

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 生活與應用科學(二)科

第一名

082920

豆在土中戲 - 土耕豆芽的可行性與方法流程設計

學校名稱：臺中市私立明道普霖斯頓國民小學

作者： 小五 楊千萱 小五 朱柏臻 小五 吳睿羿 小五 許維恩	指導老師： 王懋勳 戴郁奇
---	---------------------

關鍵詞：土耕豆芽、自製脆度計、銀芽

## 得獎感言

### 用科學探究土耕豆芽趣，健康安全又便利

什麼？豆芽可以種在土中？民眾可以自己在家打造讓豆芽自己生長的神器？剛開始我加入科展，心想要做出超厲害的火箭、跑車，超偉大的發明！從參加科展社團後，這些天馬行空的夢想就一直縈繞我的腦中，但是慢慢地我了解研究的步驟與科學方法，更讓我知道，好好運用科學改善工具，小發明也是可以有大有處的。

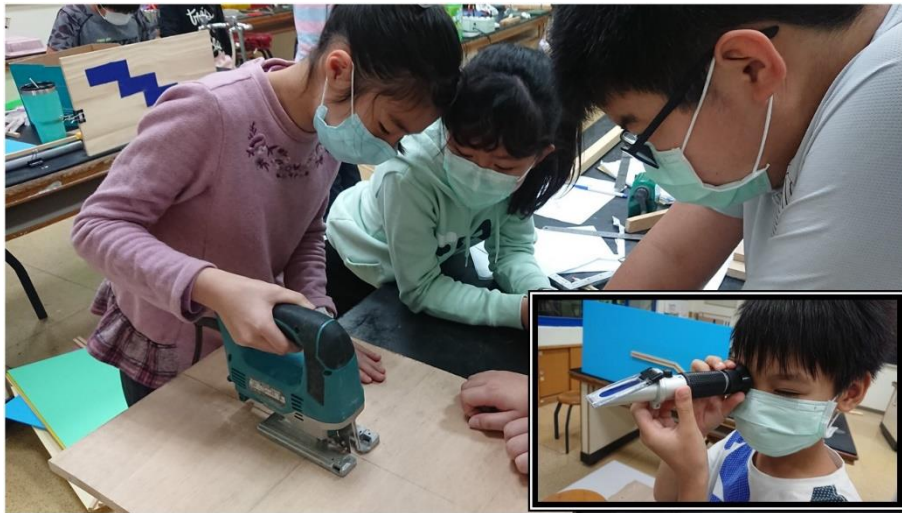
例如這次的主題，就是看到有關食品安全的報導後，我們想，不如讓民眾在家自己種豆芽？但一般的民眾怎麼可能在忙碌的生活中不斷換水？我們想那為什麼不像種稻米一樣，用土耕呢？土耕豆芽種出來又直又漂亮而且雜亂的根也埋在土中。我們每天實驗不停地測量觀察 14 罐豆芽找出最佳的方法及生長環境；每一個步驟都需要同伴們辛苦嘗試才能達成。回想過程中指導老師和同學，為了改善豆芽品質，我們設計出脆度計測量的方法，且量化成數據；同學自己鋸木條、不斷從失敗中學習，遇到豆芽枯萎、黃豆芽因溫度不對無法生長，「酸、甜、苦、辣」真的是實驗過程的寫照。過程中同伴間也會有許多爭執，甚至老師也會加入我們的爭戰中，但我們最後自然就在最公平的科學數據下達成和解，大家都無異議，之後還是好朋友啦！

第一次收到民眾試種成功後對我們土耕豆芽器的回饋，是讓我們最開心的事。我們設計出來的工具，真的讓大家都種出好吃的豆芽菜。我們也根據民眾的意見回饋，重新設計出第二代濕度器，這都是科學研究所帶來的收穫，不斷挑戰突破自我，沒有極限。

甜美的豆芽在我們嘴裡，更存在我們的心中！真的很喜歡我的同伴們，經過天天相處，看到彼此的努力，可以站在對方的立場設想，現在，變成能更相易奪的科展團隊。也因為有這兩年的磨練，無論是自我的要求(口齒清楚、調理分析、自信挺拔、收集比對各種資料)，亦或團隊的相處(確實負責、輔助角色到位、稱讚鼓勵隊友)，能力都再再增進許多，更要感謝懋勳老師不厭其煩地一直教導我們，超用心地讓我們知道科學的精神！

這次因為疫情全國比賽及頒獎都改成線上，我們無法到真正的比賽現場向大家仔細說明我們的研究成果，這也是第一次用線上審查的方式來進行比賽。為了比賽我們不斷的練習，從一開始的互相搶話到後來能順暢的表達，全靠著隊友們平日累積的默契與老師的陪伴。

終於！我們是第一名！當下聽到時，無法言喻的感動，一切的辛苦，終於得到認同，更是進一步的肯定自己！未來，我們將會帶著科學精神，try and error 繼續學習與探究！



實驗過程雖然辛苦，但是卻能收獲甜美的果實！



因為疫情改為線上視訊評審，這樣的經驗真的畢生難忘！



感謝校長、副校長對我們的支持和鼓勵，和我們一起感受得獎的喜悅！

## 摘要

本研究主要探討土耕豆芽的可行性，並研究其種植流程與器材，希望能推廣給民眾在家種出高品質安全豆芽。為了要準確測量，我們使用「自製脆度計」、「自製土壤濕度計」、「流水附著力測量法」、「紅墨水法」、「糖度計」對豆芽進行研究。

研究結果發現，土耕式豆芽不僅脆度、甜度比水耕式高，更可以省去每日換水 2 次的步驟，只要放著等收成就好。有利於土耕豆芽的條件如下：①土壤覆蓋 2 公分；②綠豆浸種 1 天；③土壤的土水比為 1：3；④不同環境溫度對應不同生長天數；⑤土耕豆芽器內部要透氣；⑥可添加碎蛋殼增加脆度。

最後利用這些條件打造出低成本的「土耕豆芽器」，不僅種出甜又脆的豆芽，也能快速幫豆芽去頭去尾，輕鬆獲得「銀芽」！

## 壹、研究動機

很多人對「食安」一直都十分在乎，如果能親自下田種菜會安心許多，但是對上班族和小學生們來說不太可能。經過討論發現「豆芽」是很快就能採收的菜，但是每天要換水 2 次的水耕種植過程很麻煩。我們就想，其他菜都能播種在土中生長，為什麼豆芽不行？種深一點不要讓它照光就好啦！而且土裡有豐富養分又可以保持水分不用天天換水，收割時又能把根留在土中讓豆芽的口感和長相變得比較好看，所以我們想試試看就讓豆芽在土中長大吧！

★ 與課程相關單元：【植物世界面面觀】、【奇妙的電路】、【熱的傳播與保溫】

## 貳、研究目的

【研究一】設計測量豆芽各項數據的方法

- 一、「豆芽脆度計」的設計
- 二、甜度的測量方法
- 三、長度的測量方法（全長、莖長、直徑）
- 四、制定實驗中種植豆芽的標準流程

【研究二】不同耕種方式對豆芽生長情形造成的影響

- 一、市售豆芽的脆度、甜度調查
- 二、土耕與水耕的比較

【研究三】影響土耕豆芽生長之因素的研究

- 一、不同土壤覆蓋程度對土耕豆芽生長的影響
- 二、不同浸種催芽時間對土耕豆芽生長的影響
- 三、不同濕度對土耕豆芽生長的影響
- 四、不同溫度對土耕豆芽生長的影響
- 五、是否透氣對土耕豆芽生長的影響
- 六、添加蛋殼對土耕豆芽生長的影響

【研究四】設計土耕豆芽器與耕種豆芽流程

- 一、土耕豆芽器的設計
- 二、簡易耕種豆芽流程設計：如何確認土壤中水分、土壤是否可回收再種豆芽

【研究五】民眾實測、第二代土壤濕度計的改進、豆芽保鮮度、其他豆類試種



## 參、研究設備及器材

製作工具	電鑽、螺絲起子、線鋸機、熱熔槍、直角尺
測量工具	游標尺、糖度計、棉線、紅墨水
豆芽脆度計	高扭力馬達、木材、鐵尺、磁鐵、電源供應器、電線、鱷魚夾
豆芽種植工具	PVC 水管、水管蓋、綠豆、培養土
自製冷卻箱	保麗龍箱、風扇、溫控插座、白熾燈泡、抽風扇、PVC 水管
土耕豆芽器	抽油煙機排煙管、塑膠罐、PVC 水管、花盆接水盤

## 肆、研究過程與方法

### 一、豆芽的種植理論：

#### 1. 種子發芽後的分類

**芽菜：**植物種子在暗室發芽後，就可以直接食用的稱為芽菜。

**苗菜：**植物種子在暗室發芽後，需要再照光綠化後才食用的稱為苗菜。

我們這次的研究主要是研究不照光、不綠化的**芽菜**。



#### 2. 綠豆發芽生長過程

種子吸水 → 胚根胚芽突破種皮 → 子葉澱粉被分解  
→ 胚根向下生長 → 下胚軸彎曲成鈎狀向上生長 →  
光照後下胚軸才逐漸變直，將上胚軸及子葉上舉



#### 3. 目前種植綠豆芽慣用流程

- (1). **洗種：**將綠豆種子清洗乾淨
- (2). **浸種催芽：**將種子浸泡在水中，每日換水，等待胚芽或胚根突出種皮。
- (3). **暗室水耕栽培：**將催芽後的種子移到暗室(不透光容器)，將容器裝滿水再倒掉，每日重複 3 次。(因為此時綠豆相當需要水分，但是豆類蛋白質、澱粉含量很高，泡在水中會臭掉)

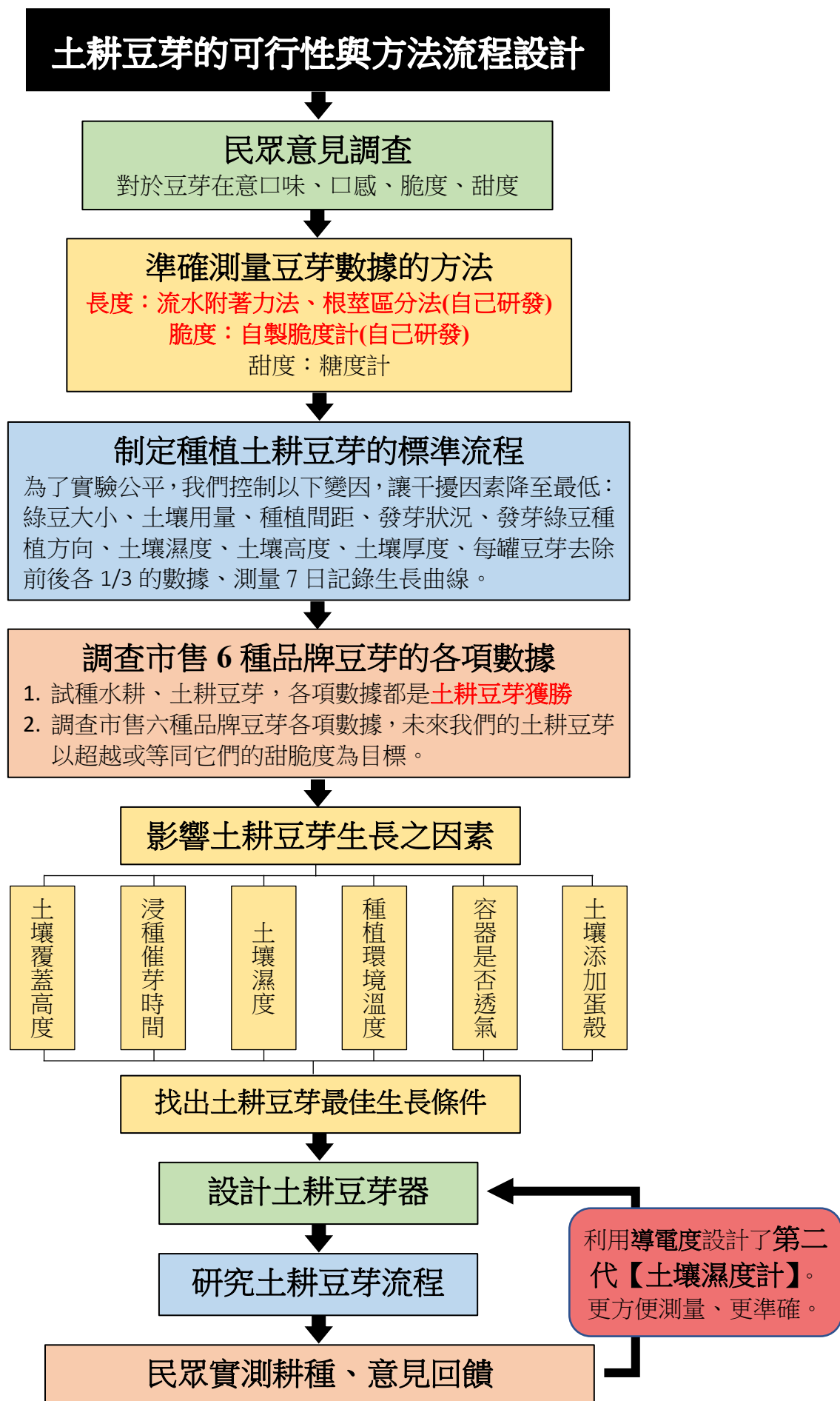
#### 4. 想用土耕種植綠豆芽的原因

我們嘗試用水耕種植綠豆芽，發現每天換 3 次水真的太麻煩了，有時候忘記豆芽就會乾掉。既然綠豆是種子，為何不像其他種子一樣播種在土中呢？土壤不僅可以保有水分，避免每日換水的麻煩，應該也可以提供額外的養分讓豆芽長得更好。

## 二、歷屆豆芽研究探討與本研究土耕豆芽特色

作品名稱	研究大綱	優點	缺點
<b>全國 48 屆</b> 色味俱全的豆 芽菜 <b>【水耕】</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 探討果汁對豆芽生長的影響</li> <li>● 豆芽生長對顏色、氣味是否有毛細現象</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 嘗試改善豆芽的顏色和味道很有趣味性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 只有紀錄長度</li> <li>● 果汁種植豆芽可行性不高，導致改變顏色和味道失敗</li> <li>● 無法給民眾可行種植方法</li> </ul>
<b>全國 52 屆</b> 我要長大—綠 豆芽承載能力 探討 <b>【水耕】</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 探討不同變因對豆芽生長的影響</li> <li>● 變因項目：光線、壓重物、容器大小、豆子品質</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 對於壓重物這個變因有豐富的實驗設計(重物重量、壓板大小、壓板透氣)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 豆子上壓重物會傾斜造成生長不均</li> <li>● 只有測量豆芽長度和重量</li> <li>● 測量長度方法不精確</li> <li>● 沒有給予民眾完整種植方法及流程</li> </ul>
<b>全國 54 屆</b> 豆志昂揚—探 討豆芽甜、脆 因素及銀芽得 來速方法 <b>【水耕】</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 探討豆芽甜、脆度</li> <li>● 影響豆芽生長的因素</li> <li>● 製作豆芽水耕溫箱</li> <li>● 製作銀芽切割盆</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 成功找出水耕豆芽最佳環境與方法</li> <li>● 成功研究自動水耕豆芽溫箱</li> <li>● 成功研發製作銀芽的方法</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 豆芽味滋脆度 計使用豆芽斷裂聲音判斷，不夠準確</li> <li>● 自動水耕豆芽溫箱一般民眾在家難以製作，無法普及</li> </ul>
<b>全國 55 屆</b> 受「壓」的豆 芽「漢草」好 <b>【水耕】</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 探討壓重物對豆芽生長的影響</li> <li>● 探討乙烯對豆芽生長的影響</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 能用香蕉皮產生乙烯，解決無法購買的問題</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 豆芽測量不精確</li> <li>● 實驗設計不仔細(壓重物不平均、無控制環境溫度)</li> <li>● 無法給民眾可行種植方法</li> </ul>
<b>全國 57 屆</b> 被「壓」榨的 綠豆 <b>【水耕】</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 探討不同環境對豆芽生長的影響</li> <li>● 環境變因：光照、光色、壓力、溫度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 實驗都有實驗組、對照組</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 只有紀錄照片和長度</li> <li>● 沒有說明如何精確測量</li> <li>● 沒有提供民眾種植環境及方法</li> </ul>
<b>我們的作品</b> 豆在土中戲— 土耕豆芽的可 行性與方法流 程設計 <b>【土耕】</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 制定準確的測量與種植豆芽方法</li> <li>● 豆芽土耕與水耕的比較</li> <li>● 影響土耕豆芽生長之因素(土壤覆蓋、泡水時間、溫度、濕度、透氣)</li> <li>● 設計土耕豆芽器</li> <li>● 土耕豆芽方法流程</li> </ul>	<b>本研究特色</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● <b>土耕豆芽不需要天天換水 2 次</b>，種好就可以不用管它，<b>直接放到收成</b>，非常方便。</li> <li>● 設計<b>精確的測量方法</b>  <b>自製豆芽脆度計</b>：用錄影量化豆芽斷裂數據  <b>糖度計</b>：測量豆芽甜度  <b>流水附著力測長法</b>：用水流讓棉線服貼不規則的豆芽，再量出綿線的長度，就是豆芽準確的長度  <b>土壤濕度計</b>：用導電度，準確測出土水比 1：3</li> <li>● 盡可能找出環境變因，量測出最適合土耕豆芽的數據，讓豆芽脆度、甜度都最好</li> <li>● <b>用數據設計土耕豆芽器</b>，而且要便宜容易取得</li> <li>● 測量不同溫度時豈芽生長速度，<b>製作溫度與種植時間的對照表</b>，才能採收有最高甜度脆度的豆芽</li> <li>● 設計<b>土耕豆芽簡單種植流程</b>，讓民眾<b>有意願</b>在家種植，<b>有利於推廣</b></li> </ul>	

