

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學科(三)

團隊合作獎

033012

進化吧！種子炸彈—種子球成分之研究及改良

學校名稱： 花蓮縣立自強國民中學

作者：	指導老師：
國一 蔡皓昕	陳怡安
國一 林瑞恩	郭千睿
國一 陳沛萱	

關鍵詞： 種子球、海藻酸鈉

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
			
雙鈞砝碼	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	坩埚
			
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)

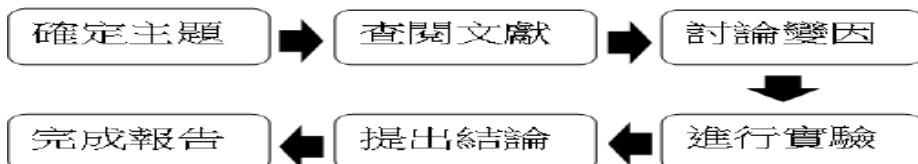


圖 2、實驗流程圖 (*圖片出處註 1)

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鹹地。

(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。

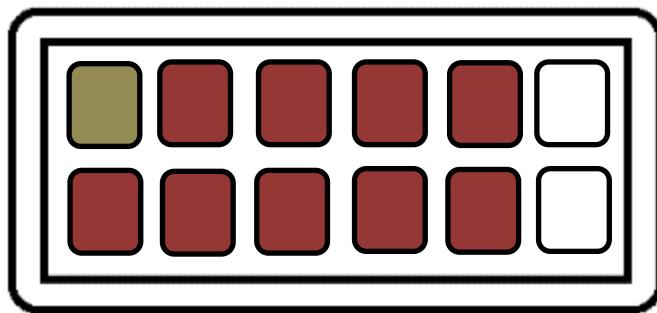


圖 3、配土示意圖 (*圖片出處註 1)

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 羣甲基纖維素鈉粉末，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 羣甲基纖維素鈉粉末。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 羣甲基纖維素鈉粉末。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 羥甲基纖維素鈉 (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 羥甲基纖維素鈉 (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)

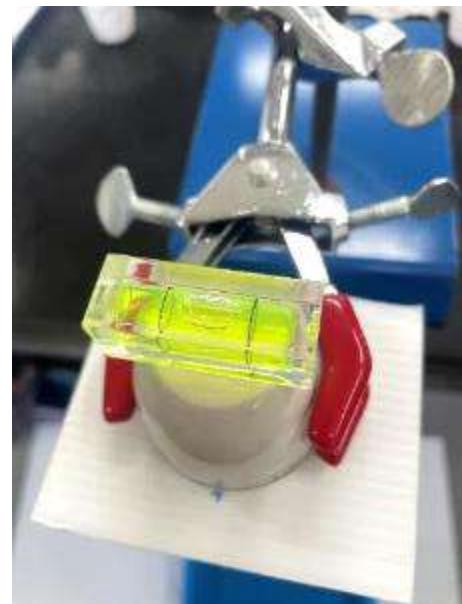


圖 8、坩堝底部擺放水平儀
(*圖片出處註 1)



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)

