岩與礫岩的山地地形，增加了種子球的投擲及固著難度。為解決上述的問題，我們改良種子球成分的主訴求就是能具低失水率及提升黏著度為目標。

海藻酸鈉、甲基纖維素及羧甲基纖維素鈉是天然的聚合物，在農業或是園藝的實用上具有應用潛力，可以作為土壤改良劑或是吸水劑來提升保水能力。在我們的土壤失水率實驗中，單獨添加三種聚合物，在初期前三天相較 40%黏土質的對照組都有不錯的保水度。當遇到相對乾燥日較多的時節，改良後的種子球內部土壤能保存一定的水分使種子度過環境阻力後能持續發芽。

40%的黏質配方土加入海藻酸鈉 (SA0.5g/40g)相比對照組 (40%黏質配方土)，3 天後可以留存相差 9.32%的水分，5 天後可以留存相差 2.55%的水分 (表 11)。

	第一日	第二日	第三日	前三日累計失水百分比	第四日	第五日	五日累計失水百分比
SA(0.2g)	5.59%	7.71%	7.94%	21.24%	13.64%	10.52%	45.40%
SA(0.5g)	4.92%	6.27%	6.39%	17.58%	10.98%	7.50%	36.06%
SA(0.8g)	4.92%	6.79%	6.40%	18.12%	10.97%	7.66%	36.75%
MC(0.2g)	6.00%	7.09%	7.23%	20.32%	12.09%	7.02%	39.42%
MC(0.5g)	6.42%	6.73%	7.37%	20.52%	11.20%	6.68%	38.40%
MC(0.8g)	6.00%	7.83%	9.66%	23.49%	12.04%	7.56%	43.09%
CMC(0.2g)	6.29%	7.87%	8.00%	22.16%	11.79%	7.62%	41.57%
CMC(0.5g)	6.34%	7.42%	8.34%	22.10%	12.15%	7.27%	41.52%
CMC(0.8g)	6.71%	8.53%	9.77%	25.01%	11.99%	7.03%	44.02%
SA+MC	4.94%	8.78%	7.87%	21.58%	9.07%	6.15%	36.81%
MC+CMC	13.99%	10.54%	9.47%	33.99%	6.80%	3.09%	43.88%
SA+CMC	13.43%	10.80%	8.33%	32.56%	6.12%	4.07%	42.76%
40%對照組	6.44%	9.95%	10.50%	26.90%	5.60%	6.11%	38.61%

表 11、各配方種子球累計失水百分比

在進行戶外播種的比較下，可見海藻酸鈉 (SA) 的保水度確實較之海藻酸鈉及甲基纖維素 (SA+MC) 更好，從照片 (圖 23、圖 24)上可見播種一天後土壤的顏色差異，顏色較深的即為海藻酸鈉。於戶外播種的種子球種子發芽表現較之實驗室種植更具活力 (圖 25)。



圖 23、圖 24、SA 種子球與 SA+MC 種子球於戶外種植 1 天後失水乾燥情形



圖 25、SA 種子球與 SA+MC 種子球播種 10 天情形

(二)、戶外投擲種子球於岩板之情形

在濕度最高（自製儀器數值 250）的土壤比較下，海藻酸鈉（SA）的配方土有相對優異的黏著表現，SA-0.8 的承重值為 150 公克，SA-0.5 的承重值為 117.5 公克。在進行戶外播種種子球的比較下，海藻酸鈉（SA-0.5）及甲基纖維素（SA+MC）配方種子球在土壤乾燥後仍有良好的黏著力（圖 26、圖 27），相較之下，海藻酸鈉（SA-0.5）及對照組在土壤乾燥後，因為岩板的坡度產生土塊下滑之情形。若要做高坡地的種子球投擲或許可以採用海藻酸鈉及甲基纖維素（SA+MC）配方會有較佳的黏著性。



圖 26、圖 27、SA-0.5 種子球、SA-0.4+MC-0.4 種子球與對照組於乾燥前、後於岩板附著情

(三)、黏著度以及保水度合併比較結果

我們合併了黏著度以及保水度一起做比較 (表 12)，可以推論出較佳的種子球配方組合有三種配方，分別為海藻酸鈉 (SA-0.5)、海藻酸鈉 (SA-0.8) 以及海藻酸鈉及甲基纖維素 (SA-0.4+MC-0.4)。未來在以投擲種子球來復育山坡林地時，可以考慮加入海藻酸鈉或是甲基纖維素來提升種子球的保水度。

