

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生物科

佳作

080309

種子總動員－探討甜羅勒在微重力、離心力與
磁場等太空模擬環境下之生長情形

學校名稱：彰化縣彰化市南郭國民小學

作者： 小五 林品均 小五 吳京澤 小五 廖恆毅 小五 張峻維 小五 張瀚升	指導老師： 楊青窈 吳嘉明
---	-----------------------------

關鍵詞：甜羅勒、微重力、磁場

摘要

本研究為「探討甜羅勒在微重力、離心力與磁場等太空模擬環境下之生長情形。」研究目的之一為比較地面與太空人甜羅勒株高、子葉與新葉的生長，之二為設計實驗裝置模擬太空環境(微重力、離心力與強磁場)並觀察甜羅勒的生長。主要研究結果如下：1.太空組較地面組更快長出子葉且都高於地面組植株。2.甜羅勒於微重力環境時較快發芽，根有些呈弧形，處於正常重力時則根呈直線形。3.甜羅勒在有離心力的環境較快發芽且根呈弧形，處於無離心力環境時其根呈直線形。4.外加強磁場時，甜羅勒發芽率較高且子葉大小較平均，根較長。5.甜羅勒成熟植株在外加強磁場後，生長初期速度增加，而後趨緩，而無外加強磁場的甜羅勒成熟植株之生長趨勢則相反。

壹、研究動機

2020 年台灣參與了「亞洲種子上太空(Asian Herb in Space, AHiS)」，這是屬於「太空種子亞洲未來 (Space Seeds for Asian Future, SSAF)」的第三波計劃。這個計畫共有兩階段的任務，第一階段是太空人在太空站種植甜羅勒，第二階段是地面種子上太空七個月不拆封再原封不動回地球種植的計畫。在第二階段的種子上太空計畫中，參與計畫的各個國可以選擇不超過 50 克的種子送上太空，種子種類不限。由於美日有不能進出口任何稻米種子的規定，所以台灣只能捨棄最具有代表性的台灣米，而最終挑選了兩種台灣原生種與兩種作物植物的種子送上太空，分別是：姬蝴蝶蘭、台灣藜，已經知道完整生長過程的番椒，和可以觀賞也可以提供油脂的向日葵。這些種子經過了長達 7 個月的太空旅行後，已於 2021 年 7 月 10 日返抵地球。

課堂中老師介紹了太空人野口聰一（のぐち そういち）在日本希望號（きぼう，Kibō）實驗艙裡甜羅勒的 30 天種植紀錄，這些種植紀錄在太空人的推特上用照片與文字呈現了甜羅勒每一天的生長環境與生長情況，在種植紀錄中記載著如何種植、對於甜羅勒的期許、甜羅勒的株高、新葉生長情形……等。野口聰一每天記錄時觀察後衍伸的提問，例如：莖向上生長，在太空艙的甜羅勒根會如何生長呢？過程中有一實驗盒在太空組好像長黴菌了，另外一組健康的甜羅勒在第三十天長到實驗盒的頂端 63.5mm 後送到-80 度 C 的冷凍櫃中。閱讀這些資料我們好奇植物在太空中跟在地面上的生長情況會一樣嗎？因此，我們決定在地面種植甜羅勒並進行觀測紀錄，之後與太空人的甜羅勒種植紀錄進行對比，了解植物在太空上與在地面上的生長情況是否會有不同？



圖 1-1 太空羅勒生長紀錄(JAXA 網頁)

圖 1-2 太空人野口聰一的推特

圖 1-3 台灣種子上太空網頁

中年級的課堂裡我們知道植物生長的三要素是陽光、空氣、水，三者缺一不可，也知道調整生長三要素量的不同將造成植物生長有不同的樣態，這次太空人將種植地點從地面改成遠在地球表面四百公里的國際太空站內，太空與地面的環境有很多不一樣的地方，我們藉由閱讀影片、書籍、網路新聞更認識太空的環境，本組想要探討甜羅勒不同太空模擬環境下之生長情形，便設計了這次的實驗。

貳、研究目的

本研究之研究目的有二，其一是在地面環境下種植甜羅勒，並與太空人的甜羅勒種植紀錄進行對照，目的是為初步探討甜羅勒種子在太空與地面環境下之發芽與生長情形是否具有差異?其二是我們預計設計出不同的實驗裝置來模擬太空環境，包括微重力、離心力、與不同磁場的等不同生長環境，並觀察在這些環境下甜羅勒的生長情形，以此能夠更進一步了解在太空環境下影響甜羅勒種子發芽與生長情形的重要因素為何?據此研究目的，本研究之研究問題如下：

【於地面種植甜羅勒並對照太空組(太空人野口聰一種植紀錄)之生長情形】

一、觀察與比較地面組甜羅勒與太空組甜羅勒(太空人野口聰一種植紀錄)於 30 天中之生長情形是否具有差異?

【關於微重力: 製作失去方向的裝置模擬太空微重力環境】

二、甜羅勒在失去方向裝置中(微重力)與平放(正常重力)的發芽與生長情形是否具有差異?

【關於離心力: 製作旋轉裝置模擬太空站的離心力環境】

三、甜羅勒種子在旋轉裝置中(有離心力)與平放(無離心力)兩種不同環境的發芽與生長情形是否具有差異?

【關於磁場:以海爾貝克陣列模擬太空站的強磁場環境】

四、甜羅勒種子在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)與一般環境(無外加強磁場)下的發芽與生長情形是否具有差異?

五、甜羅勒成熟植株(植物種植 70 天後)在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)與一般環境(無

外加強磁場)下的發芽與生長情形是否具有差異?

參、文獻探討

(一)太空種植

美國國家航空暨太空總署（簡稱 NASA）將於 2030 年代開啟火星之旅，如果能在太空種植農作物，將可相對減少物資補給量，對改善太空站以及飛船內的空氣及水交換也能起重要作用。事實上，1969 年人類成功登陸月球後，1977 年科學家種植不同的植物（圖 4-1-1），並觀察了它們如何受到太空中輻射、磁場、微重力的影響，也是從那時起，科學界開始了解到有關太空環境對種子發芽，代謝，遺傳，生物化學以及種子生長的知識。



圖 4-1-1 太空種植大事記

「亞洲種子上太空(Asian Herb in Space, AHIS)」屬於「太空種子亞洲未來 (Space Seeds for Asian Future, SSAF)」的第三波計劃。此次計畫共有兩階段任務，第一階段為太空人於太空站種植甜羅勒及聖羅勒的實驗；第二階段則為種子上太空的計畫，也就是本次台灣參與的種子上太空計畫。2020 年 4 月，中興大學農業暨自然資源學院接到來自國家太空中心的邀請，挑選臺灣種子送上太空，以了解太空環境對種子的影響。這些種子上經過了 7 個月的太空旅行，已於 2021 年 7 月 10 日抵達地球。



圖 4-1-2 2020 種子上太空計畫時程表

台灣第一次參與了種子上太空的計畫，在同一個太空艙內日本太空人野口聰一種植了甜羅勒 30 天並公開紀錄結果在網頁上，引發了我們想要在地面也一起種植甜羅勒的念頭，想要同步觀察太空組與地面組的種植結果。

(二) 甜羅勒

羅勒一般有甜羅勒、檸檬羅勒、紫葉羅勒、肉桂羅勒、泰國甜羅勒及非洲藍羅勒。羅勒（學名：*Ocimum basilicum*），是一類可用於烹調的香草。它是一種矮小、幼嫩的唇形科香草植物。它的高度在 20~60 公分之間。莖方形，多分枝，常帶紫色；葉子卵形或卵狀披針形，對生，背面有腺點，淡綠色和長有細毛，約 1.5 公分長和 1~3 公分寬。它帶有的強大、刺激、香的氣味，味道像茴香。根部為軸根。因為在太空中，太空人的味覺會比較遲鈍，所以甜羅勒的香氣可以刺激太空人的食慾，照顧太空人的身心。

在台灣較常聽到的羅勒就是九層塔(泰國羅勒)，當我們在種子店購買羅勒種子時，老闆給了我們九層塔的種子，但是在分類上甜羅勒與泰國羅勒仍舊不同，所以，我們在網路購買來自美國的甜羅勒種子當作地面組甜羅勒的種植種子。

在 30 天種植甜羅勒的過程分成：長根、長出子葉、長出新葉等三個階段，本研究在觀察甜羅勒時也將針對根的生長速度、根的型態，子葉的開啟後的角度、顏色，新葉初生的時間進行觀察、拍照與記錄。

(三) 微重力與植物的生長

人們在地球上會受到地球引力的影響，而產生所謂的「重力」。當太空人離開地球到太空中，失去了地球的引力，會產生失重的狀態，又因為並非完全失去重力（重力=0），因此，也將這種狀態稱作「微重力」。

不過，在地球上的我們有時候也可以感受到「微重力」的狀態，例如：在電梯中站在體重計上，電梯啟動加速向下的那一瞬間，我們身體感覺到漂浮的狀態，並且體重計上顯示重量為零，就很類似太空人所在的「微重力」狀態。

「重力」帶給地球上的生命有方向感，因為重力將我們吸在地面上，於是我們有了上、下、左、右的方向，若是在距離地球遙遠的國際太空站只能感受到「微重力」，在實驗艙內感覺到飄浮失去方向，查閱相關資料，微重力對於植物的生長情形只能在國際太空站的實驗艙進行，本組想要製作一個模擬太空站內微重力讓種子失去方向的裝置，觀察在失去方向的裝置內它的發芽率與生長情形。

(四) 離心力與植物的生長

「亞洲種子上太空(Asian Herb in Space, AHIS)」的種子將在國際太空站放置七個月，甜羅勒也在國際太空站進行太空組的種植。國際太空站是地球軌道上最大的衛星，也是太空中最

大的人造物體，其大小約有一個足球場這麼大。國際太空站在距離地球表面 400 公里高的低地球軌道上運行，並且以每秒約 7.7 公里的速度繞行地球。以這個速度繞地球一圈只需要 93 分鐘，所以太空站每天會繞行地球 15.5 圈（這也表示太空站上的太空人每天可以看 15 次以上的日出與日落）。

國際太空站繞著地球旋轉會產生一股離心力，平常我們種植植物多是平放在盆栽當中，這次野口聰一將甜羅勒種植在希望號實驗艙內，它每天繞行地球 15.5 圈，在「植物的根一定向地心生長嗎?-探討離心力對植物生長的影響」中曾經利用綠豆來探討離心力對於植物的生長情形，發現轉速快時，根背向馬達軸心生長，轉速慢時，離心力對豆苗生長失去作用，所以根朝地面方向生長。本研究觀察平放與處在離心力的種子它的發芽率與根的生長外型。

(五) 磁場對生物的影響

在電磁學裡，磁石、磁鐵及電流，都會產生磁場。地磁場是指將地球內部表示為一塊大磁鐵，其指南極是在地球的地磁北極下面很深的位置(如右圖 4-1-3)。

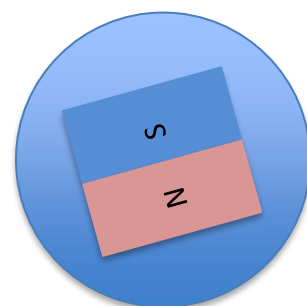


圖 4-1-3

在太空中會直接受到太陽磁場的影響(如下圖 4-1-4)，太陽磁場的基本強度大約為 1 高斯而當太陽活動變得活躍時，太陽磁場也會隨之增強，有時甚至可達到上千高斯，而地球的磁場基本強度大約為 0.25~0.65 高斯且不太會有劇烈變化。在太空站的植物有可能會受到太陽磁場變化的影響，而在生長過程中受到較強磁場的作用；在地面上，植物不會暴露在如此強大的磁場下進行生長。太陽磁場、太陽風不斷地吹拂著行星，與地球磁場作用，進而影響我們的日常生活，此外，不少動物可以感知地磁場，例如某些鳥類會在遷徙過程中用地磁場來導航。那麼磁場在植物生長中會扮演什麼角色呢？我們想知道磁場差異對於甜羅勒的發芽與生長會有什麼影響呢？

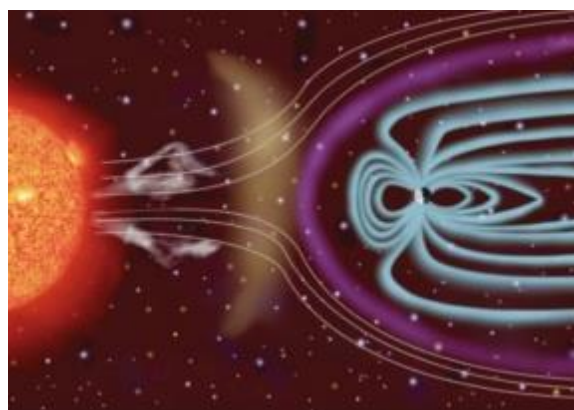


圖 4-1-4 太陽風、日冕噴發物與地球磁場交互作用的示意圖

(六)海爾貝克陣列 Halbach Array

想知道磁場在植物生長中會扮演什麼角色？搜尋到 1979 年美國學者海爾貝克發現磁鐵若以此種型式排列，會使磁極的效果瞬間暴增，讓磁鐵一邊產生較強的磁場。查閱資料其中第十八屆科展作品指出磁場強度與植物生長速率為負相關，過強的磁場會抑制主根生長(陳家成、鄭英志，1978)推測磁場可能會干擾生長素的分泌或作用，導致其生長速率較慢。本實驗參考海爾貝克陣列利用五個邊長一公分的強力磁鐵排列而成，放在種子旁邊觀察記錄，也放在種植 70 天後已經長出新葉的甜羅勒小苗旁，想觀察地球原本的磁場與外加一個較強的磁場對於甜羅勒發芽與已經生長的植株的情形。

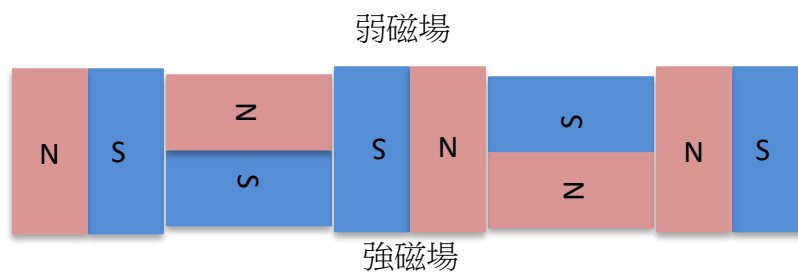


圖 4-1-5 海爾貝克陣列

(七)植物生長與環境因子

生長素是植物體內自行產生的物質，生長素控制或改變植物的生長過程，例如葉片和花朵的形成、莖部伸長及果實的發育與成熟。生長素不是營養物質，卻能影響細胞和組織的生長發育和分化。植物組織內生長素的合成通常是分散的，而不是集中在一處。

