

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

佳作

032907

廢羽翻轉變綠金-雞毛化身為蔬果的養分

學校名稱：臺中市立向上國民中學

作者： 國二 蔡婷卉 國一 史洸輔 國二 何捷熙	指導老師： 吳孟守 莊佩綺
---	-----------------------------

關鍵詞：雞羽毛、肥料、彩椒

摘要

羽毛廢棄物是畜產類廢棄物中排名第二大宗，為了提高廢棄羽毛的實用價值與效益，我們利用酵母菌進行雞毛分解，發現啤酒酵母分解效果優於麵包酵母，且在有葡萄糖、空氣及光線的環境，分解效果較佳。啤酒酵母分解後的雞毛液肥，灌溉高經濟價值的彩椒及福山萵苣，彩椒果實總質量比市售肥組高出84.6%，果實中含有葡萄糖濃度為23.8%，比市售肥組多出49.7%。碘量法的抗氧化能力試驗中，發現雞毛液肥灌溉的彩椒抗氧化能力比市售肥組多出91.3%。另外，雞毛液肥灌溉的福山萵苣的葉片總質量比市售肥組多出116.2%。可以發現，啤酒酵母分解的雞毛液肥，確實可取代市售肥料當作彩椒及福山萵苣的養分。希望藉此研究能將廢棄雞毛再利用，減少環境負擔，讓農業永續發展。

壹、前言

一、研究動機

臺灣每年所產生的農業廢棄物約為500萬公噸左右，其中又以畜產類最為第二大宗¹。然而大量的廢棄物若處理不當，將導致環境汙染甚至危害人體健康。羽毛是家禽電宰後產生的大宗廢棄物，臺灣每年因屠宰雞、鴨產生約3萬~5萬公噸的羽毛。而羽毛的成分有九成是蛋白質，富含農作物所必需的氮、磷等營養，但這些蛋白質中又有高達九成是擁有大量雙硫鍵、強韌度高的角蛋白(Keratin)²，所以著手尋找適合的微生物加以分解成小分子，以利成為蔬菜的養分，於是我們著手進行相關的研究。

二、研究目的

- (一) 自製具有殺菌功能的紫外線滅菌箱。
- (二) 比較啤酒酵母與麵包酵母分解雞毛的效果。
- (三) 探討啤酒酵母分解雞毛的外在環境。
- (四) 雞毛液肥與市售肥對彩椒生長的影響。
- (五) 比較雞毛液肥與市售肥對彩椒果實抗氧化能力及甜度的影響。
- (六) 比較雞毛液肥與市售肥對福山萵苣生長的影響。

三、文獻回顧

(一) 啤酒酵母與麵包酵母特性的文獻探討³

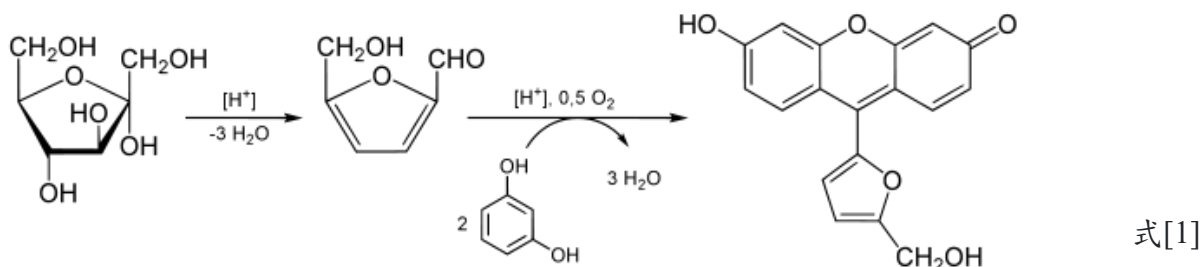
啤酒酵母是屬於真菌界*Fungi*、子囊菌門 *Ascomycota*、酵母菌綱*Saccharomycetes*、酵母菌目*Saccharomycetales*、酵母菌科*Saccharomycetaceae*、酵母屬*Saccharomyces*、釀酒酵母*S. cerevisiae*。釀酒酵母的細胞為球形或者卵形，直徑5~10 μm 。其繁殖的方法為出芽生殖。酵母菌屬於化能異養、兼性好氧型微生物，能夠直接吸收利用多種單醣分子，比如葡萄糖、果糖等。麵包酵母為釀酒酵母的一種。

(二) 電導度理論基礎

在國中八年級理化課「認識電解質」的學習單元中⁴，我們了解電解質的水溶液均可導電，導電的介質主要為正負離子的移動，而解離度愈大的水溶液，電導度就愈大，反之則愈小。溶液中所含電解質濃度愈大，電流通過愈容易，電阻愈小；相反的，溶液中所含電解質濃度愈小，電流通過愈難，則電阻愈大。

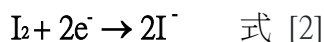
(三)糖度檢測原理:本氏試驗 (Benedict's test) ⁵

本氏試驗用來檢測還原糖的存在與否? 還原糖包括單醣：葡萄糖（醛醣）、果糖（酮醣）、半乳糖（醛醣）；雙糖：麥芽糖（醛醣）、乳糖（醛醣）。當還原糖與藍色的本氏試劑（含 Cu²⁺）一起加熱時，會產生磚紅色氧化亞銅（Cu₂O）的沉澱物，下列所示。陽性反應的顏色取決於還原糖的含量，磚紅色（最多）、橙色（多）、綠色（些許）；陰性反應呈現藍色（無還原糖）。



(四)碘量法滴定: 直接碘量法⁶

直接碘量法是用碘滴定液直接滴定還原物質的方法，在滴定過程中I₂被還原成I⁻，可用澱粉指示劑當作反應終點，澱粉分為直鏈澱粉（amylose）和支鏈澱粉（amylopectin）；直鏈澱粉遇到碘分子或三碘離子生成藍紫色的錯合物，而支鏈澱粉遇碘呈紫紅色的錯合物。藍紫色或紫紅色被視為陽性反應。



碘為一種氧化劑，彩椒中的抗氧化物質會與碘溶液反應，以標準濃度的碘溶液直接滴定彩椒果實汁液，若滴下去的碘直接還原反應，代表抗氧化物質過量。一直作用到抗氧化物質完全作用，此時碘溶液滴下去後無法反應，因此和澱粉試劑作用，呈現藍黑色，滴定即達終點。滴定消耗的碘溶液愈多，表示抗氧化物質愈多。可依其和碘反應的量愈多，其抗氧化力愈強。

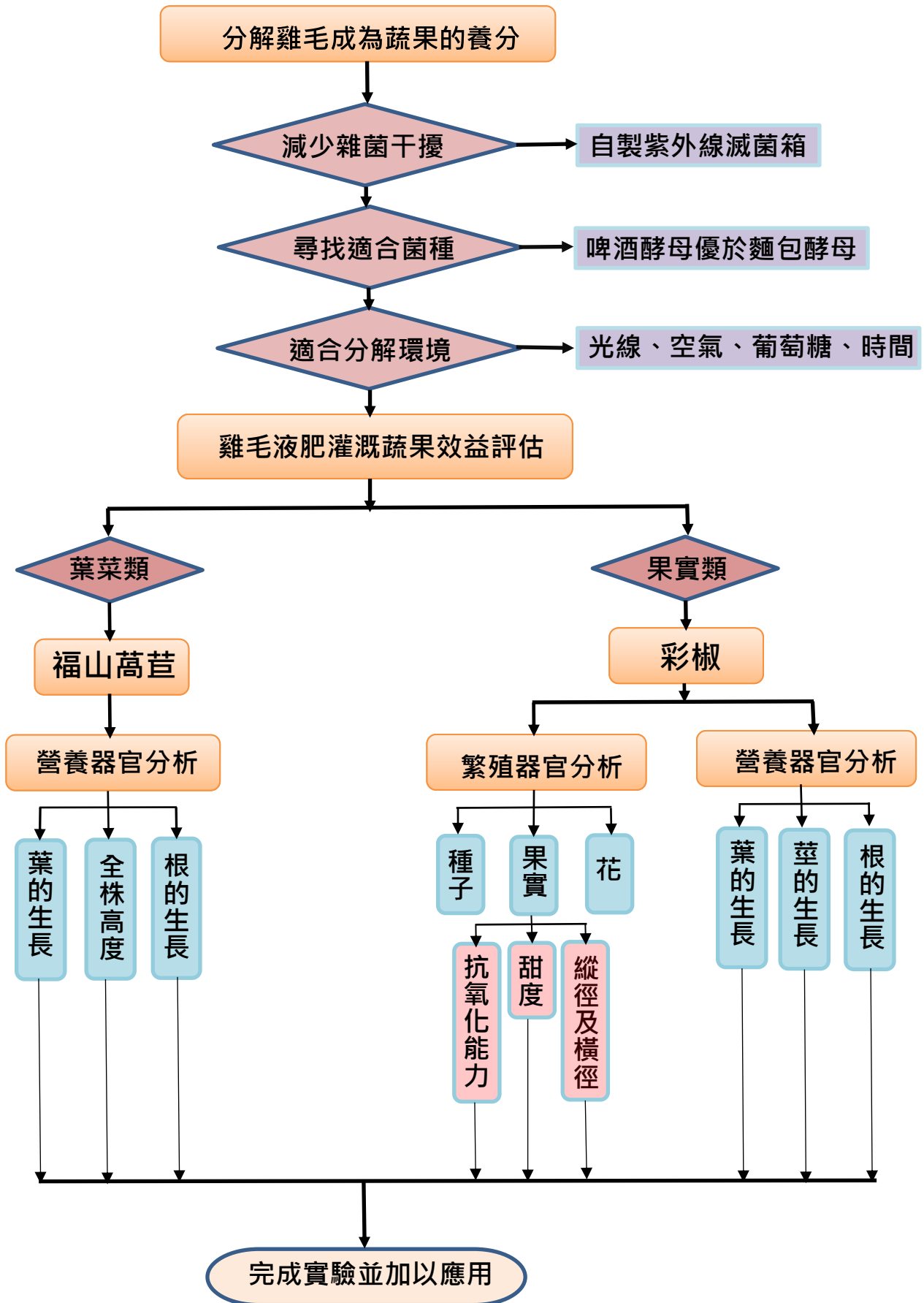
貳、研究設備及器材

一、材料：蒸餾水、pH=10.0校正液、pH=4.0校正液、pH=7.0校正液、雞毛(出處:廢棄黑羽土雞羽毛)、乙醇、硫酸銅、檸檬酸鈉、碳酸鈉、碘液、三多啤酒酵母、Fermipan滿點即發酵母(麵包酵母的一種)、葡萄糖、培養土、彩椒(全聯福利中心:田尾果菜生產合作社)、福山萵苣種子(蔬菜之家)、市售肥(農大滿有機質肥料)。

二、器材：漏斗、燒杯、量筒、滴管、注射針筒、鐵架、洗滌瓶、尺、玻璃棒、鑷子、吸量管、小飛碟、滴定管、錐形瓶、濾紙(110nm)、橡皮塞、塑膠管、秤量紙、離心管、錫箔紙、8W紫外線燈、整理箱、盆栽(長:43 cm、寬:19cm、高:15 cm)、盆栽(長:64 cm、寬:22cm、高:18 cm)、剪刀、膠帶、封口膜、手套。

pH值儀器PH-9001	電導度計Lutron CD4301	電子天平	PARTNER 離心機	顯微鏡	電晶爐	滴定管及鐵架

參、研究過程及方法



一、自製紫外線滅菌箱以利器材殺菌

(一)實驗目的:實驗中主要探討酵母菌對羽毛分解的效果，為避免其他雜菌干擾實驗結果，所以自製紫外線滅菌裝置，希望以簡易的紫外線滅菌箱達到器材及雞毛的殺菌，讓實驗更精準。

(二)實驗步驟:取一個透明的整理箱，內部貼上錫箔紙，前方的錫箔紙採用可掀開式，以觀察內部反應情況，並在內部下方及上方，各裝設1支8W的紫外線燈管，中間放入鐵網平台，以放置器材殺菌。

(三)滅菌功能測試:

1.實驗(1): 紫外線滅菌箱的殺菌功能試驗

製作兩份吐司麵包噴水放入透明夾鏈袋中，一片放入自製紫外線滅菌箱中照射15分鐘後取出，一份放在室溫環境中，比較十天後兩者發霉情形。

2.實驗(2): 夾鏈袋是否會阻隔紫外線殺菌功能?

因為雞毛必須放在夾鏈袋中進行殺菌才不會飄起，但又擔心夾鏈袋是不是會阻隔紫外燈殺菌，所以進行以下實驗。將一片麵包直接放入紫外線殺菌箱中照射15分鐘，另一片吐司麵包放入透明夾鏈袋中，以紫外線照射15分鐘，再將夾鏈袋中的吐司麵包取出，一同放在滅菌箱中，比較十天後兩者發霉的情形。測試夾鏈袋是否會阻隔紫外線殺菌?

二、雞毛液體理化性質的分析

(一)啤酒酵母與麵包酵母分解雞毛的效果

1.實驗目的:以過濾方式測定殘餘雞毛質量來評估分解啤酒酵母分解雞毛的效果，如果濾紙殘留雞毛量較少，則表示酵母分解雞毛效果較佳。

2.實驗變因

(1)操作變因:酵母的種類(三多啤酒酵母、滿點即發麵包酵母)

(2)控制變因:雞毛種類(黑羽土雞毛)、雞毛質量(0.1g)、雞毛長度(1.0 cm)、水量(100 ml)、葡萄糖質量(1.0g)、酵母質量(0.1g)、時間4週。

(3)應變變因:濾紙上殘留雞毛質量

3.實驗步驟:

將廢棄的黑羽土雞毛洗淨曬乾後(如圖1)，將雞毛剪成長度為1cm的雞毛(如圖2)，再放入夾鏈袋中以自製紫外線滅菌後，在錐形瓶中加入100 ml的蒸餾水及0.1 g的雞毛(如圖3)、1.0 g的葡萄糖及0.1g的啤酒酵母菌(如圖4)。秤取烘乾後的濾紙質量，放在漏斗上，將經酵母分解4週的雞毛液體，過濾後將濾紙殘留物烘乾後，秤取濾紙質量，與不含酵母的對照組(含有雞毛，糖，水)進行比較，量測濾紙質量的變化。殘留在濾紙上的物質愈少，表示酵母分解效果愈佳。重複實驗三次，並進行酵母分解8週實驗。並以顯微鏡拍照記錄雞毛分解。酵母分解雞毛的分解效率計算公式如下:

濾紙殘留的質量=烘乾過濾分解液後的濾紙質量－烘乾過濾前濾紙質量

分解效率公式=
$$\frac{(\text{對照組濾紙增加的質量} - \text{實驗組濾紙增加的質量})}{\text{對照組濾紙增加的質量}} \times 100\%$$



圖1 洗淨曬乾的雞毛

圖2 剪成1 cm雞毛

圖3 雞毛放入錐形瓶

圖4 啤酒酵母放入瓶中

註:本圖片由指導老師拍攝

(二) 啤酒酵母與麵包酵母分解後的雞毛液pH值量測

- 1.實驗目的:欲了解酵母分解後的液體的酸鹼性，以瞭解雞毛液肥當作植物肥料養分的分析資料。
- 2.實驗步驟:以蒸餾水清洗電極後，先進行溫度校正，再用拭鏡紙輕輕將表層的水分拭乾，再以pH值為7的標準緩衝指示液校正，接著抽出電極棒以蒸餾水清洗、拭乾，然後用pH值為4及pH值為10的標準緩衝指示液校正。將校正後的pH儀探頭放入過濾後的雞毛液量pH值(如圖5)。



圖5 量測溶液pH值

(三) 啤酒酵母分解雞毛後液體的電導率量測

- 1.實驗目的:欲了解啤酒酵母分解後溶液中產生離子的數量，電導率增加愈多表示分解後產生的帶電的小分子愈多。
- 2.實驗步驟:以蒸餾水清洗電導度計的探頭，再將電導度計放入待測雞毛液中，選取2~20mS的量測範圍，量測雞毛液的電導率(如圖6)。



圖6 電導率量測

註:本圖片由指導老師拍攝

三、探討啤酒酵母分解雞毛的環境

(一) 光線對啤酒酵母分解雞毛的影響?

- 1.實驗目的: 探討光線對啤酒酵母分解雞毛的影響。
- 2.操作變因:光線
- 3.實驗步驟:分別取長度為1.0 cm、0.5 g的雞毛、0.5g的啤酒酵母及1.0g的葡萄糖放入錐形瓶中，置於暗箱中為實驗組，時間持續8週，以室內自然光12小時為對照組。比較光線對啤酒酵母分解雞毛的影響。

(二) 空氣對啤酒酵母分解雞毛的影響

- 1.實驗目的:找出啤酒酵母分解雞毛適當的環境，是在有空氣還是無空氣中進行較佳?
- 2.操作變因:空氣
- 3.實驗步驟: 取長度為1.0 cm的雞毛共0.5 g、0.5 g的啤酒酵母及1.0g的葡萄糖放入錐形瓶中，以保鮮膜包住錐形瓶，避免空氣進入，時間持續8週，另外以打開瓶口為對照組。比較空氣對啤酒酵母分解雞毛的影響。

(三) 葡萄糖對啤酒酵母分解雞毛的影響

- 1.實驗目的:探討啤酒酵母分解雞毛時，加入葡萄糖對分解速率的影響?
- 2.操作變因:葡萄糖
- 3.實驗步驟: 取長度為1.0 cm、0.5 g的雞毛、0.5 g的啤酒酵母及1.0g的葡萄糖放入錐形瓶中，時間持續8週，另一組不放入葡萄糖為對照組。比較有葡萄糖及無葡萄糖對啤酒酵母分解雞毛的影響。

(四)時間對啤酒酵母分解雞毛的影響

- 1.實驗目的:雞毛結構穩定不易被分解，所以想進一步了解雞毛分解與時間的關係。
- 2.操作變因:時間
- 3.實驗步驟:分別取長度為1.0 cm、0.5 g的雞毛、0.5 g的啤酒酵母及1.0g的葡萄糖放入錐形瓶中，分解1週、2週、3週、4週、8週及24週。比較分解時間對啤酒酵母分解雞毛的影響。

四、比較雞毛液肥與市售肥對彩椒生長之影響

(一)實驗目的:探討雞毛液肥能否取代市售肥用於彩椒生長，減少化學肥料殘留在蔬果上，影響民眾健康。並且利用廢棄雞羽毛，達到環境永續的目的。

(二)實驗步驟:

1.種植彩椒種子

(1)浸種催芽:將從全聯福利中心買到的紅色彩椒(如圖 7)，取出種子(如圖 8、圖 9)，放入 55°C 溫水中，不斷攪拌，在 10 分鐘內使水溫降至 30°C，撈出後用 0.1%的高錳酸鉀溶液泡 10 分鐘，然後用清水洗淨，浸泡 4~5 小時，用紗布包好，放在 25°C ~ 28°C 下催芽，4~5 天後種子露白即可播種。



