

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 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, 海藻酸鈉

編 號：



\*圖片出處註 2

## 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                                 | 6  |
| 伍、研究結果                                    |    |
| 實驗 1:比較添加不同黏土比例種子球保水情形                    | 17 |
| 實驗 2:添加海藻酸鈉 (Sodium Alginate) 種子球保水情形之比較  | 18 |
| 實驗 3:添加甲基纖維素 (Methylcellulose) 種子球保水情形之比較 | 19 |
| 實驗 4:添加羧甲基纖維素鈉 (NaCMC) 種子球保水情形之比較         | 20 |
| 實驗 5:三種混合水膠種子球保水情形之比較                     | 21 |
| 實驗 6-1:土壤溼度最高時種子球黏性之比較                    | 22 |
| 實驗 6-2:不同土壤溼度種子球黏性之比較                     | 22 |
| 實驗 7-1:種子球於實驗室播種情形                        | 23 |
| 實驗 7-2 種子球於戶外播種情形:                        | 24 |
| 陸、討論                                      | 24 |
| 柒、結論                                      | 30 |
| 捌、參考資料及其他                                 | 30 |

## 摘要

本研究探討種子球可應用在災後裸露坡地之植被復育。初期配方採培養土和黏質土進行初步實驗，後針對 0403 地震裸露坡地的狀態，故改良種子球成分目的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之保水力，土壤加入海藻酸鈉 (SA0.5) 後水分保留能力顯著，3 天內保水度較對照組差異達 9.32%，5 天內差異達 2.55%。土壤濕度最高時，海藻酸鈉配方 (SA0.8) 黏著性表現出色可承重達 150 公克。此外，海藻酸鈉與甲基纖維素 (SA+MC) 混合配方在黏著度上亦有出色表現，適用於坡度較陡或岩石較多的裸露坡地進行種子球投擲。本實驗之種子球改良配方，有助於提升偏遠或難以到達的山林地植被之恢復效率，針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保水情形
- 二、添加海藻酸鈉 (Sodium Alginate) 種子球保水情形之比較
- 三、添加甲基纖維素 (Methylcellulose) 種子球保水情形之比較
- 四、添加羧甲基纖維素鈉 (NaCMC) 種子球保水情形之比較
- 五、三種混合水膠種子球保水情形之比較
- 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                                                                                    |
|    |    |    |    |
| 雙鉤砝碼                                                                                | 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 (\*圖片出處註 1)

## 肆、研究過程與方法

### 一、研究架構與流程



圖 1、實驗架構圖 (\*圖片出處註 1)

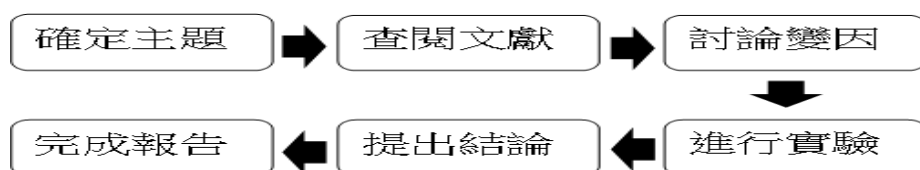


圖 2、實驗流程圖 (\*圖片出處註 1)

### 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。通常由民眾、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更加適合。

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，可視為廣泛的水膠。

# 三、研究流程

## 實驗 1：添加不同黏土比例種子球之保水情形比較

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。

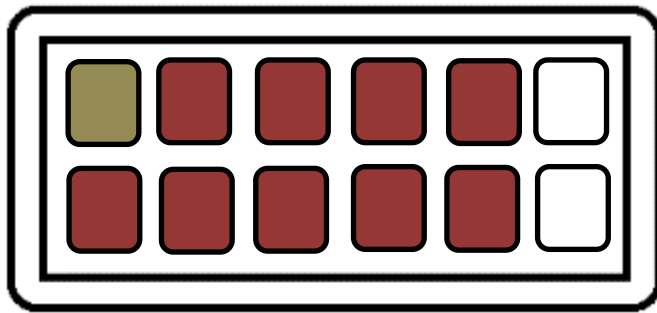


圖 3、配土示意圖（\*圖片出處註 1）

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 公分左右之土團，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（\*圖片出處註 1）

