

# 中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 化學科

第一名

080201

鳳梨「酵」一下-鳳梨酵素活性與應用價值之探究

學校名稱： 國立嘉義大學附設實驗國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳曉玄	劉恬如
小五 施佑蓁	張瑩涓
小六 莊晏瑜	
小五 張晏熙	
小五 陳芊榕	
小五 紀妍伶	

關鍵詞： 鳳梨、蛋白酵素、活性

## 得獎感言

### 榨出鳳梨的汁，也榨出我們的堅持

當主持人唸出：「得獎的是……」，全場屏息以待，我們心跳加速，既緊張又期待。這一刻，象徵著我們將近一年的努力終於開花結果。有如我們在台積創新館參訪時看到一句話：「嚴峻的挑戰後面是美好的未來。」如今終於能深刻體會，這份榮耀是我們團隊共同堅持的成果。

這趟科展旅程中，我們經歷了許多挑戰。下課時間衝進實驗室、午休還在做實驗、分析數據卡關、實驗前功盡棄，只能重來。還好有隊友彼此扶持，晚上查資料、討論到深夜，才能一步步走到今天。這段旅程讓我體悟到，不怕困難、不懼挑戰、堅持到底，才能走向成功。

我們最初想做的是鳳梨酵素對肉質軟化的實驗，但過程中困難重重，例如樣本不穩定導致無法測量，最後我們改用吉利丁蛋白質進行實驗，完美的解決了控制變因的問題。而當大家使用比色卡而意見不合時，我們曾用投票決定，但老師後來提供給我們自製光譜儀的想法，讓我們可以更客觀地觀察顏色，這樣的經驗教會了我們對科學的嚴謹。

做科展讓我們學到很多課本以外的知識，也真正明白團隊合作的重要性。我們要互相聆聽與幫助，才能把實驗做好。像我們在擠鳳梨葉的汁液時，一開始完全擠不出來，後來嘗試剪碎、榨汁、再擠，才終於成功。

在平常練習時，我們都需要在課後時留下來，而讓我覺得練習時最困難的地方就是練習口頭報告與問答，大家可能會想說：「口頭報告有什麼難的，不就把稿背下來然後把唸出來而已嗎？」但是在我們的報告中，有的人要負責拿平板，有人要拿紀錄簿，這時就得培養默契了。面對評審提問時的緊張與壓力，有時甚至會因不同意見產生衝突，但我們一步步克服了。這次能得獎不是因為我們特別

聰明，而是我們選擇努力，選擇不放棄。

在這次全國賽中最讓我印象深刻的是報告的過程。雖然緊張，但我們努力撐住，晚上一有不會的地方就和老師、同學一起查資料，想辦法補充說明。我也慢慢能理解那些原本很難懂的轉換公式，像是比爾定律、莫耳數等，讓我產生了對科學更深的興趣。

其實真正去過全國賽才知道，那是一個眾星雲集的地方，大家都很厲害，自己不努力，很快就會被超越。經歷過的艱辛，卻也讓我們逐漸變得更強。得獎時我當然很開心，但回家後卻發現一切都彷彿結束了，但那些日子的訓練、打氣、期待，就像一段精彩的故事，封存在我們心中。

這段科展的旅程，讓我們學會了堅持、努力與團隊合作的可貴，也點燃了我們對科學與探索的熱情，這不僅是一場比賽，更是一段深刻的成長與回憶。



作者合影



作者合影



師生合影

## 摘要

本研究主要探討鳳梨各部位的蛋白酵素活性差異並評估其潛在應用價值。實驗針對鳳梨的果肉、皮、冠芽、葉及芯等部位進行分析，透過分解明膠實驗與酵素活性測定，探討其在不同溫度與酸鹼值環境下的酵素活性變化。結果顯示，鳳梨尾的蛋白酵素活性最高，其次為鳳梨頭、皮與芯，冠芽與葉的活性則相對較低，但整體差異不大。抑菌實驗顯示，各部位皆具有抑制細菌生長的效果，表示在食品保存或抗菌應用上有一定的潛力。本研究證實鳳梨不同部位皆含有蛋白酵素，顯示葉、冠芽、皮等副產物具有再利用的可能性。若能進一步改良萃取方式、提升酵素濃度，未來可望增加鳳梨副產物的應用價值，為食品加工與農業廢棄物再利用提供重要的參考依據。

## 壹、研究動機

過年期間，年菜大魚大肉一桌接一桌，吃得很開心，但吃完後肚子常覺得撐、很不舒服！這時長輩總會說：「吃點水果，幫助消化！」但水果種類這麼多，哪一種最有效呢？我們發現，鳳梨不僅酸酸甜甜很好吃，還含有一種厲害的「酵素」，就像小剪刀一樣，能把蛋白質剪開、幫助消化。這讓我們開始好奇：除了果肉，那些看起來沒什麼用的鳳梨皮、葉子和冠芽，會不會也含有這種酵素呢？如果這些副產物也有高酵素活性，就有機會讓農業廢棄物變成有價值的資源！為了找出答案，我們決定以科學的方法探究鳳梨不同部位的蛋白酵素活性。未來若能應用於食品加工，例如製作嫩肉醃料或開發幫助消化的健康產品，將為資源再利用與永續發展開創新方向。我們希望透過這項研究，讓大家重新認識鳳梨的神奇力量，發現那些原本「被丟掉的寶藏」也能閃閃發光！

## 貳、研究目的

- 一、探討不同水果中的蛋白酵素活性差異。
- 二、探討鳳梨不同部位的蛋白酵素活性差異。
- 三、探討不同環境條件下對鳳梨蛋白酵素活性的影響。
- 四、探討鳳梨的抑菌效果與其應用潛力。

## 參、文獻回顧與整理

### 一、歷屆科展關於「鳳梨酵素」的主題整理 (由作者群彙整製表)

全國 科展 屆別	作品名稱	使用 鳳梨部位	酵 素 活 性	量 化 活 性	抑 菌 效 果	洗 淨 力	酵素 應用	啟發
64	「鳳」中奇緣－探討鳳梨牛奶的反應情形及其應用	果肉、果心	✓	✓			薄膜	鳳梨具蛋白酵素與抗氧化能力。
60	研洗攻略～探討果皮酵素的洗淨力	鳳梨果皮				✓	清潔	鳳梨果皮酵素清潔效果佳。
55	酵素洗衣真速效	無鳳梨				✓	洗衣	酵素對蛋白質型污垢的效果強。
54	凍未條～吉利丁與水果酵素的邂逅	鳳梨、奇異果					果凍	鳳梨酵素會影響果凍凝結效果。
53	龍鳳橙祥～鳳梨皮調味紙	鳳梨皮					調味紙	鳳梨副產物具再製加工潛力。
53	酵果十足酵 CC～	鳳梨等多種水果	✓	✓			無	酵素活性易受溫度與環境干擾。
52	鳳梨皮再生－廢棄物利用之研究	鳳梨皮			✓	✓	肥皂	鳳梨皮具大腸桿菌抑菌效果。
47	天然環保清潔液大搜尋-台灣鳳梨新發現	鳳梨原汁				✓	洗劑	鳳梨具去油漬效果，可替代洗劑。
16	鳳梨酵素研究	果肉、果心、果皮、殘莖	✓	✓			肉質軟化	粗製鳳梨酵素以硫酸銨法所得之酵素活性最高

### 二、鳳梨簡介

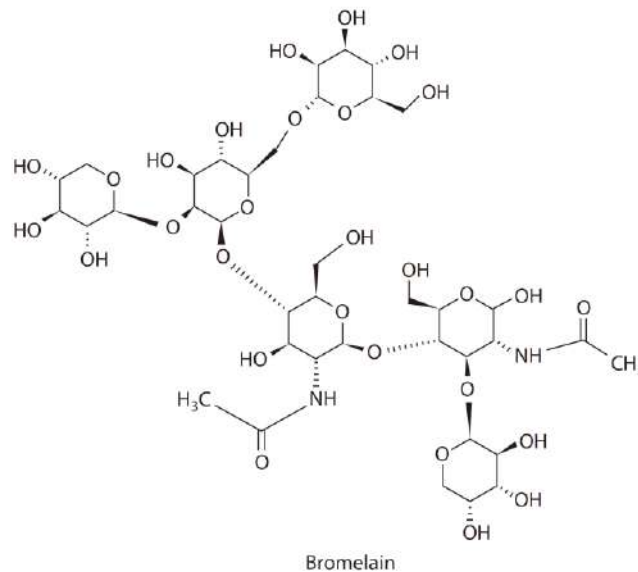
鳳梨的英文名是 **pineapple**，學名是 *Ananas comosus*，屬於鳳梨科（**Bromeliaceae**）鳳梨屬（**Ananas**），為多年生草本植物，原產於南美洲，適應熱帶至亞熱帶地區的氣候。鳳梨果實的外觀呈圓形或橢圓形，表面覆蓋著硬皮，內部則為多汁的果肉。鳳梨的葉子呈劍形，環狀排列，形成螺旋狀結構。鳳梨開花時，許多小花密集排列成花序，每一朵花皆能發育成一個小果實，而這些小果實會聚集融合在一起，最終形成可食用的「聚合果」。其主要以無性繁殖方式進行繁殖，透過裔芽、頂芽或根莖栽培，以維持品種穩定性與生產效率。

嘉義縣位於台灣南部，北回歸線橫跨其間，而鳳梨田遍布嘉義縣市交界地帶，尤其是民雄鄉。民雄鄉位於嘉南平原東緣，屬於淺山區，地形以山坡與臺地為主，土壤排水良好，主要為礫石混合土壤，極適合鳳梨種植。當地的東興、三興、松山及大崎四村，因大量栽種



「金鑽鳳梨（台農 17 號）」有「金鑽鳳梨之鄉」的美譽，其品種市佔率高達九成，特性為甜美多汁、果芯較大且口感爽脆。

鳳梨除了可食用，還具多樣的應用價值。如鳳梨含有蛋白酵素（**Bromelain**），化學結構如下，具有分解蛋白質的特性，可應用於保健食品、美容護膚產品與醫藥領域，具抗發炎與促進消化等功效。果皮與葉片則能加工製成環保材料、飼料或清潔用品，增加農業副產物的回收。隨健康與環保意識的提升，鳳梨的應用已拓展至食品、醫藥及工業領域，展現出高度的經濟價值。



(圖片引用自 *Handbook of Functional Beverages and Human Health* (chapter 40)，詳如參考資料十一。)

### 三、酵素簡介

酵素（**Enzyme**），又稱「酶」，是一類具有催化功能的蛋白質，能加速或促進生物體內的化學反應。酵素與特定的受質（**substrate**）具有專一性，就像鑰匙與孔，只能作用於特定的物質，並將其分解成小分子產物。例如，澱粉分解酵素可以把澱粉分解成糖，而蛋白酵素，像是鳳梨酵素，則專門分解蛋白質。將大分子的蛋白質分解成較小的胺基酸。這些胺基酸是我們身體所需要的營養素，有助於建構肌肉、修復組織並參與各種生理過程。

酵素的活性會受到溫度、酸鹼值（**pH**）等因素的影響。當溫度過高時，酵素結構可能發生變性，導致催化功能喪失；溫度過低則會降低酵素的動能，使反應速率變慢。每種酵素都有一個最適作用的溫度與酸鹼值範圍，若 **pH** 值偏離範圍，酵素結構將改變，進而影響催化的活性。還有酵素的濃度越高，則可催化的反應就越多，反應速率也會增加。不過，當酵素濃度過高時，反應速率也會趨於飽和狀態，此時即使再增加酵素濃度，也無法加快反應速率。

另外，抑制劑與促進劑也會影響酵素活性，因抑制劑可與酵素結合，阻礙催化功能，而促進劑則能增強酵素活性，讓反應更加順利進行。其中，**EDTA-2Na**（乙二胺四乙酸二鈉）

是一種常見的金屬螯合劑，它可以抓住像鈣離子（ $\text{Ca}^{2+}$ ）、鎂離子（ $\text{Mg}^{2+}$ ）這類的金屬離子。有些酵素需要這些金屬離子才能正常運作，若當 EDTA-2Na 與金屬離子螯合後，酵素就可能失去活性或讓反應變慢。

#### 四、光譜簡介

吸收光譜（Absorption Spectrum）是指物質會吸收特定波長光的現象。當白光（包含所有可見光範圍的波長）通過物質時，物質會吸收特定波長的光，那些未被吸收的光則可能被反射或穿透物質。而藉由觀察吸收光波長範圍，可以進一步推測物質的成分。

比爾定律（Beer-Lambert Law）指的是物質對光的吸收程度與其濃度及光路徑長度之間的關係。當光通過一個均勻溶液時，吸光度（Absorbance,  $A$ ）與物質濃度( $c$ )及光的路徑長度( $l$ )成正比。如以下公式：

$$A = \epsilon \times c \times l$$

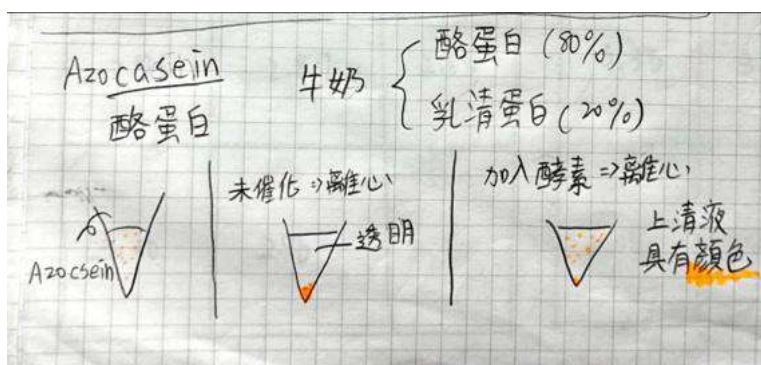
$A$  為吸光度， $\epsilon$ 為摩爾吸光係數， $c$  為物質的濃度， $l$ 為光穿過溶液的路徑長度。此關係式說明當物質濃度增加時，吸收的光能也隨之增加。若要換算吸光度與透光度的關係可透過以下公式表示：

$$A = -\log_{10} \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

$I_0$  為入射光強度（光源照射樣品前的光強度）， $I$  為透射光強度（樣品吸收後的剩餘光強度），這個公式說明光被樣品的吸收程度，吸光值越高，表示樣品吸收的光越多，透射的光越少，也代表溶液中的物質濃度較高。

#### 五、偶氮酪蛋白

偶氮酪蛋白（Azocasein）是一種經過偶氮化修飾的酪蛋白，常用於蛋白酶活性測定。當蛋白酶水解偶氮酪蛋白後，會釋放出可溶性的偶氮化胜肽片段，這些胜肽片段在特定波長（440 nm）下具有明顯的吸收峰。可以定量評估蛋白酶活性，吸光值越高酶的活性越強。。



圖一：利用偶氮酪蛋白測量蛋白酶活性示意圖(由作者群彙整製圖)



## 肆、研究設備及器材

### 一、研究設備及器材

#### 1. 材料：

實驗材料	來源	實驗材料	來源	實驗材料	廠牌	實驗材料	廠牌
黃奇異果	全聯	紅肉火龍果	全聯	明膠粉末	瑞豐公司	偶氮酪蛋白	sigma
綠奇異果	全聯	白肉火龍果	全聯	小蘇打粉	耆盛	乙二胺四乙酸二鈉(EDTA-2Na)	帝一化工
柳丁	全聯	檸檬	全聯	醋酸	城乙化工	3M™ Petrifilm™ 總生菌數快檢片	3M 公司
橘子	全聯	木瓜	全聯	鳳梨	台農 17 號		


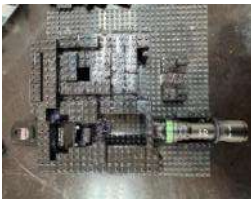
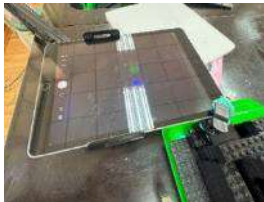

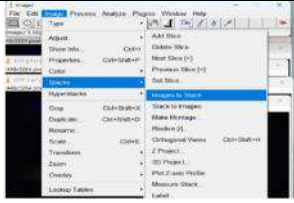
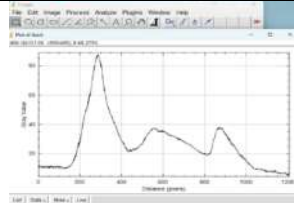
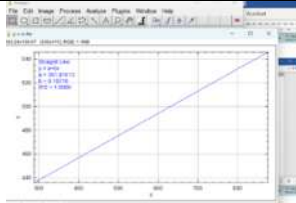

#### 2. 器材：

實驗器材	廠牌或規格	實驗器材	廠牌或規格	實驗器材	廠牌或規格
培養皿	6 well	燒杯	250 mL	捲尺	150cm
比色管	方型 4.5mL	黑色積木	樂高	手機光譜儀	SciView
試管	10mL	研鉢	9*4.2cm	手機顯微鏡	uHandy
冰棒棍	114*15*2 mm	果汁機	JPT SJ-1788	pH 值測量儀器	邁多 GB-5011
量筒	100 mL	溫度計	NO.2483	水浴槽	正上
離心管	50mL/1.5mL	鑷子	16.5cm	恆溫培養箱	博高 DB-150
拭鏡紙	Kimtech	水果刀	12.5*24 cm	微型離心機	CuBee
滴管	3 mL	手電筒	EDS-G704	微量滴管	ThermoFisher
過濾袋	13*15 cm	微量天秤	盛力捷 STXC623L	標準印刷濃度 演色表	美術用品社