註:本圖片由指導老師拍攝

(2)育苗: 將催芽的種子播於育苗的培養土中，覆土約 1 公分厚，蓋上地膜，保溫保濕。當種子有 70% 出土後，去除地膜。幼苗長至 2 片真葉時，進行分苗。

(3)分苗種植

取 2 片真葉的彩椒如下圖每盆種植二株幼苗，共三盆(種植模型如圖 10、圖 11、圖 12)。起初每日早晚以 200mL 自來水灌溉，持續 20 天，量測莖長度，並計算葉片個數。從第 21 天起，實驗組每週一次以 10% 雞毛液肥(啤酒酵母分解一個月)200 ml 灌溉、1g 的是市售肥溶於 1000 ml 的水配置的市售肥灌溉(濃度依照產品使用方法配置)，而以 200mL 蒸餾水為對照組。重複實驗三次。觀察彩椒生長情形。比較自來水、雞毛液肥及市售肥料對彩椒生長的影響。



註:本圖片由指導老師繪製

2.比較雞毛液肥及市售肥對彩椒生長的影響

(1)彩椒**營養器官**特性分析

- 甲.**葉**片的分析:每週一、三、五紀錄葉片數，並於最後一日量取葉片總質量及總面積。
乙.**莖**的分析:每週三次紀錄莖的長度(如圖13、圖14)，記錄溫度及濕度(如圖15)。
丙.**根**的分析:最後一日量測根的長度、根毛數目及排水法量測根的總體積。



註:本圖片由指導老師拍攝

(2)彩椒的繁殖**器官**特性分析

- 甲.**花**的分析:比較自來水，雞毛肥及市售肥灌溉的彩椒，開花時間與開花數目的關係。
乙.**果實**的分析:果實大小、重量、厚度及甜度的量測
(甲)果實縱徑及橫徑的量測:果實縱徑以游標尺量果頂至果蒂端之距離；果實橫徑以游標尺量取果實赤道部位之橫徑。
(乙)果實重量及厚度量測:以天秤量測果實質量，計算每顆果實的平均質量，以游標尺量測果實的厚度。

(丙)果實**甜度**:

- A.**本氏液配製**:取檸檬酸鈉 86.5 g 以及碳酸鈉 50 g，加入 400 mL 的水後加熱以幫助溶解；製成 A 液；取硫酸銅 8.65 g 加水 50 mL 溶解；製成 B 液。混合 A 液與 B 液，配置成本氏液。

B.**葡萄糖檢量線的製作**

配製重量百分比濃度分別為0%、2%、4%、6%、8%、10%~26%的葡萄糖溶液，在燒杯中加入10 ml的葡萄糖溶液及10 ml的本氏液，燒杯放入鐵盤中隔水加熱，記錄顏色由藍色→綠色→黃色→橙色→紅色，每個階段顏色變化所需的時間，及當時的水溫，並進行拍照。

C.以Image J 免費色彩分析軟體進行照片中紅色R值強度

當水浴槽溫度加熱至70°C時，進行不同燒杯中溶液顏色拍照，以網路下載的Image J 免費軟體，首先讀取照片，然後按下工具列中的 → → ，點選**Red** 那張照片，再按 → 分析照片中紅色R值的平均強度值。重複實驗三次，進行不同葡萄糖濃度與R值強度的檢量線。

D.彩椒果實中**葡萄糖**含量量測

樣品處理與分析：取10 g 的果實切碎後加入20ml的乙醇萃取汁液，然後將液體放入離心管中以轉速為3000rpm，進行離心3分鐘，再以針筒吸取上清液，經小飛碟過濾，取10 ml的過濾液當作待測液放入燒杯中，加入10 ml的本氏液，進行葡萄糖測定，小燒杯放入鐵盤中隔水加熱，並加熱水浴槽溫度至70°C時，進行不同燒杯中溶液顏色拍照，以Image J 免費色彩分析軟體，進行照片中紅色R值強度分析，以檢量線推測果實萃取液中葡萄糖的濃度。

(丁)果實**抗氧化能力**:以直接碘滴定法來測量彩椒果實的抗氧化能力。

A.實驗目的：不同肥料灌溉的彩椒果實中，其中抗氧化物質含量是否有差異?

B.實驗方法：碘量法(採用**直接碘滴定法**)

C.實驗步驟：

(A)澱粉液製備:取 5.0 g 的澱粉，加入 200 ml 蒸餾水，加熱至沸騰靜置，冷卻後做為澱粉指示劑。

(B)配製 0.010M 碘標準液，以硫代硫酸鈉標準溶液標定之。

(C)取各檢測液 5.0 ml，加入1 ml、5 M 硫酸及0.5 ml 的澱粉溶液。

(D)以 0.010M 碘標準液，滴定至變為藍黑色即為滴定終點。

(E)讀取用去之碘液之體積，重複實驗三次。

(F)另取純水，置入錐形瓶中，做空白實驗。

丙.**種子**的分析: 將果實剖開，細數種子的個數並量測種子總質量。

五、比較雞毛液肥與市售肥對福山萵苣生長之影響

(一)實驗目的:啤酒酵母分解後的雞毛液體可否用於灌溉葉菜類的福山萵苣，以取代市售肥料，讓廢棄雞羽毛再利用，達到環境永續。

(二)實驗步驟:

1.種植福山萵苣種子

(1)浸種催芽:由**蔬菜之家**(網路購得)的福山萵苣種子(如圖16)，種子長度約 0.40 cm~0.50 cm(如圖17)，將種子放入55°C 溫水中(如圖18)，不斷攪拌，在10分鐘內使水溫降至30°C，撈出後用0.1%的硫酸銅溶液泡10分鐘，然後用清水洗淨，浸泡 4~5小時，用紗布包好，放在 25°C~28°C 下催芽，2~3天後種子即可播種。



註:本圖片由第一作者拍攝

(2)育苗: 將催芽的種子播於育苗的培養土中，覆土約1公分厚，蓋上地膜，保溫及保濕。當種子有70%出土後，去除地膜。幼苗長至2片真葉時，進行分苗。

(3)分苗種植:

取2片真葉的福山萵苣幼苗，每盆種植三株幼苗，苗與苗間隔8 cm，共27株福山萵苣(種植模型如圖19、圖20、圖21)。每日早晚以200 mL自來水灌溉、每周五進行施肥一次，以10%的雞毛液肥、0.1%市售肥 200 ml灌溉，另一盆以自來水灌溉的對照組。重複實驗四次。觀察福山萵苣生長情形。比較一般自來水、雞毛液肥及市售肥對福山萵苣生長的影響。



註:本圖片由指導老師繪製

2.福山萵苣生長情形紀錄

(1)高度及葉片數目的量測

觀察福山萵苣生長情形並量測高度及葉片數目。比較雞毛液肥對福山萵苣生長的影響。最後一次觀察日，將其連根拔起，進行拍照(如圖22)、量測高度及葉片數目。

(2)根部總體積的量測

取一個25mL量筒，裝入10mL的蒸餾水，將待測植物的根部切下(如圖23)，放入量筒中，且完全沒入液面下方，利用排水法量測植物根系總體積(如圖24)。



註:本圖片由第一作者拍攝

(3)最終日葉片總面積的量測

將福山萵苣葉片摘下(如圖25)，剪下一個邊長4 cm × 4 cm的紙片，秤其質量。再將植物葉片置於同一張A4紙上，仔細勾畫出葉片輪廓，將紙片剪下，秤取相同輪廓面積紙片及葉片的質量，依照紙片質量換算成面積(如圖26)，可按比例換算相對葉片質量的葉片面積。於最終觀察日，將所有葉片拔下，洗淨擦乾後秤量其質量(如圖27)，即可換算成葉片總面積。



註:本圖片由指導老師拍攝

肆、研究結果

一、自製具有殺菌功能的紫外線滅菌箱

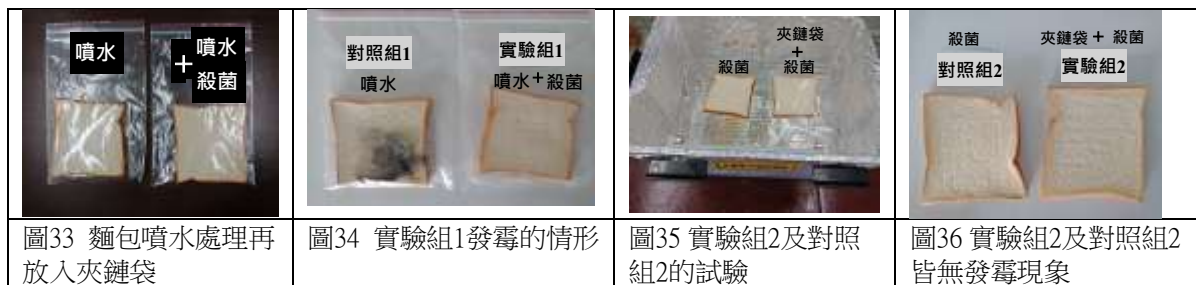
(一)將購買來的整理箱貼上錫箔紙(如圖28)，透明空箱裝上8W紫外線管(如圖29)，放上鐵架(如圖30)，上蓋黏貼錫箔紙遮光(如圖31)，完成自製紫外線滅菌箱(如圖32)。紫外光的波長介於200 nm ~ 280 nm，單細胞微生物經過紫外線照射會直接破壞其生命中樞DNA(去氧核糖核酸)及RNA(核糖核酸)的結構，使構成微生物體的蛋白質無法形成，造成微生物立即死亡或喪失繁殖能力。整理箱底部下方及上方各放置一個紫外線燈，提供足夠紫外光源達到殺菌目的。為了避免人體受到紫外光的傷害，外層黏貼錫箔紙遮光，避免外洩，並能提供內部反射面，增加紫外光內部殺菌效能。



註:本圖片由第一作者拍攝

(二)滅菌效果結果

噴水後的麵包(實驗組1、如圖33右方麵包所示)放入夾鏈袋中的麵包經紫外光殺菌後，幾乎沒有黴菌生長(如圖34右方麵包所示)，而噴水後的麵包(對照組1)放入夾鏈袋中，沒有紫外線殺菌，經過十天的時間，有明顯發霉的現象(如圖34左方麵包所示)，表示自製紫外線殺菌箱，確實具有殺菌效果。麵包放入夾鏈袋(實驗組2)和直接將麵包放在鐵網上(對照組2)以紫外光照射15分鐘後(如圖35)，經過十天的時間，兩者皆無黴菌產生(如圖36)，表示透明的夾鏈袋對於紫外光的吸收極小，放入夾鏈袋中的物質確實也具有殺菌效果。



註:本圖片由第二作者拍攝

二、雞毛液體理化性質的分析結果

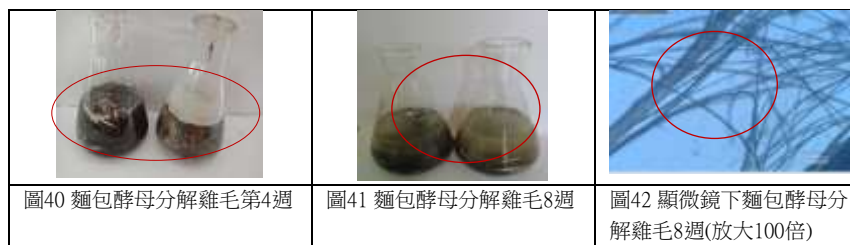
(一)啤酒酵母與麵包酵母分解雞毛的效果

啤酒酵母分解雞毛實驗中，最初雞毛易浮於液面上，隨著時間漸漸沉入水面下，可能是因為雞羽毛吸收足夠水分後，造成密度漸增，而沉入水面下。分解至第4週時含啤酒酵母菌的表層出現一層明顯的白色物質及氣泡(如圖37)，且漸漸飄出一股腐肉的臭味，推測可能是雞毛蛋白質被分解後的味道，而氣泡可能是啤酒酵母在

發酵過程產生中產生的二氧化碳。圖40是第4週時麵包酵母與對照組的比較，可發現左邊的對照組，溶液較清澈，而右方的麵包酵母表面產生的白色物質，但較啤酒酵母少。分解8週時，啤酒酵母溶液變混濁(如圖38)而麵包酵母則稍微混濁(如圖41)。腐臭味也以啤酒酵母較濃郁。啤酒酵母分解8週後的雞毛在複式顯微鏡下放大100倍的情況如圖39所示，雞毛的外層有模糊的傾向，推測是分解的證明。麵包酵母分解8週後的雞毛如圖42所示，雞毛則稍為模糊。



註:本圖片由第二作者拍攝

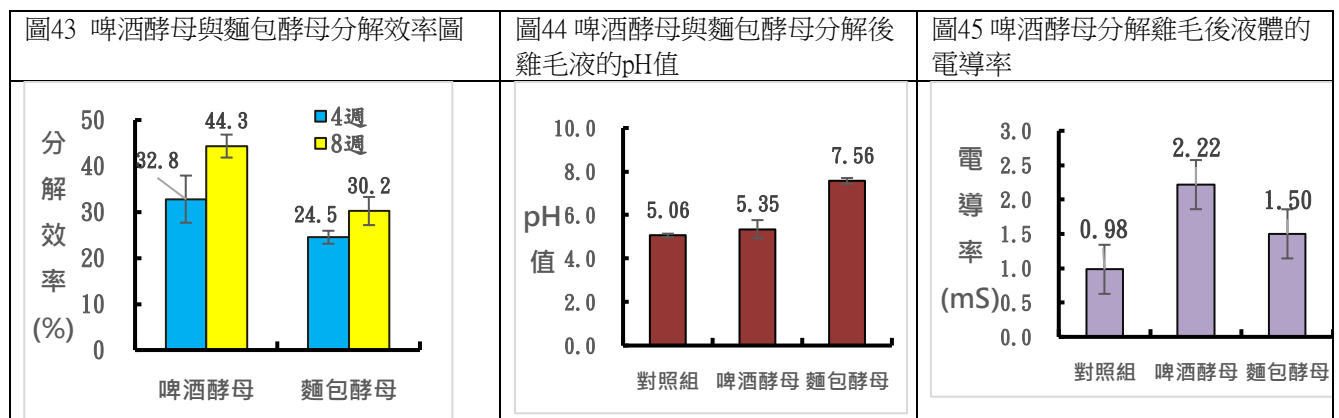


註:本圖片由第二作者拍攝

實驗結果如圖43，發現對照組，啤酒酵母及麵包酵母分解時間愈長，濾紙增加的質量愈少，表示分解效果較佳，分解4週的時間啤酒酵母分解效率比對照組多出32.8%，麵包酵母分解效率比對照組多出24.5%，增加分解時間到8週時，啤酒酵母分解效率比對照組多出44.3%，而麵包酵母則稍微增加到30.2%。可以發現隨分解時間增加，分解雞毛的效果較佳。另外不含酵母的對照組，因為含有葡萄糖及水，對於雞毛也有少許分解效果。

由圖44實驗中可發現對照組的pH值為5.06;啤酒酵母組pH值為5.35;麵包酵母組pH值為7.56。對照組及啤酒酵母組的雞毛過濾液皆偏弱酸性，而麵包酵母組過濾液則偏弱鹼性。至於是何種原因造成?有待深入探討。

由圖45中可發現對照組的電導率為0.98 mS ;啤酒酵母組的電導率為2.22 mS ;麵包酵母組的電導率為1.50 mS。啤酒酵母分解雞毛後的液體電導率值偏高，表示分解後產生的導電離子數目較多，而麵包酵母分解後的雞毛液體，分解出的離子較少。對照組因為含有糖和水及雞毛，所以也有導電離子產生。



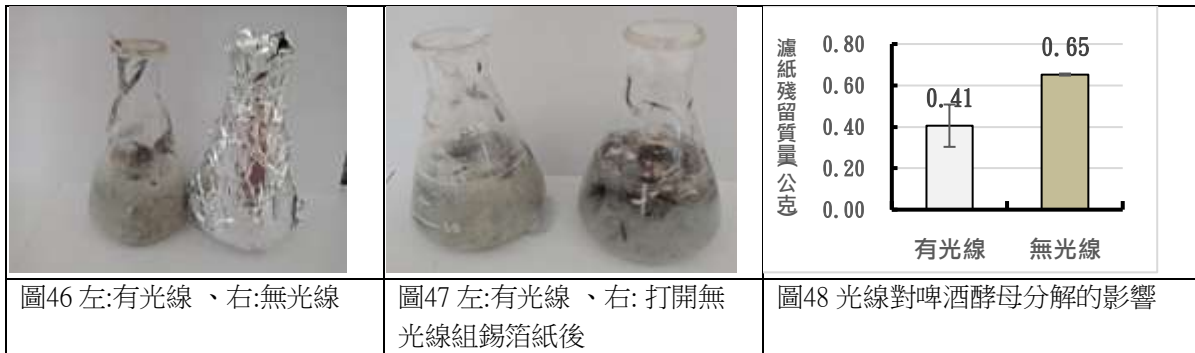
註:本圖片由第二作者繪製

三、探討啤酒酵母分解雞毛的環境

(一)光線對啤酒酵母分解雞毛的影響

下圖46中左邊的錐形瓶為有光線對照組，右邊為遮光實驗組，可以發現純雞毛不含酵母其溶液外觀較清澈，打開遮光實驗組發現溶液清澈(如圖47)。

由圖48可發現量測濾紙前後質量變化，有光線時濾紙殘留質量增加約0.41g，無光線時濾紙殘留質量約增加0.65 g。有光比無光約少36.9%，表示分解量較多。實驗結果顯示:在有光線的條件下，有利於啤酒酵母分解雞毛。



註:本圖片由第二作者拍攝

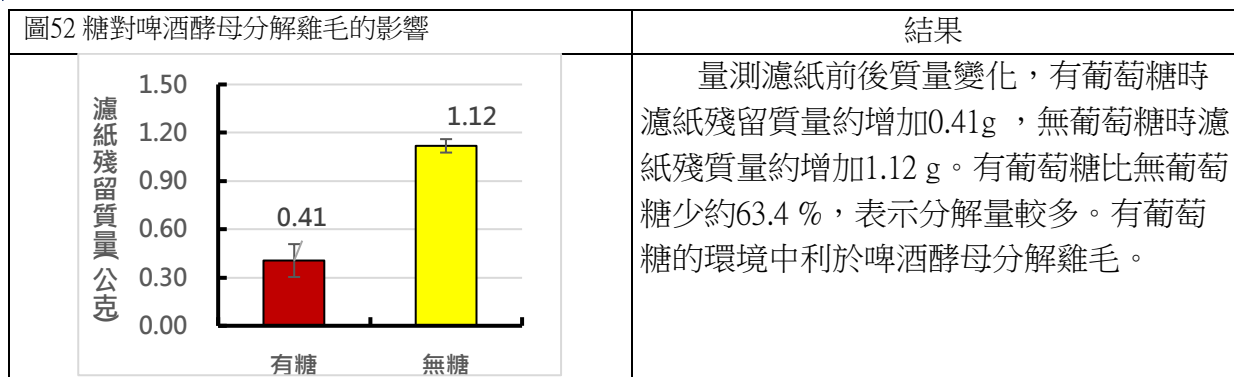
(二)空氣對啤酒酵母分解雞毛的影響

實驗組以封口膜將錐形瓶密封以隔絕空氣(如圖49)，4週後(如圖50)外觀看來差異並不明顯。如圖51可發現量測濾紙前後質量變化，有空氣時濾紙殘留質量約增加0.41 g，無空氣時濾紙殘留質量約增加0.74 g。有空氣比無空氣少44.6%，表示分解量較多。實驗結果顯示:在有空氣的條件下，有利於啤酒酵母分解雞毛。



