

屏東縣第 61 屆國中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：生物

組 別：國中組

作品名稱：多孔性物質對延遲香蕉後熟的研究

關 鍵 詞：乙烯、後熟、香蕉澱粉酵素

編號： B4022

## 摘要

香蕉為更年性果實(Climacteric Fruit)。更年性果實的特性之一為可以生成**乙烯(Ethylene)**，並可由乙烯引發**後熟**，而乙烯在其中具有很重要的使命。乙烯之合成及其對果實催熟作用，可能受細胞內蛋白質合成系統及其他生長調節物質存在之種類與濃度等影響。

實驗中，我們一開始先測量出最適合香蕉後熟的溫度(34°C)，接著在控溫 34°C的環境內分別以 5、10、15、20、25、30、35、40、45、50 公克的煨燒牡蠣殼粉、活性碳(顆粒)、活性碳(粉狀)來測試其對香蕉後熟速度的影響，實驗結果發現，牡蠣殼粉、活性碳(顆粒)、活性碳(粉狀)均有延遲香蕉果實後熟的效果，**其中活性碳(粉狀)效果最好，煨燒牡蠣殼粉次之，活性碳(顆粒)比較沒那麼顯著。**



(香蕉後熟前)



(香蕉後熟後)

## 壹、 研究動機

臺灣是熱帶水果王國，盛產多種水果，其中又以香蕉為最大宗，因此在臺灣香蕉是一種非常常見的水果，不僅營養豐富還香甜可口，不過香蕉的保鮮期實在不長，放不到 1 至 2 週便都過熟了，所以如何延長香蕉的保存時間是一個問題。

有一次鄰居朋友一次送來好幾串香蕉，全家都很開心，殊不知，才 2 週後就都軟軟爛爛的，這個問題大大引起我的興趣，為尋求解決之道，便上網查詢各種解決的辦法，也因此得知乙烯是影響香蕉後熟的關鍵，能有效控制乙烯的含量就能延緩香蕉保存的時間，也從網路資訊上得知臺灣牡蠣殼堆積沿海的問題。

牡蠣殼粉在經煨燒後亦能提升吸附低分子量物質的能力，所以推斷煨燒牡蠣殼粉可能具有吸收乙烯的作用。同時我們也將另一種生活中更普遍能買到表面同樣具有細孔的活性碳來比較兩者延緩香蕉後熟的結果。另外，我們認為活性碳的型態也許會影響吸收氣體的能力，因此將活性碳分成顆粒狀及粉狀來操作實驗。

我們可利用國中生物康軒版上學期第二章養分所教醣類的測定，用本氏液測麥芽糖的含量來判斷香蕉澱粉酶活性多寡，推斷香蕉後熟生理反應的進程。



堆積成山的牡蠣殼



煨燒後的牡蠣殼粉

## 貳、 研究目的

因屏東地區除寒流來的那幾天氣溫真的有機會在 20°C 以下，大部分的時間氣溫都在 25°C 甚至 30°C 以上，我們希望藉由此次的實驗能找到符合一般民眾將香蕉買回家就能操作的延緩香蕉後熟的方法，所以溫度的選擇就不採用文獻上所標示的香蕉最佳後熟溫度為 18~20°C，另外設計實驗找出在較高溫的條件下，香蕉後熟的最佳溫度。

一、探討香蕉澱粉酶活性最佳化溫度。

1. 在 26°C 下香蕉後熟速度如何？
2. 在 28°C 下香蕉後熟速度如何？
3. 在 30°C 下香蕉後熟速度如何？
4. 在 32°C 下香蕉後熟速度如何？
5. 在 34°C 下香蕉後熟速度如何？

二、探討不同物質對延緩香蕉後熟的效果。

1. 牡蠣殼粉對延緩香蕉後熟的效果如何？
2. 粗活性碳粒對延緩香蕉後熟的效果如何？
3. 細活性碳粒對延緩香蕉後熟的效果如何？

三、探討吸收乙烯之物質質量對延緩香蕉後熟的效果。






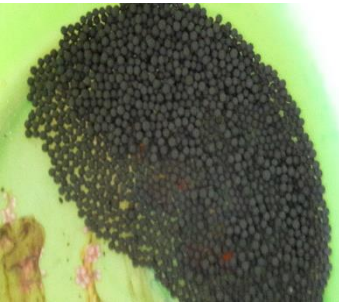



1. 吸收乙烯之物質 5 公克對延緩香蕉後熟的效果如何？
2. 吸收乙烯之物質 10 公克對延緩香蕉後熟的效果如何？
3. 吸收乙烯之物質 15 公克對延緩香蕉後熟的效果如何？
4. 吸收乙烯之物質 20 公克對延緩香蕉後熟的效果如何？
5. 吸收乙烯之物質 25 公克對延緩香蕉後熟的效果如何？
6. 吸收乙烯之物質 30 公克對延緩香蕉後熟的效果如何？
7. 吸收乙烯之物質 35 公克對延緩香蕉後熟的效果如何？
8. 吸收乙烯之物質 40 公克對延緩香蕉後熟的效果如何？
9. 吸收乙烯之物質 45 公克對延緩香蕉後熟的效果如何？
10. 吸收乙烯之物質 50 公克對延緩香蕉後熟的效果如何？