### 二、自製光譜平台測量儀器(由作者群彙整製圖)

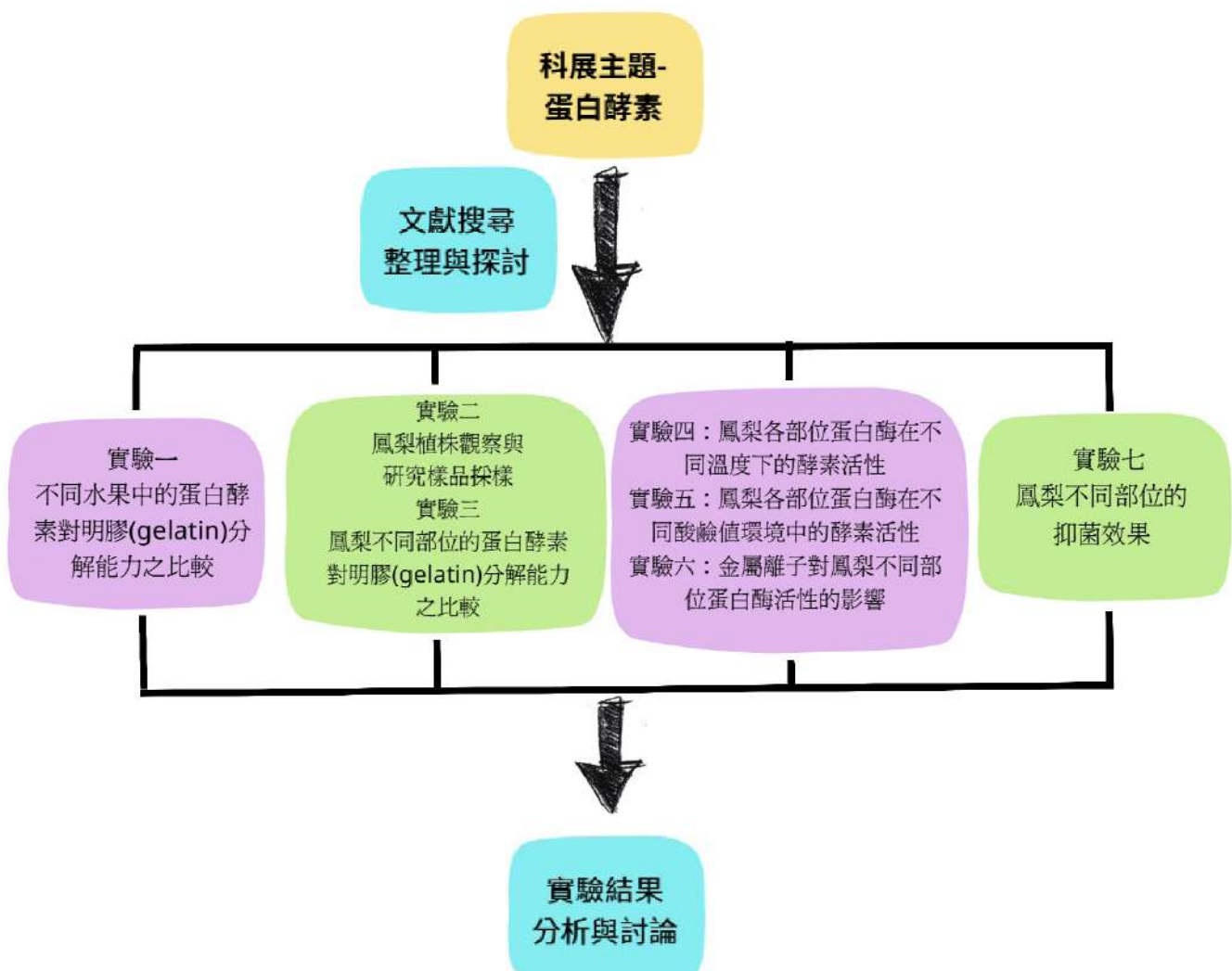
#### 自製光譜平台測量儀器步驟：

1. 以黑色樂高積木組裝光譜平台，設計放置手電筒的地方、方形比色管的凹槽處以及接收光譜儀器的位置（iPad），讓光源成直線通過樣品。
2. 以熱熔膠固定組裝好的積木，並以黏土固定接收光譜儀器的 iPad，避免外部光線干擾。
3. 將樣品放置於比色管中，開啟手電筒光源與接收光譜儀器，完成樣品光譜圖。
4. 測定後使用 ImageJ 以日光燈光譜校正，得到數值，分析樣品在波長 440 nm 的透光值。
5. 將 ImageJ 所得數值輸入 Excel 軟體，依照公式換算成吸光值。

			
設計比色管槽	架好儀器光源	接上 iPad 拍光譜	自製光譜平台完成圖
			
ImageJ 將光譜照片堆疊	ImageJ 轉換成透光值的光譜圖	ImageJ 的波長校正	Excel 分析數據

## 伍、研究過程方法、結果與討論

研究架構 (由作者群彙整製圖)



## 一、實驗一：不同水果中的蛋白酵素對明膠(gelatin)分解能力之比較

### (一) 實驗構想：

我們想知道市售水果中所含蛋白酵素的活性強弱，一開始我們嘗試用主成份為明膠的小熊軟糖進行實驗，由於小熊軟糖含有大量的糖分，可能影響蛋白酵素的作用使得實驗不如預期，所以最後我們改以單純純明膠(又稱吉利丁)，作為更單一也可控制的受質，進行水果蛋白酵素活性比較。

### (二) 實驗設計：




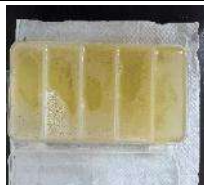


操縱變因：水果種類。

控制變因：果汁製備方式、果汁用量、明膠初始重量、培養皿大小、溫度、放置位置時間。

應變變因：明膠剩餘比例。

### (三) 實驗步驟：(照片皆由作者群拍攝)

1. 製作明膠：將 30 g 明膠粉加入 300 mL 冷水攪拌均勻後隔水加熱，倒入容器待凝固，再切成約 2.8~2.9 g 之等重小塊。
2. 製備果汁：將不同水果切丁後以濾袋榨汁，裝入各自容器，測量並記錄 pH 值。
3. 每組果汁取 8 mL 加入含明膠塊之培養皿中，各組實驗均進行三重複。
4. 每隔時段秤量明膠重量，至 6 小時止。並使用擦手紙吸乾液體避免誤差。
5. 以原始重量當作百分之百，Excel 換算明膠相對剩餘百分比並計算標準差(STDEV.P)。

					
準備不同水果	水果切丁榨汁	配製明膠	凝固後切等分	果汁放入明膠中作用	進行三重複

### (四) 實驗結果：

表一-1：各種水果的 pH 值 (圖表由作者群彙整繪製)

水果	黃奇異果	綠奇異果	柳丁	橘子	紅肉火龍果	白肉火龍果	鳳梨	檸檬	木瓜
pH 值	3.9	3.8	4.6	4.1	5.4	6.2	4.0	3.0	5.2

表一-2：對照組(水)對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	水_平均	水_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	102.84	105.59	102.11	103.51	1.50
1 小時	104.96	110.49	103.16	106.20	3.12
2 小時	109.22	106.99	102.81	106.34	2.66
3 小時	114.54	111.19	105.61	110.45	3.68
4 小時	126.24	114.69	106.67	115.86	8.03
5 小時	113.69	118.18	111.23	114.37	2.88
6 小時	128.58	123.08	125.61	125.76	2.25

表一-3：黃奇異果汁蛋白酵素對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	黃奇異果_平均	黃奇異果_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	95.38	94.12	94.93	94.81	0.52
1 小時	87.69	83.82	87.32	86.28	1.74
2 小時	72.69	67.65	64.86	68.40	3.24
3 小時	57.69	47.43	44.57	49.89	5.64
4 小時	43.46	34.19	32.61	36.75	4.79
5 小時	35.00	24.63	20.65	26.76	6.05
6 小時	25.38	19.85	11.96	19.06	5.51

表一-4：綠奇異果汁蛋白酵素對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	綠奇異果_平均	綠奇異果_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	95.88	94.42	92.51	94.27	1.38
1 小時	85.02	82.78	84.64	84.15	0.98
2 小時	67.79	65.06	63.67	65.51	1.71
3 小時	45.56	43.87	43.45	44.29	0.91
4 小時	32.96	29.37	29.21	30.51	1.73
5 小時	21.72	21.19	18.35	20.42	1.48
6 小時	11.99	12.64	11.61	12.08	0.43

表一-5：柳丁果汁蛋白酵素對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	柳丁_平均	柳丁_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	109.23	102.28	103.26	104.92	3.07
1 小時	102.69	103.04	103.26	103.00	0.23
2 小時	101.54	99.24	98.55	99.78	1.28
3 小時	108.85	98.02	97.68	101.51	5.19
4 小時	83.85	85.93	78.62	82.80	3.07
5 小時	73.46	79.47	72.10	75.01	3.20
6 小時	66.92	72.62	64.49	68.01	3.41

表一-6：橘子果汁蛋白酵素對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	橘子_平均	橘子_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	108.68	107.22	105.13	107.01	1.46
1 小時	110.19	104.18	106.96	107.11	2.45
2 小時	107.55	103.80	107.69	106.35	1.80
3 小時	101.13	96.96	101.10	99.73	1.96
4 小時	99.25	90.11	94.14	94.50	3.74
5 小時	91.32	84.03	83.88	86.41	3.47
6 小時	83.77	79.47	80.95	81.40	1.79

表一-7：紅肉火龍果汁蛋白酵素對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	紅肉火龍果_平均	紅肉火龍果_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	108.55	104.01	110.70	107.76	2.79
1 小時	103.72	104.01	106.64	104.79	1.31
2 小時	103.35	105.11	107.75	105.40	1.81
3 小時	105.95	107.30	107.01	106.75	0.58
4 小時	100.37	107.66	109.59	105.88	3.97
5 小時	100.74	102.92	112.18	105.28	4.96
6 小時	94.80	100.95	100.12	98.62	2.73

表一-8：白肉火龍果汁蛋白酵素對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	白肉火龍果_平均	白肉火龍果_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	92.88	102.21	103.94	99.68	4.86
1 小時	94.92	100.92	101.64	99.16	3.01
2 小時	96.95	107.38	103.62	102.65	4.31
3 小時	92.88	110.81	110.04	104.58	8.27
4 小時	103.73	111.07	111.83	108.88	3.65
5 小時	103.05	112.18	120.43	111.89	7.10
6 小時	105.76	114.02	118.64	112.81	5.33

表一-9：鳳梨果汁蛋白酵素對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

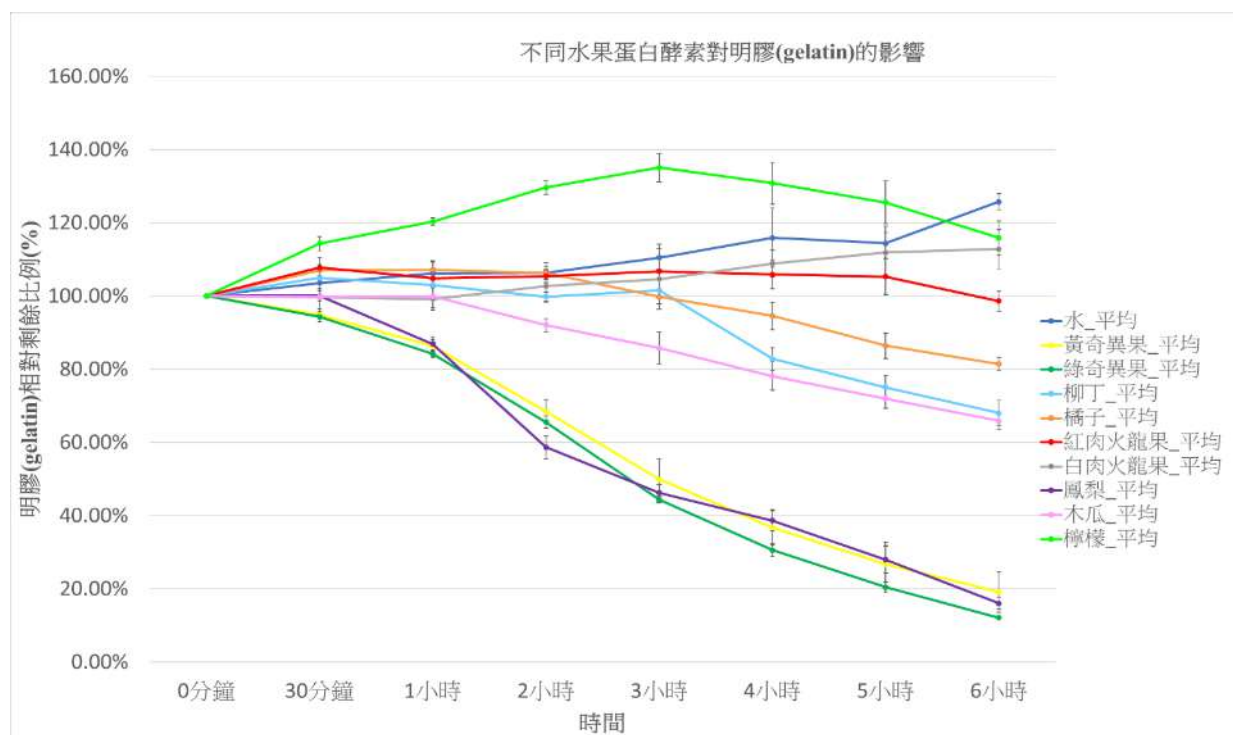
時間	1	2	3	鳳梨_平均	鳳梨_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	101.20	100.79	98.07	100.02	1.39
1 小時	89.64	85.32	85.71	86.89	1.95
2 小時	62.55	54.76	58.69	58.67	3.18
3 小時	46.61	43.25	48.65	46.17	2.22
4 小時	41.43	34.92	39.38	38.58	2.72
5 小時	30.68	22.62	30.50	27.93	3.76
6 小時	17.93	13.89	16.22	16.01	1.66

表一-10：檸檬果汁蛋白酵素對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	檸檬_平均	檸檬_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	116.20	115.17	111.62	114.33	1.96
1 小時	119.01	121.38	120.42	120.27	0.97
2 小時	129.23	132.07	127.46	129.59	1.90
3 小時	130.28	139.66	135.21	135.05	3.83
4 小時	123.24	132.07	136.97	130.76	5.68
5 小時	133.80	121.03	121.83	125.56	5.84
6 小時	120.77	117.24	109.51	115.84	4.71

表一-11：木瓜果汁蛋白酵素對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	木瓜_平均	木瓜_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	95.83	103.90	99.64	99.79	3.30
1 小時	97.22	104.26	98.13	99.87	3.12
2 小時	89.93	94.33	92.01	92.09	1.80
3 小時	80.56	91.49	85.18	85.74	4.48
4 小時	73.61	82.98	77.63	78.07	3.84
5 小時	72.57	74.82	68.35	71.91	2.68
6 小時	69.10	64.89	63.60	65.86	2.35



圖一-1：不同水果蛋白酵素對明膠(gelatin)的影響比較圖(圖表由作者群彙整繪製)

(五)實驗結果發現：

1. 根據表一-1，所有水果皆呈酸性，其白肉火龍果的 pH 值最高，檸檬的 pH 值最低。
2. 根據圖一-1，對照組（水）的明膠重量幾乎未改變，表示水本身不具分解明膠的能力。



3. 根據圖一-1，綠奇異果、鳳梨與黃奇異果組的明膠分解速度較快，實驗 6 小時後，明膠相對剩餘比例分別為 12.08%、16.01%、19.06%。
4. 根據圖一-1，紅肉火龍果、橘子、柳丁與木瓜組的明膠分解現象不明顯，實驗 6 小時後明膠相對剩餘比例分別為 98.62%、81.40%、68.01%、65.86%。
5. 根據圖一-1，檸檬與白肉火龍果組的明膠不僅未分解，反而出現重量增加的現象，實驗 6 小時後相對剩餘比例分別為 115.84%、112.81%。

#### (六) 實驗討論：

1. 我們推測水、檸檬與白肉火龍果組的明膠重量上升，可能與明膠吸收果汁中的水分或糖分有關。而在秤重時，需以吸水紙將附著於明膠表面的液體充分擦乾，以確保量測的準確性。若殘留液體未完全去除，可能導致實驗誤差。
2. 本實驗進行三次重複測量，標準差數值小，表示結果穩定，推論水果蛋白酵素中，以綠奇異果酵素活性最強，其次為鳳梨，再來是黃奇異果，三者之間差異不大。根據文獻，鳳梨中含有 **Bromelain** 酵素，奇異果中含有 **Actinidin** 酵素，皆屬具蛋白酵素活性的成分，能夠分解蛋白質。實驗結果顯示綠奇異果、鳳梨與黃奇異果的酵素活性較高，可能與其蛋白酵素的濃度與穩定性有關。
3. 其他水果明膠分解效果不明顯，可能因為蛋白酵素活性較低。以檸檬為例，雖然 pH 值最低，但過於酸性的環境可能導致酵素變性，進而抑制蛋白酵素的活性，所以沒有觀察到明膠分解的現象。


## 二、實驗二：鳳梨植株觀察與研究樣品採樣

### (一) 實驗構想：

為進一步針對蛋白酵素活性較強的水果進行實驗，我們選定鳳梨作為後續研究主題。台灣盛產鳳梨，於是我們實際到鳳梨田踏查，觀察鳳梨植株的生長環境與過程，並且進行研究樣品的採樣。

### (二) 樣品採樣：(照片皆由作者群拍攝)














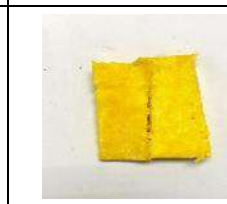

本研究所使用之台農 17 號金鑽鳳梨，採自嘉義縣民雄鄉旺萊山鳳梨文化園區，分別於 2024 年 11 月 30 日、2025 年 1 月 23 日與 1 月 24 日進行實地採樣。每次皆隨機選取兩株健康鳳梨植株，合計共採得六株樣本。

			
踏查民雄鄉鳳梨田	鳳梨田實景	鳳梨田實景	摘採鳳梨植株

(三) 踏查實驗結果：(照片皆由作者群拍攝)

				
鳳梨植株	鳳梨的芽苗	鳳梨植株	測量植株長度	用手機顯微觀察

(四) 鳳梨植株外觀：(照片皆由作者群拍攝)

				
鳳梨植株外觀	整株鳳梨植株	整株鳳梨植株	鳳梨根	鳳梨葉
				
細看有倒刺	顯微鏡下的倒刺	顯微鏡下的倒刺	顯微鏡下的根	整顆鳳梨外觀
				
鳳梨冠芽	鳳梨冠芽剖面	鳳梨皮	鳳梨芯	鳳梨肉

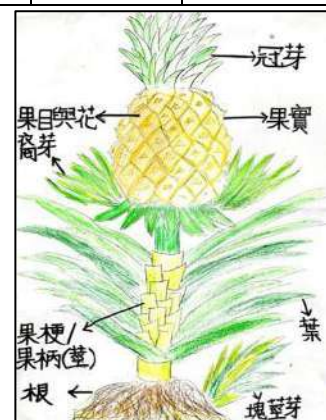
(五) 植株高度：(圖表由作者群彙整繪製)

表二-1：鳳梨樣品植株高度 (單位:公分)

測量(cm)	第一株	第二株	第三株	第四株	第五株	第六株	平均
植株高度 (從葉至根)	100.0	102.0	100.0	101.0	98.0	100.0	100.17

(六) 實驗結果發現：

- 鳳梨田的土壤呈紅色且偏乾燥。
- 鳳梨果實上方有遮陽帽，是為了防止果實曬傷。
- 鳳梨果實的「頭」為底部，「尾」為接近冠芽的位置。
- 鳳梨葉邊緣具有明顯倒鉤刺，具有保護功能。
- 採收後的鳳梨冠芽可再度插入土中，成為下一株新鳳梨。



(由作者群繪圖)