註:本圖片由第二作者拍攝及繪製

(三)葡萄糖對啤酒酵母分解雞毛的影響



註:本圖片由第二作者繪製

(四)時間對啤酒酵母分解雞毛的影響

啤酒酵母分解雞毛1週、2週、3週、4週、8週及24週後，進行過濾(如圖53)，再將濾紙及殘留物烘乾(如圖54)，計算濾紙增加的殘留質量，結果如圖55，發現隨著分解的時間增加，濾紙上的殘留物的質量逐漸減少，分解1週約比對照組多分解 7.0%，分解24週後約比對照組多分解68.0%。可以發現啤酒酵母分解雞毛在第1週到第2週時分解速率最快，約增加18.6%。而在第2週後分解量，漸漸變小。使用 0.1 g的啤酒酵母加上1.0 g的葡萄糖及100 ml的水，經過4週分解時間，可分解約 0.1 g~0.2 g的雞毛。



註:本圖片由第一作者拍攝

四、比較雞毛液肥與市售肥對彩椒生長影響的結果

(一)彩椒種植結果

種植到第120天時，將彩椒由盆栽中輕輕拔出(如圖56)，務必要保留根毛，將拔出的彩椒根部泡水(如圖57)，以溶解彩椒軸根上的泥土，再置入塑膠籃中以利進行相關分析實驗(如圖58)。實驗中共種植對照組6株彩椒、雞毛液肥組6株彩椒、市售肥組6株彩椒。



註:本圖片由指導老師拍攝

(二)比較雞毛液肥與市售肥對彩椒生長影響的結果

1.彩椒營養器官特性分析

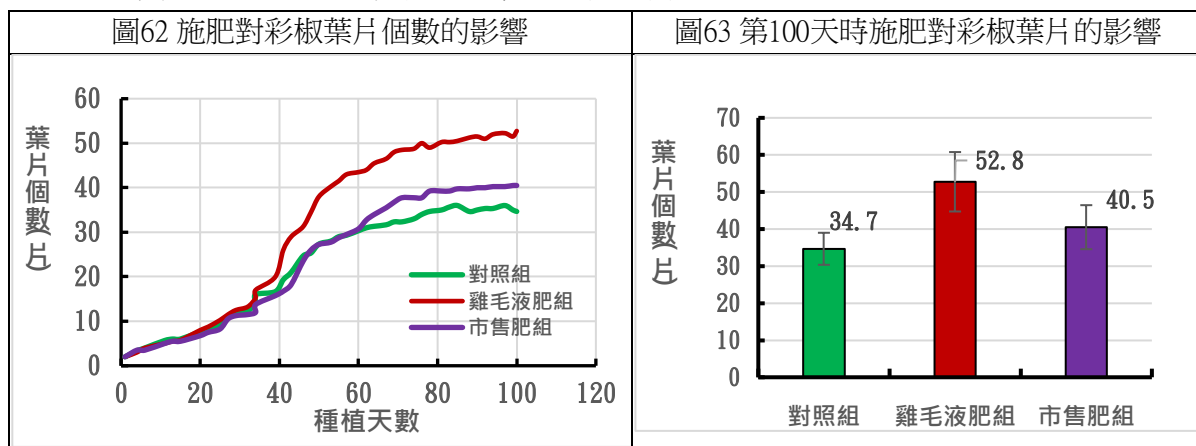
甲.葉片的分析

種植到第120天的彩椒(如下圖59所示)，以自來水灌溉的彩椒葉片枯黃，果實由綠色轉為黃色;雞毛液肥組的果實由綠色轉為紅色(如圖60);市售肥組彩椒則因為施用市售肥，可能因為施肥過量有些葉片枯萎乾扁(如圖61)。



註:本圖片由第一作者拍攝

雞毛液肥與市售肥及自來水(對照組)對彩椒葉片生長的影響結果如下圖62，可發現雞毛液肥組的葉片數量明顯大過於市售肥組及對照組，直至100天時，雞毛液肥組的葉片數量為47片，而市售肥組是30.9片，對照組則是30.0片，差距多達十幾片，而三組的葉片數量皆在第55天到70天時，成長幅度最為明顯，在種植80天後葉片的成長幅度趨於平緩。最後一日彩椒葉片的結果如圖63所示，可發現施肥後的雞毛液肥組與對照組的葉片數量有明顯差距，雞毛液肥組的平均葉片數量為52.8片；而市售肥組為40.5片，對照組則是34.7片，雞毛液肥組比對照組葉片多出約52.2%；比市售肥組葉片多出約30.4%，表示雞毛液肥確實比市售肥及自來水更能幫助彩椒葉片生長。

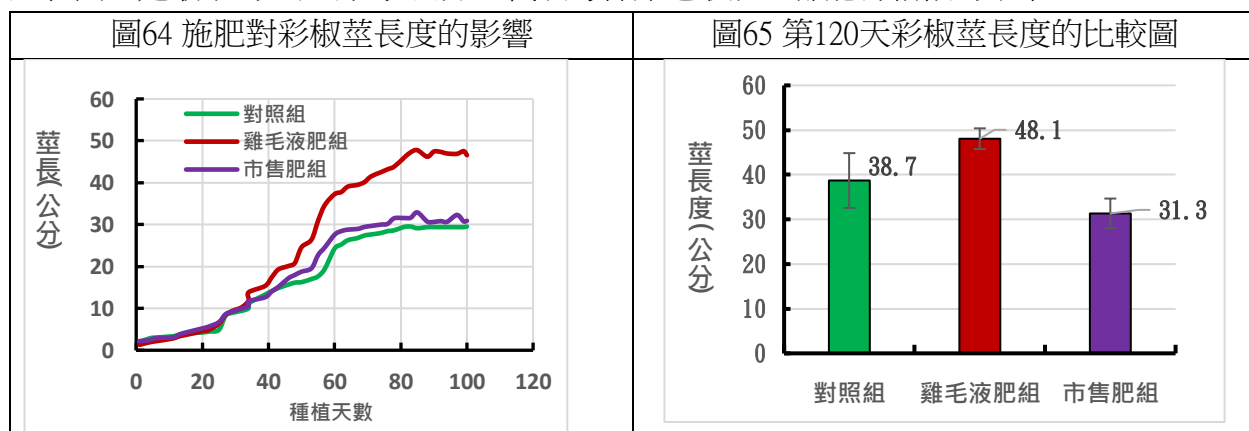


註:本圖片由第二作者繪製

乙.莖的分析

每週一、三、五利用下課時間記錄彩椒莖長度的生長持續120天，莖長度生長情形如下圖64中可看出，起初種植第1天到第35天時，三組數據的平均莖長度相差不大；而在種植第40天時，雞毛液肥組的平均莖長度為17.4cm，逐漸拉開差距，到第57天時，雞毛液肥組的平均莖長度為34.6 cm，對照組的平均莖長度為19.4cm，市售肥組的平均莖長度為24.5 cm，雞毛液肥組的平均莖長度和其他兩組相差甚大，高出對照組78.4%，高出市售肥組41.2%；種植第83天時，雞毛液肥組的平均莖長度為47.3 cm，高出對照組平均莖長度為15.7 cm 約高出49.7%。

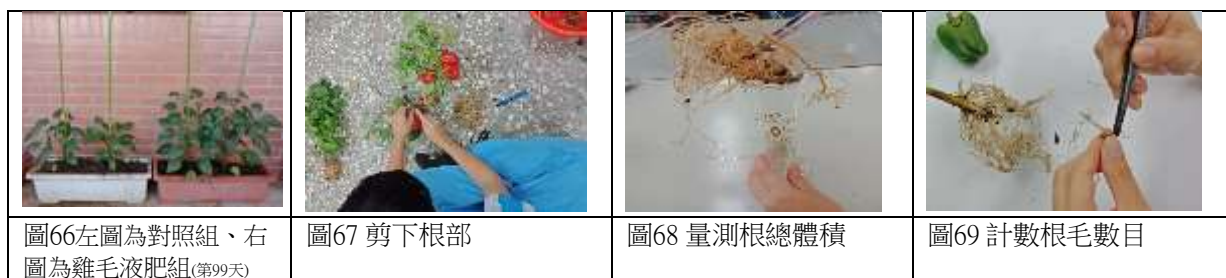
第120天時雞毛液肥對於彩椒莖長度的生長如圖65所示。可發現雞毛液肥灌溉的彩椒莖長度為48.1公分，對照組為38.7公分，市售肥組為31.3公分，可以看到雞毛液肥組比其他兩組高出約10公分以上，可以證明雞毛肥對於彩椒的莖生長有一定的幫助，雞毛液肥的誤差範圍也是最小的，只有約5公分，代表每株雞毛液肥組都能有相似的結果。



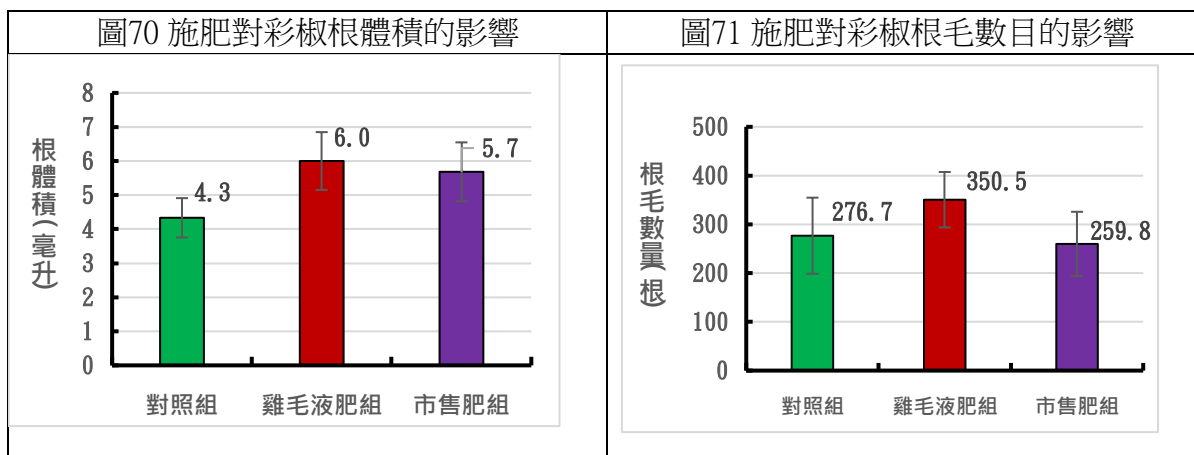
註:本圖片由第二作者繪製

丙.根的分析

種植到第120天連根拔出(如圖66)，將彩椒根部剪下(如圖67)，將根毛沒入裝水的量筒中(如圖68)，以排水法量測根的總體積，根的總體積結果如圖70所示，雞毛液肥組的根體積是 6.0 cm^3 ，市售肥組則是 5.7 cm^3 ，對照組則是 4.3 cm^3 ，雞毛液肥組與市售肥組兩者根體積的部分數據較為接近，而對照組有較明顯的差距，可以得知有無施肥對根體積造成的影響，有施肥的根體積普遍較高。細數根毛的數量(如圖71) 雞毛液肥組的根毛數量為350.5根，市售肥組根毛數量為259.8根，對照組則是根毛數量為276.7根，可知雞毛液肥有助於根毛的生長。



註:本圖片由指導老師拍攝



註:本圖片由第二作者繪製

2.彩椒的繁殖器官特性分析

(1)花的分析:

種植彩椒到約第25天時會長出花苞如圖72，再經約7~8天後會開花如圖73，花朵漸漸變大後，可看見內部雌蕊及雄蕊的構造如圖74，隨著時間花瓣會慢慢內縮如圖75，讓雄蕊的花粉可以沾在雌蕊的柱頭上，完成自花授粉，花粉與胚珠結合為種子。花瓣凋謝如圖76，子房漸漸膨大如圖77，結成果實如圖78。圖79是花朵隨時間成長的過程。



註:本圖片由指導老師拍攝

			
圖76 花瓣脫落	圖77 子房漸漸膨大	圖78 開花後的21天果實 果實縱徑1.8 cm	圖79 由左而右是花的 成長過程

註:本圖片由指導老師拍攝

(2)果實的分析:

甲.果實數量的結果

種植過程中發現，下方的果實長得較大(如圖80、圖81)，且花梗較粗以提供足夠的養分(圖82)。大部分果實由凹陷處先由綠轉紅(如圖83)，每顆果實約花費二週的時間全部轉紅。如果長出太多小果實時，上半部分花梗會萎縮而造成果實掉落如圖84。最後一日將彩椒整株拔出進行果實分析，比較對照組彩椒(如圖85)、雞毛液肥組彩椒(如圖86)、市售肥組彩椒(如圖87)的果實。

			
圖80 雞毛液肥組下方的 果實長得較大	圖81 雞毛液肥組下方的 果實較快變紅	圖82 雞毛液肥組的果實 較多	圖83 彩椒果實凹陷處 先轉紅

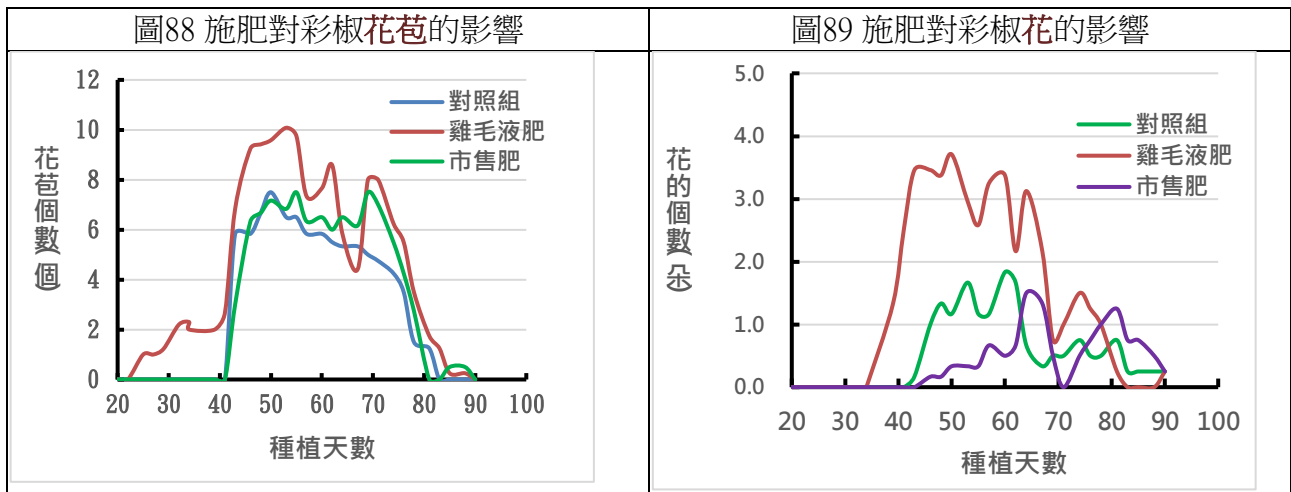
註:本圖片由指導老師拍攝

			
圖84 上半部花梗萎縮乾枯	圖85 對照組彩椒	圖86 雞毛液肥組彩椒	圖87 市售肥組彩椒

註:本圖片由指導老師拍攝

圖88可知雞毛液肥灌溉的彩椒產生的花苞的數量最多，其次是市售肥組及對照組，且市售肥組及對照組差異不大。雞毛液肥的花苞個數在第46~53天最多，大約10個花苞左右，第71天時花苞總數開始下降，第80天後幾乎沒有花苞，而在70至80天間花苞的數量大幅下降。雞毛液肥中的鋸齒狀圖形中可發現，花苞數下降表示部分花苞因為已開花不列入計算，花苞數上升表示雞毛液肥會使彩椒再生新的花苞。而市售肥組在第70天時也有鋸齒狀上升的情形，表示市售肥也有使彩椒再生長出新花苞的情況。市售肥組與對照組也是生長第46~53天最多，但每株彩椒花苞總數較雞毛液肥約略少2~3個。

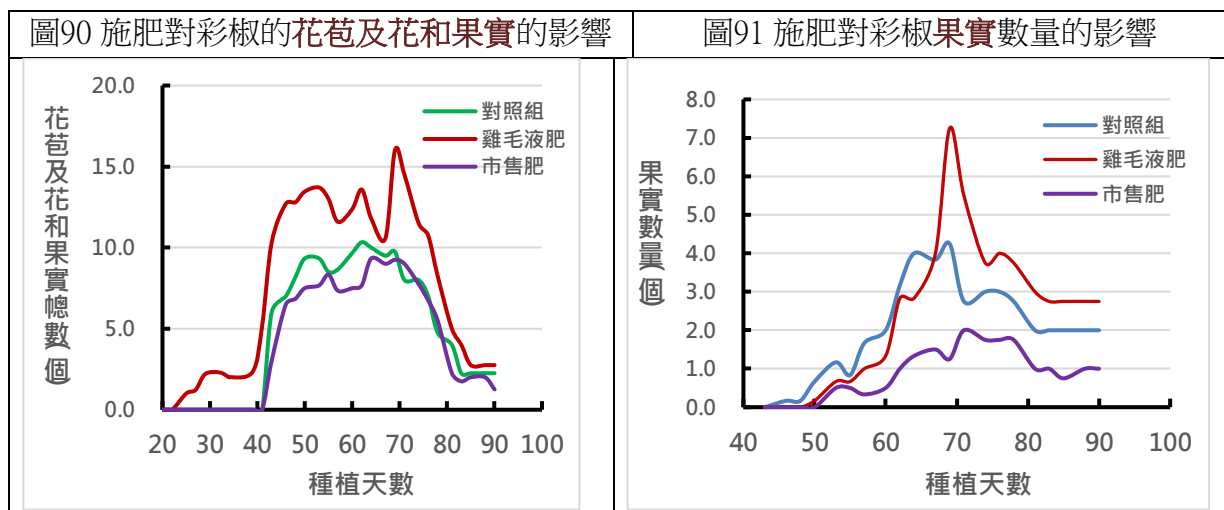
由圖89可知雞毛液肥中的花朵數量較其餘兩組多，雞毛液肥灌溉的每株彩椒花的總數約為3朵~4朵，而其餘兩組的花朵數量則為1朵~2朵，沒有太大落差。表示雞毛液肥能使花苞順利開花的機率較高。



註:本圖片由第二作者繪製

每週三天記錄彩椒的花苞、花、果實的生長情形，約略第25天會長出花苞，第30天會開出花朵，當花變成果實時，花的數目就會減少，所以花苞、花、果實的總數來衡量開花情形較準確。由下圖90可看出，起初種植第43天時，對照組的平均花苞、花及果實總數為4個，雞毛液肥組為3.6個；市售肥組的花為2.0個。從第62天起，雞毛液肥組的花苞、花及果實總數較其他兩組多，而在約第70天時，為三者花苞、花及果實總數和最多的時候，雞毛液肥組的總數是15.6個，對照組是9.8個，市售肥組是9.3個，雞毛液肥組的花苞、花及果實總數和，較對照組的高出59.2%，較市售肥組的高出67.7%，表示以雞毛液肥灌溉有助於彩椒開花結果。