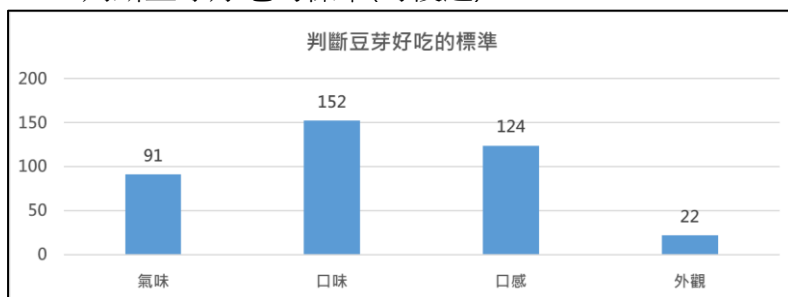
### 三、研究架構



#### 四、問卷調查：民眾對於「好吃豆芽」的認定條件

我們的目標是推廣大家在家自己種豆芽，所以想先了解大家在意豆芽哪些事情，我們之後就往這方面進行研究設計。【有效問卷：175份】

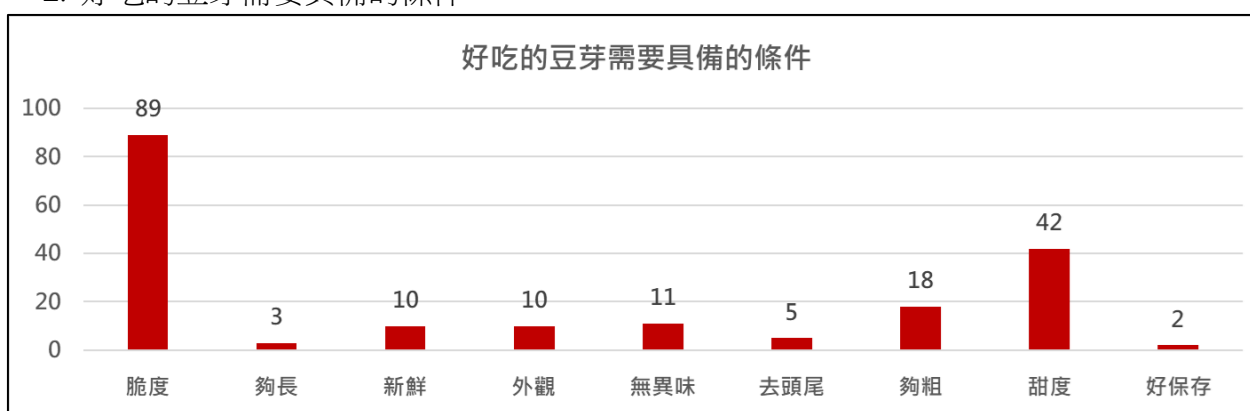
##### 1. 判斷豆芽好吃的標準(可複選)



豆芽喜好問卷調查

- 您的年齡  
 7歲~12歲     13歲~17歲     18歲~28歲     29歲~40歲  
 41歲~55歲     56歲~65歲     65歲以上
- 品嚐一種食物時，您會根據以下哪些標準來判斷食物是否好吃？(可複選)  
 食物香氣     食物口味     食物口感     食物形狀
- 您有吃過豆芽菜嗎？  
 有     沒有
- 您覺得好吃的豆芽菜需要具備什麼條件？  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

##### 2. 好吃的豆芽需要具備的條件



##### 3. 調查結果討論

- (1). 175位民眾覺得**脆度**、**甜度**是好吃豆芽的關鍵條件。
- (2). 脆度、甜度剛好也符合民眾勾選的判斷標準。
- (3). 所以未來我們會用以下項目對豆芽進行生長測量：全長、莖長、直徑、脆度、甜度。

## 伍、研究結果與討論

### 【研究一】設計測量豆芽各項數據的方法

#### 一、「豆芽脆度計」的設計：

##### 1. 設計討論

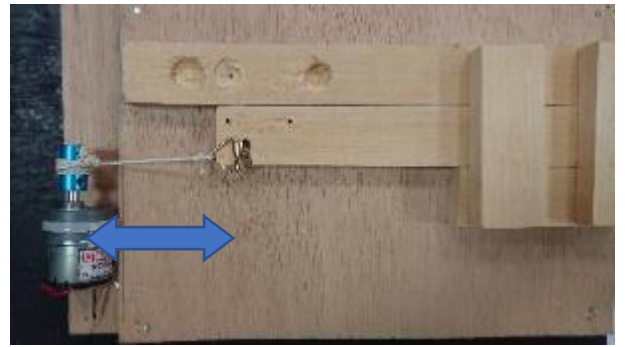
- (1). 脆的定義：不堅韌、容易破碎的。所以豆芽**越容易折斷代表越脆**。
- (2). 以前其他作品要測脆度都是用人手折斷豆芽，並且用人的感官(聽覺、視覺)觀察**豆芽斷掉的瞬間**，紀錄此刻量測工具的刻度，**我們覺得這樣很不準確**。
- (3). 我們想用**機械的方式來折斷豆芽**，並且將過程**全程錄影**，再用**慢動作播放判斷豆芽折斷的瞬間**，再記錄下此刻量測工具的刻度，這樣比較可以去除人為誤差。



## 2. 設計過程



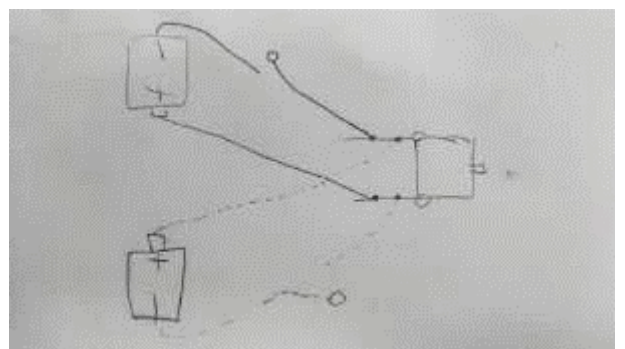
我們想要模擬手指頭推斷豆芽的情形。



木板左方固定高扭力慢速馬達，用繩子和三角鉤將馬達和可移動木條連接。這樣可以：馬達轉動→拉動木條→取代手指推斷豆芽



在可移動木條上黏一個很直角的鐵片，方便之後判斷豆芽折斷瞬間的刻度。



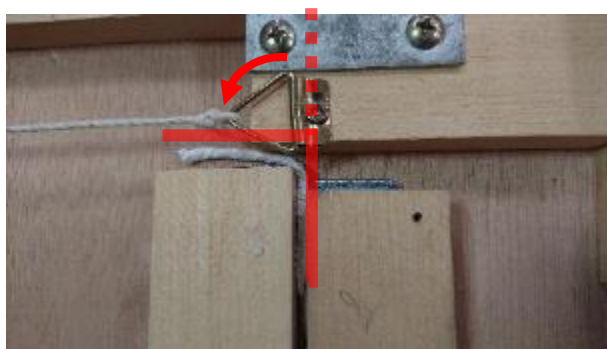
用兩台電源供應器、兩個開關、鱷魚夾電線設計兩條並聯通路控制馬達。



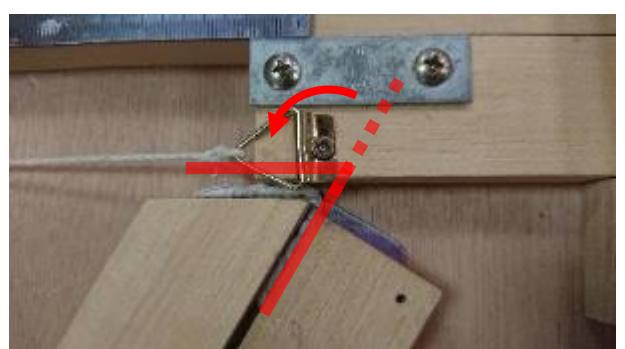
要推斷豆芽時打開 **A 開關** 讓馬達逆時針轉  
要讓木條倒退時打開 **B 開關** 讓馬達順時針轉



設計切豆芽器，讓每次測脆度的豆芽等長。



原本夾住豆芽的木條是垂直的，這樣推豆芽的時候，豆芽最多只能彎折 90 度。



把夾住豆芽的木條傾斜一角度，讓豆芽被推的時候最多能彎折 120 度。

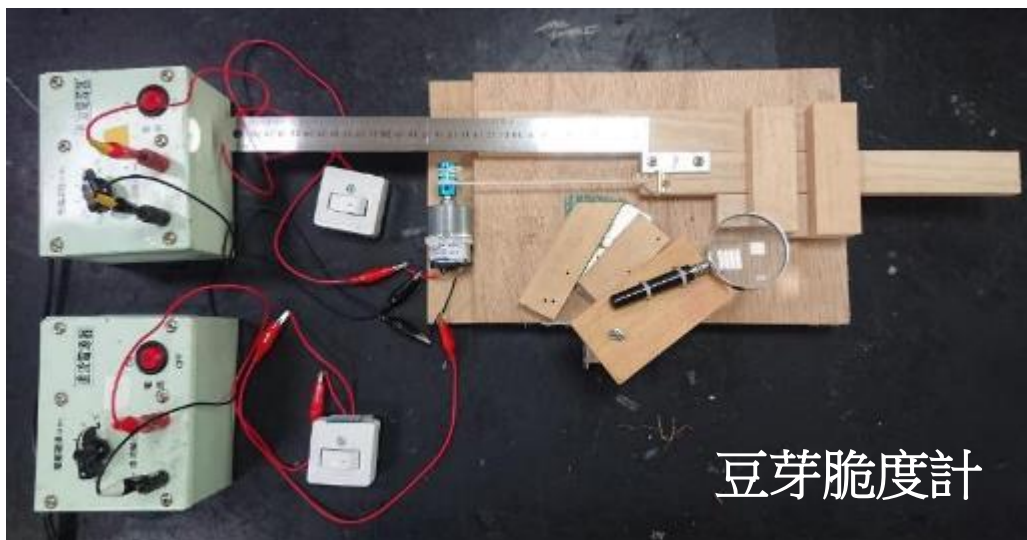


我們在機器下方加裝了可旋轉式放大鏡，這樣可以更清楚錄到豆芽斷裂的瞬間。



### 3. 測量豆芽脆度的方法

- (1). 將豆芽用『切豆芽器』切成相同長度，用木條豆芽夾固定住。
- (2). 左方的馬達拉動白色繩子，帶動右方的木條往左移動。
- (3). 全程用手機錄影**放大鏡下的豆芽畫面**和**木條在鐵尺旁移動的情形**。之後再用電腦慢動作播放錄影畫面，進行記錄。
- (4). 當豆芽出現斷裂痕跡時，紀錄木條所在的公分數。因為我們定義：豆芽越容易折斷代表越脆，所以**量測公分數越小，代表豆芽越快斷掉，也就是越脆**。所以我們脆度的算法是： $\frac{1}{\text{量測公分數}} = \text{脆度}$



### 二、甜度的測量方法：使用糖度計測量



把待測豆芽放進針筒內，擠壓出汁滴在糖度計上。

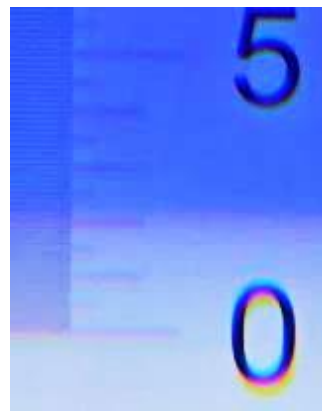


用眼睛看很難精確判斷，所以用手機照相記錄糖度計的畫面，放大判斷。





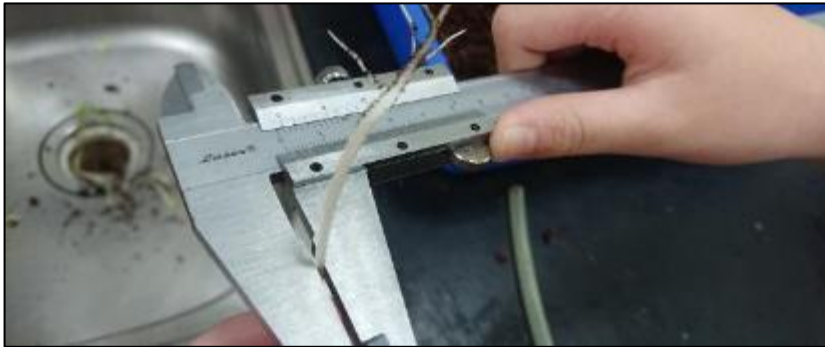
判斷糖度後，使用蒸餾水清洗糖度計。



雖然它的刻度最小到 0.1%，但是因為藍、白色判讀界線是暈開的狀態，為了公平判斷，我們把視覺能識別的刻度 0.25% 當作最小刻度。(例如分界線在兩條紅線之間，糖度就是 2.25%)

### 三、長度的測量方法：

1. 直徑：使用游標尺測量，最小刻度為 0.05mm。



「流水附著力法」

2. 全長

- (1). 因為豆芽不是直線生長，所以我們用黑棉線從豆芽頭、沿著豆芽身體走，一直到延續到豆芽尾。
- (2). 但是這樣慢慢走太慢了，所以我們發明了「流水附著力法」，就是把線頭固定在豆芽頭，然後用小水流沖豆芽和棉線，這樣棉線就會自動附著在豆芽上了，接著再把棉線放在尺上記錄長度。

3. 莖長

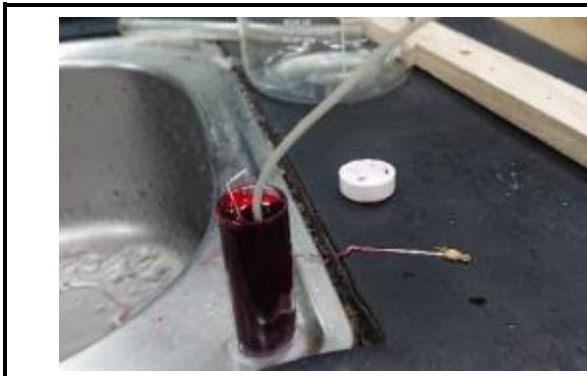
- (1). 因為豆芽最主要是吃它的莖，大家不喜歡根。我們很困擾的是不知道根、莖的分界線在哪裡。
- (2). 後來我們想到，之前做莧菜吸紅墨水實驗時，**根的部分都特別紅**，就推測是不是因為根的功能是吸水，所以有這個現象。
- (3). 另外查資料發現，**根的部分有根毛，應該更容易附著紅墨水**，所以就想利用紅墨水容易幫根部著色的特點來區分根與莖。
- (4). 所以我們的判斷點就是：
  - 根：**整圈都有紅墨水圍繞的部分就是根。**
  - 莖：只有部分有紅墨水的是莖，因為可能是莖上紋路的毛細現象。



豆芽根的部分有根毛



豆芽莖的部分沒有



我們把豆芽下半段泡在紅墨水中 30 秒。



拿起來整根豆芽用水沖 10 秒。

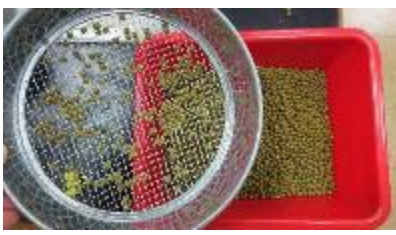


紅線右方，整圈紅色沖不掉的地方就是根。



把根的部分剪掉，再用「流水附著力法」用黑線測量莖的長度。

#### 四、制定實驗中種植豆芽的標準流程：豆芽種植罐



選豆：用網篩去除太小、太大的綠豆。



浸種催芽：將挑好的綠豆用自來水浸泡 1 天



在 PVC 水管蓋上放入 100 公克的土壤。



蓋上模具在土上戳 12 個洞。讓每次的間隔、顆數都相同。



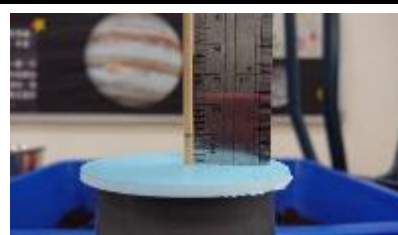
挑選狀況相似的綠豆。



把挑選過的綠豆種在剛剛戳的 12 個洞中，方向要一樣。



蓋上高 13 公分的 PVC 塑膠管，在塑膠管中填入土壤。



用自製的「土壤厚度計」確定每次覆蓋的土都一樣厚。



蓋上塑膠上蓋，創造無光的環境，才能長出白色豆芽。



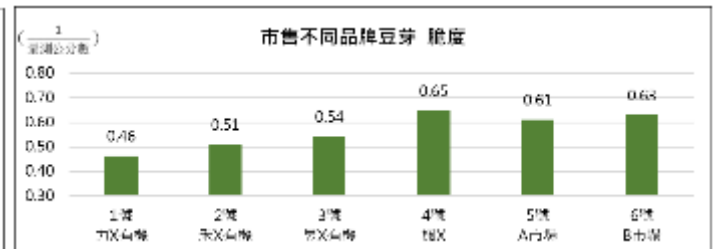
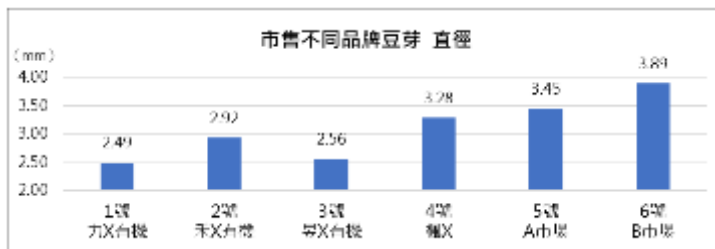
## 【研究二】不同耕種方式對豆芽生長情形造成的影響