## 實驗 2：添加海藻酸鈉 (Sodium Alginate) 種子球保水情形之比較

### 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 公分左右之土團，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 公分左右之土團, 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 公分左右之土團, 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) 種子球保水情形之比較

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 公分左右之土團, 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 公分左右之土團, 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公分左右之土團，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) 種子球保水情形之比較

##### 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 公分左右之土團，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 公分左右之土團，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 公分左右之土團，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保水情形之比較

##### 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 公分左右之土團，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 公分左右之土團，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 公分左右之土團，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，其餘分別將 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  
(\*圖片出處註 1)



圖 6、以藥匙底面貼平土壤面  
(\*圖片出處註 1)

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、塑膠板面貼合坩堝口的土壤面  
(\*圖片出處註 1)

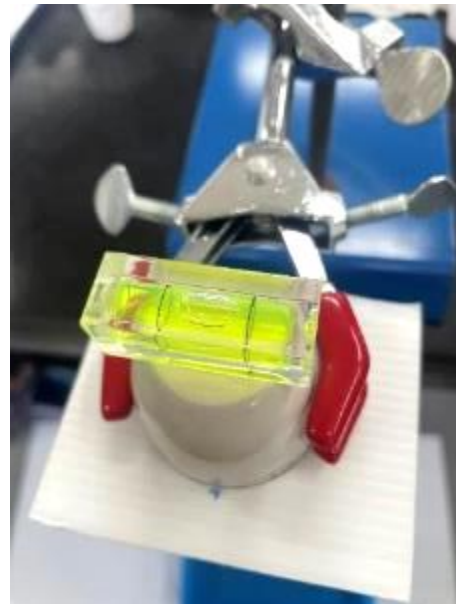


圖 8、坩堝底部擺放水平儀  
(\*圖片出處註 1)



圖 9、圖 10、於塑膠板掛上雙勾砝碼過程 (\*圖片出處註 1)

※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

### ※實驗 7-1：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子 (\*圖片出處註 1)



圖 12、種子球於實驗室種植 (\*圖片出處註 1)

## ※實驗 7-2：戶外種植：

1.校園戶外種植：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圃進行觀察及記錄 (圖 13)。



圖 13、種子球於戶外種植(\*圖片出處註 1)

2.太魯閣崩塌地及佐倉步道戶外種植：

戶外投放種子球地點選擇兩處，分別為太魯閣崩塌地及佐倉步道(圖 14)。太魯閣崩塌地實況如 (圖 15)，本地點非太魯閣國家公園屬地，以避免本實驗影響國家公園之原生態。

- (1) 配置 SA0.5g 的土團：五月八日取培養土 120 公克及黏質土 80 公克攪拌混合均勻 (預估一土團約 20g)，加入 2.5g 海藻酸鈉粉末 (Sodium Alginate) 及 2g 有機肥料。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十個土團，擺放至托盤上進行培育，採用樹種分別為羅氏鹽膚木、茄苳、光臘樹、車桑子、相思樹。每天定量澆 5 c.c.的常溫水，五月十四日種子培育第七天，分別將種子球放置於佐倉步道 (圖 16) 及太魯閣 (圖 17)。除此之外另以無人機試投放種子球 (圖 18、圖 19)。