## 參、 研究設備及器材

### 一、測定香蕉澱粉酶活性最佳化溫度

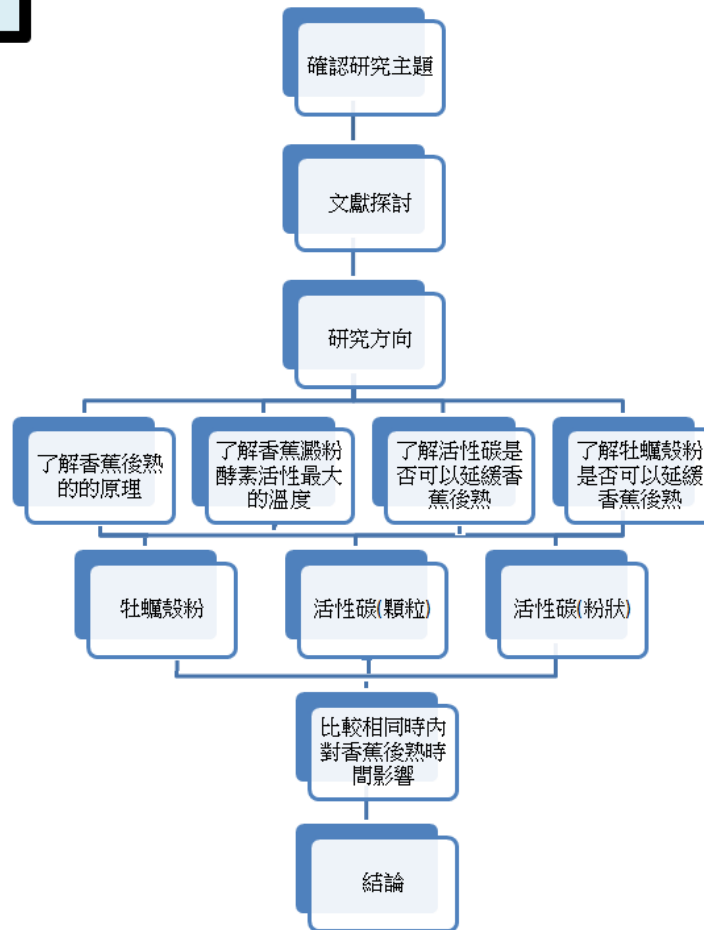
成熟香蕉果肉與皮之間物質	研鉢	試管
		
加熱器	本氏液	熱水
		
計時器	電子溫度計	削皮刀
		
滴管		
		

二、多孔性物質對減緩香蕉後熟測量

未後熟香蕉數串	環氧樹脂 AB 膠桶	植物培養箱(定溫)
		
冰箱	研鉢	煨燒牡蠣殼粉
		
活性炭	糖度計	量筒
		
茶包		
		

## 肆、 研究過程或方法

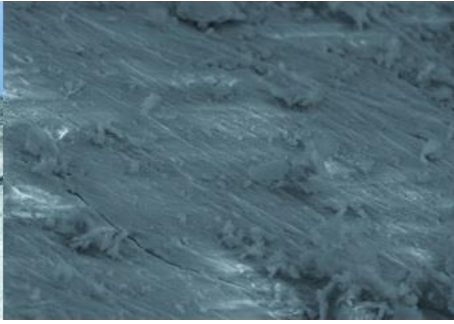
### 實驗架構圖



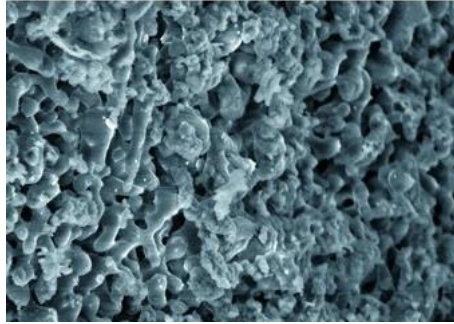
### 吸附原理

#### 一、煨燒牡蠣殼

所謂「煨燒」為高溫下使原料產生化學及物理變化。研究發現高溫轉化而成的煨燒牡蠣殼粉能提升其吸附低分子量物質的能力。透過掃描式電子顯微鏡觀察，發現牡蠣殼粉呈岩層片狀，經過高溫煨燒處理後則呈孔丘狀，形態與未煨燒前有很明顯的差異。牡蠣殼粉在經過煨燒之後，其總面積會由原本的  $182\text{m}^2/\text{g}$  上升至  $248\text{m}^2/\text{g}$ ，而粒徑由 84%能通過 20 網目(mesh)，縮小至有 90%能通過 325 網目，其顆粒細度十分接近活性碳的標準。



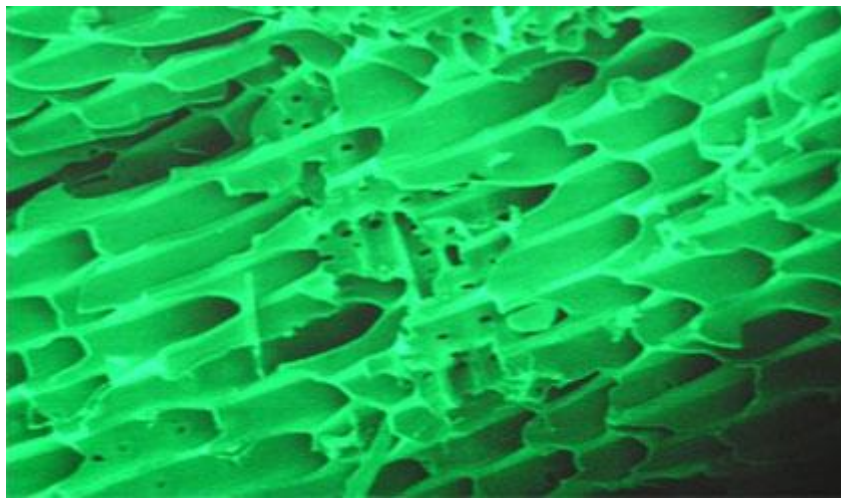
煨燒前牡蠣殼粉在掃描式電子顯微鏡下的型態



煨燒後牡蠣殼粉在掃描式電子顯微鏡下的型態

## 二、活性碳

活性碳裡面有非常多的細小孔洞，這些孔洞是肉眼無法看到的，必須用電子顯微鏡才看的到，一般活性碳的表面積越大，代表活性碳的孔洞越多，附著能力越好，所以當雜質進入活性碳的孔洞後，就卡在孔洞之中出不來，也不能用一般的水洗方法將雜質洗出。