◆重力對於生長素的影響：因重力(地心引力)關係，使下側生長素較多，而背地側生長素較少。

◆磁場對於生長素的影響：第十八屆科展作品指出磁場對植物各部位生長有影響，但是這個部分的研究還沒有明顯的趨勢。

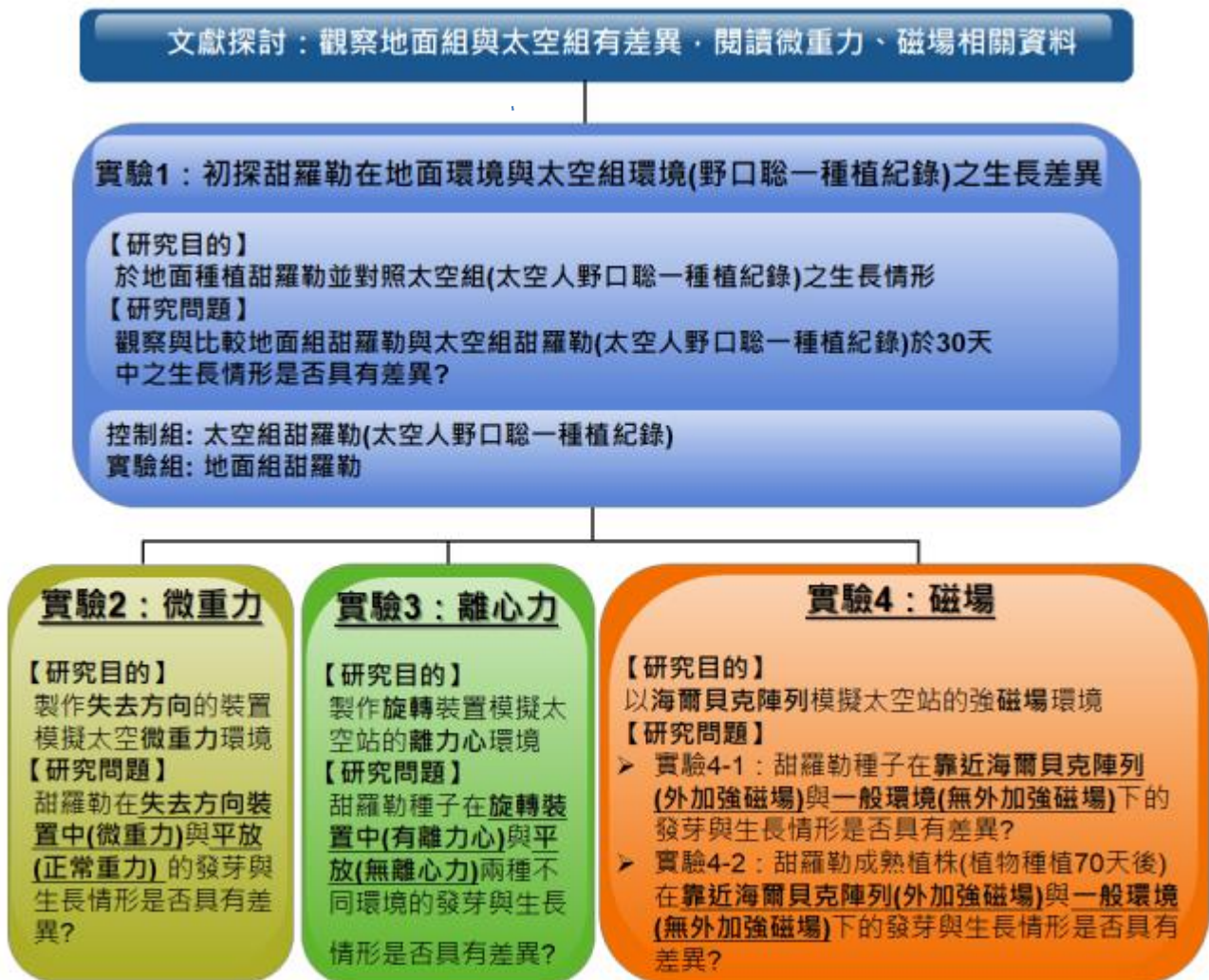
植物生長過程的每一階段都受到環境的影響與控制，通常稱非植物生長最適宜的環境條件為逆境，逆境可能讓植物面對死亡，也可能影響植物生長或改變生理特性，植物為了生存必須發展出適應環境的能力。在本研究中模擬太空環境，如微重力、離心力、磁場可能對植物而言就是一種逆境，因此可能會改變植物的生理特性。

肆、研究設備及器材

			
甜羅勒種子	岩綿	土壤	夾鏈袋
			
15 倍放大鏡	uhandy 顯微鏡	扭蛋球	鑷子
			
熱熔膠	沉水馬達	尺	鋸子
			
失去方向裝置-模擬國際太空站微重力	旋轉裝置-模擬國際太空站有離心力	旋轉裝置-模擬國際太空站有離心力	海爾貝克陣列-模擬太空強磁場

伍、研究過程與方法

一、研究架構與研究流程



二、實驗設計

【實驗 1：觀察與比較地面組甜羅勒與太空組甜羅勒(太空人野口聰一種植紀錄)於 30 天中之生長情形是否具有差異?】





從 JAXA 網站上取得在太空種植甜羅勒的生長情形與生長數據，仿照日本太空人野口聰一的在國際太空站希望號實驗艙的實驗，也在學校利用岩綿與一公升盒種植三十天的甜羅勒，並在種植 30 天之過程中進行觀察與比較，以了解地面組甜羅勒與太空組甜羅勒(太空人野口聰一種植紀錄)兩者之生長情形是否具有差異? 實驗 1 之實驗設計與變因、材料及設備、實驗流程如下所述。。

◆**實驗設計與變因：**

控制變因	每天澆水 10C.C.、種植於岩綿中
操縱變因	實驗組:地面組甜羅勒 控制組:太空組甜羅勒(太空人野口聡一種植紀錄)
應變變因	植株生長高度、子葉生長、新葉生長

◆**材料及設備**：甜羅勒種子、土壤、盆子、針筒、尺、手機、國際太空站種植網路資料。

◆**實驗流程**：

			
STEP1: 下載太空組的資料並依照太空組的資訊進行表格設計與紀錄比對。	STEP2: 盆子裝八分滿的土壤，放入種子。	STEP3: 每天利用針筒澆水 10C.C.。	STEP4: 觀察並以文字及圖像紀錄種子發芽及生長情形。

【實驗 2：甜羅勒在失去方向裝置中(微重力)與平放(正常重力)的發芽與生長情形是否具有差異?】

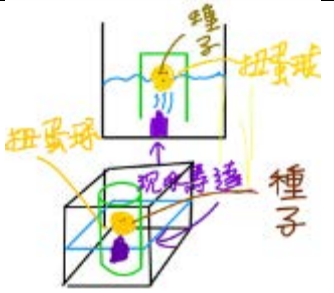
閱讀文獻得知在太空有微重力，植物生長時生長素會受重力影響而沉澱，但是，微重力帶給種子失去方向的環境，在地面上始終都受到重力的影響，我們想要探討微重力對植物生長是否會產生影響，因此我們製作失去方向的裝置來模擬太空中的微重力環境，首先我們想到利用白努力定律，使用吹風機將保麗龍球藉由氣流飄浮在空中，但是測試後，這樣的裝置無法持久且無法使保麗龍球產生方向的改變，所以我們利用風扇、軌道、超音波清潔儀...等方式進行一系列的測試(圖 4-3-2-1~4-3-2-4)，但是都無法順利讓保麗龍球以及扭蛋球持續改變方向，苦思許久後仍無解法，後來同學在配眼鏡時看到店家招財風水球的裝置是利用水流讓風水球不間斷地旋轉，這帶給我們靈感，查了風水球的構造及原理後發現此裝置是用沉水馬達作為動力驅動水流而使風水球可以藉由水流產生旋轉效果，因此我們決定嘗試用沉水馬達製作裝置，讓扭蛋球可漂浮在水面上，並利用沉水馬達提供水流讓扭蛋球旋轉而產生失去方向的效果。實驗裝置之發想、測試過程、困境與修正情形一覽表如下所列(表 4-3-2-1)：

			
圖 4-3-2-1	圖 4-3-2-2	圖 4-3-2-3	圖 4-3-2-4

表 4-3-2-1 實驗裝置之發想、測試過程、困境與修正情形一覽表

發想	測試	困境	修正
能夠飄浮在空中	吹風機+保麗龍球	時間不能過長	改用風扇
風扇		保麗龍球只能隨著風扇擺頭時旋轉，沒有辦法失去方向。	1. 使用一條線與保麗龍球連接。 2. 製作風罩讓球遵循白努力定律改變位置。
軌道		軌道車上的保麗龍球跟著車子繞軌道但是球本身沒有在車上有其他的運動	增加球本身的彈跳或者其他方向的運動
超音波		超音波讓綠豆在原地鎮段看不出產生其他方向的移動	放棄超音波
水	 沉水馬達	利用沉水馬達製造持續地水流使扭蛋球不規則且持續的轉動	成功

最終版的裝置設計圖

	原理：將種子裝在夾鏈袋中，放入直徑 3 公分的扭蛋球內，在水桶內放入沉水馬達，將手搖飲料的杯子蓋住扭蛋球與沉水馬達，利用沉水馬達製造永續的水流讓扭蛋球不停的不定向的轉動。
---	---

實驗 2 之主要目的為探討甜羅勒在失去方向裝置中(微重力)與平放(正常重力)的發芽與生長情形是否具有差異? 實驗 2 之實驗設計與變因、材料及設備、實驗流程如下所述。



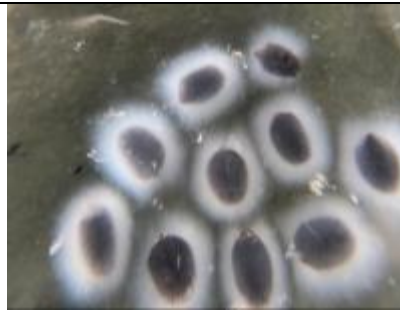
◆實驗設計與變因：

控制變因	10 顆種子放入在夾鏈袋中並加入 10C.C.的水，最後將裝有種子的夾鏈袋放進扭蛋球
操縱變因	實驗組: 甜羅勒在失去方向裝置中(微重力)

	控制組: 甜羅勒在平放中(正常重力)
應變變因	發芽率、根的生長情形

◆**材料及設備**：甜羅勒種子、扭蛋球、沉水馬達(製作成失去方向的裝置)、夾鏈袋、15 倍放大鏡、uHandy 顯微鏡 (10x~120x)、手機。

◆**實驗流程**：

		
<p>STEP1:種子 10 顆裝進夾鏈袋中，加水 10C.C.，排開夾鏈袋空氣將封口封住。</p>	<p>STEP2:夾鏈袋裝進扭蛋球內，一個平放在水面上，一個放在失去方向裝置內。</p>	<p>STEP3:利用 15 倍放大鏡、uHandy 顯微鏡 (10x~120x) 及手機拍照觀察種子發芽情形。</p>

【實驗 3.1：甜羅勒種子在旋轉裝置中(有離心力)與平放(無離心力)兩種不同環境的發芽情形是否具有差異?】

除了實驗 2 想要模擬微重力讓種子在失去方向的裝置內生長之外，國際太空站在地表 400 公里以外的高空繞行地球以每秒約 7.7 公里的速度繞行地球。以這個速度繞地球一圈只需要 93 分鐘，所以太空站每天會繞行地球 15.5 圈（這也表示太空站上的太空人每天可以看 15 次以上的日出與日落）。我們想要探討離心力對植物生長是否會產生影響，因此我們製作旋轉的裝置來模擬太空中的離心力環境，我們找到一個小型可以將風扇平行桌面的電風扇進行改造，先將風扇的保護網拆下，在三片風扇葉片上利用熱融膠黏上扭蛋球，開啟強風的開關，測試扭蛋球是否黏牢、風扇旋轉是否平穩，在經由各項嘗試與修正後完成了我們的旋轉裝置，並利用此裝置探討甜羅勒種子在旋轉裝置中(有離心力)與平放(無離心力)兩種不同環境的發芽與生長情形是否具有差異? 實驗 3 之實驗設計與變因、材料及設備、實驗流程如下所述。

◆**實驗設計與變因**：

控制變因	10 顆種子放入在夾鏈袋中並加入 10C.C.的水，最後將裝有種子的夾鏈袋放進扭蛋球
操縱變因	實驗組: 甜羅勒種子在旋轉裝置中(有離心力) 控制組: 甜羅勒種子在平放(無離心力)
應變變因	發芽率、根的生長情形

◆**實驗材料與設備**：甜羅勒種子、扭蛋球、風扇、膠帶、夾鏈袋、15 倍放大鏡、uHandy 顯

微鏡（10x～120x）、手機。

◆實驗流程：

		
<p>STEP1:種子 10 顆裝進夾鏈袋中，加水 10C.C.，排開夾鏈袋空氣將封口封住。</p>	<p>STEP2:夾鏈袋裝進扭蛋球內，一個平放在旋轉裝置上，一個放在旋轉裝置葉片上。</p>	<p>STEP3:利用 15 倍放大鏡、uHandy 顯微鏡（10x～120x）及手機拍照觀察種子發芽情形。</p>

【實驗 3.2：甜羅勒種子在旋轉裝置中(有離心力)與平放(無離心力)兩種不同環境的發芽與生長情形是否具有差異?】

在實驗 3.1 中，我們探討了甜羅勒種子在旋轉裝置中與平放兩種不同環境的發芽情形，因為扭蛋球內只能記錄到前四天，我們找到了商店內旋轉的展示器(經由通電可以長時間不間斷地旋轉)還想知道在旋轉裝置與平放下的發芽與生長情形是否具有差異? 實驗 3.2 之實驗設計與變因、材料及設備、實驗流程與實驗紀錄表格如下所述。

◆實驗設計與變因：

控制變因	利用手搖飲料杯種植 10 顆甜羅勒種子
操縱變因	實驗組: 甜羅勒種子在旋轉裝置中(有離心力) 控制組: 甜羅勒種子在平放(無離心力)
應變變因	發芽率、根的生長情形、株高

◆實驗材料及設備：甜羅勒種子、土壤、打兩個洞的塑膠盒、手機。

◆實驗流程：

		
<p>STEP1:種子 10 顆種子種植在盆栽內。</p>	<p>STEP2:將實驗組放在旋轉裝置上，控制組平放在桌面上。</p>	<p>STEP3:紀錄甜羅勒小苗生長情形。</p>