- (2) 配置 SA0.8g 的土團：五月八日取培養土 120 公克及黏質土 80 公克攪拌混合均勻（預估一土團約 20g），加入 4g 海藻酸鈉粉末 (Sodium Alginate) 及 2g 有機肥料。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十個土團，擺放至托盤上進行培育，採用樹種分別為羅氏鹽膚木、茄苳、光臘樹、車桑子、相思樹。每天定量澆 5 c.c. 的常溫水，五月十四日種子培育第七天，分別將種子球放置於太魯閣及佐倉步道（圖 16、圖 17）。
- (3) 配置 SA0.4g+MC0.4g 的土團：五月八日取培養土 120 公克及黏質土 80 公克攪拌混合均勻（預估一土團約 20g），加入 2g 海藻酸鈉粉末 (Sodium Alginate)、5g 甲基纖維素粉末 (Methylcellulose) 及 2g 有機肥料。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十個土團，擺放至托盤上進行培育，採用樹種分別為羅氏鹽膚木、茄苳、光臘樹、車桑子、相思樹。每天定量澆 5 c.c. 的常溫水，五月十四日種子培育第七天，分別將種子球放置於太魯閣及佐倉步道（圖 16、圖 17）。
- (4) 配置對照組 (CG) 的土團：五月八日取培養土 120 公克及黏質土 80 公克攪拌混合均勻（預估一土團約 20g）。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十個土團，擺放至托盤上進行培育，採用樹種分別為羅氏鹽膚木、茄苳、光臘樹、車桑子、相思樹。每天定量澆 5 c.c. 的常溫水，五月十四日種子培育第七天，分別將種子球放置於太魯閣及佐倉步道（圖 16、圖 17）。



圖 14、★表示種子球投放佐倉步道(\*圖片出處註 3)及太魯閣之定位點(\*圖片出處註 4)



圖 15、種子球投放太魯閣塌地之實際狀況(\*圖片出處註 1)



圖 16、種子球於佐倉步道戶外投放情形(\*圖片出處註 1)



圖 17、SA+MC 種子球於太魯閣戶外投放情形(\*圖片出處註 1)



圖 18、以無人機試投放種子球於太魯閣崩塌地(\*圖片出處註 1)



圖 19、以無人機試投放種子球於佐倉步道(\*圖片出處註 1)