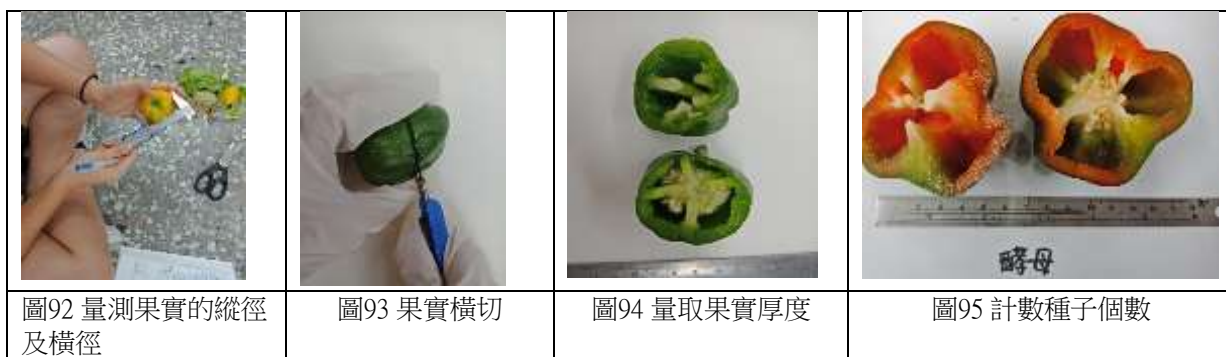
由圖91可看出雞毛組液肥大約每株是1.6個，和對照組相同，而市售肥組的果實數量平均每每一株是一顆，因為有些市售肥組因為葉片萎縮而沒有結果;或是果實在生長過程中掉落而造成數量較少。由結果可知施肥對彩椒果實數量的影響不大。



註:本圖片由第二作者繪製

乙.果實總重量及厚度的結果

將種植120天後，量測果實的縱徑及橫徑(如圖92)，然後將果實橫切(如圖93)量取果實厚度(如圖94)及種子個數(如圖95)。

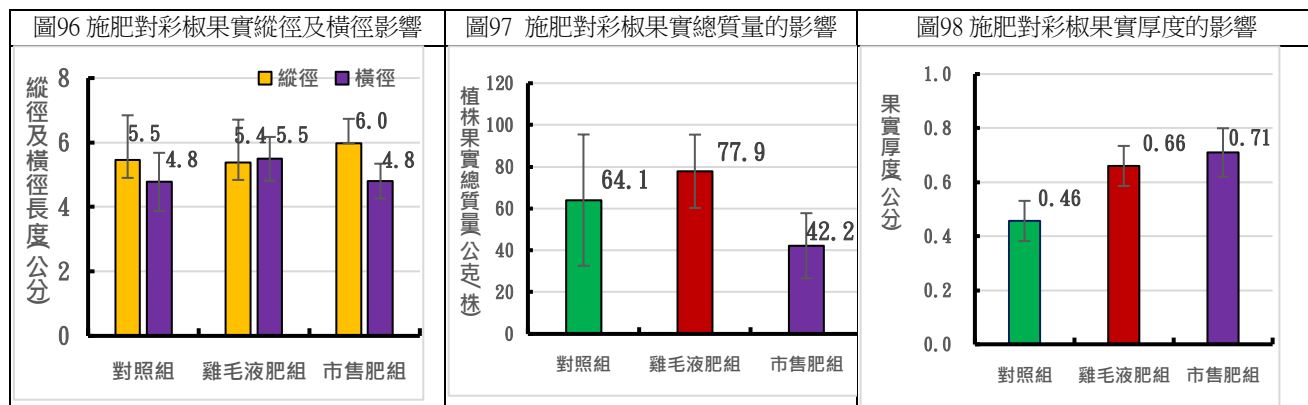


註:本圖片由指導老師拍攝

施肥對彩椒果實縱徑及橫徑的影響結果如下圖96可看出，市售肥組的果實縱徑是三者之中最大的，平均縱徑是6.0cm，雞毛液肥組的果實縱徑是5.4 cm，而對照組彩椒果實縱徑是5.5cm，相較之下市售肥組的果實比雞毛液肥組長0.6 cm，比對照組長0.5 cm。雞毛液肥組的果實橫徑是三者之中最大的，平均橫徑是5.5 cm，市售肥組和對照組的果實橫徑均是4.8 cm，相較之下雞毛組的果實比市售肥組和對照組的長0.7 cm，各組差異不大。

施肥對彩椒果實總質量的影響如下圖97可看出，雞毛液肥組的果實總質量是三者之中最大的，平均每株果實總質量是77.9g，每株對照組彩椒果實總質量是64.1g，而市售肥組的果實數量每株是42.2g，相較之下雞毛液肥組的果實比對照組的重13.8 g，比市售肥組的重35.7g，有顯著的差異，由此可得知雞毛液肥確實有助於果實的生長。

施肥對彩椒果實厚度的影響如下圖98可看出，雞毛液肥組的果實厚度是0.66 cm，市售肥組的果實厚度也是0.71 cm，而對照組彩椒果實厚度為0.46 cm，相較之下雞毛液肥比對照組多出43.5%。由此可發現施肥確實有助於果實厚度的生長。



註:本圖片由第二作者繪製

丙.果實甜度:





(甲)葡萄糖檢量線的製作

以蒸餾水及葡萄糖配置重量百分比濃度為 0%、2%、4% ~ 26%的葡萄糖溶液(如圖99)，及配置本氏液(如圖100、圖101)，取10 ml的葡萄糖溶液加入10ml的本氏液放入燒杯中(如圖102)，然後以電晶爐隔水加熱的方式(如圖103)，加熱後燒杯如圖104所示。濃度高的葡萄糖溶液較快變成紅色(如圖105)，記錄溫度到達70°C時，各個燒杯的顏色照片(如圖106~圖110)，將反應後的葡萄糖溶液(如圖111)，靜置一晚，再以濾





紙過濾(如圖112)·可看見明顯的紅色沉澱物(如圖113、圖114)。以Image J分析不同葡萄糖濃度與本氏液照片中的R值強度·結果如表(一)所示·製作葡萄糖與本氏液的檢量線(如圖115)·方程式為 $y=5.2894x-0.1252$, $R^2=0.9814$ 。依此方程式可推算出彩椒果實中葡萄糖重量百分濃度的大小。

			
圖99 配置不同濃度的葡萄糖溶液	圖100 置A液和B液	圖101 配置完成的本氏液	圖102 葡萄糖溶液與本氏液混合





註:本圖片由指導老師拍攝

			
圖103 加熱葡萄糖與本氏液溶液	圖104 溶液顏色漸漸改變	圖105 本氏液檢測葡萄糖最後顏色結果	圖106 2%葡萄糖~6%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色

註:本圖片由指導老師拍攝

			
圖107 8%葡萄糖~12%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色	圖108 14%葡萄糖~18%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色	圖109 20%葡萄糖~24%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色	圖110 26%葡萄糖及28%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色

註:本圖片由指導老師拍攝

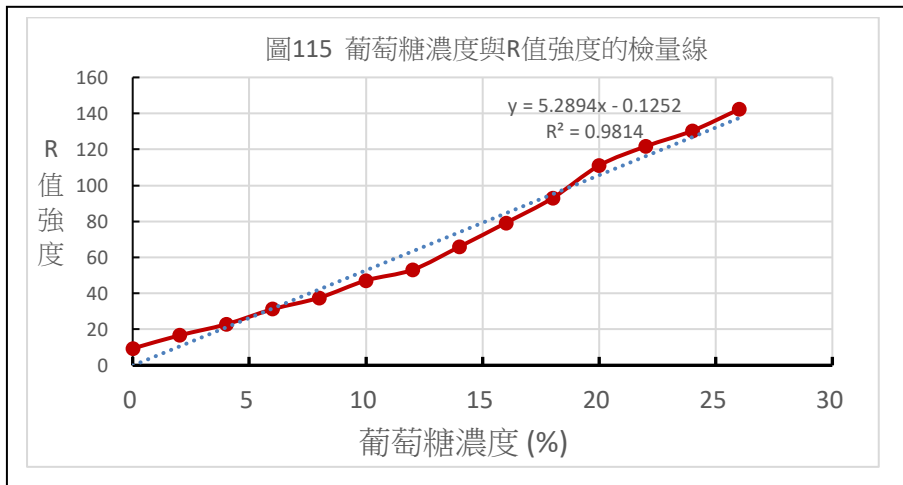
			
圖111 過濾葡萄糖與本氏液加熱後的溶液	圖112 濾紙上有紅色的沉澱反應物	圖113 乾燥濾紙上有紅色的沉澱反應物	圖114 乾燥濾紙上有紅色的沉澱反應物

註:本圖片由指導老師拍攝

表(一) 糖度試驗照片中分析出的R值強度

重量百分濃度	0%	2%	4%	6%	8%	10%	12%
第一次	8.36	14.00	20.85	32.74	40.00	48.16	52.15
第二次	10.74	17.33	23.42	27.04	37.01	43.89	53.76
第三次	8.92	18.54	24.09	33.81	35.65	49.39	53.33
平均	9.34 ± 1.24	16.62 ± 2.35	22.79 ± 1.71	31.20 ± 3.64	37.55 ± 2.23	47.15 ± 2.89	53.08 ± 0.84

重量百分濃度	14%	16%	18%	20%	22%	24%	26%
第一次	68.34	80.15	95.23	110.21	119.60	125.54	138.10
第二次	65.54	78.99	95.23	111.58	121.33	130.41	146.57
第三次	63.63	78.31	88.22	111.28	124.09	135.12	142.13
平均	65.84 ± 2.37	79.15 ± 0.93	92.89 ± 4.04	111.02 ± 0.72	121.67 ± 2.27	130.36 ± 4.79	142.27 ± 4.24



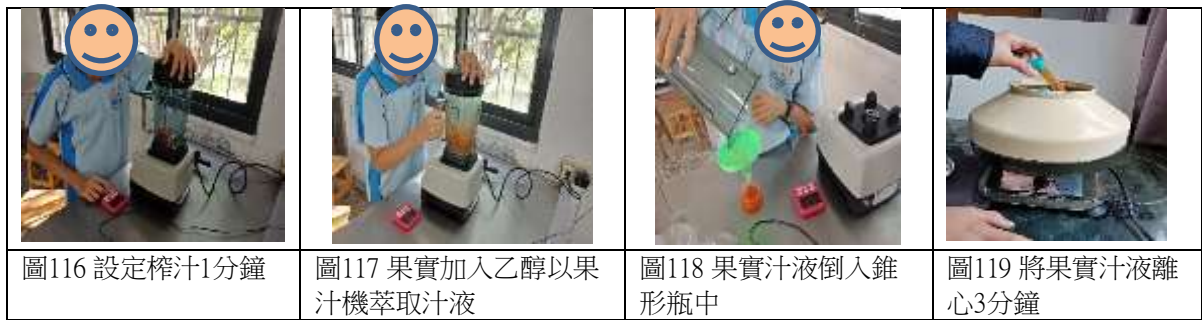
註:本圖由指導老師繪製

隔水加熱由水溫40°C開始加熱，電晶爐的火力調整到第3段，紀錄溫度與混合液顏色的變化，發現溫度到達70°C時，彼此顏色差異較顯著，所以加熱至70°C時將其取出拍照，並以Image J分析不同葡萄糖濃度照片中的R值強度。重複實驗三次作圖，可得葡萄糖濃度與R值強度的關係檢量線， $y=5.2894x-0.1252$ ， $R^2=0.9814$ 。將彩椒果實萃取液進行本氏液的含糖實驗，可依此方程式推算出果實萃取液中含糖的重量百分比濃度。

(乙)彩椒中葡萄糖檢測:

取10 g 的果實加入10ml的乙醇放入果菜榨機中(如圖116)，設定計時器(如圖116)，啟動果菜榨汁1分鐘(如圖117)，將果實液體倒入錐形瓶中(如圖118)，再將果實汁液放入離心管中，以3000rpm的轉速離心3分鐘(如圖119)，再抽取上方澄清液以小飛碟過濾，放入離心管中備用，為果實萃取液(如圖120)。以移液管吸取10 ml果實萃取液(如圖121)，再將果實萃取液加入10 ml 的本氏液，放入燒杯中進行隔水加熱，燒杯溶液到達70°C時進行拍照，然後以Image J分析照片中的R值強度，可由照片中的R值強度依照檢量線推算含葡萄糖的重量百分比濃度。(圖122中最左邊的試管是本氏液、中間是果實汁液和本氏液剛混合的試管、最右方為加熱後的果實汁液和本氏液的試管)

以本氏液進行對照組、雞毛液肥組及市售肥組果實萃取液的含糖測定實驗，結果如圖123，可發現雞毛液肥組的葡萄糖重量百分比濃度為23.8%；對照組含有葡萄糖的重量百分比濃度為19.9%；市售肥組含葡萄糖濃度為15.9%。雞毛液肥組的果實萃取液中含葡萄糖濃度較高，而且對照組的含葡萄糖濃度比市售肥組還高。可發現種植彩椒以自來水灌溉就能得到很好的果實甜度，施用市售肥料不能增加彩椒果實甜度。



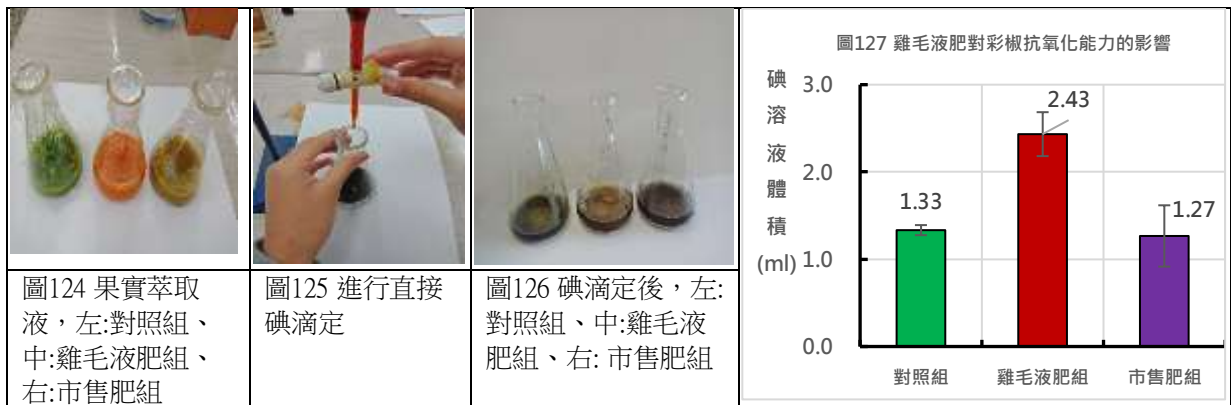
註:本圖片由指導老師拍攝



註:本圖片由指導老師拍攝

丁.果實抗氧化能力分析結果

液管吸取10 ml 的果汁萃取液放入錐形瓶中如圖124，然後滴入硫酸及澱粉液，然後以0.005M的碘液進行滴定(如圖125)，不斷搖晃到產生藍黑色(如圖126)，記錄滴定用去的碘液體積(如圖127)，可發現雞毛液肥組的果實用去的體積為2.43 ml; 對照組的果實用去的體積為1.33 ml;市售肥組的果實用去的體積為1.27 ml。用去的碘液體積愈多，表示抗氧化能力愈佳，所以雞毛液肥組的果實抗氧化力約比對照組多出82.7% 也比市售肥組多出91.3%。



註:本圖片由指導老師拍攝

3.種子的分析

將果實切開(如圖128)並計數種子個數(如圖129)，結果如圖130所示，可發現雞毛液肥組的平均種子個數是96.5顆;市售肥組為79.0顆;而對照組的種子個數是62.4顆，相較之下雞毛液肥組的種子個數比市售肥組高出22.2%;比對照組高出54.6%，表示雞毛液肥確實能增加彩椒果實中種子的數目。



註:本圖片由指導老師拍攝

五、比較雞毛液肥與市售肥對福山萵苣生長之影響

(一)福山萵苣種植結果

先將培養土混合均勻再平分到三個盆子裡(如圖131)，將種於土壤七天後的福山萵苣小苗(如圖132)，長出兩葉小苗後分種於盆栽中(如圖133)。每週一、三、五量取福山萵苣高度(如圖134)，福山萵苣在播種後的前21天高度大小差距不大，在第29天後開始出現明顯差異，在第41天後差異更加明顯，而由第50天的比較表(二)可看出，有雞毛液肥灌溉的福山萵苣明顯較大，表示雞毛液肥能使福山萵苣成長更迅速。表(三)為對照組、雞毛液肥組及市售肥組之間的比較表。量測福山萵苣莖長度時，容易因為不小心折斷葉片，而影響生長。所以進行四次實驗再加以確認生長情形。福山萵苣是在中央處長出新葉片，高度變化較少，所以量測葉片總質量及總面積，比較能夠精準了解其生長情形。



註:本圖片由指導老師拍攝

表(二)第50天福山萵苣生長情形



註:每張圖片 左邊:對照組 中間:雞毛液肥組 右邊:市售肥組

註:本圖片由指導老師拍攝

表(三) 第四批福山萵苣種植第50天的結果比較

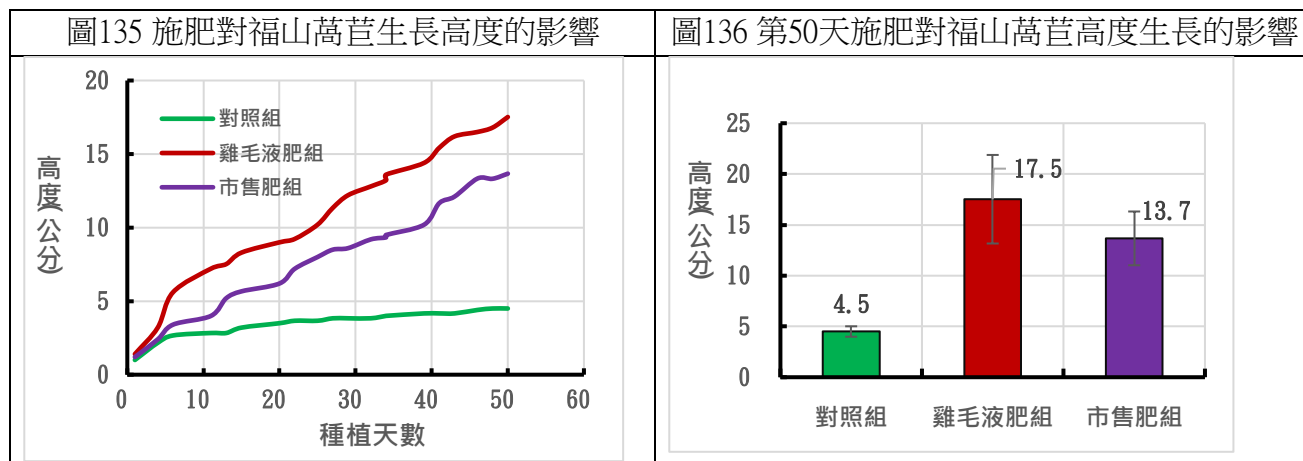


註:本圖片由指導老師拍攝

(二) 福山萵苣高度的量測結果

由圖135可發現，福山萵苣種植50天，由圖可發現福山萵苣在種植前4天，對照組、雞毛液肥組與市售肥組福山萵苣生長情形，並沒有顯著的差別，第6天後漸漸出現差別，第39天對照組生長遲緩，20天時，雞毛液肥組的高度比對照組增加約157.1%，市售肥組的高度比對照組增加約77.1%。可看出澆灌雞毛液肥確實能促進福山萵苣的生長。而對照組生長平緩。

