

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	060006
參展科別	植物學
作品名稱	羽轉綠肥-自製肥料對蔬果生長的影響

就讀學校	臺中市立向上國民中學
指導教師	吳孟守 莊佩綺
作者姓名	蔡婷卉 史洸輔 蔡承展

關鍵詞	<u>雞羽毛、肥料、彩椒</u>
-----	------------------

作者簡介



作者合照（穿制服學生左起：蔡承展、史洸輔、蔡婷卉）

大家好，我是蔡婷卉，來自臺中市立向上國中九年級的學生。對科學情有獨鍾，熱衷於觀察周遭的事物，小至地上的螞蟻搬家，大至湛藍天空中浮雲之變化，都能讓我樂在其中。並且榮幸的在國中階段參與了科展，讓我在此領域探索到更多從未接觸的天地，收穫頗豐。也希冀自己能在國際科展比賽中，拓展自己的視野，培養自我英文口說的能力，學習更多科學的知識。

我是史洸輔，目前是國中八年級的學生，我喜歡利用網路尋找各式各樣的資訊，把自己腦中所想到的問題，一一解答出來，國小時，我參加了獨立研究，學習了如何製作網站，以及發表研究成果，也從中認識了許多臺灣環境的問題，在國中則是參加了科展，從這些活動中讓我學習到了許多科學的知識，也得到了許多能力，這次參加國際科展，希望可以認識更多不同的實驗主題，觀摩不同的作品，使我對於科學能有更充分的了解。

我是蔡承展，目前就讀國中七年級，對科學與創新充滿熱忱。過去我曾在國際數學競賽及國內程式設計競賽中榮獲金牌，這些經歷讓我深刻體會到數學與數

據分析在解決實際問題中的重要性。我尤其熱愛將理論應用於實驗中，探索未知的可能性。這次參與「植物學科」的國際科展，讓我有機會將數學和數據分析的專長融入植物學研究，特別是在綠能與再生能源的領域。我希望透過系統化的實驗設計和分析，為環境永續發展貢獻一份心力。我相信，將科學與創新結合，可以開創更多實用且具有前瞻性的解決方案

2025年臺灣國際科學展覽會

研究報告

區別：臺灣區

科別：植物學科

作品名稱：羽轉綠肥-自製肥料對蔬果生長的影響

關鍵詞：雞羽毛、肥料、彩椒

編號

目 錄

英文摘要·····	P.1
中文摘要·····	P.1
壹、研究動機·····	P.1
貳、研究目的·····	p.2
參、文獻回顧·····	P.2
肆、研究流程圖·····	P.6
伍、研究設備及器材·····	P.7
陸、實驗裝置及雞毛液肥的製備·····	P.7
一、自製紫外線滅菌箱以利雞毛殺菌·····	P.7
二、自製雞毛液肥 ·····	P.9
柒、研究過程及結果·····	P.13
捌、研究討論·····	P.31
玖、結論·····	P.34
拾、參考文獻·····	P.34

圖目次

圖1 比爾定律吸收光束示意圖.....	P.4
圖2 DPPH的結構圖.....	P.5
圖3 DPPH的反應示意圖.....	P.5
圖4 貼上錫箔紙遮光.....	P.8
圖5 透明空箱裝上紫外線燈管.....	P.8
圖6 放上鐵架.....	P.8
圖7 上蓋錫箔紙遮光.....	P.8
圖8 完成自製紫外線滅菌箱.....	P.8
圖9 麵包噴水處理再放入夾鏈袋.....	P.8
圖10 實驗組1發霉的情形.....	P.8
圖11 實驗組2及對照組2的試驗.....	P.8
圖12 實驗組2及對照組2皆無發霉現象.....	P.8
圖13 洗淨曬乾後的雞毛.....	P.9
圖14 剪成1cm雞毛.....	P.9
圖15 將雞毛放入錐形瓶中.....	P.9
圖16 將啤酒酵母放入瓶中.....	P.9
圖17 啤酒酵母分解雞毛第4週.....	P.9
圖18 啤酒酵母分解雞毛第8週.....	P.9
圖19 顯微鏡下啤酒酵母分解雞毛8週(放大100倍).....	P.9
圖20 量測溶液pH值.....	P.9
圖21 電導率量測.....	P.10
圖22 沸蒸餾水溶解茛三酮.....	P.11
圖23 維生素 C 溶液滴加到茛三酮溶液.....	P.11
圖24 沉澱析出還原型茛三酮.....	P.11
圖25 離心還原型茛三酮.....	P.11
圖26 配置1.0 M甘胺酸溶液.....	P.11
圖27 配置不同濃度的甘胺酸溶液.....	P.11
圖28 茛三酮顯色液.....	P.11
圖29 孔盤放入光譜儀中測定吸收波長.....	P.11
圖30 甘胺酸濃度與吸光度的檢量線.....	P.11
圖31 雞毛液肥與市售肥吸光值比較.....	P.12
圖32 雞毛液肥與市售肥的胺基酸濃度比較.....	P.12
圖33 市場購得紅色彩椒.....	P.13
圖34 紅色彩椒種子外觀.....	P.13
圖35 彩椒種子泡水.....	P.13
圖36 對照組分苗種圖.....	P.13
圖37 雞毛液肥組分苗種植圖.....	P.13
圖38 市售肥組分苗種植.....	P.13
圖39 彩椒由盆栽中輕輕拔出.....	P.14
圖40 溶解彩椒根的泥土.....	P.14

圖41 彩椒置入塑膠籃中.....	P.14
圖42 直尺互相垂直量取莖長.....	P.14
圖43 每週一、三、五量取莖長.....	P.14
圖44 記錄溫度及濕度.....	P.14
圖45 對照組彩椒.....	P.14
圖46 雞毛液肥組彩椒.....	P.14
圖47 市售肥組彩椒.....	P.14
圖48 施肥對彩椒葉片個數的影響.....	P.15
圖49 第100天施肥對彩椒葉片的影響.....	P.15
圖50 施肥對彩椒莖長度的影響.....	P.15
圖51 第120天彩椒莖長度的比較圖.....	P.15
圖52 左圖為對照組、右圖為雞毛液肥組.....	P.16
圖53 剪下根部.....	P.16
圖54 量測根總體積.....	P.16
圖55 計數根毛數目.....	P.16
圖56 施肥對彩椒根體積的影響.....	P.16
圖57 施肥對彩椒根毛數目的影響.....	P.16
圖58 第25天長出花苞.....	P.16
圖59 第32天開第一朵花.....	P.16
圖60 花朵盛開明顯看見雌蕊及雄蕊.....	P.16
圖61 花瓣萎縮.....	P.16
圖62 花瓣脫落.....	P.17
圖63 子房漸漸膨大.....	P.17
圖64 開花後的21天果實果實縱徑1.8 cm	P.17
圖65 由左而右是花的成長過程.....	P.17
圖66 施肥對彩椒花苞的影響.....	P.17
圖67 施肥對彩椒花的影響.....	P.17
圖68 施肥對彩椒的花苞、花、果實的影響.....	P.18
圖69 施肥對彩椒果實數量的影響.....	P.18
圖70 雞毛液肥組下方的果實長得較大.....	P.18
圖71 雞毛液肥組下方的果實較快變紅.....	P.18
圖72 雞毛液肥組的果實較多.....	P.18
圖73 彩椒果實凹陷處先轉紅.....	P.18
圖74 上部份花梗萎縮枯乾.....	P.19
圖75 對照組彩椒.....	P.19
圖76 雞毛液肥組彩椒.....	P.19
圖77 市售肥組彩椒.....	P.19
圖78 量測果實的縱徑及橫徑.....	P.19
圖79 果實橫切.....	P.19
圖80 量取果實厚度.....	P.19
圖81 計數種子個數.....	P.19

圖82 施肥對彩椒果實縱徑及橫徑的影響.....	P.20
圖83 施肥對彩椒果實總質量的影響.....	P.20
圖84 施肥對彩椒果實厚度的影響.....	P.20
圖85 配置不同濃度的葡萄糖溶液.....	P.21
圖86 配置A液和B液.....	P.21
圖87 配置完成的本氏液.....	P.21
圖88 葡萄糖溶液與本氏液混合.....	P.21
圖89 加熱葡萄糖與本氏液溶液.....	P.21
圖90 溶液顏色漸漸改變.....	P.21
圖91 本氏液檢測葡萄糖最後顏色結果.....	P.21
圖92 2%葡萄糖~6%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色.....	P.21
圖93 8%葡萄糖~12%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色.....	P.21
圖94 14%葡萄糖~18%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色.....	P.21
圖95 20%葡萄糖~24%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色.....	P.21
圖96 26%葡萄糖~28%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色.....	P.21
圖97 過濾葡萄糖與本氏液加熱後的溶液.....	P.21
圖98 紙上有紅色的沉澱反應物.....	P.21
圖99 乾燥濾紙上有紅色的沉澱反應物.....	P.21
圖100 乾燥濾紙上有紅色的沉澱物.....	P.21
圖101 葡萄糖濃度與R值強度的檢量線.....	P.22
圖102 設定榨汁1分鐘.....	P.23
圖103 果實加入乙醇以果汁機萃取汁液.....	P.23
圖104 萃取液倒入錐形瓶中.....	P.23
圖105 將萃取液離心3分鐘.....	P.23
圖106 離心過濾後的果實液體.....	P.23
圖107 以移液管吸取10 ml 果實液.....	P.23
圖108 由左而右依序本氏液、果實液和本氏液剛混合、果實液和本氏液加熱後的試管.....	P.23
圖109 不同肥料對彩椒甜度的影響.....	P.23
圖110 果汁萃取液，左:對照組、中:雞毛液肥組、右: 市售肥組.....	P.24
圖111 進行直接碘滴定.....	P.24
圖112 碘滴定後，左:對照組、 中:雞毛液肥組、右: 市售肥組.....	P.24
圖113 雞毛液肥對彩椒抗氧化能力的影響.....	P.24
圖114 準備果實萃取液.....	P.24
圖115 果實萃取液滴入96孔盤.....	P.24
圖116 將孔盤放入光譜儀中.....	P.24
圖117 以517nm波長掃描溶液.....	P.25
圖118 維生素C的吸光度檢量線.....	P.25
圖119 不同肥料中彩椒果實維生素C含量.....	P.25
圖120 小心切開果實.....	P.26
圖121 計數種子個數.....	P.26
圖122 施肥對彩椒種子個數的影響.....	P.26

圖123 福山萵苣種子.....	P.26
圖124 福山萵苣種子外觀.....	P.26
圖125 種子消毒後泡水.....	P.26
圖126 對照組分苗種植情形.....	P.27
圖127 雞毛液肥組分苗種植情形.....	P.27
圖128 市售肥組分苗種植情形.....	P.27
圖129 先將培養土混合均勻再分盆.....	P.27
圖130 育苗後第七天.....	P.27
圖131 將福山萵苣幼苗種於盆栽中.....	P.27
圖132 每週一、三、五量取高度.....	P.27
圖133 將福山萵苣連根拔出.....	P.28
圖134 福山萵苣葉質量及葉面積.....	P.28
圖135 秤量福山萵苣質量.....	P.28
圖136 不同液肥對福山萵苣葉片個數的影響.....	P.28
圖137 不同液肥對福山萵苣葉片個數的影響.....	P.28
圖138 不同液肥對福山萵苣葉片質量的影響.....	P.29
圖139 不同液肥對福山萵苣葉片總面積的影響.....	P.29
圖140 不同液肥對福山萵苣生長高度的影響.....	P.30
圖141 不同液肥對福山萵苣高度生長的影響.....	P.30
圖142 量測福山萵苣高度.....	P.30
圖143 剪下福山萵苣的根.....	P.30
圖144 量測福山萵苣根體積.....	P.30
圖145 雞毛液肥組福山萵苣.....	P.30
圖146 由左至右依序是對照組、市售肥組、雞毛液肥組.....	P.30
圖147 剪下根部進行體積量測.....	P.30
圖148 不同液肥對福山萵苣根長度的影響.....	P.31
圖149 不同液肥對福山萵苣根毛數目的影響.....	P.31
圖150 不同液肥對福山萵苣根體積的影響.....	P.31