【實驗 4-1：甜羅勒種子在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)與一般環境(無外加強磁場)下的發芽與生長情形是否具有差異?】



閱讀資料太陽磁場的基本強度大約為 1 高斯而當太陽活動變得活躍時，太陽磁場也會隨之增強，有時甚至可達到上千高斯，而地球的磁場基本強度大約為 0.25~0.65 高斯且不太會有劇烈變化。在太空站的植物有可能會受到太陽磁場變化的影響，而在生長過程中受到較強磁場的作用；在地面上，植物不會暴露在如此強大的磁場下進行生長。所以我們想要尋找一個較強的磁場來模擬太空中較強的磁場，在資料中查到海爾貝克陣列可以排出最強磁場，一個利用靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)，另一個就是一般環境(無外加強磁場)方式種植。

製作海爾貝克陣列時，因為強力磁鐵吸力很強，所以磁鐵很容易就 NSNSN 吸在一起，思考需要一個邊長一公分的空間將海爾貝克陣列的磁鐵裝起來防止磁鐵彈開轉向，我們找到了錄音帶的空盒子利用鋸子把它鋸開，成功的讓磁鐵可以穩定地提供較強的磁場，海爾貝克陣列實驗裝置之發想、測試過程、困境與修正情形一覽表如下所列（表 4-3-5-1）。

表 4-3-5-1 海爾貝克陣列實驗裝置之發想、測試過程、困境與修正情形一覽表

發想	測試	困境	修正
利用邊長一公分的強力磁鐵排出海爾貝克陣列	 只能 NSNSN 排列	強力磁鐵吸力太強只能 NSNSN 連接沒有辦法排出預期的結果	利用鋸子將錄音帶的盒子鋸開
利用錄音帶盒子的空間將邊長一公分的磁鐵固定避免彈開		注意會彈開的方向作調整	成功

本實驗海爾貝克陣列磁力的強度:

		<p>磁場指的是磁鐵附近磁力作用的範圍，所以我們利用強力磁鐵製作了海爾貝克陣列，測試這個裝置可以吸住吸住 954 克的重物。一般的磁鐵只能吸住 20 克的重物，我們便將植物放在距離這個陣列的 5 公分處，進行實驗。</p>
---	---	---

當製作完成海爾貝克陣列實驗裝置後，即利用此裝置探討甜羅勒種子在靠近海爾貝克陣

列(外加強磁場)與一般環境(無外加強磁場)下的發芽與生長情形是否具有差異? 實驗 4.1 之實驗設計與變因、材料及設備、實驗流程如下所述。

◆實驗設計與變因：

控制變因	10 顆甜羅勒種子種植在盆栽內
操縱變因	實驗組: 甜羅勒種子在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場) 控制組: 甜羅勒種子在一般環境(無外加強磁場)
應變變因	發芽率、子葉大小、子葉顏色、根的長度、新葉

◆實驗材料及設備：種植、海爾貝克陣列磁場、土壤、盆栽、15 倍放大鏡、手機。

◆實驗流程：

		
<p>STEP1:種子 10 顆種子種植在盆栽內。</p>	<p>STEP2: 種子種植在盆栽內，旁邊(5 公分)放置海爾貝克陣列排出最強磁場。</p>	<p>STEP3:紀錄種子發芽情形。</p>

【實驗 4-2：甜羅勒成熟植株(植物種植 70 天後)在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)與一般環境(無外加強磁場)下的發芽與生長情形是否具有差異?】

在實驗 4.1 中，我們探討了甜羅勒種子在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)與一般環境(無外加強磁場)下的發芽與生長情形。我們也好奇當甜羅勒生長為成熟植株後，在有無外加強磁場的狀況下其生長是否仍會持續受到影響呢? 據此，我們進行實驗 4.2，以兩盆種植 70 天的甜羅勒成熟植株作為實驗材料，兩盆種植 70 天的甜羅勒成熟植株除了子葉之外都長出了兩片新葉，同時，在株高量測結果均為 30mm，我們將其中一盆擺在有陽光照射的地方當作控制組，另一盆擺在有陽光照射的地方並在附近擺上海爾貝克陣列提供的外加強磁場當作實驗組，以了解甜羅勒成熟植株(植物種植 70 天後)在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)與一般環境(無外加強磁場)下的發芽與生長情形是否具有差異? 實驗 4.2 之實驗設計與變因、材料及設備、實驗流程與實驗紀錄表格如下所述。

◆實驗設計與變因：

控制變因	種植 70 天的甜羅勒小苗
操縱變因	實驗組: 甜羅勒成熟植株(植物種植 70 天後)在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)

	控制組: 甜羅勒成熟植株(植物種植 70 天後)在一般環境(無外加強磁場)
應變變因	株高

◆**實驗材料及設備**：種植 70 天的甜羅勒小苗、打兩個洞的塑膠盒、15 倍放大鏡、手機。

◆**實驗流程**：

 <p>STEP1: 從樹盆種植 70 天的甜羅勒小苗中，選出最高高度相同的甜羅勒小苗，移植兩盆。</p>	 <p>STEP2: 一盆在陽光照射下並用塑膠盒蓋住，盒上有打兩個洞通風；另一盆也放在陽光照射下旁邊放置海爾貝克陣列排出最強磁場，並用相同的款式的塑膠和蓋住。</p>	 <p>STEP3: 紀錄甜羅勒小苗生長情形。</p>
--	--	--



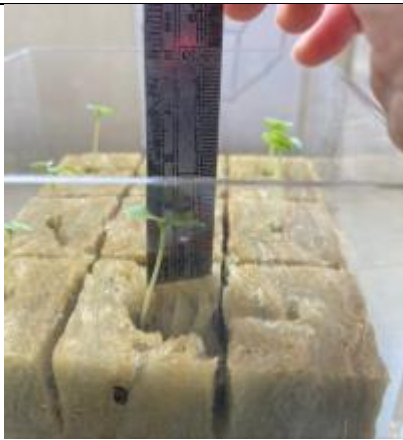
陸、研究結果與討論

根據不同的研究目的及實驗步驟，本組每天量測每株植物的發芽情形與株高並且利用文字與拍照方式記錄甜羅勒生長情況。

【實驗 1：觀察與比較地面組甜羅勒與太空組甜羅勒(太空人野口聰一種植紀錄)於 30 天中之生長情形是否具有差異?】

種植甜羅勒，並仿照太空組的紀錄內容進行種植紀錄，野口聰一的種植中記載著如何種植甜羅勒、特別整理出野口聰一量測甜羅勒株高的數值、長子葉與新葉的時間點和甜羅勒的照片，地面組對照整理出下表（表 5-1-1）。

在紀錄後我們觀察到大家測量結果因人而異，於是討論彼此的量測方式(圖 5-1-1~圖 5-1-3)，定義這次實驗使用鐵尺(邊緣起始點為 0)株高為岩綿為零量測到的結果(圖 5-1-3)。

 <p>圖 5-1-1 植株歪了量到葉子頂部</p>	 <p>圖 5-1-2 為了量株高尺插進岩綿</p>	 <p>圖 5-1-3 尺刻度零貼緊岩綿表面</p>
---	---	---

表中在第 10 天才開始紀錄株高是因為在 JAXA 網站中野口聰一在第 10 天才開始量測，在

記錄內有提到株高的日子分別是第 8、11、15、19、20、27 天。甜羅勒的生長歷程為發芽、長出子葉、長出新葉，所以在觀察紀錄的部分針對發芽、子葉與葉片的數量做紀錄。實驗 1 種植甜羅勒 30 天過程中，種子發芽、長出子葉、長出新葉以及株高等觀察結果、文字與圖片紀錄如下表所示（表 5-1-1）。

表 5-1-1 對照日本太空人野口聰一的實驗進行三十天的甜羅勒觀察

組別 日期	控制組：太空組甜羅勒(太空人野口聰一 種植紀錄)			實驗組：地面組甜羅勒		
	株高(mm)	觀察記錄	圖片	株高(mm)	觀察記錄	圖片
第 3-4 天	-	發芽了		-	沒有動靜	
第 5 天	-	長出 2 片子 葉		2	發芽了	
第 8 天	15	長出 2 片子 葉		12	長出 2 片子 葉	
第 11 天	16	長出 2 片子 葉，長出了 2 片新葉		14	長出 2 片子 葉，長出 2 片新葉	
第 15 天	27	長出 2 片子 葉，長出了 2 片新葉		18	長出 2 片子 葉，長出 2 片新葉	
第 19 天	45	長出 2 片子 葉，長出了 2 片新葉		20	長出 2 片子 葉，長出 2 片新葉	
第 20 天	55	長出 2 片子 葉，長出了 2 片新葉		21	長出 2 片子 葉，長出 2 片新葉	
第 27 天	63.5(到盒子 頂部)	長出 2 片子 葉，長出了 2 片新葉		26	長出 2 片子 葉，長出 2 片新葉	

在完成 30 天觀察紀錄後，利用折線圖繪製出太空組與地面組甜羅勒在 30 天中之植株生長高度之圖表 (圖 5-1-4)，並進行兩者之比較以了解地面組甜羅勒與太空組甜羅勒(太空人野口聰一種植紀錄)兩者之生長情形是否具有差異。

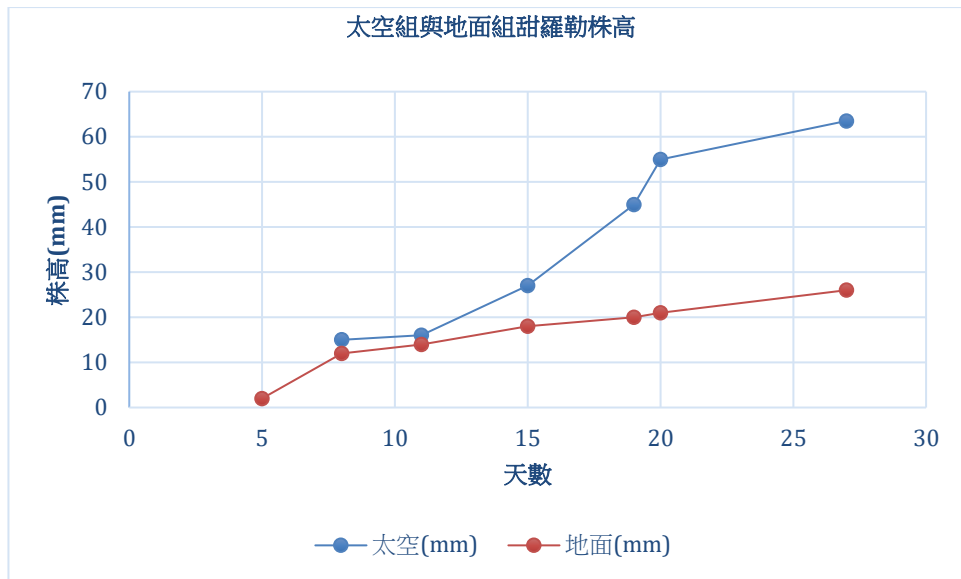


圖 5-1-4 太空組與地面組甜羅勒在 30 天中之植株生長高度

◆實驗結果：

對照太空組與地面組的結果發現，太空組第五天長出子葉，地面組第八天長出子葉。當株高在約 14~16mm 時，開始冒出新葉，這樣的時程大約在第 11 天。

原本實驗設計種植 30 天但是到了第 27 天太空組已經長到種植盒的最頂端，因此不再量測甜羅勒植株的高度。我們觀察第 27 天太空組株高為 63.5mm，地面組株高為 26mm，太空組相較於地面組高了 37.5mm。此外，實驗結果也顯示，太空組以及地面組甜羅勒在生長過程中，剛開始到第 11 天時株高差不多，長出新葉後太空組之植株高度都高於同一生長時間的地面組植株高度。

◆結果討論：

我們從實驗結果發現太空組比地面組同時長出新葉，而在整個生長過程中，太空組之植株高度都高於同一生長時間的地面組植株高度。從文獻查閱中得知生長素不是營養物質，卻能影響細胞和組織的生長發育和分化。植物組織內生長素的合成通常是分散的，而不是集中在一處。因重力(地心引力)關係，使下側生長素較多，而背地側生長素較少。閱讀資料後，我們發現太空環境和地面環境非常不同，在太空環境中，具有強烈的磁場作用、同時在太空站運行過程中，也會產生強大的離心力，且由於離地球較遠，因而處於微重力的環境。我們回顧了先前有關於磁場、離心力以及微重力對植物生長的相關文獻後，在第十八屆科展作品「磁場對植物生長之影響」的研究結果指出，在植物生長過程中，過強的磁場可能會抑制主根生長(陳家成、鄭英志，1978)，據此，我們推測磁場可能會干擾生長素的分泌或作用，而導致其生長速率較慢。此外，在「植物的根一定向地心生長嗎?-探討離心力對植物生長的影

響」(呂玟潔、王權輝、黃靜儀、郭志成, 1993) 的研究中, 曾經探討離心力對於綠豆生長的影響, 結果發現當轉速快時, 根會背向馬達軸心生長。在「送台灣種子上太空」的官方網站上, 也特別提到太空的微重力環境可能造成植物生長上的變化。總結先前的文獻內容以及研究結果, 我們推測太空組的甜羅勒之生長情形與地面組有所差異, 可能是由於磁場、離心力以及微重力的影響所導致。



在此實驗 1 中, 我們經由實驗結果發現太空組的甜羅勒之生長情形與地面組有所差異, 可能是由於太空環境中之磁場、離心力以及微重力的影響所導致。因此, 這個實驗讓我們延伸出實驗 2、實驗 3、實驗 4.1、4.2, 試圖在地面上模擬出太空環境中之微重力、離心力與磁場等不同情況, 並進一步探討這三種不同環境對於甜羅勒發芽初期與生長有些什麼影響?