### (七)實驗討論：

1. 鳳梨植株的最大比例為葉片，幾乎整片鳳梨田都是以綠色鳳梨葉為主。
2. 採收後的鳳梨葉部分通常會被丟棄，或用作下一代繁殖的育苗材料。

## 三、實驗三：鳳梨不同部位的蛋白酵素對明膠(gelatin)分解能力之比較

### (一) 實驗構想：

我們從探訪的鳳梨田取得了整株鳳梨植株與完整果實，開始對一個問題感到好奇，除了常吃的果肉之外，鳳梨皮、葉、冠芽等部位是否也含有蛋白酵素？這些部位的酵素活性會不會有所不同？因此，我們設計了這項實驗來比較鳳梨不同部位的蛋白酵素活性。

### (二)實驗設計：






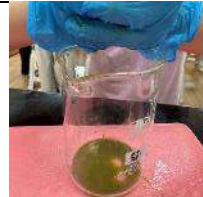




操縱變因：鳳梨不同的部位。

控制變因：果汁製備方式、果汁用量、明膠初始重量、培養皿大小、溫度、放置位置時間。

應變變因：明膠剩餘比例。

### (三) 實驗步驟：

1. 製作動物性蛋白質明膠（實驗一），並從鳳梨皮、尾、頭、冠芽、芯與葉中榨取果汁。
2. 每培養皿中放入固定重量的明膠（重量大約 2.8~2.9g），加入 8mL 各部位的果汁。
3. 每個組別進行三次重複，並在不同時間點使用微量天平測量明膠重量，觀察其變化。
4. 以原始重量當作百分之百，Excel 換算明膠相對剩餘百分比並計算標準差(STDEV.P)。

				
分開鳳梨頭與尾	研磨出汁液	剪下鳳梨葉	將鳳梨葉剪小塊	用果汁機攪碎
				
放入過濾袋 手工榨出汁液	剩餘的鳳梨葉渣	將鳳梨不同部位 的汁液放入明膠	將鳳梨不同部位 的汁液放入明膠	進行三重複

(照片皆由作者群拍攝)

### (三)實驗結果發現：

表三-1：鳳梨各部位液體的 pH 值(圖表由作者群彙整繪製)

鳳梨	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉
pH 值	4.1	4.0	4.0	4.7	4.0	4.9

表三-2： 對照組(水)對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	水_平均	水_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	105.21	107.77	105.61	106.20	1.38
1 小時	105.21	108.13	106.32	106.55	1.47
2 小時	105.56	104.59	105.61	105.25	0.57
3 小時	99.65	101.36	102.02	101.01	1.22
4 小時	93.06	94.20	93.30	93.52	0.61
5 小時	86.81	86.93	84.39	86.04	1.43
6 小時	79.74	81.63	80.02	80.46	1.02

表三-3： 鳳梨皮蛋白酶對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	皮_平均	皮_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	94.48	97.24	95.73	95.82	1.38
1 小時	89.66	89.66	86.48	88.60	1.83
2 小時	75.52	75.86	74.17	75.18	0.89
3 小時	53.10	55.00	54.09	54.07	0.95
4 小時	40.00	40.90	39.15	40.01	0.88
5 小時	28.97	26.55	28.47	28.00	1.27
6 小時	20.34	17.93	19.22	19.16	1.21

表三-4： 鳳梨尾蛋白酶對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	尾_平均	尾_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	97.19	98.96	96.21	97.45	1.40
1 小時	88.42	91.00	87.59	89.00	1.78
2 小時	70.53	75.09	71.72	72.45	2.36
3 小時	49.12	52.44	53.45	51.67	2.26
4 小時	34.74	35.33	36.90	35.65	1.12
5 小時	24.56	25.29	26.55	25.47	1.01
6 小時	14.74	15.29	17.24	15.76	1.31

表三-5： 鳳梨頭蛋白酶對明膠的影響 (單位:%) (圖表由作者群彙整繪製)

時間	1	2	3	頭_平均	頭_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	95.17	98.24	94.64	96.02	1.94
1 小時	88.28	91.90	89.64	89.94	1.83
2 小時	69.31	77.82	73.21	73.45	4.26
3 小時	52.76	60.92	57.86	57.18	4.12
4 小時	40.34	44.37	40.00	41.57	2.43
5 小時	28.62	35.21	31.79	31.87	3.30
6 小時	18.97	16.41	22.50	19.29	3.06

表三-6：鳳梨冠芽蛋白酵素對明膠的影響（單位：%）（圖表由作者群彙整繪製）

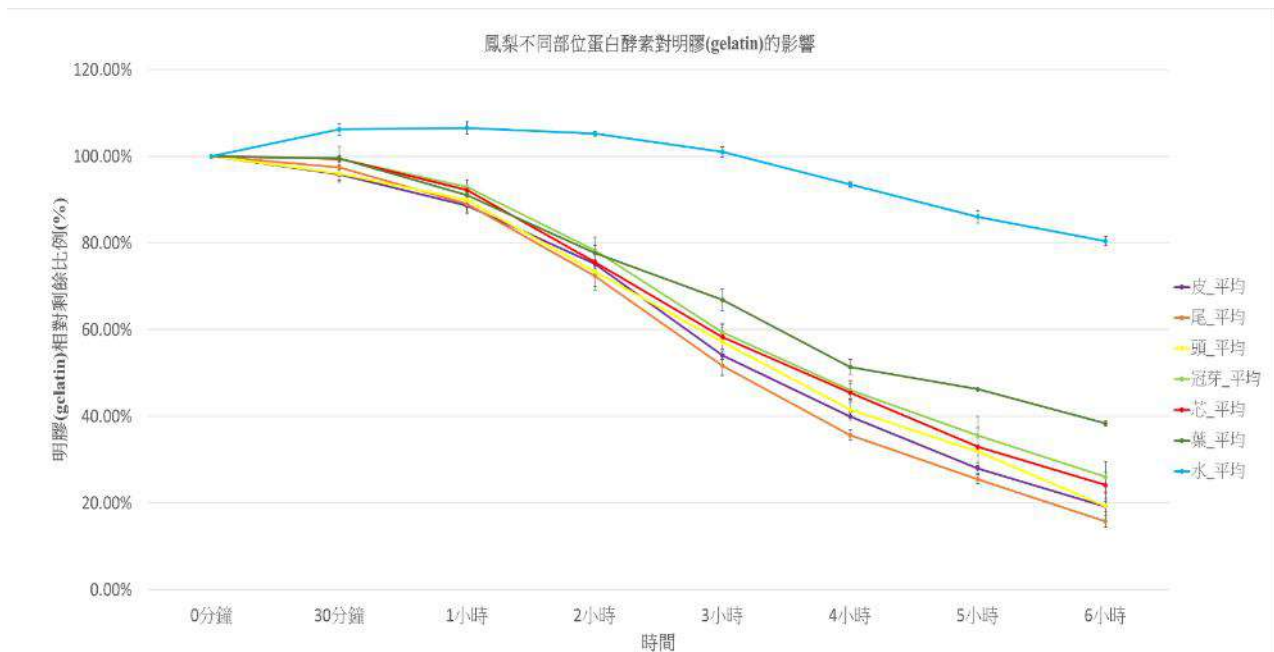
時間	1	2	3	冠芽_平均	冠芽_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	98.93	100.00	99.29	99.41	0.54
1 小時	91.46	94.76	92.55	92.92	1.68
2 小時	75.44	81.47	78.01	78.31	3.02
3 小時	58.72	60.84	58.51	59.36	1.29
4 小時	44.84	48.60	44.68	46.04	2.22
5 小時	31.32	40.21	35.11	35.54	4.46
6 小時	22.78	29.72	25.53	26.01	3.50

表三-7：鳳梨芯蛋白酵素對明膠的影響（單位：%）（圖表由作者群彙整繪製）

時間	1	2	3	芯_平均	芯_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	98.60	99.66	100.00	99.42	0.73
1 小時	91.96	93.10	91.61	92.22	0.78
2 小時	72.73	76.55	77.62	75.63	2.57
3 小時	55.59	61.38	58.04	58.34	2.90
4 小時	43.01	47.24	46.15	45.47	2.20
5 小時	27.97	34.48	36.36	32.94	4.40
6 小時	20.6	25.52	26.22	24.12	3.05

表三-8：鳳梨葉蛋白酵素對明膠的影響（單位：%）（圖表由作者群彙整繪製）

時間	1	2	3	葉_平均	葉_標準差
0 分鐘	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
30 分鐘	96.44	100.35	101.77	99.52	2.76
1 小時	90.75	92.28	90.07	91.03	1.13
2 小時	77.22	79.65	76.24	77.70	1.75
3 小時	66.55	69.47	64.54	66.85	2.48
4 小時	49.47	52.28	52.48	51.41	1.69
5 小時	46.62	45.96	46.10	46.23	0.35
6 小時	38.08	37.89	39.01	38.33	0.60



圖三-1：鳳梨不同部位對明膠(gelatin)的影響比較圖(圖表由作者群彙整繪製)

#### (四)實驗結果發現：

1. 由表三-1 發現，鳳梨尾、頭、芯 pH 值為 4.0，鳳梨皮 pH 值為 4.1，鳳梨冠芽 pH 值為 4.7，鳳梨葉 pH 值為 4.9，鳳梨各部位的果汁皆呈酸性。
2. 由圖三-1 發現，對照組（水）對明膠幾乎沒有分解作用，明膠重量變化極小。
3. 由圖三-1 發現，鳳梨尾、皮與頭的明膠分解效果最明顯，隨時間拉長剩餘量逐漸下降，6 小時後明膠剩餘比例分別為 15.76%，19.16%，19.29%。
4. 由圖三-1 發現，鳳梨芯、冠芽與葉的明膠分解效果，6 小時後明膠剩餘比例分別為 24.12%，26.01%，38.33%。
5. 由圖三-1 發現，所有鳳梨果汁組別與對照組（水）相比，皆有使明膠逐漸減少的趨勢，顯示各部位皆具有蛋白酵素活性。

#### (五)實驗討論：

1. 鳳梨尾部的萃取液對明膠分解效果最強，可能該部位累積較多與果實成熟相關的蛋白酵素。
2. 冠芽與葉也有蛋白酵素，但明膠剩餘較多，推測可能與纖維較多、蛋白質含量較少有關。
3. 對照組（水）明膠也有少量減少，推測可能是操作時交叉污染所致，應在未來重複實驗中加強控制操作清潔度以排除干擾。



#### 四、實驗四：鳳梨不同部位蛋白酶在不同溫度下的酵素活性

##### (一) 實驗構想：

根據文獻，酵素活性會受到溫度的影響。我們想探究鳳梨不同部位的酵素，在不同溫度下的活性是否有所差異。但因為明膠在高溫會融化會影響實驗判斷，所以我們另尋化學實驗常用的「偶氮酪蛋白（Azocasein）」作為蛋白酶活性測定基質，設計不同溫度條件（4°C、25°C、37°C、60°C），其中 37°C 為模擬人體溫度，以觀察鳳梨蛋白酶在體內的作用情形。

##### (二) 實驗設計：

操縱變因：溫度。

控制變因：果汁製作方式、果汁用量、偶氮酪蛋白量、反應時間。

應變變因：酵素作用後的顏色變化與吸光值。

##### (三) 實驗步驟：（照片皆由作者群拍攝）





























1. 榨取鳳梨不同部位（頭、尾、皮、芯、葉、冠芽），以濾網過濾果渣，濾紙過濾色素。
2. 將 0.5g 的偶氮酪蛋白溶於 100 mL PBS 緩衝液。
3. 每種果汁取 0.5 mL，與 0.5 mL 偶氮酪蛋白混合液於玻璃試管中。
4. 分別放入 4°C、25°C（室溫）、37°C、60°C 中作用 30 分鐘再加入 5mL 醋酸中止反應。
5. 離心機高速離心 3 分鐘，取上清液至比色管比色，並以自製光譜儀測量光譜。
6. 使用 ImageJ 與 Excel 軟體分析光譜數據與吸光值。

			
過濾鳳梨汁液	偶氮酪蛋白作用	比色結果	測量透光值

##### (四) 實驗結果：





























##### 1. 比色卡結果：（圖表由作者群彙整繪製）

表四-1：鳳梨不同部位蛋白酶在不同溫度作用下的偶氮酪蛋白胜肽比色卡結果

	4°C		25°C(室溫)		37°C		60°C	
水		Y5C5(透明)		Y5C5(透明)		Y5C5(透明)		Y5C5(透明)
皮		Y10C5		Y80C5		Y90C5		Y20C5
尾		Y10C5		Y70C5		Y80C5		Y30C5
頭		Y10C5		Y60C5		Y90C5		Y10C5
冠芽		Y10C5		M20Y100		M30Y100		Y30C5
芯		Y5C5(透明)		Y60C5		Y70C5		Y5C5(透明)
葉		Y10C5		Y50C5		M10Y100		Y40

## 2. 光譜圖結果：

表四-2：鳳梨不同部位蛋白酶在不同溫度作用下的偶氮酪蛋白胨光譜照片 (圖表由作者群彙整繪製)

	4°C	25°C(室溫)	37°C	60°C
水				
皮				
尾				
頭				
冠芽				
芯				
葉				

## 3. 偶氮酪蛋白(Azocasein)結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表四-3：鳳梨不同部位的蛋白酶在 4°C 下對偶氮酪蛋白 (Azocasein) 的吸光值影響

4°C	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉
1	0.00247	0.01310	0.00605	0.00476	0.01023	0.01159
2	0.00071	0.00877	0.00434	0.00077	0.00110	0.00048
3	0.00864	0.01059	0.01369	0.02177	0.00187	0.00571
平均	0.00394	0.01082	0.00803	0.00910	0.00440	0.00593
標準差	0.00340	0.00177	0.00407	0.00911	0.00414	0.00454

表四-4：鳳梨不同部位的蛋白酶在室溫下對偶氮酪蛋白 (Azocasein) 的吸光值影響

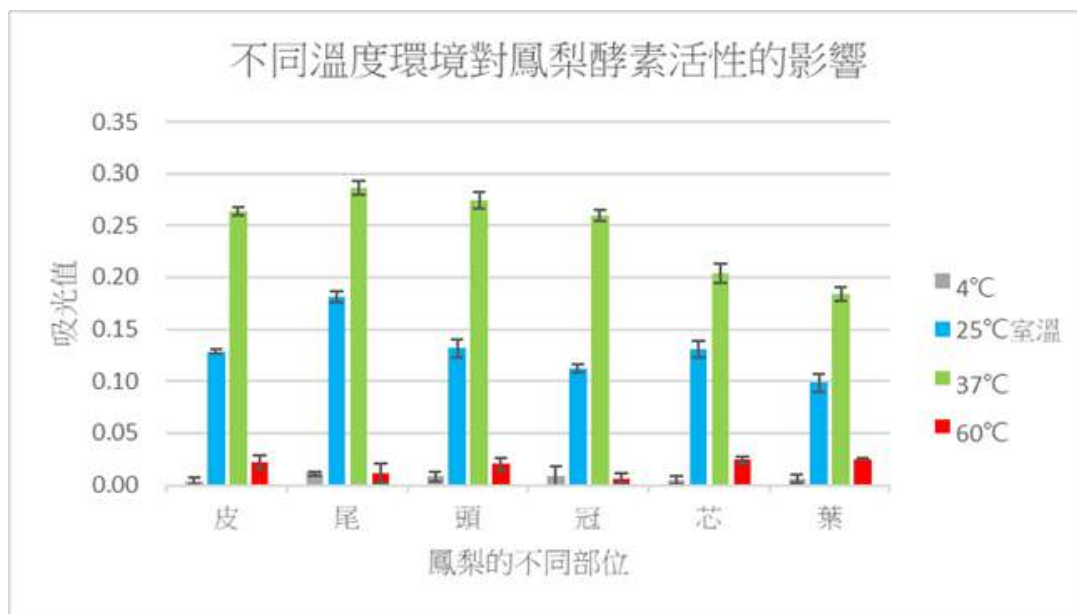
25°C 室溫	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉
1	0.12744	0.18508	0.13756	0.11105	0.13038	0.10985
2	0.13169	0.18427	0.13866	0.10832	0.14034	0.09261
3	0.12648	0.17466	0.11899	0.11742	0.12153	0.09256
平均	0.12853	0.18133	0.13174	0.11226	0.13075	0.09834
標準差	0.00226	0.00473	0.00903	0.00381	0.00768	0.00814

表四-5：鳳梨不同部位的蛋白酶在 37°C 下對偶氮酪蛋白 (Azocasein) 的吸光值影響

37°C	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉
1	0.26878	0.28298	0.28463	0.25357	0.19109	0.17605
2	0.25950	0.28017	0.27085	0.25927	0.21111	0.19327
3	0.26345	0.29514	0.26714	0.26613	0.21062	0.18253
平均	0.26391	0.28610	0.27421	0.25965	0.20427	0.18395
標準差	0.00380	0.00650	0.00752	0.00514	0.00933	0.00710

表四-6：鳳梨不同部位的蛋白酶在 60°C 下對偶氮酪蛋白（Azocasein）的吸光值影響

60°C	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉
1	0.02916	0.02303	0.02749	0.01187	0.02880	0.02203
2	0.01356	0.00022	0.01367	0.00166	0.02400	0.02119
3	0.02274	0.01052	0.01924	0.00944	0.02095	0.02191
平均	0.02182	0.01126	0.02013	0.00655	0.02409	0.02504
標準差	0.00640	0.00933	0.00568	0.00435	0.00323	0.00037



圖四-1：鳳梨不同部位的蛋白酶在不同溫度下對偶氮酪蛋白吸光值的影響(圖表由作者群彙整繪製)

#### (五) 實驗結果發現：

1. 根據表四-1，在室溫與 37°C 條件下偶氮酪蛋白胜肽比色卡結果呈現較深的橘黃色；而在 4°C 與 60°C 條件下偶氮酪蛋白胜肽比色卡結果顏色較淺。
2. 根據圖四-1，37°C 條件下所有部位的吸光值皆高於 0.25；室溫下吸光值約為 0.15，60°C 條件下吸光值約為 0.05；而在 4°C 下，所有部位的吸光值皆接近 0。
3. 根據圖四-1，在不同溫度條件下，鳳梨各部位吸光值比較，不管是哪個部位，在 37°C 環境下吸光值最高，室溫環境次之，60°C 環境吸光值較低，4°C 環境吸光值最低。

#### (六) 實驗討論：

1. 我們選擇 37°C 是為了模擬人體溫度，鳳梨中含有蛋白酶，可以分解受質偶氮酪蛋白，生成帶有顏色的可溶性胜肽，生成的胜肽片段越多產生的顏色越深，實驗結果顯示鳳梨酵素在 37°C 下具有最高的活性。