表 目 次

表(一) 歷屆科展與本研究主題的相關性.....	P.2
表(二) 雞毛液肥與市售肥中胺基酸吸光度值.....	P.12
表(三) 本氏液測糖試驗照片中的R值強度.....	P.22
表(四) 施肥對彩椒果實汁液清除DPPH自由基能力.....	P.25
表(五) 福山萵苣種植第50天生長情形.....	P.27
表(六) 第四批福山萵苣種植第50天的結果比較.....	P.28
表(七) 雞毛液肥與市售肥成分特性的比較.....	P.33

Abstract

Feather waste ranks as the second largest type of livestock waste. We used brewer's yeast to decompose chicken feathers to enhance the practical value and benefits of discarded feathers. After one month of decomposition by brewer's yeast, the chicken feather liquid fertilizer had an amino acid concentration of approximately 0.16 M, which is 6.14 times higher than commercial fertilizers. When irrigating high-value crops such as bell peppers and Fushan lettuce with chicken feather liquid fertilizer, the total mass of bell peppers increased by 84.6% higher than that of the commercial fertilizer group, and the glucose concentration in the peppers was 23.8%, which increased by 49.7% higher than the commercial fertilizer group. In the iodine titration test for antioxidant capacity, it was found that the antioxidant ability of bell peppers irrigated with chicken feather liquid fertilizer increased by 91.3% higher than that of the commercial fertilizer group. In the experiment measuring the ability to scavenge DPPH free radicals, the ability of bell pepper juice from the chicken feather liquid fertilizer group to scavenge free radicals was approximately 19.4 times that of the commercial fertilizer group. The total leaf mass of Fushan lettuce irrigated with chicken feather liquid fertilizer increased by 116.2% higher than that of the commercial fertilizer group. Chicken feather liquid fertilizer decomposed by brewer's yeast can replace commercial fertilizers as nutrients for bell peppers and Fushan lettuce. Through this research, discarded chicken feathers can be reused, reducing the environmental burden and promoting sustainable agricultural development.

中文摘要

羽毛廢棄物是畜產類廢棄物排名第二大宗，為了提高廢棄羽毛的實用價值與效益，我們利用啤酒酵母菌進行雞羽毛分解。經啤酒酵母分解一個月後的雞毛液肥，含有胺基酸濃度約為0.17 M，是市售肥組的5.67倍。以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高出91.3%。清除DPPH自由基的能力實驗中，雞毛液肥組的彩椒果實汁液清除自由基能力約是市售肥組的2.82倍。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、研究動機

臺灣每年所產生的農業廢棄物約為500萬公噸，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¹，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，不易被分解再利用，為了要利用好好羽毛中豐富的蛋白質，於是著手尋找適合的微生物加以分解成小分子，製成肥料以澆灌高經濟價值的蔬果，探討其可否取代市售肥?使廢棄的雞毛能夠再次被利用，成為植物的養分。

貳、研究目的

- 一、自製具有殺菌功能的紫外線滅菌箱。
- 二、檢測自製紫外線滅菌箱殺菌功能。
- 三、分析啤酒酵母分解雞毛後的液體pH值。
- 四、分析啤酒酵母分解雞毛後的液體電導度值。
- 五、分析啤酒酵母分解雞毛後的液體中胺基酸含量。
- 六、比較雞毛液肥與市售肥對彩椒生長的影響。
- 七、比較雞毛液肥與市售肥對彩椒果實甜度、抗氧化能力及清除DPPH自由基能力。
- 八、比較雞毛液肥與市售肥對福山萵苣生長的影響。

參、文獻回顧

一、全國科學展覽歷屆作品與本研究主題的相關性

表(一)歷屆科展與本研究主題的相關性

屆別	主題	研究焦點	本研究的創新及關聯性
54	羽毛特徵與功能探討	利用顯微鏡觀察鳥類羽毛特徵和結構，探索羽毛的不同功能，進一步分析比較羽毛功能與其構造是否有相關 ³ 。	利用真菌界的啤酒酵母菌來加以分解羽毛的雙硫鍵結，獲取其豐富的角蛋白養分。雞毛由蛋白質（氮）及胞器內含磷。
57	輕鬆種好菜-紅糟堆肥再生紙	馬祖紅糟製作成堆肥，觀察溫度、pH值、外觀判斷堆肥已完成；再測其碳氮比及發芽率，確認是否已腐熟而能種植。利用導電度控制紅糟堆肥及紙的比例在植物適合生長的範圍 ⁴ 。	1.利用廢棄雞毛分解產生液肥。 2.調控分解環境因素，使雞毛分解效果最佳。 3.實際種植蔬果驗證液肥效果。
61	以藻類淨化畜牧廢水並進行後續藻體加值利用	利用微藻中所含的養分製成液態肥料，提供植物生長所需養分，觀察植物的生長速率及外觀，判斷微藻液肥是否有效促進植物生長。種植後發現適量的液肥確實能夠加快植物生長速率，並且順利的生長 ⁵ 。	1.利用發酵方式製作液肥。 2.探討液肥施用在高經濟蔬果上的表現。
46	蔬果與飲料總抗氧化活性之研究	有機栽培確實比一般壤土栽培效果好，許多有機蔬菜、水果的農藥污染亦低。抗氧化物是可以抵抗氧化作用、降低活性氧分子傷害的物質，能避免自由基帶來的鏈鎖反應，或中斷、破壞已經發生的鏈鎖反應，有清除自由基的效能 ⁶ 。	1.利用簡單的直接碘滴定的方法偵測抗氧化物質。 2.清除DPPH自由基能力

屆別	主題	研究焦點	本研究的創新及關聯性
63	羽毛不見了	以羽毛分解菌降解禽類羽毛後的有機液肥澆灌植物，稀釋後澆灌種植小蕃茄、白菜、油菜等植物，發現其生長更加茂盛，產量也更高 ⁷ 。	1.以無毒且安全的啤酒酵母進行分解雞毛實驗。 2.由種子開始育苗種植高經濟的蔬果植物，非取自種苗場已復育的幼苗。更可觀察到植物生長情形。
64	廢羽翻轉變綠金-雞毛化為蔬果的養分	研究內容主要利用啤酒酵母進行雞毛分解實驗，再將分解後的雞毛液肥，灌溉高經濟價值的彩椒及福山萵苣，並與市售肥料進行比較。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 ⁸ 。	1.增加對雞毛液肥成分中胺基酸含量的檢測 2.增加彩椒果實汁液中清除DPPH自由基能力的研究。 3.探討植物吸收養分及肥料之間的關係。

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⁹，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、抗氧化物

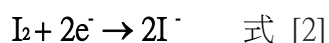
(一) 基本概念：抗氧化物是可以抵抗氧化作用、降低活性氧分子傷害的物質，能避免自由基帶來的連鎖反應，或中斷、破壞已經發生的連鎖反應，有清除自由基的效能。但其只能延緩氧化反應，無法阻止氧化的產生。

(二) 抗氧化物主要有兩種：一種是預防性抗氧化物，主要是阻止脂質過氧化作用中的起始反應，包括過氧化氫酶、過氧化酶、超氧化歧化酶 (super oxide dismutase；SOD) 等。另一種則是中斷自由基連鎖效應的抗氧化物，能干擾自動氧化的連鎖反應，使自由基轉變穩定的物質，如維生素C、維生素E、β-胡蘿蔔素等 (Clouatre, 民90)。

(三) 碘量法滴定: 直接碘量法¹⁰

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 I_2 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。



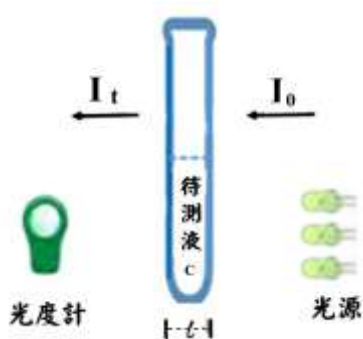
碘為一種氧化劑，彩椒中的抗氧化物質會與碘溶液反應，以標準濃度的碘溶液直接滴定彩椒果實汁液，若滴下去的碘直接還原反應，代表抗氧化物質過量。一直作用到抗氧化物質完全作用，此時碘溶液滴下去後無法反應，因此和澱粉試劑作用，呈現藍黑色，

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。

四、比爾-朗伯定律¹¹

比爾-朗伯定律的物理意義是：一束單色光照射於吸收介質表面，在通過一定厚度的介質後，由於介質吸收了一部分光能，透射光的強度就會減弱。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，其關係為：

$$A = -\log_{10} \frac{I_t}{I_0} = \log_{10} \frac{1}{T} = K \cdot l \cdot c$$



說明：

A ：吸光度

I_0 ：入射光的強度

I_t ：透射光的強度

T ：透射比，或稱透光度

K ：係數，可以是吸收係數或摩爾吸收係數

l ：吸收介質的厚度，一般以 cm 為單位

c ：吸光物質的濃度，單位可以是 g/L或mol/L。

圖1 比爾定律吸收光束示意圖(指導老師繪製)

本實驗中因為不同物質的吸收波長不同，所以採用不同波長的光源進行實驗。故可用 517nm 波長之吸光度變化來檢測試樣提供氫原子清除自由基的能力，吸光度下降越多表示清除 DPPH 自由基能力越強

五、自由基的介紹¹²

(一) 基本介紹：由於細胞內多數化合物的特性，電子通常兩兩成對，而自由基是帶有基數或不成對電子的離子或其他化合物，它的性質非常活潑，會與細胞的組成成分反應。當細胞內存在自由基時，會競爭及迫害健康細胞組成物質的成對電子，造成電子轉移。這類化學反應即為氧化。

(二) DPPH自由基介紹：

1. DPPH自由基清除能力：測試一個成分是否具有抗氧化性的一種簡單的篩檢試驗。

2. DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)是一種穩定的自由基，當其溶於甲醇或乙醇中會呈現藍紫色，還原後會從藍紫色轉變為橘黃色，其最大吸收為波長 517nm，故可用 517nm 波長之吸光度變化來檢測試樣提供氫原子清除自由基的能力，吸光度下降越多表示清除 DPPH 自由基能力越強，即試樣提供氫的能力越強。經計算可得出 DPPH 清除率，DPPH 清除率越高能清除的 DPPH 自由基就越多，即抗氧化力越強。(Schlesieret al. 2002)

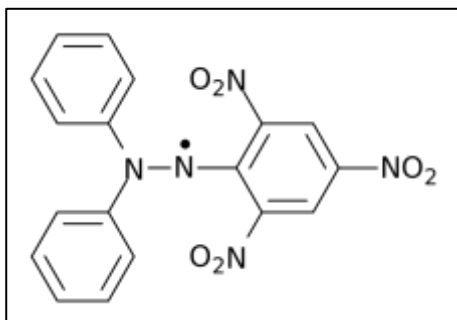


圖2 DPPH的結構圖(Schlesieret al. 2002)