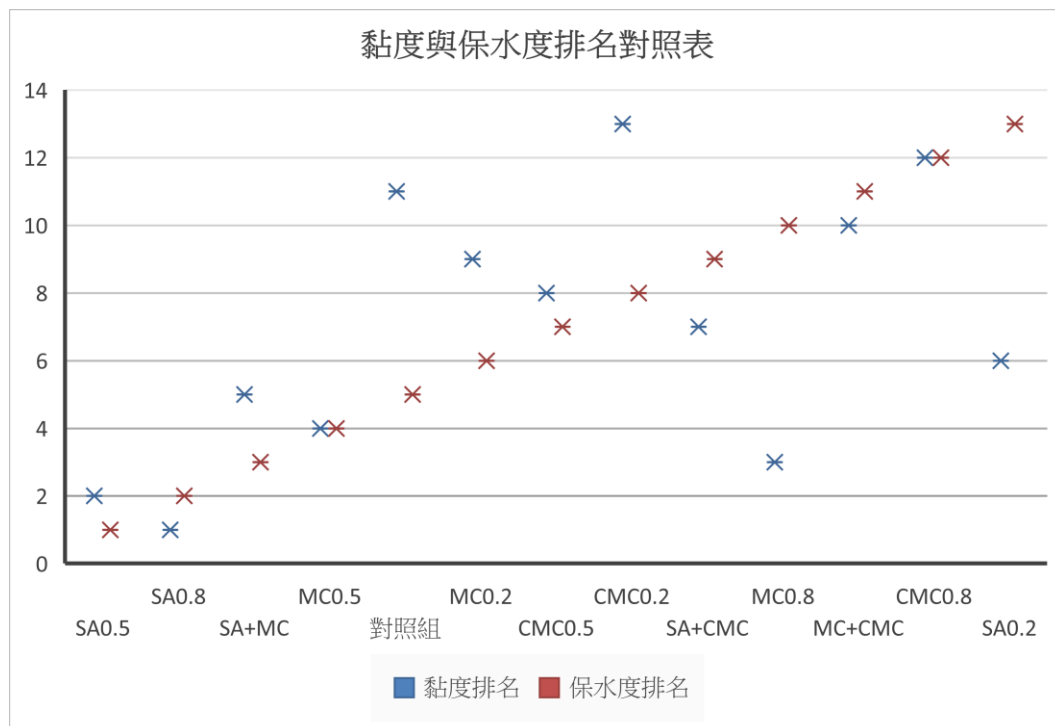


表 12、土壤黏度與保水度排名對照表

(四)、0403 震後，清水斷崖甚或是太魯閣國家公園的高山林地出現大面積裸落的坡地

(如圖 28、圖 29)。



圖 28、圖 29、0403 花蓮大地震後清水斷崖及山坡地土石崩落之慘況

這些裸露的位置過高是施作噴植工法的工程車未能觸及之處，一旦外來種的強勢植物如銀合歡等植物入侵，後續的山林林相就會呈現難以逆轉的情形。

在植被復育的領域，土壤穩定性與植被覆蓋是兩大重要目標。在裸露坡地上使用種子球進行植被復育不僅是一項創新的技術，更是一個低成本、高效益的解決方案。根據我們對種子球黏性進行的比較，當配方中的水分調整至自製儀器數據 240 時，使用 SA-0.4+MC-0.4 的組合可以達到 222.5 公克的承重值（表 9），展現了出色的黏著效果。這使得種子球在高空投放後可以穩定地附著於坡地表面，增加植被復育成功率。

種子球的優化黏性配方，不僅使其在投放時能更好地抵禦風力或撞擊造成的散落，還提高了種子的保存性與萌芽潛力。此外，結合無人機進行大規模種子球投放更是實現植被復育的一大突破。無人機能以精準的方式吊掛種子球並在目標區域上空投擲，覆蓋難以徒步到達的高坡或偏遠地帶。這項技術大幅提升了植被復育的效率，尤其在災後恢復的過程中更顯重要。

SA-0.5	公克	SA-0.8	公克	SA-0.4+MC-0.4	公克	MC-0.5	公克	對照組	公克
value250	117.5	value250	150	value 250	90	value250	94	value250	57.5
value240	155	value240	127.5	value 240	222.5	value240	130	value240	70
value230	140	value230	62.5	value 230	100	value230	160	value230	82.5

表 9、不同土壤濕度下土壤黏度比較

(五)、我們的自製儀器採用 Microbit 開發板結合土壤溼度探測器，本研究之所以未使用市售之土壤溼度儀，主要因為市售土壤濕度計尺寸很大，一隻探針大約 20 公分，隨著探針的插入土壤的深度不同，數值亦跟著改變，在實際測量土壤溼度時造成研究初期的困擾。後來，應用了我們自製的儀器，探針長度僅有 4 公分左右，在測量上便利許多。我們的儀器測量數值比對市售溼度計，相對應的土壤溼度如下：

自製土壤溼度計	市售土壤溼度計
value 250	≐ 91%
value 240	≐ 87%
value 230	≐ 80%

表 13、自製土壤溼度計與市售土壤濕度計相對應數值

柒、結論

台灣地形以山坡地為主，土石流災害頻繁發生，尤其在颱風和豪雨過後，對居住環境和生態系統造成重大影響。因此，災後植被復育是非常重要的工作，不僅可以穩定土壤，減少再次發生土石流的風險，還能恢復生態平衡。

我們的研究不僅展現了種子球配方在特殊地形條件下的潛力，或許也為其他受損生態系統修復提供解方。未來，我們希望政府相關單位能結合無人機技術，將種子球大規模地分佈到偏遠或難以到達的地區，進一步提升植被恢復的效率。此外，我們也期待能透過長期的觀

察與記錄，進一步改進種子球的配方，使其在不同環境下均能發揮最大的生態效益。

太魯閣國家公園的生態修復工作是一項充滿挑戰的旅程，但我們相信，透過科學與社會力量的結合，裸露的坡地終將重新被綠意覆蓋，為未來的世代留下一片更為健康的自然環境。

捌、參考資料及其他

- 一、陳羿樺、鄭霖澤、陳羿君;應用不同製備條件之纖維素水膠改良砂質與森林土壤保水性之探討;林業研究季刊 40(1),2018.
- 二、姚青瑋 (2023); 海藻酸鈉合成纖維素水凝膠之控釋應用; 國立台灣大學森林環境暨資源學系碩士論文
- 三、網路資料：太魯閣拋撒原生種先驅植物種子球阻外來種入侵邊坡,中央通訊社,
<https://www.cna.com.tw/news/ahel/202411110188.aspx>