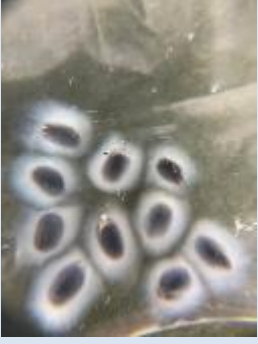
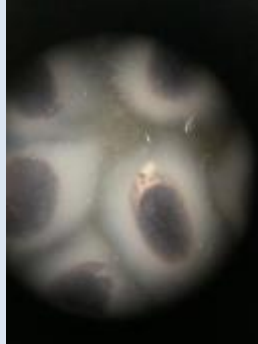
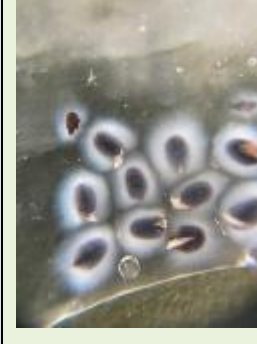





【實驗 2：甜羅勒在失去方向裝置中(微重力)與平放(正常重力)的發芽與生長情形是否具有差異?】

種子發芽情形之觀察結果、文字與圖片記錄如下表所示(表 5-2-1、圖 5-2-1~6)。

定義：透過 15 倍放大鏡拍攝(距離相同)後等比例列印出照片再用捲尺量根的長度, 小於 10mm 稱為短根, 大於 10mm 稱為長根。換算成真實長度小於 0.56mm 稱為短根, 大於 0.56mm 稱為長根。

表 5-2-1 平放(正常重力)與失去方向裝置(微重力)的種子發芽情形

	控制組：平放(正常重力)的種子發芽情形		實驗組：失去方向裝置(微重力)種子發芽情形	
	15 倍放大鏡	uHandy 顯微鏡 (10x~120x)	15 倍放大鏡	uHandy 顯微鏡 (10x~120x)
第 2 天		無		無
	種子泡水後立刻在種子外側出現透明黏膜, 到了第二天仍舊存在。		種子泡水後立刻在種子外側出現透明黏膜, 到了第二天仍舊存在。	

第 3 天				
	到了第三天，發現一顆種子破裂長出小根。		到了第三天，發現 6 顆種子破裂長出小根，在失去方向裝置種子的小根明顯較平放種子的小根長。	
第 4 天				
	第四天結果發現總共有 9 顆種子長根了，其中 5 顆有較長的根，4 顆短的根，長根的平均長度較短根平均長度約長 3.6 倍。根的外型呈現直線形。		第四天結果發現總共有 9 顆種子長根了，其中 6 顆有較長的根，3 顆短的根，長根平均長度約較短根平均長度約長 4.2 倍。根的外型有不同的形狀有直線形、有弧形。	

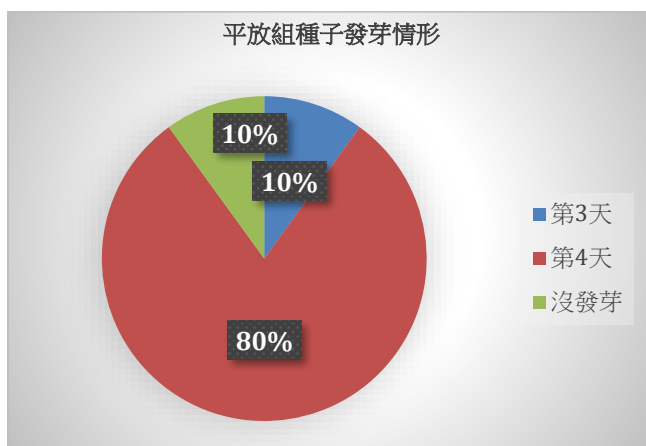


圖 5-2-1

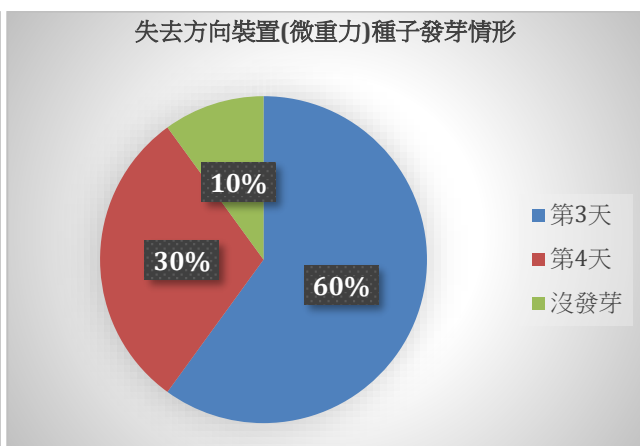


圖 5-2-2

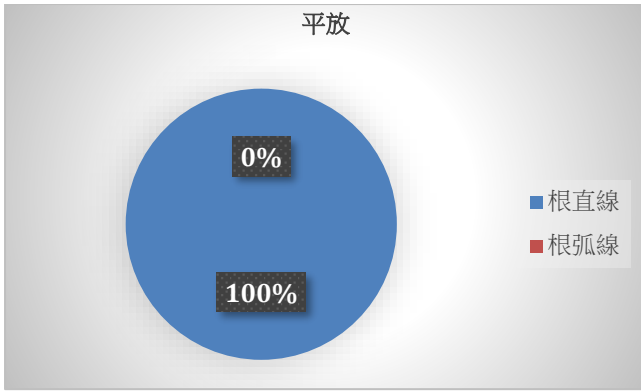


圖 5-2-3

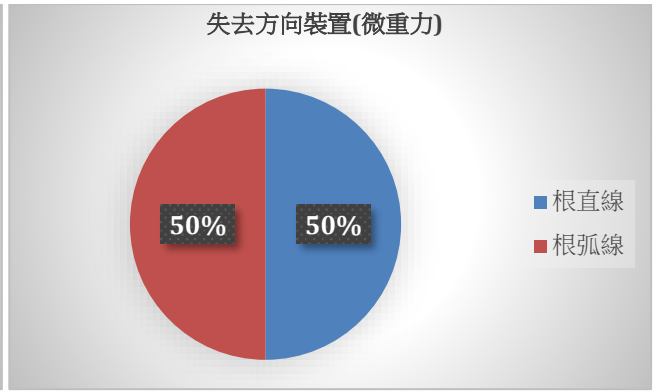


圖 5-2-4

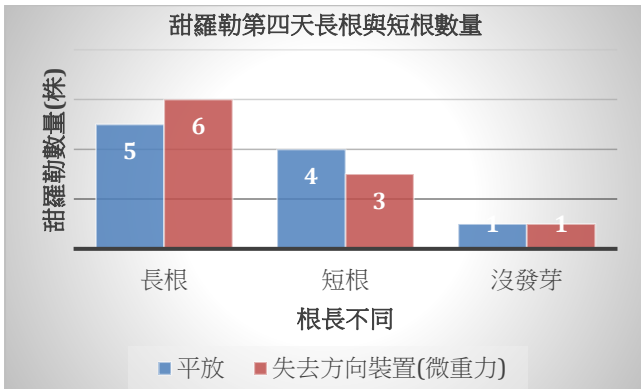


圖 5-2-5

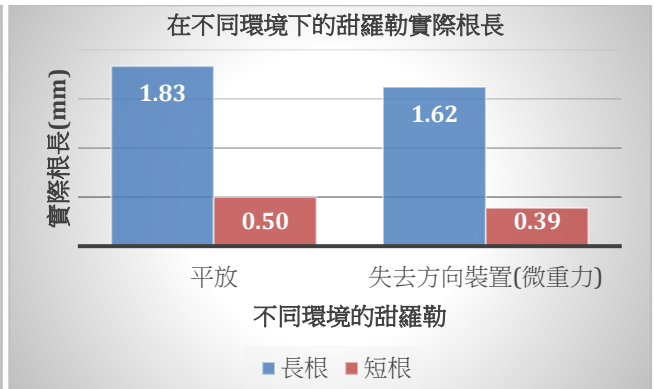


圖 5-2-6

◆實驗結果：

第一次實驗，每天打開扭蛋球觀察夾鏈袋中的種子，發現當種子發出肉眼可辨識的根時，夾鏈袋中的種子全部長根了，沒有觀察出在失去放像裝置內與平放狀態下種子發芽的差異，到了第 5 天，夾鏈袋中的種子開始發霉，進行討論也許可以增加 15 倍放大鏡觀察種子是否裂開準備長根發芽，種子發芽的觀察紀錄可能需要在前 4 天就告一個段落。

第二次實驗增加了 15 倍放大鏡觀察，到了第 3 天在失去方向裝置中的種子有 6 顆（60%）長根了，平放的種子有 1 顆（10%）長根了，第 4 天兩邊的種子都有 9 顆（90%）長根，其中平放的種子有 5 顆（50%）擁有較長的根，長根長度約短根的 3.6 倍；失去方向組有 7 顆（70%）擁有較長的根，長根長度約短根的 4.2 倍(圖 5-2-6)。根的外型也不太一樣，平放的種子根呈現直線形，失去方向裝置的根有直線形也有弧形(圖 5-2-3~4)。

◆結果討論：

1.我們從實驗結果發現，第三天模擬微重力失去方向裝置中的種子較平放的種子更快長根，到了第四天雖然都是 9 顆（90%）種子長根了，失去方向裝置中的種子也是較平放的種子擁有較多顆較長的根，甜羅勒在失去方向的裝置中，種子的發芽長根行程多快於平放的種

子。在模擬微重力失去方向裝置中，根長得較快也較長，根據實驗 1 與實驗 2 的結果微重力下的植物生長速度皆快於重力環境，推測可能是因為逆境讓植物產生了加速生長的能力。

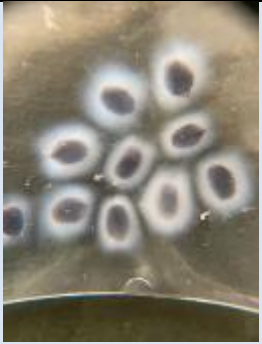
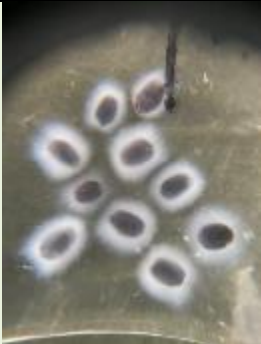


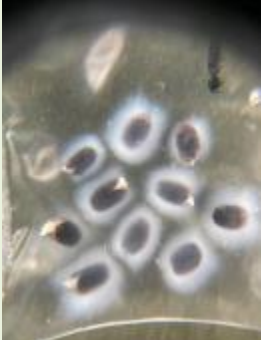
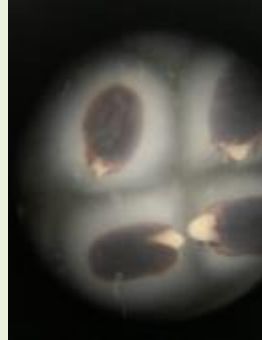
2.根的外型也不太一樣，平放的種子根呈現直線形，模擬微重力失去方向裝置的根有直線形也有弧形。推測根的向地性讓平放的根生長的外型較一致，而模擬微重力失去方向裝置中的根因為在生長過程中不停地變換方向，使生長素無法朝同一個方向沉澱，所以根的生長情形也較多種樣貌，有直線形的根也有弧線形的根。

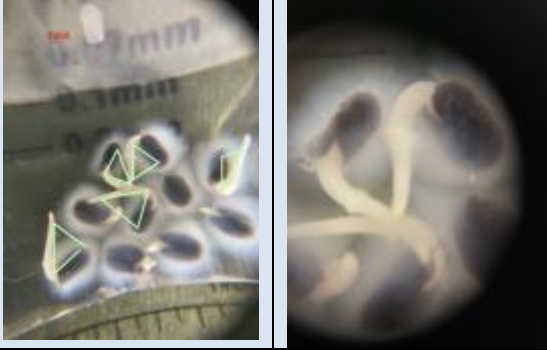
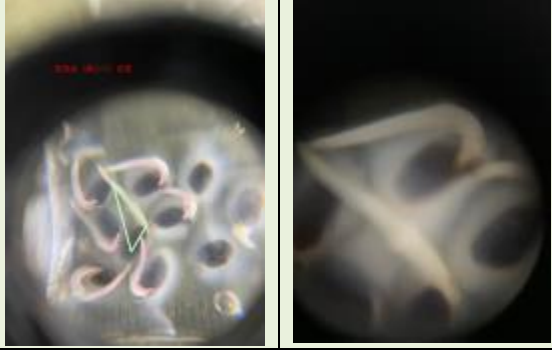
【實驗 3.1：甜羅勒種子在旋轉裝置中(有離心力)與平放(無離心力)兩種不同環境的發芽與生長情形是否具有差異?】

種子發芽情形之觀察結果、文字與圖片記錄如下表所示（表 5-4-1、圖 5-3-1~5-3-6）。

定義：透過 15 倍放大鏡拍攝(距離相同)後等比例列印出照片再用捲尺量根的長度，小於 10mm 稱為短根，大於 10mm 稱為長根。換算成真實長度小於 0.56mm 稱為短根，大於 0.56mm 稱為長根。

表 5-4-1 平放(無離心力)與旋轉裝置(有離心力)的種子發芽情形

	控制組：平放(無離心力)種子發芽情形		實驗組：旋轉裝置(有離心力)種子發芽情形	
	15 倍放大鏡	uHandy 顯微鏡 (10x~120x)	15 倍放大鏡	uHandy 顯微鏡 (10x~120x)
第 2 天		無		無
	種子泡水後立刻在種子外側出現透明黏膜，到了第二天仍舊存在。		種子泡水後立刻在種子外側出現透明黏膜，到了第二天仍舊存在。	
第 3 天				

	到了第三天，發現一顆種子破裂長出小根。	到了第三天，發現 5 顆種子破裂長出小根，在失去方向裝置種子的小根明顯較平放種子的小根長。
第 4 天		
	第四天結果發現總共有 9 顆種子長根了，其中 5 顆有較長的根，4 顆短的根，長度約長 3.6 倍。根的外型呈現直線形。	第四天結果發現總共有 9 顆種子長根了，其中 7 顆有較長的根，2 顆短的根，長度約長 5.4 倍。根的外型呈現弧形。