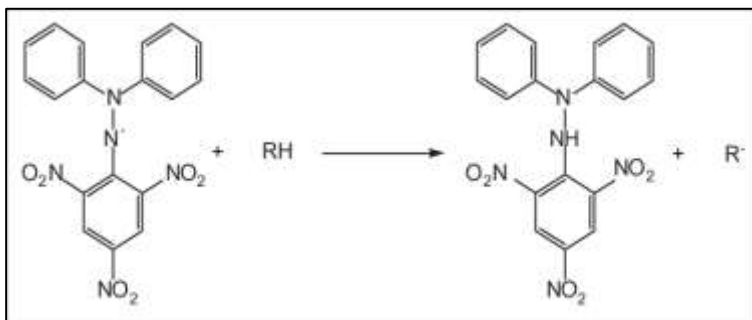
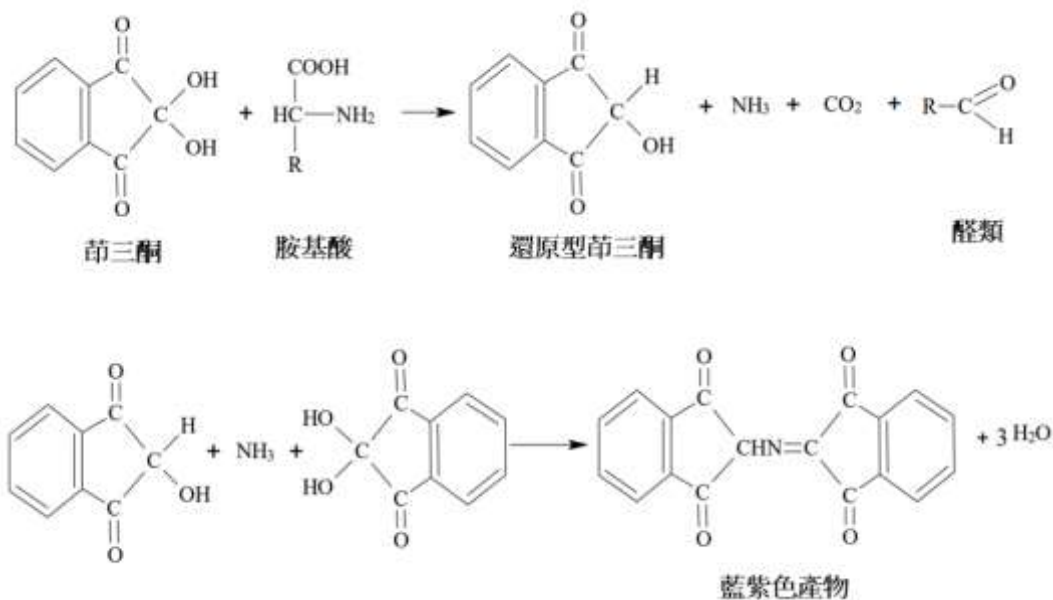


圖3 DPPH的反應示意圖(Schlesieret al. 2002)

六、茚三酮顯色反應(Ninhydrin test) 檢測胺基酸含量的原理¹³

以茚三酮顯色反應(Ninhydrin test) 檢測雞毛液肥中的胺基酸含量，此方法針對具有 α -胺基及羧基之胺基酸和蛋白質之特色反應。除無 α -胺基的proline和hydroxyproline反應後呈黃色外，其他胺基酸皆會生成紫紅色，最終為藍色化合物。

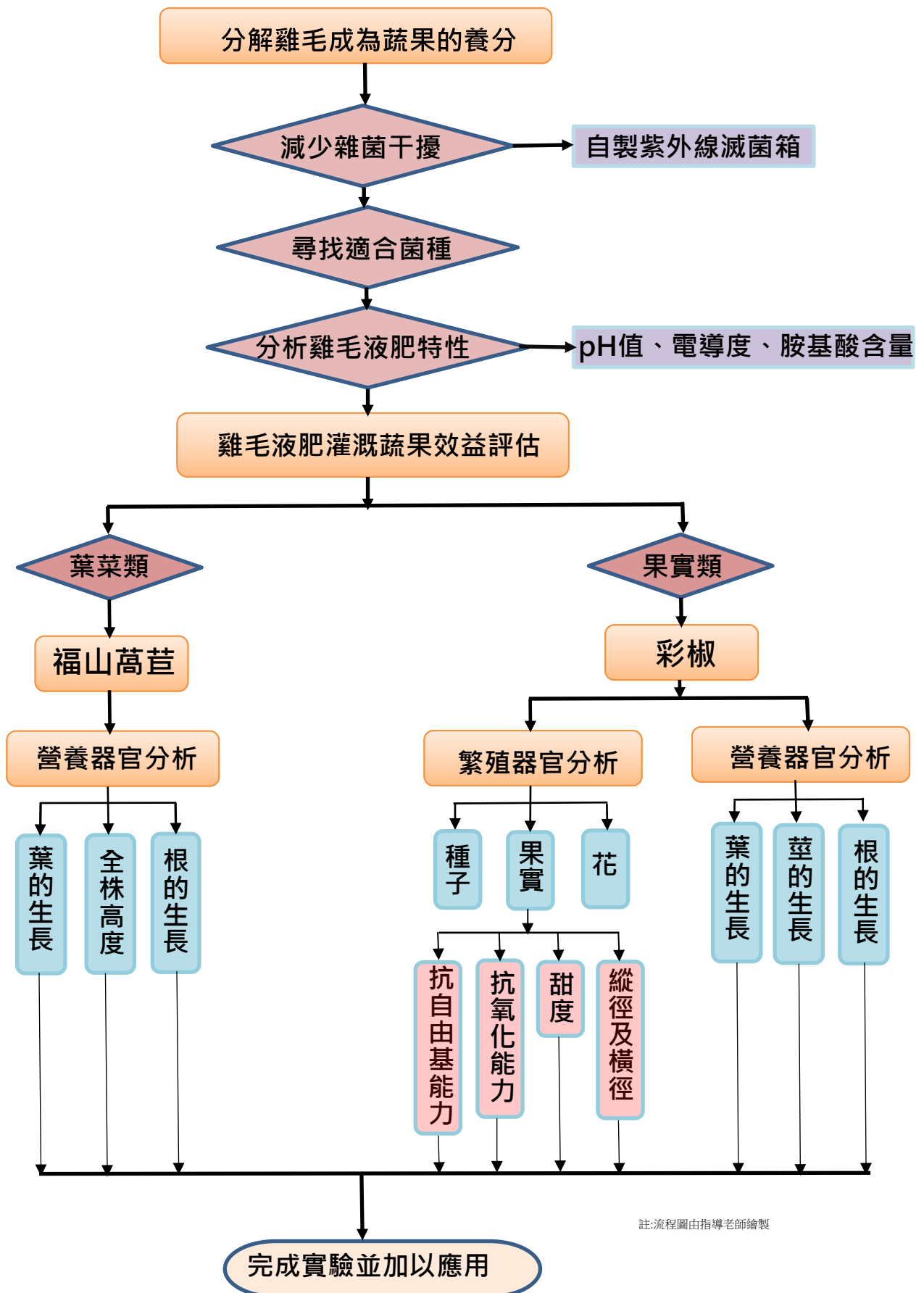
為高敏度之胺基酸定量原理，茚三酮對胺基酸進行氧化脫羧作用，產生 CO_2 、 NH_3 以及比原胺基酸少一個碳的醛類，被還原的茚三酮與 NH_3 形成藍色複合物，產生越多則產物顏色愈深，其光譜吸收峰為570 nm，故可利用分光光度計測定胺基酸含量。此實驗條件必須在微酸或中性(pH 5~7)進行，若在鹼性環境中則會褪色，hydroxyproline proline 因缺乏 α -胺基，故僅產生黃色(謝等，1985)



七、蔬果生長所需養分

植物生長所需的養分中，碳、氫、氧等大量元素可藉由空氣與水的供應而獲得補充，但其餘的養分則必須依賴土壤礦物、土壤有機質與人為添加的肥料來補充。植物不能利用分子型態的養分必須轉變成離子型態才能被植物所吸收，其中以錯合物型態存在的營養元素(有機錯合物：營養元素與有機質以錯化合物之型態結合的狀態)，因不需經過有機物的分解，且可透過錯合物的溶解及解離等方式使營養元素直接脫離配位基而直接被植物吸收，因此其有效性較高¹⁴。所以本實驗中利用酵母菌分解雞毛，變成小分子的胺基酸，以利蔬果植物經由木質部吸收成為養分。

肆、研究流程圖



註:流程圖由指導老師繪製

伍、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(0.1M)、茚三酮、醋酸、醋酸鈉、甘胺酸、DPPH(2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)、維生素C、澱粉、硫代硫酸鈉、硫酸、三多啤酒酵母、葡萄糖、培養土、彩椒(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、96孔盤、微量滴管、磁石、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
			
微量光譜儀	顯微鏡	電晶爐	滴定管及鐵架

註:此圖片由指導老師拍攝

陸、實驗裝置及雞毛液肥的製備

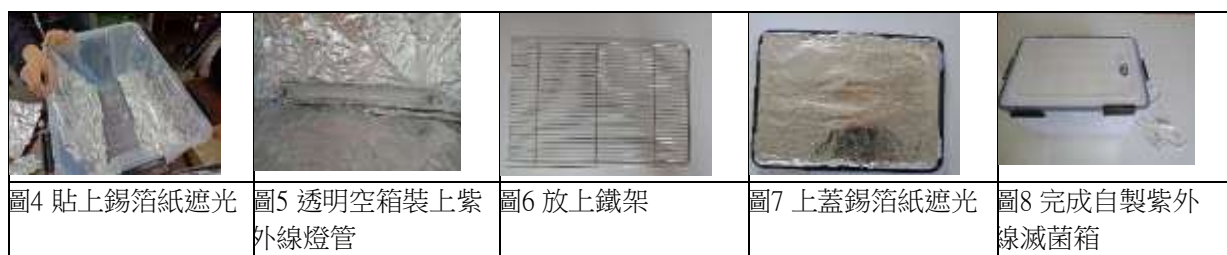
為了探討酵母菌對羽毛分解的效果，並避免其他雜菌干擾實驗結果，所以自製紫外線滅菌裝置，希望先將雞毛及器材進行殺菌，避免雜菌干擾實驗。希望針對啤酒酵母分解雞毛的效果加以精準評估。所以自製簡易的紫外線滅菌箱。

一、自製紫外線滅菌箱以利雞毛殺菌

(一)自製紫外線滅菌箱

1.實驗原理: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。

2.實驗步驟:由五金行購買一個透明的整理箱，內部貼上錫箔紙(如圖4)，前方的錫箔紙採用可掀開式，以觀察內部反應情況，透明空箱上方及下方各裝上一根8W紫外線管(如圖5)，中間放上鐵架(如圖6)，以放置器材殺菌。完成自製紫外線滅菌箱(如圖8)。。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。並注意使用時須戴上護目鏡，確實蓋上蓋子，才能開啟開關，關閉電源才能掀蓋，拿取物體。



註:本圖片由第一作者拍攝

(二)檢測紫外線滅菌箱的殺菌功能

實驗1:以**麵包發霉實驗**檢測紫外線殺菌功能

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。

結果1:噴水後的麵包(實驗組1、如圖9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10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10左方麵包所示)，表示自製紫外線殺菌箱，確實具有殺菌效果。

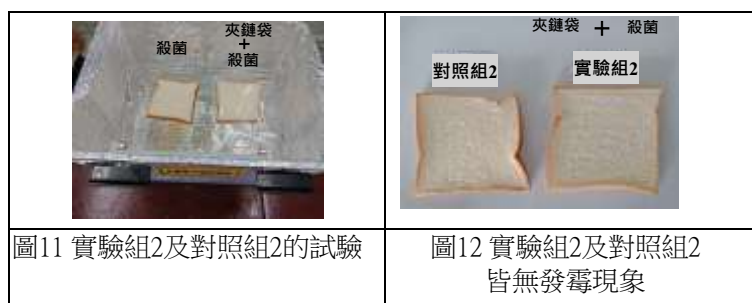


註:本圖片由第一作者拍攝

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?