### 一、市售豆芽的脆度、甜度調查

我們從市面上不同店家買了6種不同品牌的綠豆芽，每種豆芽取10根測量它們的直徑、甜度、脆度取平均，了解市場上綠豆芽的狀況。

1號 力X有機	2號 禾X有機	3號 昱X有機	4號 楓X	5號 A市場	6號 B市場
					

#### 1. 數據測量



#### 2. 數據討論

- 市面上標榜有機的豆芽：直徑都在3mm以下、甜度都比較高（一品牌除外）、脆度較不脆、外觀上根較長。
- 傳統市場（5號、6號）的豆芽：直徑都在3mm以上、甜度都很低（比較中最低的）、外觀上根較短。
- 詢問專業豆芽農家，**傳統市場的豆芽因為有添加其他物質（例如：乙烯）“催生”的過程，所以很粗但是較沒有味道。而根很短可能是因為加了除草劑！**
- 發現直徑和脆度有相當程度的關係，因為4、5、6號的**直徑和脆度**在6個品牌中**都是前三名**的。
- 我們的**目標是土耕的豆芽脆度、甜度要高**，至少不能輸給市售有機的品牌。

### 二、土耕與水耕的比較

#### 1. 土耕豆芽種植方式

- 「土耕豆芽種植罐」種植方式詳見 p.10 種植標準流程。
- 共種植 14 罐，每天各開 2 罐進行豆芽的觀察與測量，觀察 7 天。
- 每罐豆芽本來有 12 株，**為了去除生長不均的自然因素，12 株豆芽中去除長度前 4 名與後 4 名，取中間 4 名進行測量。**
- 紀錄項目分別為：全長、莖長、直徑、脆度、甜度。



## 2. 水耕豆芽種植方式

- (1). **第一代**水耕豆芽罐：我們把催芽後的綠豆直接放進空的種植罐，每天澆水 2 次後再把水倒空。



- (2). **第二代**水耕豆芽罐：我們在罐子底部放入養魚用的生化棉，讓綠豆的根有立足點，希望可以讓莖往上長得比較直。



- (3). **第三代**水耕豆芽罐：我們在罐子中下方放一個**地板隔間**並鑽洞，讓**綠豆的子葉卡在洞口**，這樣根就可以直直往下長，莖也會因為根有支撐力而長得較直。



### 3. 測量結果與討論

#### (1). 長度部分

- 水耕、土耕(以下簡稱兩者)的全長、莖長生長曲線是相似的。
- 全長兩者在第 7 天相差最多，達 5.23 公分。
- 莖長兩者在第 7 天相差最多，達 1.89 公分。

#### (2). 直徑部分

- 土耕在第 4 天到達最粗，之後持續生長而變細。
- 水耕在第 5 天到達最粗，之後持續生長而變細。

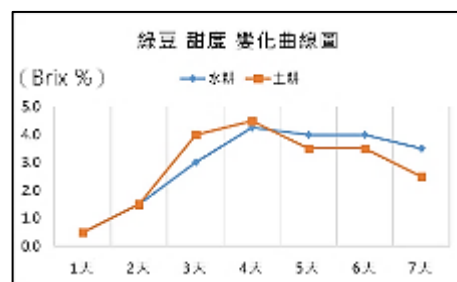
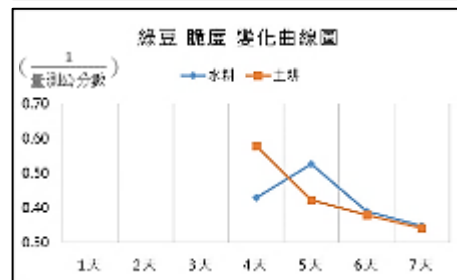
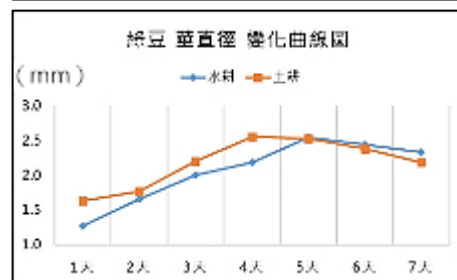
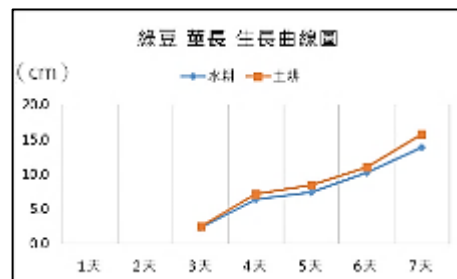
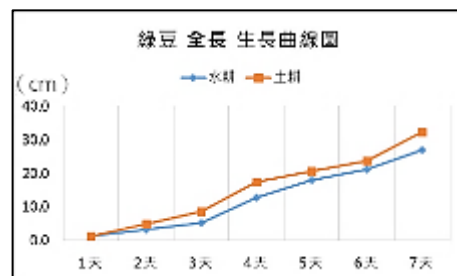
#### (3). 脆度部分

- 土耕脆度在第 4 天到達最高，達 0.58，贏過我們找到市面上的有機豆芽，在市面上 6 種豆芽種排名第 3 名。
- 水耕脆度在第 5 天到達最高，達 0.53，在我們找的市面上 6 種豆芽中排名第 5 名。
- 我們發現，直徑越粗，脆度越高。而且生長天數越多，脆度會一直下降，因為豆芽會越長越長、越軟，吃起來較有韌性。

#### (4). 甜度部分

- 土耕在第 4 天最高，達 4.5；水耕在第 4 天最高，達 4.3，兩者沒有相差很多。
- 但是第 5 天後，土耕的甜度下降比水耕快。因為綠豆生長需要把子葉的澱粉轉換成醣類供細胞生長，而土耕第 5 天後長的比水耕更長，所以合理推測醣類使用的比較多。

- (5). 實驗證明，**土耕的生長情形比水耕好**，更重要的是，**這 7 天內土耕的豆芽都不用再澆水換水，便利性相當高**，所以之後實驗我們都用土耕進行實驗！



## 【研究三】影響土耕豆芽生長之因素的研究

### 一、不同土壤覆蓋程度對土耕豆芽生長的影響

我們從以前的研究知道，水耕豆芽時如果在上方壓重物可以讓豆芽變得比較粗，因為重物會阻礙豆芽向上生長，讓它橫向發展，可是如果壓的重物太重豆芽就會爛掉。所以我們想知道土耕豆芽時，上方蓋不同後度得土會不會影響它的生長。

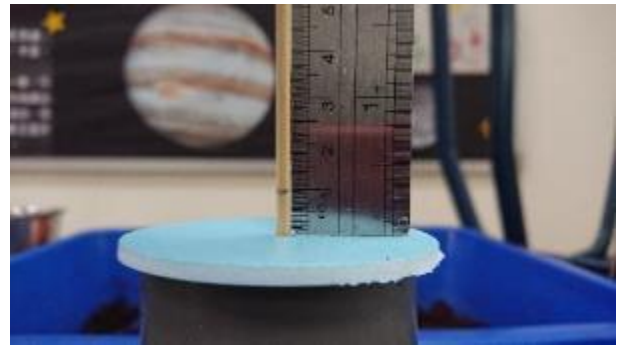
#### 1. 實驗設計

- (1). 實驗變因為「覆蓋不同高度土壤」，分為不覆蓋、覆蓋 2 公分、覆蓋 4 公分。
- (2). 每個變因種植 14 罐「土耕豆芽種植罐」，每天各開 2 罐進行觀察測量，共 7 天。
- (3). 每罐豆芽本來有 12 株，為了去除生長不均的自然因素，12 株豆芽中去除長度前 4 名與後 4 名，取中間 4 名進行測量。





300g 的重物  
飲料罐



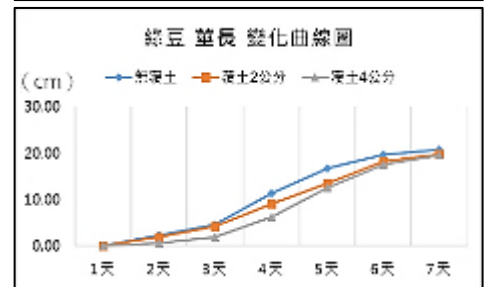
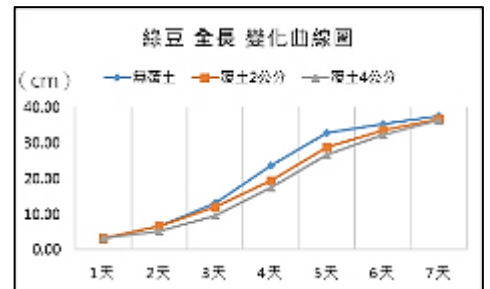
每次覆蓋土之後，放入直徑較小的飲料罐，上方再用 300g 的重物壓土。

壓完土後，用自製的「土壤厚度計」測量覆蓋土的厚度，如果不夠厚就重複左邊的步驟

## 2. 測量結果與討論

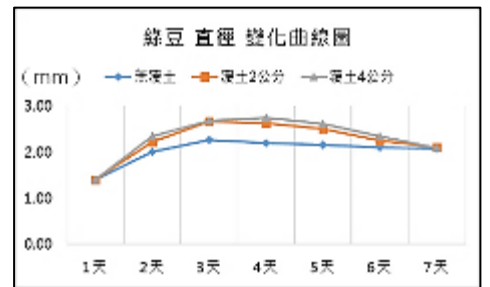
### (1). 長度部分

- 無覆土、覆土 2 公分、覆土 4 公分（以下簡稱三者）的全長、莖長生長曲線趨勢相似。
- 全長部分，三者在第 3 天~第 6 天有明顯的不同；**全長生長速度：無覆土 > 覆土 2 公分 > 覆土 4 公分**。無覆土生長速度幾乎比覆土 4 公分早 1 天。
- 莖長部分，三者在第 2 天~第 6 天有明顯的不同。**莖生長速度：無覆土 > 覆土 2 公分 > 覆土 4 公分**。無覆土生長速度幾乎比覆土 4 公分早 1 天。
- 全長和莖長在第 7 天時三者幾乎相同，可能是因為三者都已經長到頂到蓋子阻礙生長。



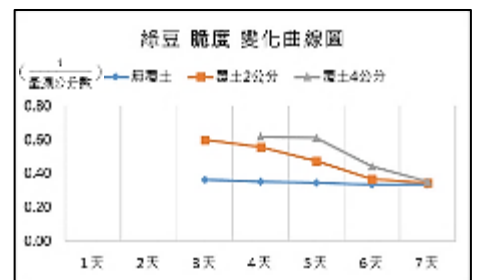
### (2). 直徑部分

- 覆土 2 公分、4 公分的直莖粗度曲線變化是相似的。
- 三者的直莖在第 3 天達到最粗，而且在第 2~6 天有明顯的差異。
- 覆土 2 公分、4 公分的直莖在第 3 天後因為持續生長而變細。無覆土的直徑在第 3 天後幾乎沒有變化。
- **最大直徑粗度：覆土 4 公分 > 覆土 2 公分 > 無覆土。**



### (3). 脆度部分

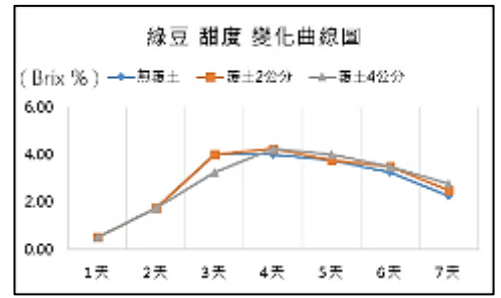
- 覆土 4 公分脆度在第 4 天達到最高 0.62；覆土 2 公分脆度在第 3 天達到最高 0.6；無覆土脆度在第 3 天達到最高 0.36。
- 我們發現**直徑越粗，脆度越高**。生長天數越多，脆度會一直下降，因為豆芽會越來越長、越細。但是無覆土直徑都很細，所以脆度幾乎維持一樣。
- **最大脆度：覆土 4 公分 > 覆土 2 公分 > 無覆土。**





#### (4). 甜度部分

- 無覆土甜度在第3天最高達4；覆土2公分在第4天最高達4.25；覆土4公分在第4天最高達4.25。
- 無覆土因為生長最快，所以甜度最快達到最高。**最大甜度：覆土4公分=覆土2公分>無覆土。**



#### (5). 綜合討論

- 無覆土的豆芽雖然長得最快，但是脆度、甜度都是最後一名，我們不考慮。
- 甜度部分，覆土2公分和4公分都是在第4天達到最高。
- 脆度部分，雖然覆土4公分最高脆度達0.62，但是**覆土2公分早了一天達到最高脆度0.6**，而且只差0.02差距很小。
- 綜合考量甜度、脆度、生長速度，**我們決定土耕豆芽覆土2公分。**

## 二、不同浸種催芽時間對土耕豆芽生長的影響

許多種子在播種前會先浸種催芽，加速乾燥種子的吸水過程，讓種子較能整齊的生長。但是查詢資料後發現，有些豆類種子不適合浸種太久，可能會發生子葉破裂、種子發臭腐爛的情形。所以我們想知道浸種多久是較好的時間。

### 1. 實驗設計

- (1). 實驗變因為「浸種時間」，分為不浸種、浸種1天、浸種2天。
- (2). 為了方便推廣給大眾，浸種的水使用自來水，每天只換1次。
- (3). 每個變因每天各開2罐進行觀察測量，共7天。每罐豆芽**去除長度前4名與後4名，取中間4名進行測量。**



浸種1天的綠豆

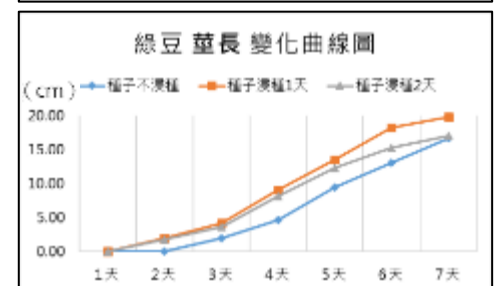
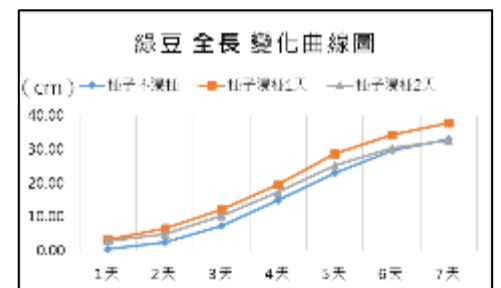


浸種2天的綠豆，胚根更長，皮容易脫落

### 2. 測量結果與討論

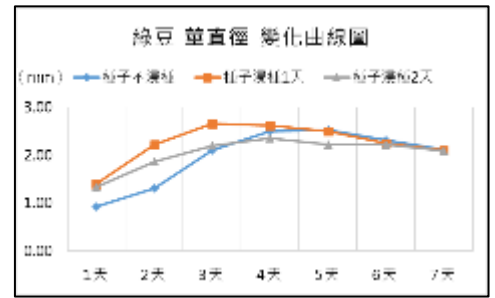
#### (1). 長度部分

- 全長的部分，三者生長曲線變化相似，但是前6天的**全長生長速度：浸種1天>浸種2天>不浸種。**
- 第7天全長，浸種1天仍然第一，但是**不浸種>浸種2天。**
- 莖長的部分，第2~7天的**莖長生長速度：浸種1天>浸種2天>不浸種。**
- 第7天的莖長，浸種2天組，竟然和不浸種組幾乎相同。



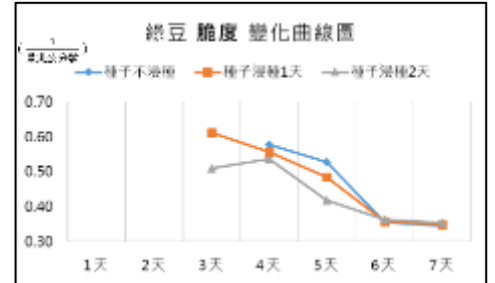
(2). 直徑部分

- 浸種 1 天的在第 3 天到達最粗；浸種 2 天的在第 4 天到達最粗；不浸種的在第 5 天到達最粗。
- 三者的**最大直徑粗度：浸種 1 天>不浸種>浸種 2 天**。