高倍數電子顯微鏡活性碳結構

## 三、吸附作用

吸附作用可以區分為物理性吸附及化學性吸附。物理性吸附主要的親和作用力為力量較小的凡得瓦力(Van der Waals)，當溶液中溶質與吸附劑間的吸引力大於溶質與溶劑間之吸引力時，溶質即被吸附於吸附劑上，為一種可逆反應。化學性吸附的吸附力比較大，其親和作用力是利用吸附質與吸附劑之活性位置間所形成的化學鍵結，是一種不可逆現象。



煨燒牡蠣殼、活性碳吸附屬於物理吸附，活性碳的吸附力不僅可以吸附本身靜電就不均衡非對稱結構的化合物分子，甚至對電子雲半徑較大、外層電子雲可產生畸變，導致靜電不均衡的乙烯產生吸附。氧氣、氮氣這類氣體本身靜電均衡，同時分子不大，原子核被自身電子雲裹得比較"嚴實"，這樣吸附就困難。

## 檢測原理

### 一、本氏液的顯色

本氏液主要用來檢測還原性糖，包括除蔗糖之外基本上所有的單醣和雙醣。如果測試樣本是還原糖，混合物中會形成磚紅色的沉澱物。這是因為還原糖會將硫酸銅中的二價銅離子( $\text{Cu}^{2+}$ )還原成一價銅離子( $\text{Cu}^+$ )，並以氧化亞銅( $\text{Cu}_2\text{O}$ )的形式沉澱出來。

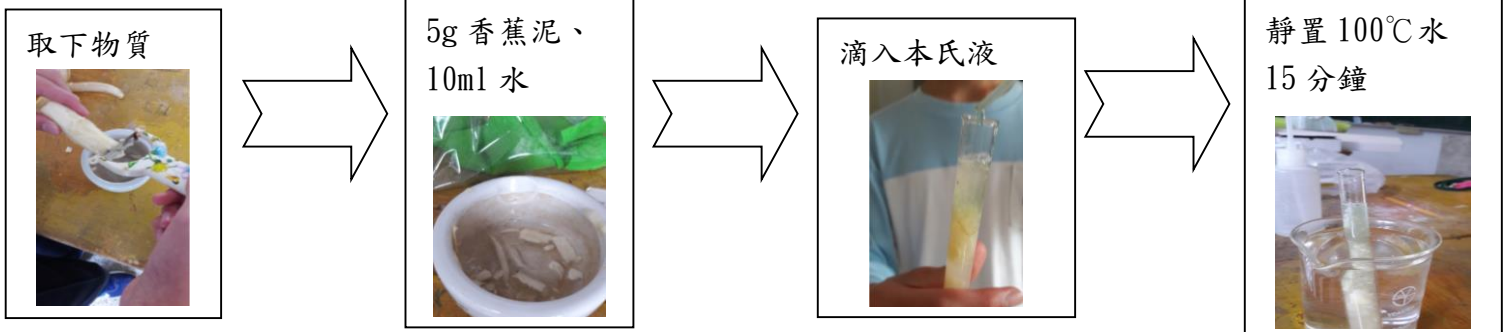
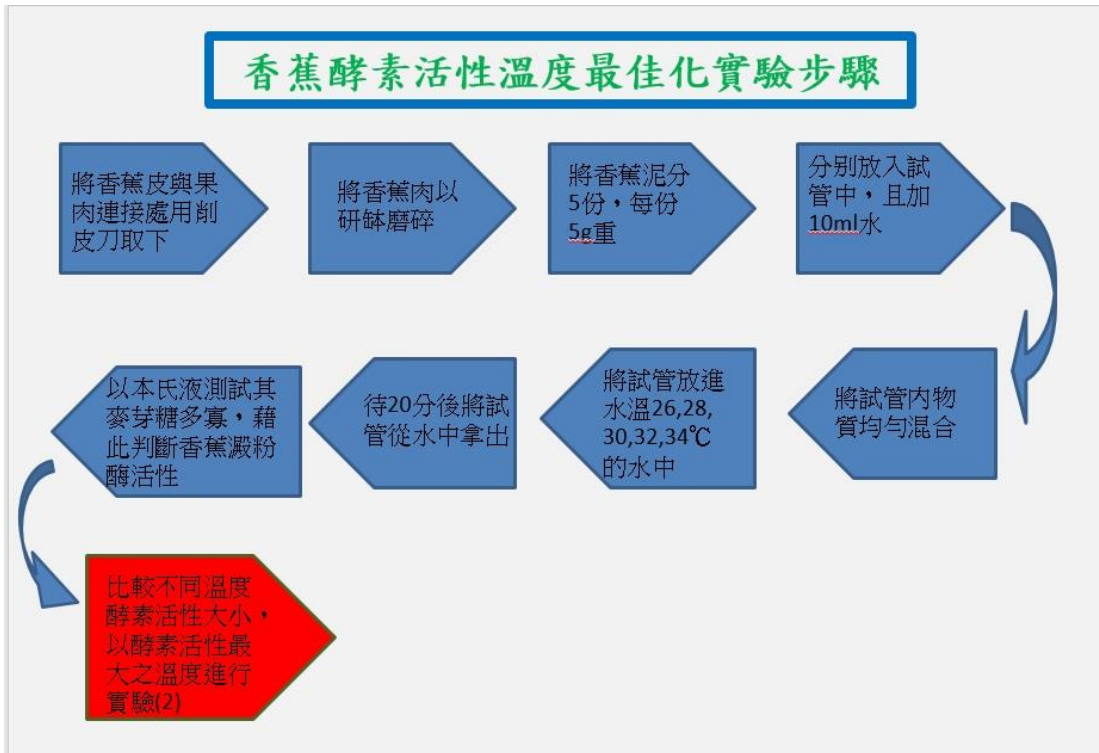
如果溶液中還原糖含量較低，產生的氧化亞銅便會相應減少，因此試驗後可能只會出現綠色、混濁的黃色或橙色沉澱物。香蕉後熟過程中香蕉澱粉酶的活性會變大將澱粉轉換成麥芽糖（還原糖的一種），透過本氏液的顯色可推斷香蕉澱粉酶的活性大小而找出最佳化的實驗溫度。