2. 在 4°C 條件下，酵素活性幾乎為零，可能是低溫降低了蛋白酵素與受質的結合效率與催化能力；在 60°C 條件下顯著下降，可能是高溫導致蛋白質結構變性，而失去活性。
3. 鳳梨果肉的酵素活性較高，我們推測可能與果實不同部位的成熟或老化程度不同有關，果實在發育期間代謝較旺盛，累積較多具活性的酵素，以促進組織的成長與分化。
4. 相較之下，鳳梨的皮、冠芽、芯與葉等部位酵素活性較低，推測可能是因這些部位含有較多纖維素或蛋白質含量較果肉少。
5. 由於各部位原始蛋白酵素含量未知，所以不同部位在相同條件下的活性比較，僅能作為相對趨勢參考，實驗仍存在其他的變因干擾，若能進一步純化會有較精確的結果。
6. 本次實驗僅測試了 4°C、25°C、37°C 與 60°C 四個溫度條件，無法得知鳳梨酵素活性的最佳溫度範圍。未來可設計更精確的溫度梯度實驗，例如每隔 5°C 測一次，以了解其活性隨溫度變化的趨勢與最佳反應溫度。

## 五、實驗五：鳳梨不同部位蛋白酶在不同酸鹼值環境中的酵素活性。

### (一) 實驗構想：

經由資料查詢，酵素活性也會受到酸鹼度環境的影響，我們想探究鳳梨的不同部位在不同酸鹼度環境中，酵素活性會有何差異？以酸性環境來模擬鳳梨蛋白酶在胃部的作用情況。

### (二) 實驗設計：

操縱變因：不同酸鹼值環境。

控制變因：果汁的製作方式、果汁用量、偶氮酪蛋白量、反應時間與溫度。

應變變因：酵素作用後的顏色變化與吸光值。

### (三) 實驗步驟：

1. 榨取鳳梨不同部位（頭、尾、皮、芯、葉、冠芽）果汁，並以濾網過濾果渣，濾紙過濾色素。
2. 將 0.5g 的偶氮酪蛋白溶於 100 mL PBS 緩衝液。
3. 每種果汁取 0.5 mL，與 0.5 mL 偶氮酪蛋白混合於玻璃試管中。
4. 分別放入不同酸鹼值（pH 2：使用醋酸調整；pH 7：使用水；pH 8：使用小蘇打溶液調整。）的環境中進行作用 30 分鐘後，以廣用試紙檢測最後的酸鹼性，再加入 5mL 醋酸以中止反應。
5. 離心機高速離心 3 分鐘，取上清液至比色管比色，並以自製光譜儀測量光譜。
6. 使用 ImageJ 與 Excel 軟體分析光譜數據與吸光值。

#### (四) 實驗結果：











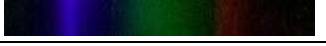










##### 1. 比色卡結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表五-1：鳳梨不同部位蛋白酶在不同酸鹼度作用下的偶氮酪蛋白胜肽比色卡結果

	酸性		中性		鹼性	
水		Y5C5(透明)		Y5C5(透明)		Y5C5(透明)
皮		Y40		Y60		Y40
尾		Y40		Y70		Y40
頭		Y50		Y50		Y50
冠芽		M10Y100		M10Y100		Y20
芯		Y40		Y70		Y30
葉		Y40		Y40		Y10

##### 2. 光譜圖結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表五-2：鳳梨不同部位蛋白酶在不同酸鹼度作用下的偶氮酪蛋白胜肽光譜照片

	酸性	中性	鹼性
水			
皮			
尾			
頭			
冠芽			
芯			
葉			

##### 3. 偶氮酪蛋白(Azocasein)結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表五-3：鳳梨不同部位的蛋白酶在酸性環境下對偶氮酪蛋白（Azocasein）的吸光值影響

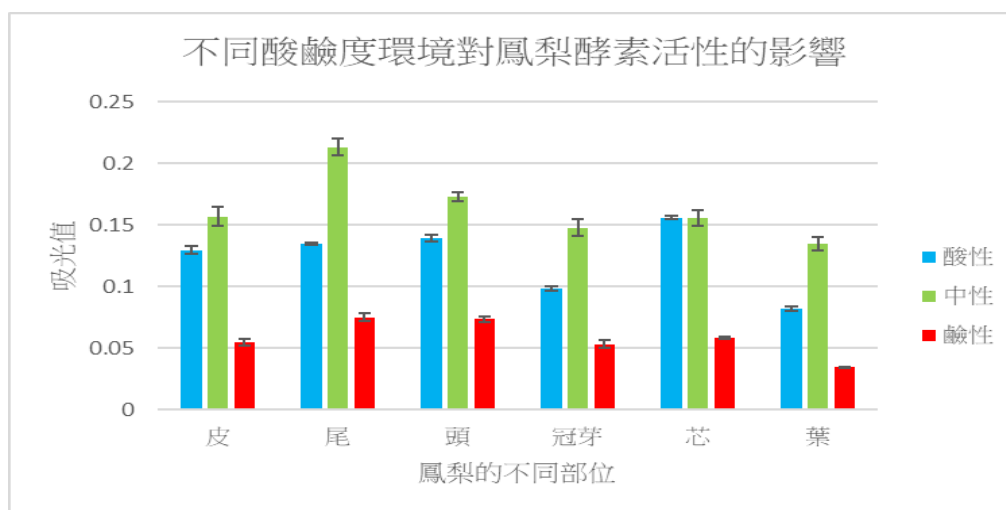
酸性	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉
1	0.13432	0.13649	0.14312	0.10070	0.15776	0.08505
2	0.12831	0.13372	0.13844	0.09621	0.15409	0.08042
3	0.12623	0.13412	0.13636	0.09845	0.15546	0.08029
平均	0.12962	0.13478	0.13931	0.09846	0.15577	0.08192
標準差	0.00343	0.00122	0.00282	0.00184	0.00151	0.00221

表五-4：鳳梨不同部位的蛋白酶在中性環境下對偶氮酪蛋白（Azocasein）的吸光值影響

中性	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉
1	0.16773	0.22277	0.17655	0.15714	0.16496	0.13900
2	0.15289	0.20827	0.16791	0.14418	0.15101	0.12697
3	0.14961	0.20881	0.17418	0.14210	0.15119	0.13870
平均	0.15674	0.21328	0.17288	0.14781	0.15572	0.13489
標準差	0.00788	0.00671	0.00364	0.00665	0.00653	0.00560

表五-5：鳳梨不同部位的蛋白酶在鹼性環境下對偶氮酪蛋白（Azocasein）的吸光值影響

鹼性	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉
1	0.05771	0.07704	0.07300	0.05736	0.05643	0.03486
2	0.05036	0.07036	0.07034	0.05167	0.05880	0.03436
3	0.05545	0.07759	0.07664	0.05012	0.05928	0.03432
平均	0.05451	0.07500	0.07333	0.05305	0.05817	0.03452
標準差	0.00307	0.00328	0.00258	0.00311	0.00125	0.00025



圖五-1：鳳梨不同部位的蛋白酶在不同酸鹼度環境下對偶氮酪蛋白的吸光值影響

#### (五) 實驗結果發現：

1. 根據表五-1，肉眼觀察，在中性環境下偶氮酪蛋白胜肽比色卡結果呈現較深的橘黃色，推測其酵素活性較高；酸性環境比色卡結果顏色較淺，鹼性環境顏色最淺，推測其酵素活性最低。
2. 根據圖五-1，在中性環境條件下，鳳梨各部位的吸光值皆超過 0.15，其中以尾部最高。酸性環境下吸光值介於 0.1 至 0.15 之間，鹼性環境下所有部位的吸光值皆低於 0.1。
3. 根據圖五-1，在不同酸鹼環境中鳳梨各部位吸光值比較，不管是哪個部位，在中性環境下吸光值最高，酸性環境次之，鹼性環境吸光值最低。

#### (六) 實驗討論

1. 由圖五-1 可知，蛋白酵素在中性環境下活性最高，酸性次之，而鹼性環境下活性最弱。
2. 實驗結果顯示部分蛋白酵素在酸性環境中仍能維持活性，但在鹼性環境下活性明顯下降。我們推測過酸或過鹼的環境都會影響酵素的化學結構，使活性中心失去作用。
3. 雖然酵素在酸性條件下活性降低，但仍具有一定吸光值，我們推測部分蛋白酵素在酸性環境下也能發揮作用。這可能與鳳梨屬於熱帶水果，果肉本身偏酸性有關，使蛋白酵素對酸性環境具有較高耐受性。



- 鳳梨不同部位的蛋白酵素含量可能存在差異，但在各種酸鹼環境的條件下，中性環境皆呈現較高的酵素活性。
- 本次實驗僅以醋酸和小蘇打來簡單調整酸鹼環境，無法準確掌握鳳梨酵素在不同 pH 值下的活性變化。未來可嘗試配置更廣泛的 pH 梯度，例如從 pH 3 到 pH 9，以深入探討酵素在酸性至鹼性環境下的反應趨勢，進一步找出其最適作用的 pH 值範圍。

## 六、實驗六：金屬離子對鳳梨不同部位蛋白酶活性的影響。

(一) 實驗構想：經由資料查詢，酵素活性也會受到金屬離子的影響，我們利用金屬螯合劑 EDTA-2Na 探討金屬離子對鳳梨不同部位蛋白酵素活性的影響。EDTA-2Na 是乙二胺四乙酸二鈉，化學式為  $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$ ，是一種螯合劑，能與金屬離子形成穩定的複合物。

(二) 實驗設計：

操縱變因：是否添加 EDTA-2Na。

控制變因：果汁的製作方式、果汁用量、偶氮酪蛋白量、反應時間與溫度。

應變變因：酵素作用後的顏色變化與吸光值。

(三) 實驗步驟：

- 榨取鳳梨不同部位（頭、尾、皮、芯、葉、冠芽），以濾網過濾果渣，濾紙過濾色素。
- 將 0.5g 的偶氮酪蛋白溶於 100 mL PBS 緩衝液。
- 每種果汁取 0.5 mL，與 0.5 mL 偶氮酪蛋白混合於玻璃試管中。
- 加入 0.01M EDTA-2Na 進行作用 30 分鐘，再加入 5mL 醋酸以中止反應。
- 離心機高速離心 3 分鐘，取上清液至比色管比色，並以自製光譜儀測量光譜。
- 使用 ImageJ 與 Excel 軟體分析光譜數據與吸光值。

(四) 實驗結果：















1. 比色卡結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表六-1：鳳梨不同部位蛋白酶在有無 EDTA-2Na 環境作用下偶氮酪蛋白胜肽比色卡結果

	無 EDTA-2Na	有 EDTA-2Na
水	 Y5C5(透明)	 Y5C5(透明)
皮	 Y40C5	 Y20C5
尾	 Y50C5	 Y20C5
頭	 Y50C5	 Y20C5
冠芽	 Y50C5	 Y30C5
芯	 Y40C5	 Y20C5
葉	 Y90C5	 Y40C5

## 2. 光譜圖結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表六-2：鳳梨不同部位蛋白酶在有無 EDTA-2Na 環境作用下的偶氮酪蛋白胜肽光譜照片

	無 EDTA-2Na	有 EDTA-2Na
水		
皮		
尾		
頭		
冠芽		
芯		
葉		

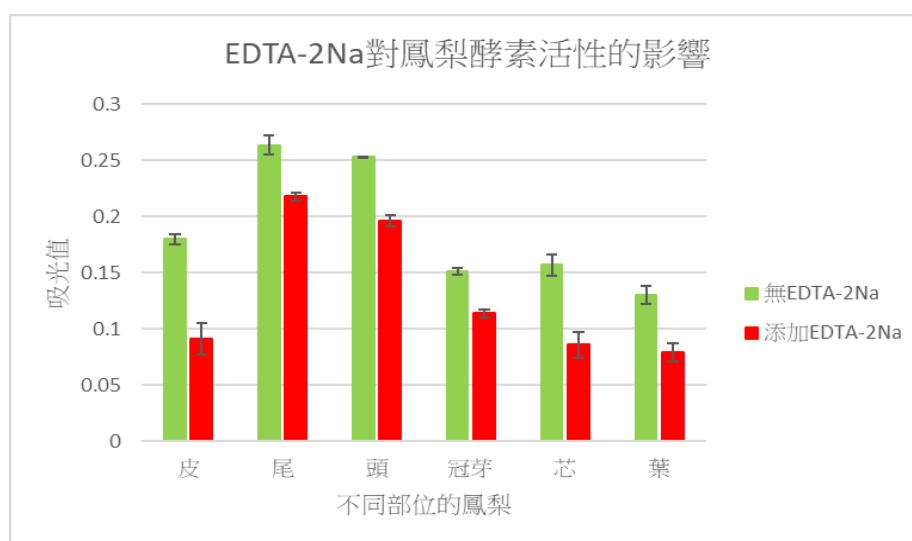
## 3. 偶氮酪蛋白(Azocasein)結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表六-3：鳳梨不同部位的蛋白酶在無 EDTA-2Na 環境下對偶氮酪蛋白（Azocasein）的吸光值影響

無 EDTA-2Na	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉
1	0.18640	0.27514	0.25301	0.15586	0.16447	0.14126
2	0.17893	0.26131	0.25244	0.14854	0.16252	0.12739
3	0.17444	0.25480	0.25379	0.14933	0.14409	0.12169
平均	0.17992	0.26375	0.25308	0.15124	0.15703	0.13012
標準差	0.00493	0.00848	0.00055	0.00328	0.00918	0.00822

表六-4：鳳梨不同部位的蛋白酶在有 EDTA-2Na 環境下對偶氮酪蛋白（Azocasein）的吸光值影響

有 EDTA-2Na	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉
1	0.10852	0.22243	0.19792	0.11304	0.09739	0.09076
2	0.07484	0.21763	0.19000	0.11049	0.08984	0.07490
3	0.09078	0.21406	0.20139	0.11838	0.07057	0.07219
平均	0.09138	0.21804	0.19644	0.11397	0.08593	0.07928
標準差	0.01375	0.00343	0.00477	0.00329	0.01129	0.00819



圖六-1：鳳梨不同部位的蛋白酶在是否有 EDTA-2Na 環境作用下對偶氮酪蛋白的吸光值影響

#### (五) 實驗結果發現：

1. 根據表六-1，肉眼觀察，我們發現未加入 EDTA-2Na 偶氮酪蛋白胨比色卡結果，溶液呈現顏色較深，加入 EDTA-2Na 環境作用下偶氮酪蛋白胨比色卡結果顏色較淺。
2. 根據圖六-1，在未加入 EDTA-2Na 環境條件下，鳳梨各部位的吸光值皆接近或超過 0.15。
3. 根據圖六-1，加入 EDTA-2Na 環境作用下吸光值有下降的趨勢，其中皮部的吸光值下降最為明顯約下降 50%，尾部下降約 17%，頭部下降約 22%、冠芽下降約 25%、芯部下降約 45%、葉下降約 39%。
4. 根據圖六-1，不管是哪一個部位的鳳梨，加入 EDTA-2Na 環境作用下對鳳梨酵素活性有顯著抑制效果，可能是因其螯合了酵素所需的金屬離子，影響其催化能力。

#### (六) 實驗討論

1. 由圖六-1 可知，蛋白酵素未加入 EDTA-2Na 環境條件下活性較高，加入 EDTA-2Na 環境作用下，酵素活性受到抑制。
2. 實驗結果顯示 EDTA-2Na 會對鳳梨酵素活性有所影響，我們推測鳳梨蛋白酵素作用需要金屬離子協助，因為 EDTA-2Na 能夠螯合金屬離子，而這些金屬離子可能是鳳梨酵素的輔因子。當金屬離子被 EDTA-2Na 螯合去除後，酵素的催化活性降低，導致吸光值變小。
3. 本次實驗僅加入 EDTA-2Na 進行螯合反應，證實金屬離子對鳳梨酵素活性具有重要影響。未來可進一步再加入 EDTA-2Na 作用後，再分別補充不同金屬離子（如  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  等），以判斷哪些金屬離子能恢復鳳梨酵素活性，進而推測其可能的輔因子種類。

### 七、實驗七：鳳梨不同部位的抑菌效果

#### (一) 實驗構想：

過年期間看到一則新聞報導指出，吃鳳梨可能有助於止瀉。我們想知道鳳梨是否具有抑制細菌生長的能力。因此我們使用 3M™ Petrifilm™ 總生菌數快檢片，測試不同部位鳳梨果汁的抑菌效果。

#### (二) 實驗設計：

操縱變因：不同鳳梨部位的果汁。

控制變因：加入的水含量、果汁用量、紙錠大小、培養的溫度、培養的時間。

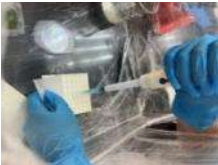

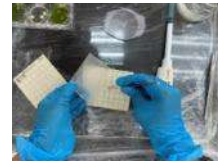
應變變因：抑菌環大小與面積。

#### (二)實驗步驟：（照片皆由作者群拍攝）

1. 製作無菌透明操作箱，內外以酒精消毒擦拭乾淨，以保鮮膜封住透明箱的開口，只留手部可伸入操作的孔洞，並將實驗所需物品酒精消毒後放入無菌操作箱中。操作者雙手

先以洗手乳清潔，擦乾後再以酒精消毒。

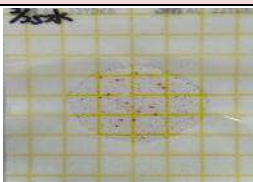

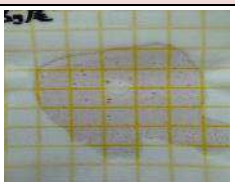
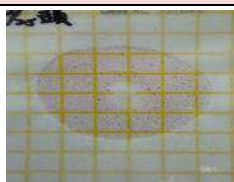

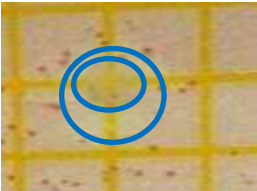
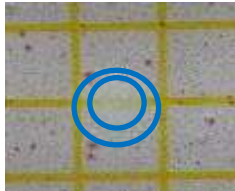
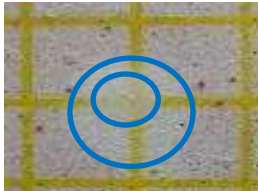
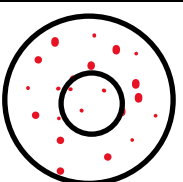
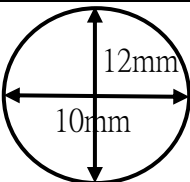
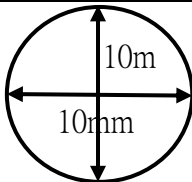
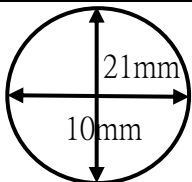
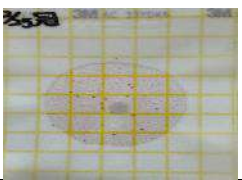
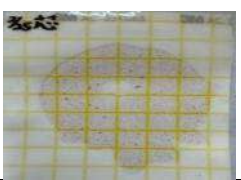
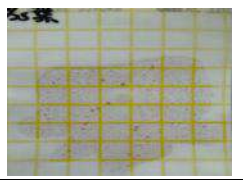
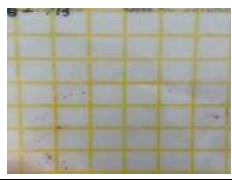