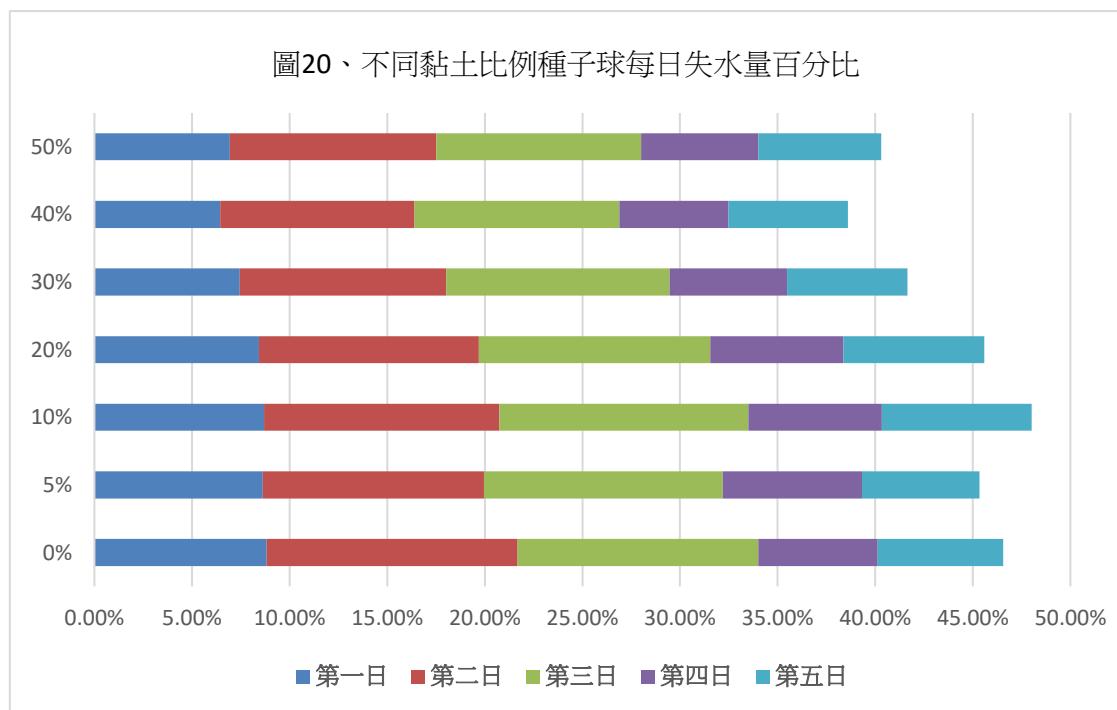
伍、研究結果

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

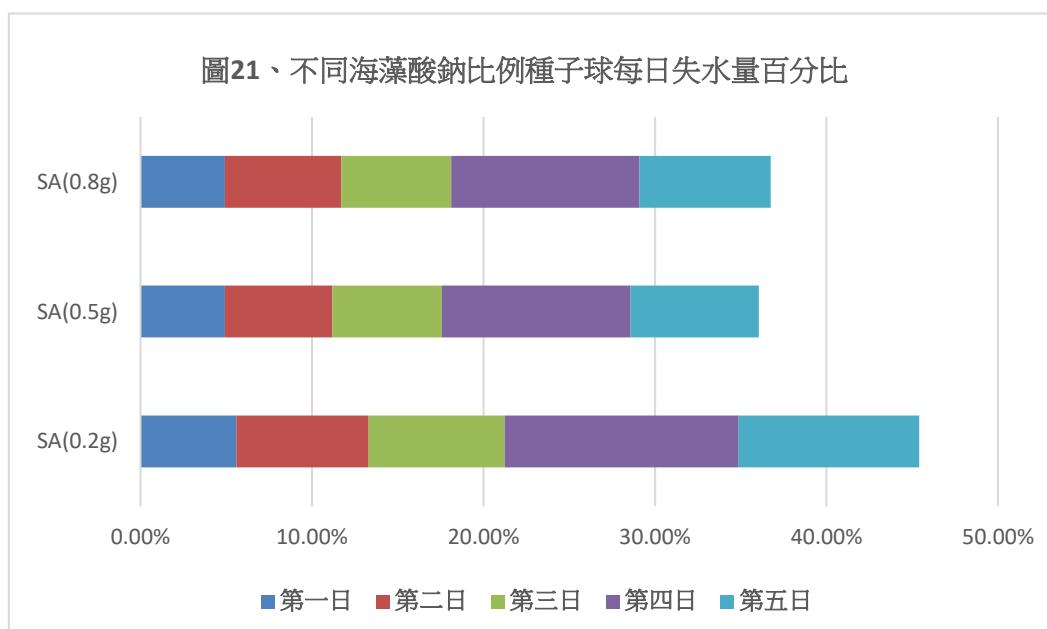


實驗 2：添加海藻酸鈉 (Sodium Alginate) 種子球保水情形之比較

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

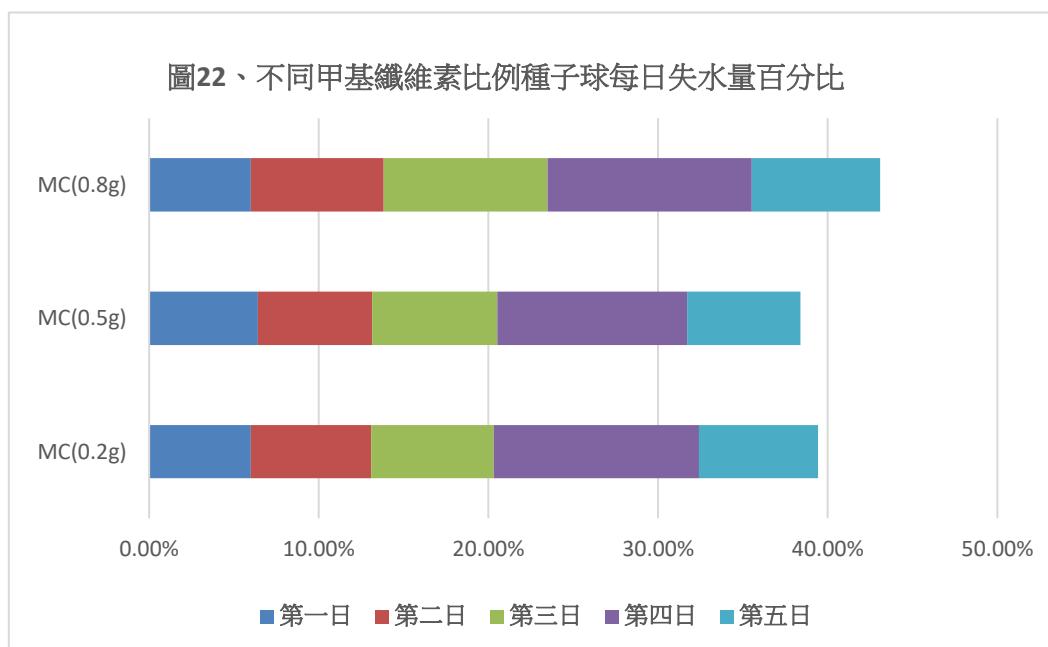


實驗 3：添加甲基纖維素 (Methylcellulose) 種子球保水情形之比較

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

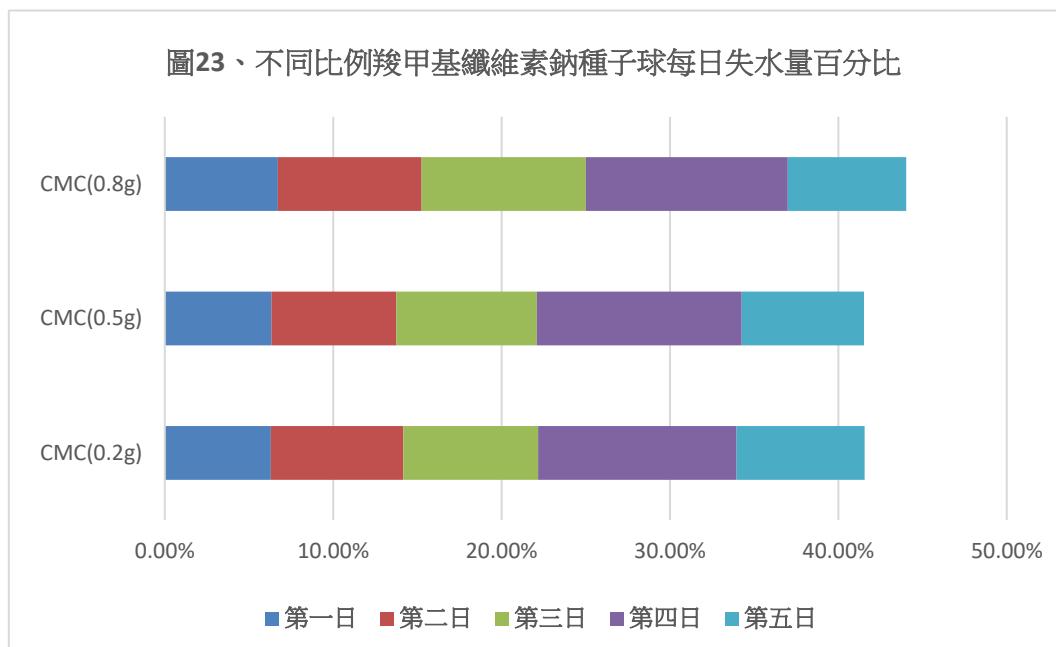


實驗 4：添加羧甲基纖維素鈉 (NaCMC) 種子球保水情形之比較

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

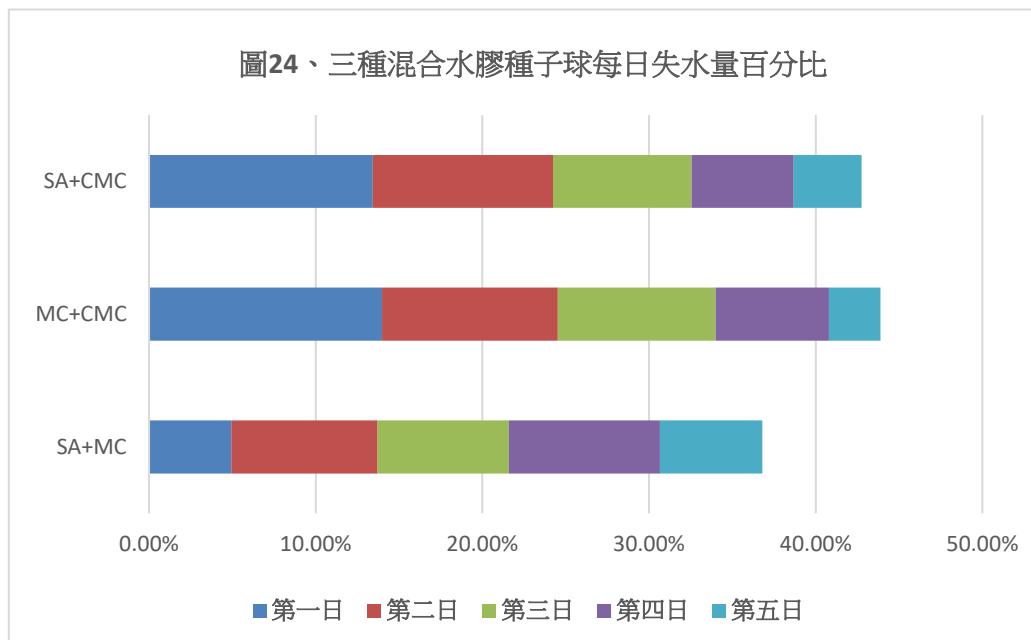


實驗 5：三種混合水膠種子球保水情形之比較

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			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

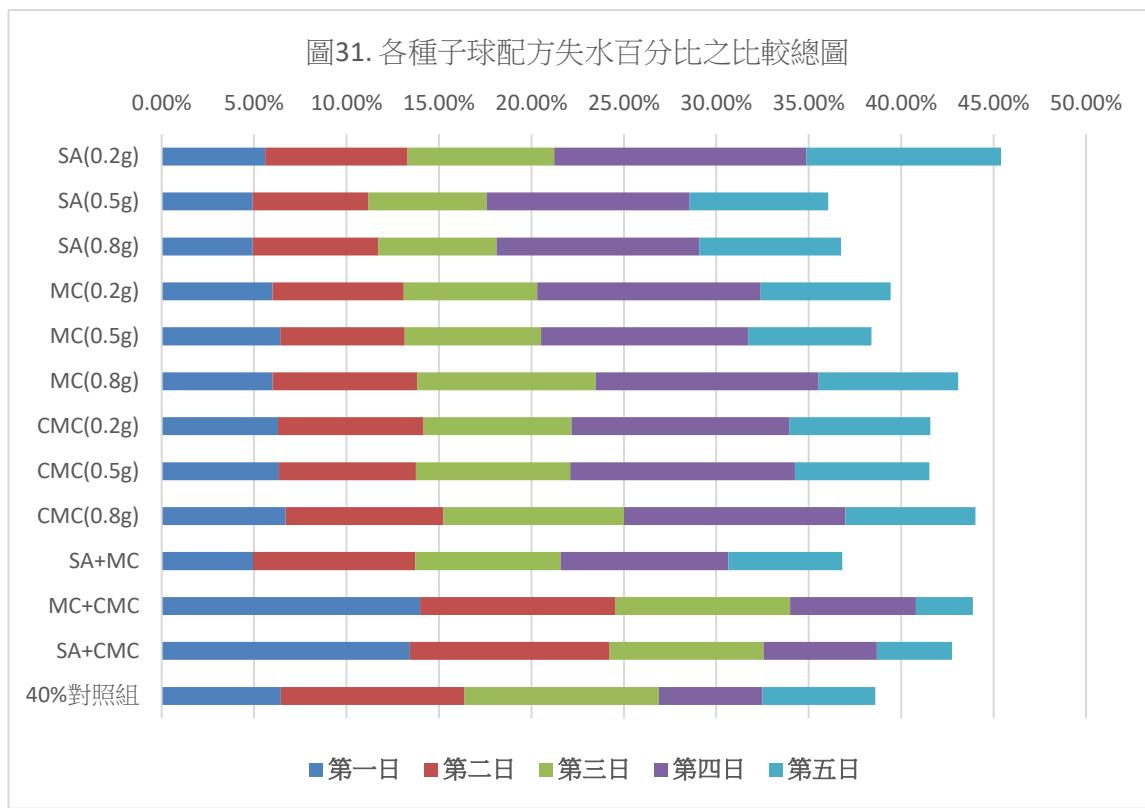
(一)、網路上種子球相關的組成資料並不多，組成的內容也隨播種者自行搭配培養土、腐質土或是其他椰棕纖維製作。我們的種子球初期配方是參考太魯閣國家公園的網頁報導，其中慈濟大學張木林教授於 2024 年六月即率領志工們製作種子球，他們進行種子球製作並投擲到裸露的坡地，最近報導已取得了明顯的成效，文內提及種子球內容物包括土壤及黏土，因此，我們最初期的實驗就只採用培養土及黏質土兩種土

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，鑑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 震後林業局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！