由圖136可發現，種植到第50天後，量取福山萵苣平均高度可發現，雞毛液肥組的高度為17.5 cm，約比對照組高出13.0 cm，約比對照組高出約288.9%；市售肥組的高度為13.7 cm，約比對照組高出9.2 cm，比對照組高出204.4%。雞毛液肥組約比市售肥組高出27.7%，顯示雞毛液肥有助於福山萵苣高度的生長。

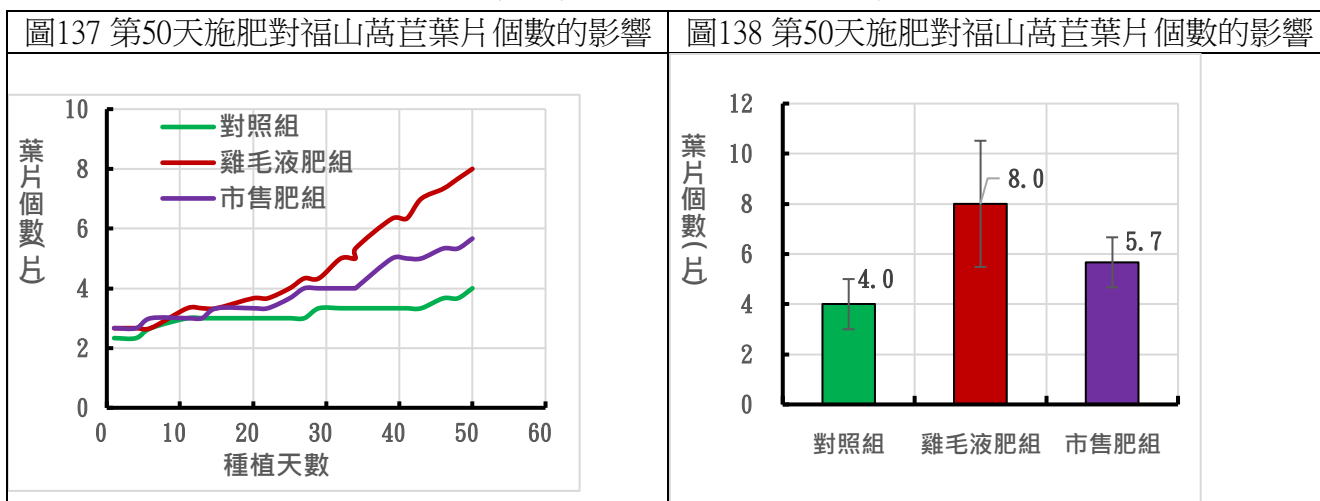


註:本圖片由第二作者繪製

(三) 福山萵苣葉的量測結果

福山萵苣種植50天，由圖137可發現福山萵苣在種植前22天，對照組、雞毛液肥組與市售肥組福山萵苣葉片生長情形，並沒有顯著的差別。第43天後雞毛液肥組的葉片增加更明顯，表示持續澆灌雞毛液肥確實能促進福山萵苣葉片的生長。

種植到第50天，量取福山萵苣平均葉片個數如圖138可發現，雞毛液肥組的平均葉片個數為8.0片，約比對照組高出4.0片，約比對照組高出約100.0%；市售肥組的平均葉片個數為5.7片，約比對照組高出1.7片，約比對照組高出42.5%。可看出澆灌雞毛液肥使其葉片個數增加不少，顯示雞毛液肥有助於福山萵苣高度的生長，其次是市售肥組。

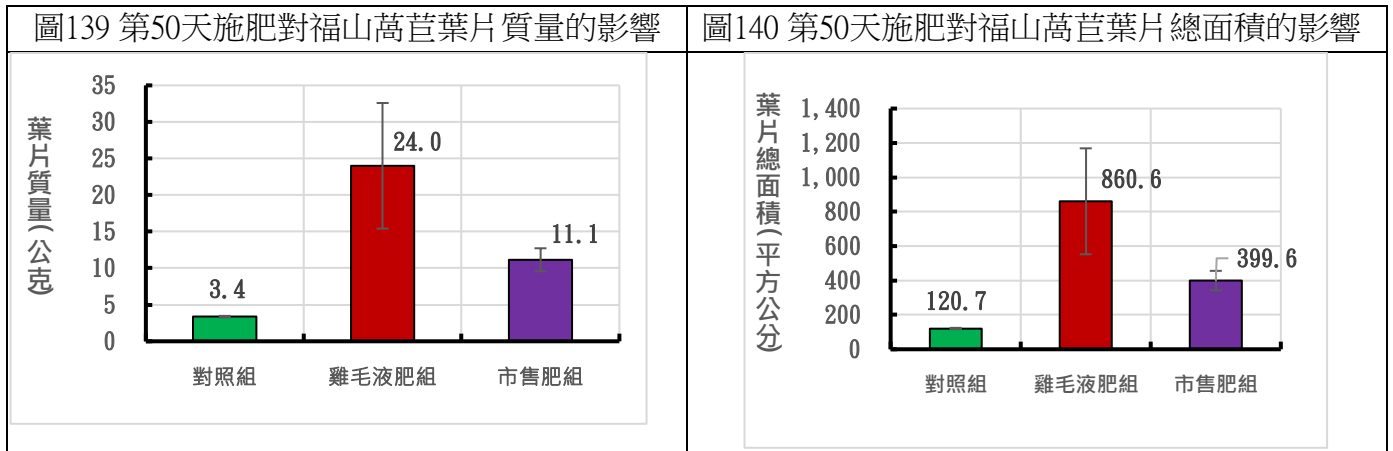


註:本圖片由第二作者繪製

(四)最終日葉片總面積的量測

種植到第50天後將葉片一片一片剝下，稱取其葉片總質量。圖139可發現雞毛液肥組的平均葉片總質量為24.0 g，約比對照組高出20.6 g，約605.9%，市售肥組的平均葉片總質量為11.1g，約比對照組高出7.7g，約226.5%。而且雞毛液肥組約比市售肥組高出約116.2%。可看出澆灌雞毛液肥的福山萵苣，使其葉片總質量增加許多，顯示雞毛液肥有助於福山萵苣葉片的生長。

以紙片描繪出福山萵苣的葉片外觀，再依據另一已知紙片的質量及面積，換算出葉片質量和面積的關係(如圖140所示)，可以發現雞毛液肥明顯增加福山萵苣的葉片總面積。



註:本圖片由第二作者繪製

(五) 福山萵苣根的量測結果

種植 50 天後將福山萵苣連根拔出(如圖141)，進行量測比較(如圖142)，然後在量筒中加入50mL的蒸餾水，將待測植物的根部切下(如圖143)，沒入液面下方，利用排水法量測植物根系總體積。



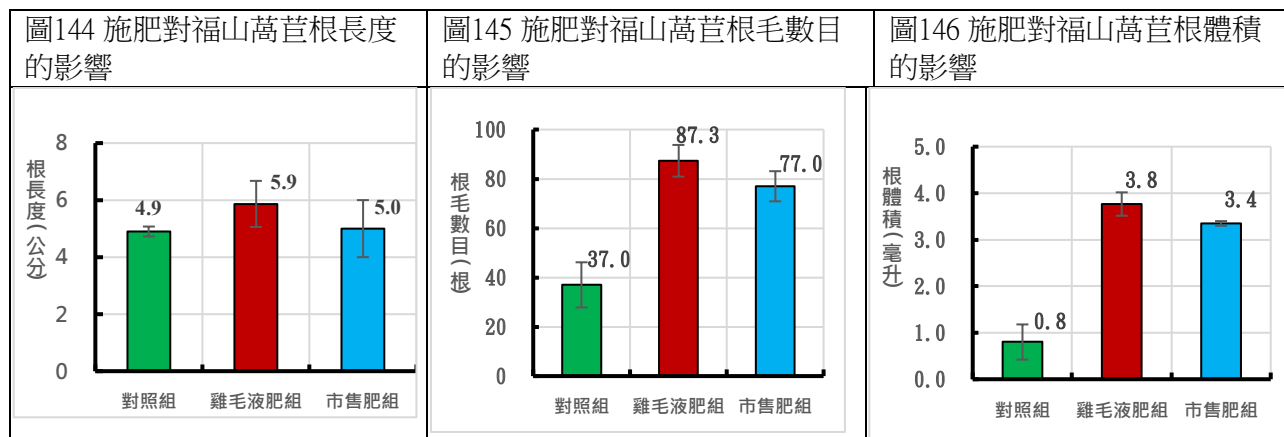
註:本圖片由指導老師拍攝

由圖144中可看出種植到第50天後將植物連根拔起，測量根長度。雞毛液肥組的平均根長度為 5.9 cm，約比對照組高出約 20.4%。市售肥組的平均根長度為 5.0 cm，約比對照組高出約 2.0%。雞毛液肥組約比市售肥組高出約18.0%。由圖可看出，三者的平均根長度相差不大。

由圖145中可看出種植到第50天後將根毛一根一根拔下，算出其數量。雞毛液肥組的平均根毛數量為 87.3根，約比對照高出 50.3根，約比對照組高出136.0%。市售肥組的平均根毛數量為77.0根，約比對照組高出108.1%。雞毛液肥組根毛數約比市售肥組高出

13.4%，可看出澆灌雞毛液肥的福山萵苣確實比市售肥組佳。顯示雞毛液肥有助於福山萵苣葉片的生長。

由圖146可看出，福山萵苣對照組的根體積明顯較雞毛液肥組與市售肥組小，也可以從數據中發現，雞毛液肥組的平均根體積為3.8ml，高出對照組平均根體積為0.8 ml，約多375.0%；市售肥組的平均體積為3.4 ml，高出對照組平均體積為2.6ml，約高出325.0%。雞毛液肥組根體積約比市售肥組高出11.8%。可看出澆灌雞毛液肥使根體積增加許多，表示雞毛液肥確實有利於根體積的生長。



註:本圖片由第二作者繪製

伍、研究討論

一、啤酒酵母與麵包酵母分解雞毛效率的的討論

啤酒酵母分解8週約比4週多分解出17.6%的雞毛；啤酒酵母分解8週的時間約比麵包酵母多分解4.6%的雞毛，可發現啤酒酵母分解雞毛效果較佳。在顯微鏡下方可觀察到啤酒酵母個體的較麵包酵母大，而且查詢相關文獻發現啤酒酵母會分泌蛋白質分解酶，所以可能分解雞毛效果較佳。而雞羽毛中含有大量的角蛋白(keratin)，由 α -helix (α -keratin)與 β -sheet (β -keratin)共同組成的超螺旋多肽鏈(super coiled polypeptide chain)²，其中大量的雙硫鍵相互鍵結，形成緊密且極為不易分解的結構，所以啤酒酵母分解雞毛所需時間較長。希望以後再尋找更好的菌種來分解雞毛。

二、不同環境中啤酒酵母分解雞毛的效率討論

啤酒酵母在有葡萄糖的條件下，產生的大多是弱酸性的離子，pH值為5.35，可能是啤酒酵母在有氧及有葡萄糖的情形下，進行出芽生殖，將葡萄糖分解產生二氧化碳，二氧化碳溶於水形成碳酸，所以降低溶液的pH值。以量測濾紙前後質量變化，比較環境因素對啤酒酵母分解雞毛4週時間的影響，結果比較如表(四)所示，可以發現有葡萄糖較無葡萄糖，約可多分解63.4 %的雞毛；有空氣的情況下分解雞毛，比無空氣約可多分解44.6%的雞毛；有光線組較無光線組約可多分解36.9%的雞毛，可發現啤酒酵母分解雞毛時，這些外在環境因子對啤酒酵母分解雞毛的影響程度:葡萄糖>空氣>光線。可能因為葡萄糖有助於啤酒酵母進行發酵反應，而空氣中的氧氣可能有助於啤酒酵母進行分解反應，光線的影響則較小。實驗中以量測濾紙前後殘留雞毛質量變化來定量啤酒酵母分解

的效益，是一個非常簡易的方式，但容易因濾紙未確實烘乾而造成誤差，所以要對質量的準確度要確實掌控，減少誤差。

表(四) 啤酒酵母在不同環境條件下分解雞毛效果的比較

因素	糖的影響			空氣的影響			光線的影響		
	有糖	無糖	差異百分比	有空氣	無空氣	差異百分比	有光線	無光線	差異百分比
濾紙殘留質量(g)	0.41	1.12	63.4 %	0.41	0.74	44.6%	0.41	0.65	36.9%

註:差異百分比計算公式: $\frac{(\text{有光線}-\text{無光線})}{\text{無光線}} \times 100\%$ 、 $\frac{(\text{有空氣}-\text{無空氣})}{\text{無空氣}} \times 100\%$ 、 $\frac{(\text{有糖}-\text{無糖})}{\text{無糖}} \times 100\%$

三、雞毛液肥對彩椒生長影響的討論

種植彩椒最初的32天，對照組、市售肥組的彩椒生長情形與雞毛液肥組，並沒有顯著的差別，第50天後漸漸出現差別，葉子數目較多的會先長出花苞，第39天雞毛組有明顯的開花現象。第60天時，雞毛液肥組彩椒的高度超越其他兩組許多，第120天時對照組的葉片明顯變黃，不再翠綠，而且沒有花朵，生長停滯。市售肥組彩椒則因為施用有機肥，可能因為施肥過量有些葉片長得不健康，所以種植蔬菜時，施肥要衡量濃度及間隔時間，避免根部壞死，影響生長。彩椒生長初期，主要的養分來源是水及原本土壤中的養分，生長到第50天後，所需養分漸增，而且土壤中的礦物質養分明顯不足，此時如果有額外獲取雞毛液肥，則可促進彩椒持續生長發育。

第二批實驗種植時間正值冬季，氣溫較低，所以生長較緩慢，此時有灌溉雞毛液肥的實驗組比對照組，因為除了土壤中的礦物質外，還額外獲取雞毛液肥中含氮的養分，所以生長明顯比對照組更好。生長時受到強烈東北季風吹拂，如果養分供應不足，易造成莖頂開花部分被吹落，沒有花朵則影響果實的數量。

種植第71天時，對照組的平均花苞為4.8個，雞毛液肥組為8個，市售肥組為7個；對照組的花為0朵，雞毛液肥組正盛開的花朵為1.0朵，市售肥組為0.5朵；對照組的果實為8.0個，雞毛液肥組的果實為14.5個，市售肥組為9個。可發現實驗組的花苞及果實皆比對照組和市售肥組多出許多，但是花朵個數差異不大，推測是因為，花已凋謝，長成果實的緣故。種植第83天後，雞毛液肥組的平均葉片為47.3片，對照組平均葉片為29.5片，市售肥組平均葉片為31.6片，約高出對照組60.3%，約高出市售肥組50.0%。雞毛液肥提供彩椒含氮的養分，氮肥確實有助彩椒葉片生長，當葉片生長旺盛到約20片時，則會長出花苞及開花，之後才能結成果實。所以彩椒生長最重要的還是葉片先進行光合作用，才能供應後面開花結果時所需的養分，所以促進葉片生長的氮肥是最為重要的。另外發現:彩椒最下方開花的花朵，最快形成果實，可能因為距離根部較近，容易吸收根部養分，而且離根愈近的彩椒果實都較大。彩椒甜度實驗方面，雞毛液肥的葡萄糖重量百分比為23.8%，市售肥組的葡萄糖重量百分比為15.9%，而對照組的葡萄糖重量百分比為19.9%，表示以自來水澆灌彩椒就能產生極高甜度的彩椒，而施用市售肥料對甜度幫助不大。以雞毛液肥灌溉彩椒其抗氧化物質較多，可能因為葉子較多，生長旺盛，行光合作用合成的能量轉變成果實中的抗氧化成分。

四、雞毛液肥對福山萵苣生長影響的討論

種植福山萵苣最初的四天，對照組、雞毛液肥組和市售肥組的高度生長情形，並沒有顯著的差異。第六天後漸漸出現差別，雞毛液肥組開始快速成長，市售肥組則是穩定的長高，對照組卻已進入生長遲緩的階段，含有雞毛液肥的福山萵苣，因含有足夠多的養分，所以使對照組和雞毛液肥組的差距就越來越大。

種植50天後，雞毛液肥組的平均高度為17.5 cm，約比市售肥組高出約 27.7 %;雞毛液肥組的平均葉片個數為8.0片，約比對照組多出4.0片；市售肥組的平均葉片個數為5.7片，約比對照組高出1.7片，由此可發現，雞毛液肥中養分確實提供福山萵苣葉片生長。雞毛液肥對福山萵苣葉片生長的影響高於對彩椒的影響，可能是因為雞毛液肥提供較多含氮的養分，有利於葉菜類植物生長。

五、雞毛液肥與市售肥的比較討論

以啤酒酵母分解的雞毛液肥，pH偏弱酸性，而市售肥則偏弱鹼性。導電度則以雞毛液肥為2.22 mS 較市售肥為高，而且雞毛液肥呈現液體較易被植物根部吸收，但也較易流失。而市售肥因含有較多植物粕渣，不易溶解，植物吸收較慢，通常是種植前混合在土壤中。在肥料的組成物質中，雞毛液肥含氮及磷的養分較多，適合葉菜類植物種植;而市售肥含有63%的有機質，為多種植物渣粕製成，養分的釋放較溫和且長效，並可改善土壤物理性質，使土壤較蓬鬆，排水性、通氣性佳，有助於根系發展。所以對於不同的蔬菜應當使用不同的肥料，才能發揮最大的效果。

表(五) 雞毛液肥與市售肥的比較

比較項目	自製雞毛液肥	市售肥(農大滿有機肥)
成分	角蛋白含量豐富，氮含量一般為12~15%。全羽毛的胺基酸中14.1%是絲胺酸、13.7% 甘胺酸、9.8%脯胺酸…等。(本資料參考網站: 農業知識入口網)	植物性粕渣、禽畜糞為主原料。菇類太空包、木屑為副原料。有機質佔63%、全氮(N):3% 全磷酐(P ₂ O ₅):2%、氧化鉀(K ₂ O):1%、碳氮比:13(以上資料來源: 農大滿有機肥包裝袋上的說明)
pH值	5.25	8.0
導電度(mS)	2.22	1.32
特性	液體易被土壤吸收，其分解釋放的寡肽或胺基酸具有生物刺激素的功能，例如色胺酸為吲乙酸的驅物，可促進作物根系生長、提高氮同化作用效率、增進微量元素吸收；施用富含脯胺酸的蛋白質水解物，可促進作物生成細胞分裂素，可見羽毛分解後的胺基酸可做為製肥原料之一。(本資料參考網站: 農業知識入口網)	優點是肥效緩和，同時更具有改良土壤、增加土壤透氣性以及排水性等作用；有機肥料較適合在栽種植物前，預先添加在培養土中作為基肥。實驗中發現其固體且不容易溶解，較不易被吸收。