結果2: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11)，經過十天的時間，兩者皆無黴菌產生(如圖12)，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。



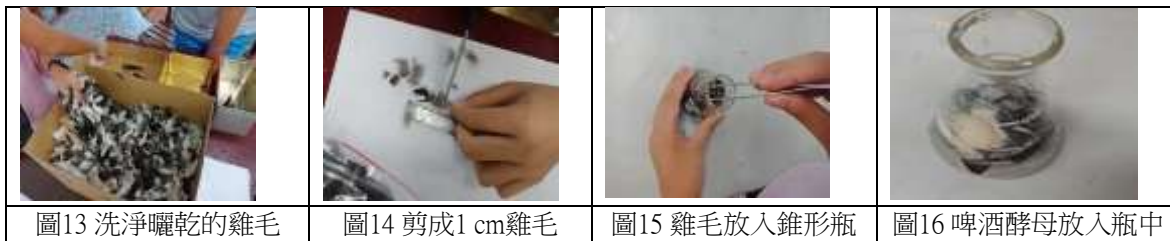
註:本圖片由第一作者拍攝

二、自製雞毛液肥

(一)利用啤酒酵母分解雞毛取得雞毛液肥

1.實驗步驟

將廢棄的黑羽土雞毛洗淨曬乾後(如圖13)，將雞毛剪成長度為1cm的雞毛(如圖14)，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15)、1.0 g的葡萄糖及0.1g的啤酒酵母菌(如圖16)。將經酵母分解4週及8週後進行雞毛拍照，以分辨分解效果。因為時間有限，所以後續的實驗都是以分解4週後的雞毛過濾液為雞毛液肥。



註:本圖片由指導老師拍攝

2.實驗結果

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17)，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18 啤酒酵母分解雞毛8週的樣子。啤酒酵母溶液變混濁。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19所示，雞毛的外層有模糊的傾向，推測是分解的證明。



註:本圖片由第二作者拍攝

(二) 自製雞毛液肥的特性分析

1.啤酒酵母分解後的雞毛液的pH值分析

(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 4.0及pH值為 10.0 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20)



圖20 量測pH值

註:本圖片由指導老師拍攝

(3)實驗結果:一般只有水及雞毛和葡萄糖的對照組，在4週後其發現pH值為5.06;而有加入啤酒酵母的實驗組pH值為5.35，雞毛過濾液皆偏弱酸性。

2. 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2mS~20mS 的量測範圍，量測雞毛液的電導率(如圖21)。



圖21 電導率量測

註: 本圖片由指導老師拍攝

(3) 實驗結果:

對照組的電導率為0.98 mS；啤酒酵母組的電導率為2.22 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，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，但是數量偏少。

3. 量測雞毛液肥中游離胺基酸氮含量 (Free α -Amino Nitrogen) 分析

(1) 實驗目的: 為了評估啤酒酵母分解雞毛後產生的氨基酸含量的多寡，利用茚三酮與所有胺基酸及具有游離 α -胺基的肽反應，皆會產生藍紫色物質。

(2) 實驗步驟:

A 試劑配置:

a. 標準甘胺酸溶液: 配制成1.0 M 溶液。

b. 醋酸緩衝液 pH5.4, 2mol/L: 量取 86mL 2mol/L 醋酸鈉溶液，加入 14mL 2mol/L 乙酸混合而成。用 pH 檢查校正。

c. 還原型茚三酮溶液: 稱取 5g 茚三酮，用 125mL 沸蒸餾水溶解，得黃色溶液。將 5g 維生素 C 用 250mL 溫蒸餾水溶解，一邊攪拌一邊將維生素 C 溶液滴加到茚三酮溶液中，不斷出現沉澱。滴定後繼續攪拌 15min，然後在冰箱內冷卻到 4℃，過濾、沉澱用冷水洗滌離心3次。

d. 茚三酮(Ninhydrin)顯色液: 稱取 85mg 茚三酮和 15mg 還原茚三酮，用 10mL 乙醇溶解。

B. 實驗步驟

a. 以0.45 μ m 孔徑小飛碟過濾分解一個月後的雞毛液肥，當作待測液。

b. 標準檢量線製作: 分別取 1.0M 的標準甘胺酸溶液1mL 於試管中。再加入 1mL pH5.4, 2mol/L 醋酸緩衝液；再加入 1mL 茚三酮顯色液，充分混勻後，蓋住試管，在 100℃ 水浴中加熱 15min，用自來水冷卻。放置 5min 後，充分搖勻，再吸取5 μ l、25 μ l、50 μ l、100 μ l、150 μ l、200 μ l、250 μ l、300 μ l、350 μ l 到96孔盤中，並加入蒸餾水補足至總體積為600 μ l。放入光譜儀中，測定波長為570nm 的吸光度(OD 值)。每個樣品進行三重複實驗。

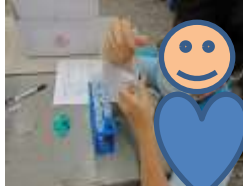
c. 取1mL 的雞毛液肥加入含1ml 醋酸緩衝液及1ml 茚三酮顯色液於試管中，混合均勻，再放入沸水中加熱反應16 min。(另外以1 ml 的市售肥取代雞毛液肥進行實驗，及以不含雞毛的啤酒酵母加入糖水溶液1 ml 取代雞毛液肥進行實驗)。

d. 反應結束後，冷卻到室溫。

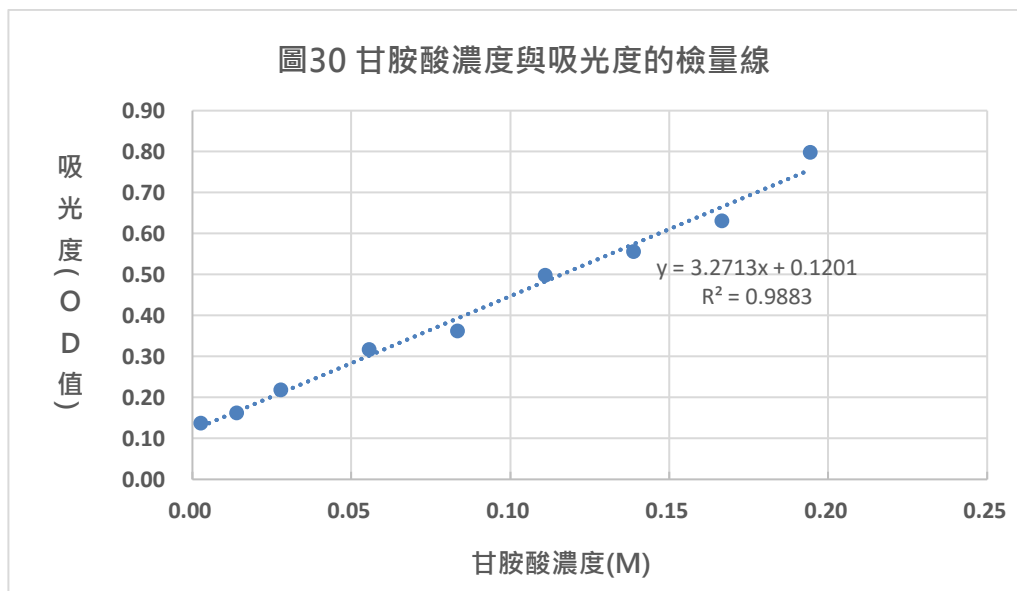
- e. 測定於570 nm 吸光值並紀錄之。
- f. 依據檢量線，即可計算出待測液的胺基酸濃度。

(3實驗結果

A. 甘胺酸濃度與吸光度的檢量線實驗結果

			
圖22沸蒸餾水溶解茛三酮	圖23維生素 C 溶液滴加到茛三酮溶液	圖24沉澱析出還原型茛三酮	圖25 離心還原型茛三酮
			
圖26配置1.0 M甘胺酸溶液	圖27配置不同濃度的甘胺酸溶液	圖28茛三酮顯色液	圖29 孔盤放入光譜儀中測定吸收波長

註此照片由指導老師拍攝



註:圖片由指導老師繪製

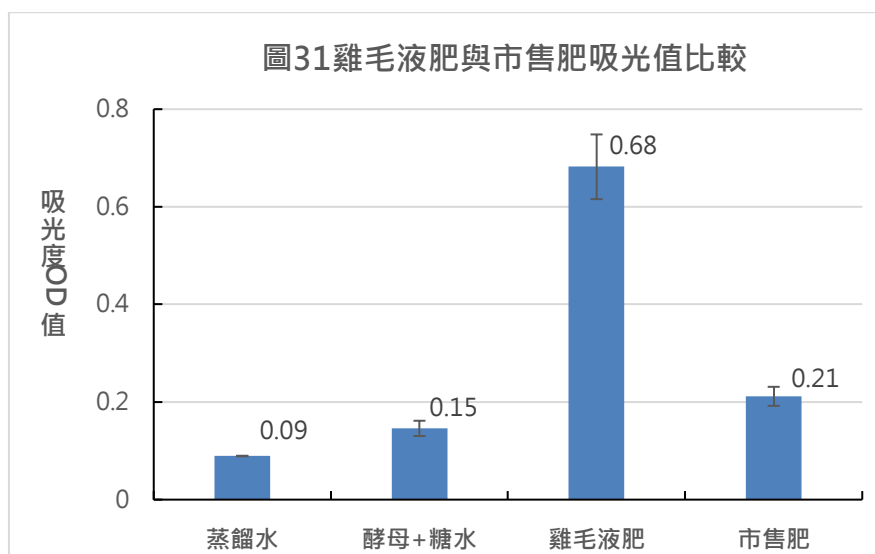
甘胺酸濃度與吸光度的檢量線方程式為 $y=3.2713X+0.1201$ ， $R^2=0.9883$ 。取得甘胺酸濃度與吸光度值之間的關係檢量線，即可以啤酒酵母分解雞毛後的液體中吸光度，推算出雞毛液肥中含有的胺基酸濃度。

B.雞毛液肥與市售肥中胺基酸含量比較結果

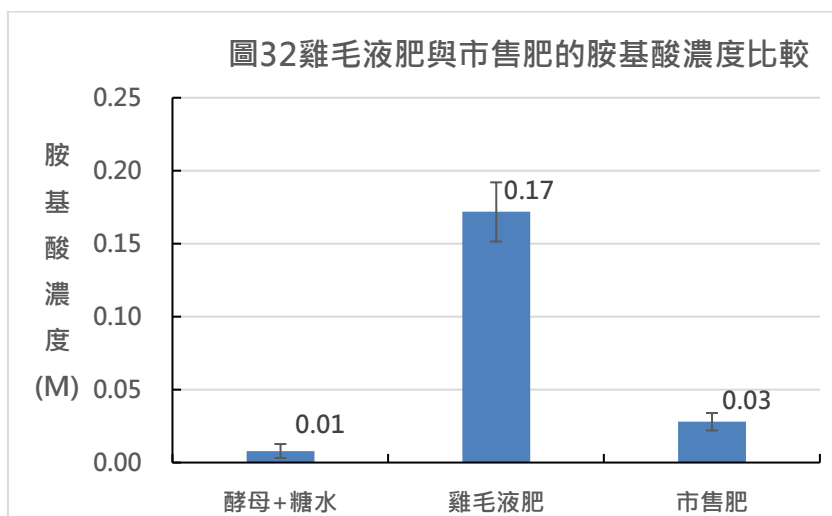
表(二)雞毛液肥與市售肥中胺基酸吸光度值

物質	蒸餾水	酵母+糖水	雞毛液肥	市售肥
第一次	0.089	0.128	0.652	0.212
第二次	0.090	0.156	0.758	0.231
第三次	0.089	0.154	0.636	0.192
平均	0.089 ± 0.001	0.146 ± 0.0166	0.682 ± 0.066	0.212 ± 0.020

平均值 $\pm$ 1個標準差



註:圖片由指導老師繪製



註:圖片由指導老師繪製

依據檢量線可推估分解一個月後的雞毛液肥中，含有胺基酸濃度約為0.17 M，市售肥中胺基酸濃度約為0.03 M，含糖水的酵母液中約含0.01 M的胺基酸。雞毛液肥中的胺基酸濃度約是市售肥的6.14倍。雞毛液肥中的胺基酸成分確實偏高，表示啤酒酵母能有效的分解雞毛中的角蛋白。