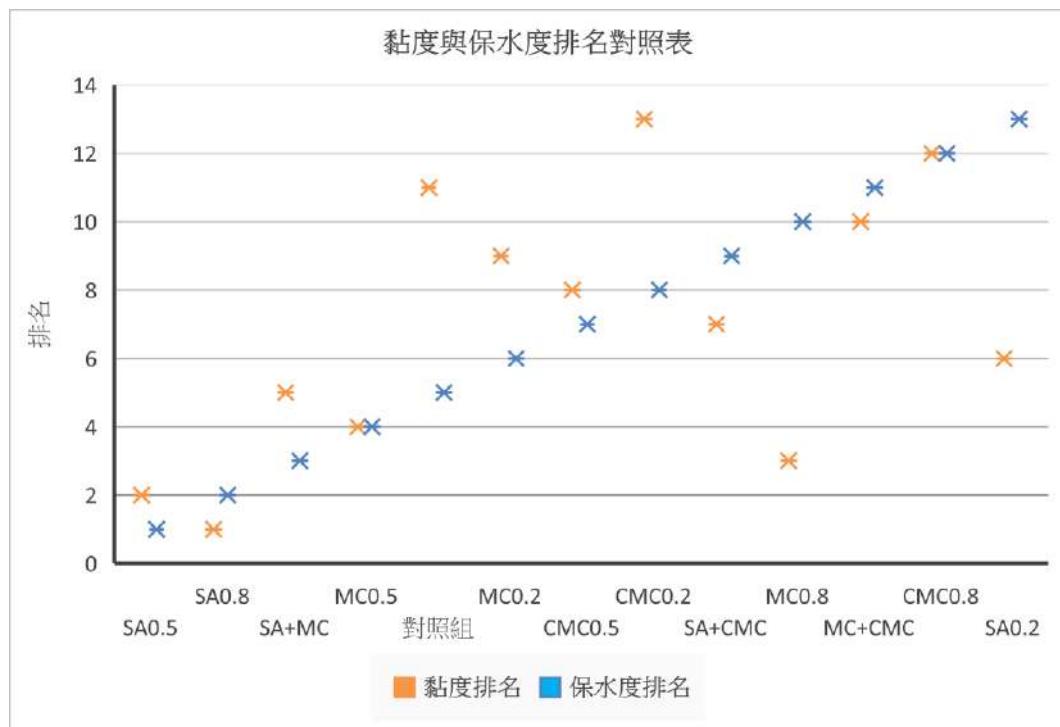


表 12、土壤黏度與保水度排名對照表

(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=EgoyMDI1MDYxMC4xIKXMDSoASAFQAw%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=EgoyMDI1MDYxMC4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D

【評語】033012

1. 本研究以解決偏遠和難到達山林地區重建植被所需技術之開發，目標明確具實用價值和防災生態保育貢獻。
2. 本研究成員皆對研究目標與工作細節明確了解，團隊執行表現良好，充分表現合作精神。
3. 建議種子和黏土等材料可導入在地植生品種和研究地區的土壤。
4. 建議探討種子球的大小對防雨水沖蝕或動物啃食之影響。

作品海報



進化吧！種子炸彈

種子球成分之研究及改良

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、前言

一、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。我們考量黏著度的主因來自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，投放至裸露及陡峭的山坡壁就會崩落四散，失去種子球保護種子的優點。

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。

二、研究目的

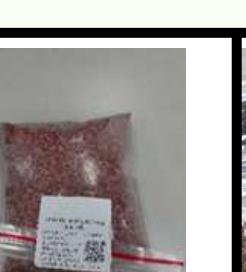
- (一)、比較添加不同黏土比例種子球失水情形
- (二)、添加海藻酸鈉 (Sodium Alginate) 種子球保水情形之比較
- (三)、添加甲基纖維素 (Methylcellulose) 種子球保水情形之比較
- (四)、添加羧甲基纖維素鈉 (NaCMC) 種子球保水情形之比較
- (五)、三種混合水膠種子球保水情形之比較
- (六)、種子球黏性之比較
- (七)、種子球播種情形

三、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，製作上常常將腐質土和堆肥等物質跟種子一起包覆，以提供種子發育的養分保護黏土球，特別是在苛刻的生長環境中更為適合。
此一技術是來自日本自然農法先驅-福岡正信 (Masanobu Fukuoka)，種子球可以應用於多方面的目的，例如：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，種下種子球後下雨或大水會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鹹地。
- (三)甲基纖維素 (Methylcellulose)
甲基纖維素是一種由植物纖維經化學處理後所製得的水溶性膠狀物質。它是由木材、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，通常可用作增稠劑，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領域的水溶性高分子化合物，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) 反應而製得。其主要特點是具有良好的水溶性、黏度調節能力和優良的穩定性。
- (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，可視為廣泛定義的水膠。

貳、研究設備及器材

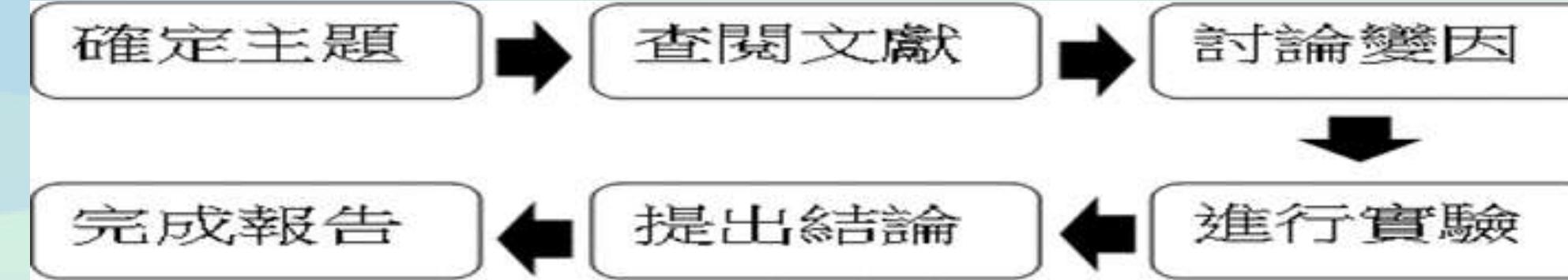
實驗器材及藥品

						
黏質土	培養土	電子秤	鐵架	雙鉤砝碼	原生種紅藜	原生植物種子
						
						

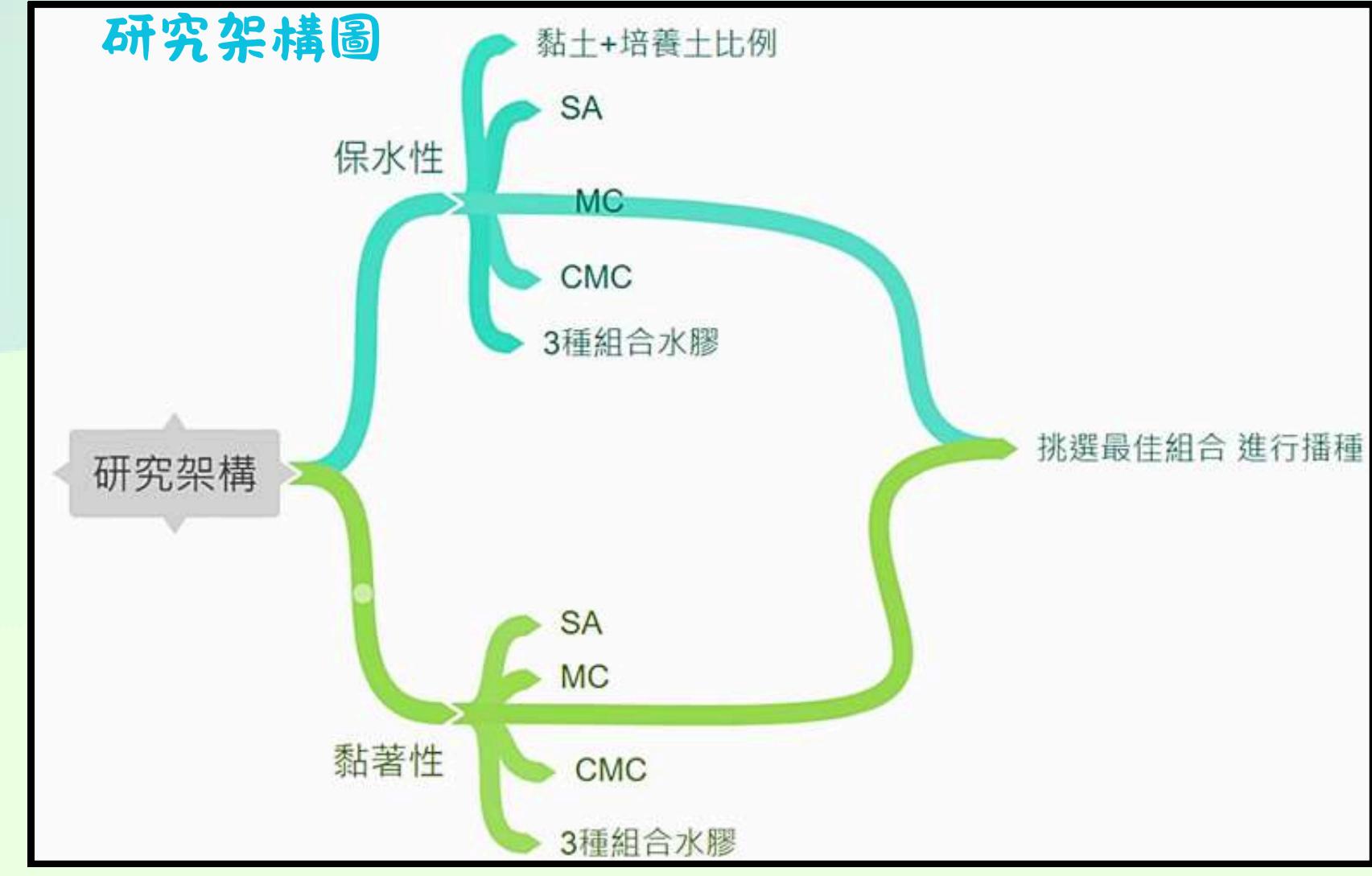
(*圖片出處註1)