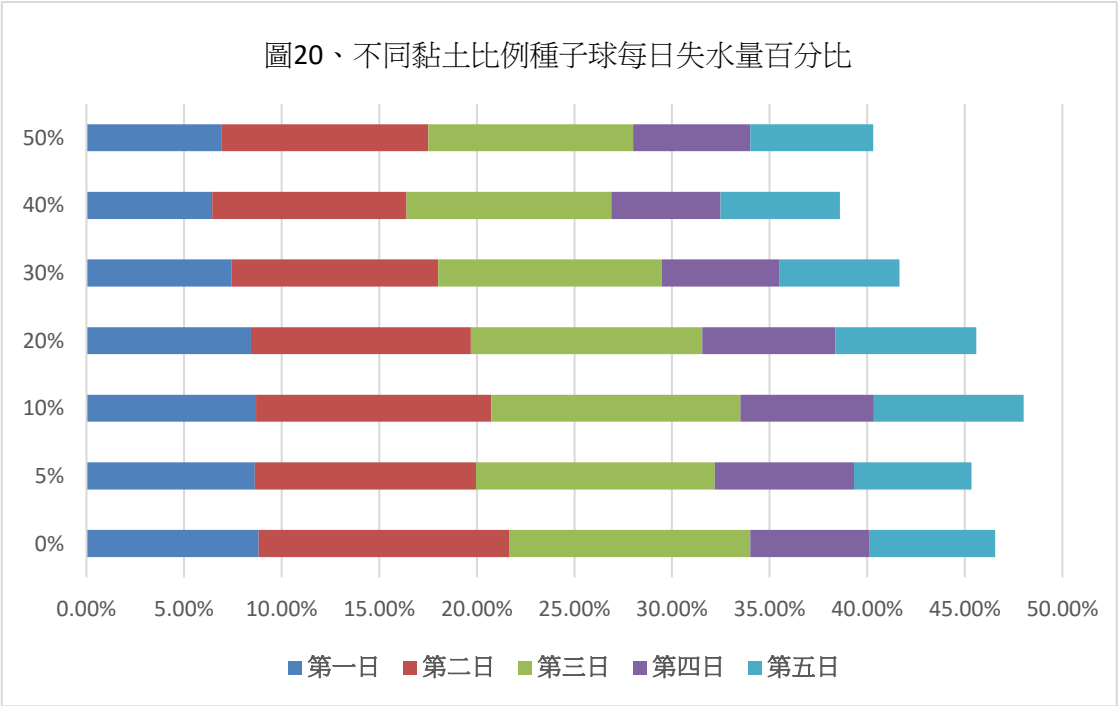
伍、研究結果

實驗 1：比較添加不同黏土比例種子球保水情形

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

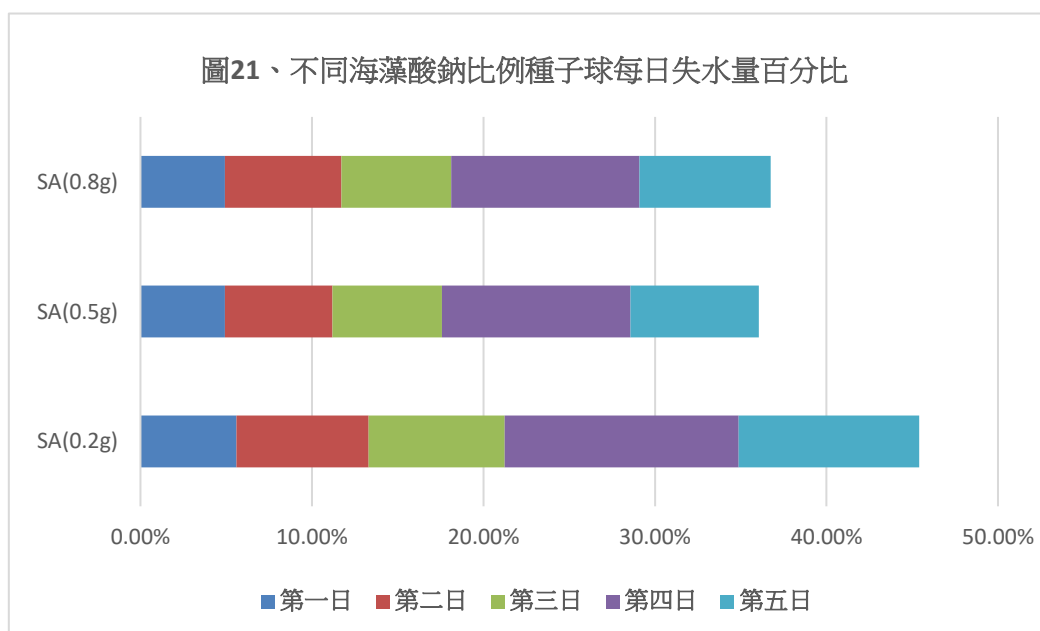


## 實驗 2：添加海藻酸鈉 (Sodium Alginate) 種子球保水情形之比較

種子球添加 SA0.5g 五日累計失水僅 36.06%，相較添加 SA0.2g 的 45.40%有達 9.34%之顯著差異，保水度優越。

|          | 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

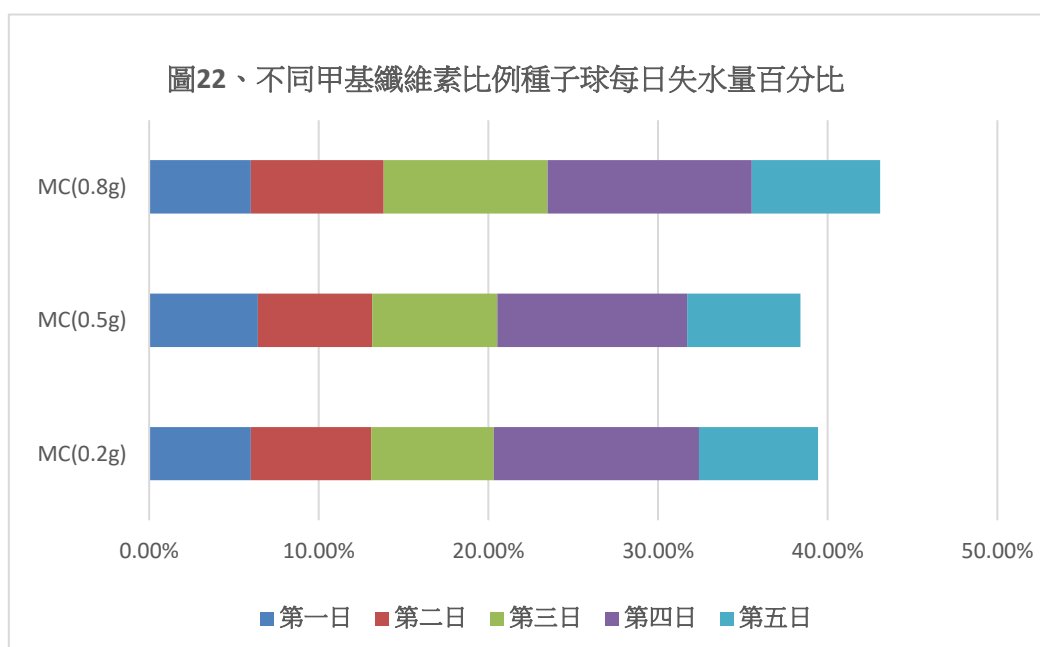


### 實驗 3：添加甲基纖維素 (Methylcellulose) 種子球保水情形之比較

種子球添加 MC0.5g 五日累計失水僅 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