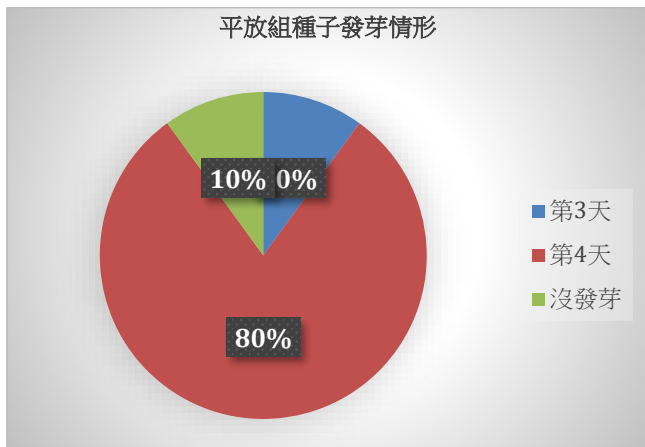


圖 5-3-1

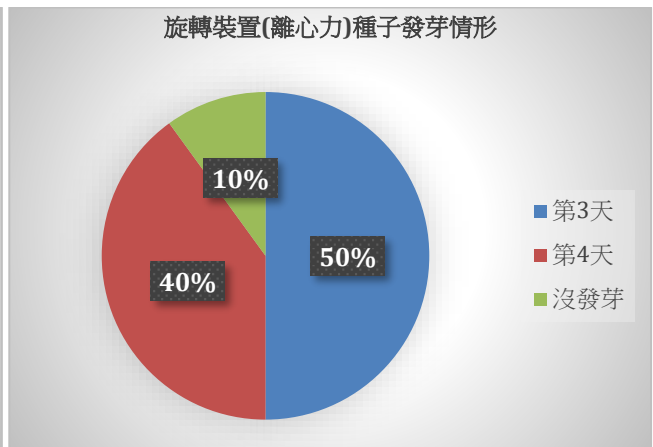


圖 5-3-2

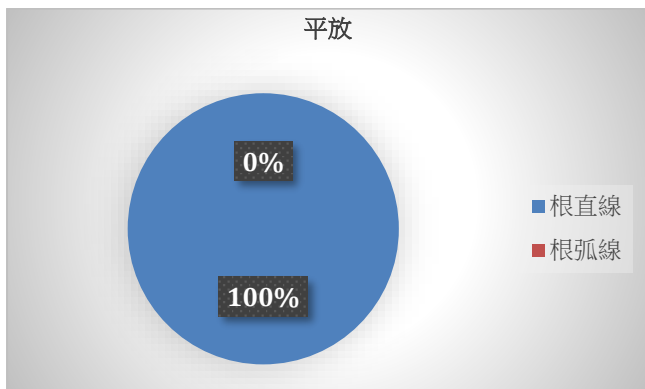


圖 5-3-3

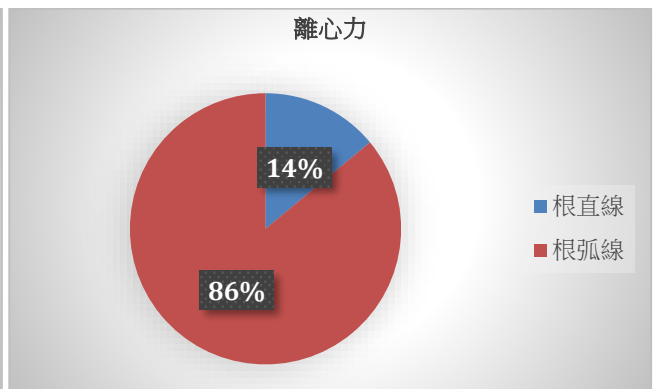


圖 5-3-4

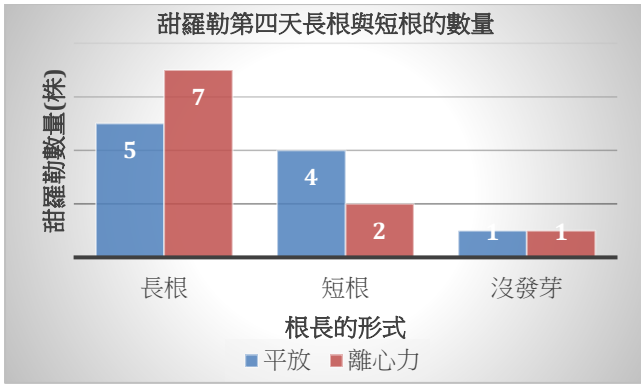


圖 5-3-5

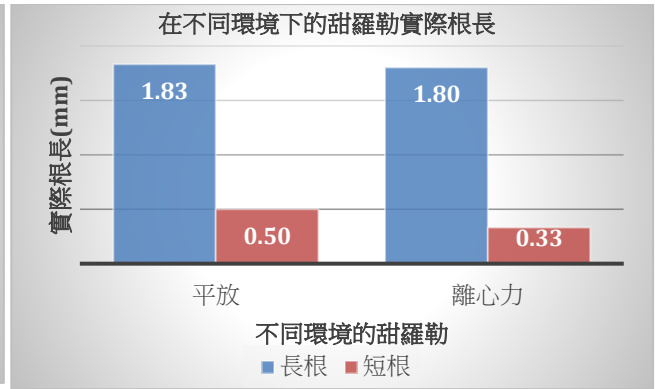


圖 5-3-6

◆實驗結果：

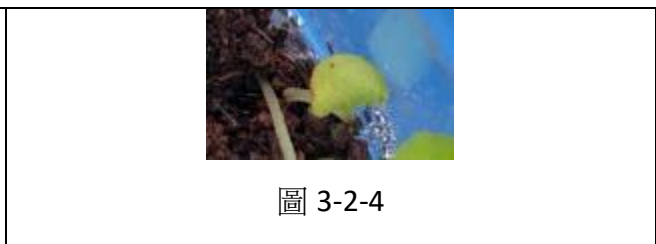
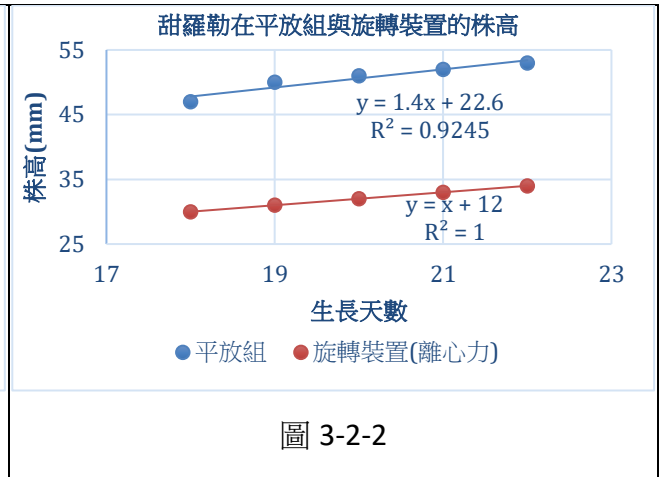
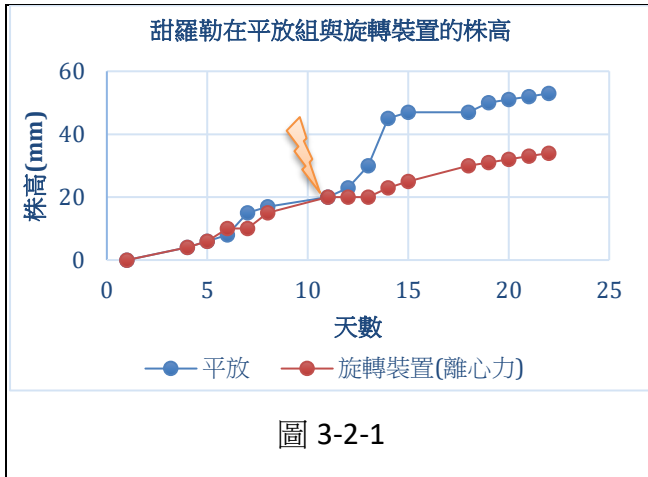
實驗結果顯示，當種子泡水後立刻在種子外側出現透明黏膜，到了第 2 天仍舊存在。到了第 3 天在旋轉裝置中的種子有 5 顆長根了，平放的種子有 1 顆長根了，第 4 天兩邊的種子都有 9 顆長根，其中平放的種子有 5 顆擁有較長的根，長根長度約短根的 3.6 倍，旋轉組有 7 顆擁有較長的根，長根長度約短根的 5.4 倍(圖 5-3-6)。根的外型也不太一樣，平放的種子根呈現直線形，旋轉裝置的根呈現弧形(圖 5-3-3~4)。

◆結果討論：

1.我們從實驗結果發現，旋轉裝置中的種子較平放的種子更快有長根的狀況，到了第四天雖然都是 9 顆種子長根了，旋轉裝置中的種子也是較平放的種子擁有較多顆較長的根，甜羅勒在旋轉的裝置中，種子的發芽長根行程多快於平放的種子。旋轉裝置中，根長得較快也較長，推測當快速旋轉中的風扇產生一股離心力，將植物的生長素更快速的聚集的根尖的末端，所以不論在發芽率與根長度表現上，根生長速度皆較平放種子快。

2.根的外型也不太一樣，平放的種子根呈現直線形，旋轉裝置的根呈現弧形。推測根的向地性讓平放的根生長的外型較一致，而旋轉裝置中的根因為在生長過程中多了一個離心力，所以根的生長情形呈現弧線形的根。閱讀文獻時預測根背向馬達軸心生長，在我們的實驗中明顯看出有弧線形的根，好像轉動有水滴的雨傘時，水滴的路徑。推測，在有較強離心力的情況下，植物的生長素朝著離心力旋轉方向累積，造成根的生長情形會像是轉動有水滴的雨傘，水滴甩出去的路線。

【實驗 3.2：甜羅勒種子在旋轉裝置中(有離心力)與平放(無離心力)兩種不同環境的發芽與生長情形是否具有差異?】



◆實驗結果：

甜羅勒在平放組與旋轉裝置中的株高如上圖 3-2-1，前 11 天成長曲線接近，有幾天在旋轉裝置的株高略矮於平放組，在第 11 天遇到了一場大雨，平放組的植物外的保護塑膠盒被打翻了進入大量的雨水後來量測到株高明顯高於旋轉裝置，到了第 18~22 天兩組甜羅勒的成長(圖 3-2-2)利用趨勢線看他們的斜率，成長速度平放組略高於旋轉裝置(離心力)。平放組在第 22 天的觀察都長出新葉了，在旋轉裝置中長出新葉的甜羅勒卻是少數。旋轉裝置中，除了常見的兩片子葉外觀察到有三片和一片子葉(圖 3-2-3、4)，旋轉裝置中的根較平放組的長。

◆結果討論：

1. 第 18~22 天兩組甜羅勒的成長(圖 3-2-2)利用趨勢線看他們的斜率，成長速度平放組略高於旋轉裝置(離心力)，推測當在旋轉裝置上的甜羅勒小苗生長素向外聚集的同時莖仍有背向地性兩個方向不同所以在旋轉裝置上的甜羅勒小苗略矮於平放組。

2. 旋轉裝置中，除了常見的兩片子葉外，發現了 1、3 片子葉的狀況，閱讀文獻沒有查到相關的資訊，未來可以再一次種植觀察在旋轉裝置中發芽時子葉的狀況以及成熟株的成長情形。

【實驗 4-1：甜羅勒種子在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)與一般環境(無外加強磁場)下的發芽與生長情形是否具有差異?】

實驗 4-1 過程中種子發芽及生長情形如下圖 5-4-1-1~圖 5-4-1-4。

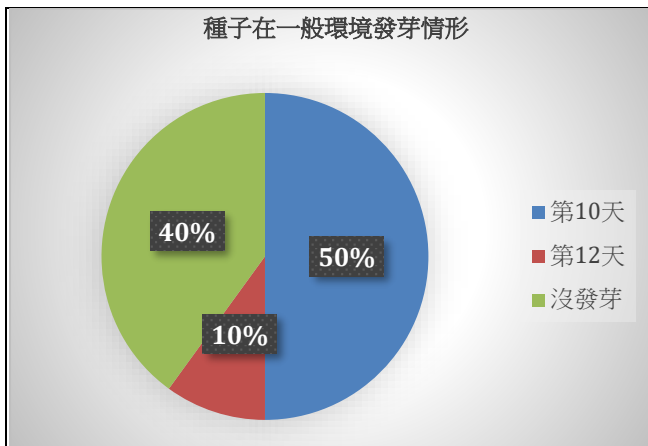


圖 5-4-1-1

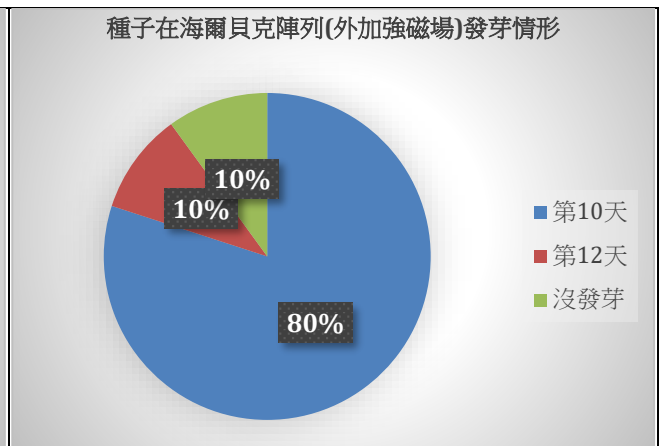


圖 5-4-1-2

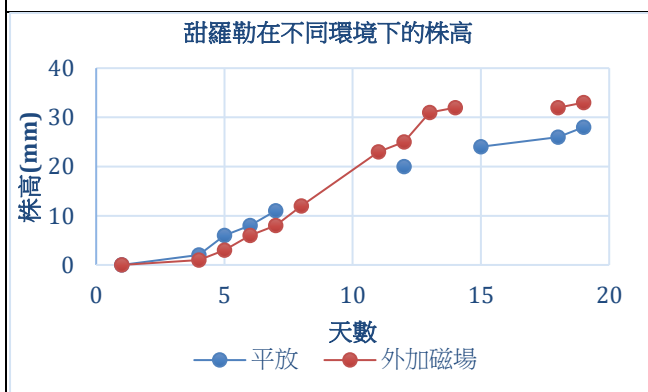


圖 5-4-1-3

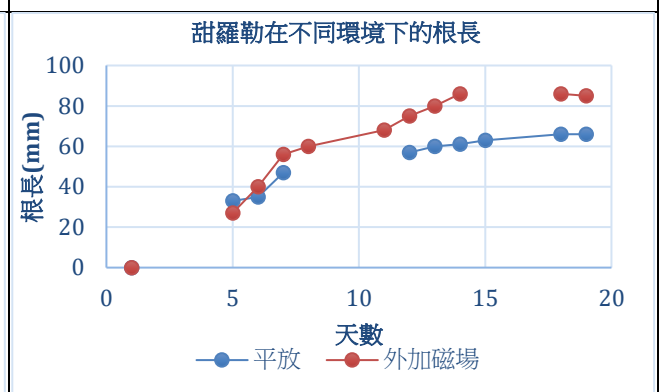


圖 5-4-1-4

◆實驗結果：

實驗結果 (圖 5-4-1-1~圖 5-4-1-4) 顯示，種子在外加磁場中發芽率為 90%較平放組 60%高。前 7 天平放組的株高略高於外加磁場的甜羅勒，到了第 12 天之後外加磁場的株高略高於平放組的株高，且外加磁場的甜羅勒新葉完全長出，平放組的新葉有部分長出。第五天的根長平放組長於外加磁場的甜羅勒，第六天開始出現變化，外加磁場的根長較平放組的根長還要長。