參、研究流程與方法

一、研究流程



二、研究架構

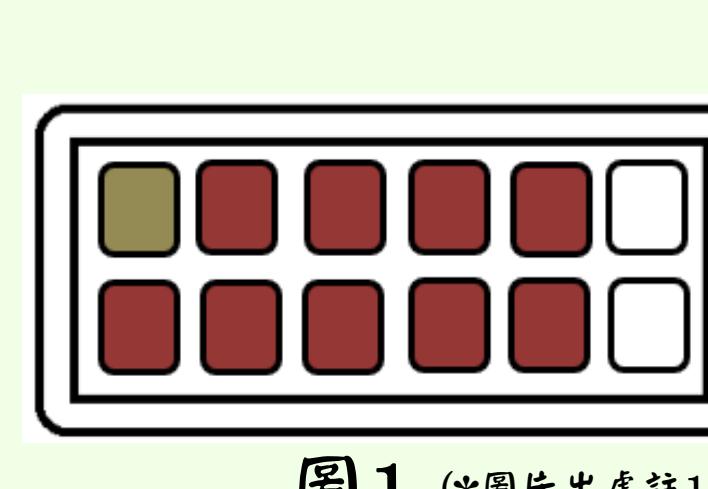


肆、研究結果與討論

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，利用冰箱的製冰盒進行配土。十格全鋪滿培養土為對照組 (圖1)。10%黏質土的實驗組則是九格鋪培養土，一格鋪黏質土。依此類推，分別調配出5%、10%、20%、30%、40%及50%的黏質土比例。調配出之土壤接續加入常溫過濾水至土壤濕度及90%以上，此時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 (圖2)，並單獨進行秤重、記錄。

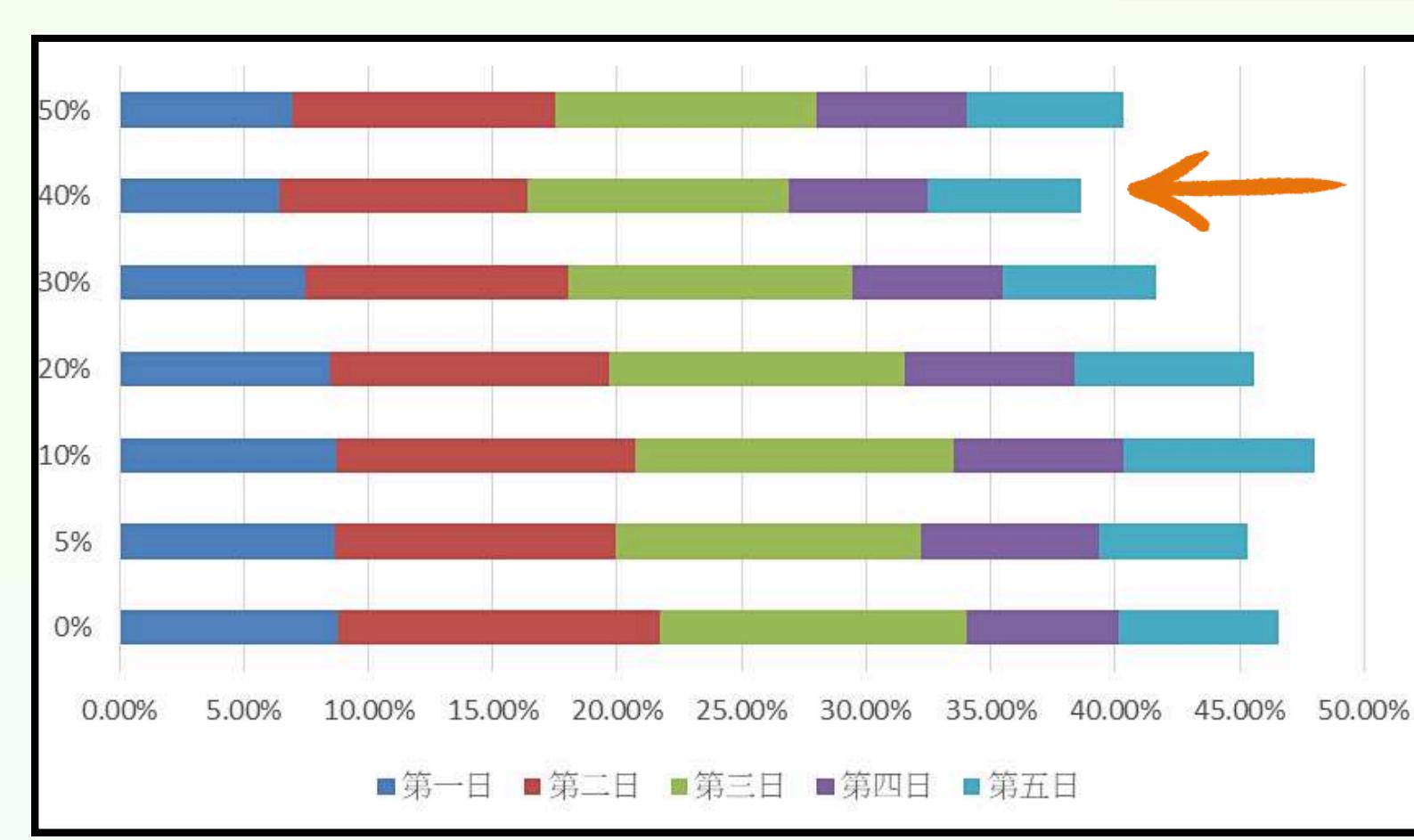


研究結果：將培養土及黏質土調配出 5%、10%、20%、30%、40% 及 50% 的黏質土比例，五天之間每日的失水百分比如下表，當黏質土比例為 40% 時，五天後土壤累計失水比例為 38.61% (表1)，為其中失水最少、保水度最佳的 (圖3)。而黏質土比例為 30% 及 50% 也都有不錯的保水力。

結論：當黏質土比例為 40% 時為實驗一中保水度最佳的組合。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1



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

* 配製 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，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 (圖4)。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。