陸、結論

一、自製紫外線滅菌箱確實能達到殺菌的效果

以噴水麵包發霉實驗中，可發現自製紫外線滅菌箱，確實達到滅菌的效果。減少雜菌在啤酒酵母分解雞毛實驗中的干擾。

二、啤酒酵母分解雞毛的效果優於麵包酵母

啤酒酵母分解雞毛4週的時間比麵包酵母多分解出 8.3 % ;啤酒酵母分解8週的時間約比麵包酵母多分解14.1 %的雞毛，可發現啤酒酵母比麵包酵母分解雞毛效果佳。

三、分析出啤酒酵母分解雞毛的環境條件

啤酒酵母在有葡萄糖較無葡萄糖約可增加 63.4 %的雞毛分解量;有空氣的情況下，較無空氣多出約 44.6% ;有光線較無光線多出 36.9%，可發現啤酒酵母分解雞毛的影響程度:葡萄糖>空氣>光線。所以啤酒酵母分解雞毛要在有葡萄糖、空氣、光線的環境中，較容易提高分解量。而且分解時間愈長，分解效果愈佳。

四、不同肥料對彩椒生長的影響

以自製雞毛液肥灌溉彩椒，在種植120天後，彩椒莖長度為 48.1cm，比對照組多出 24.3%，比市售肥組多出 53.7% ;雞毛液肥灌溉彩椒平均葉片數目為 52.8片，比對照組多出 52.2%，比市售肥組多出 30.4%。彩椒生長到第70天，花、花苞及果實的總數目達到最大值，雞毛液肥灌溉的彩椒，其花、花苞及果實的總數目約為15.6 個，比對照組多出 59.2%，比市售肥組多出 67.7% ;彩椒果實總質量為 77.9g，比對照組多出 21.5%，比市售肥組多出84.6% ;可得知雞毛液肥確實有助於彩椒生長。本氏液測糖實驗結果發現雞毛液肥中葡萄糖的重量百分比濃度為 23.8%，約比對照組多出 19.6%，比市售肥組多出 49.7%。可發現雞毛液肥可增加彩椒果實甜度。碘滴定的抗氧化能力實驗中，雞毛液肥組的果實抗氧化力約比對照組多出 82.7% 比市售肥組多出 91.3 %。表示啤酒酵母分解的雞毛液肥，確實可提高彩椒的果實甜度及抗氧化能力。

五、不同肥料對福山萵苣生長的影響

種植第50天後，量取福山萵苣平均高度可發現，雞毛液肥組的平均高度為17.5 cm，約比對照組高出 288.9%。比市售肥組高出 27.7%，福山萵苣雞毛組的平均葉片個數為 8.0片，約比對照組高出約 100.0% ;比市售肥組高出 40.4%。雞毛液肥組的平均葉片總質量為個數為 24.0 g，比對照組高出約605.9%，比市售肥組高出約 116.2%。可看出澆灌雞毛液肥的福山萵苣葉片總質量增加許多。

總結來說，啤酒酵母分解後的雞毛液肥確實可取代市售肥料，有助於彩椒及福山萵苣的生長。使得畜產類廢棄物的雞毛，分解再利用，促進環境的永續發展。

柒、貢獻及新穎性

一、有機蔬果種植促進生態平衡

利用簡單且無毒的真菌類菌種(啤酒酵母)，進行廢棄雞羽毛分解成小分子，使其成為蔬果肥料，以達到推廣無化學肥料和無農藥的種植方式，保護土壤和水源，促進生態平衡。

二、深入探討啤酒酵母分解雞毛的環境

深入了解微生物分解雞毛的環境條件，需要糖、空氣及光線環境的配合，使啤酒酵母出芽生殖速度加快，增加分解效果較好。

三、提供民眾陽台種植彩椒及福山萵苣的方法

實驗結果發現彩椒種植時，需要陽光及自來水灌溉即可有豐碩的成果，不須大量施肥及大面積土地，適合居家陽台空間種植。而種植葉菜類的福山萵苣則需要大量的氮肥，才能提供足夠葉的養分，如果只是澆水，則不能幫助生長。

四、簡易實驗代替貴重儀器

- (一)自製紫外線滅菌箱代替貴重的滅菌裝置
 - (二)以殘留在濾紙上的質量來評估雞毛分解效果
 - (三)以本氏液來進行甜度量測。
- 不使用貴重儀器，也能達到實驗定量的效果。

捌、未來與展望

一、尋找更適合的菌種分解雞羽毛

目前所選用的啤酒酵母分解效果時間仍較長，而且分解效果較緩慢，所以想再蒐集相關文獻，尋找其他菌種來進行雞毛的分解實驗。期望可以縮短分解時間，達到分解的效果。

二、深入探討啤酒酵母分解雞毛影響因素

建議除了葡萄糖、光線、空氣及時間的環境因素外，未來想加入顆粒大小(粉末)，溫度及攪拌等因素，來更深入探討環境因素對雞毛分解的影響。

三、改善本氏液測糖實驗的量測方法

希望未來能利用吸光度的原理:一束單色光照射於一吸收介質表面，在通過一定厚度的介質後，由於介質吸收了一部分光能，透射光的強度就要減弱。吸收介質的濃度愈大、介質的厚度愈大，則光強度的減弱愈顯著。加以分析顏色的變化，期望能更準確地辨別顏色變化。

四、實際參觀彩椒及福山萵苣的農場

利用農場參觀的方式，更進一步了解農民實際種植的現況，獲取相關經驗及研究彩椒種植改良技術，以科技種植幫助更多農民，增加彩椒產量。

玖、參考文獻

1. 蔡文田。農業廢棄物的循環再利用。屏東科技大學農學院生物資源系
[http:// agriculture.npust.edu.tw/2022/11/agr_waste](http://agriculture.npust.edu.tw/2022/11/agr_waste)
2. Parry, D. A. D. and North, A. C. T. 1998. Hard alpha-keratin intermediate filament chains: Substructure of the N- and C-terminal domains and the predicted structure and function of the C-terminal domains of Type I and Type II chains. *J. Struct. Biol.* 122: 67-75.
3. 賴俐璇。探討不同的葡萄糖液濃度和酵母菌對發酵產率的影響。高瞻一班專題研究報告。出處 http://www.mingdao.edu.tw/mdhsp/biology/pdf/b_p9608.pdf。
4. 郭重吉等(民109)。國中自然與生活科技課本第四冊。台南市。南一。
5. 楊水平等。微量化學實驗：常見食物營養成分的微量檢驗 - 本氏試驗 (Benedict's test) p.1。台灣化學教育學生實驗手冊。
6. [碘量法 - 維基百科，自由的百科全書 \(wikipedia.org\)](https://zh.wikipedia.org)
7. 請問學習如何種植甜椒 - 農業知識入口網 (coa.gov.tw)

【評語】 032907

本作品關注雞羽毛的分解，比較了兩種酵母分解雞羽的能力，最後選擇啤酒酵母進行後續實驗，並且分析光線、空氣、葡萄糖濃度、時間對於酵母菌分析雞羽的影響，最後將養液用於植物的栽培，並比較和化肥之間的生長促進效果，以及對果實品質的影響。此研究展示了廢棄雞毛作為有機肥料的潛力，也提供了一種減少環境負擔和促進農業可持續發展的新途徑。未來研究可以探索更多不同類型廢棄物的再利用方法，以全面提升廢棄物資源化的效益。

1. 紫外線滅菌箱應有互鎖機制的設計，當掀開時，應關閉紫外燈管，以免紫外光外洩對人體造成傷害。
2. 在隔絕空氣的設計上，為何設計以保鮮膜包住，而不使用橡皮塞直接塞住錐形瓶？雖然理想上要維持相同的光照，但保鮮膜仍然會有散設、反射、吸收等，改變光照。實驗上或許以瓶塞密閉後，由側面照光，應可避免光照的差異。
3. 催芽時浸泡高錳酸鉀的作用為何？
4. 對照組的實驗上，建議應製備「沒有加入雞毛但其他條件相同」的液肥。畢竟該液體中有加入葡萄糖，本身也能做為植物成長的養分。此外，酵母於土壤中或許也能提供養分。實驗結果雖發現

雞毛液肥種植的葡萄糖含量較高，但也有可能是來自葡萄糖溶液的幫助，雞毛的作用不易顯現。

5. 對照使用的市售肥使用體積為何？同樣是每週 200 mL？
6. 實驗上發現有光線的條件下有利於酵母分解雞毛，建議可以探討其原因。
7. 作品說明書第 13 頁圖 55 中，分解「效率」如何定義？是否直接以「分解量」即可？
8. 對於「葉片個數」、「根毛數量」、「種子個數」圖表，應標記為「平均」個數與數量，若不是平均的數值，數據應為整數。建議以箱型圖報導最大、最小、平均、中位數、上下四分位數、分佈圖等，能更有意義的比較結果。
9. 實驗結果的可靠性和普遍性可能受到樣本數量和實驗次數的限制，需要更多的實驗數據來支持結論。部分實驗變因控制可能不夠嚴格，如光線和空氣的影響，是否考慮了環境變化對實驗結果的潛在影響。
10. 作品說明書第 26 頁提到「土壤中的礦物質養分明顯不足，此時如果有額外獲取雞毛液肥…」，應討論雞毛液肥中含有的礦物質，以支持此論述。

作品簡報

廢羽翻轉變綠金



雞毛化身為蔬果的養分



摘要

羽毛廢棄物是畜產類廢棄物中排名第二大宗，為了提高廢棄羽毛的實用價值與效益，我們利用酵母菌進行雞毛分解，發現啤酒酵母分解效果優於麵包酵母，且在含有葡萄糖、空氣及光線的環境，分解效果較佳。啤酒酵母分解後的雞毛液肥，灌溉高經濟價值的彩椒及福山萵苣，彩椒果實總質量比市售肥組高出84.6%，果實中含有葡萄糖濃度為23.8%，比市售肥組多出49.7%。碘量法的抗氧化能力試驗中，發現雞毛液肥灌溉的彩椒抗氧化力比市售肥組多出91.3%。另外，雞毛液肥灌溉的福山萵苣的葉片總質量比市售肥組多出116.2%。可以發現，啤酒酵母分解的雞毛液肥，確實可取代市售肥料當作彩椒及福山萵苣的養分。希望藉此研究能將廢棄雞毛再利用，減少環境負擔，讓農業永續發展。

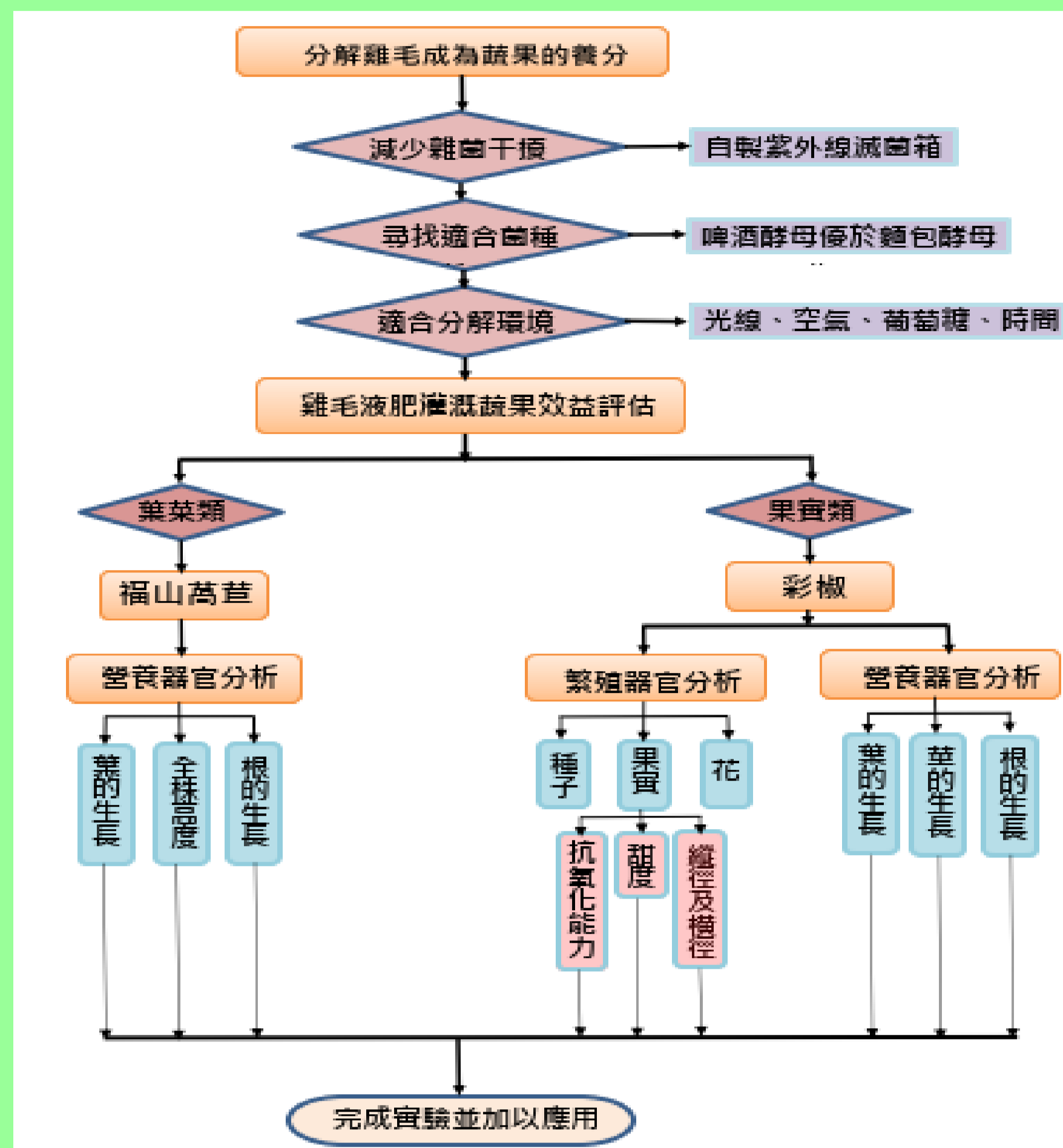
研究動機

臺灣每年所產生的農業廢棄物約為500萬公噸左右，其中又以畜產類最為第二大宗。然而大量的廢棄物若處理不當，將導致環境汙染甚至危害人體健康。羽毛是家禽電宰後產生的大宗廢棄物，臺灣每年因屠宰雞、鴨產生約3萬~5萬公噸的羽毛。而羽毛的成分有九成是蛋白質，富含農作物所必需的氮、磷等營養，但這些蛋白質中又有高達九成是擁有大量雙硫鍵、強韌度高的角蛋白(Keratin)，所以著手尋找適合的微生物加以分解成小分子，以利成為蔬菜的養分。

研究目的

- (一)自製具有殺菌功能的紫外線滅菌箱。
- (二)比較啤酒酵母與麵包酵母分解雞毛的效果。
- (三)探討在何種環境中啤酒酵母分解雞毛的效率較佳?
- (四)雞毛液肥及市售肥料對彩椒生長的影响。
- (五)不同肥料灌溉的彩椒果實抗氧化能力及甜度的差異。
- (六)雞毛液肥及市售肥料對福山萵苣生長的影响。

研究流程圖



研究過程及方法

研究(一) 自製紫外線滅菌箱以利器材殺菌

- (一)取一個透明的整理箱，內部貼上錫箔紙，前方的錫箔紙採用可掀開式，以觀察內部反應情況，並在內部裝置下方及上方裝設兩支8W的紫外線燈管，中間放入鐵網平台，以放置雞毛及其他器材殺菌，避免雜菌干擾實驗結果。
- (二)將麵包噴水放入紫外線滅菌箱中進行殺菌效果評估;及雜鏈袋是否會阻擋紫外光，影響殺菌效果。

研究(二) 雞毛液體理化性質的分析

- (一)啤酒酵母與麵包酵母分解雞毛的效果:以過濾方式測定殘餘雞毛質量來評估分解啤酒酵母分解雞毛的效果，如果濾紙殘留雞毛量較少，則表示酵母分解雞毛效果較佳。
- (二)啤酒酵母與麵包酵母分解雞毛後的液體pH值量測及電導度量測。



註:本圖片由指導老師拍攝

研究(三) 探討啤酒酵母分解雞毛的環境

- (一)光線對啤酒酵母分解雞毛的影響:取長度為1.0 cm、0.5 g的雞毛、0.5g的啤酒酵母及1.0g的葡萄糖放入錐形瓶中，置於暗箱中為實驗組，時間持續8週，以室內有光為對照組。
- (二)空氣對啤酒酵母分解雞毛的影響:分別取長度為1.0 cm的雞毛共0.5 g、0.5g的啤酒酵母及1.0g的葡萄糖放入錐形瓶中，以保鮮膜包住錐形瓶，避免空氣進入，時間持續8週，另外以打開瓶口為對照組。比較空氣有無對啤酒酵母分解雞毛的影響。
- (三)葡萄糖對啤酒酵母分解雞毛的影響:分別取長度為1.0 cm、0.5 g的雞毛、0.5g的啤酒酵母及1.0g的葡萄糖放入錐形瓶中，時間持續8週，另一組不放入葡萄糖為對照組。比較有葡萄糖及無葡萄糖對啤酒酵母分解雞毛的影響。
- (四)時間對啤酒酵母分解雞毛的影響:分別取長度為1.0 cm、0.5 g的雞毛、0.5g的啤酒酵母及1.0g的葡萄糖放入錐形瓶中，分解1週、2週、3週、4週、8週及24週，比較分解時間對啤酒酵母分解雞毛的影響。

研究(四) 比較雞毛液肥與市售肥對彩椒生長之影響

- (一)種植彩椒種子:從全聯福利中心買到的紅色彩椒，取出種子，消毒育苗後。取2片真葉的彩椒每盆種植二株幼苗，每組三盆。前20天時，每日早晚以自來水灌溉，並量測莖長度及葉片個數。從第21天起，每日早晚分別改以蒸餾水(對照組)、雞毛液肥及市售肥灌溉，重複實驗三次。
- (二)比較雞毛肥及市售肥對彩椒生長的影响
 - 1.彩椒營養器官特性分析:根、莖、葉生長情形的比較。
 - 2.彩椒的生殖器官特性分析:花、果實、種子比較。並分析果實甜度及抗氧化能力。



註:本圖片由指導老師拍攝



註:本圖片由指導老師繪製



註:本圖片由指導老師拍攝



註:本圖片由指導老師拍攝

研究(五) 比較雞毛液肥與市售肥對福山萵苣生長之影響

- (一)種植福山萵苣種子:福山萵苣種子進行消毒殺菌，浸泡4~5小時，用紗布包好，放在25°C~28°C下催芽，2~3天後種子即可播種。取2片真葉的福山萵苣幼苗，每盆種植三株幼苗，苗與苗間隔8 cm，共27株福山萵苣。每日早晚分別改以蒸餾水(對照組)、雞毛液肥及市售肥灌溉，重複實驗四次。觀察福山萵苣生長情形。
- (二)福山萵苣生長情形紀錄:高度及葉片數目量測、根部總體積量測、最終日葉片總面積及總質量的量測