### 二、糖度計的使用

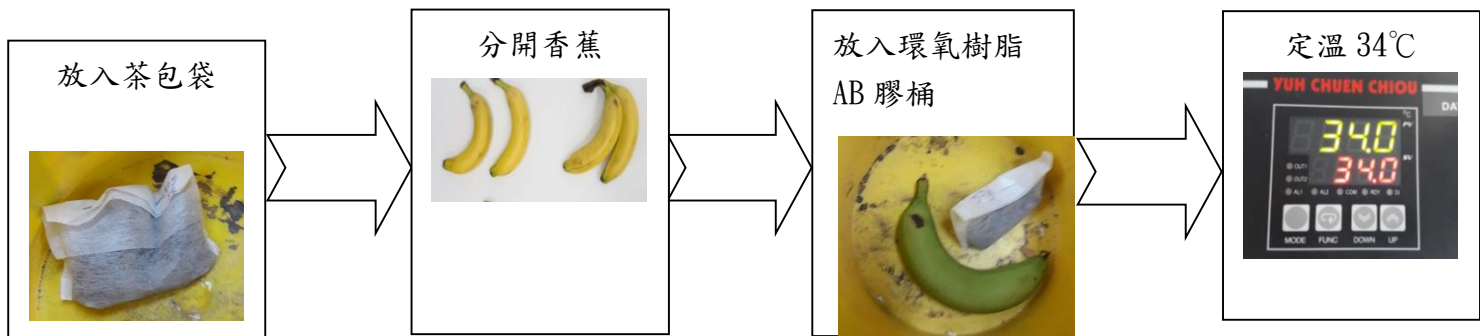
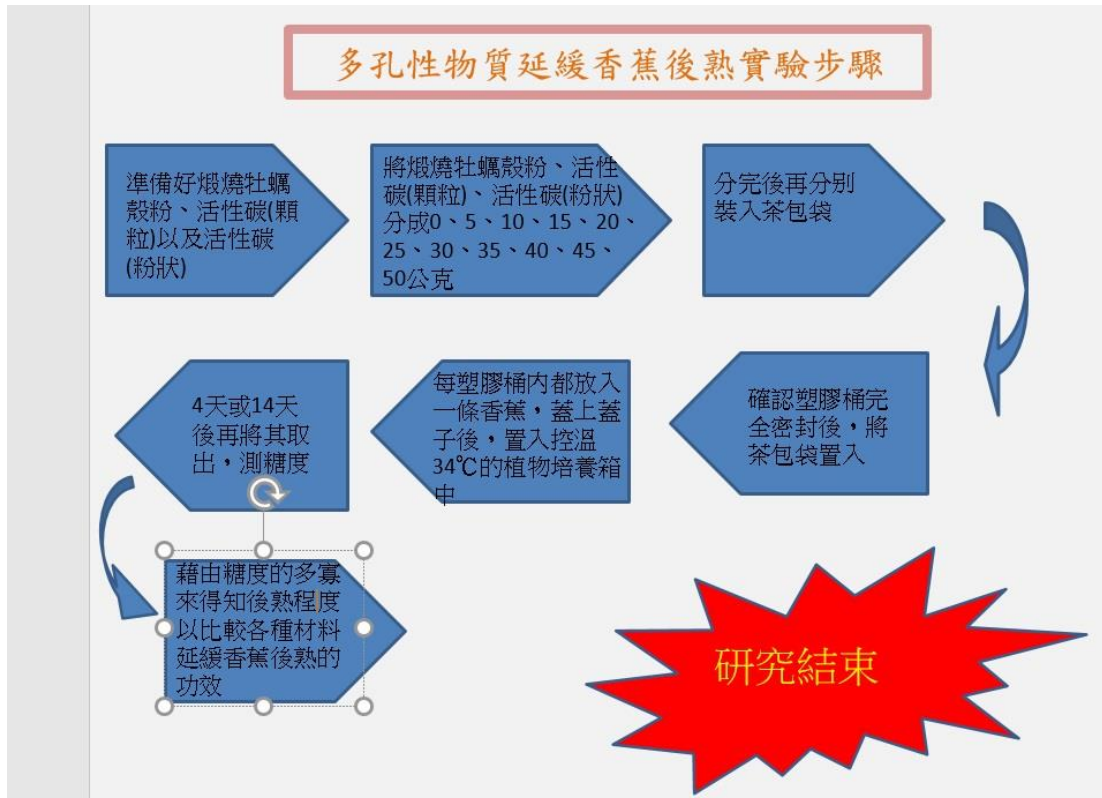
學校提供的是簡易糖度計，其原理是利用糖溶於水後會造成水溶液密度上升，當把糖度計放進水溶液時會因為密度的不同暴露在空氣中的高度有差，水溶液的密度越大，糖度計越上浮，液面刻度越大，反之，若是純水刻度就會停在零的位置。