* 依上述方法，分別調配出每40公克含0.5公克 (SA0.5g)、每40公克含0.8公克 (SA0.8g) 的海藻酸鈉之種子球。



結論：種子球添加SA0.5g累計失水僅36.06%，相較添加SA0.2g的45.40%

有顯著差異達9.34%（表2），參照圖5更為明顯。

	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2

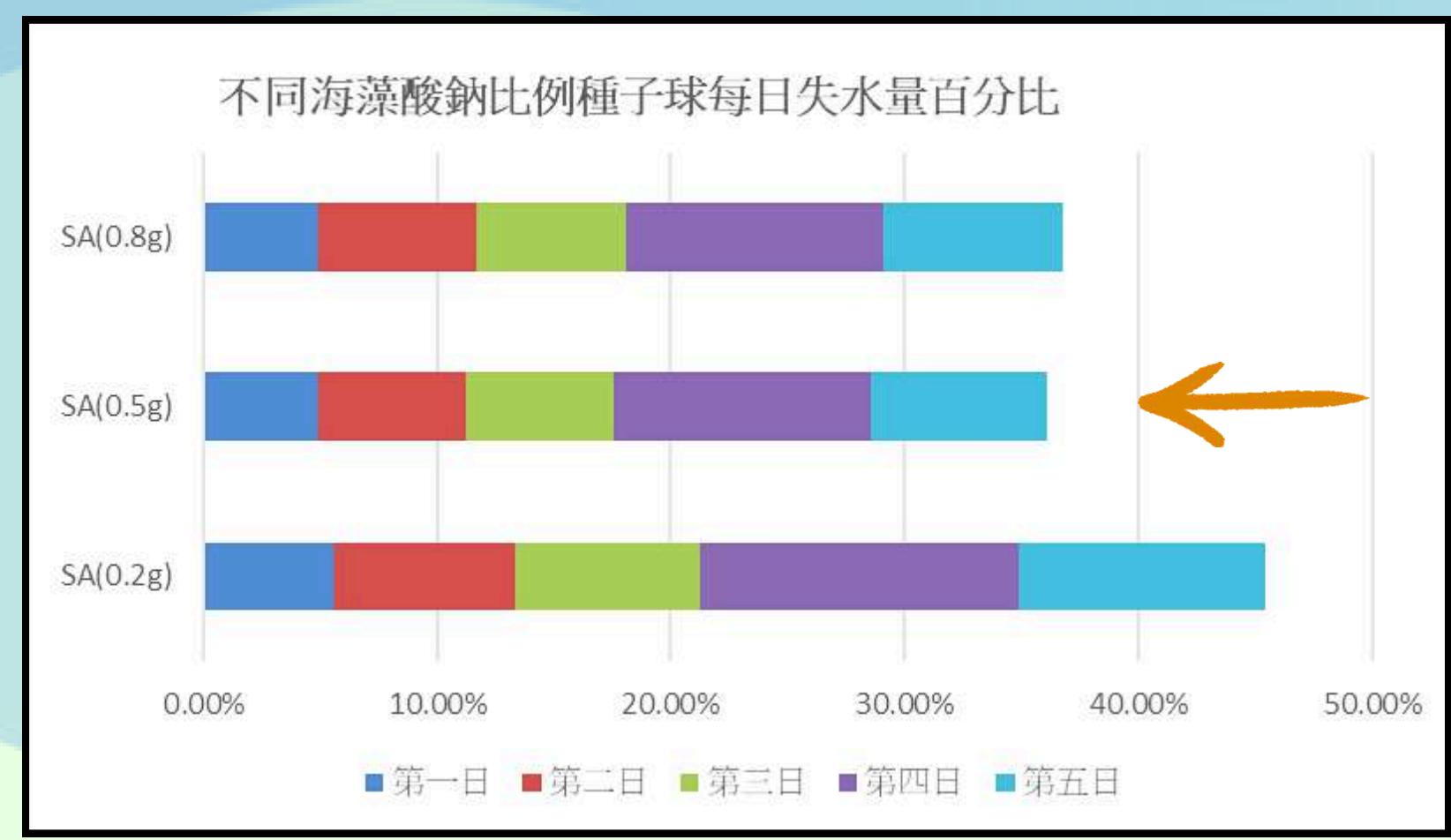


圖5

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

* 配製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。

* 依上述方法，分別調配出每40公克含0.5公克（MC0.5g）、每40公克含0.8公克（MC0.8g）的甲基纖維素之種子球進行實驗。

結論：種子球添加MC0.5g累計失水僅38.40%，相較添加MC0.8g的43.09%兩者差異達4.69%（表3、圖6）。

	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3

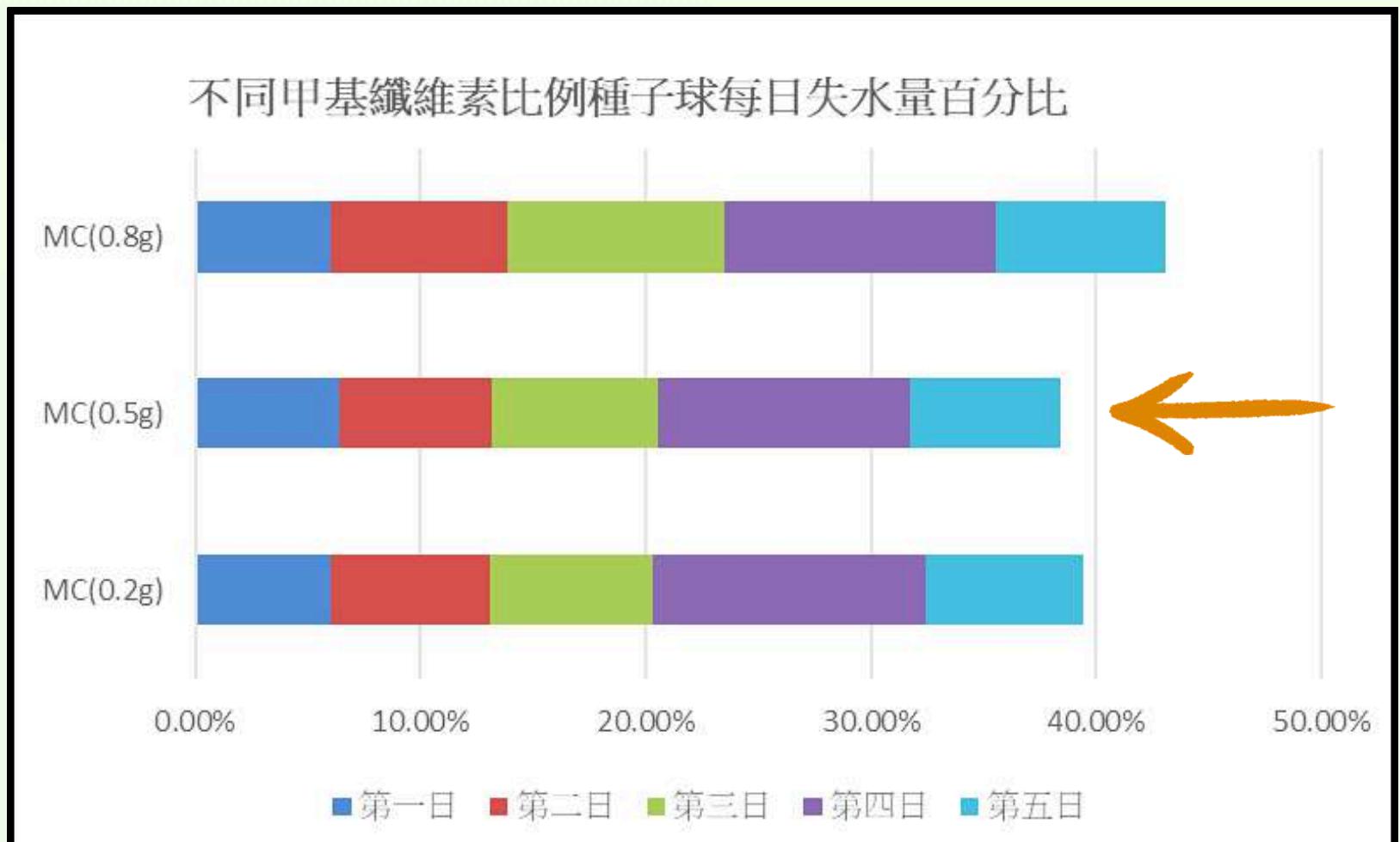


圖6

實驗4：添加羧甲基纖維素鈉 (NaCMC) 種子球保水情形之比較

* 配製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。

* 依上述方法，分別調配出每40公克含0.5公克（CMC0.5g）、每40公克含0.8公克（CMC0.8g）的羧甲基纖維素鈉之種子球進行實驗。

結論：種子球添加CMC0.5g累計失水41.52%，添加CMC0.8g的累計失水為44.02%，兩者差異為2.5%（表4、圖7）。

	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4