註:本圖片由指導老師拍攝



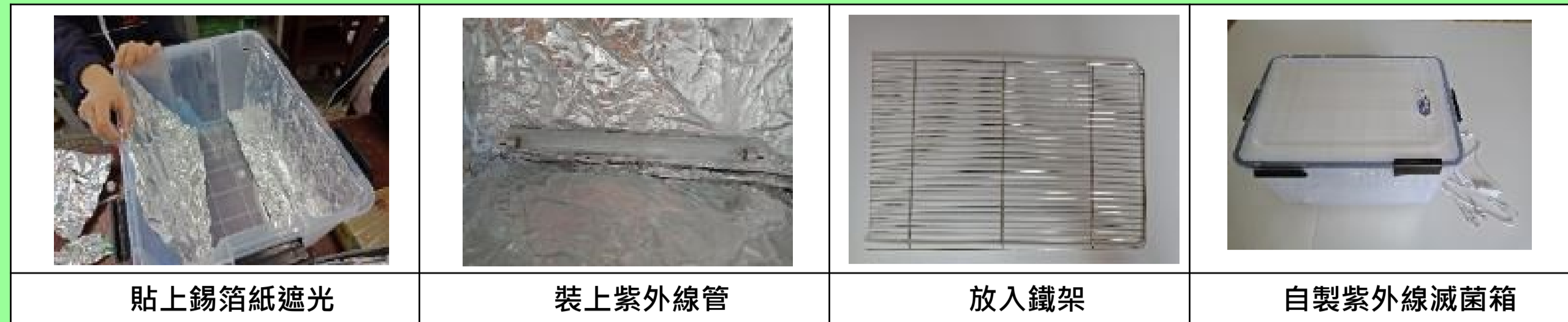
註:本圖片由指導老師拍攝

研究結果與討論

研究(一) 自製具有殺菌功能的紫外線滅菌箱

(一)自製的紫外線的滅菌箱

整理箱貼上錫箔紙，透明空箱的上下方裝上8W紫外線管，提供足夠紫外光源以達到最佳殺菌效果，外層黏貼錫箔紙遮光，可增加反射機會，增加紫外光內部殺菌效能。



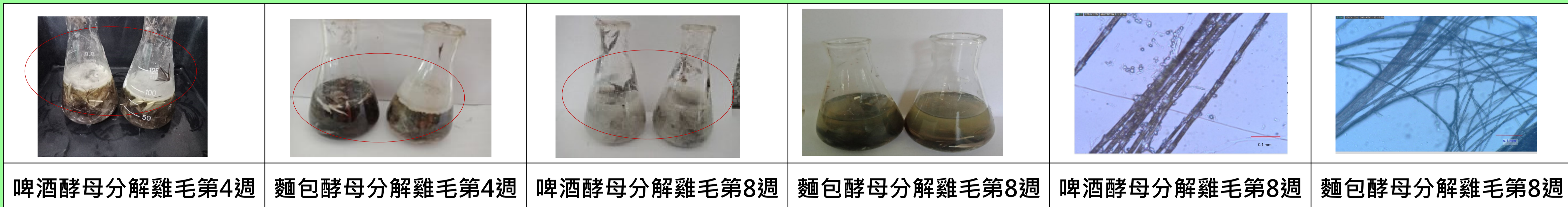
(二)滅菌試驗

噴水後的麵包經紫外光殺菌，幾乎沒有黴菌生長;表示夾鏈袋並不會阻擋紫外線殺菌，而且自製紫外線殺菌箱，確實具有殺菌效果。所以可將雞毛放入夾鏈袋中以達到殺菌的效果

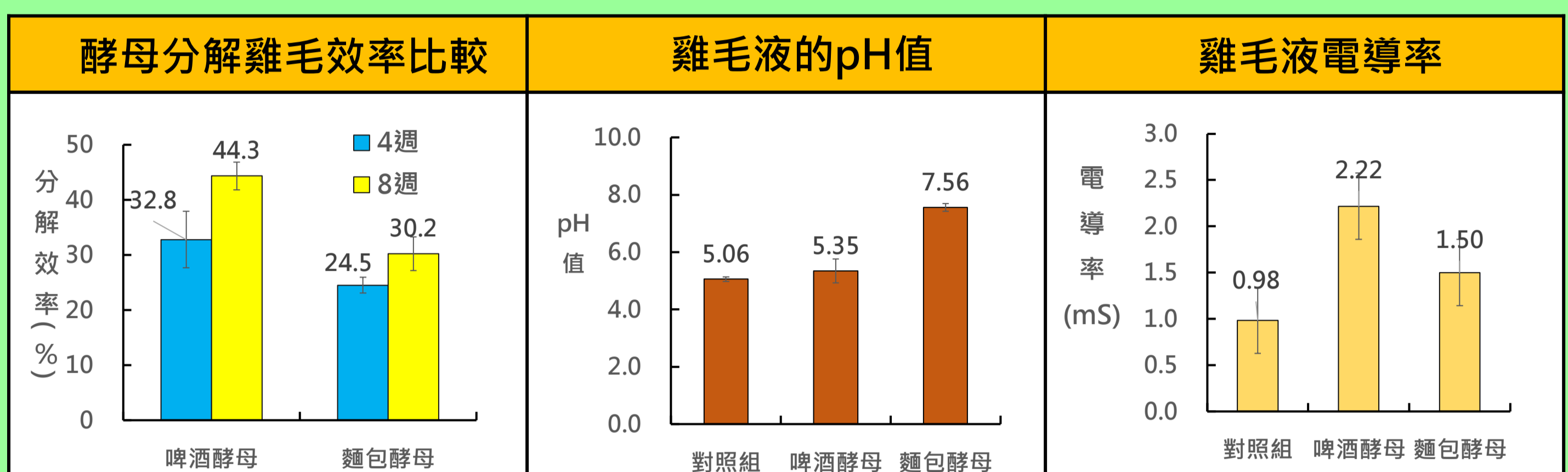


研究(二)比較啤酒酵母與麵包酵母分解雞毛後理化性質分析的結果

啤酒酵母分解至第四周時實驗組中的表層出現一層明顯的白色物質(可能是雞毛被分解後的物質)及氣泡(可能是二氧化碳)



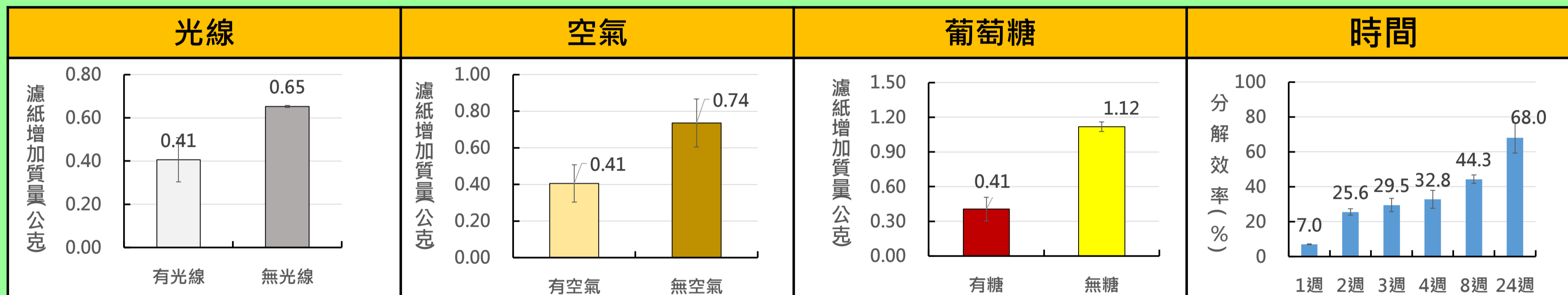
由右圖可看出啤酒酵母分解時間愈長濾紙增加的質量愈少，殘留在濾紙上的物質愈少，表示啤酒酵母分解效果愈佳。對照組及啤酒酵母組的雞毛過濾液，皆偏弱酸性pH=5.06及pH=5.35，而麵包酵母組過濾液則偏弱鹼性(pH7.56)。由右圖中可發現啤酒酵母分解雞毛後的液體導電度值偏高(導電度2.22mS)，表示分解後釋放的導電離子數目較多。



註:本圖片由第二作者繪製

研究(三)探討啤酒酵母分解雞毛的環境

實驗結果顯示:有光線、空氣、葡萄糖的條件下及隨著分解的時間增加，都有利於啤酒酵母分解雞毛效率。

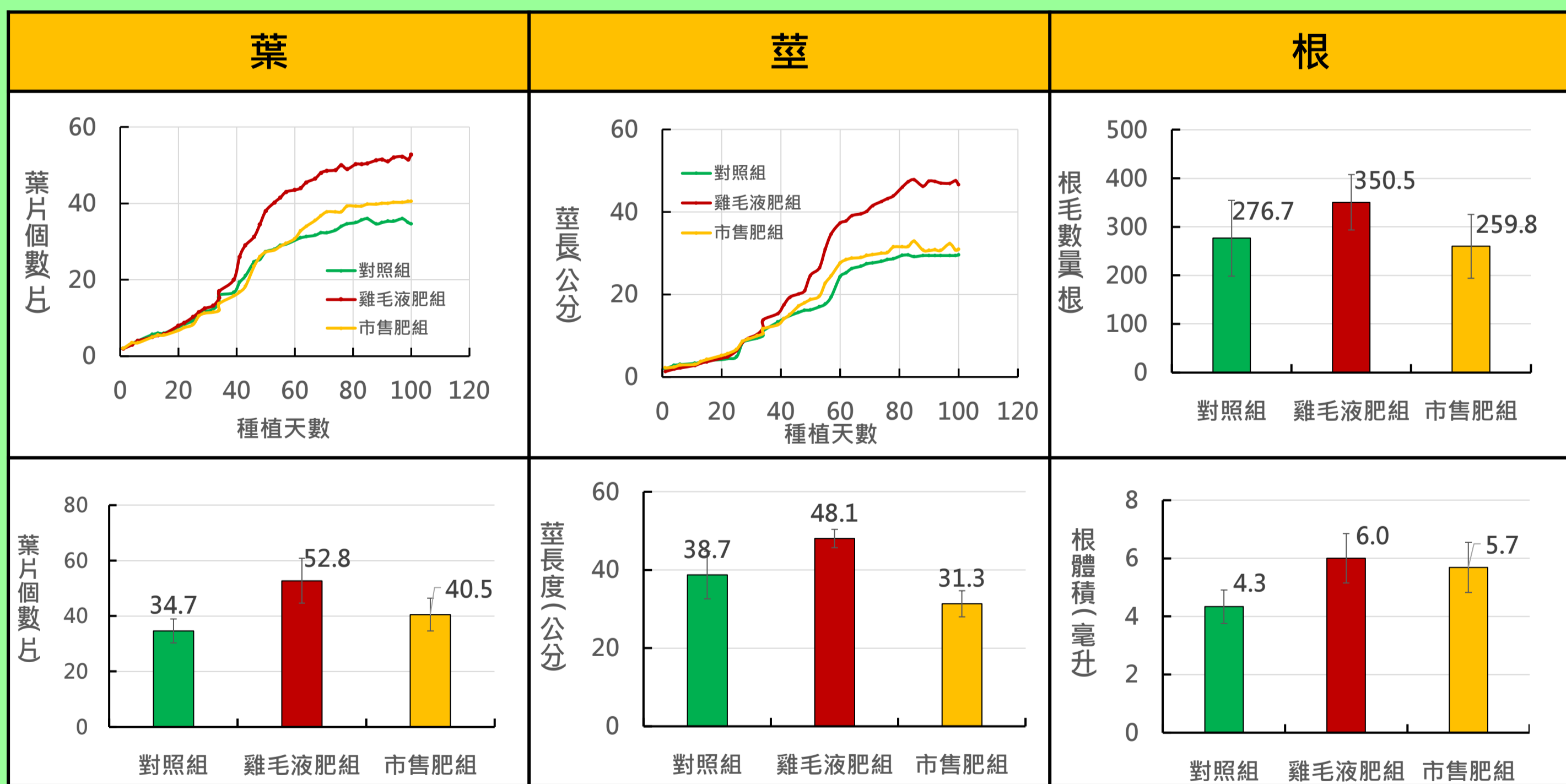


註:本圖片由第二作者繪製

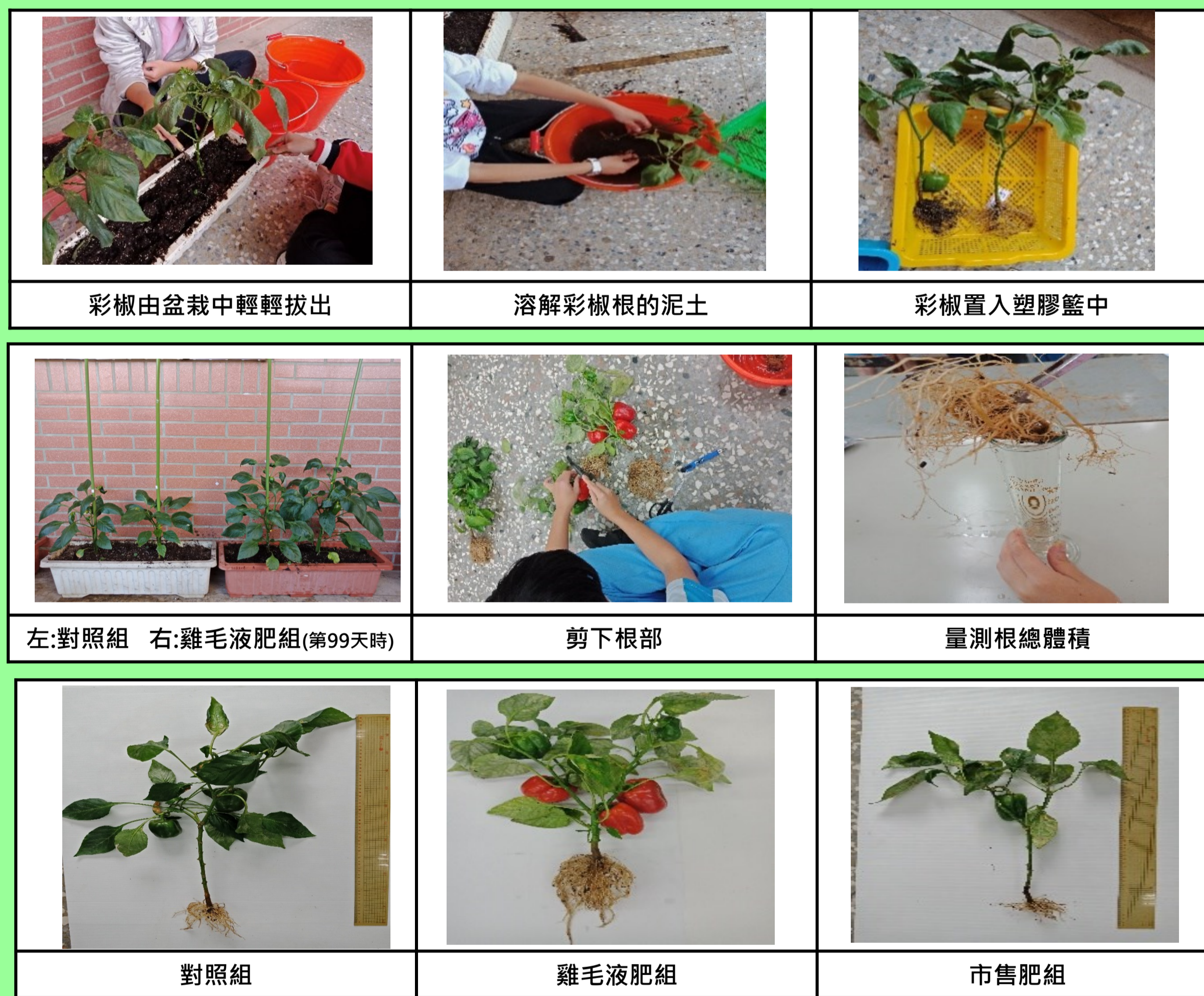
研究(四)比較雞毛液肥與市售肥對彩椒生長影響的結果

(一)彩椒營養器官特性

雞毛液肥組的營養器官生長情形優於市售肥組及對照組，且三組的葉片數量皆在第55天到70天時，成長幅度最為明顯。第1天到第35天時，平均莖長度相差不多；而在種植第40天後，雞毛液肥組逐漸拉開差距，最後比市售肥組高出53.7%。有施肥者的根體積普遍較高，可發現雞毛液肥有助於根毛的生長。



註:本圖片由第二作者繪製

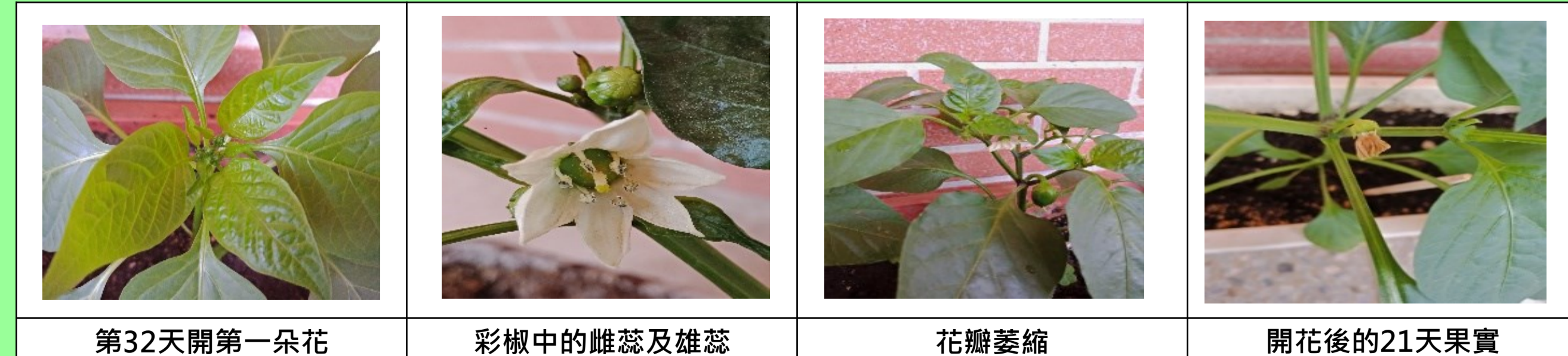
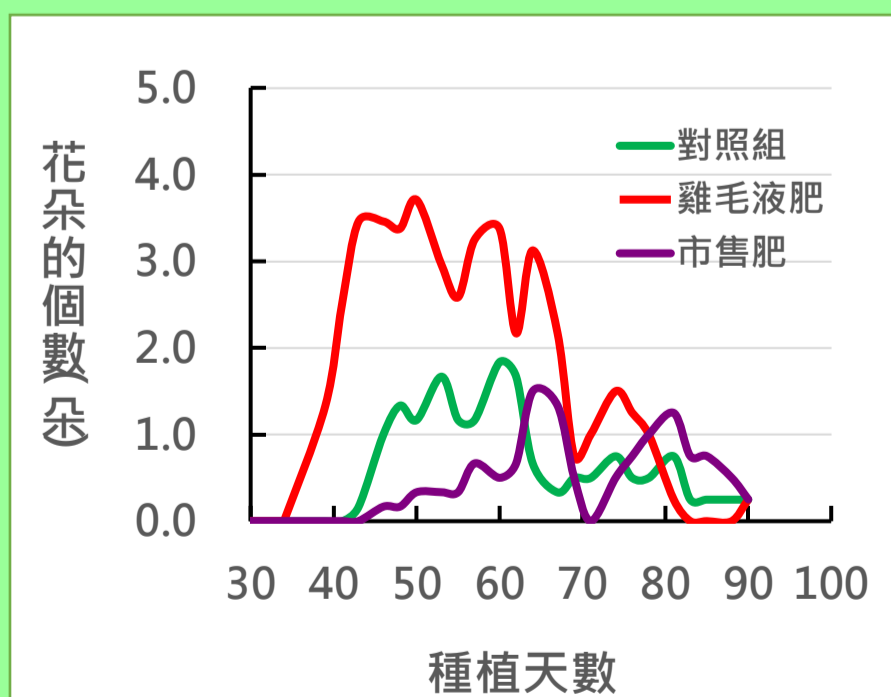