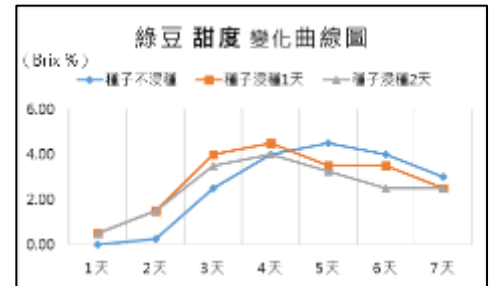
(3). 脆度部分

- 浸種 1 天的脆度在第 3 天達到最高 0.61；浸種 2 天的脆度在第 4 天達到最高 0.54；不浸種的脆度在第 4 天達到最高 0.58。
- 我們發現**直徑越粗，脆度越高**。生長天數越多，脆度會一直下降，因為豆芽會越來越長、越細。
- **最大脆度：浸種 1 天>不浸種>浸種 2 天**。



(4). 甜度部分

- 浸種 1 天的甜度在第 4 天達到最高 4.5；浸種 2 天的甜度在第 4 天達到最高 4；不浸種的甜度在第 5 天達到最高 4.5。
- **最大甜度：浸種 1 天=不浸種>浸種 2 天**。



(5). 綜合討論

- 從生長曲線來看，不浸種的豆芽生長速度、甜度幾乎都比浸種 1 天的豆芽晚了 1 天，所以**我們不考慮不浸種**。
- 浸種 2 天的多吸了 1 天水，生長情形應該要是最快的，但是從曲線圖我們可以發現，**浸種 2 天的都輸給浸種 1 天的，直徑生長曲線也是三者中較平緩的，甚至浸種 2 天的脆度甜度都輸給不浸種的**。
- 再加上我們種植時發現到的現象：浸種 2 天的種子冒出的芽很長，容易斷裂，甚至我們種的時候會比較容易折斷芽，所以**我們不考慮浸種 2 天**。
- 綜合考量甜度、脆度、生長速度，**我們決定綠豆浸種 1 天**。



浸種 1 天後，水的表面有一些小泡泡，聞起來有一點淡淡的綠豆味，沖水後有點混濁。



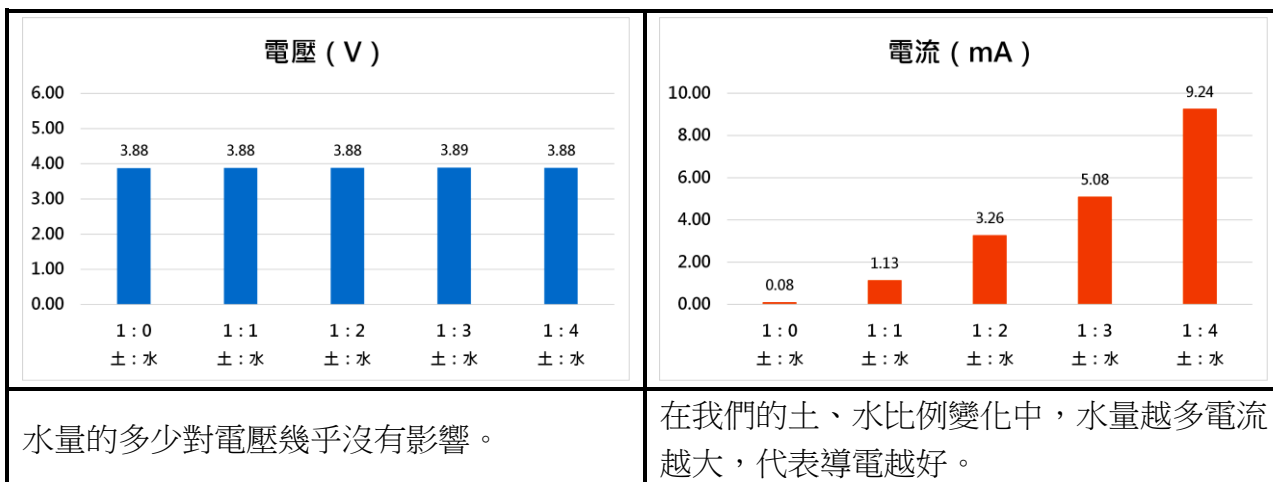
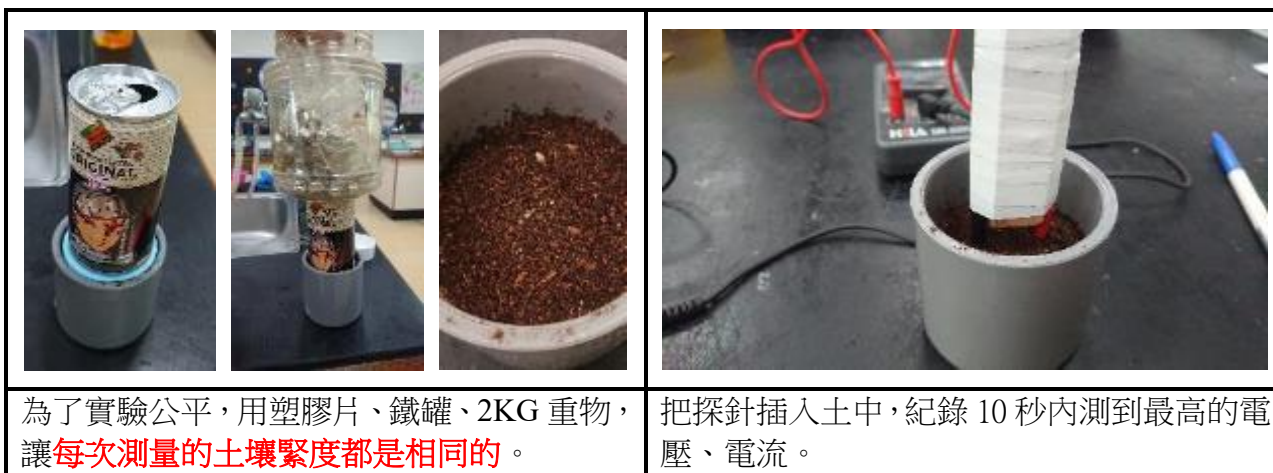
浸種第 2 天後表面有一些小泡泡，綠豆味比昨天更濃，很多皮都脫落沖水後更混濁

### 三、不同濕度對土耕豆芽生長的影響

我們想推廣簡單方便在家自己用土種豆芽，讓它自己長不用換水，所以第一次澆水就要把水澆夠，但是又不能太多水，到底要多少水才夠呢，所以我們要進行實測才知道。

#### 1. 實驗設計

- (1). 實驗變因為「土壤不同含水量」，我們用**土和水的重量比例**當作操縱變因，分別為土：水 =  $1:0$ 、 $1:1$ 、 $1:2$ 、 $1:3$ 、 $1:4$ 。
- (2). 為了證明水在土中的含量真的有差異，我們測量土壤的導電度。
- (3). 每個變因每天各開 2 罐進行觀察測量，共 7 天。每罐豆芽**去除長度前 4 名與後 4 名，取中間 4 名進行測量。**



## 2. 測量結果與討論

### (1). 長度部分

- 全長的部分，土水比  $1:0$  的 7 天中最多只長到 2.09 公分，第 4 天後還慢慢萎縮。

土水比  $1:4$  的第 3 天就開始發臭而且整個豆子爛掉變成黏稠狀。

全長生長速度： $1:3 > 1:2 > 1:1$

- 莖長的部分，土水比  $1:0$  的太短幾乎量不到莖長。

土水比  $1:4$  的發臭爛掉無法測量。

第 2~7 天的莖長生長速度： $1:3 > 1:2 > 1:1$ 。

### (2). 直徑部分

- 土水比  $1:0$  的直徑維持在 1mm~1.2mm 之間。

土水比  $1:4$  的發臭爛掉無法測量。

土水比  $1:1$  的在第 7 天到達最粗；

土水比  $1:2$  的在第 7 天到達最粗；

土水比  $1:3$  的在第 4 天到達最粗。

- 三者最大直徑粗度： $1:3 = 1:2 > 1:1$ 。

### (3). 脆度部分

- 土水比  $1:0$ 、 $1:1$ 、 $1:4$ ，這三組因為長度太短無法測量脆度。

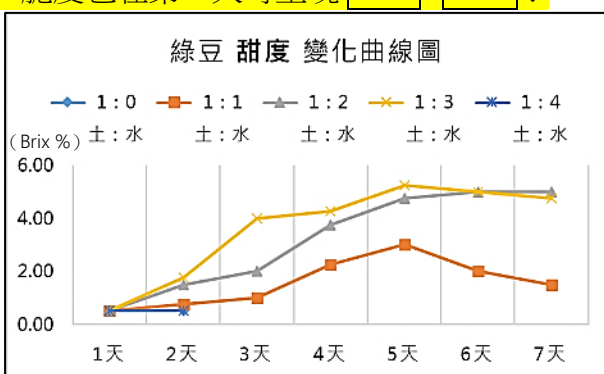
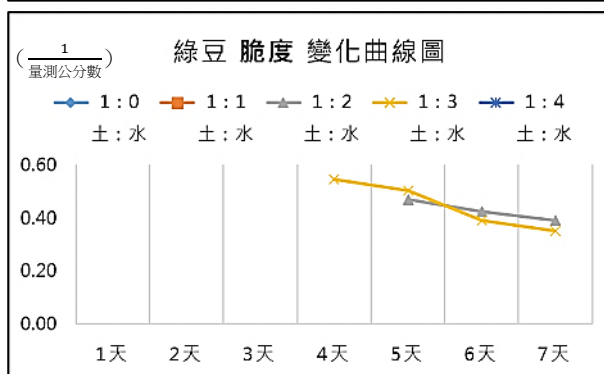
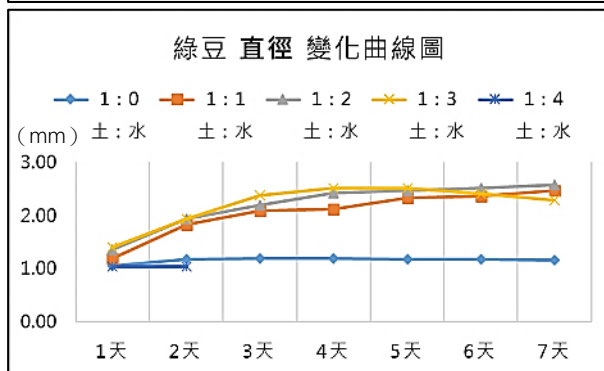
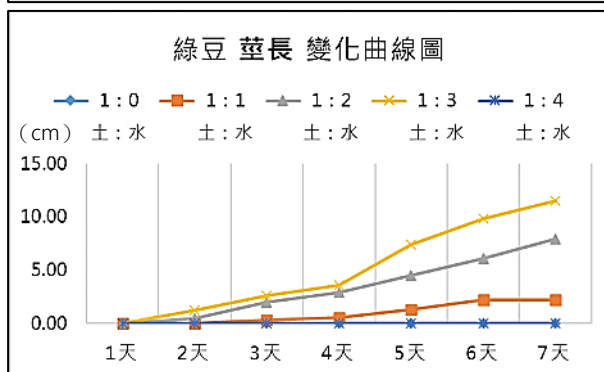
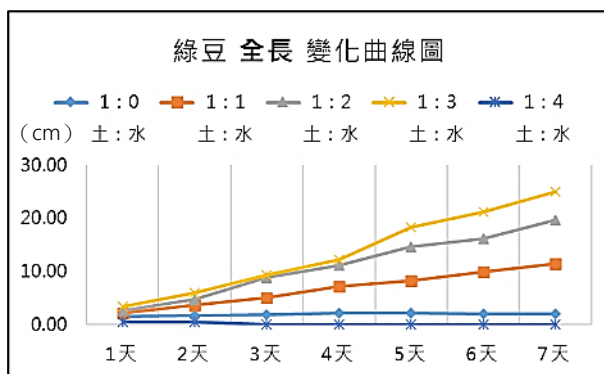
- 土水比  $1:3$  的脆度在第 4 天達到最高 0.55；土水比  $1:2$  的脆度在第 5 天達到最高 0.47。

- 我們發現直徑越粗，脆度越高。例如：直徑在第 6 天時  $1:2 > 1:3$ ，脆度也在第 6 天時呈現  $1:2 > 1:3$ ！

### (4). 甜度部分

- 土水比  $1:0$  的在第 3 天後就擠不出汁； $1:1$  的在第 5 天達到最高 3； $1:2$  的在第 6 天達到最高 5； $1:3$  的在第 5 天達到最高 5.25。

- 最大甜度： $1:3 > 1:2 > 1:1$ 。





#### (5). 綜合討論

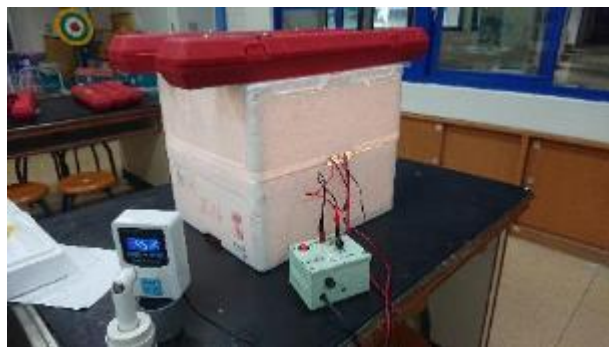
- 從生長曲線來看，土水比 1:0、1:1 的水分不足生長緩慢；1:4 的水分太多結果豆子泡爛發臭，所以我們都不考慮這些土水比。
- 不論生長速度、脆度、甜度，結果都是 1:3 > 1:2，所以我們決定土：水的比例為 1:3。

#### 四、不同溫度對土耕豆芽生長的影響

我們發現天氣變冷的時候，豆芽的生長明顯變得比較慢，所以我們想知道溫度對豆芽生長的影響，未來可以告訴民眾在多少溫度區間時，豆芽生長的最佳天數，因為我們的土耕豆芽是種完後就可以放著不管它直到收成。

##### 1. 實驗設計

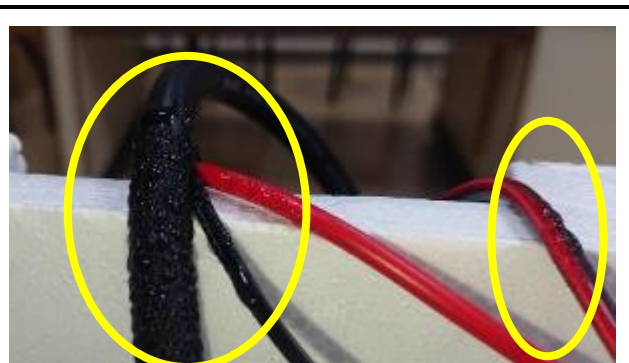
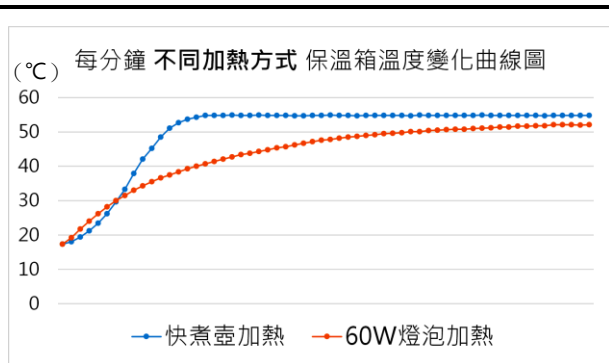
- (1). 實驗變因為「不同環境溫度」，我們利用自製溫控保溫箱，在 20~30 度間進行實驗，分別是 21°C、23°C、25°C、27°C、29°C。
- (2). 每個變因每天各開 2 罐進行觀察測量，共 7 天。每罐豆芽去除長度前 4 名與後 4 名，取中間 4 名進行測量。



用兩個保麗龍箱倒扣當成保溫箱主體，首先是要決定加熱源，所以我們設置了電子溫度計和錄影機，紀錄升溫情形。



要測量的熱源有兩個：60W 燈泡和快煮壺。我們還在保溫箱中裝了小型風扇，讓箱內的溫度盡可能均勻。



每個加熱裝置加熱 60 分鐘，記錄每分鐘的溫度變化。

快煮壺加熱：20 分鐘達到最高溫 54.9°C，之後一直維持在 54.7°C~54.9°C。

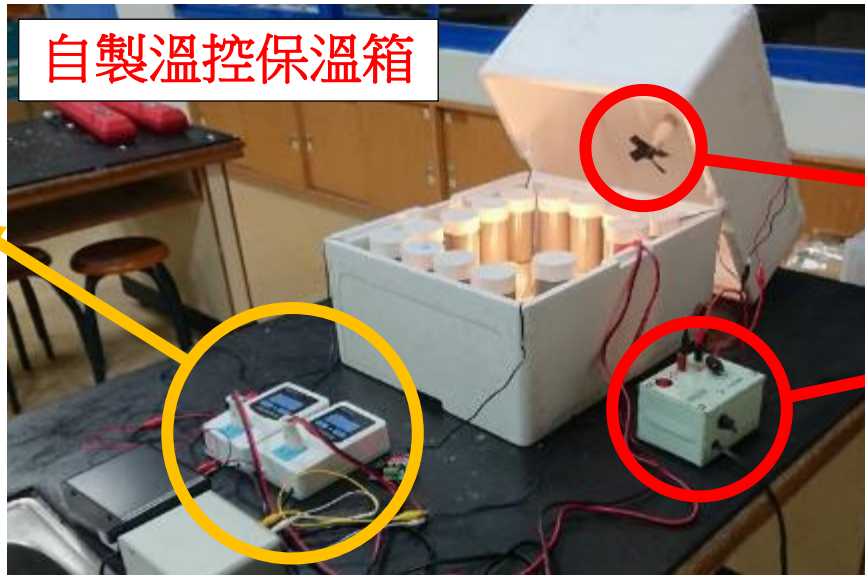
60W 燈泡加熱：56 分鐘達到最高溫 52.1°C，之後一直維持在 52°C~52.1°C。