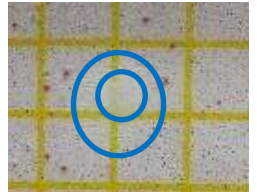

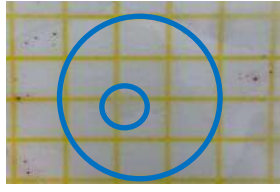
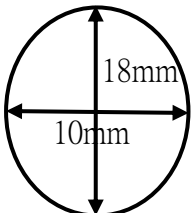
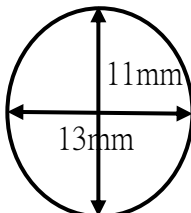
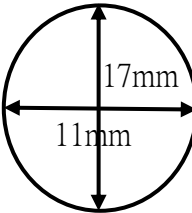
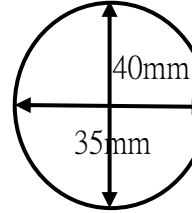
2. 撕開 3M™ Petrifilm™ 檢測片，注意避免碰觸內膜。
3. 用微量吸管取 1 mL 自來水滴在檢測片中心，蓋上膜片用壓板輕壓，讓液體均勻分布。
4. 放入浸泡鳳梨不同部位汁液的圓形紙錠後，放入 37°C 恆溫箱中培養 24 小時，重複進行三次實驗，觀察並紀錄抑菌環大小(橢圓面積= $\pi \times$  半長軸  $\times$  半短軸)。

			
使用自製無菌台操作	滴入自來水	用壓板壓成圓形	鳳梨不同部位圓濾紙

(照片皆由作者群拍攝)

### (三) 實驗結果

表七-1：3M™ Petrifilm™ 總生菌數快檢片經 24 小時培養後結果圖(圖表由作者群彙整繪製)

水(對照組)	鳳梨皮	鳳梨尾	鳳梨頭
			
			
			
鳳梨冠芽	鳳梨芯	鳳梨葉	醋酸
			
			
			

表七-2：3M™ Petrifilm™ 總生菌數快檢片經 24 小時培養後抑菌環面積(圖表由作者群彙整繪製)

抑菌環面積(mm <sup>2</sup> )	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉	水	醋酸
1	120.89	142.87	172.70	164.85	117.75	157.00	0.00	1099.00
2	129.53	153.08	223.73	142.87	125.60	142.87	0.00	1130.40
3	94.20	78.50	164.85	141.30	112.26	146.80	0.00	1318.80
平均	114.87	124.82	187.09	149.67	118.54	148.89	0.00	1182.73
標準差	15.04	33.01	26.10	10.75	5.48	5.96	0.00	97.06



圖七-1：鳳梨不同部位產生的抑菌環面積(圖表由作者群彙整繪製)

#### (四) 實驗結果發現：

1. 由表七-1 可知，對照組的水樣在培養 24 小時後幾乎沒有形成抑菌環，代表水本身並不具備抑菌效果。
2. 由表七-1 可知，鳳梨不同部位的果汁在細菌培養片上皆形成明顯的抑菌環，其中鳳梨皮、尾、芯抑菌環的大小約為 11~13 mm，鳳梨葉約為 11~17 mm，鳳梨冠芽約為 10~18mm，而鳳梨頭約為 10~21mm。
3. 由圖七-1 顯示，鳳梨頭抑菌環面積約為 187.09 mm<sup>2</sup>，冠芽則約為 149.67mm<sup>2</sup>，葉則約為 148.89 mm<sup>2</sup>，顯示抑菌面積較其他部位大。

#### (五) 實驗討論：

1. 鳳梨頭、冠芽與葉的抑菌效果最佳，推測這些部位可能富含較高濃度的天然抑菌物質。
2. 鳳梨皮、尾與芯的抑菌效果較弱，我們推測可能是因為這些部位的有效抑菌成分濃度較低，或是不易釋放出來。
3. 我們推論鳳梨的抑菌效果可能來自酸性物質降低周圍 pH 值，進而抑制細菌生長；又或是鳳梨蛋白酵素分解細菌表面的蛋白質結構，破壞其完整性，導致細菌無法生長，研究後續可以再進行成分分析加以釐清。

4. 我們以醋酸作為對照組，結果發現細菌幾乎無法生長，證實酸性環境確實具有抑菌效果。然而，實驗中鳳梨葉與冠芽的 pH 值高於鳳梨頭與尾部，但卻產生較大的抑菌環，推測除了酸性之外，可能還有其他成分，例如植化素中的酚類與黃酮類化合物，參與抑菌作用。因此鳳梨葉與冠芽可能含有具有抑菌潛力的天然物質，未來具有進一步開發與應用的可能性。

## 陸、結論

- 一、本研究透過科學方法探討鳳梨不同部位的蛋白酵素活性。實驗結果顯示，鳳梨果肉中的酵素活性最強，能有效分解動物性蛋白質，對人體消化可能具明顯輔助效果。
- 二、鳳梨各部位皆含有蛋白酵素，其活性受溫度影響，37°C（接近人體體溫）時酵素活性最高，顯示鳳梨蛋白酵素在人體內仍具有穩定作用，具食品加工與消化輔助應用的潛力。
- 三、酸鹼值對酵素活性有顯著影響，中性環境下酵素活性最佳，其次為酸性環境，而鹼性環境活性最低，顯示鳳梨蛋白酵素適應中性至微酸環境，在人體胃部仍可能維持其功能。
- 四、實驗中加入螯合劑會使鳳梨酵素活性明顯下降，推測其活性與金屬離子有關，金屬離子可能是鳳梨酵素的輔因子，未來可加入不同金屬離子進一步驗證。
- 五、鳳梨不同部位亦具有天然抑菌能力，尤其以冠芽、葉與頭部的抑菌效果最佳，具有作為天然食品保存與抗菌添加物的應用潛力。

## 柒、未來展望

未來研究我們可進一步延伸探討不同品種與不同季節的鳳梨，研究其酵素與抑菌活性之變化，以評估最佳酵素來源與採取樣品的時機。此外，本研究以吸光值測量鳳梨不同部位之酵素活性，但還沒有分辨出酵素的種類和含量。未來研究我們可以搭配蛋白質定量方法和分離純化技術，進一步去了解酵素活性差異是因為酵素濃度不同，還是種類不同所造成的差異。

目前我們只是用簡單的榨汁方式萃取酵素，未來可以嘗試加入蛋白質純化的步驟，比如鹽析法、有機溶劑沉澱、膠體過濾、離子交換層析或親和層析，這樣可以讓酵素的濃度、純度和穩定性更好。下表為常見酵素純化方法之比較，可以作為未來設計純化流程的參考依據：



表八-1: 常見蛋白酵素純化方法比較表(參考資料二十)

純化方法	原理	優點	缺點
鹽析法	利用高濃度鹽類讓蛋白質脫水後聚集沉澱	操作簡單、成本低、適合大量處理樣本	難達高純度，後續需再純化
有機溶劑沉澱法	加入乙醇或丙酮等溶劑，改變溶液極性，使蛋白質變性並沉澱	反應快速、適合大量處理樣本	易造成酵素變性失活
膠體過濾	依分子量大小分離蛋白質	溫和分離，可以保留酵素活性	流速較慢，設備成本高、分離有限
離子交換層析	利用蛋白質表面電荷與固定相之電荷吸附差異進行分離	分離效果佳	需精準控制酸鹼值與鹽濃度
親和層析	利用酵素與特定配體專一性結合進行選擇性純化	專一性高、純度高，可直接取得目標酵素	設備與配體成本高

本研究證實鳳梨全株部位皆具有蛋白酵素活性與潛在抑菌效果，其中以鳳梨果肉的酵素活性較高，但冠芽與葉有顯著的抑菌能力，顯示鳳梨副產物具有開發為天然酵素來源的可行性與應用價值。過往鳳梨的皮、芯、冠芽與葉常被視為農業廢棄物，若能透過改良萃取技術，進一步提升其酵素活性與純度，將有助於提升這些部位的應用潛力，減少農業資源浪費，並拓展其於食品加工、保健產品、天然抗菌劑或農業應用等多元領域之價值。

## 捌、參考文獻資料

- 一、鄭月鳳等十人(1976)，鳳梨酵素研究，中華民國第 16 屆中小學科學展覽會說書國中組化學科。
- 二、林朝璟，廖建能，林東餘，蕭同成(2007)，天然環保清潔液大搜尋-台灣鳳梨新發現，中華民國第 47 屆中小學科學展覽會說明書國小組生應科。
- 三、王秀如，桂嫻筑，黃馨慧(2012)，「鳳梨皮」再生－廢棄物利用之研究，中華民國第 52 屆中小學科學展覽會說明書高職組農業及生物科技科。
- 四、劉穎，謝馨慧，李綉閔(2013)，龍"鳳""橙"祥~以鳳梨皮及柳橙果皮製作可裁式調味紙取代傳統速食麵調味包之可行性研究，中華民國第 53 屆中小學科學展覽會說明書高職組農業及生物科技科。
- 五、曲柏勳，郭瑜安，李竑均，黃偉特，黃敬昊，楊永濬(2013)，酵果十足酵 CC~探討常見水果之維生素 C、澱粉酶、蛋白酶、脂肪酶的含量關係及其活性~，中華民國第 53 屆中小學科學展覽會說明書國小組化學科。

- 六、林哲宇，張芷綺，廖書翎，陳思妤，張梓芸(2014)，「凍未條」～吉利丁與水果酵素的邂逅，中華民國第 54 屆中小學科學展覽會說明書國小組化學科。
- 七、余定穎，林怡廷，尤睿羿，葉子維，潘楷諾，許宥霆(2016)，研洗攻略～探討果皮酵素的洗淨力，中華民國第 56 屆中小學科學展覽會說明書國小組生應科。
- 八、黃榮，楊藝，黃聖承(2024)，「鳳」中奇緣—探討鳳梨牛奶的反應情形及其應用，中華民國第 64 屆中小學科學展覽會說明書國中組化學科。
- 九、農業知識入口網，(2024/11/05)取自  
<https://kmweb.moa.gov.tw/subject/subject.php?id=5994>。
- 十、食農教育資訊整合平台，(2024/11/18)取自  
[https://fae.moa.gov.tw/map/food\\_item.php?type=AS01&id=160](https://fae.moa.gov.tw/map/food_item.php?type=AS01&id=160)。
- 十一、Nauman Khalid, Haz Ansar Rasul Suleria, and Iftikhar Ahmed, (2016), Pineapple Juice. In Fereidoon Shahidi, Cesarettin Alasalvar((Eds.), *Handbook of Functional Beverages and Human Health* (chapter 40) <https://doi.org/10.1201/b19490> and  
<https://www.researchgate.net/publication/298815490>
- 十二、洪爭坊，郭肇凱，張正英，淺談酵素，農業部臺中區農業改良場台中區農情月刊 84 期。
- 十三、維基百科，光譜，(2025/01/09)取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%85%89%E8%B0%B1>。
- 十四、維基百科，比爾定律，(2025/01/09)取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%AF%94%E5%B0%94-%E6%9C%97%E4%BC%AF%E5%AE%9A%E5%BE%8B>。
- 十五、東海大學化學實驗室，實驗七吸收光譜與比爾定律，(2025/01/09)取自  
<http://gclab.thu.edu.tw/gen-chem/pdf-gc/Exp07.pdf>。
- 十六、黃鈺淳(2022/05/18)，溶液的顏色與濃度，臺灣大學凝態中心光電學堂  
<https://www.ntu-ccms.ntu.edu.tw/lab/ultrafast/photonicedu/001/Upload/1183/relfile/81693/107233/aca8bdc1-1556-4467-a3bc-01324da05044.pdf>。
- 十七、翰林雲端學院，酵素，(2025/01/21)取自  
<https://www.ehanlin.com.tw/app/keyword/%E5%9C%8B%E4%B8%AD/%E7%94%9F%E7%89%A9/%E9%85%B5%E7%B4%A0.html>。
- 十八、偶氮酪蛋白，(2025/01/21)取自  
[https://www.sigmaaldrich.com/TW/zh/product/sigma/a2765?srsId=AfmBOoqSlj4gt8V-dY1RpOgHf-54PDJ0AHLnM7o\\_BsCY2POZH0u9\\_azC](https://www.sigmaaldrich.com/TW/zh/product/sigma/a2765?srsId=AfmBOoqSlj4gt8V-dY1RpOgHf-54PDJ0AHLnM7o_BsCY2POZH0u9_azC)。
- 十九、偶氮酪蛋白，(2025/01/21)取自 [https://www.youtube.com/watch?v=zuU0bEp5U\\_0](https://www.youtube.com/watch?v=zuU0bEp5U_0)。
- 二十、莊榮輝，生物化學基礎酵素純化，(2018)，  
<http://juang.bst.ntu.edu.tw/EPA/Cindex.htm>。

## 【評語】 080201

1. 研究主題明確聚焦於鳳梨蛋白酵素活性比較，具有良好的鄉土性與教材相關性。主題對農業廢棄物再利用領域有一定貢獻，採用科學方法驗證假設，具備可檢驗性。
2. 研究具有創新性，由農業廢棄物角度探討鳳梨副產物的應用價值，方法可行。對農業循環經濟與食品科學具有實用意義。
3. 實驗設計系統完整，從不同水果比較到鳳梨各部位分析，再到環境因子影響，邏輯清晰。控制變因與操縱變因設定適當，數據收集方法合理。
4. 現場表達能力佳。

作品海報





# 鳳梨「酵素」一下



—鳳梨酵素活性與應用價值之探究—





## 摘要

本研究主要探討鳳梨各部位的蛋白酵素活性差異並評估其潛在應用價值。實驗針對鳳梨的果肉、皮、冠芽、葉及芯等部位進行分析，透過分解明膠實驗與酵素活性測定，探討其在不同溫度與酸鹼值環境下的酵素活性變化。結果顯示，鳳梨尾的蛋白酵素活性最高，其次為鳳梨頭、皮與芯，冠芽與葉的活性則相對較低，但整體差異不大。抑菌實驗顯示，各部位皆具有抑制細菌生長的效果，表示在食品保存或抗菌應用上有一定的潛力。本研究證實鳳梨不同部位皆含有蛋白酵素，顯示葉、冠芽、皮等副產物具有再利用的可能性。若能進一步改良萃取方式、提升酵素濃度，未來可望增加鳳梨副產物的應用價值，為食品加工與農業廢棄物再利用提供重要的參考依據。



## 壹、研究動機

每逢大吃大喝後，長輩常說吃鳳梨可幫助消化，是因為它含有能分解蛋白質的酵素。但水果種類這麼多，哪一種最有效呢？我們好奇鳳梨的皮、葉、冠芽等農業副產物是否也有酵素，為了找出答案，我們以科學的方法探究鳳梨不同部位的蛋白酵素活性。未來若能應用製作嫩肉醃料或開發幫助消化的健康產品，就讓大家重新認識鳳梨的神奇力量，發現那些原本「被丟掉的寶藏」也能閃閃發光！



## 貳、研究目的

1. 探討不同水果中的蛋白酵素活性差異。
2. 探討鳳梨不同部位的蛋白酵素活性差異。
3. 探討不同環境條件下對鳳梨蛋白酵素活性的影響。
4. 探討鳳梨的抑菌效果與其應用潛力。



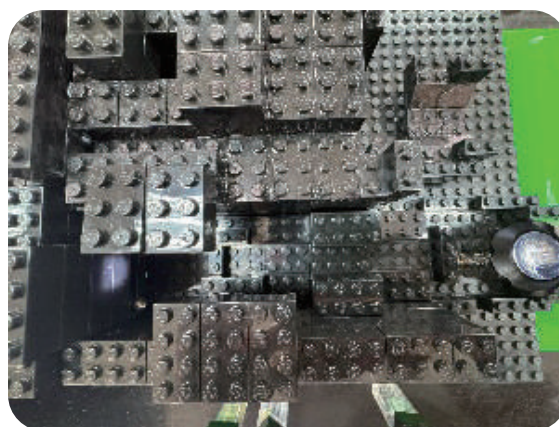
## 參、文獻回顧與整理

(詳見說明書)

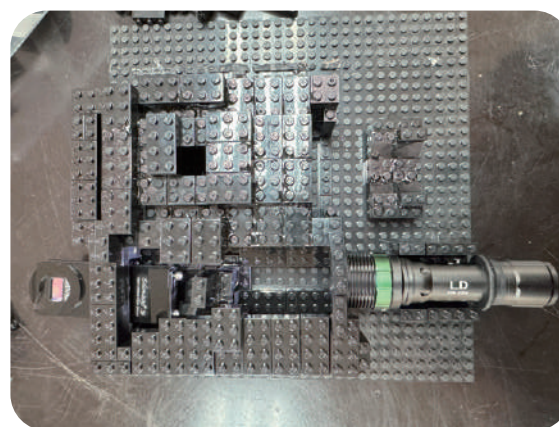


## 肆、研究設備及器材

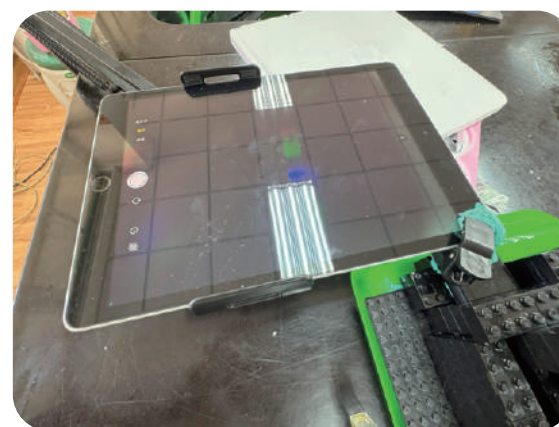
自製光譜平台測量儀器步驟：(照片皆由作者群拍攝)