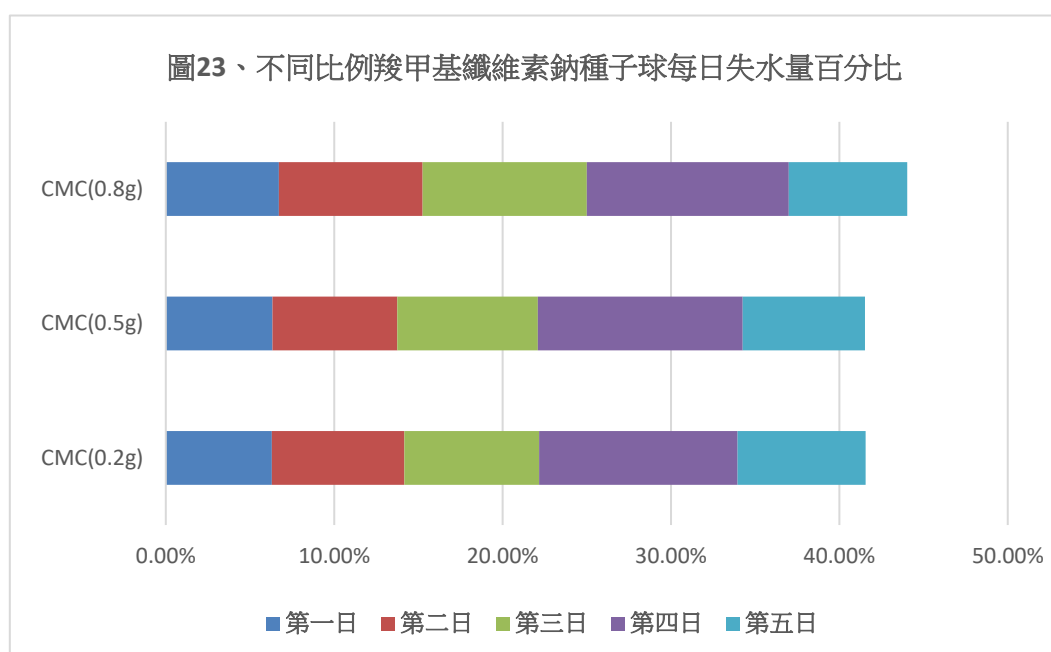


#### 實驗 4：添加羧甲基纖維素鈉 (NaCMC) 種子球保水情形之比較

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% 有 2.5% 之差異。

|           | 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

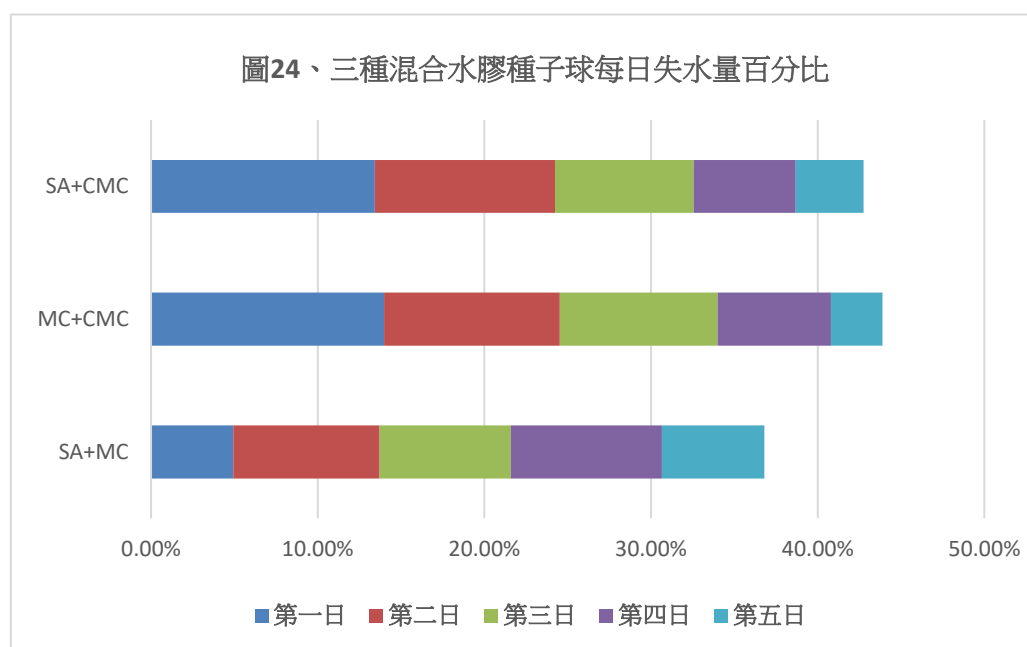


## 實驗 5：三種混合水膠種子球保水情形之比較

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表 8。

| 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 9。

| 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

### ※實驗 7-1：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 25、種子球於實驗室第一天種植  
(\*圖片出處註 1)



圖 26、種子球於實驗室種植第 15 天  
(\*圖片出處註 1)

|       |        |        |               |     |
|-------|--------|--------|---------------|-----|
| 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

## ※實驗 7-2：戶外種植：

1.校園花圃戶外種植之種子球第五天即有紅藜發芽。



圖 27、種子球於戶外種植第 1 天  
(\*圖片出處註 1)



圖 28、種子球於戶外種植第 8 天  
(\*圖片出處註 1)

2.太魯閣崩塌地及佐倉步道戶外種植：5 月 17 日種子球培育第 10 天，觀察到 SA0.5 羅氏鹽膚木種子球有發芽(圖 29)，以及對照組之相思樹種子球有發芽(圖 30)。



圖 29、SA0.5 羅氏鹽膚木種子球於太魯閣坍地發芽  
(\*圖片出處註 1)



圖 30、對照組相思樹種子球於太魯閣坍地發芽  
(\*圖片出處註 1)