柒、研究過程及結果

一、比較雞毛液肥與市售肥對彩椒生長之影響

實驗一彩椒種子消毒及育苗

1.實驗步驟

(1)浸種催芽:將從全聯福利中心買到的紅色彩椒(如圖 33)，取出種子(如圖 34、圖 35)，放入 55℃ 溫水中，不斷攪拌，在 10 分鐘內使水溫降至 30℃，撈出後用以清水洗淨，浸泡 4~5 小時，用紗布包好，放在 25℃ ~ 28℃ 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 36、圖 37、圖 38)。起初每日早晚以 200mL 自來水灌溉(每株各 100ml)，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 自來水為對照組。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.實驗結果

種植到第120天時，將彩椒由盆栽中輕輕拔出(如圖39)，務必要保留根毛，將拔出的彩椒根部泡水(如圖40)，以溶解彩椒根上的泥土，再置入塑膠籃中以利進行相關分析實驗(如圖41)。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。

		
圖39 彩椒由盆栽中輕輕拔出	圖40溶解彩椒根上的泥土	圖41 彩椒置入塑膠籃中
註:本圖片由指導老師拍攝		

實驗二彩椒營養器官分析

1.實驗步驟

- (1)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。
- (2)莖的分析:每週三次紀錄莖的長度(如圖42、圖43)，記錄溫度及濕度(如圖44)。
- (3)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。

		
圖42 直尺互相垂直量取莖長	圖43 每週一、三、五量取莖長	圖44 記錄溫度及濕度
註:本圖片由指導老師拍攝		

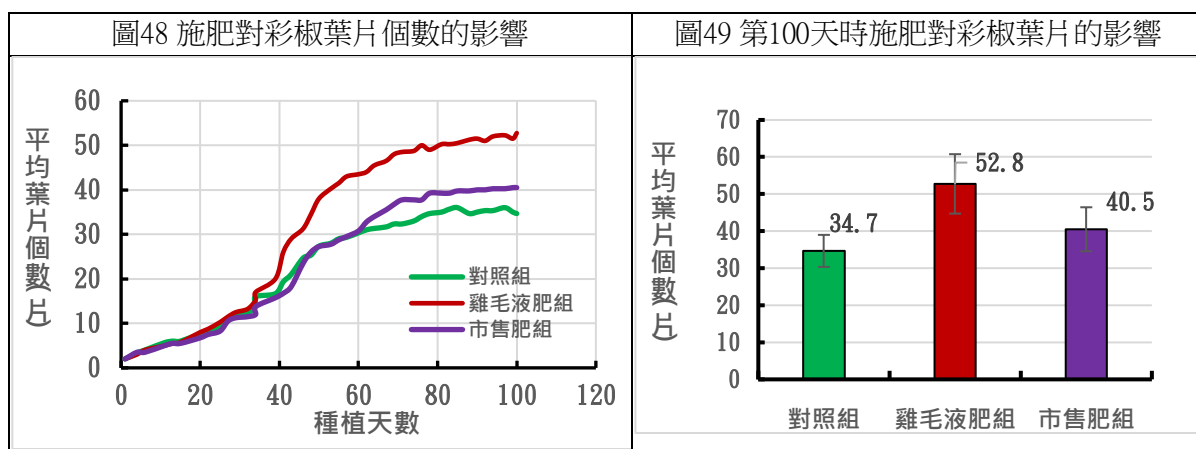
2.實驗結果

(1)葉片的分析

種植到第120天的彩椒(如下圖45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46);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47)。

		
圖45 對照組彩椒	圖46 雞毛液肥組彩椒	圖47市售肥組彩椒
註:本圖片由第一作者拍攝		

雞毛液肥、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48，可發現雞毛液肥組的葉片數量，明顯大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49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。

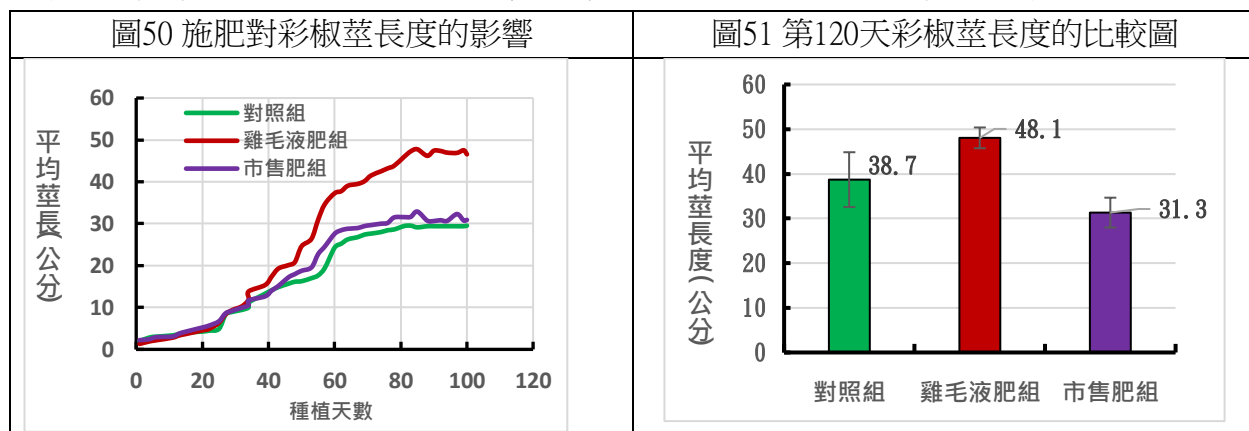


註:本圖片由第二作者繪製

(2) 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50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51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莖的生長有一定的幫助，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。



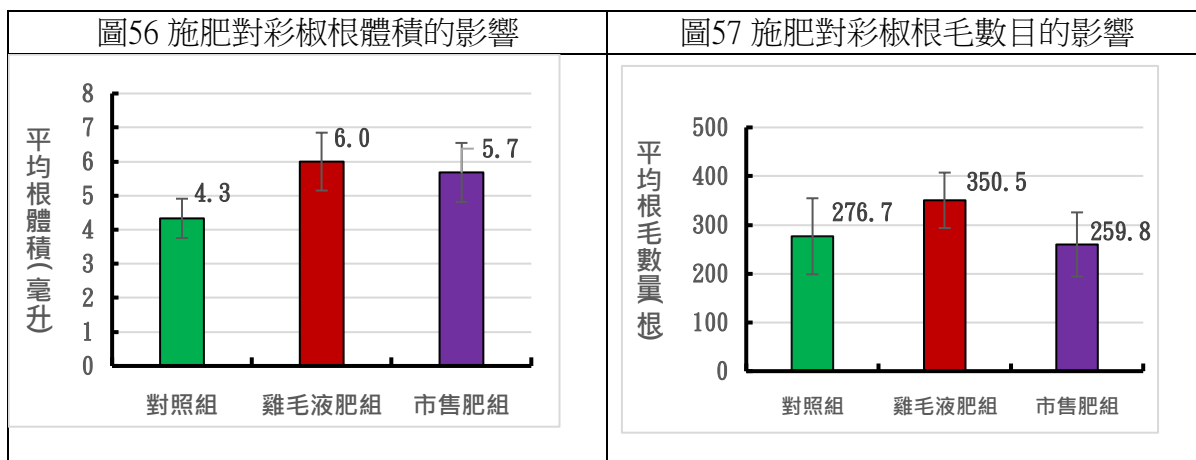
註:本圖片由第二作者繪製

(3) 根的分析

種植到第120天連根拔出(如圖52)，將彩椒根部剪下(如圖53)，將根毛沒入裝水的量筒中(如圖54)，以排水法量測根的總體積，並細數根毛的數量(如圖55)。彩椒根的總體積結果如圖56所示，雞毛液肥組的根體積是 6.0 cm^3 ，市售肥組為 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。施肥對根毛數量的結果如圖57所示，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。

			
圖52左圖為對照組、右圖為雞毛液肥組(第99天)	圖53 剪下根部	圖54 量測根總體積	圖55 計數根毛數目

註:本圖片由指導老師拍攝



註:本圖片由第二作者繪製

實驗三彩椒花的分析實驗

1.實驗步驟

每週一、三、五紀錄花苞個數及開花時間及花朵個數及生長情形，並拍照紀錄。

2.實驗結果

比較自來水，雞毛液肥及市售肥灌溉的彩椒，開花時間與花朵個數的關係。種植彩椒約第25天時會長出花苞如圖58，再經7~8天後會開花如圖59，花朵漸漸變大後，可看見內部雌蕊及雄蕊的構造如圖60，隨著時間花瓣會慢慢內縮如圖61，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62，子房漸漸膨大如圖63，結成果實如圖64。圖65是花朵隨時間成長的過程。

			
圖56第25天長出花苞	圖59 第32天開第一朵花	圖60 花朵盛開明顯看見雌蕊及雄蕊	圖61 花瓣萎縮

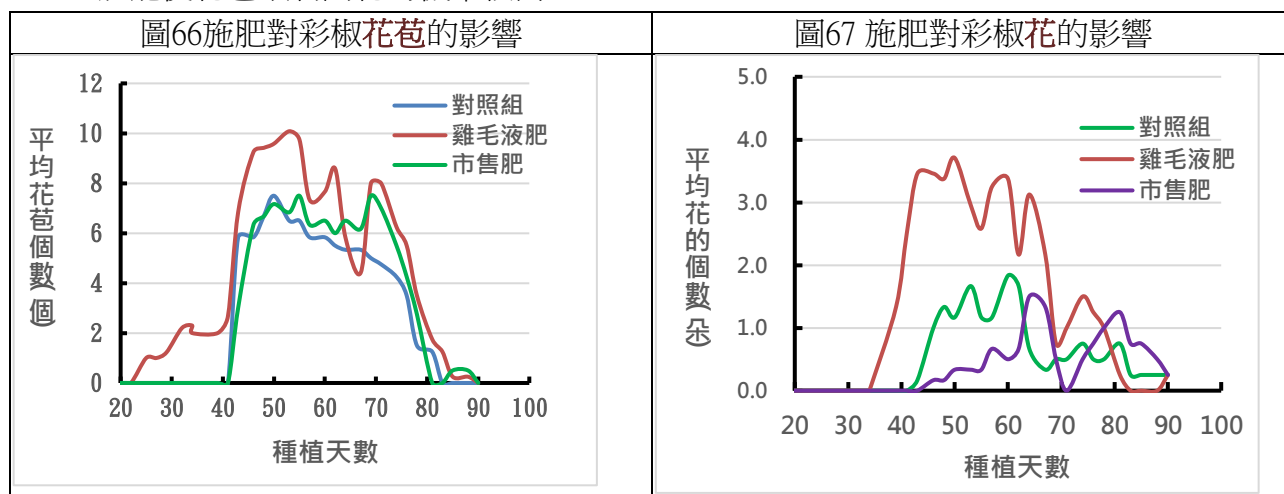
註:本圖片由指導老師拍攝

			
圖62 花瓣脫落	圖613子房漸漸膨大	圖64 開花後的21天果實 果實縱徑1.8 cm	圖65 由左而右是花的 成長過程

註:本圖片由指導老師拍攝

圖66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，而此時產生的養分大多供給果實生長。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67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，沒有太大差異。表示雞毛液肥能使花苞順利開花的機率較高。

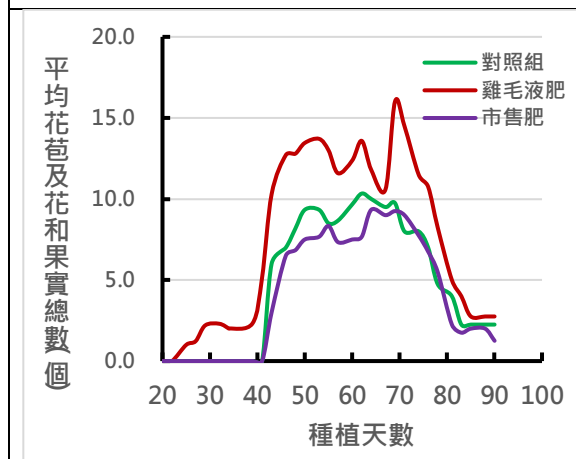


註:本圖片由第二作者繪製

每週三天記錄彩椒的花苞、花、果實的生長情形，約略在第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68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及結果。