註:本圖片由指導老師拍攝

(二)彩椒繁殖器官特性分析

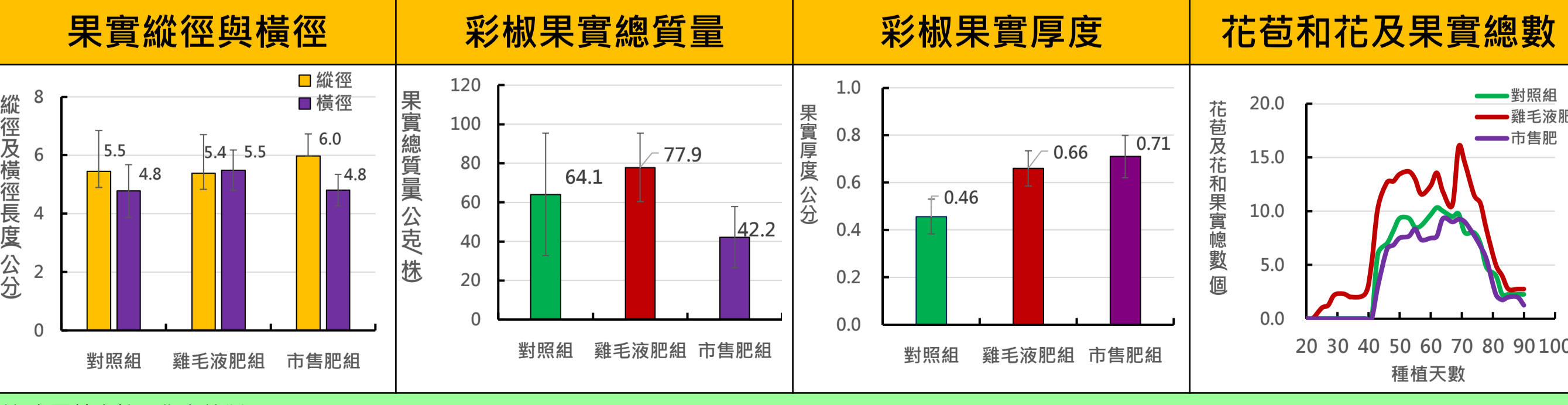
1.花的分析

種植彩椒到約第25天時會長出花苞，再經約7~8天後會開花，花朵漸漸變大後，可見內部雌蕊及雄蕊的構造，隨著時間花瓣會慢慢內縮，讓雄蕊的花粉可以沾在雌蕊的柱頭上，完成自花授粉，胚珠發育成種子。



註:本圖片由指導老師拍攝

2.果實分析

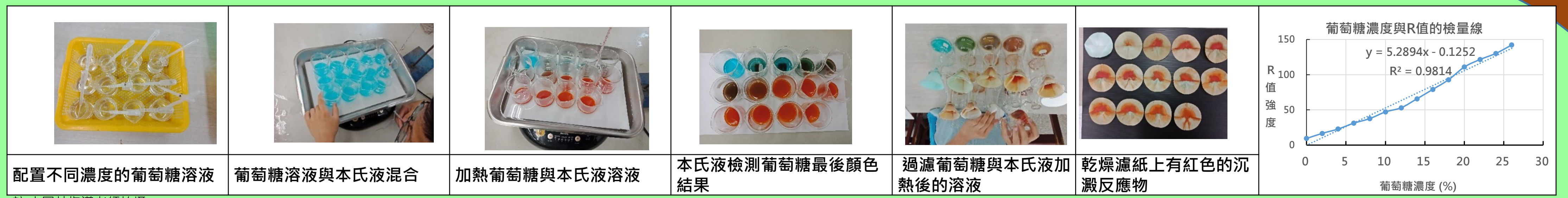


註:本圖片由第二作者繪製

(1) 果實甜度分析

甲.葡萄糖檢量線的製作結果

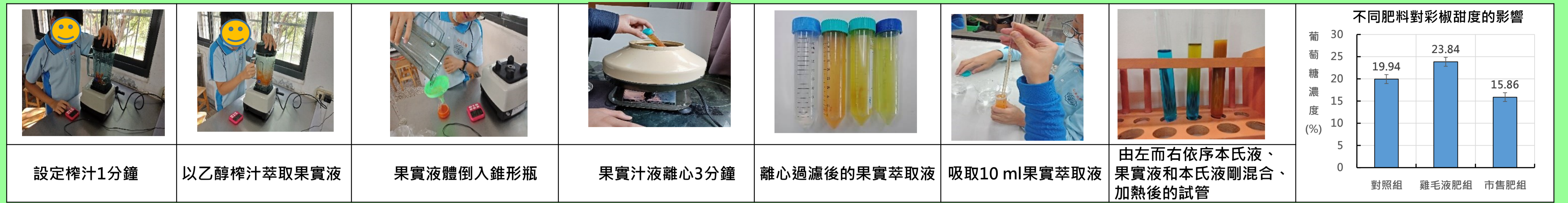
葡萄糖配置重量百分比濃度為 0%、2%、4% ~ 26%的葡萄糖溶液，及配置本氏液，取10 ml的葡萄糖溶液加入10ml的本氏液放入燒杯中，加熱後濃度高的葡萄糖溶液較快變成紅色，記錄溫度到達70°C時，各個燒杯的顏色照片，將反應後的葡萄糖溶液，以濾紙過濾，可看見明顯的紅色沉澱物。以Image J分析不同本氏試驗中照片中的R值強度，製作葡萄糖濃度與R值強度的檢量線，方程式為 $y = 5.2894x - 0.1252$ ， $R^2 = 0.9814$ 。再將彩椒果實萃取液進行本氏試驗，再以Image J分析照片中的R值強度，依方程式即可推算出彩椒果實中含糖的重量百分比濃度。



註:本圖片指導老師拍攝

乙果實甜度分析結果

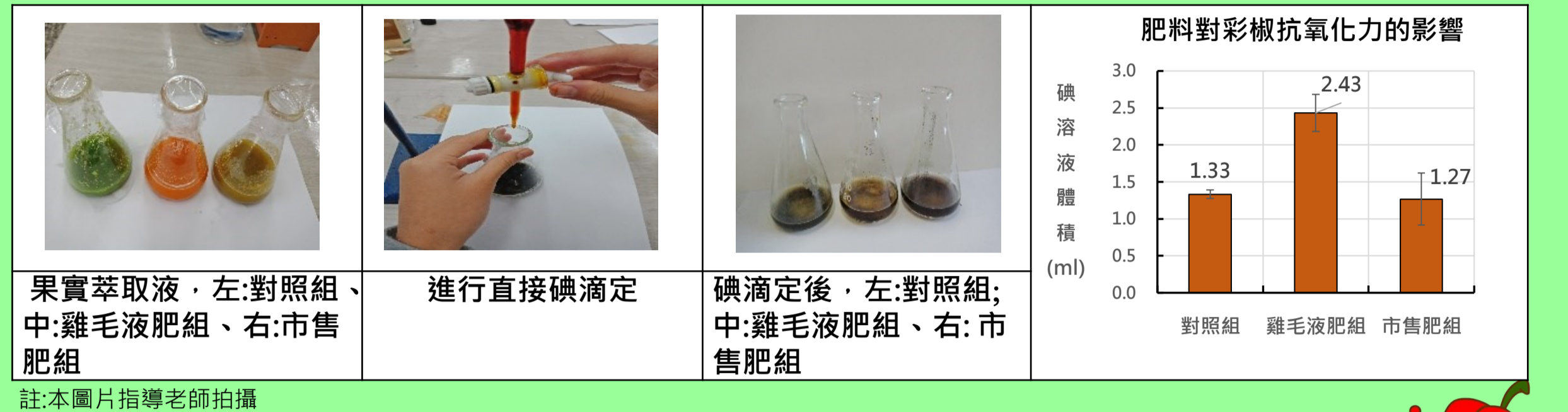
以Image J分析照片中的R值強度，再依照檢量線推算含有葡萄糖的重量百分比。可發現雞毛液肥組的彩椒果實含葡萄糖重量百分比濃度為23.8%；對照組為19.9%；市售肥組為15.9%。雞毛液肥組的果實中含糖量較高，而且對照組的含糖量比市售肥組還高。



註:本圖片指導老師拍攝

(2).果實抗氧化能力分析結果

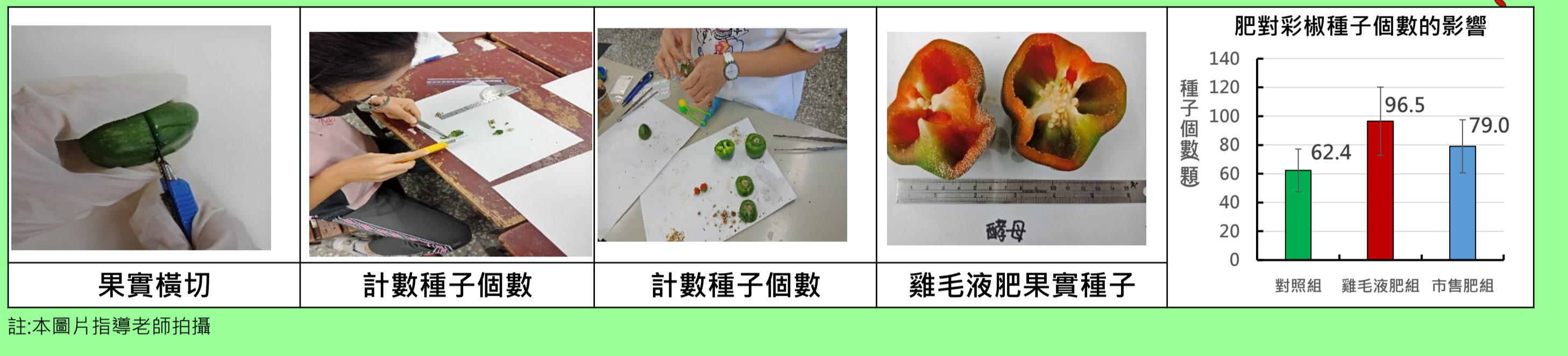
果實萃取液以碘液進行滴定，不斷搖晃到產生紫黑色，記錄滴定用去的碘液體積，可發現雞毛液肥組的萃取液用去的碘液體積為2.43 ml；對照組的果實用去的體積為1.33 ml；市售肥組的果實用去的體積為1.27 ml。雞毛液肥組用去的碘液體積最多，表示抗氧化能力最佳。



註:本圖片指導老師拍攝

3.種子的分析

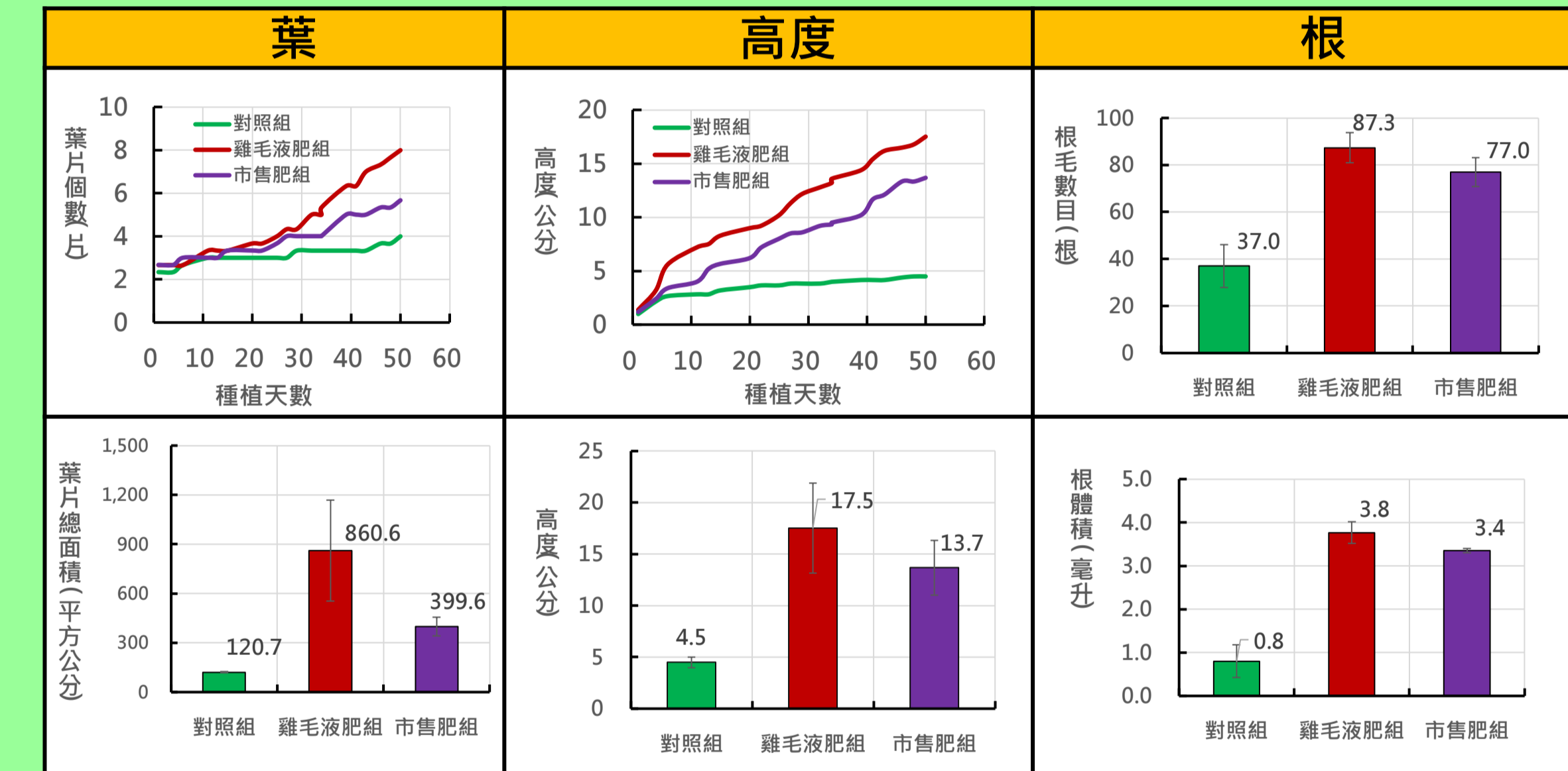
雞毛液肥組的平均種子個數是96.5顆；市售肥組為79.0顆；而對照組的種子個數是62.4顆，相較之下雞毛液肥組的種子個數比市售肥組多了54.6%；比對照組的22.2%，表示雞毛液肥的確能增加彩椒果實中種子的數目。



註:本圖片指導老師拍攝

研究(五)比較雞毛液肥與市售肥對福山萵苣生長影響的結果

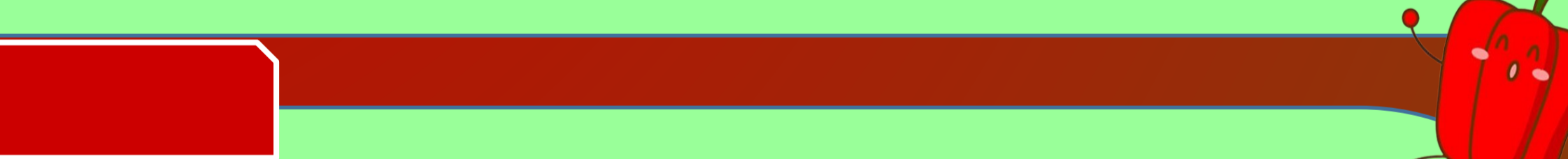
雞毛液肥組的福山萵苣平均高度為17.5 cm，約比對照組高出288.9%，比市售肥組高出13.7%。雞毛液肥組的平均葉片個數為8.0片，約比對照組高出約100.0%，比市售肥組高出40.4%。雞毛液肥組的平均葉片總質量為個數為24.0 g，比對照組高出約605.9%，比市售肥組高出約116.2%。可看出澆灌雞毛液肥可增加福山萵苣葉片個數及葉片質量。



註:本圖片由第二作者繪製



註:本圖片指導老師拍攝



註:每盆由左至右是對照組、雞毛液肥組、市售肥組

註:本圖片指導老師拍攝

結論

一、啤酒酵母分解雞毛效果優於麵包酵母

以啤酒酵母分解雞毛8週後約比麵包酵母多分解14.1%的雞毛，可發現啤酒酵母較麵包酵母分解雞毛效果佳。

二、啤酒酵母分解雞毛的影響程度:葡萄糖>空氣>光線

有葡萄糖較無葡萄糖約可增加63.4%的雞毛分解量;有空氣較無空氣多出約44.6%;有光線較無光線多出36.9%，可發現啤酒酵母分解雞毛的影響程度為:葡萄糖>空氣>光線。

三、雞毛液肥有助於彩椒的生長

以自製雞毛液肥澆灌彩椒，其果實總質量為77.9g，比對照組多出21.5%，比市售肥組多出84.6%。雞毛液肥果實中含葡萄糖濃度為23.8%，比市售肥組多出49.7%。雞毛液肥組的果實抗氧化力比市售肥組多出91.3%。表示啤酒酵母分解的雞毛液肥，確實可提高彩椒的果實甜度及抗氧化能力。

四、雞毛液肥有助於福山萵苣的生長

以雞毛液肥澆灌的福山萵苣平均葉片個數為8.0片，約比對照組高出約100.0%；比市售肥組高出40.4%；雞毛液肥組的平均葉片總質量為個數為24.0 g，比對照組高出約605.9%，比市售肥組高出約116.2%。可看出澆灌雞毛液肥的福山萵苣葉片總質量增加較多。

總結來說，啤酒酵母分解後的雞毛液肥，確實可取代市售肥料，用於澆灌彩椒及福山萵苣。此實驗結果驗證：畜產類廢棄物的雞毛，可分解再利用，促進環境的永續發展。

參考文獻

- 1.蔡文田。農業廢棄物的循環再利用。屏東科技大學農學院生物資源系 http://agriculture.npust.edu.tw/2022/11/agr_waste
- 2.賴俐璇。探討不同的葡萄糖液濃度和酵母菌對發酵產率的影響。高瞻一班專題研究報告。出處 http://www.mingdao.edu.tw/mdhsp/biology/pdf/b_p9608.pdf。
- 3.郭重吉等(民109)。國中自然與生活科技課本第四冊。台南市。南一。
- 4.楊水平等。微量化學實驗：常見食物營養成分的微量檢驗 - 本氏試驗 (Benedict's test) p.1。台灣化學教育學生實驗手冊。
- 5.碘量法 - 維基百科,自由的百科全書 (wikipedia.org)
- 6.請問學習如何種植甜椒 - 農業知識入口網 (coa.gov.tw)