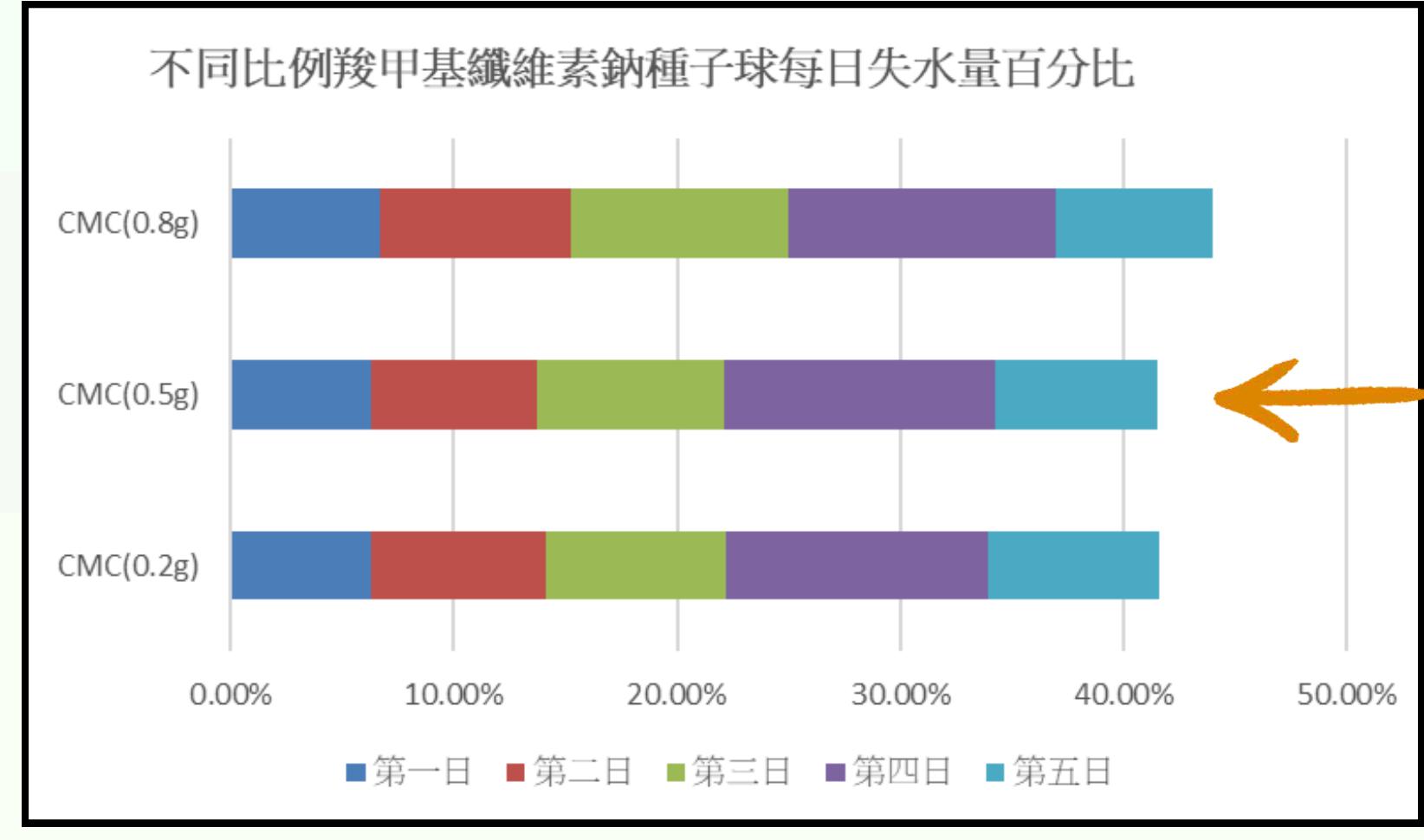


圖7

實驗5：三種混合水膠種子球保水情形之比較

* 配製SA0.4g+MC0.4g、MC0.4g+CMC0.4g及SA0.4g+CMC0.4g 混合水膠種子球取培養土96公克及黏質土64公克攪拌混合均勻（預估一土團約40g），加入水膠組合配制三種配方土，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。



結論：種子球添加SA0.4g+MC0.4g失水僅36.81%，相較添加MC0.4g+CMC0.4g的累計失水率較低，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%。（表5、圖8）

	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5

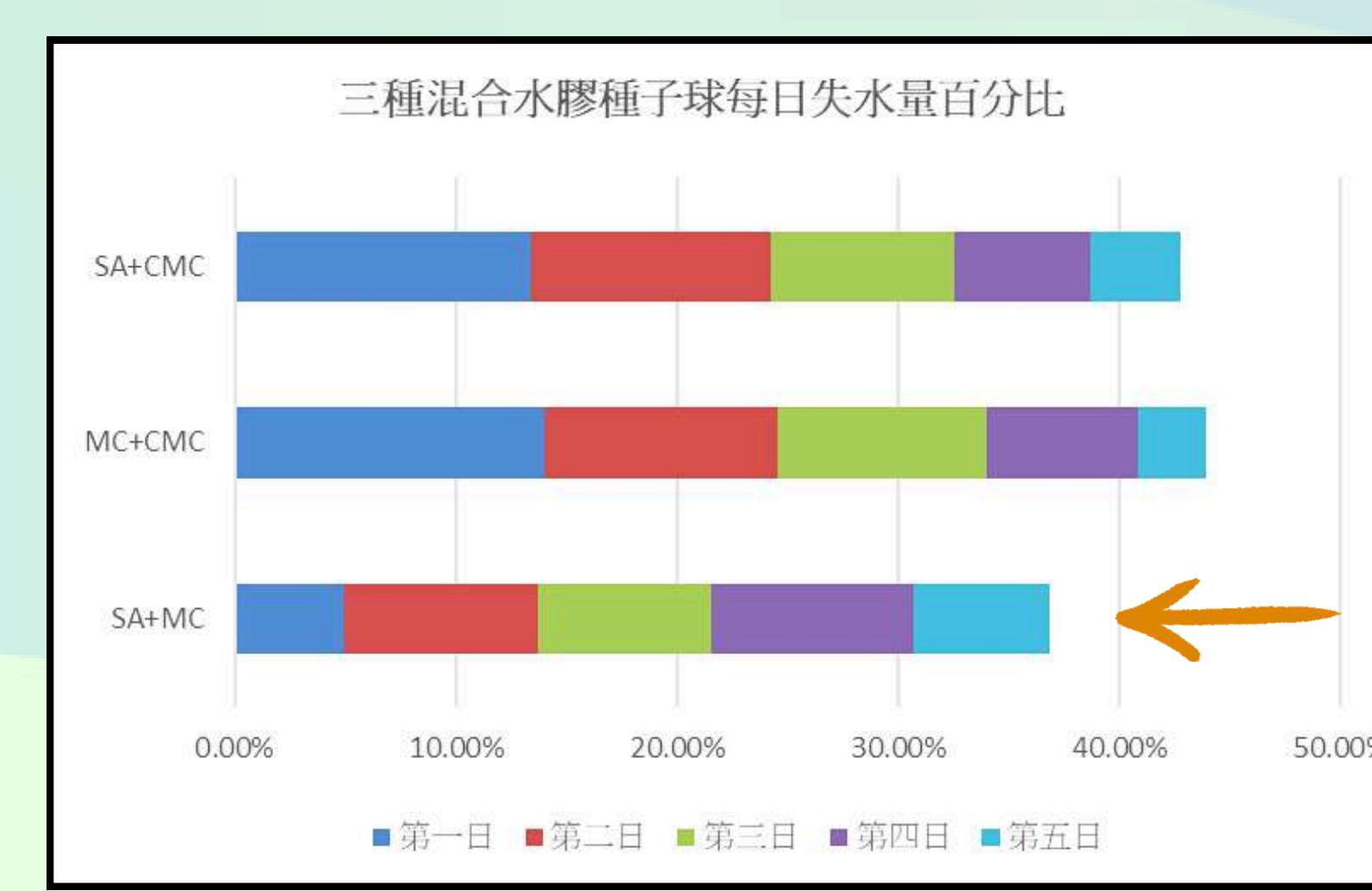


圖8

實驗6：種子球黏性之比較

海藻酸鈉以SA表示，甲基纖維素以MC表示，羧甲基纖維素鈉以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。我們比較項目如下表6，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6

※實驗6-1：土壤溼度最高時種子球黏性之比較

上述之配方土壤加水一直到濕度達最高，土壤表面滲出水膜呈現極度飽和狀態（左版圖3），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（圖9）。使其表面土面平整，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（圖10）。

倒轉坩堝並在坩堝底部擺放水平儀，前後、左右皆要確定水平之後（圖11），開始掛上雙鉤砝碼（圖12、圖13），及至塑膠板掉落並記錄下來重量，一共測量3次，並取最重的兩次紀錄並做成表格。