# 實驗方法

## 一、香蕉澱粉酶活性最佳化溫度測試

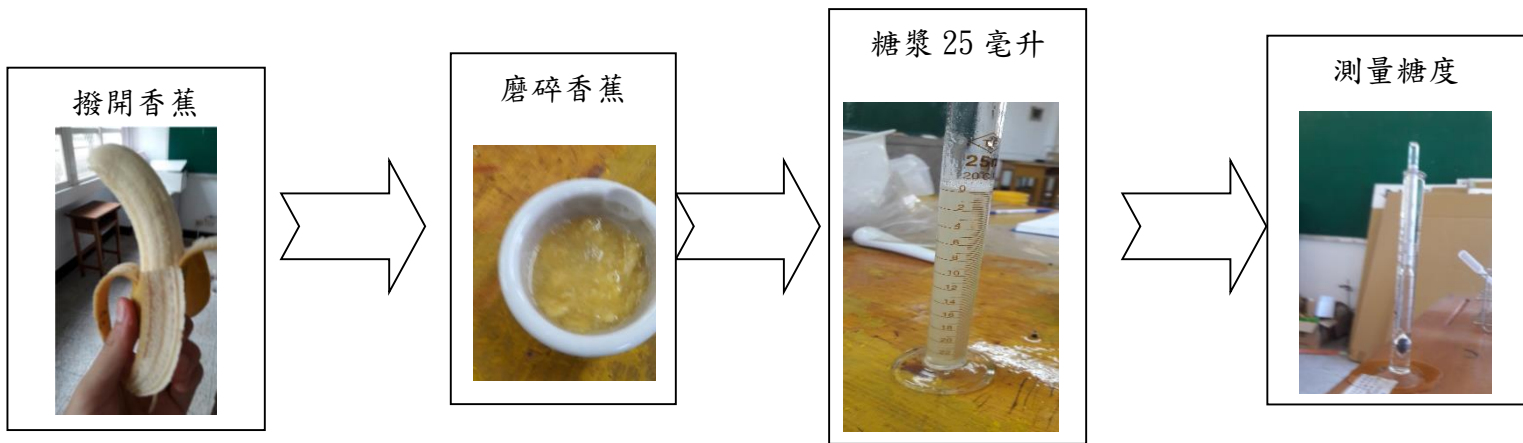


## 二、探討不同多孔性物質對延緩香蕉後熟的效果



## 三、糖度的測定

- (一) 將結束實驗二之香蕉從植物培養箱中取出。
- (二) 剝開香蕉。
- (三) 取中段部分 25 公克。
- (四) 在研鉢中加入香蕉及水 25 毫升並磨碎。
- (五) 將香蕉泥濾出，取出糖漿 25 毫升。
- (六) 倒入量筒中並置入糖度計。
- (七) 測量糖度。








## 伍、研究結果

### 一、香蕉澱粉酶活性最佳化溫度測試

為了測量香蕉在攝氏幾度下較易後熟，我們取屏東氣候常見攝氏溫度 26、28、30、32、34℃，並參考七年級生物上學期澱粉酶測定的步驟，進行以下實驗：

#### 〔實驗結果〕

				
26℃	28℃	30℃	32℃	34℃

圖一：香蕉澱粉酶活性在不同溫度下本氏液的顯色結果

溫度(℃)	顏色
26	黃色 偏綠
28	黃色
30	黃色
32	黃色
34	黃色 偏橘

表一：香蕉澱粉酶活性在不同溫度下本氏液的顯色結果

## 二、多孔性物質延緩香蕉後熟模擬

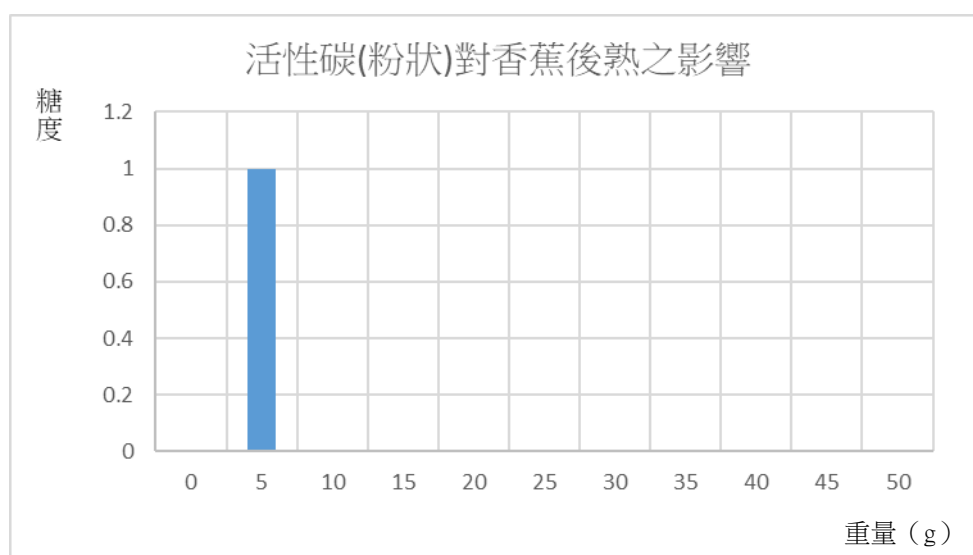
甜度計的刻度以整數為單位差，因此若液面高度位於數字與數字中間以下，我們便以下面的數字做為其糖度，同理，若在中間以上，我們便以上方的數字做為其糖度。也因為如此，我們的數據最多也會有 1 的偏差。

### (一)、 活性碳（粉狀）+ 4 天

#### 〔實驗結果〕

質量(g)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
糖度	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表二：不同質量的活性碳（粉狀）在密閉容器內靜置 4 天後的糖度變化