◆結果討論：

1.從圖 5-4-1-1 和 5-4-1-2 發現種子在外加磁場中發芽率為 90%較平放組 60%高。從文獻中得知不同的磁場會影響植物的生長速度，我們推測此次實驗使用的外加磁場強度有助於甜羅勒種子發芽。

2.從圖 5-4-1-3 發現，前 7 天平放組的株高略高於外加磁場的甜羅勒。從文獻資料查到磁場強度與植物生長速率為負相關，與我們的實驗相符合，但我們也觀察到有外加強磁場的實驗組生長的較平均，沒有外加強磁場的甜羅勒大小及生長速度差異較大。

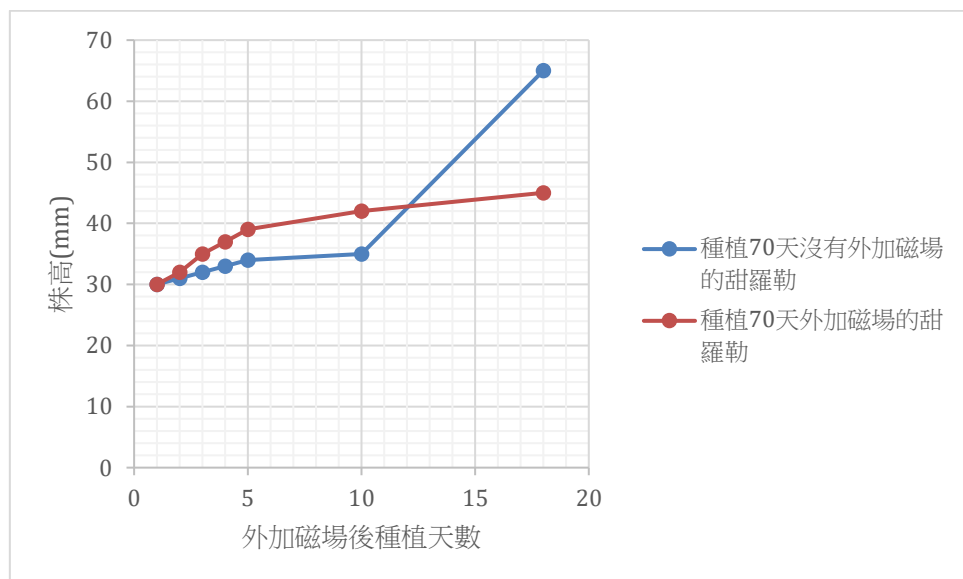
3.從 5-4-1-3 觀察，第 12 天後外加磁場的株高與根長都較平放組長得好。文獻資料中沒有看到觀察超過 12 天的植物生長情形，我們推測因為逆境讓植物生長得更好。

4.我們從實驗結果(圖 5-4-1-4)發現，第五天沒有外加強磁場的控制組較外加強磁場的實驗組有較長的根長。從文獻資料查到過強的磁場會抑制主根生長，與我們的實驗相符合。第六天開始外加磁場的根長於平放組的根，我們猜測因為逆境讓植物的根生長速度加快。

【實驗 4-2：甜羅勒成熟植株(植物種植 70 天後)在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)與一般環境(無外加強磁場)下的發芽與生長情形是否具有差異?】

從實驗 4.1 當中我們看到磁場對於種子發芽初期具有影響，沒有外加強磁場的控制組較外加強磁場的實驗組有較長的根長，因此，我們想進一步探討當甜羅勒已生長為成熟植株後，此時若外加強磁場是否對於甜羅勒的生長情形也會有所影響呢？據此，我們將兩盆種植了 70 天的甜羅勒成熟植株作為實驗材料，這兩盆甜羅勒成熟植株除了子葉之外都長出了兩片新葉，且兩盆甜羅勒成熟植株的高度均為 30mm。我們將其中一盆擺在有陽光照射的地方當作控制組，另一盆擺在有陽光照射的地方並在附近擺放海爾貝克陣列提供的外加強磁場當作實驗組，以探討甜羅勒成熟植株(植物種植 70 天後)在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)與一般環境(無外加強磁場)下的發芽與生長情形是否具有差異？實驗 4-2 過程中甜羅勒成熟植株高度之觀察與測量紀錄結果如下表所示（表 5-7-1）。

為了進一步比較甜羅勒成熟植株在一般環境(無外加強磁場)與靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)之植株高度，我們將表 5-7-1 的結果繪製為折線，以了解兩者植株生長高度之趨勢與差異，結果如圖 5-7-1 所示。



◆實驗結果：

觀察種植 70 天的甜羅勒小苗在外加強磁場的實驗組，剛開始前 10 天高度略高於無外加強磁場的甜羅勒小苗。但後期沒有外加強磁場的控制組高於實驗組。

◆結果討論：

觀察種植 70 天的甜羅勒小苗在外加強磁場的實驗組，剛開始前 10 天高度略高於無外加強磁場的甜羅勒小苗。但後期沒有外加強磁場的控制組高於實驗組。長期穩定的外加強磁場讓植物剛開始在變化初期長得比較快，當時間拉長了之後，穩定的磁場讓植物生長速度趨穩，沒有外加強磁場的控制組剛開始生長較慢，但後來就超越實驗組了。推測一開始外加強磁場對於植物是一種環境改變，植物遇到逆境所以生長得較快速，但是 10 天後，磁場反而抑制了植物生長，株高變化不大。

柒、結論

1. 太空組(太空人野口聰一種植紀錄)較地面組更快長出子葉、新葉，且太空組以及地面組甜羅勒在生長過程中，太空組之植株高度都高於同一生長時間的地面組植株高度。
2. 當甜羅勒種子處於微重力環境時會較快發芽，且根會呈現直線與弧形的形狀，而當甜羅勒種子處於平放狀態(正常重力)時，其根皆呈現直線形。
3. 當甜羅勒種子處於具有離心力影響的環境時會較快發芽，且根呈弧形，而當甜羅勒種子處於平放狀態(無離心力)時，其根則呈現直線形。
4. 種植在土壤中且外加強磁場的甜羅勒種子發芽率較高，且子葉大小較平均，根較長。
5. 甜羅勒成熟植株在外加強磁場後，其生長初期速度增加，而在十天後開始趨緩，而無外加強磁場的甜羅勒成熟植株之生長趨勢則相反，生長初期速度較緩，而在十天後的生長速度開始增加。

捌、未來展望

本研究計畫除了上述的研究成果之外，在進行了一學期的閱讀和實驗後，將資料整理製作成展覽布置在教室外面邀請全校同學共同參觀。



玖、參考資料及其他

江明達(1978)。磁力對植物生長的影響。中華民國第十八屆中小學科展說明書。

呂玟潔、王權輝、黃澗儀、郭志成(1999)。植物的跟一定向地心生長嗎?-探討離心力對植物生長的影響。中華民國第三十三屆中小學科展說明書。

地球軌道上最大的衛星——國際太空站(2022,Jan 24)。泛科學。

<https://pansci.asia/archives/341144>

陳家成、鄭英志(1978)。磁場對植物生長之影響。中華民國第十八屆中小學科學展覽會作品說明書。

陳雅婷、黃琬純、莊采樺、王俊雄(2002)。正負磁場對植物的反應。中華民國第四十二屆中小學科展說明書。

植物對環境逆境之調控與應用(2011, Dec)。行政院農業委員會。

<https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=24091>


Mission-1 Growth Experiment Results and Messages from Astronaut. (2021, March 25).

Jaxa.https://humans-in-space.jaxa.jp/en/biz-lab/news/detail/001220.html?Fbclid=IwAR266ZYVtDSZp04BOnWGufA49h555E5zWdSbCe_zB0b3WI-Q1NIZr-KJUxDY#0216

【評語】 080309

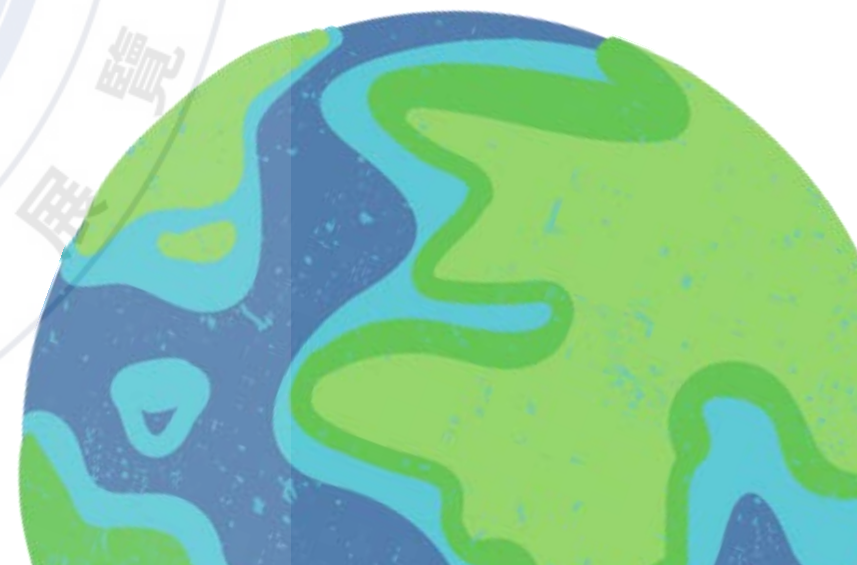
1. 學生在實驗室模擬外太空微重力、離心力與磁場環境，探討甜羅勒在模擬環境中發芽率、根的生長方向與子葉生長速度，學生合作無間令人印象深刻。
2. 本研究在實驗前要確定外太空環境中所面臨微重力的大小、離心力的大小與磁場強度大小，有了正確物理量數據再盡可能在實驗室模擬出類似物理量大小的環境再進行實驗，讓研究成果更有說服力。實驗方法的描述要更精準、如離心力大小和離心每分鐘轉速，讓將來要繼續研究的人可重複出相同的結果。
3. 研究成果多為單次試驗的結果，比較實驗的重複性不足、變因控制上有提升空間。

作品簡報



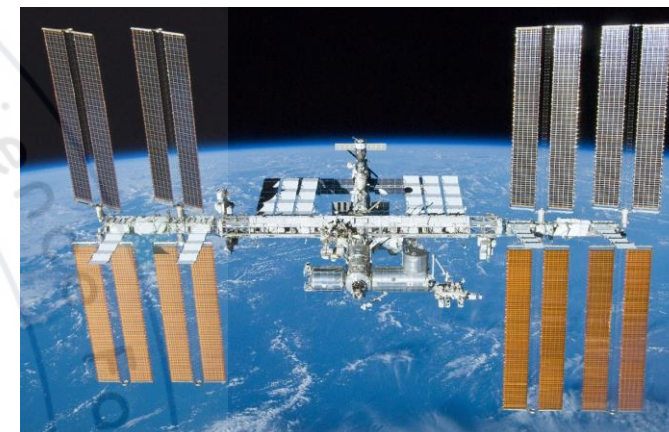
種子總動員 - 探討甜羅勒在微重力、 離心力與磁場等太空模擬環境下之 生長情形

科別：生物科
組別：國小組

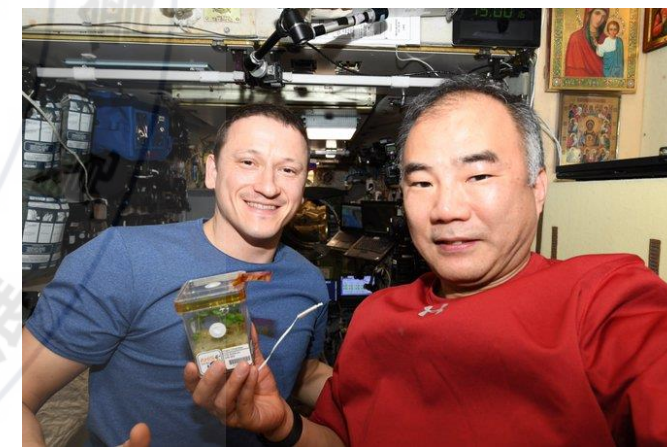


探討甜羅勒不同太空模擬 環境下之生長情形

- ◆植物提供環境
- ◆植物提供食物
- ◆植物療癒身心
- ◆植物增加時間感



國際太空站 國家研究實驗室



野口 聡一

文獻探討：觀察地面組與太空組有差異，閱讀微重力、磁場相關資料

實驗1：初探甜羅勒在地面環境與太空組環境(野口聰一種植紀錄)之生長差異

【研究目的】

於地面種植甜羅勒並對照太空組(太空人野口聰一種植紀錄)之生長情形

【研究問題】

觀察與比較地面組甜羅勒與太空組甜羅勒(太空人野口聰一種植紀錄)於30天中之生長情形是否具有差異？

控制組：太空組甜羅勒(太空人野口聰一種植紀錄)

實驗組：地面組甜羅勒

實驗2：微重力

【研究目的】

製作失去方向的裝置
模擬太空微重力環境

【研究問題】

甜羅勒在失去方向裝置中(微重力)與平放(正常重力)的發芽與生長情形是否具有差異？

實驗3：離心力

【研究目的】

製作旋轉裝置模擬太空站的離心力環境

【研究問題】

甜羅勒種子在旋轉裝置中(有離心力)與平放(無離心力)兩種不同環境的發芽與生長情形是否具有差異？

實驗4：磁場

【研究目的】

以海爾貝克陣列模擬太空站的強磁場環境

【研究問題】

- 實驗4-1：甜羅勒種子在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)與一般環境(無外加強磁場)下的發芽與生長情形是否具有差異？
- 實驗4-2：甜羅勒成熟植株(植物種植70天後)在靠近海爾貝克陣列(外加強磁場)與一般環境(無外加強磁場)下的發芽與生長情形是否具有差異？