兩者最後的溫度都可以維持很穩定，雖然快煮壺加熱快又比較高溫，但是我們發現保溫箱內有大量水滴凝結，這會影響我們的種植環境，所以最後我們選擇用 60W 燈泡加熱。

## 自製溫控保溫箱

### 溫控插座 110V

把溫控插座的溫度感應器放在保麗龍箱內，60W 燈泡插在這裡獲得電源，設定溫度高於目標時斷電，溫度低於目標時打開電源。



### 風扇

讓保溫箱內各個地方的溫度盡可能相同。

### 電源供應器

提供風扇電源。

## 【冷卻裝置的設計】

### 抽氣大風扇

用風扇把下面的冷空氣抽上去，而且裝進密封保鮮盒，才不會漏氣。



### 冷空氣製造箱

保麗龍箱裝滿冰塊，側面插滿吸管，當上方風扇開始抽氣，外面的空氣吸進去經過冰塊，變成冷空氣，再從上方的PVC水管送進溫控保溫箱。吸管要插斜的，融化的水才不會流出來。



### 溫控插座-控制冷卻風扇

溫度高於目標時通電送進冷風，溫度低於目標時斷電停止送風。

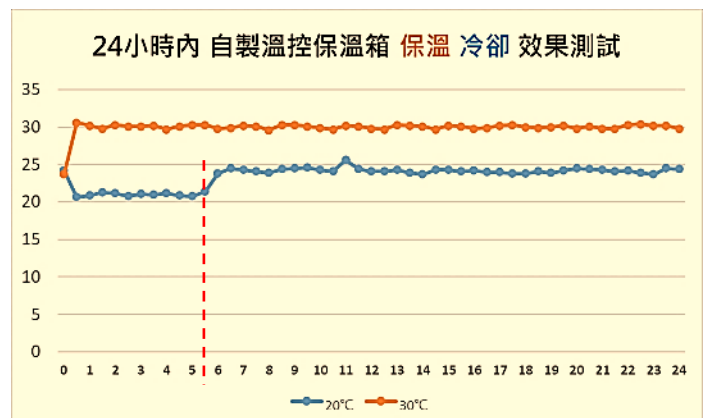
### 溫控插座-控制加熱燈泡

溫度低於目標時通電亮燈加熱，溫度高於目標時斷電停止加熱。

## 2. 自製溫控保溫箱的效果

(1). 因為警衛室 24 小時冷氣都不會關(最低可到 23.3°C)，所以我們整套器材放在警衛室進行實驗。

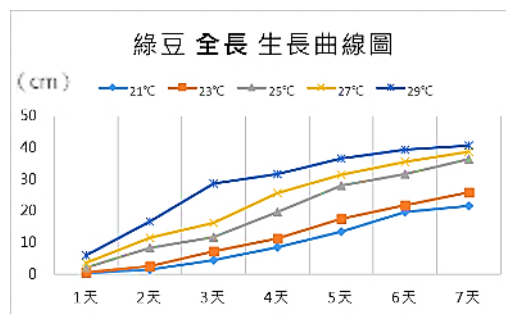
(2). 進行 24 小時效果實驗發現，【溫控保溫箱】可以穩定維持高溫在 30°C 沒有問題，但是低溫 20°C 只能維持 5 小時 30 分鐘，因為冰塊全部溶化了，所以白天我們自己換冰塊，晚上就拜託警衛每 5 小時換一次冰塊(用夾鏈袋裝水重複冷凍)。



### 3. 測量結果與討論

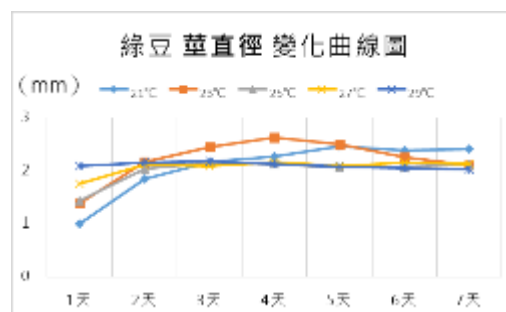
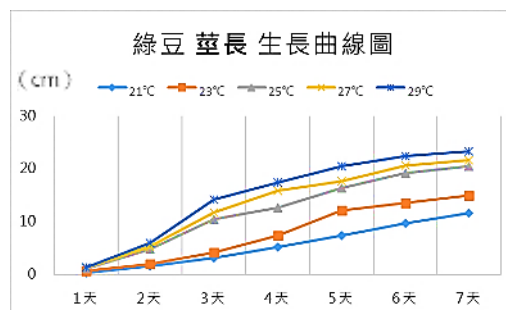
#### (1). 長度部分

- 從第1天到第7天，溫度越高，綠豆越長。
- 從第1天到第7天，溫度越高，莖長越長。
- **全長、莖生長速度：29°C > 27°C > 25°C > 23°C > 21°C。**



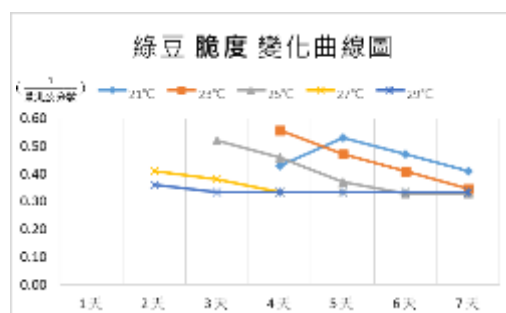
#### (2). 直徑部分

- 直徑到達最大值的情形如下：  
21°C：第5天；23°C：第4天  
25°C：第3天；27°C：第3天  
29°C：第2天
- 溫度越低直徑變粗的比較慢，高溫 29°C 的直徑第1天~第7天都差不多，而且最大直徑比 21°C、23°C 還要小，推測原因是溫度高長得快，細胞沒有往旁邊發展加粗。
- **最大直徑粗度：21°C > 23°C > 25°C > 29°C > 27°C**



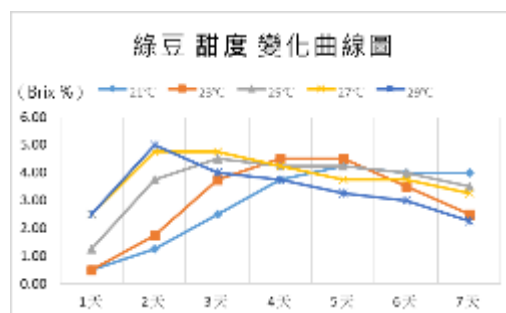
#### (3). 脆度部分

- 脆度到達最大值的情形如下：  
21°C：第5天；23°C：第4天  
25°C：第3天；27°C：第2天  
29°C：第2天
- 我們發現**直徑越粗，脆度越高**。生長天數越多，脆度會一直下降。
- **最大脆度：23°C > 21°C > 25°C > 27°C > 29°C。**



#### (4). 甜度部分

- 甜度到達最大值的情形如下：  
21°C：第5天；23°C：第4天  
25°C：第3天；27°C：第2天  
29°C：第2天
- **最大甜度：29°C > 27°C > 25°C = 23°C > 21°C。**



#### (5). 綜合討論

- **溫度是影響豆芽生長快慢最大的原因**，高溫長得很快，低溫長得比較慢。
- 溫度高，生長速度快，脆度、甜度比較早到達最大值。
- 溫度低，生長速度慢，脆度、甜度比較晚到達最大值。
- **高溫會讓豆芽生長很快，最大直徑是實驗以來最低的，豆芽脆度降得很低。**



- 不同溫度種植豆芽，要有不同對應的採收時間，才能有最大的甜度脆度，比較好吃。我們建議的種植時間對照表如下：

環境溫度	20°C~22°C	22°C~24°C	24°C~26°C	26°C~28°C	28°C~30°C
種植時間	5天	4天	3天	2天	2天

- 環境溫度低於 25°C，甜度會較高；環境溫度高於 25°C，脆度會較高。為了種植方便，可以看當時氣溫，對照上表進行採收。

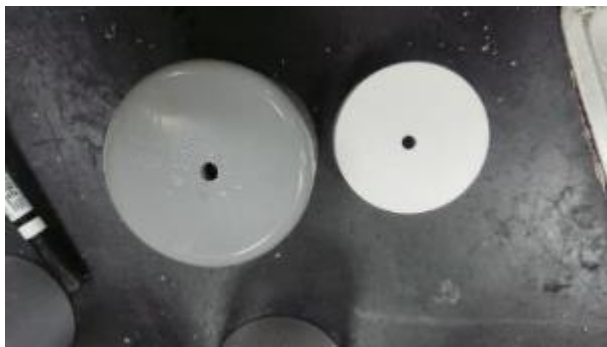
## 五、是否透氣對土耕豆芽生長的影響

靈感來自於種袖珍菇的太空包。學校科學社團讓我們種過袖珍菇，老師說真菌也需要呼吸，所以太空包中有一條直直的空洞讓空氣進入。所以我們也想設計這樣的構造，因為種子發芽細胞分裂也需要呼吸作用產生能量。



### 1. 實驗設計

- (1). 實驗變因為「豆芽種植罐有無透氣孔」，無透氣孔的就是原本的豆芽種植罐，有透氣孔的就是上下蓋個打一個洞，中間用鑽滿洞的吸管連接。
- (2). 每個變因每天各開 2 罐進行觀察測量，共 7 天。每罐豆芽**去除長度前 4 名與後 4 名，取中間 4 名進行測量**。。



把豆芽種植罐的上下蓋中間都鑽一個吸管大小的洞。



在吸管上從頭到尾鑽滿透氣孔小洞，讓流動的空氣可以進入土壤中。



吸管先插在底部塑膠蓋上，然後再進行放土、戳洞、種綠豆、覆土的步驟。



依序把塑膠管、塑膠上蓋組合起來。



## 2. 測量結果與討論

### (1). 長度部分

- 全長的部分，透氣的生長優於不透氣，**數據顯示透氣組幾乎早了一天**。
- 兩者在第 4 天相差最多，達 9.1 公分。

#### ● 兩者長度關係：

透氣的第 2 天 $\equiv$ 不透氣的第 3 天  
透氣的第 3 天 $\equiv$ 不透氣的第 4 天  
透氣的第 4 天 $\equiv$ 不透氣的第 5 天

- **全長生長速度：透氣 > 不透氣**。
- 莖長的部分，透氣的生長優於不透氣，直到第 7 天兩者才幾乎相同。
- 兩者在第 5 天相差最多達 3.4 公分。
- **莖長生長速度：透氣 > 不透氣**。

### (2). 直徑部分

- 透氣組生長前 4 天優於不透氣組，5 天後兩者直徑相似。
- 透氣組的直徑在第 3 天就達到 2.9mm，比不透氣組第 4 天的最大粗度 2.83mm 還粗。
- **最大直徑：透氣 > 不透氣**。

### (3). 脆度部分

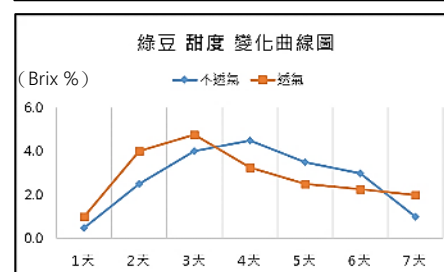
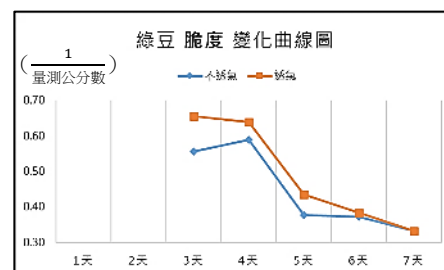
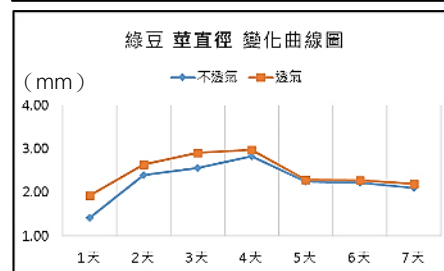
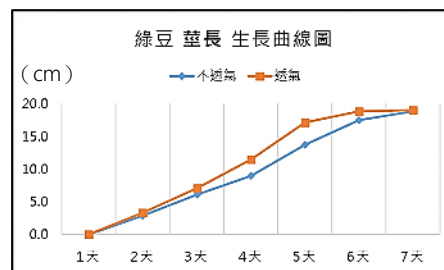
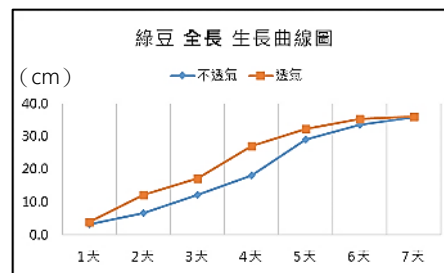
- 第 3~6 天透氣組的脆度都優於不透氣組，第 7 天的脆度兩者相同。
- 透氣組在第 3 天就達到脆度最大值，而不透氣組在第 4 天才達到最大值。
- **透氣組的最大脆度可達 0.65，比市售調查到的 0.63 還高。最大脆度：透氣 > 不透氣**。

### (4). 甜度部分

- 從曲線變化可以發現兩者走向差不多，但是很明顯**透氣組的曲線比不透氣組的往左偏移早了一天。最大甜度：透氣 > 不透氣**。

### (5). 綜合討論

- 實驗證明，透氣可讓綠豆發芽生長較快速，各項數值都較優秀，而且與文獻所說符合“**胚根穿破種皮後呼吸作用旺盛，一直生長到子葉解體呼吸作用才會顯著降低**”。
- 所以之後要給大眾使用的豆芽種植器材中**加入透氣的裝置**。

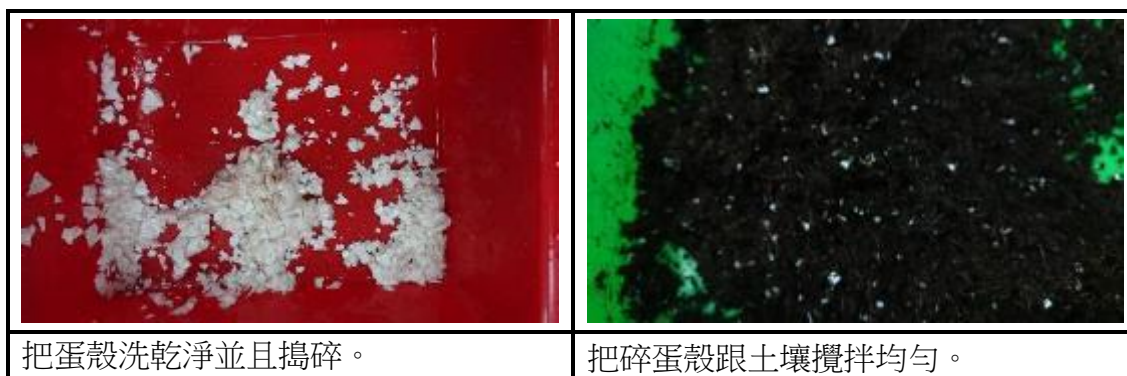


## 六、添加蛋殼對土耕豆芽生長的影響

本來我們想要研究在土中放植物性廚餘，看看能不能幫助豆芽生長，但是後來查到資料“廚餘堆肥要發酵完成才能使用，否則發酵時的高溫會傷害植物的根”。所以我們最後想研究看看一般人在盆栽中加的蛋殼對豆芽是否產生影響。

## 1. 實驗設計

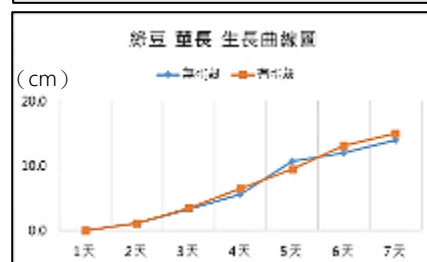
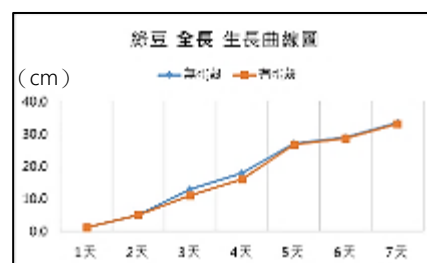
- (1). 實驗變因為「土壤中有無添加蛋殼」。
- (2). 每個變因每天各開 2 罐進行觀察測量，共 7 天。每罐豆芽**去除長度前 4 名與後 4 名，取中間 4 名進行測量。**



## 2. 測量結果與討論

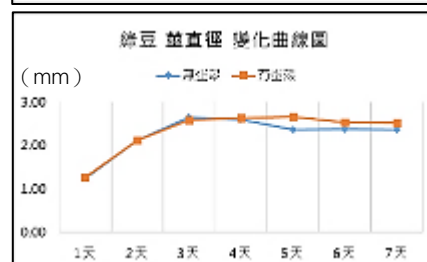
### (1). 長度部分

- 全長兩者生長曲線相似，在第 3 天相差最多，但是只有 2 公分。
- 在第 5~7 天時兩者相差都在 0.5 公分內。
- **全長生長速度：無蛋殼 = 有蛋殼。**
- 莖長的部分，兩者生長曲線相似，在第 5 天相差最多，但是只有 1.2 公分。
- 兩者在第 5 天相差最多達 3.4 公分。
- **莖長生長速度趨勢：無蛋殼 = 有蛋殼。**