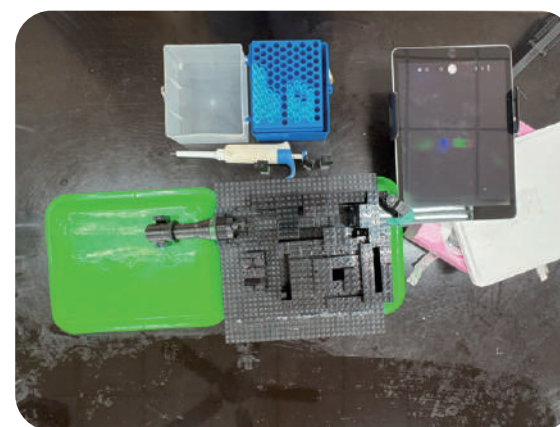
設計比色管槽



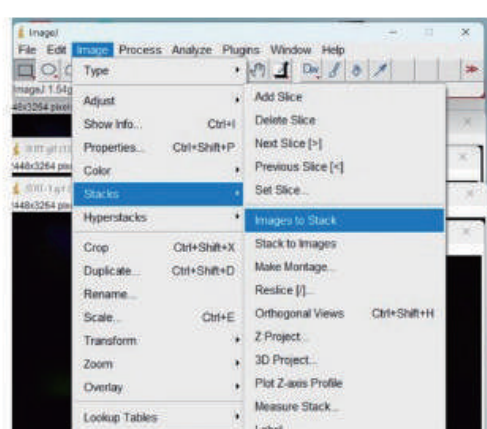
架好儀器光源



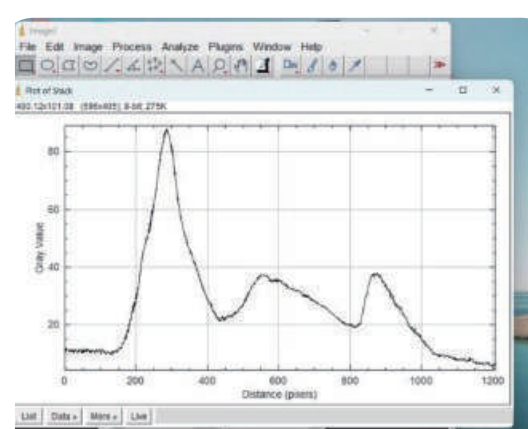
接上iPad拍光譜



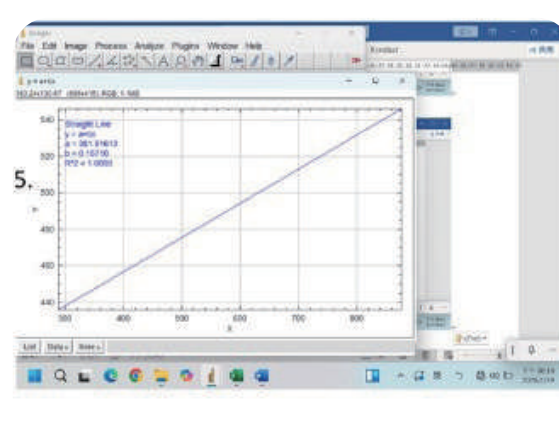
自製光譜平台完成圖



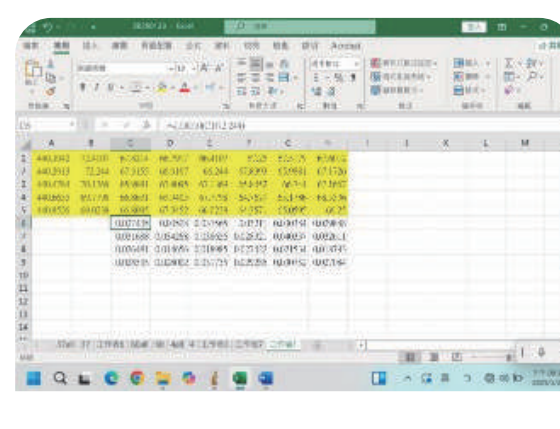
ImageJ將光譜照片堆疊



ImageJ轉換成透光值的光譜圖



ImageJ的波長校正



Excel分析數據

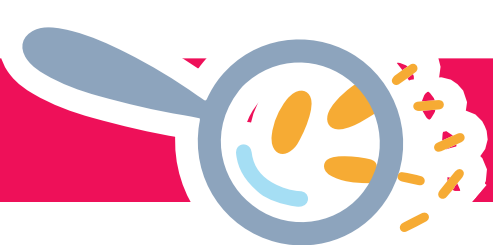
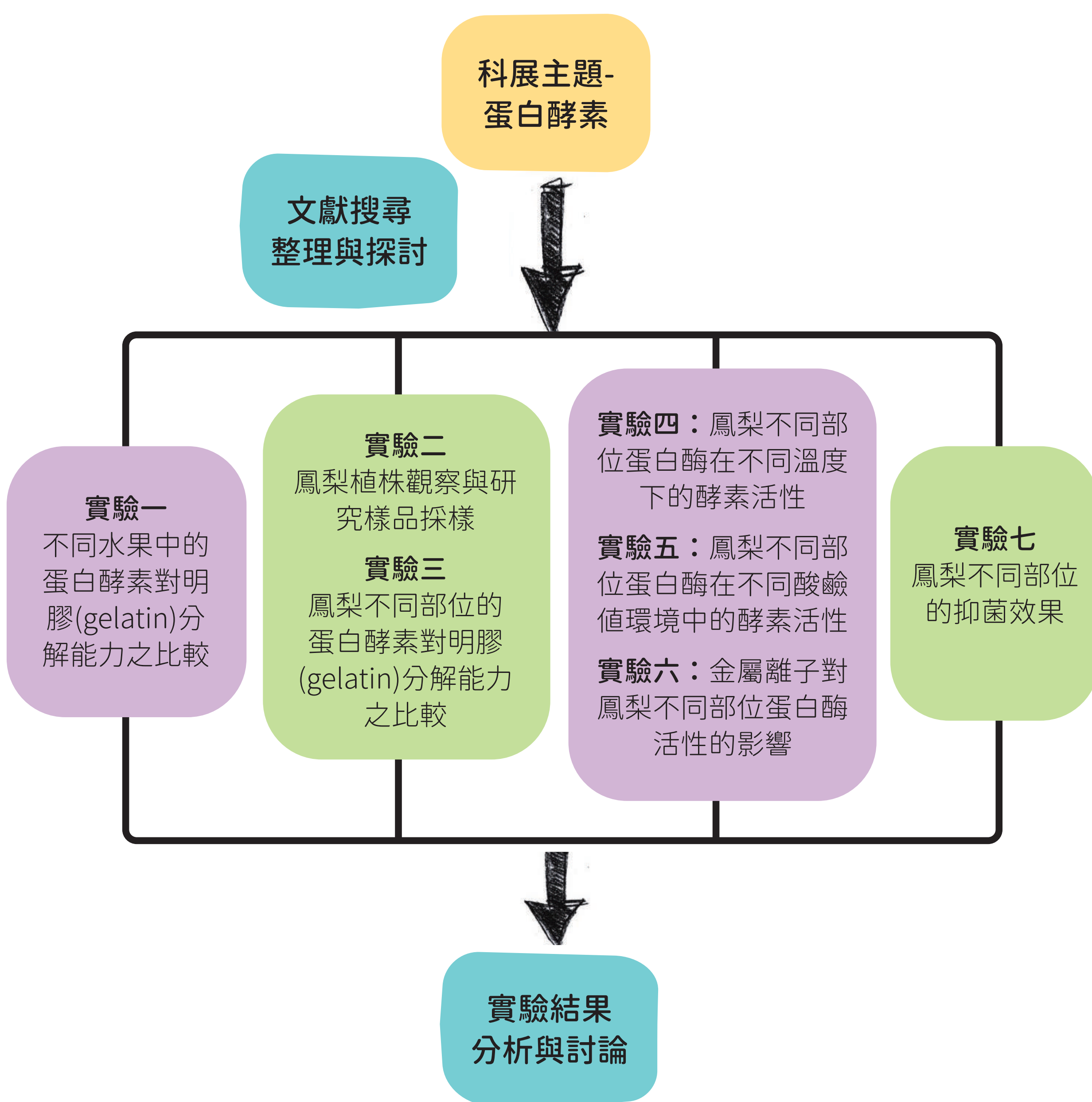


## 伍、研究過程方法、結果與討論



### 研究架構

(由作者群彙整製圖)



## 實驗一：不同水果中的蛋白酵素對明膠(gelatin)分解能力之比較



### (一)實驗設計

操縱變因：水果種類。

控制變因：果汁製備方式、果汁用量、明膠初始重量、培養皿大小、溫度、放置位置時間。

應變變因：明膠剩餘比例。



### (二)實驗步驟

(照片皆由作者群拍攝)



準備不同水果



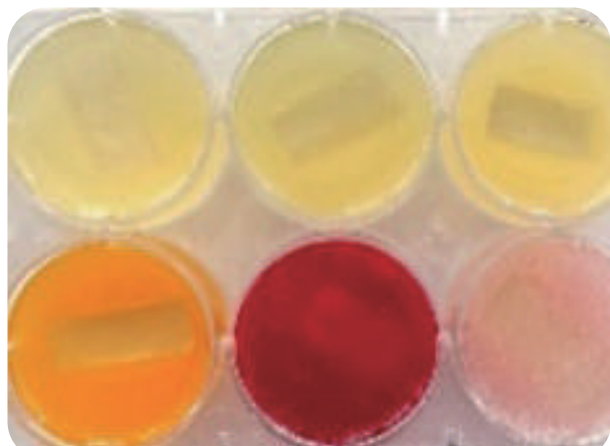
水果切丁榨汁



配製明膠



凝固後切等分



果汁放入明膠中作用



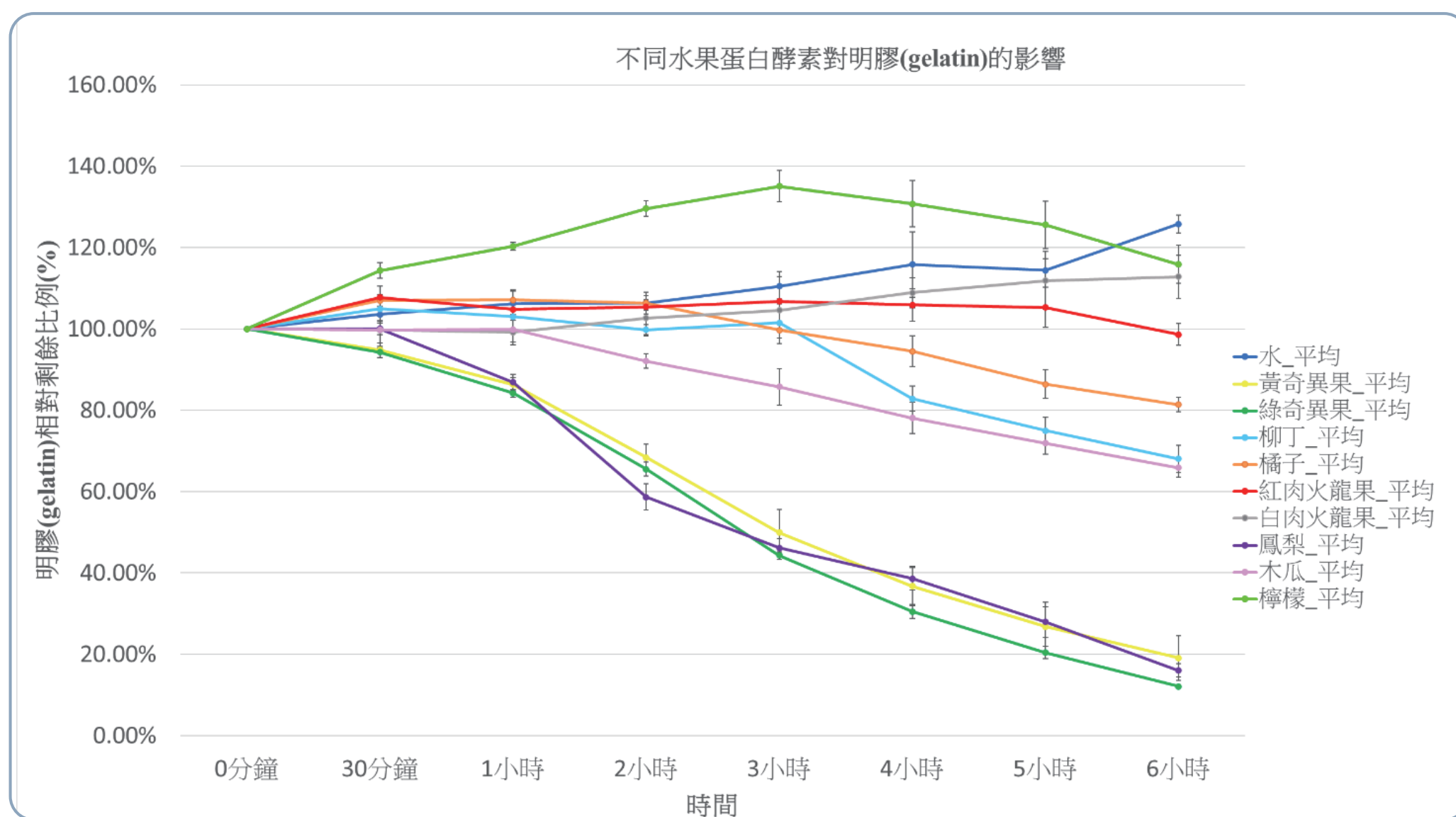
進行三重複



### (三)實驗結果

表一-1：各種水果的pH值 (圖表由作者群彙整繪製)

水果	黃奇異果	綠奇異果	柳丁	橘子	紅肉火龍果	白肉火龍果	鳳梨	檸檬	木瓜
pH值	3.9	3.8	4.6	4.1	5.4	6.2	4.0	3.0	5.2



圖一-1：不同水果蛋白酶對明膠(gelatin)的影響比較圖

(圖表由作者群彙整繪製)



### (四)實驗結果發現

1. 所有水果皆呈酸性，檸檬pH值最低、白肉火龍果pH值最高。
2. 水的明膠重量幾乎不變，表示不具分解明膠能力。
3. 綠奇異果、鳳梨、黃奇異果分解效果最快，6小時後明膠相對剩餘比例分別為12.08%、16.01%、19.06%。
4. 紅火龍果、橘子、柳丁、木瓜分解效果較慢，剩餘比例分別為98.62%、81.40%、68.01%、65.86%。
5. 檸檬與白肉火龍果的明膠反而增加。



### (五)實驗討論

1. 水、檸檬與白肉火龍果組的明膠重量上升，可能是因吸收果汁水分，秤重前未充分擦乾會導致誤差。
2. 根據文獻，鳳梨中含有 Bromelain 酵素，奇異果中含有 Actinidin 酵素，皆屬具蛋白酵素活性的成分，能夠分解蛋白質。
3. 檸檬組明膠分解效果不明顯，推測可能與pH值低，導致酵素產生變性，進而抑制蛋白酵素的活性，無法分解明膠。



## 實驗二：鳳梨植株觀察與研究樣品採樣



### (一)樣品採樣

(照片皆由作者群拍攝)

研究所用台農17號金鑽鳳梨，採自嘉義民雄旺萊山，分別於2024年11月30日、2025年1月23日與1月24日實地採樣。每次皆隨機選取兩株健康鳳梨植株，共採得六株樣本。



踏查民雄鄉鳳梨田



鳳梨田實景



鳳梨田實景



摘採鳳梨植株



### (二)踏查實驗結果

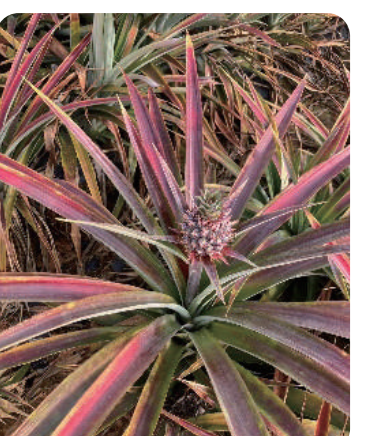
(照片皆由作者群拍攝)



鳳梨植株



鳳梨的芽苗



鳳梨植株



測量植株長度



用手機顯微觀察



### (四)植株高度

表二-1：鳳梨樣品植株高度(單位:公分) (圖表由作者群彙整繪製)

測量(cm)	第一株	第二株	第三株	第四株	第五株	第六株	平均
植株高度(從葉至根)	100.0	102.0	100.0	101.0	98.0	100.0	100.17



### (一)實驗設計

操縱變因：水果種類。

控制變因：果汁製備方式、果汁用量、明膠初始重量、培養皿大小、溫度、放置位置時間。

應變變因：明膠剩餘比例。



### (二)實驗步驟

(照片皆由作者群拍攝)



分開鳳梨頭與尾



研磨出汁液



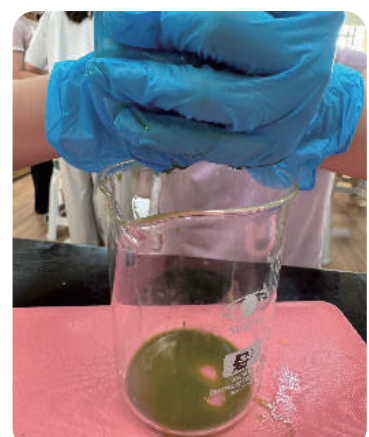
剪下鳳梨葉



將鳳梨葉剪小塊



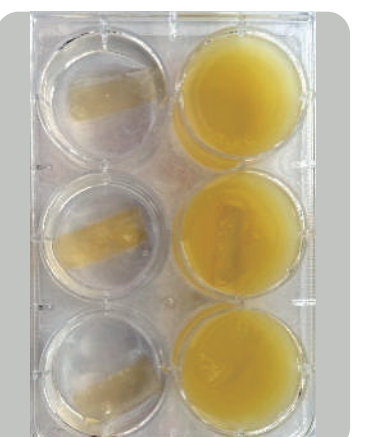
用果汁機攪碎



放入過濾袋手工榨出汁液



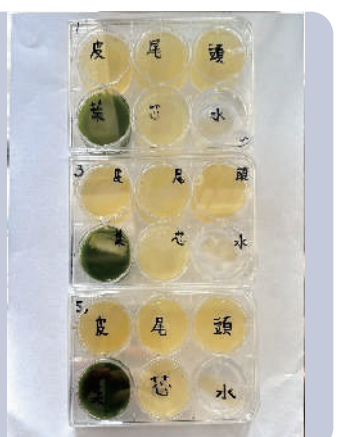
剩餘的鳳梨葉渣



將鳳梨不同部位的汁液放入明膠



將鳳梨不同部位的汁液放入明膠



進行三重複



### (一)實驗設計

操縱變因：溫度。

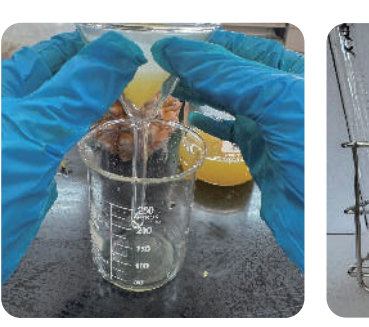
控制變因：果汁製作方式、果汁用量、偶氮酪蛋白量、反應時間。

應變變因：酵素作用後的顏色變化與吸光值。



### (二)實驗步驟

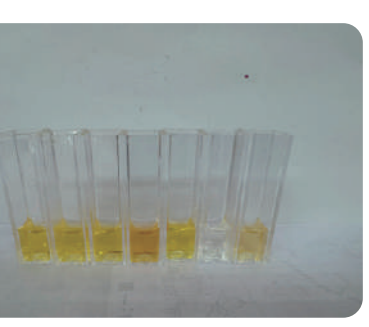
(照片皆由作者群拍攝)