圖二：不同質量的活性碳（粉狀）在密閉容器內靜置 4 天後的糖度變化

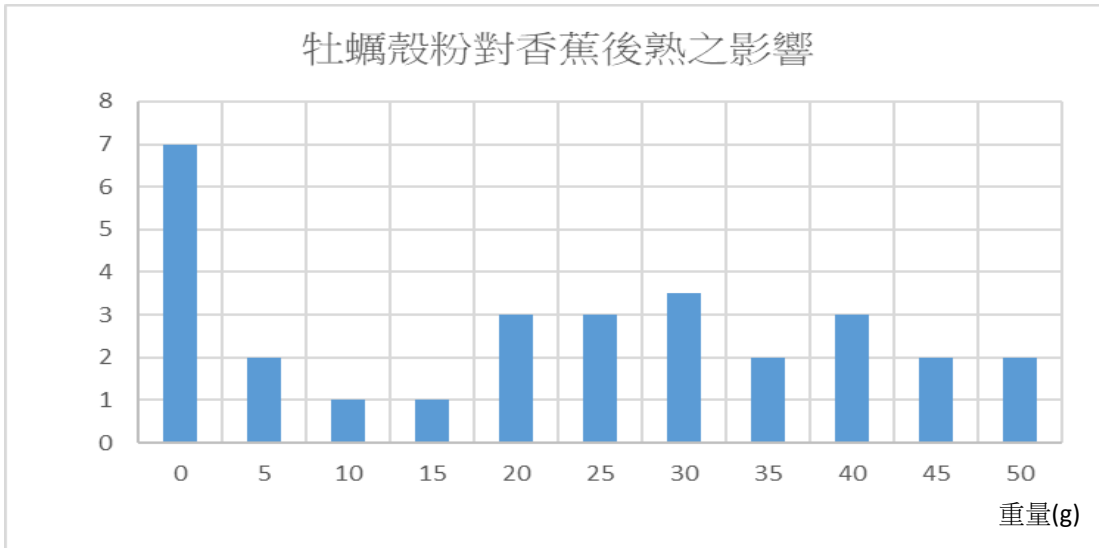
在做實驗前，我們先測量一根才剛採收的香蕉作為對照，其甜度為 0。

### (二)、 煨燒牡蠣殼粉 + 4 天

#### 〔實驗結果〕

質量(g)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
糖度	7.0	2.0	1.0	1.0	3.0	3.0	3.5	2.0	3.0	2.0	2.0

表三：不同質量的煨燒牡蠣殼粉在密閉容器內靜置 4 天後的糖度變化



圖三：不同質量的煨燒牡蠣殼粉在密閉容器內靜置 4 天後的糖度變化

在做實驗前，我們先測量一根才剛採收的香蕉作為對照，其甜度為 0。

〔理由〕

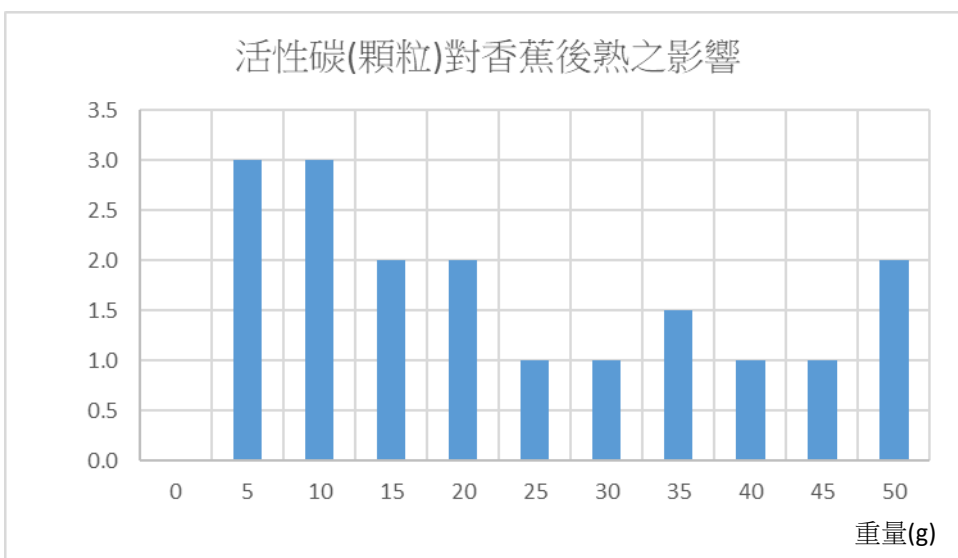
因為活性碳對放置 4 天的香蕉似乎都沒有非常顯著的差異，因此我們將放置於攝氏 34°C 環境的時間延長為 14 天，並將實驗再做一次。

(三)、 活性碳（顆粒）+ 14 天

〔實驗結果〕

質量(g)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
糖度		3.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	2.0

表四：不同質量的活性碳（顆粒）在密閉容器內靜置 14 天後的糖度變化



圖四：不同質量的活性碳（顆粒）在密閉容器內靜置 14 天後的糖度變化

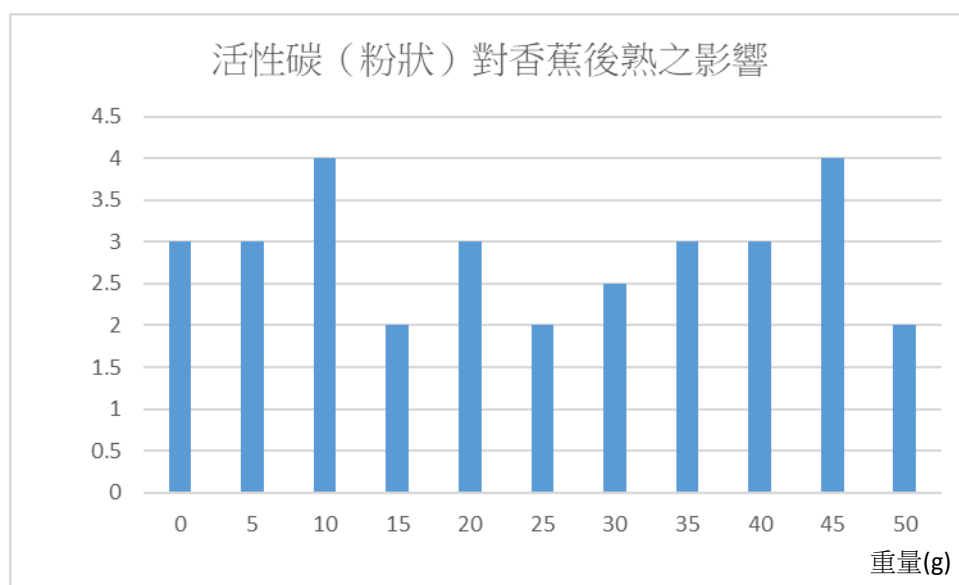
在做實驗前，我們先測量一根才剛採收的香蕉作為對照，其甜度為 0。

(四)、 活性碳（粉狀）+ 14 天

〔實驗結果〕

質量(g)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
糖度	3.0	3.0	4.0	2.0	3.0	2.0	2.5	3.0	3.0	4.0	2.0