## 陸、討論

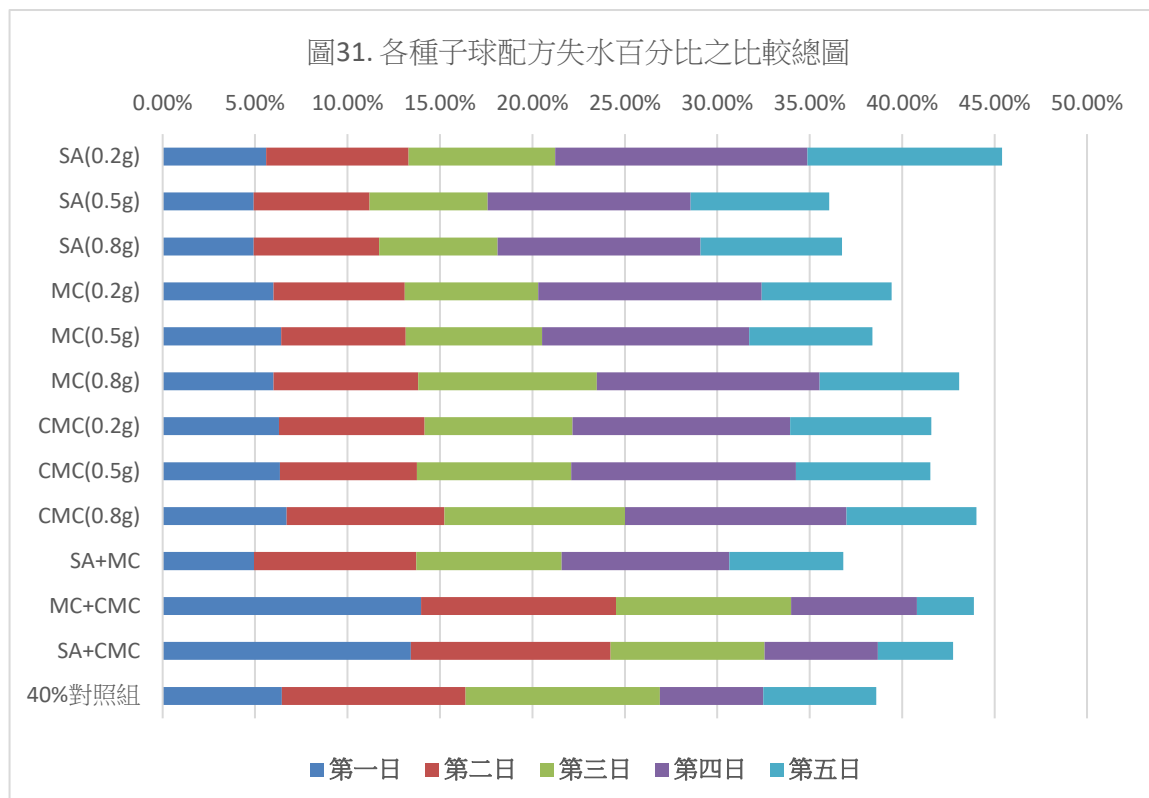
(一)、網路上種子球相關的組成資料並不多，組成的內容也隨播種者自行搭配培養土、腐質土或是其他椰棕纖維製作。我們的種子球初期配方是參考太魯閣國家公園的網頁報導，其中慈濟大學張木林教授於 2024 年六月即率領志工們製作種子球，他們進行種子球製作並投擲到裸露的坡地，最近報導已取得了明顯的成效，文內提及種子球內容物包括土壤及黏土，因此，我們最初期的實驗就只採用培養土及黏質土兩種土

質做比例之搭配並進行實驗。

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保水度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。在我們的土壤保水實驗中，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（圖 31）。當遇到相對乾燥日較多的季節，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，待日後降水就能持續發芽。

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 32、圖 33)上可見播種一天後土壤的顏色較深的為 SA(代表含有水分較多)。於戶外播種的種子球發芽莖葉較之實驗室種植更具活力 (圖 34)。



圖 32 SA 種子球與 SA+MC 種子球於戶外種植第 1 天(\*圖片出處註 1)



圖 33、SA 種子球與 SA+MC 種子球於戶外種植 1 天後失水情形，SA 顏色較深代表保水度較好(\*圖片出處註 1)



圖 34、SA 種子球與 SA+MC 種子球播種 10 天情形  
(\*圖片出處註 1)

## (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 35、圖 36)，相較之下，單純加入海藻酸鈉 (SA-0.5) 或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 35 SA-0.5 種子球、SA-0.4+MC-0.4 種子球  
與對照組第一天投擲岩板附著情形  
(\*圖片出處註 1)



圖 36、SA-0.5 種子球、SA-0.4+MC-0.4 種子球  
與對照組於乾燥後於岩板附著情形  
(\*圖片出處註 1)