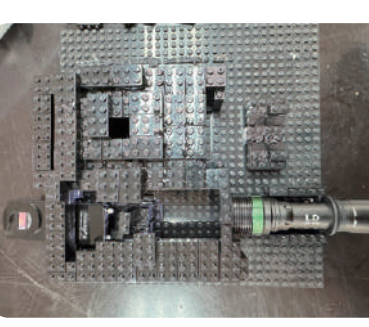
過濾鳳梨汁液



偶氮酪蛋白作用



比色結果



測量透光值



### (四)實驗結果發現

- 37°C下鳳梨各部位偶氮酪蛋白胨肽比色卡顏色呈現最深，且吸光值皆高於0.15。
- 各部位酵素活性以37°C最高，其次是室溫，再來是60°C，最低是4°C。



### (一)實驗設計

操縱變因：不同酸鹼值環境。

控制變因：果汁的製作方式、果汁用量、偶氮酪蛋白量、反應時間與溫度。

應變變因：酵素作用後的顏色變化與吸光值。



### (二)實驗步驟

(略)



### (四)實驗結果發現

- 中性環境下的偶氮酪蛋白胨肽比色卡顏色呈現最深，且吸光值皆最高，而尾部效果最佳。
- 無論哪個部位，酵素活性表現皆為：中性 > 酸性 > 鹼性。



### (三)鳳梨植株外觀

(照片皆由作者群拍攝)



鳳梨植株外觀



整株鳳梨植株



整株鳳梨植株



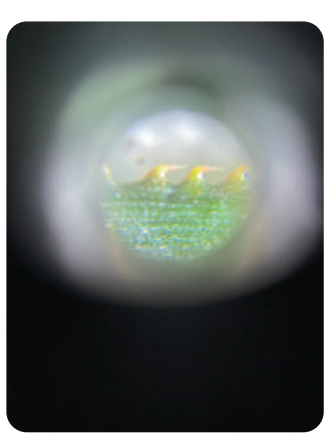
鳳梨根



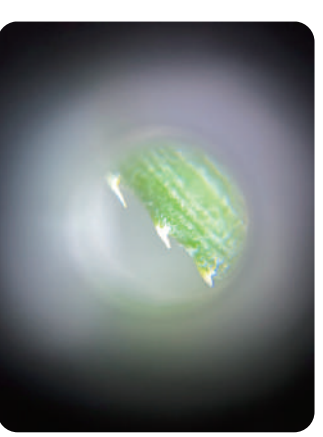
鳳梨葉



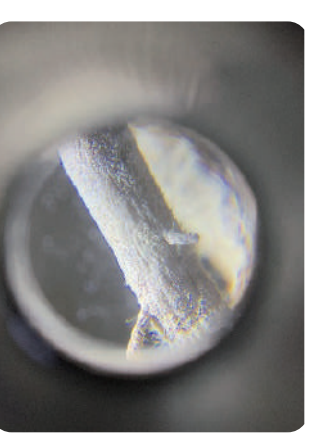
細看有倒刺



顯微鏡下的倒刺



顯微鏡下的倒刺



顯微鏡下的根



整顆鳳梨外觀



鳳梨冠芽



鳳梨冠芽剖面



鳳梨皮



鳳梨芯



鳳梨肉



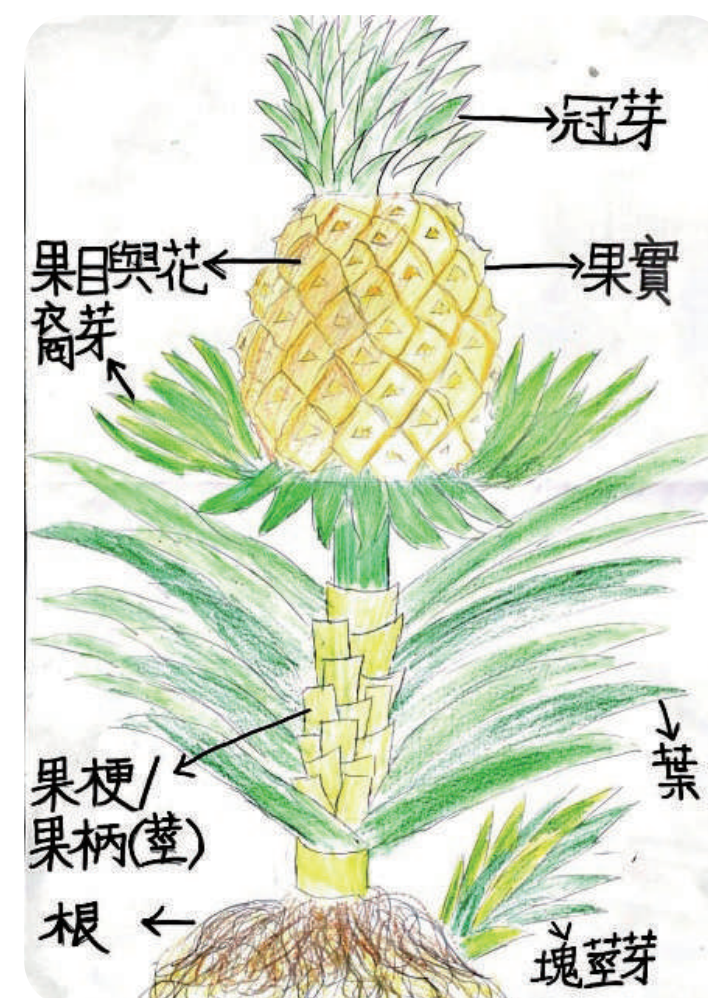
### (六)實驗討論

放眼望去，整片鳳梨田幾乎都是綠葉。大量的鳳梨葉多被視為廢棄物，只有部分作為育苗再加以利用，若葉片中含有蛋白酶成分，則具有開發應用的潛力。



### (五)實驗結果發現

- 鳳梨田土壤偏乾且呈紅色。
- 鳳梨果實底部稱為「頭」，接近冠芽處稱為「尾」。
- 鳳梨葉具倒鉤刺，具有保護的功能。
- 收成後的鳳梨冠芽可再育苗繁殖。
- 此次隨機採樣的鳳梨植株高度約為100.17公分。



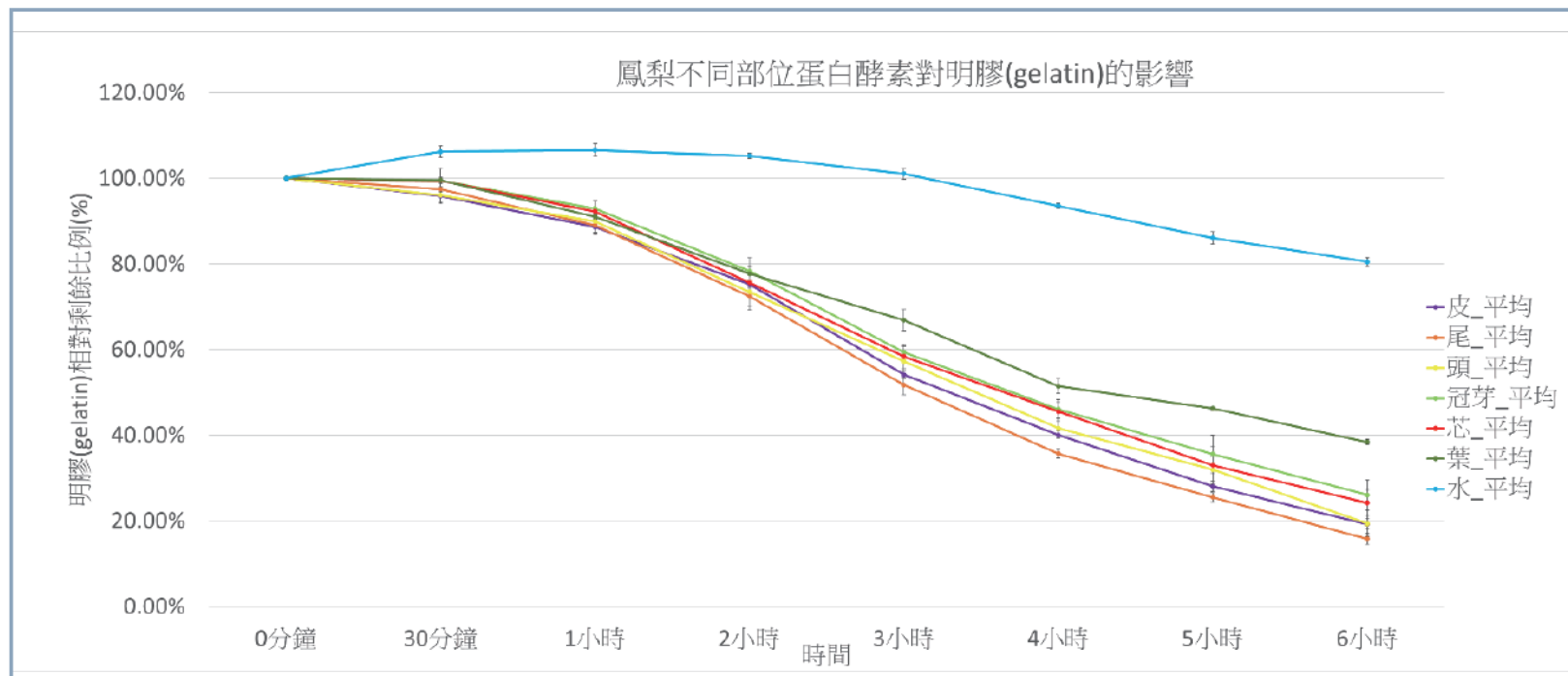
(由作者群繪製)



### (三)實驗結果

表三-1：鳳梨各部位液體的pH值 (圖表由作者群彙整繪製)

鳳梨	皮	尾	頭	冠芽	芯	葉
pH值	4.1	4.0	4.0	4.7	4.0	4.9



圖三-1：鳳梨不同部位對明膠(gelatin)的影響比較圖

(圖表由作者群彙整繪製)



### (五)實驗討論

- 鳳梨尾的酵素活性最強，可能因累積較多與果實成熟相關酵素。
- 冠芽與葉也含酵素但明膠剩餘較多，可能與纖維多、蛋白質含量少有關。
- 對照組明膠有少量減少，可能是交叉污染導致，未來應重複實驗或加強排除干擾。



### (四)實驗結果發現

- 鳳梨尾、頭、芯pH值為4.0，皮4.1，冠芽4.7，葉4.9，皆呈酸性。
- 對照組(水)對明膠幾乎沒有分解效果，重量變化極小。
- 鳳梨尾部對明膠分解效果最明顯，6小時後剩餘比例只有15.76%。頭與皮次之。
- 芯、冠芽與葉分解效果相對較弱，剩餘比例分為24.12%、26.01%、38.33%
- 所有果汁組皆使明膠逐漸減少，代表皆含有蛋白酶。

## 實驗四：鳳梨不同部位蛋白酶在不同溫度下的酵素活性



### (一)實驗設計

操縱變因：溫度。

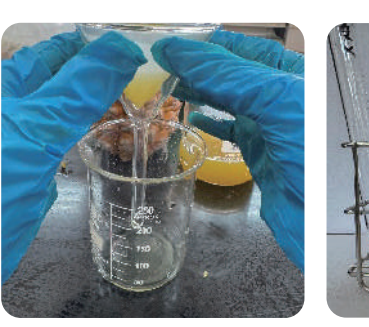
控制變因：果汁製作方式、果汁用量、偶氮酪蛋白量、反應時間。

應變變因：酵素作用後的顏色變化與吸光值。



### (二)實驗步驟

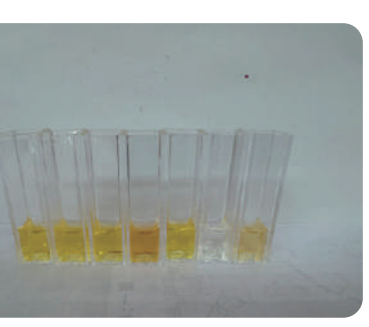
(照片皆由作者群拍攝)



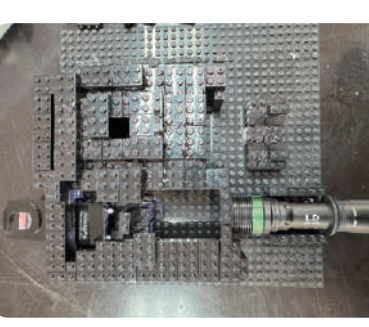
過濾鳳梨汁液



偶氮酪蛋白作用



比色結果



測量透光值



### (四)實驗結果發現

- 37°C下鳳梨各部位偶氮酪蛋白胨肽比色卡顏色呈現最深，且吸光值皆高於0.15。
- 各部位酵素活性以37°C最高，其次是室溫，再來是60°C，最低是4°C。

### (三)實驗結果

1. 比色卡結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表四-1：鳳梨不同部位蛋白酶在不同溫度作用下的偶氮酪蛋白胨肽比色卡結果

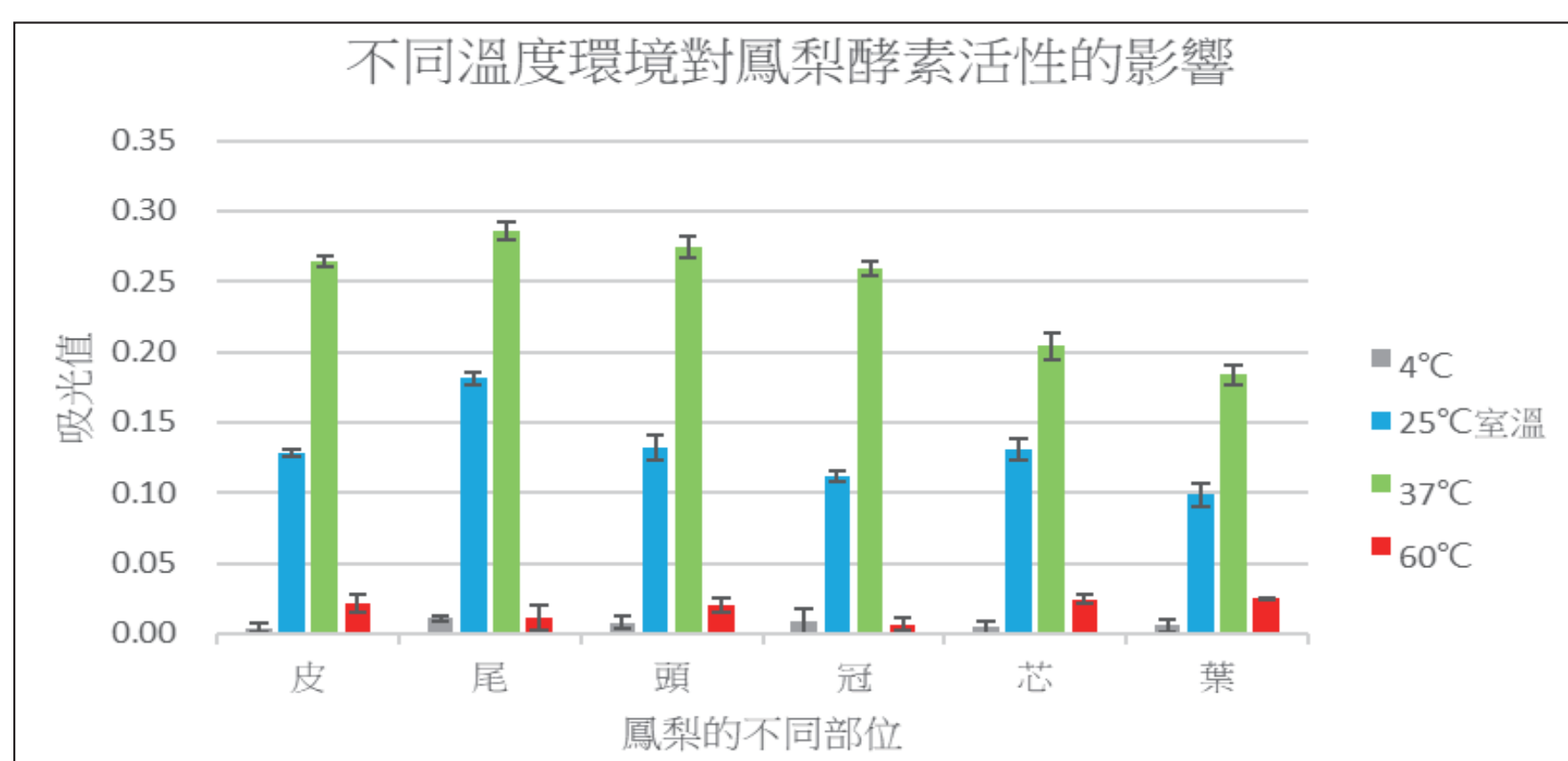
	4°C	25°C(室溫)	37°C	60°C
水	Y5C5(透明)	Y5C5(透明)	Y5C5(透明)	Y5C5(透明)
皮	Y10C5	Y80C5	Y90C5	Y20C5
尾	Y10C5	Y70C5	Y80C5	Y30C5
頭	Y10C5	Y60C5	Y90C5	Y10C5
冠芽	Y10C5	M20Y100	M30Y100	Y30C5
芯	Y5C5(透明)	Y60C5	Y70C5	Y5C5(透明)
葉	Y10C5	Y50C5	M10Y100	Y40

2. 光譜圖結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表四-2：鳳梨不同部位蛋白酶在不同溫度作用下的偶氮酪蛋白胨肽光譜照片

	4°C	25°C(室溫)	37°C	60°C
水				
皮				
尾				
頭				
冠芽				
芯				
葉				

3. 偶氮酪蛋白(Azocasein)結果：(圖表由作者群彙整繪製)



圖四-1：鳳梨不同部位的蛋白酶在不同溫度下對偶氮酪蛋白吸光值的影響



### (五)實驗討論

- 37°C是為模擬人體溫度，酵素在此溫度下最活躍，溫度過低或過高都會降低活性。
- 高溫可能造成蛋白質酵素變性，低溫則可能降低結合效率與催化效率。
- 鳳梨尾酵素活性最高，推測可能與組織成熟度與代謝活性有關。
- 未來可以設計更精確的溫度梯度實驗，以找到其蛋白酶最佳反應溫度。

## 實驗五：鳳梨不同部位蛋白酶在不同酸鹼值環境中的酵素活性



### (一)實驗設計

操縱變因：不同酸鹼值環境。

控制變因：果汁的製作方式、果汁用量、偶氮酪蛋白量、反應時間與溫度。

應變變因：酵素作用後的顏色變化與吸光值。



### (二)實驗步驟

(略)



### (四)實驗結果發現

- 中性環境下的偶氮酪蛋白胨肽比色卡顏色呈現最深，且吸光值皆最高，而尾部效果最佳。
- 無論哪個部位，酵素活性表現皆為：中性 > 酸性 > 鹼性。

### (三)實驗結果

1. 比色卡結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表五-1：鳳梨不同部位蛋白酶在不同酸鹼度作用下的偶氮酪蛋白胨肽比色卡結果