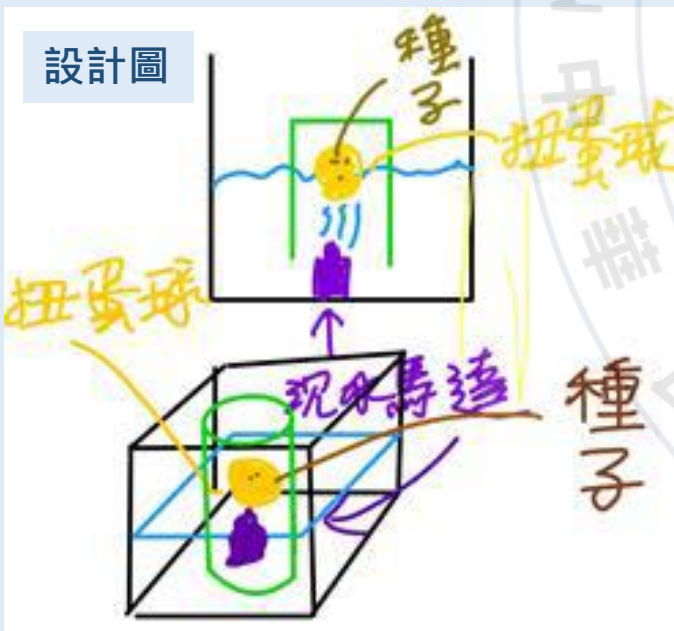
沉水馬達



一般的風扇



強磁鐵



設計圖

微重力裝置



展示櫃上的轉盤

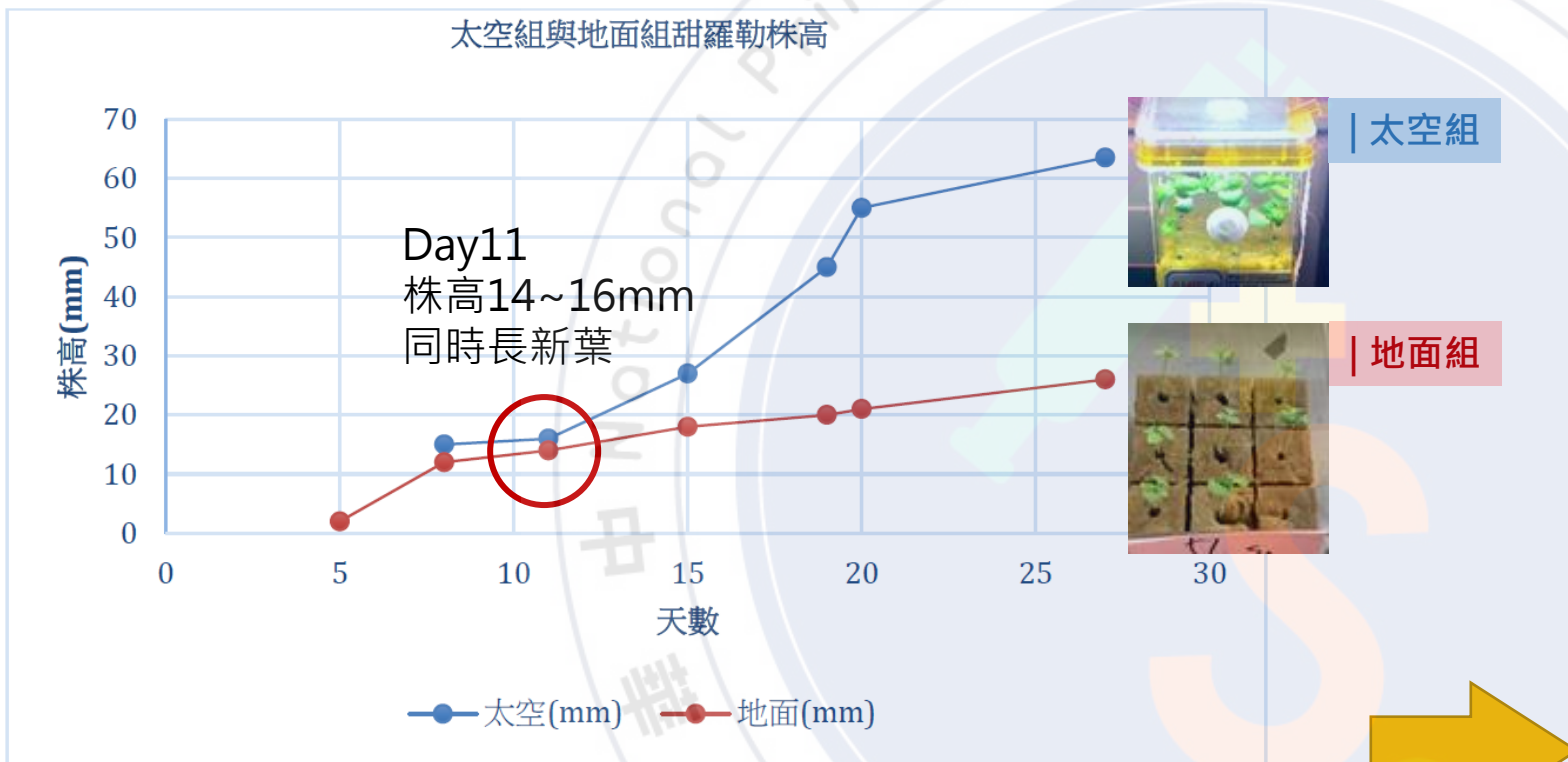
離心力裝置



強磁鐵

954克重物

磁場裝置

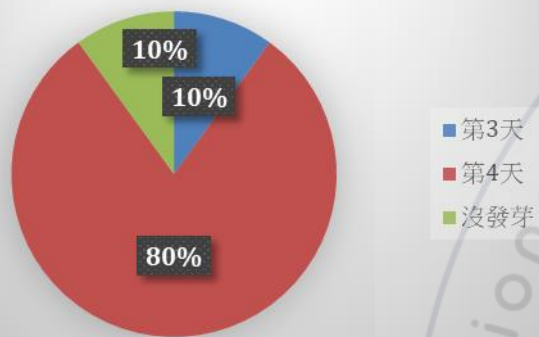


太空環境與地面環境的差異
是否影響生長素的分布

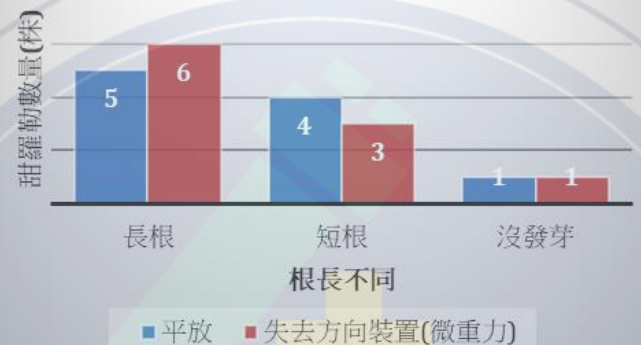
- 微重力
- 離心力
- 磁場

我們從實驗結果發現太空組比地面組同時長出新葉，而在整個生長過程中，太空組之植株高度都高於同一生長時間的地面組植株高度。

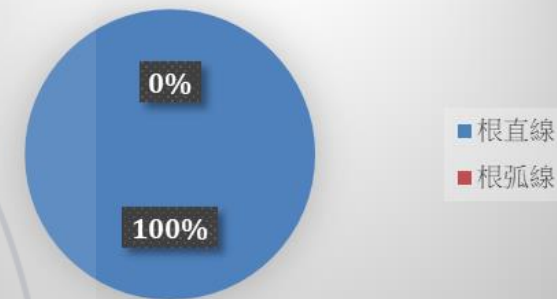
平放組種子發芽情形



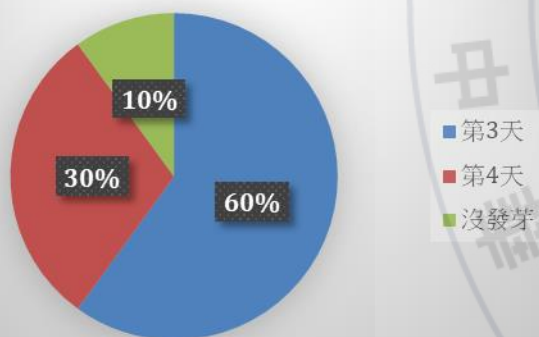
甜羅勒第四天長根與短根數量



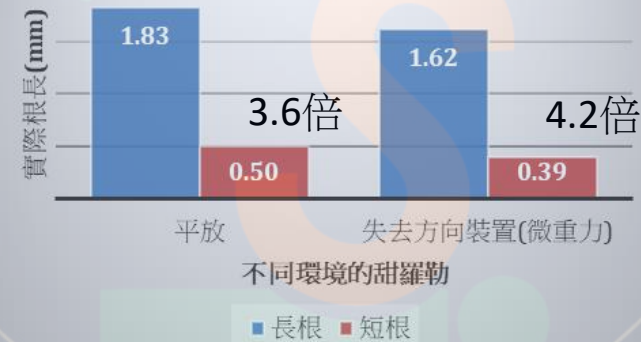
平放



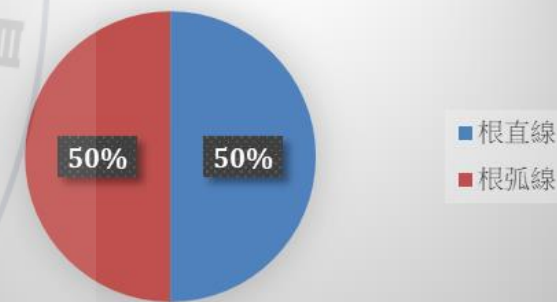
失去方向裝置(微重力)種子發芽情形



在不同環境下的甜羅勒實際根長



失去方向裝置(微重力)