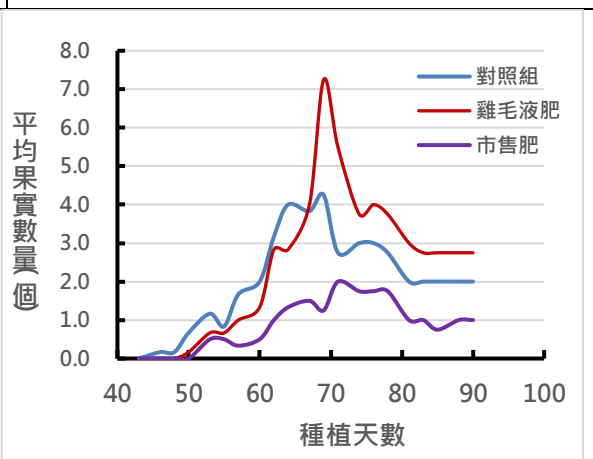
由圖69可看出雞毛組液肥大約每株是1.6個，和對照組相同，而市售肥組的果實數量平均每一株是一顆，因為有些市售肥組因為葉片萎縮而沒有結果;或是果實在生長過程中掉落而造成數量較少。由結果可知施肥對彩椒果實數量的影響不大。

圖68 施肥對彩椒的花苞及花和果實的影響



註:本圖片由第二作者繪製

圖69 施肥對彩椒果實數量的影響



實驗四彩椒果實大小的分析實驗

1. 實驗步驟

- (1) 每週一、三、五下午紀錄果實生長情形。
- (2) 最後一日量取果實的縱徑及橫徑的量測: **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。
- (3) 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。

花苞個數及開花時間及花朵個數及生長情形, 並拍照紀錄。

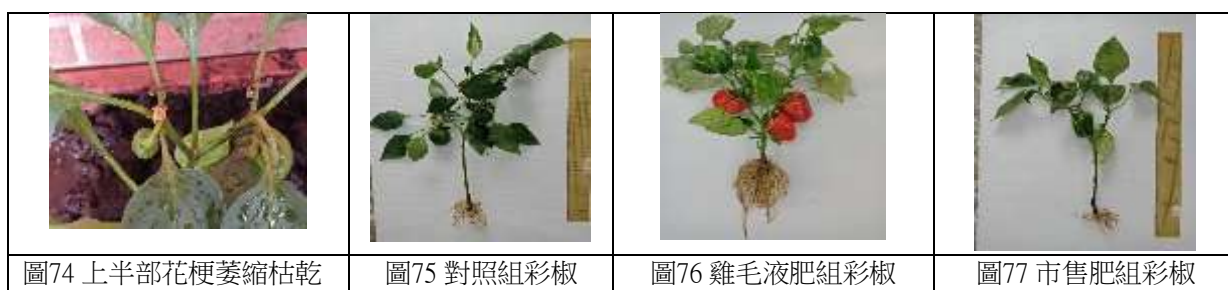
2. 實驗結果

(1) 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70、圖71, 且花梗較粗, 推測能提供較多養分(圖72)。大部分果實由凹陷處先由綠轉紅(如圖73, 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74。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75)、雞毛液肥組彩椒(如圖76)、市售肥組彩椒(如圖77)的果實。



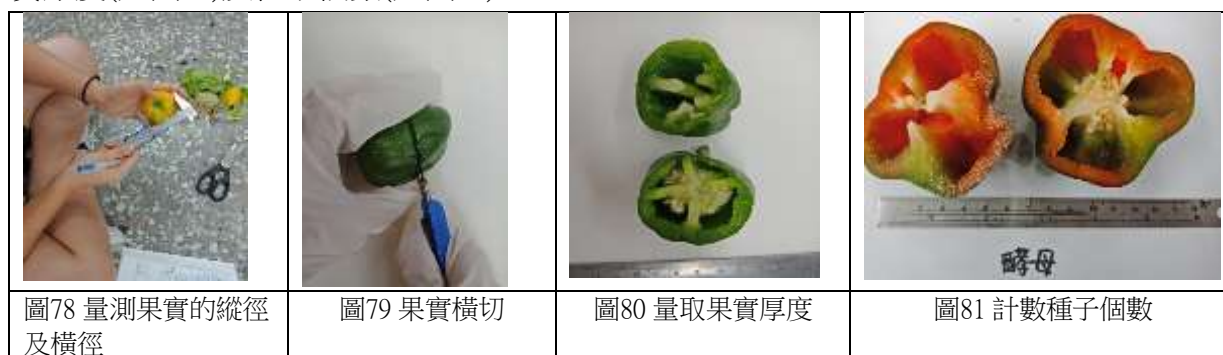
註:本圖片由指導老師拍攝



註:本圖片由指導老師拍攝

(2)果實縱徑及橫徑的量測結果

將種植120天後，量測果實的縱徑及橫徑(如圖78)，然後將果實橫切(如圖79)量取果實厚度(如圖80)及種子個數(如圖81)。



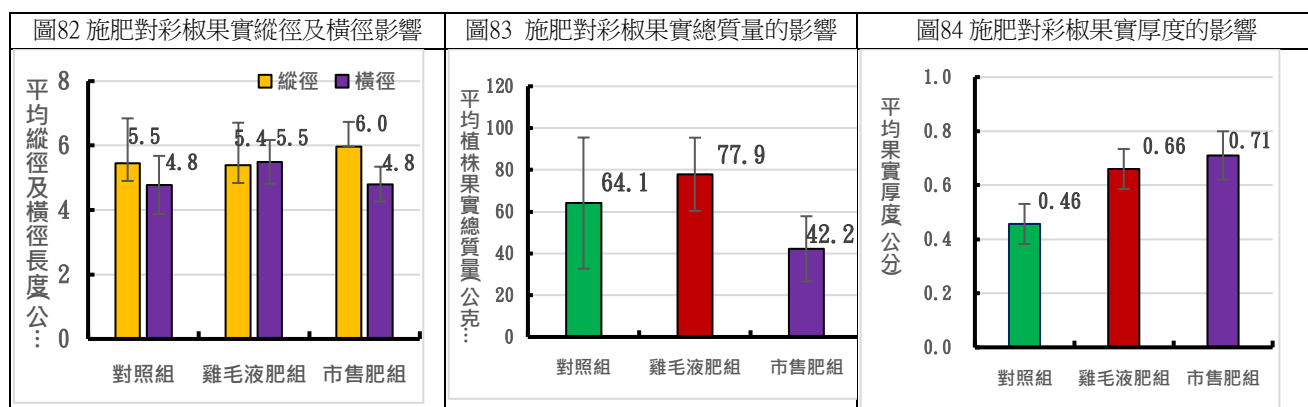
註:本圖片由指導老師拍攝

施肥對彩椒果實縱徑及橫徑的影響結果如下圖82，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。

(3)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。

施肥對彩椒果實總質量的影響如下圖83，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約重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增加果實的重量。

施肥對彩椒果實厚度的影響如下圖84，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

實驗五 彩椒果實甜度的分析實驗

1. 實驗步驟

(1) 本氏液測糖實驗分析彩椒果實甜度

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。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℃ 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 **Image** → **color** → **split channels**，點選 **Red** 那張照片，再按 **Analyze** → **measure** 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。

C. 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 20 mL 的乙醇萃取汁液，然後將液體放入離心管中以轉速為 3000 rpm，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℃ 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。

2. 實驗結果

(1) 彩椒甜度實驗結果

A. 葡萄糖檢量線的製作結果

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85)，及配置本氏液(如圖86、圖87)，取 10 mL 的葡萄糖溶液加入 10 mL 的本氏液放入燒杯中(如圖88)，然後以電晶爐隔水加熱的方式(如圖89)，加熱後溶液顏色如圖

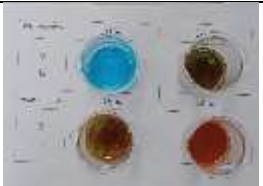
104所示。濃度高的葡萄糖溶液較快變成紅色(如圖90)，記錄溫度到達70℃時，各個燒杯的照片顏色(如圖91～圖96)，將反應後的葡萄糖溶液，靜置一晚，再以濾紙過濾(如圖97、圖98)，可看見明顯的紅色沉澱物((如圖99、圖100)。以Image J分析不同葡萄糖濃度與本氏液反應後照片中的R值強度，結果如表(一)所示，製作葡萄糖與本氏液的檢量線(如圖101)，方程式為 $y=5.2894x-0.1252$ ， $R^2=0.9814$ 。依此方程式可推算出彩椒果實中葡萄糖的重量百分濃度。

			
圖85 配置不同濃度的葡萄糖溶液	圖86 置A液和B液	圖87 配置完成的本氏液	圖88 葡萄糖溶液與本氏液混合

註:本圖片由指導老師拍攝

			
圖89 加熱葡萄糖與本氏液溶液	圖90 溶液顏色漸漸改變	圖91 本氏液檢測葡萄糖最後顏色結果	圖92 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93 8%葡萄糖～12%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色	圖94 4%葡萄糖～18%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色	圖95 20%葡萄糖～24%葡萄糖與本氏液加熱後的顏色	圖96 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

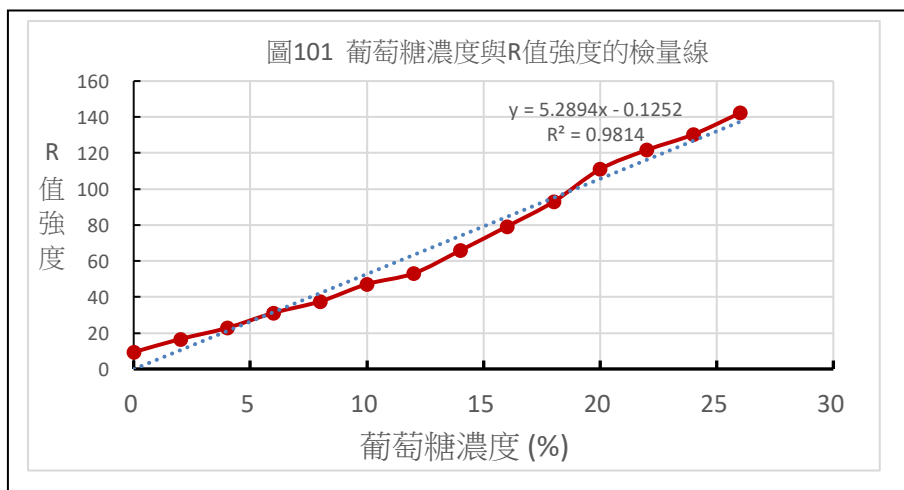
			
圖97 濾葡萄糖與本氏液加熱後的溶液	圖98 濾紙上有紅色的沉澱反應物	圖99 乾燥濾紙上有紅色的沉澱反應物	圖100 乾燥濾紙上有紅色的沉澱反應物

註:本圖片由指導老師拍攝

表(三) 本氏液測糖試驗照片中的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℃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℃時，彼此顏色差異較顯著，所以加熱至70℃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。

B.彩椒含糖量檢測結果

取10 g的彩椒果實加入10ml的乙醇放入果菜榨汁機中，設定計時器(如圖102)，啟動果菜榨汁1分鐘(如圖103)，將果實液體倒入錐形瓶中(如圖104)，再將果實汁液放入離心管中，以3000rpm的轉速離心3分鐘(如圖105)，再抽取上方澄清液以小飛碟過濾，放入離心管中備用，為彩椒果實萃取液(如圖106)。以移液管吸取10 ml果實萃取液(如圖107)，再加入10 ml的本氏液，放入燒杯中進行隔水加熱，溶液溫度到達70℃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108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109，可發現雞毛液肥組的彩椒果實平均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彩椒果實甜度，本實驗中發現使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