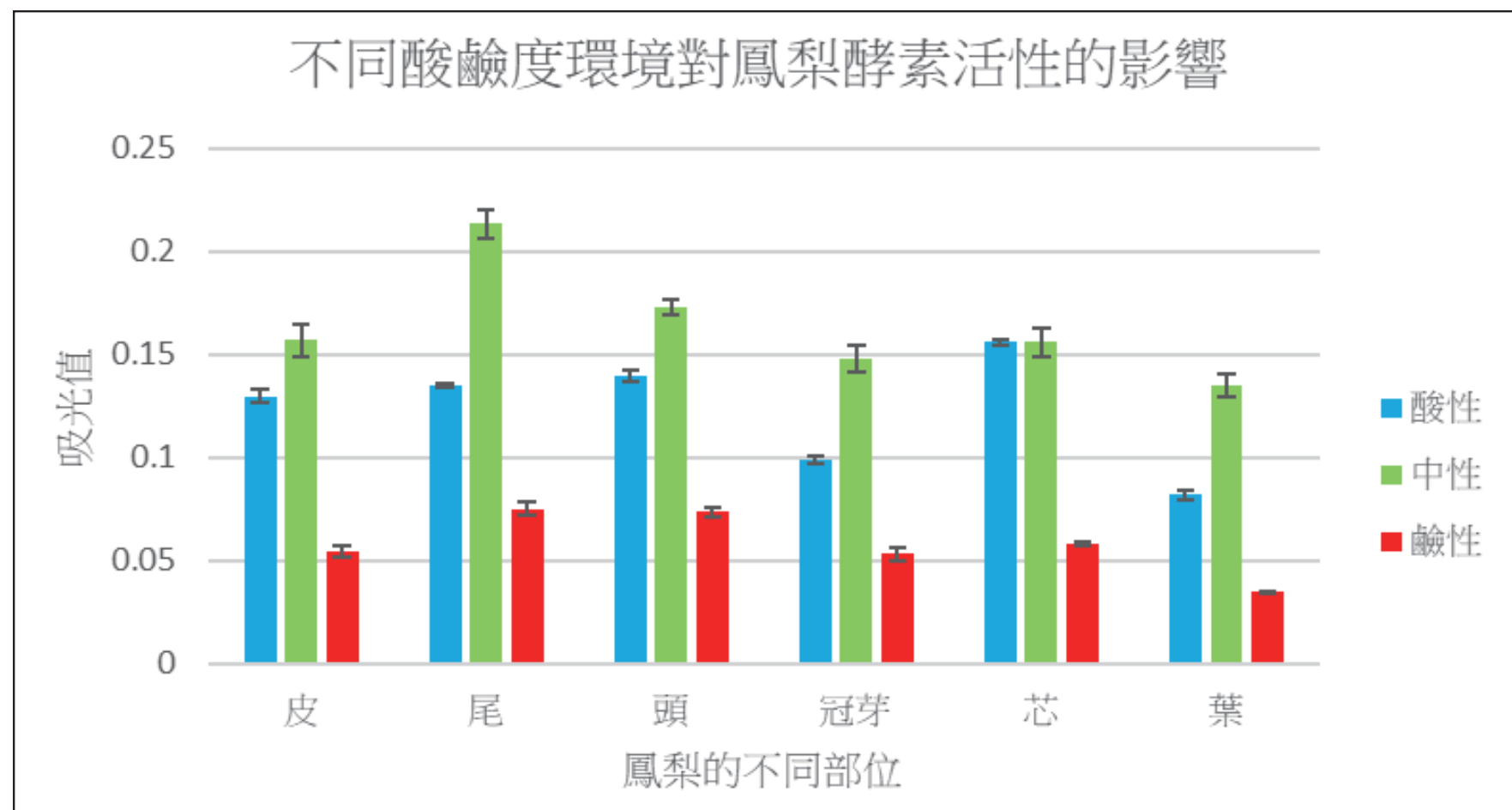
	酸性	中性	鹼性
水	Y5C5(透明)	Y5C5(透明)	Y5C5(透明)
皮	Y40	Y60	Y40
尾	Y40	Y70	Y40
頭	Y50	Y50	Y50
冠芽	M10Y100	M10Y100	Y20
芯	Y40	Y70	Y30
葉	Y40	Y40	Y10

2. 光譜圖結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表五-2：鳳梨不同部位蛋白酶在不同酸鹼度作用下的偶氮酪蛋白胨肽光譜照片

	酸性	中性	鹼性
水			
皮			
尾			
頭			
冠芽			
芯			
葉			

3. 偶氮酪蛋白(Azocasein)結果：(圖表由作者群彙整繪製)



圖五-1：鳳梨不同部位的蛋白酶在不同酸鹼度環境下對偶氮酪蛋白的吸光值影響



### (五)實驗討論

- 酵素可能因在強酸、強鹼的環境下造成結構改變，失去催化功能。
- 酵素在酸性環境仍有一定活性，推測鳳梨本身偏酸，其酵素對酸環境具有一定耐受性。
- 未來可設計pH值梯度實驗，找出最適pH值範圍。



實驗六：金屬離子對鳳梨不同部位蛋白酶活性的影響

(一)實驗設計

操縱變因：是否添加EDTA-2Na。  
控制變因：果汁的製作方式、果汁用量、偶氮酪蛋白量、反應時間與溫度。  
應變變因：酵素作用後的顏色變化與吸光值。

(二)實驗步驟

(略)

(三)實驗結果

1. 比色卡結果：(圖表由作者群彙整繪製)  
表六-1：鳳梨不同部位蛋白酶在有無EDTA-2Na環境作用下偶氮酪蛋白胨肽比色卡結果

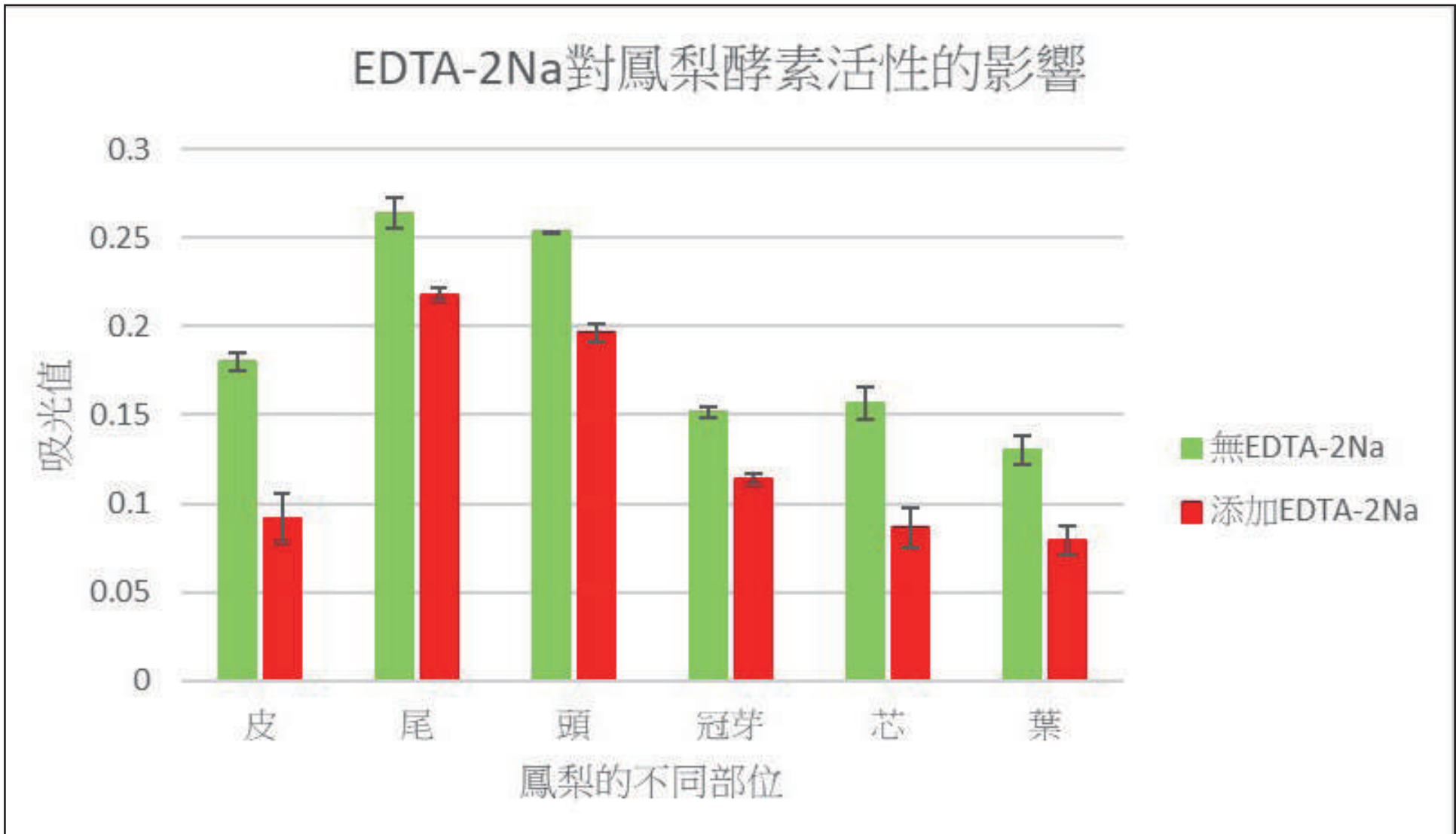
	無EDTA-2Na		有EDTA-2Na	
水		Y5C5(透明)		Y5C5(透明)
皮		Y40C5		Y20C5
尾		Y50C5		Y20C5
頭		Y50C5		Y20C5
冠芽		Y50C5		Y30C5
芯		Y40C5		Y20C5
葉		Y90C5		Y40C5

2. 光譜圖結果：(圖表由作者群彙整繪製)

表六-2：鳳梨不同部位蛋白酶在有無EDTA-2Na環境作用下的偶氮酪蛋白胨肽光譜照片

	無EDTA-2Na	有EDTA-2Na
水		
皮		
尾		
頭		
冠芽		
芯		
葉		

3. 偶氮酪蛋白(Azocasein )結果：(圖表由作者群彙整繪製)



圖六-1：鳳梨不同部位的蛋白酶在是否有EDTA-2Na環境作用下對偶氮酪蛋白的吸光值影響

(五)實驗討論

- EDTA-2Na可能螯合了酵素所需的金屬離子，而金屬離子可能為鳳梨蛋白酵素的輔因子，所以導致活性下降。
- 未來可嘗試加入EDTA後加入不同金屬離子，進一步檢驗酵素所需的金屬離子。

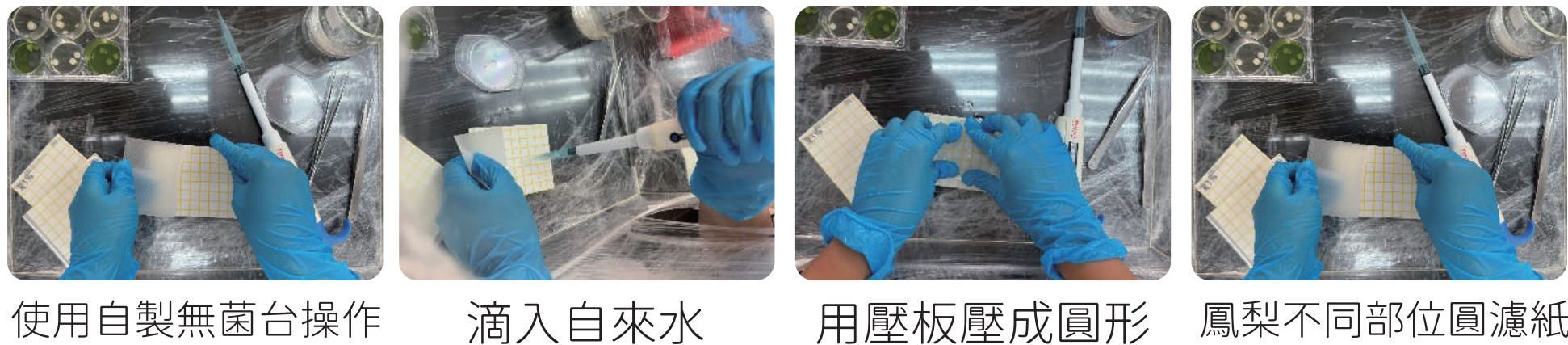
實驗七：鳳梨不同部位的抑菌效果

(一)實驗設計

操縱變因：不同鳳梨部位的果汁。  
控制變因：加入的水含量、果汁用量、紙碟大小、培養的溫度、培養的時間。  
應變變因：抑菌環大小與面積。

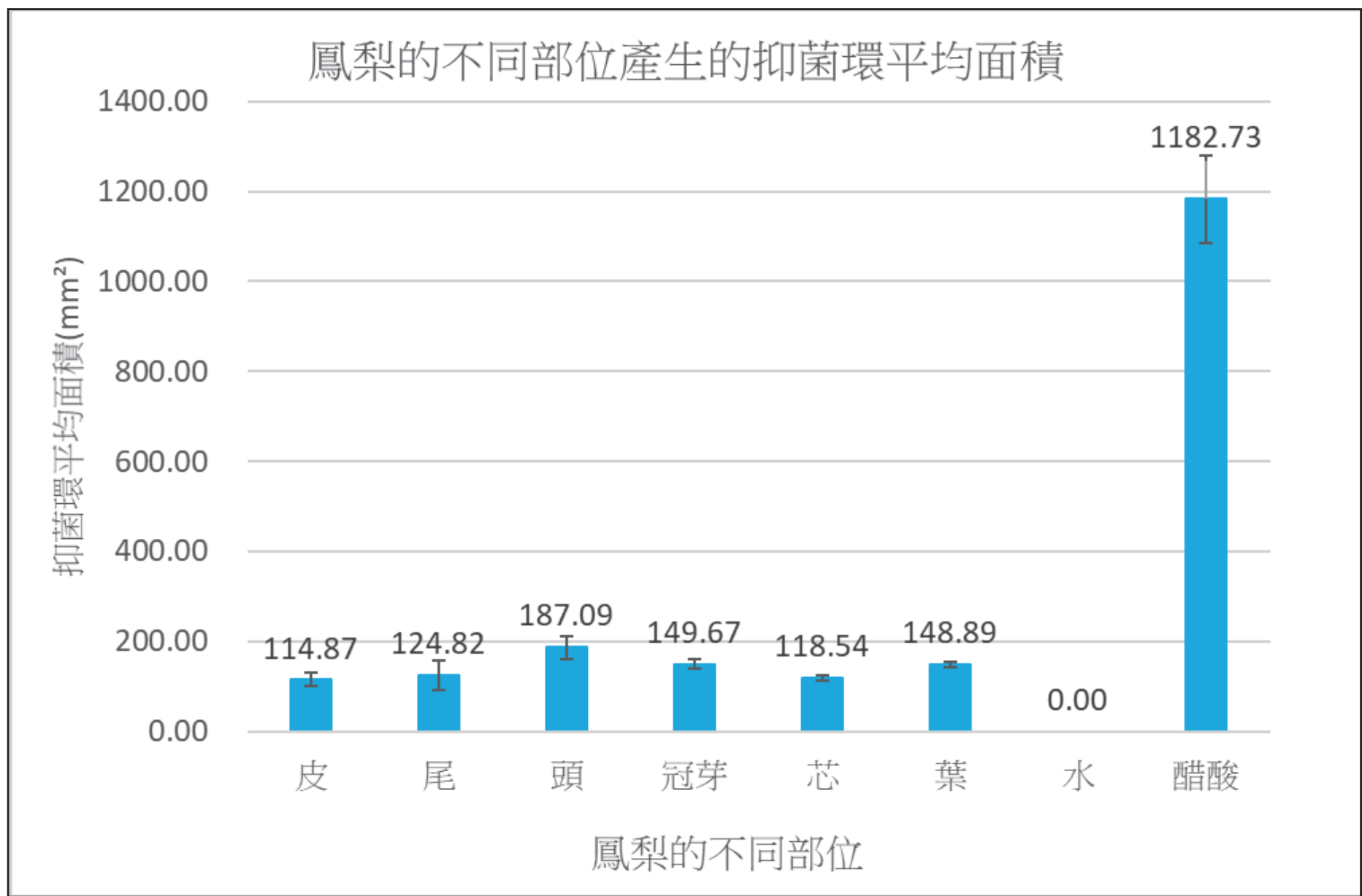
(二)實驗步驟

(照片皆由作者群拍攝)



(三)實驗結果

(圖表由作者群彙整繪製)



圖七-1：鳳梨不同部位產生的抑菌環面積  
(圖表由作者群彙整繪製)

(四)實驗結果發現

- 對照組（水）無抑菌效果。
- 所有部位皆形成明顯的抑菌環，以鳳梨頭、冠芽、葉的抑菌面積最大，而尾、皮、芯抑菌效果較弱。

表七-1：3M™ Petrifilm™ 總生菌數快檢片經24小時培養後結果圖

水(對照組)	鳳梨皮	鳳梨尾	鳳梨頭

(五)實驗討論

- 鳳梨頭、冠芽、葉抑菌效果最佳，推測這些部位富含較高濃度天然抑菌物質。
- 以醋酸為對照，細菌幾乎無法生長，證實酸性環境具抑菌效果。然而葉與冠芽pH值高於頭與尾，卻產生較大抑菌環，推測除酸性外，尚有其他成分參與抑菌。故葉與冠芽可能含有具抑菌潛力的天然物質。

陸、結論

- 經多種水果比較，發現鳳梨、綠奇異果與黃奇異果對明膠具有較高的分解能力，代表其蛋白酶活性較高，具分解蛋白質之潛力。
- 不同部位的鳳梨皆有蛋白酶活性，以尾部活性最高，葉與冠芽相對較低，證實鳳梨不同部位也含有酵素功能，具有潛在應用價值。
- 蛋白酶活性受溫度影響，37℃下鳳梨各部位有最高活性，反映其在人體體溫下仍可穩定發揮功能，而低溫會抑制反應速率，高溫則可能導致酵素變性。

- 蛋白酶活性受酸鹼值影響，鳳梨各部位在中性環境下活性最高，其次為酸性，鹼性條件下最低，反映其在人體消化道中具活性表現之潛力。
- 蛋白酶活性受金屬離子影響，添加螯合劑EDTA後鳳梨各部位蛋白酶活性明顯下降，推測其活性需具特定金屬離子才能維持正常催化功能。
- 鳳梨不同部位均具有天然抑菌效果，其中以冠芽、葉與頭部的抑菌面積最大，反映其富含抗菌之天然成分，具有作為食品防腐或抑菌材料之應用潛力。

柒、未來展望

(詳見說明書)

捌、參考文獻資料

(詳見說明書)