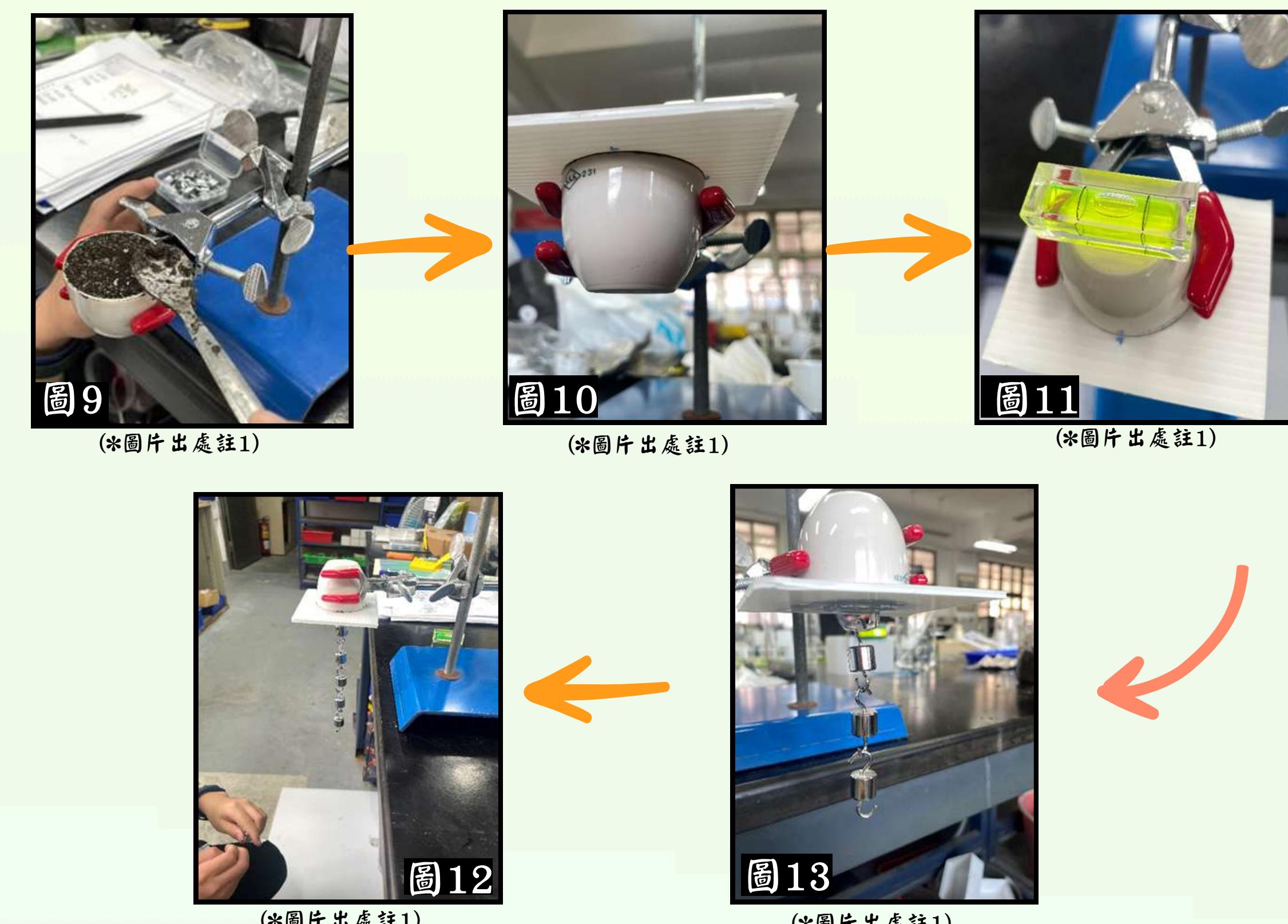


表7

※實驗6-2：調降土壤濕度下種子球黏性之比較

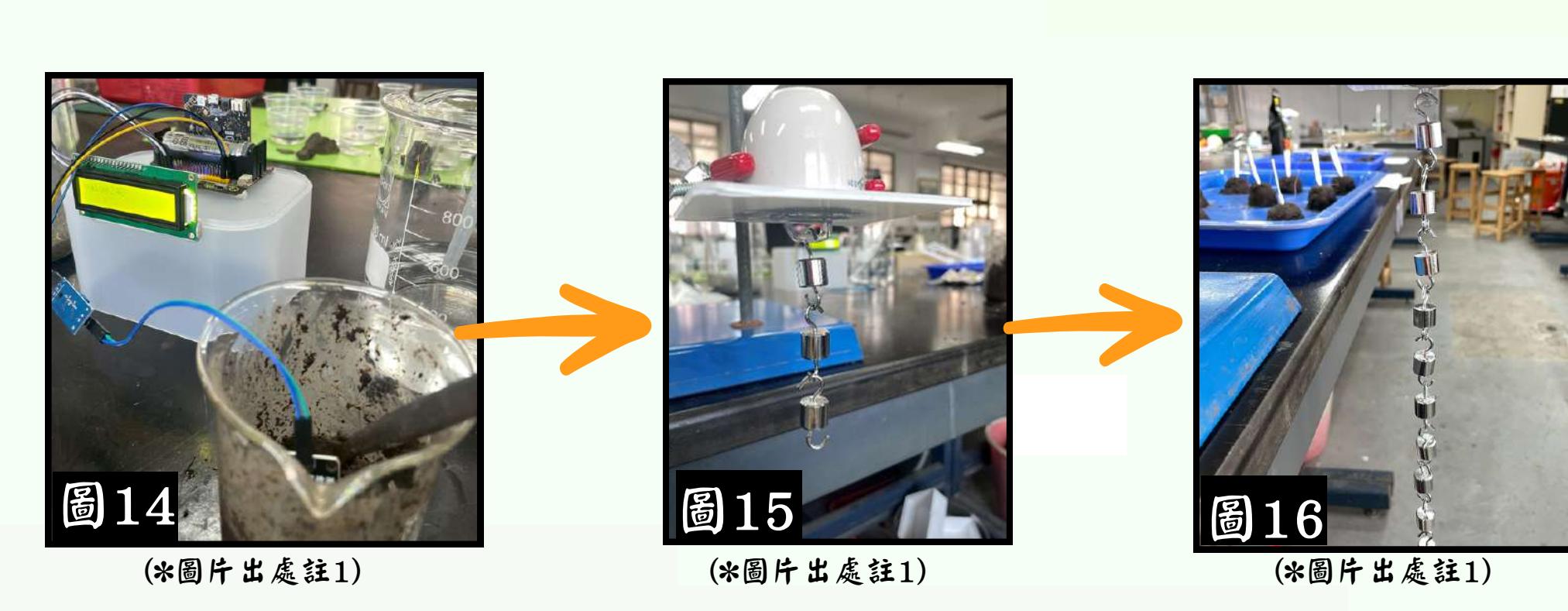
我們取土壤配方保水度較佳的前四名，包括SA-0.5、SA-0.8、SA-0.4+MC-0.4及MC-0.5與40%黏質土的對照組，再做進一步測試。將土壤濕度下調，分別是自製儀器數據240（=土壤濕度87%）以及230（=土壤濕度80%）（圖14），與實驗6-1的方式相同，測量並記錄之（圖15、圖16）。

黏度比較	SA0.8	SA0.5	MC0.8	MC0.5	SA+MC	SA0.2	SA+CMC	CMC0.5	MC0.2	MC+CMC	對照組	CMC0.8	CMC0.2
公克	150	117.5	112.5	94	90	85	70	67.5	65	62.5	57.5	52.5	47.5

表7

※實驗6-2：調降土壤濕度下種子球黏性之比較

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（=土壤濕度87%）以及230（=土壤濕度80%）（圖14），與實驗6-1的方式相同，測量並記錄之（圖15、圖16）。



研究結果：將土壤濕度下調自製儀器數據240以及230下，使用SA-0.4+MC-0.4的組合可以達到222.5公克的黏性承重值（表8），展現了出色的黏著效果。

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8

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%黏質土製作做成20g種子球放置塑膠盤上，每一種子球包入10粒紅藜種子（圖17）。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18）。

※實驗7-2：戶外種植：

1.校園花圃：

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的種子球，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19）。



2.太魯閣崩塌地及佐倉步道戶外種植：

戶外投擲種子球地點選擇兩處，分別為佐倉步道及太魯閣崩塌地（圖20）。太魯閣崩塌地投擲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。

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，SA0.5g、SA0.8g以及SA0.4g+MC0.4g種子球都加入0.2公克的有機肥，採用的原生植物種子有羅氏鹽膚木、茄冬、光臘樹、車桑子及相思樹五種，製作好的種子球先在實驗室培育一周，一日澆水10C.C.，培育一周後將種子球放置太魯閣崩塌地（圖21）及佐倉步道（圖22）。並嘗試以小型無人機模擬投擲SA0.5種子球情形。



研究結果：

*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（表9），有添加有機肥的種子球發芽期較短，發芽率也較高。

	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料				1
有肥料				1
4月1日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	3	3	3	7
有肥料	7	6	5	8
4月2日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	5	8	5	8
有肥料	7	6	6	8
4月3日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	1	6	8	8
有肥料	6	6	5	8
4月4日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	1	6	6	8
有肥料	6	1	8	8
4月5日	SA0.5g	SA0.8g	SA0.4g+MC0.4g	對照組
無肥料	4	6	3	8
有肥料	6	3	5	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	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	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	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
4月10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9

*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，莖葉活力表現良好（圖23、圖24）。

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羅氏鹽膚木種子球已有發芽情形（圖25），以及對照組之相思樹種子球有發芽（圖26）。無人機投擲SA0.5種子球具一定黏度，投擲時有散落但仍保持團塊（圖27）。