實驗六 彩椒果實抗氧化能力的分析實驗

1.實驗步驟

利用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。

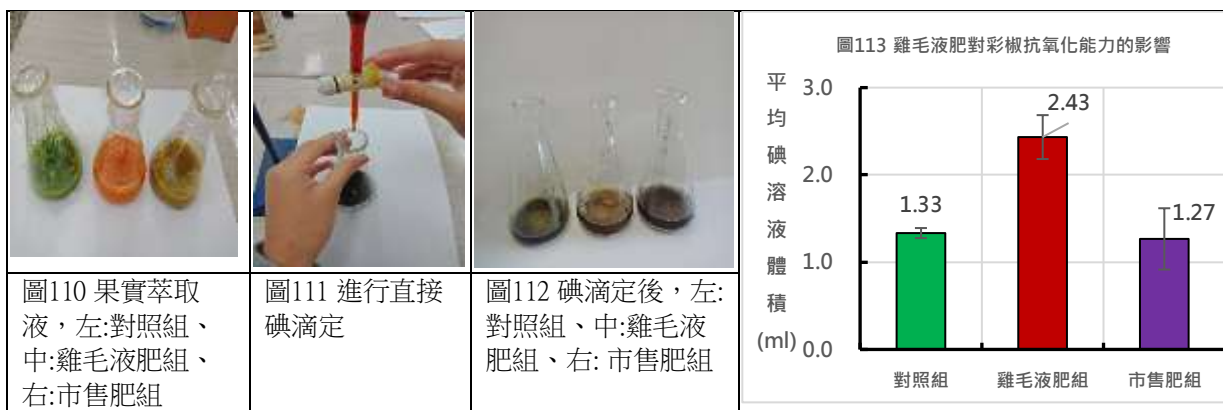
(D)以 0.010M 碘標準液，滴定至變為藍黑色即為滴定終點。

(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。

2.實驗結果

移液管吸取10 ml 的果實萃取液放入錐形瓶中(如圖110)，然後滴入硫酸及澱粉液，再以0.05M的碘液進行滴定(如圖111)，不斷搖晃到產生藍黑色(如圖112)，記錄滴定用去的碘液體積(如圖113)，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

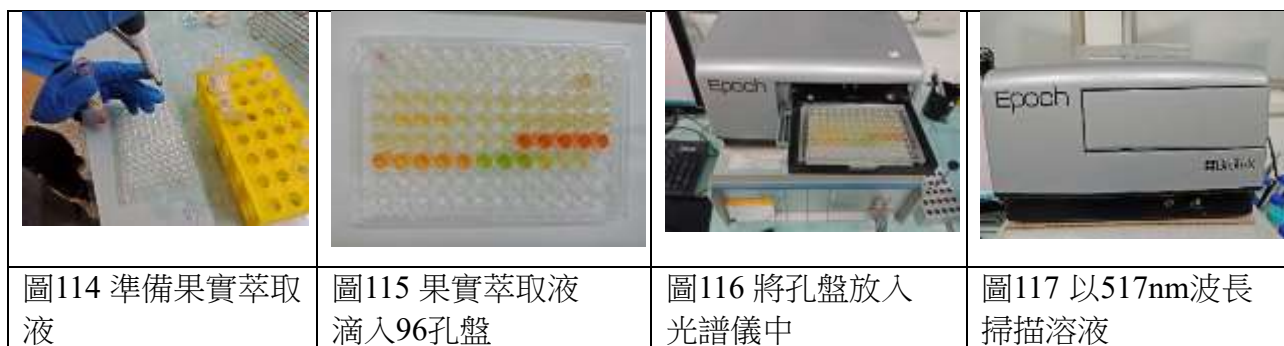
實驗七 彩椒果實汁液清除DPPH自由基能力分析

1.實驗步驟

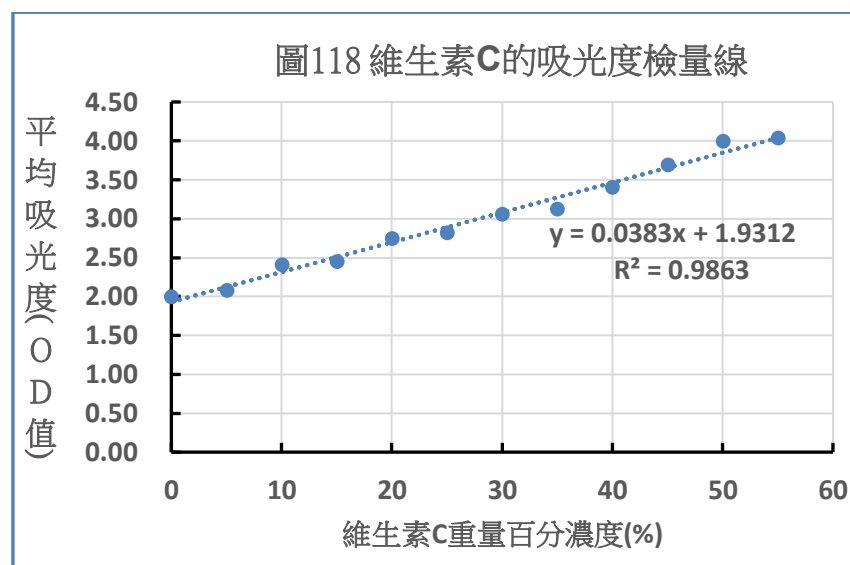
- (1)取0.003 g 的 DPPH 固體，溶於甲醇成為50 ml 的0.20 mM 的DPPH溶液。
- (2)分別取100 μ l的果實萃取液(如圖114)，置於塑膠96孔微量盤內(如圖115)，再依序加入100 μ l DPPH甲醇溶液，震盪混合均勻後，避光靜置，於室溫下反應30min。然後放入光譜儀中(如圖116)，測其在波長517nm下之吸光值。每一樣品重複實驗三次。
- (3)製作標準品維生素C定量檢量線:以蒸餾水配置重量百分比為2%、4%、6%~20%的維生素C溶液，取100 μ l的維生素C溶液及100 μ l的 DPPH甲醇溶液，放入96孔盤中，測其在波長517 nm下之吸光值(如圖117)，建立維生素C的檢量線(如圖118)。將DPPH自由基清除百分率換算成維生素C相對含量。
- (4)另取純水，當作空白實驗。

2.實驗結果

以維生素C製作出清除DPPH自由基能力的吸光度檢量線，維生素C重量百分濃度與吸光度之間的關係方程式為 $y=0.0383X+1.9312$ ， $R^2=0.9863$ 。可由此關係方程式推算出彩椒果實汁液清除自由基的能力(如圖119)。



註:本圖片由指導老師拍攝

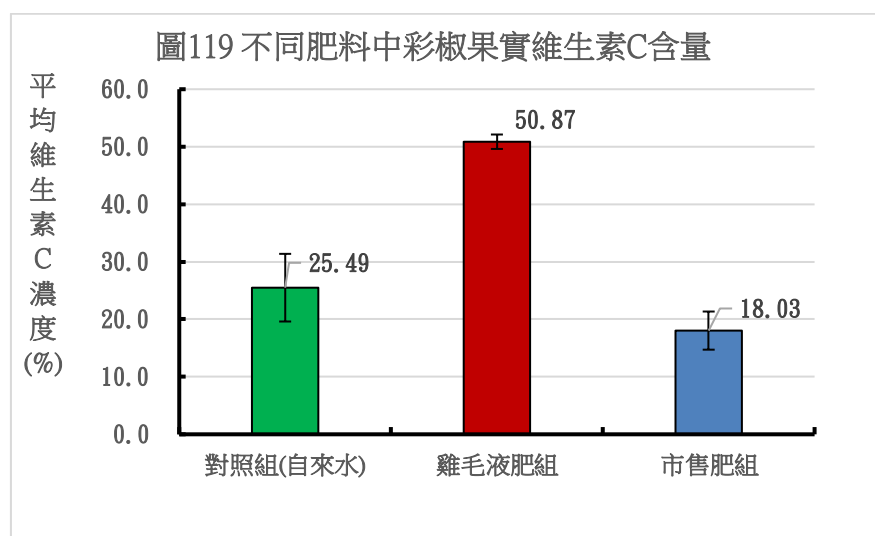


註:本圖片由指導老師繪製

表(四) 施肥對彩椒果實汁液清除DPPH自由基能力

實驗次數	對照組(自來水)	雞毛液肥組	市售肥組
第一次	2.853	3.899	2.592
第二次	3.221	3.979	2.826
第三次	2.821	3.895	2.631
平均	2.965 ± 0.222	3.924 ± 0.047	2.683 ± 0.125

平均值±1個標準差



註:本圖片由指導老師繪製

可發現雞毛液肥組的彩椒果實汁液清除自由基能力的吸光度為3.92，依據檢量線換算大約是重量百分濃度為52.87%的維生素C；市售肥組的果實汁液清除自由基能力的吸光度為2.68，大約是重量百分濃度為18.03的維生素C；對照組的果實汁液清除自由基能力的吸光度為2.97，大約是重量百分濃度為25.49%的維生素C，可發現雞毛液肥組的彩椒果實汁液清除自由基的能力約是市售肥組的2.82。以雞毛液肥灌溉的彩椒果實其清除自由基能力較強。

實驗八 彩椒種子分析實驗

1. 實驗步驟

將果實橫切剖開，觀察種子的生長情形，並且細數種子的個數。

2. 實驗結果

質量較重的彩椒果實種子顏色呈現白色而且顆粒較大，質量較小的彩椒果實種子顆粒較小且顏色呈現褐色。

將果實切開(如圖120)並計數種子個數(如圖121)，結果如圖122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

二、比較雞毛液肥與市售肥對福山萵苣生長之影響

雞毛液肥除了有助於彩椒果實類的蔬菜有影響之外，想進一步了解其對葉菜類蔬菜的影響 所以選用常見的福山萵苣(俗稱大陸妹)，比較雞毛液肥與市售肥對於福山萵苣的的影響。

實驗九 福山萵苣種子消毒及育苗

1. 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123)，種子長度約 0.40 cm～0.50 cm(如圖124)，將種子放入55℃溫水中(如圖125)，不斷攪拌，在10分鐘內使水溫降至30℃，然後用清水洗淨，浸泡 4～5小時，用紗布包好，放在 25℃～28℃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公分管，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126、圖127、圖128)。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.實驗結果

先將培養土混合均勻再平分到三個盆子裡(如圖129)，將種於土壤七天後的福山萵苣小苗(如圖130)，長出兩葉小苗後分種於盆栽中(如圖131)。每週一、三、五量取福山萵苣高度(如圖132)，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(五)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(六)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(五)福山萵苣種植第50天生長情形



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(六) 第四批福山萵苣種植第50天的結果比較

		
對照組	雞毛液肥組	市售肥組

註:本圖片由指導老師拍攝

實驗十 福山萵苣葉的分析

1.實驗步驟

將福山萵苣葉片摘下(如圖133)，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134)，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135)，即可換算成葉片總面積。

		
圖133 將福山萵苣連根拔出	圖134福山萵苣葉質量與葉面積	圖135 秤量福山萵苣質量

註:本圖片由指導老師拍攝

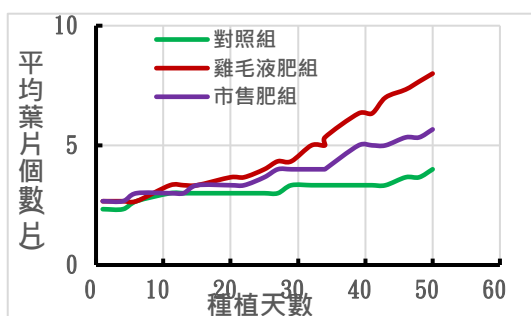
2.實驗結果

(1)福山萵苣葉的量測結果

福山萵苣種植50天，由圖136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，表示持續灌溉雞毛液肥確實能促進福山萵苣葉片的生長。