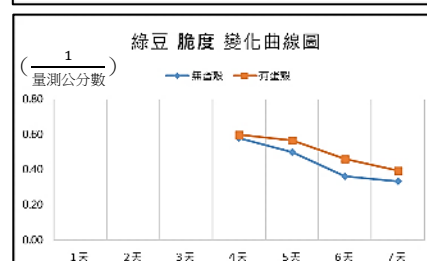
### (2). 直徑部分

- 兩者生長曲線相似，在第 5 天相差最多，但是只有 0.29mm。
- 在第 4 天之後，有蛋殼組就一直比較粗。
- **最大直徑：有蛋殼 > 無蛋殼。**



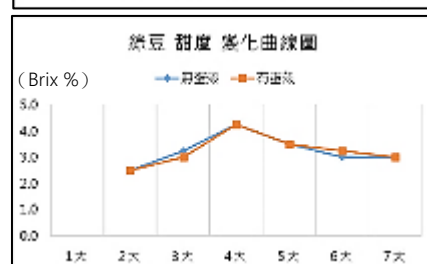
### (3). 脆度部分

- 第 4 天兩者脆度相似，但是之後有蛋殼組都優於無蛋殼組。**最大脆度：有蛋殼 > 無蛋殼。**



### (4). 甜度部分

- 從曲線變化可以發現兩者走向差不多。
- **最大甜度：有蛋殼 = 無蛋殼。**



### (5). 綜合討論

- 從實驗可以發現，全長、莖長、甜度，兩者的變化曲線都很相似，沒有太大的差異。
- 但是**脆度、直徑**的生長情形有一些不同，有加蛋殼的豆芽脆度比較高一點，直徑比較粗一點。

- 我們上網尋找資料想找出原因，結果發現有位學者“張喜寧”發表的文章也表示碳酸鈣對豆芽有益處！”以碳酸鈣處理者，不僅風味較佳，且產量亦可比對照組增加 20%以上，甚有實用價值”而蛋殼的成分就是碳酸鈣！
- 所以如果情況允許的話我們建議在土壤中添加一些洗淨、壓碎的蛋殼。

## 【研究四】設計土耕豆芽器與耕種豆芽流程

### 一、土耕豆芽器的設計

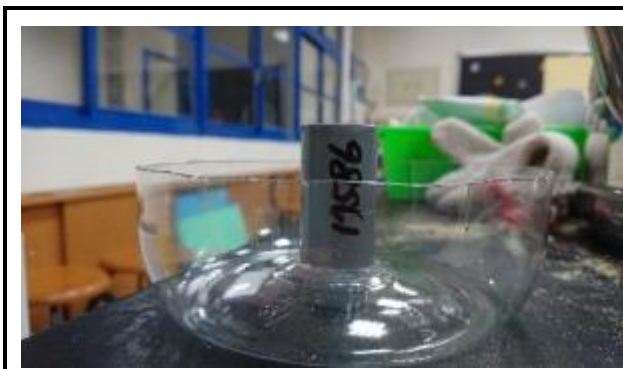
我們從前面的實驗知道土耕豆芽最好的生長環境如下：

- 綠豆上覆蓋土壤 2 公分
- 種植用土壤土、水比為 1：3
- 種植土壤中需要透氣裝置
- 綠豆種植前浸種 1 天
- 種植溫度會影響種植天數與採收期
- 土壤中添加蛋殼可增加粗度、脆度

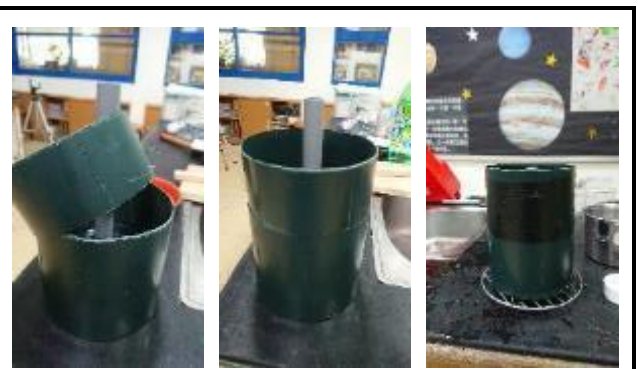
另外我們也詢問了我們的媽媽，他們說處理豆芽最麻煩的就是要清洗、挑出根鬚。有人做菜時會使用銀芽，也就是去頭去尾的豆芽，所以如果我們的種植器能有方便去頭尾的功能就更好了。我們的設計圖如右：



#### 1. 製作過程



把塑膠罐切開當成底座，中間挖洞放進水管，之後要連接通氣管。通氣管要鑽滿小洞。



用排油煙機的風管當作容器的中段，這樣才能遮光。做成兩截式是方便未來剪掉豆芽頭。



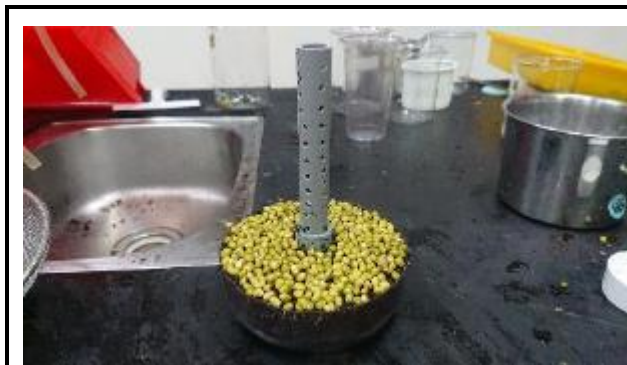
用花盆底座當成上蓋，中間一樣挖洞放進水管要連接通氣管，然後要貼滿鋁箔確實遮光。



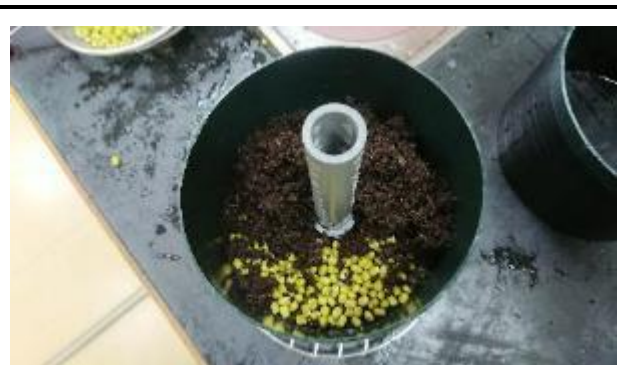
最後完成品”土耕豆芽器”。要放在網架上，才能讓底部透氣孔通風。



## 2. 種植過程



底盆裝滿適當水量的土，上方鋪滿一層綠豆。



套上第一層綠色風管，在綠豆上蓋 2 公分土。



然後再套上第二層綠色風管。



蓋上上蓋放在鐵架上不用理它，5 天後採收！

## 3. 採收過程



打開上蓋。



拿起第二層風管，把土清乾淨



用剪刀把豆芽頭剪掉。(也可不用)



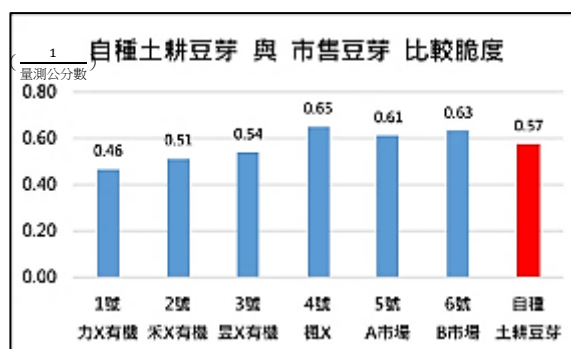
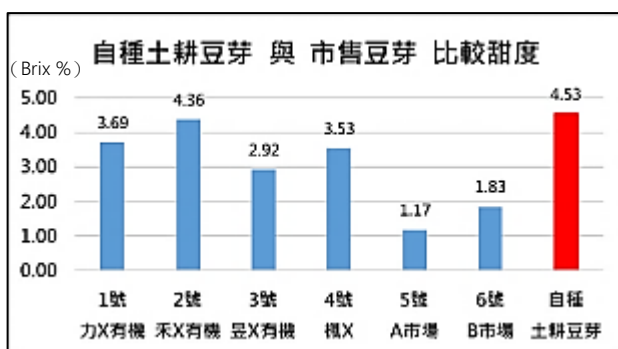
拿起第一層風管，拿刀沿底座切豆芽



把切下的豆芽用水洗乾淨



得到去根、乾淨的豆芽！





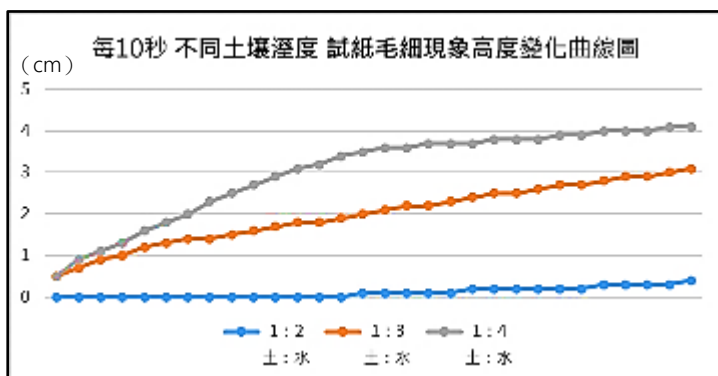
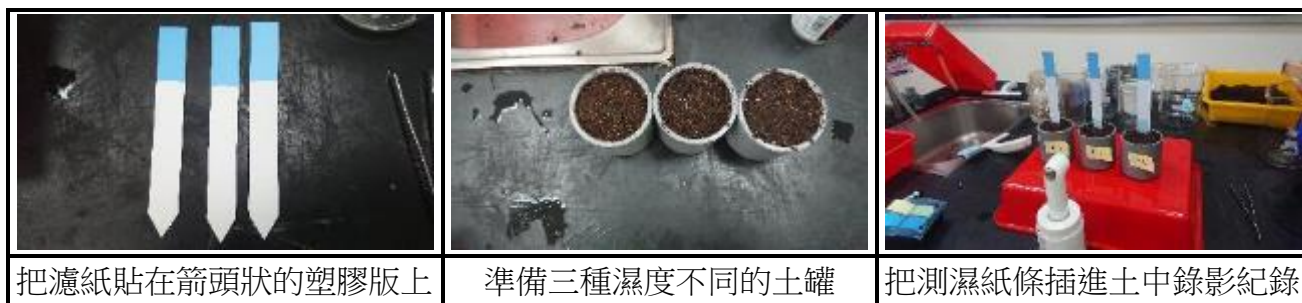
#### 4. 結果討論

- (1). 種出來的豆芽我們超興奮！因為這 5 天我們都沒有管它，它就長得好好的！
- (2). 跟之前市面上買的 6 種豆芽比較，我們的**土耕豆芽甜度是第一名**；脆度是第四名，但是**比所有的有機豆芽都還要脆**。脆度我們真的贏不了市場買的豆芽，市場豆芽長的真的太白胖、而且根很短，看起來不太正常。
- (3). 我們這套“土耕豆芽器”成本在 120 元以下，相當便宜。
- (4). 綜合來看，我們的“土耕豆芽器”測試成功。接下來就是要把整個種植、採收流程詳細寫下來，讓民眾照著我們設計的說明書自己種種看、填寫意見表。

## 二、簡易耕種豆芽流程設計

### 遇到的問題一：民眾該怎麼測量土壤的濕度？

我們是用測電器測量土壤的導電度，來準確的控制土壤濕度，但是如果推廣給大家使用，這樣的方法太麻煩，而且人人都要有測電器，成本太高了。後來我們想到用**毛細現象**，如果**土壤越濕**，把紙插入土中是不是會**濕得比較快**呢？這樣民眾就能用簡單的物品測量種豆芽土壤需要的溼度了。



### 土壤測濕紙條

1. 結果發現土壤越濕水上升的越快。
2. 之前實驗過土水比 1:3 種綠豆最好，1:4 太濕綠豆會死掉。
3. 毛細現象實驗在 150 秒時：土水比 1:3 上升高度為 2 公分、土水比 1:4 上升高度為 3.5 公分，所以我們可以利用這樣的結果製作“土壤測濕紙條”。

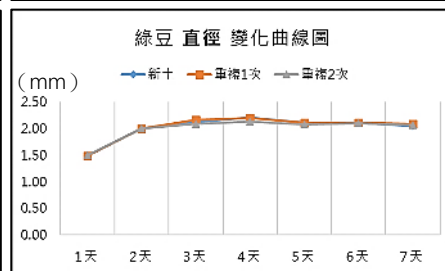
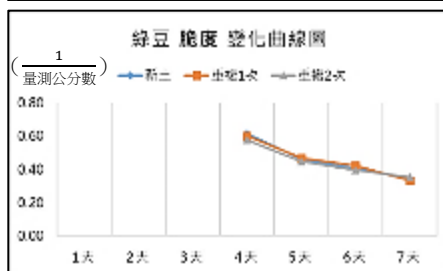
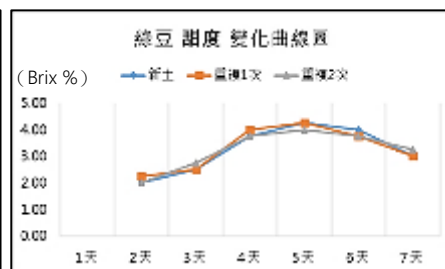
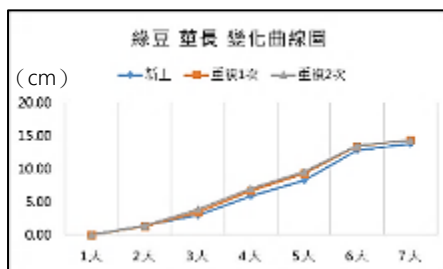
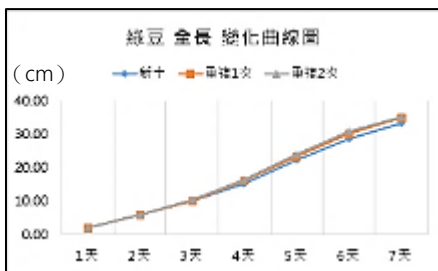
### 遇到的問題二：種過的土壤還可以回收再繼續種豆芽嗎？

種過豆芽的土能不能重複再利用呢？我們進行以下實驗：

#### 1. 實驗設計

- (1). 實驗變因為「土壤用過的次數」，分別為新土、重複 1 次的土、重複 2 次的土。
- (2). 每個變因每天各開 2 罐進行觀察測量，共 7 天。每罐豆芽取中間 4 名進行測量。

## 2. 實驗結果



從各項數據曲線圖來看，新土、重複1次的土、重複2次的土這三者種出來的豆芽沒有明顯的差異。未來會再增加土壤使用次數看看是否有差異。

## 土耕豆芽種植流程



## 【研究五】民眾實測、土壤濕度計的改進、豆芽保鮮度、其他豆類試種

### 一、民眾實測

把器材給同學帶回家，讓他們的家人照著我們的流程進行土耕豆芽的種植、採收，並填寫意見未來當作改進的依據。



### 種植部分

優點	缺點
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 種植流程簡單易懂，感覺有趣。</li> <li>2. 不用每天換水，簡單一次完成，乾淨方便</li> <li>3. 無毒無蟲害，健康。</li> <li>4. 不像水耕豆芽澆水時，會照到陽光變苦。</li> <li>5. 節省水資源，不像水耕需要用水沖洗澆灌</li> <li>6. 豆芽不會腐爛，不像水耕一不注意有臭味</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 土壤濕度計操作不易，第 3 次才成功。</li> <li>2. 測濕度流程中把土“塞滿”很難界定。</li> <li>3. 測濕計重複使用是否會造成誤差。</li> <li>4. 土和水的攪拌不易均勻。</li> <li>5. 無法觀察到每日的成長。</li> <li>6. 綠豆只能鋪一層，收成量可能較少。</li> </ol>

### 採收部分

優點	缺點
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 採收速度快，剪刀一剪就是一把豆芽。</li> <li>2. 長得很一致整齊，不像水耕長短不一。</li> <li>3. 土耕的豆芽比較高壯，較甜較清脆。</li> <li>4. 土可以回收再利用，芽根也可當肥料。</li> <li>5. 土耕方式長較快，可縮短收成天數。</li> <li>6. 清洗容易，且根被去除，口感賣相都很好。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 要再過濾處理土壤，雖環保但費工夫。</li> <li>2. 無法掌握豆芽生長，這次就長太長了。</li> <li>3. 豆芽雖然高，但是不會難咀嚼，很好吃。</li> <li>4. 要先清理土壤才能採收，較花時間。</li> <li>5. 種植面積有限，收成較少。</li> <li>6. 因為採收是直接去根，可能較適合現煮。</li> </ol>

## 二、第二代土壤濕度計的改進

第一代的土壤測濕紙條(P.26)經過民眾使用後，有操作不易、紙能不能重複使用的問題，所以想要改進這些缺點。我們想到的是用電的方式，因為以前學過水溶液可以導電，土壤裡的水分應該會影響導電的程度。