圖23

圖24

圖25

一、

1.實驗初期採用培養土及黏質土兩種土做實驗。後考量裸露的土坡佈滿礫石之狀況，改良配方以降低失水率並提升黏著度為主要目標。

2.海藻酸鈉、甲基纖維素與羧甲基纖維素鈉可作為天然土壤改良劑，提升土壤保水性。

3.對照組土壤與加入海藻酸鈉SA-0.5g相比之下，3天後土壤溼度相差9.32%（表10、圖28），5天後土壤溼度相差2.55%。

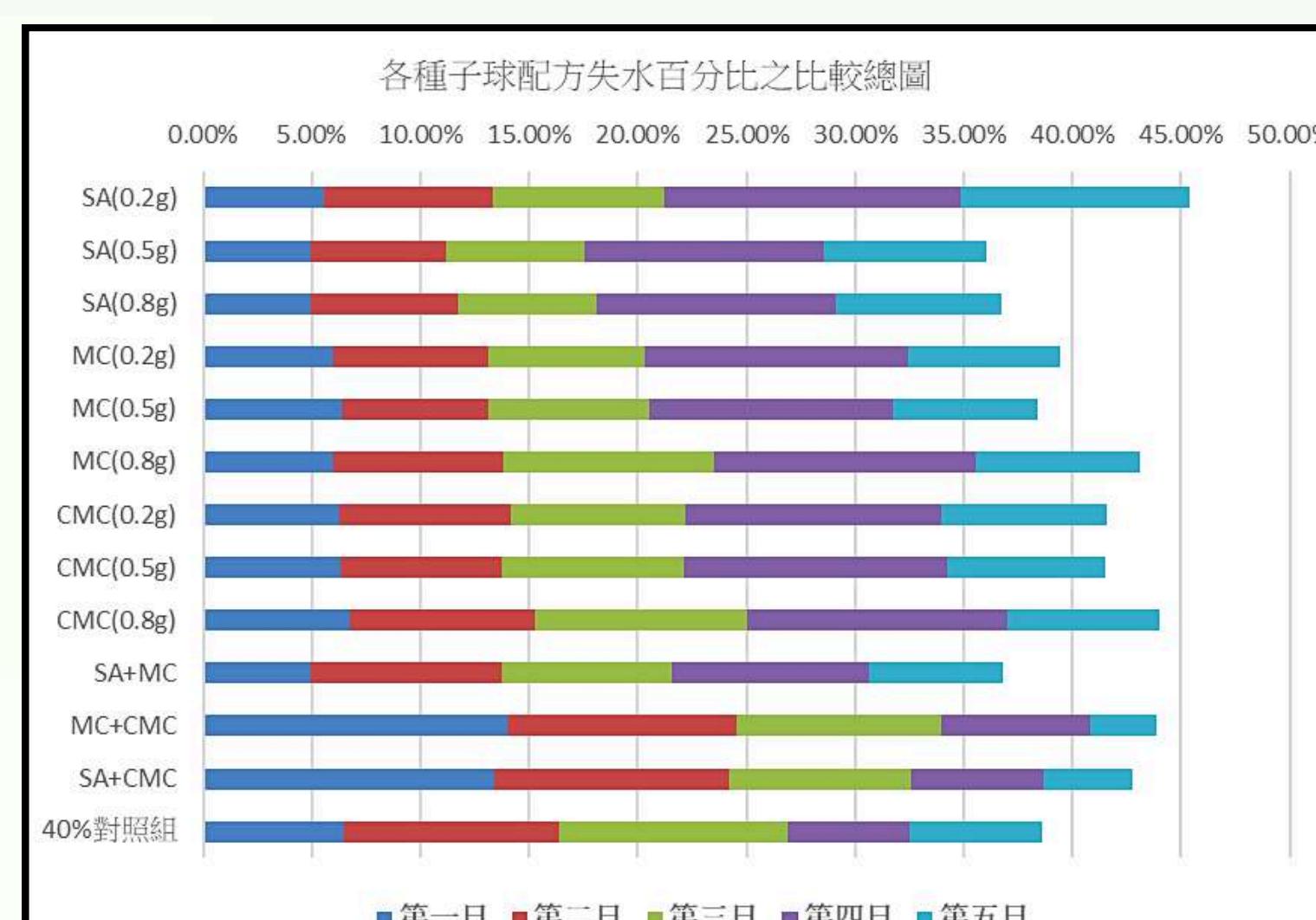


表10

4.戶外播種的比較下，一天後SA的土團顏色較深代表保水度良好，比起SA+MC及對照組有明顯的保水表現（圖29）。

5.戶外播種的種子球種子發芽快又粗壯，比實驗室種植更具活力。



圖29

二、戶外投擲種子球於岩板之情形

在進行戶外播種種子球的比較下，海藻酸鈉及甲基纖維素混合配方（SA+MC）種子球在土壤乾燥後仍有良好的黏著力，相較之下，海藻酸鈉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（圖30、31）。後續種子球發芽情形亦良好（圖32）。



圖30



圖31

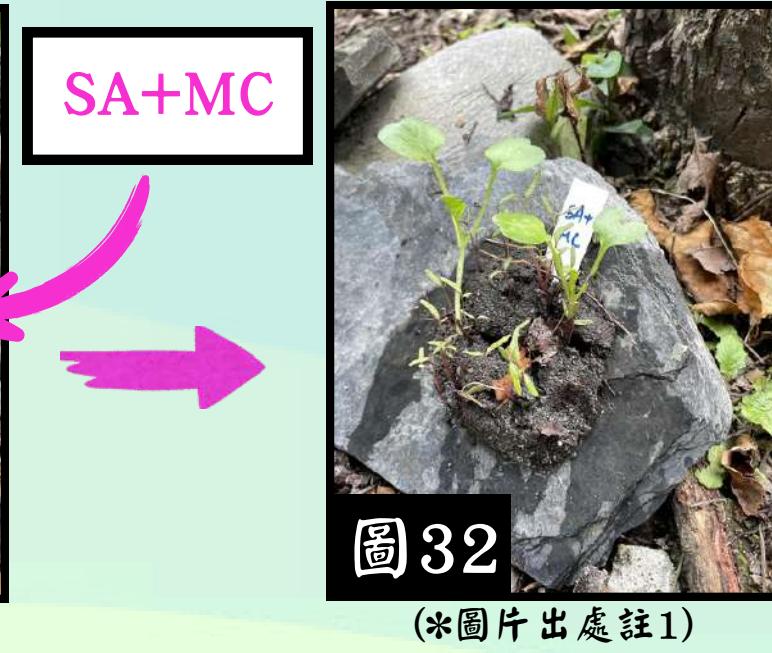


圖32

三、黏著度以及保水度合併比較結果

合併比較高濕度下（ $\approx 91\%$ ）之黏著度以及保水度，可以推論出較佳的種子球配方組合有三種配方（表11），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），皆適合進行無人機種子球投擲。

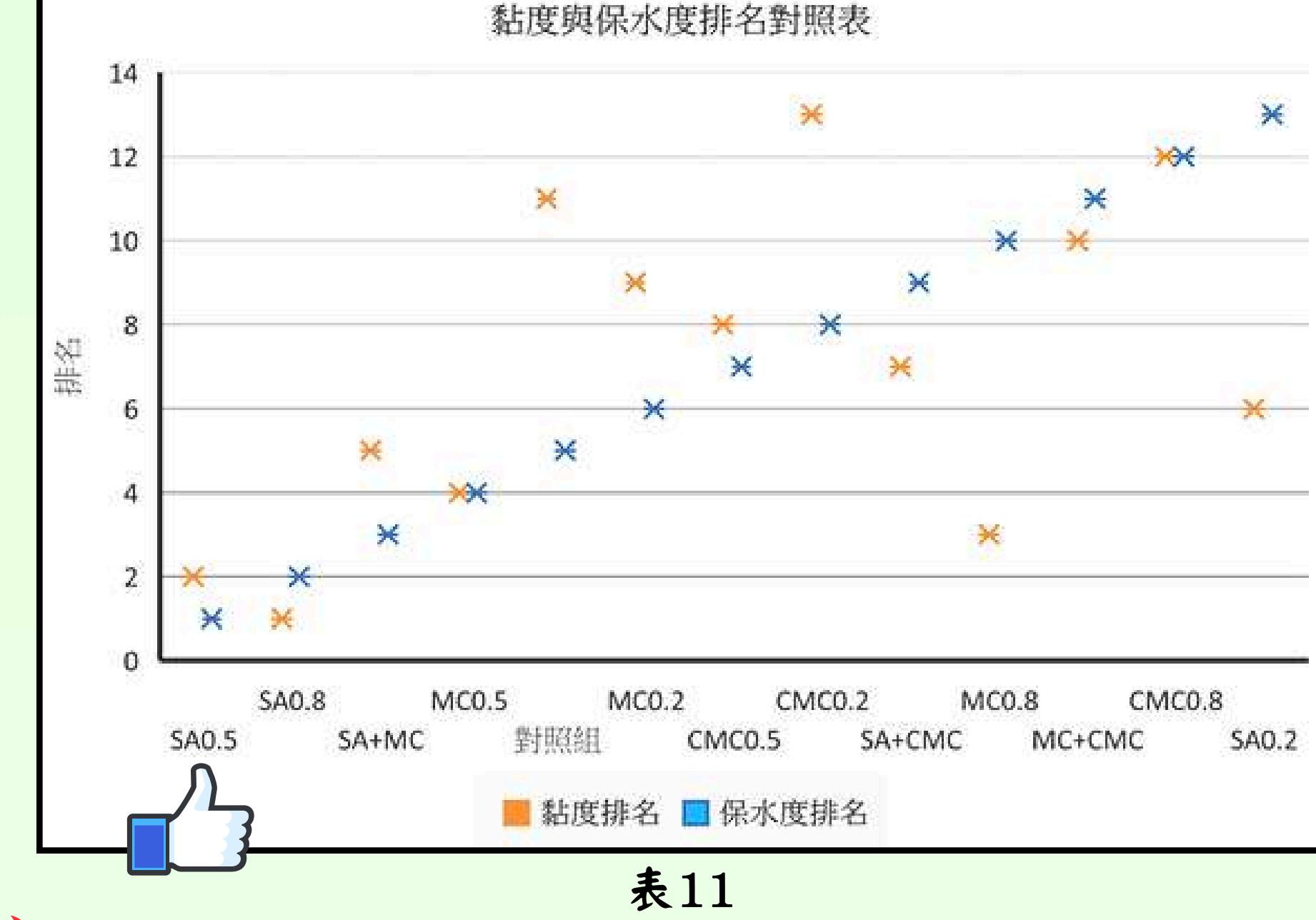


表11

0403地震後，清水斷崖、中央山脈及太魯閣等高山林地出現大面積高坡裸露，傳統噴植工法無法施作（圖33、圖34、圖35），若強勢外來種如銀合歡入侵，將造成山林生態難以逆轉的變化。

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，當土壤中的水分調整至自製儀器數據240（ $\approx 87\%$ ）時，使用SA-0.4+MC-0.4的組合可以達到甚至222.5公克的承重值，展現了出色的黏著效果。讓種子球在高空投擲後可以穩定地附著於裸露之坡地表面，增加山林植被復育成功率。



圖33



圖34



圖35

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，在實際測量土壤濕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濕度計計量如下（表12）。

自製土壤濕度計	市售土壤濕度計
value 250	$\approx 91\%$
value 240	$\approx 87\%$
value 230	$\approx 80\%$

表12

陸、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，或許也可為其他受損生態系統的修復提供解方。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人力難以到達的地區，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。

柒、參考資料及其他

- 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(1), 2018。
- 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
- 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。