表五：不同質量的活性碳（粉狀）在密閉容器內靜置 14 天後的糖度變化



圖五：不同質量的活性碳（粉狀）在密閉容器內靜置 14 天後的糖度變化

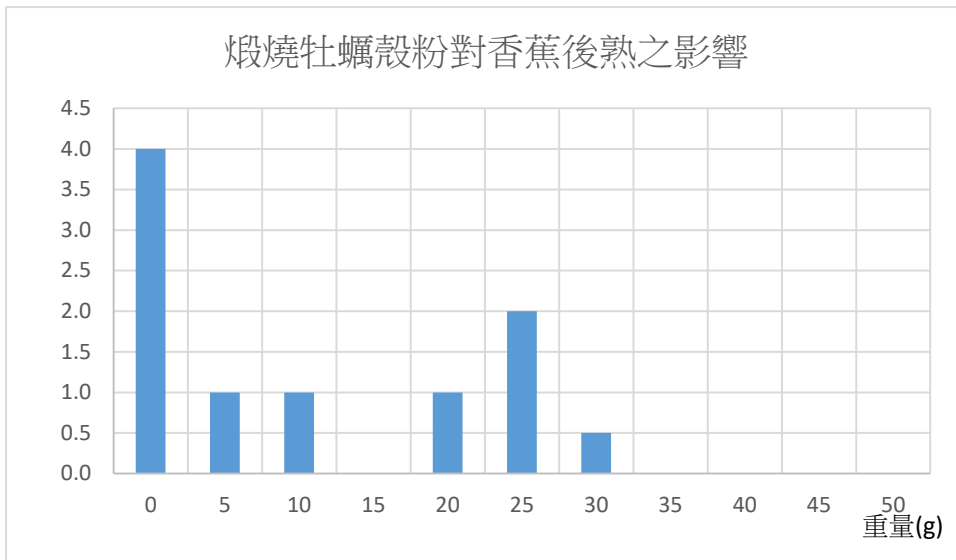
在做實驗前，我們先測量一根才剛採收的香蕉作為對照，其甜度為 0。

(五)、 煨燒牡蠣殼粉 + 14 天

〔實驗結果〕

質量(g)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
糖度	4.0	1.0	1.0	0.0	1.0	2.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0

表六：不同質量的煨燒牡蠣殼粉在密閉容器內靜置 14 天後的糖度變化



圖六：不同質量的煨燒牡蠣殼粉在密閉容器內靜置 14 天後的糖度變化

在做實驗前，我們先測量一根才剛採收的香蕉作為對照，其甜度為 0。

### 三、多孔性物質延緩香蕉後熟過程中香蕉外觀上的變化

#### (一)、 活性炭（粉末）在密閉容器中靜置 14 天後的香蕉外觀變化



第零天



0g



5g



10g



15g



20g





25g



30g



35g



40g



45g



50g

## 陸、 討論

### 一、香蕉澱粉酶活性最佳化溫度測試

- (一)、 香蕉的澱粉酵素主要分布於香蕉皮與果肉的接合處，因此我們將香蕉皮與果肉的接合處用湯匙取下，加以磨碎後，再測量其在不同溫度下對澱粉分解後所產生的麥芽糖多寡，利用本氏液與麥芽糖結合所產生的顏色變化來判斷香蕉澱粉酶活性。根據本氏液顏色會因糖分少到多依序以綠、黃、橙、紅作改變，進而推得香蕉後熟速度在攝氏溫度以  $34^{\circ}\text{C} > 32^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C} > 28^{\circ}\text{C} > 26^{\circ}\text{C}$  遞減。
- (二)、 推測原因可能與香蕉原產於熱帶、亞熱帶地區相關，生長發育過程要求高溫多濕，因此香蕉澱粉酶在較高溫的環境中活性越佳。即便未經商業均質化的處理，香蕉樹體上或採收後放式溫均可自然黃熟。
- (三)、 在以上測試溫度，香蕉在越高溫後熟速度越快，高於  $34^{\circ}\text{C}$  雖然可能後熟速度更加迅速，但是因為我們器材限制，因此不加以討論。

## 二、多孔性物質延緩香蕉後熟模擬

### (一)、 活性炭（粉狀）+ 4 天

1. 以放置時間為期 4 天的實驗來看，根據對照組的甜度為 0，這一批剛摘下來香蕉果齡似乎是最年輕的。
2. 香蕉全為青色，全都未往後熟方向邁進。
3. 全部的香蕉的甜度幾乎都為 0，但也並非全部都沒有甜度，而是都在數字 0.5 以下因此我們都將其視為 0。

### (二)、 煨燒牡蠣殼粉 + 4 天

1. 以放置時間為期 4 天的香蕉而言，這一對照組的甜度最高為 7，推測剛採收下來時的香蕉果齡也最大。跟活性炭（粉狀）+ 4 天的數據相比，這個實驗的其中一個困難點是不論香蕉來源是親友餽贈或從傳統市場購得，每個批次的香蕉果齡生理成熟程度可能就不一樣了，導致相同實驗時間、不同批次的香蕉間的實驗數據無法作多孔性物質吸附乙烯效果好壞的比較。
2. 對照組外皮呈現黑色，剝開之後發現果肉發黑，還有一股酸味蔓延開來，完全腐爛，看不出香蕉的形狀。而其它有放煨燒牡蠣殼粉的香蕉全部呈現黃色，果肉仍然有香蕉完整一根的形狀，顯示煨燒牡蠣殼粉擁有延緩香蕉後熟的能力。
3. 這一組糖度的數據較為不規則，大多數據都有些許誤差，雖然數字較為凌亂，但是不論物質質量多寡，與對照組相較之下，糖度是降低的趨勢，顯示煨燒牡蠣殼粉對香蕉後熟造成影響。