發芽情形

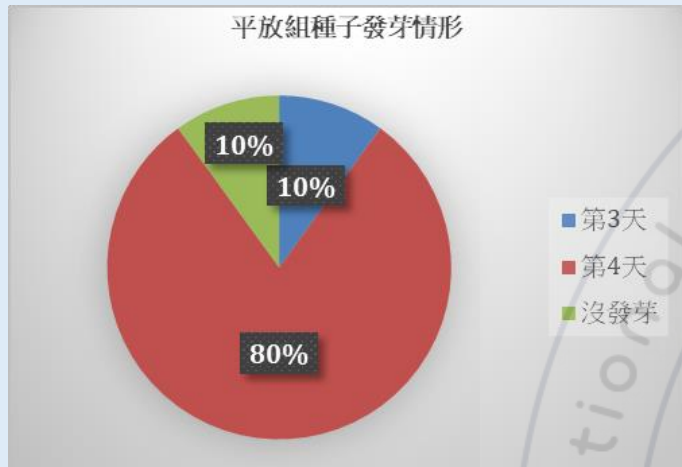
根長情形

根的外型

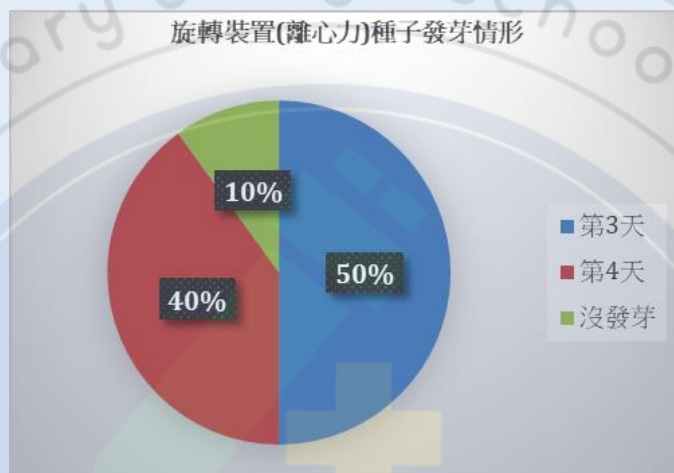
推測一、可能是因為逆境讓植物產生了加速生長的能力

推測二、模擬微重力裝置中的根因為在生長過程中不停地變換方向，使生長素無法朝同一個方向沉澱

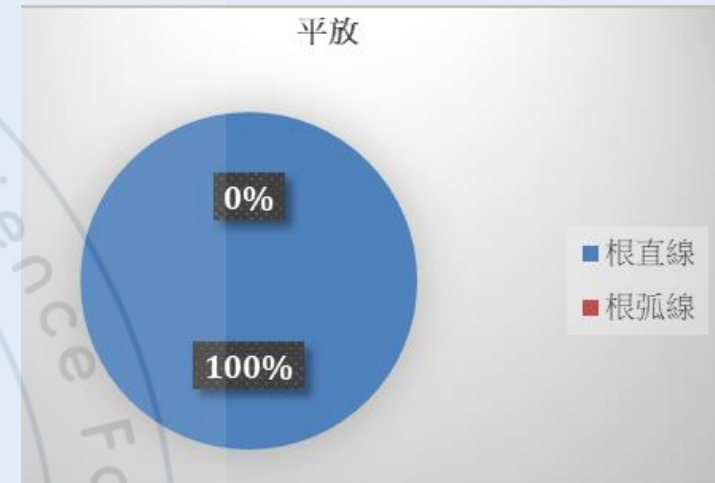
平放組種子發芽情形



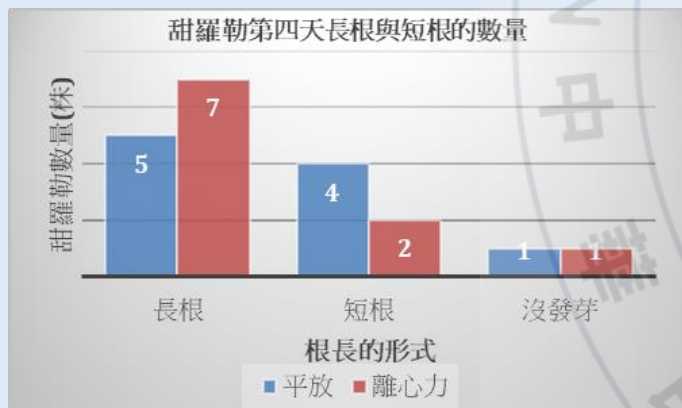
旋轉裝置(離心力)種子發芽情形



平放



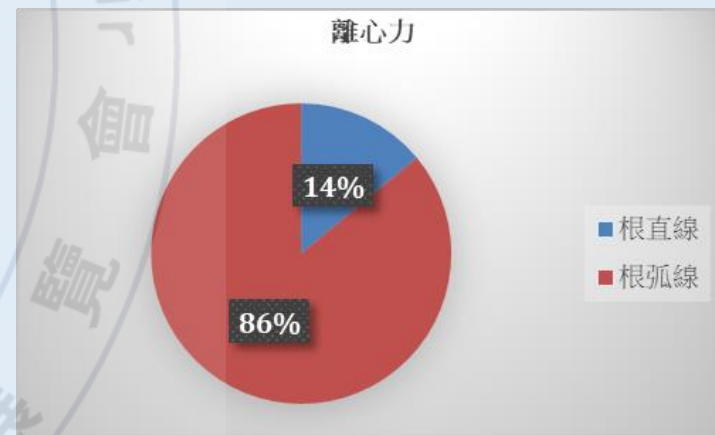
甜羅勒第四天長根與短根的數量



在不同環境下的甜羅勒實際根長



離心力



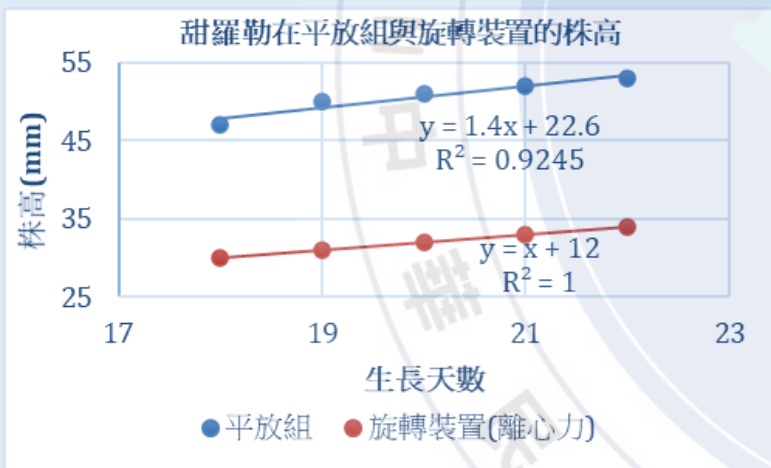
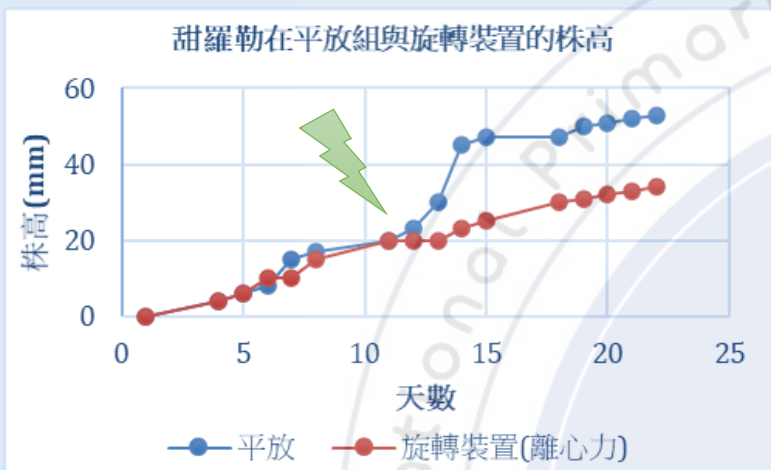
發芽情形

根長情形

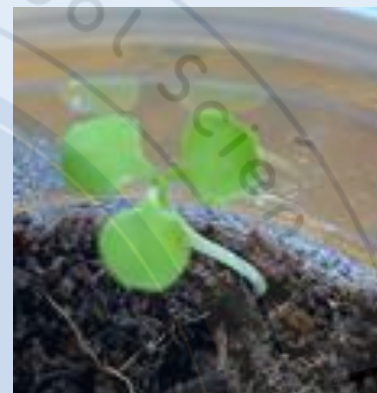
根的外型

推測一、離心力將植物的生長素更快速的聚集到根尖末端，所以根生長速度皆較平放種子快

推測二、離心力將植物的生長素依旋轉方向累積，造成根的生長情形會像是轉動水滴甩出去的路線。



株高情形

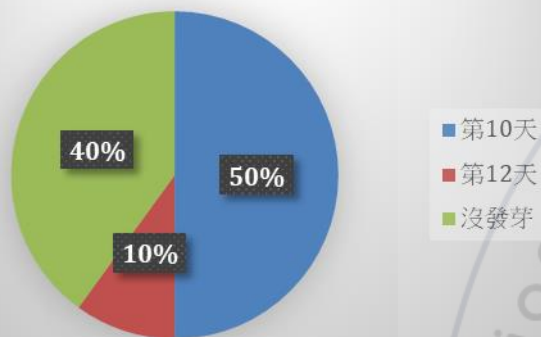


旋轉裝置中，除了常見的兩片子葉外，發現了1、3片子葉的狀況，閱讀文獻沒有查到相關的資訊，未來可以再一次種植觀察在旋轉裝置中發芽時子葉的狀況以及成熟株的成長情形。

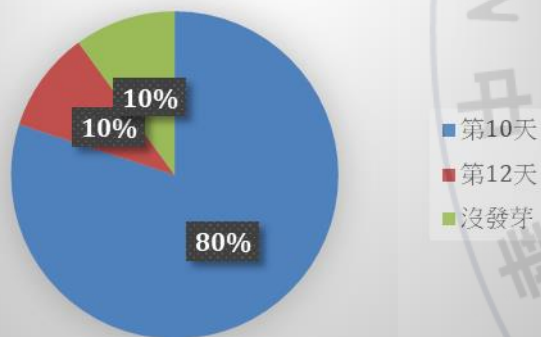


推測：當在旋轉裝置上的甜羅勒小苗生長素向外聚集時，莖仍有背向地性兩個方向的不同，所以在旋轉裝置上的略矮於平放組。

種子一般在環境發芽情形



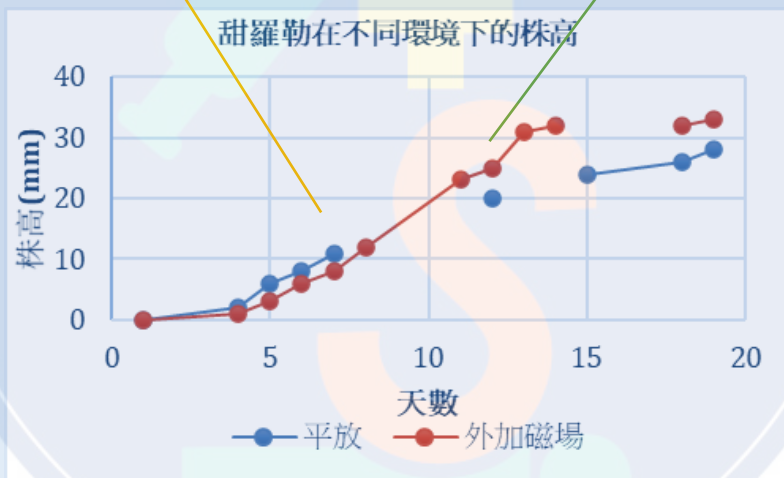
種子在海爾貝克陣列(外加強磁場)發芽情形



發芽情形

前7天平放組的株高略高於外加磁場的甜羅勒

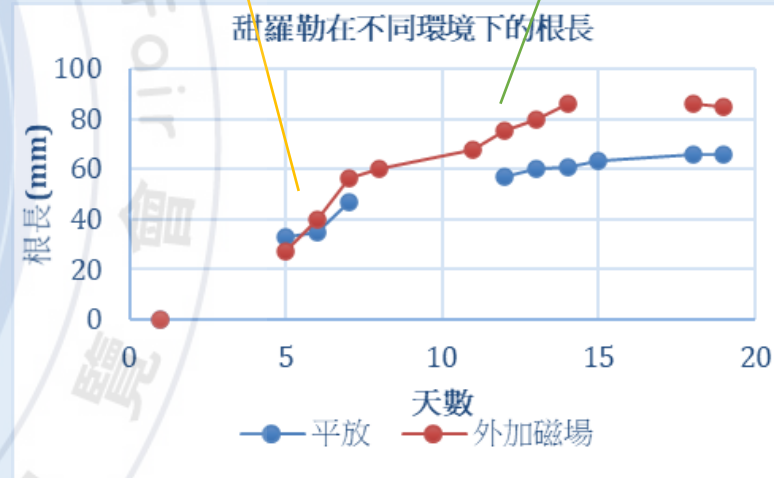
第12天後外加磁場的株高較平放組高



株高情形

第六天開始外加磁場的根長於平放組的根

第12天後外加磁場的根長較平放組長得較長、較好



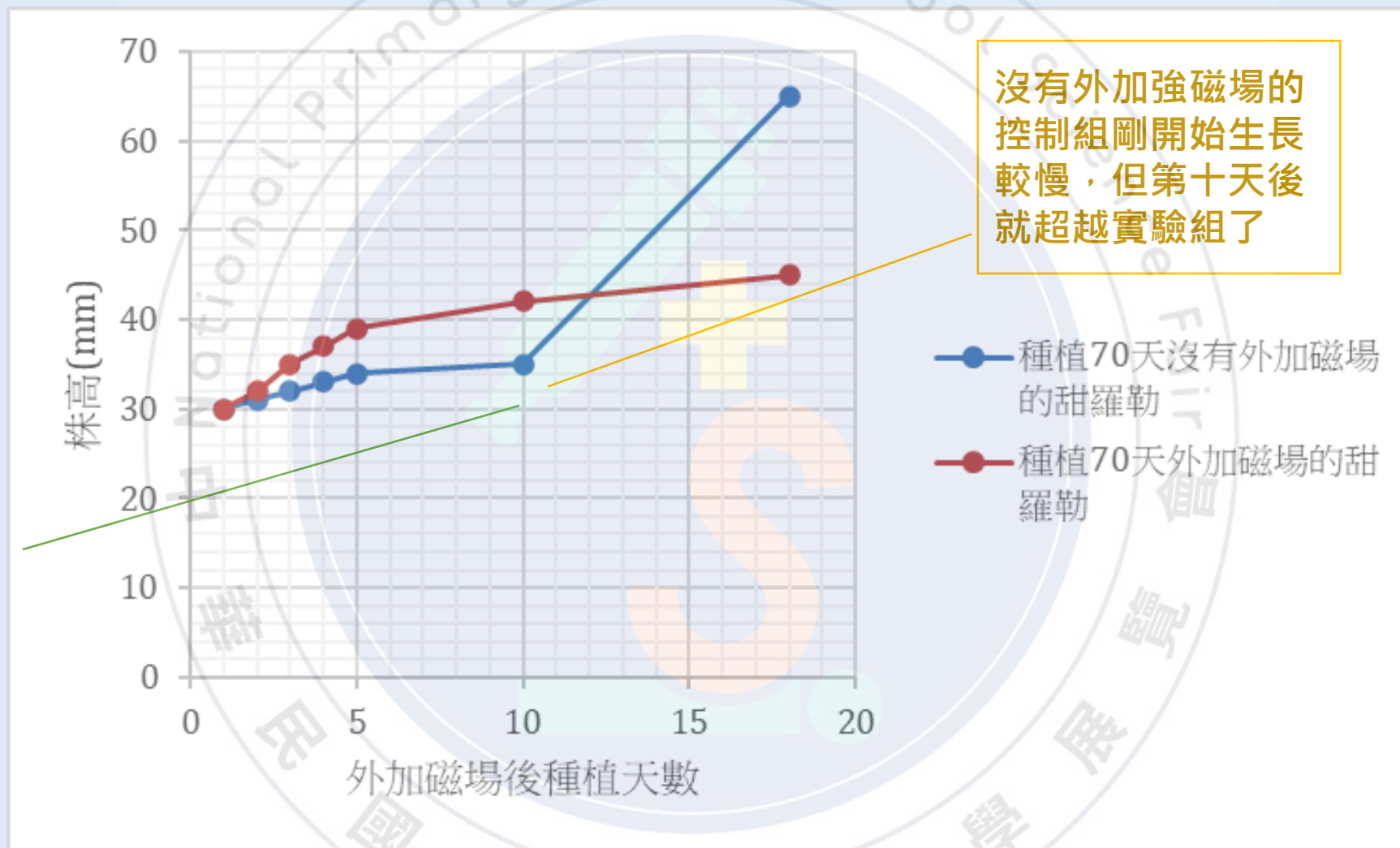
根的外型

推測一、推測此次實驗使用的外加磁場強度有助於甜羅勒種子發芽。

推測二、磁場強度與植物生長速率為負相關。

推測三、強磁場會抑制植物主根生長，這樣的逆境反而讓植物的根生長速度加快。

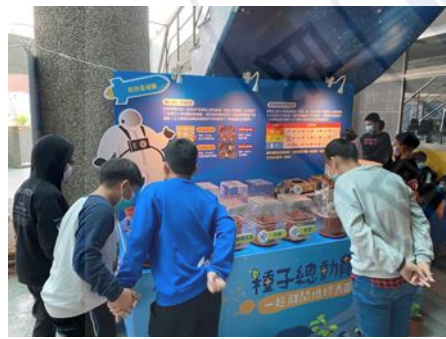
在外加強磁場的實驗組，剛開始前10天，略高於無外加強磁場的甜羅勒小苗



推測：外加強磁場對於植物是一種環境改變，植物遇到逆境所以生長得較快速

結論

- 1.太空組較地面組更快長出子葉，且太空組高度都高於同一生長時間的地面組。
- 2.微重力環境讓甜羅勒種子較快發芽，且根部直線形與弧形皆有，而正常重力狀態時，其根部皆呈現直線形。
- 3.離心力會對甜羅勒種子生長產生影響，使其較快發芽，且根呈弧形，有別於平放時的直線形。
- 4.種植在土壤中外加強磁場的甜羅勒，種子發芽率較高，且子葉大小較平均，根較長。
- 5.無外加強磁場的甜羅勒成熟植株，初期生長速度較緩，在第十天後速度開始增加；甜羅勒成熟植株受外加強磁場影響，生長初期速度較快，第十天後開始趨緩。



未來展望

本研究計畫除了上述的研究成果之外，在進行了一學期的閱讀和實驗後，將資料整理製作成展覽布置在教室外面邀請全校同學共同參觀。

參考資料

江明達(1978)。磁力對植物生長的影響。中華民國第十八屆中小學科展說明書。

呂玟潔、王權輝、黃瀞儀、郭志成(1999)。植物的跟一定向地心生長嗎?-探討離心力對植物生長的影響。中華民國第三十三屆中小學科展說明書。

地球軌道上最大的衛星——國際太空站(2022,Jan 24)。泛科學。<https://pansci.asia/archives/341144>

陳家成、鄭英志 (1978)。磁場對植物生長之影響。中華民國第十八屆中小學科學展覽會作品說明書。

陳雅婷、黃琬純、莊采樺、王俊雄(2002)。正負磁場對植物的反應。中華民國第四十二屆中小學科展說明書。

植物對環境逆境之調控與應用(2011, Dec)。行政院農業委員會。<https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=24091>

Mission-1Growth Experiment Results and Messages from Astronaut. (2021, March 25). Jaxa.[https://humans-in-space.jaxa.jp/en/biz-](https://humans-in-space.jaxa.jp/en/biz-lab/news/detail/001220.html?fbclid=IwAR266ZYVtDSZp04BOnWGufA49h555E5zWdSbCe_zB0b3WI-Q1NIZr-KJUxDY#0216)

lab/news/detail/001220.html?fbclid=IwAR266ZYVtDSZp04BOnWGufA49h555E5zWdSbCe_zB0b3WI-Q1NIZr-KJUxDY#0216