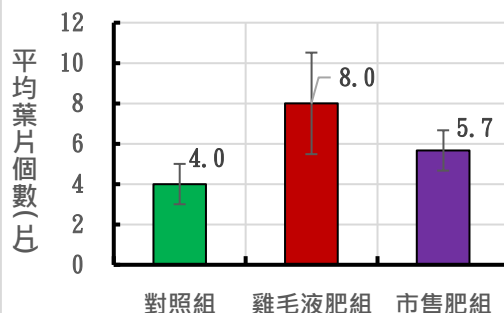
種植到第50天，量取福山萵苣平均葉片個數如圖137可發現，雞毛液肥組的平均葉片個數為8.0片，約比對照組高出4.0片，約比對照組高出約100.0%；市售肥組的平均葉片個數為5.7片，約比對照組高出1.7片，約比對照組高出42.5%。可看出澆灌雞毛液肥使其葉片個數增加不少，顯示雞毛液肥有助於福山萵苣高度的生長，其次是市售肥組。

圖136 不同液肥對福山萵苣葉片個數的影響



註:本圖片由第二作者繪製

圖137 不同液肥對福山萵苣葉片個數的影響

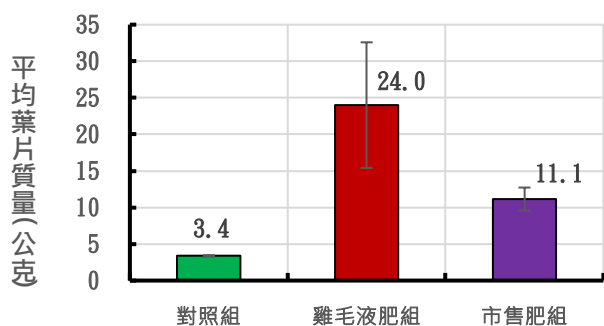


(2)最終日葉片總面積的量測

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138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。

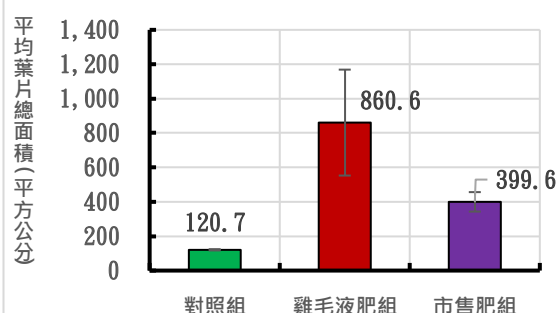
以紙片描繪出福山萵苣的葉片外觀，再依據另一已知紙片的質量及面積，換算出葉片質量和面積的關係(如圖139所示)，可以發現雞毛液肥明顯增加福山萵苣的葉片總面積。

圖138 不同液肥對福山萵苣葉片質量的影響



註:本圖片由第二作者繪製

圖139 不同液肥對福山萵苣葉片總面積的影響



實驗十一 福山萵苣高度分析

1.實驗步驟

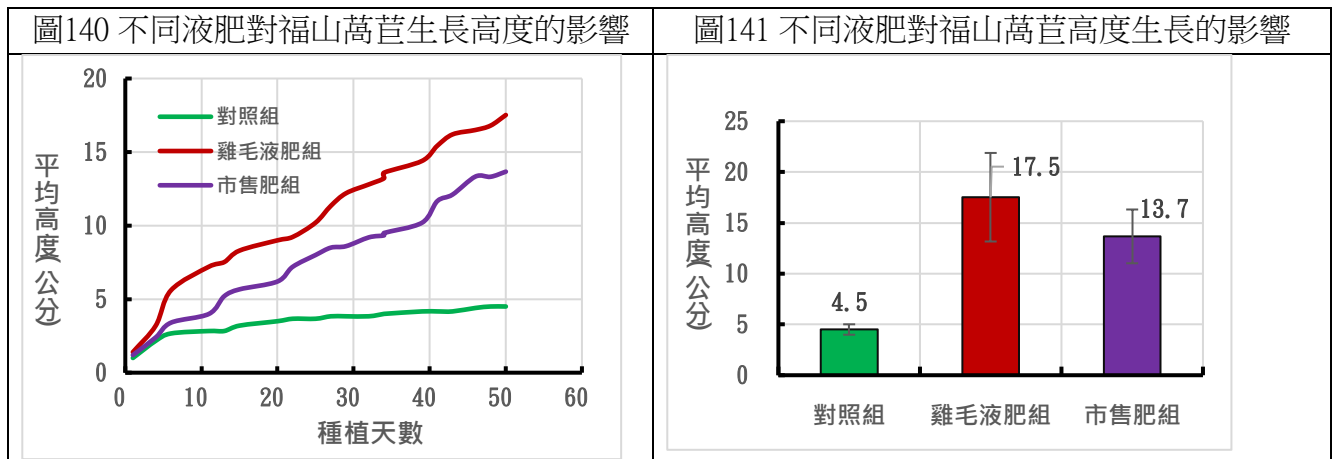
將種植的福山萵苣，每周一、三、五量測其葉片最高點，因為福山萵苣的莖被葉片包在最裡面，不易測量。最後一次觀察日，將其連根拔起，進行拍照並量測高度。

2.實驗結果

由圖140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。而對照組只有灌溉自來水，所以生長平緩。

由圖141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，比對照組高出13.0 cm，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。其中雞毛液肥組生長情形比較優於市售肥組，且市售肥組優於對照組。



註:本圖片由指導老師繪製

實驗十二 福山萵苣根的分析

1.實驗步驟

取一個25mL量筒，裝入10mL的蒸餾水，將待測植物(如圖142)的根部切下(如圖143)，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144)。



註:本圖片由第一作者拍攝

2.實驗結果

種植 50 天後將福山萵苣連根拔出(如圖145)，進行量測比較(如圖146)，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147)，沒入液面下方，利用排水法量測植物根系總體積。

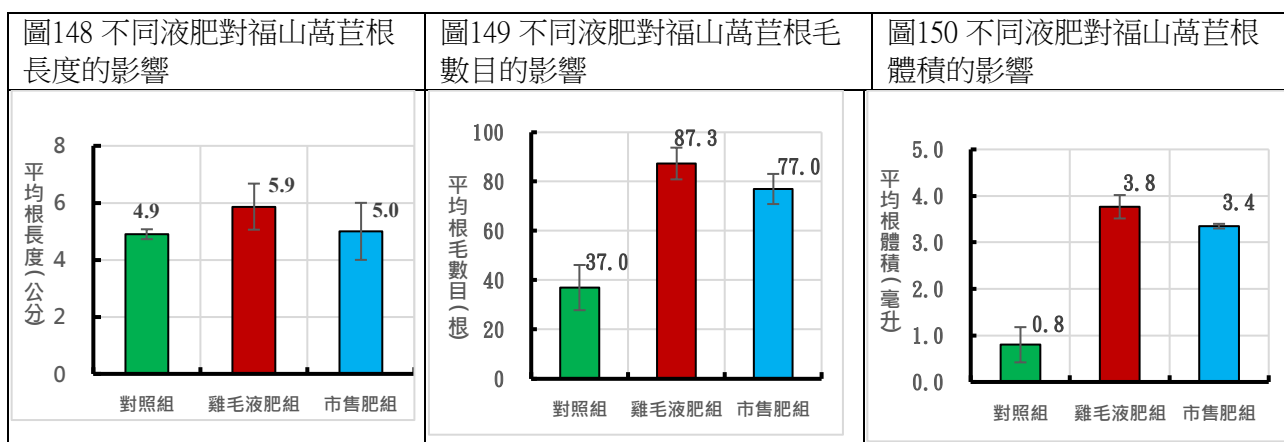


註:本圖片由指導老師拍攝

由圖148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149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150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3.0 ml，多出約375.0%；市售肥組的平均根體積為3.4 ml，高出對照組平均體積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

捌、研究討論

一、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，需要養分漸增，然而澆灌自來水的對照組，因為土壤中養分明顯不足，所以生長情形較差，而雞毛液肥組因能獲取雞毛中含氮的養分，所以生長情形較佳。

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，因為除了土壤中的養分外，還額外獲取雞毛液肥中胺基酸的養分，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，沒有花朵則無法形成果實。

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，推測是原因，花已凋謝，無法長成果實的緣故。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，約比對照組多出60.3%，比市售肥組多出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，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是根部先吸收養分，運輸到葉片進行光合作用，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。

二、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，雞毛液肥確實能提供福山萵苣葉片生長時所需的養分。雞毛液肥對福山萵苣葉片生長的影響大於對彩椒的影響，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。

三、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，而且雞毛液肥較易被植物根部吸收，但也較易流失於土壤中。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(七) 雞毛液肥與市售肥成分特性的比較

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 ¹⁵ 。(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 ¹⁵ 。(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。

四、彩椒及福山萵苣生長所需養分的討論

一般而言，生長初期吸收的量少，吸收強度亦較低，隨著生長階段的變化，作物對營養元素的吸收量逐漸增加，通常在開花或結果期達到吸收的高峰，到了成熟階段則又漸漸降低對養分的需求。有機栽培的土壤因含大量的有機態營養元素及大量的微生物族群，因此植物在不同生育階段所需要的養分，可透過植物根系的主動吸收及與共生或協生之微生物分解有機態營養元素 達到一種巧妙的供需平衡¹³。

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，而啤酒酵母分解四周後產生的胺基酸濃度約為0.17M，分解的時間可能還要再更長，才能提升分解效果，所以希望以後再尋找更好的菌種來分解雞毛，提升雞毛的利用價值。

玖、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，確實能達到滅菌的效果，減少雜菌在啤酒酵母分解雞毛實驗中的干擾。實驗證明透明的夾鏈袋不會阻擋紫外線殺菌效能。

二、啤酒酵母分解雞毛液體中胺基酸含量

啤酒酵母菌分解雞毛一個月後的雞毛液肥中，含有胺基酸濃度約為0.17 M，市售肥中胺基酸濃度約為0.03 M。雞毛液肥中的胺基酸濃度約是市售肥的5.67。

三、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。

四、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。

拾、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農業科普文章。
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. 孫睦桓等(民103)。羽毛特徵與功能探討。中華民國第54屆中小學科學展覽會作品說明書。

- 4.陳爽華等(民 106) 。輕鬆種好菜-紅糟堆肥再生紙。中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書。
- 5.王亭歲等(民 110) 。以藻類淨 化畜牧廢水並進行後續藻體加值利用。中華民國第 61 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 6.王郁晴等(民 95) 。蔬果與飲料總抗氧化活性之研究。中華民國第 46 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 7.黃瓊徵等(民 112) 。羽毛不見了。中華民國第 63 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 8.蔡婷卉等(民113) 。廢羽翻轉變綠金-雞毛化身為蔬果的養分。中華民國第64屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 9.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。
- 10.[碘量法 - 維基百科，自由的百科全書 \(wikipedia.org\)](https://zh.wikipedia.org)
- 11.比爾朗伯定律 維基百科。
- 12.沈馨仙等(民99) 。抗氧化劑及常見之抗氧化活性評估方法。藥學雜誌第26卷第2期。
- 13.茚三酮顯色原理-維基百科。
- 14.陳吉村(民 93) 。有機栽培之養分供應與作物生長。花蓮區有機農業生產技術研討論文集 p.45-50。
- 15.nana(民 97) 。[請問學習如何種植甜椒](http://www.coa.gov.tw)。農業知識入口網 (coa.gov.tw) 。

【評語】 060006

1. 本研究在探討自製肥料對蔬果生長的影響。實驗以羽毛廢棄物為材料，利用啤酒酵母菌進行雞羽毛分解製作雞毛液肥，進一步以雞毛液肥灌溉彩椒，其果實總質量比市售肥組高出 84.6%，果實中含有之葡萄糖濃度比市售肥組多出 49.7%，此外抗氧化能力亦有增進。而雞毛液肥處理的福山萵苣的葉片總質量比市售肥組多出 116.2%。
2. 實驗成果相當豐碩，並具有未來應用價值。
3. 利用羽毛水解物當植物生長劑已是商業化的產品，本作品的創新處，需要說明。
4. 養分的效果如何，與濃度有關，因為只各做一組實驗，不知道如何決定雞毛液肥與市售肥的濃度。