第二代土壤濕度計

因為電池測電器上面剛好有指針可以指示電流大小，所以我們拿它來改造。

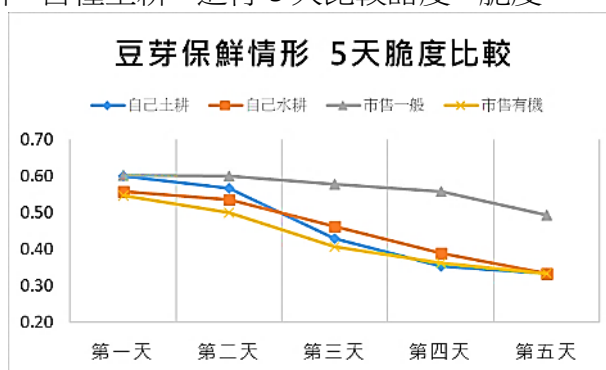
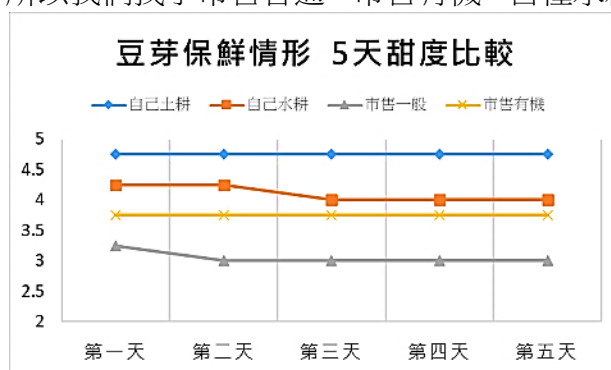
<p>改造成 24 伏特電源，探針插入土中時，指針才會動。</p>	<p>分別準備土水比 1：1、1：2、1：3、1：4 的測試土罐。</p>	<p>插入探針，記錄不同土罐指針的位置，紀錄三次(黑藍紅)。</p>

印製我們自己的刻度表，方便民眾使用。

1. 民眾使用後的評語是：**非常方便的儀器**、**測量速度很快**、**不需要多餘的技術操作**。
2. 這套器材製作成本 115 元，所以也許可以讓民眾選擇便宜的第一代紙式濕度計，或是加價購第二代電子式濕度計。
3. 未來還要繼續測試第二代濕度計是否能用在別的土壤，因為不同土壤裡面的電解質可能不同，指針標示就會不同。

## 三、豆芽保鮮度

訪問豆芽農場主人時，他有提到顧客很在意買回去的**豆芽能夠放多久**，也就是**保鮮度**。所以我們找了市售普通、市售有機、自種水耕、自種土耕，進行 5 天比較甜度、脆度。



1. 甜度部分，**土耕豆芽 5 天內沒有下降**；水耕豆芽下降 5.9%；**市售有機沒有下降**；市售一般下降 7.7%。
2. 脆度部分從右表可知，土耕第 3 天下降最多；水耕第 4 天下降最多；市售一般第 5 天下降最多；市售有機第 3 天下降最多。
3. 所以建議我們的**土耕豆芽採收後 2 天內要吃完**，脆度才不會大幅下降。

脆度下降比例	第 2 天	第 3 天	第 4 天	第 5 天
自己土耕	5.7%	<b>24.3%</b>	17.7%	5.6%
自己水耕	3.7%	13.9%	<b>15.6%</b>	14.5%
市售一般	0.2%	3.9%	3.6%	<b>11.5%</b>
市售有機	8.4%	<b>18.9%</b>	10.9%	7.8%



#### 四、其他豆類試種

既然綠豆芽可以用土耕種，其他豆類應該也可以成功，所以我們嘗試了黃豆、紅豆、黑豆，用我們的「土耕豆芽器」和種植流程來耕種。



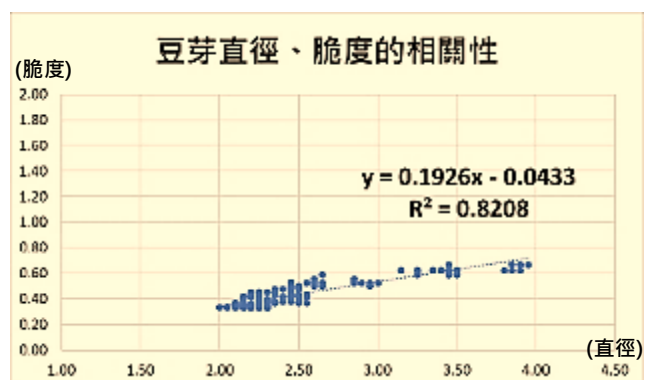
1. 黃豆我們種了 2 次都失敗，只有 5、6 跟豆芽長出來，其他都發黴臭掉。
2. 後來請教豆芽農夫才知道，黃豆芽必須要在低溫的環境中才長得出來，否則易發臭。
3. 但是黑豆紅豆的成功代表我們的「土耕豆芽器」可以用在其他豆苗上，只要環境控制符合他們的生長需要，重點是耕種過程完全不用另外澆水，省麻煩！

### 陸、研究結果

一、豆芽土耕的生長情形（生長速度、最大甜度、最大直徑、最大脆度）都比水耕的好，更重要的是，這 7 天內土耕的豆芽都不用再澆水換水，便利性相當高。

二、為了實驗、測量公平，我們設計了「豆芽脆度計」、「紅墨水法」、「流水附著力法」。

三、為了證明直徑、脆度間的關係和我們自製「豆芽脆度計」的準確性，我們把 149 筆直徑、脆度數據進行【回歸分析】，如右圖：



1. 從趨勢線可以看出來直徑小脆度也較低，直徑大脆度較高，兩者為正相關。
2. 而且上網查詢知道， $R^2$  達到 0.82，相當接近 1，代表線性關聯度高，也就是直徑跟脆度有較高的關聯性。

3. 這樣的數據關聯性也證明了我們自製的「豆芽脆度計」有一定的準確度，成功把脆度的感覺量化成數據。



四、不同因素對土耕豆芽生長造成的影響

環境因素	加速生長	增加直徑	增加甜度	增加脆度
豆芽上 <b>覆蓋土壤</b> （2 公分最佳）		✓	✓	✓
種植前 <b>浸種催芽</b> （浸種 1 天最佳，不能太久）	✓	✓		✓
土壤 <b>水分要足</b> （土：水為 1：3 最佳，不能過多）	✓		✓	✓
環境溫度 <b>大於 25°C</b>	✓		✓	
環境溫度 <b>小於 25°C</b>		✓		✓
豆芽種植容器 <b>增加透氣孔</b>	✓	✓	✓	✓
土壤中 <b>添加蛋殼</b>		✓		✓

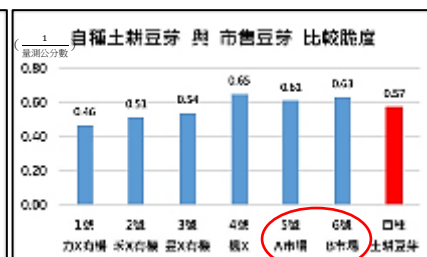
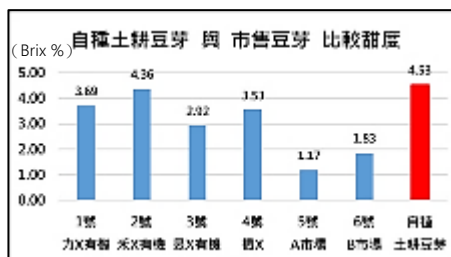


五、我們根據上表格的研究結果，設計了「土耕豆芽器」以及「耕種豆芽流程」。P.26~P.28

六、不同溫度種植豆芽，要有不同對應的採收時間，才能有最大的甜度脆度，比較好吃。我們建議的種植時間對照表如右：

環境溫度	20°C~22°C	22°C~24°C	24°C~26°C	26°C~28°C	28°C~30°C
種植時間	5天	4天	3天	2天	2天

七、用我們的「土耕豆芽器」種出的豆芽，甜度比市售6種豆芽都還要高，脆度比市售有機豆芽還要高。



八、用回收重複種植 2 次的

土壤耕種，種出來的豆芽生長情形（生長速度、最大甜度、最大直徑、最大脆度）都和新土種出來的豆芽相近。P.26

過於白胖  
長相不合理

九、土耕豆芽保鮮度，甜度可以維持 5 天不下降，但是脆度只能維持 2 天，第 3 天會大幅下降，建議採收後 2 天內食用完畢。P.28

十、黑豆芽、紅豆芽土耕成功，代表我們的【土耕豆芽器】可適用於其他豆類，但是要找到適合它們生長的溫度、濕度等外在條件。P.29

十一、未來改進事項

1. 浸種時間 1 天有點太久了，未來可研究【不同浸種溫度是否能減少浸種時間】。
2. 第二代電子式土壤濕度計使用方便、操作簡單，但是未來要研究遇到不同成分的土壤是否能正常運作。



## 柒、參考資料

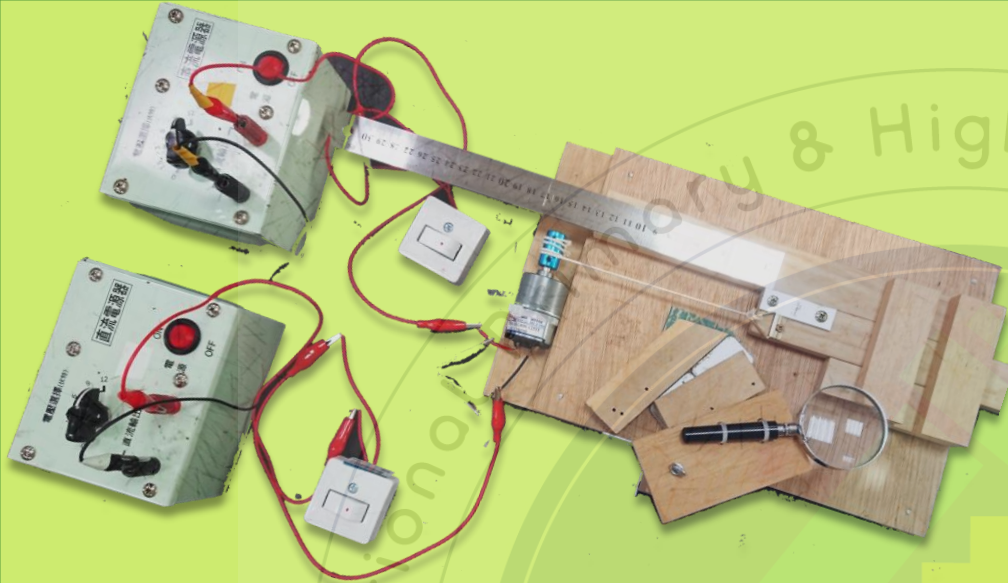
- 一、行政院農委會-種子知性區-種子萌發的呼吸作用  
<https://kmweb.coa.gov.tw/subject/subject.php?id=26247>
- 二、太平洋有機農業-芽菜在家自己簡單種  
<https://www.kainet.twmail.net/0986899430/996.html>
- 三、郭華仁 (2015)。種子學。臺北市：臺大出版中心。
- 四、洪美貞、林清坤。豆科作物發芽過程中澱粉酶活性變化的研究。
- 五、張喜寧 (1989)。鈣化物與益收生長素對質綠豆芽生長之影響。中國園藝，35(3)。
- 六、雜草管理研究室-關於種子科學  
<https://wendar.wixsite.com/weedecologyfunction/blank-8>

## 【評語】 082920

1. 作品主題與日常生活食物來源有關，分析歷屆科展相關作品的內容與優缺點，及說明了本品的特色。並以土耕模式進行豆芽生長，輔以脆度、甜度、濕度量測，建立完整的栽培流程。
2. 研究架構完整嚴謹，能清楚定義量測項目，並設計自製檢測器材，具客觀性、精確性及創意性。實驗資料豐富、有系統，實驗結果具有參考價值。
3. 建議在研究報告中應呈現實驗觀測的數據記錄，及加強統計圖表的座標說明及解析度。

## 作品簡報





科 別：生活與應用科學科(二)環保與民生

組 別：國小組

作品名稱：

# 豆在土中戲 -

## 土耕豆芽的可行性與方法流程設計

# 研究動機

食安的問題一直都沒有消失！市場豆芽有添加物令人擔心；自己用水孵的豆芽長相口感不好，而且每天換2次水很麻煩。為了解決這些問題，關鍵就是【土壤】。



圖 1

## 市場豆芽

粗大白胖  
根卻很短  
不合理！



圖 2

## 土耕 豆芽

1. 土壤能保持水分，免換水
2. 適當環境自己長，等採收
3. 雜亂的根留土中，省挑菜



圖 3

## 水耕豆芽

根雜亂  
每日換水  
很麻煩！

這3種豆芽，你想吃哪一種？

# 研究目的

1. 找出對土耕豆芽有利的**生長環境**。
2. 設計便宜、容易取得的**種植工具**。
3. 設計輕鬆易懂**耕種流程**。
4. 能**推廣給大眾**，在家種出安全且高品質的豆芽。



圖 4



圖 5

## 土耕豆芽的可行性與方法流程設計

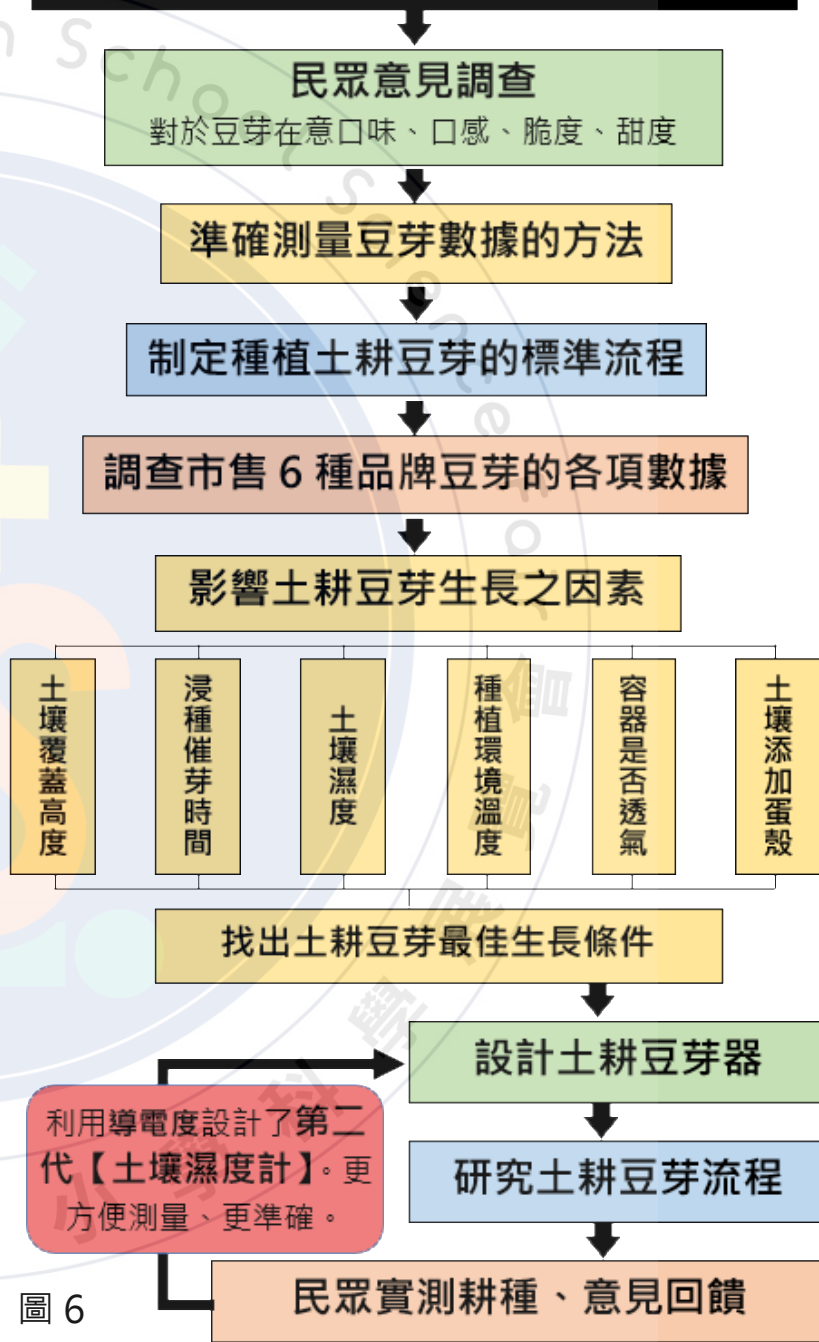


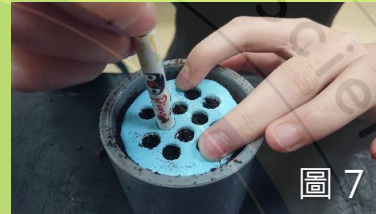
圖 6



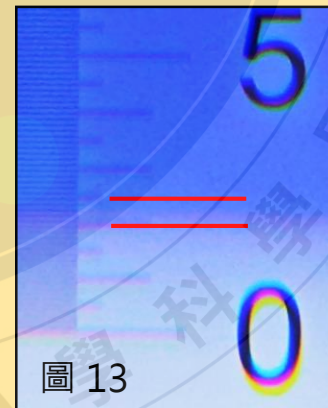
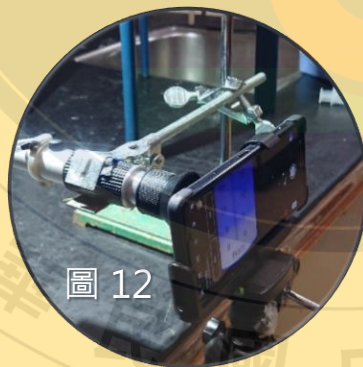
# 研究方法