## (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)。0403 震後林業屬曾進行台九線坍塌地復育時採用無人機撒放種子，種子能否發芽有需多要件，只單純投放種子發芽率會受多因素影響結果。未來或許可以採投擲種子球來復育山坡林地，依本實驗結果，可加入海藻酸鈉或是甲基纖維素提升種子球的保水度，此外可以在第一周即進行種子球澆水培育，待一周後即可以無人機進行撒播，相信對於林地復育會更加有成效！

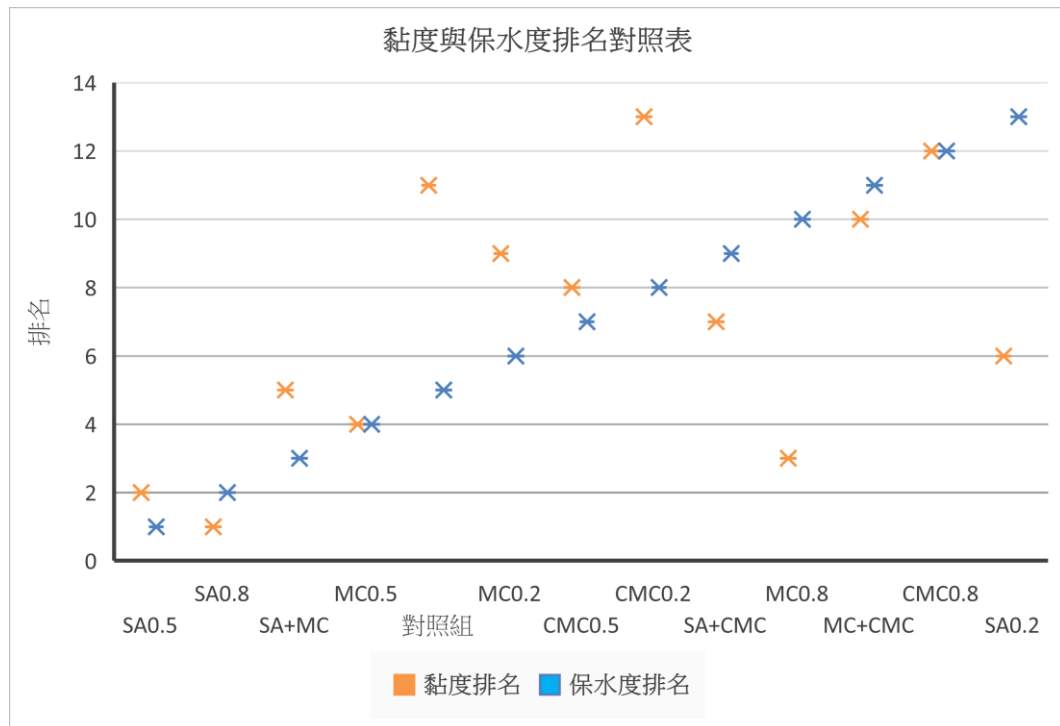


表 12、土壤黏度與保水度排名對照表

(四)、花蓮 0403 震後，清水斷崖及蘇花公路沿路多處的高山林地出現大面積裸落的坡地 (如圖 37、圖 38)。



圖 37、0403 花蓮大地震後清水斷崖土石崩落之慘況(\*圖片出處註 2)



圖 38、0403 地震後和仁段火車上所攝山坡地土石崩落之慘況(\*圖片出處註 2)

這些裸露的位置過高，是傳統施作噴植工法的工程車未能抵達之處，一旦外來種的強勢植物如銀合歡等植物入侵，後續的山林林相恐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是一項創新的解決方案。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。

改良後之種子球的黏性特質，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>

附註 1.圖片、照片由作者親自拍攝。

2.圖片、照片由指導教師親自拍攝。

3.圖片引自 Google.Map 之定位點截圖照片。

[https://www.google.com/maps/@24.0220523,121.5822694,15.5z?entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI1MDYxMC4xIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/@24.0220523,121.5822694,15.5z?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDYxMC4xIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D)

4.圖片引自 Google.Map 之定位點截圖照片。

[https://www.google.com/maps/@24.1581445,121.6277172,15z?entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI1MDYxMC4xIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/@24.1581445,121.6277172,15z?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDYxMC4xIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D)