## 1 標準種植方法

- 篩選綠豆大小
- 泡水相同時間
- 放入等量的土壤和水
- 種植數量和間距相等
- 篩選發芽狀況
- 種植方向相同
- 覆蓋等高土壤



## 2 糖度計測甜度



因為藍、白色判讀界線是暈開的狀態，為了公平判斷，我們把視覺能識別的刻度 0.25% 當作最小刻度。

用針筒把豆芽汁擠出

用手機照相記錄



## 3 流水附著力法

1. 用小水流沖豆芽和棉線。
2. 棉線會自動附著在豆芽上。
3. 可以仔細記錄彎曲的部分。
4. 把棉線放在尺上記錄長度。



圖 14

## 4 紅墨水法

根的部分有根毛，更容易附著紅墨水

判斷關鍵：

1. 根：整圈都有紅墨水圍繞的部分就是根。
2. 莖：只有部分有紅墨水的是莖，因為可能是莖上紋路的毛細現象。



圖 15

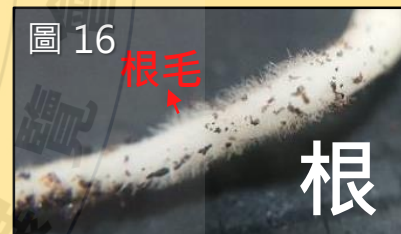


圖 17

## 5 自製豆芽脆度計

➡ 操作步驟：

1. 豆芽固定在此處
2. 打開開關啟動馬達
3. 馬達拉動繩子帶動木條
4. 木條往左移動推斷豆芽
5. 透過放大鏡全程錄影

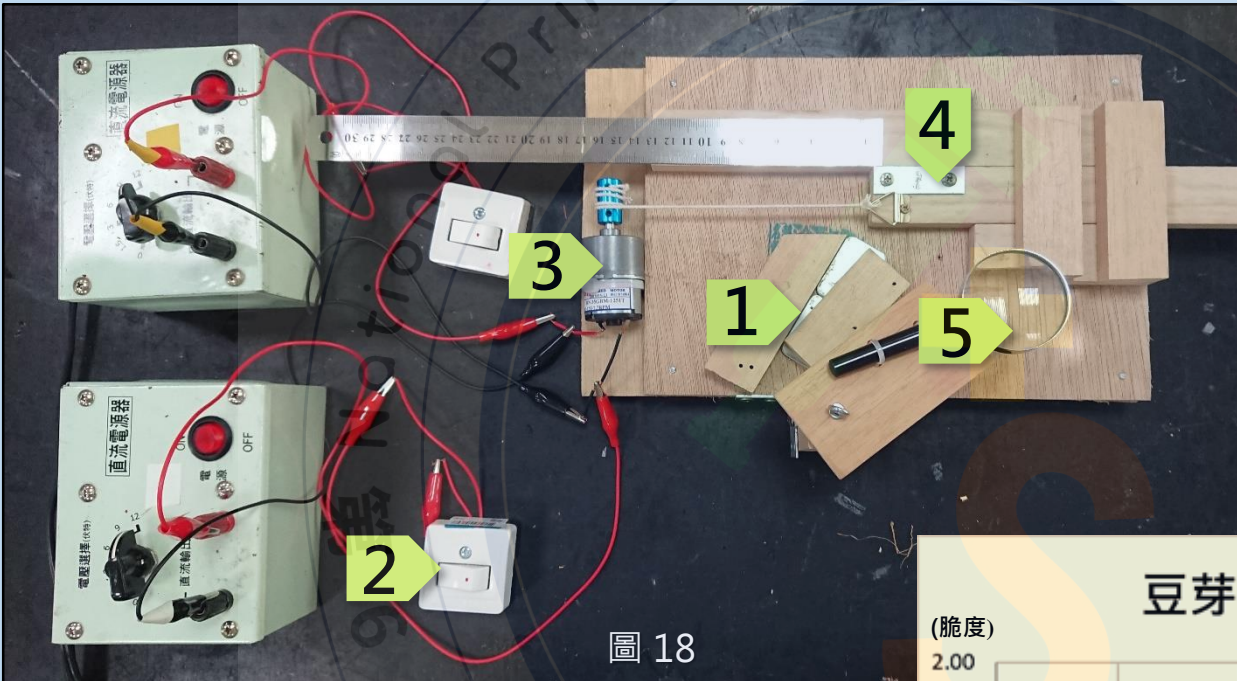
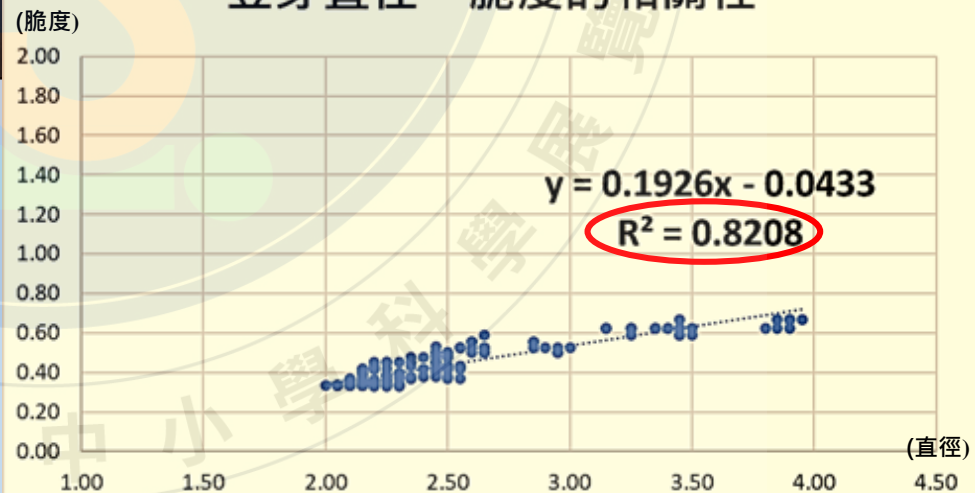


圖 18

一百多筆資料進行回歸分析，可看出直徑、脆度為正相關、有較高的關聯性，代表我們自製的【豆芽脆度計】確實可行！

豆芽直徑、脆度的相關性

圖 19



(直徑)

# 研究結果

## 1 找出土耕豆芽最佳環境因素

### 加裝透氣管

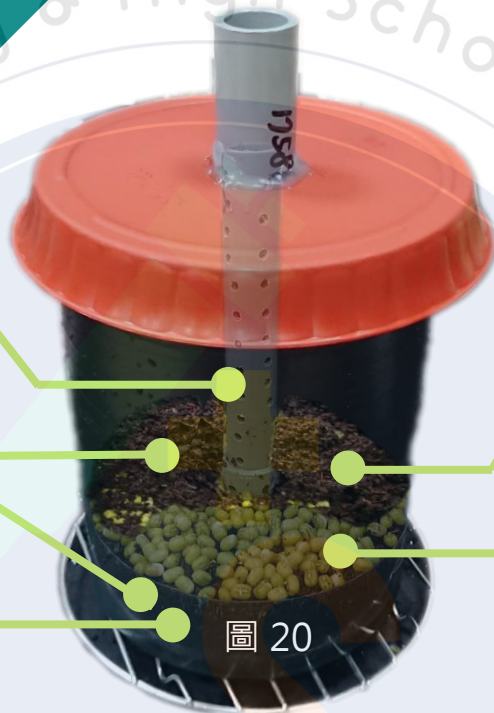
增加生長速度、甜度、脆度

### 土、水比例1：3

有最高生長速度、甜度、脆度

### 土壤添加蛋殼

可增加直徑、脆度



### 覆蓋土壤2公分

生長速度、脆度  
取得最佳平衡

### 綠豆浸種1天

可加速生長，  
有最高甜度、脆度

【土耕豆芽器-內部透視圖】

表 1

### 土耕豆芽最佳生長因素

	加速生長	增加直徑	增加甜度	增加脆度
1. 豆芽上覆蓋土壤 ( 2公分最佳 )		✓	✓	✓
2. 浸種催芽 ( 浸種1天最佳，不能太久 )	✓	✓		✓
3. 土壤水分要足 ( 土：水為1：3最佳 )	✓		✓	✓
4. 豆芽種植容器增加透氣孔	✓	✓	✓	✓
5. 土壤中添加蛋殼		✓		✓

設計控制變因找出土耕  
豆芽有利的生長環境，  
設計『土耕豆芽器』！



# 研究結果

## 1 找出土耕豆芽最佳環境因素



圖 21



圖 22

### 【自製 加熱-冷卻 溫控保溫箱】

表 2

環境溫度	20°C   22°C	22°C   24°C	24°C   26°C	26°C   28°C	28°C   30°C
種植時間	5天	4天	3天	2天	2天

### 【綠豆芽 溫度-種植時間 對照表】

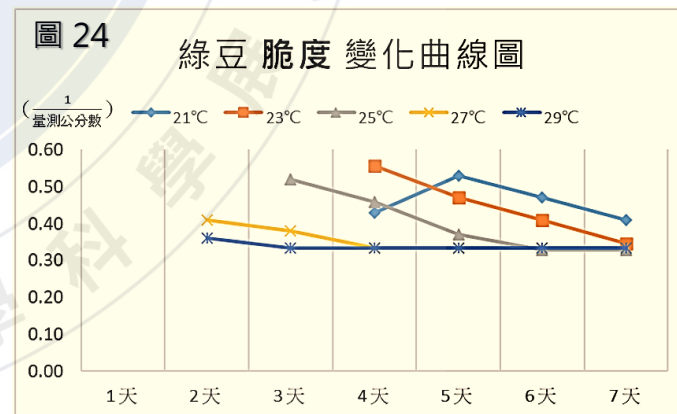
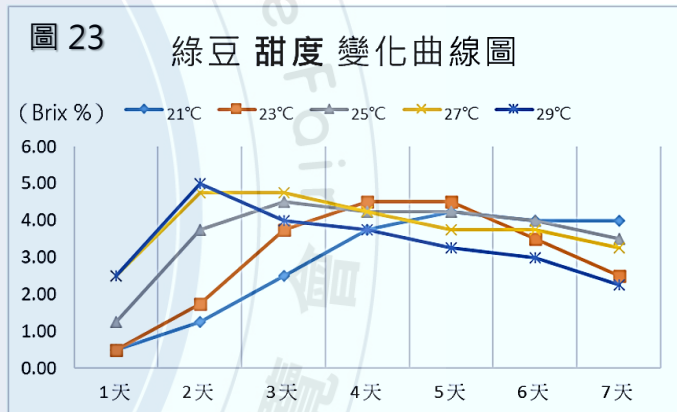


表 3

### 土耕豆芽最佳環境因素

土耕豆芽最佳環境因素	加速生長	增加直徑	增加甜度	增加脆度
環境溫度大於25°C	✓		✓	
環境溫度小於25°C		✓		✓



# 研究結果

## 2 運用數據設計土耕豆芽器和耕種流程

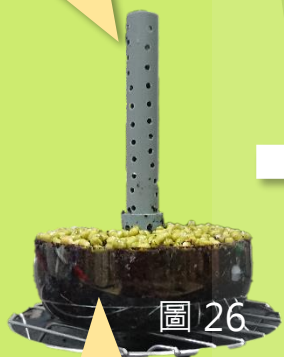
### 土耕豆芽器



上蓋內側貼鋁箔  
完全阻隔光源！

抽油煙機風管  
(中間可分離成上下2層)

pvc管鑽洞



透明塑膠筒



圖 27

=



圖 28



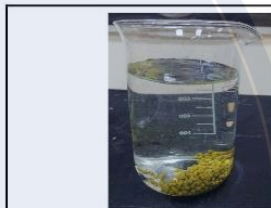
圖 29

土耕豆芽器  
要放在蒸籠架上  
底部才能透氣

### 種植與採收流程說明

土耕豆芽 種植說明單

圖 30



1. 把綠豆泡在自來水中 24 小時。



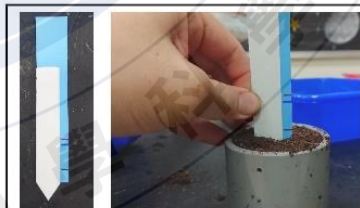
2. 把一包培養土倒進塑膠盆中，加水後攪拌均勻 (加多少水請看步驟 3)。



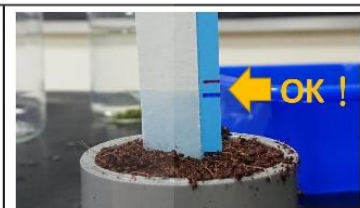
3. 水要加多少呢？加到把土緊緊握在手中會稍微滲水出來 (步驟 4、5 有準確測水量方法)。



4. 把攪拌好的土壤放進灰色塑膠水管蓋，塞緊塞滿。



5. 把土壤測濕計插進土中，黑線對準土壤表面，一插進去就要開始計時 150 秒，時間到時觀察水上升的位置。



6. 如果在藍、紅線之間，代表水分 OK。如果低於藍線要再加水，如果高於紅線要再加土，調整後要用另一支測濕計重複步驟 5、6。

# 研究結果

## 3 請民眾測試與回饋改進



## 民眾建議-土壤溼度計的改良

### 第一代 土壤溼度計

- 利用毛細現象
- 等待時間過久
- 操作不易
- 容易失誤重測
- 重測需更換



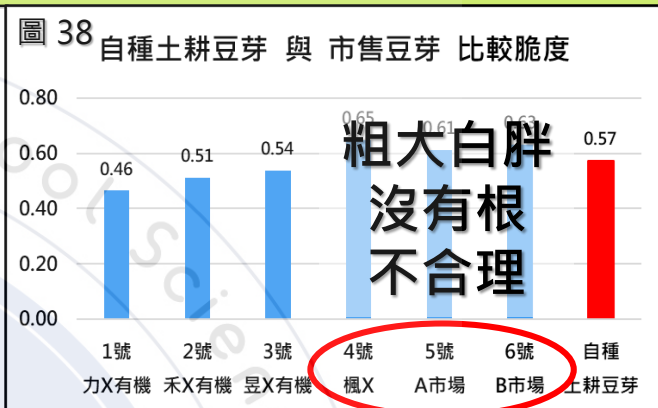
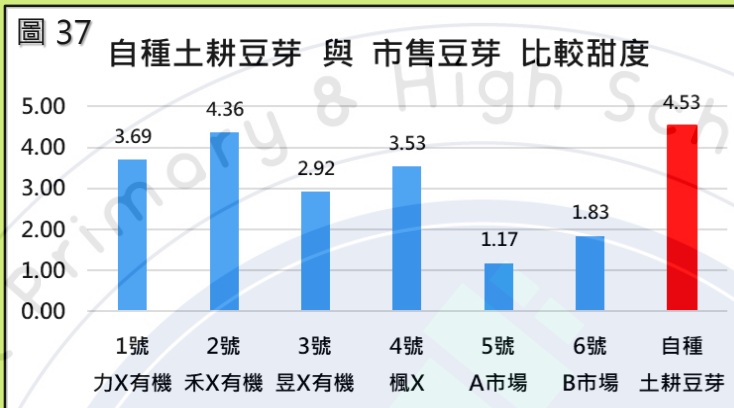
### 第二代 土壤溼度計

- 利用水溶液可導電
- 用電池測電器改造
- 馬上知道結果
- 操作簡單
- 可一直重複使用



# 總結

1. 土耕豆芽甜度高於市售6種豆芽，脆度也贏過市售有機豆芽。



2. 能利用土耕豆芽器三層的構造快速去頭去尾取得銀芽。



► 打開上蓋，剪下豆芽頭



► 打開綠色外桶，沿著土壤上方剪下豆芽



► 快速取得銀芽

3. 我們設計的土耕豆芽器能成功種出黑豆芽、紅豆芽。





# 總結

4. 土壤回收2次，豆芽品質也不會下降。
5. 便宜、簡單、不麻煩是願意改變的關鍵。
6. 根據實驗結果設計出這套器材和流程。
7. 讓大家在家種出無毒、健康、便利的超讚豆芽。

便宜、簡單、不麻煩



圖 45

➤ 倒出含有根的土壤



圖 46

➤ 撥鬆根和土壤



圖 47

➤ 用力搖晃洞洞盆



圖 48

➤ 把根分離成功回收土壤



## 參考資料

1. 行政院農委會-種子萌發的呼吸作用  
<https://kmweb.coa.gov.tw/subject/subject.php?id=26247>
2. 太平洋有機農業-芽菜在家自己簡單種  
<https://www.kainet.twmail.net/0986899430/996.html>
3. 郭華仁 (2015)。種子學。臺大出版中心。
4. 張喜寧 (1989)。鈣化物與益收生長素對質綠豆芽生長之影響。中國園藝，35(3)。
5. 雜草管理研究室-關於種子科學  
<https://wendar.wixsite.com/weedecologyfunction/blank-8>