### (三)、 活性炭（顆粒）+ 14 天

1. 這一組數據顯示活性炭（顆粒）質量越大，所吸收的乙烯越多，也越能延緩後熟。
2. 從數據中可推得一個環氧樹脂 AB 膠桶的密閉體積大小，大約需要 25 公克左右的活性炭（顆粒）就差不多能有效延緩香蕉的後熟。大於 25 公克活性炭（顆粒）的質量似乎並未將甜度降的更低，顯示活性炭（顆粒）只能延緩香蕉後熟的速度，但不能完全阻斷本來就會進行的生理反應。

#### (四)、 活性碳（粉狀）+ 14 天

1. 已放置時間為期 14 天的香蕉而言，這一對照組的甜度較低，推測剛採摘下來香蕉果齡較為年輕。
2. 對照組果皮呈現黑色，剝開之後發現果肉發黑發酸，完全腐爛，看不出香蕉的形狀。而其它有放置活性碳（粉狀）的香蕉外皮全部呈現黃色，果肉仍然有香蕉完整一根的形狀，顯示活性碳（粉狀）也擁有延緩香蕉後熟的能力。
3. 以活性碳（粉狀）作為乙烯吸收劑，從糖度計數據來看效果似乎較差，質量最多的 50 公克活性碳甜度也到達 2.0，與對照組而言雖然甜度較低，但是效果似乎沒有非常好。但從香蕉外觀的完整性、顏色、果肉型態……等肉眼可辯種種跡象，在在都證明活性碳（粉狀）對於延緩香蕉後熟的效果是最佳的。

#### (五)、 煨燒牡蠣殼粉 + 14 天

1. 煨燒牡蠣殼粉 40 公克以上的香蕉大都為青色，剝開之後的香蕉也相當硬，還未後熟。
2. 雖然這一組數據較為不規則，但數據顯示 35-50g 這些質量較前面較有吸收乙烯、延緩後熟的效果。
3. 煨燒牡蠣殼粉 5~35 公克的香蕉外皮顏色比同質量的活性碳（粉狀）更黑、更黃，剝開外皮後裡面的果肉也更軟爛，但數據上並不支持，可能在測糖度的材料製備上實驗方法要改進。

### 三、多孔性物質延緩香蕉後熟過程中香蕉外觀上的變化

#### (一)、 活性碳（粉末）在密閉容器中靜置 14 天後的香蕉外觀變化

1. 對照組活性碳（粉末）0 公克在密閉容器中靜置 14 天後的香蕉外觀完全呈現黑色，將香蕉皮剝開後觀察其果肉近乎完全腐爛，還有一股酸酸的味道撲鼻而來，顯示香蕉在攝氏 34°C 下放至 14 天，將會出現過熟的狀態。
2. 隨著與香蕉一起放置的活性碳（粉末）質量增加，香蕉的外皮也從黑色（5g~15g），轉變為接近黃色（20g~35g），到最後完全變成綠色（40g~50g），與剛採收下來的香蕉在外觀上十分相近，充分顯示活性碳（粉末）確實具有延緩

香蕉後熟的能力。

3. 令我們感到疑惑的是糖度計所測得的數據並未跟香蕉外觀型態變化達成一致，軟爛不成香蕉樣的控制組所測得的糖度只比 50 公克的活性碳（粉末）多 1，我們猜測可能的原因有二，其一，在測糖度的材料製備上宜多加一道離心手續，僅取上清液作糖度測定，此舉可將會影響溶液密度的其它物質儘量降到最低，僅剩可溶性物質，可提高數據的準確度；其二，由於有聞到酸味，可能有部分的醱進行發酵作用而形成酒精，再進一步發酵成醋酸而降低糖度的測定。
4. 上述的疑惑可在實驗當下用廣用試紙檢測，若試紙呈現紅、橙、黃顏色代表有酸性物質的產生，若進一步想知道酸性物質的產生量，可用氫氧化鈉作酸鹼中和滴定。
5. 實驗顯示吸收香蕉所釋放乙烯的多孔性物質質量越重，延遲香蕉後熟的效果就會越好。活性碳（顆粒）或煨燒牡蠣殼粉對香蕉後熟外觀上的改變亦有類似的延緩香蕉後熟的效果。

## 柒、結論

### 一、探討香蕉澱粉酶活性最佳化溫度

香蕉後熟速度在攝氏溫度以  $34^{\circ}\text{C} > 32^{\circ}\text{C} > 30^{\circ}\text{C} > 28^{\circ}\text{C} > 26^{\circ}\text{C}$  遞減。若要保存香蕉，應該儘量避免高溫，否則將加快香蕉後熟。

### 二、探討不同多孔性物質對延緩香蕉後熟的效果

這次實驗中的物品，以活性碳（粉狀）最能延緩，其次是牡蠣殼粉，效果最差是活性碳（顆粒）。粉狀物皆較顆粒狀的活性碳佳，推測是因為粉狀物接觸乙烯的總表面積較大，因此能夠吸收較多乙烯，達到延緩後熟的效果。

我們認為粉狀活性碳會較牡蠣殼粉較能吸收乙烯氣體，原因在於煨燒後的牡蠣殼粉效果雖然大大提升，但活性碳（粉狀）的顆粒較為細緻，所以吸收乙烯氣體的效果仍然是活性碳（粉狀）較佳。

### 三、探討吸收乙烯之物質質量對延緩香蕉後熟的效果

我們的實驗顯示質量的多寡的確會對香蕉後熟帶來影響。質量越多，所吸收的乙烯

氣體量也越多，但在固定的容積空間中所需的多孔性物質質量應該有上限，超過這個質量上限後所造成的影響就沒顯著差異了。

## 捌、參考資料

- (1) 國中自然課本。康軒版。第二冊。
- (2) 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E4%B9%99%E7%83%AF>
- (3) 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B4%BB%E6%80%A7%E7%82%AD>
- (4) <http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2004/c0414730099/page3-4.htm>
- (5) 黃鈺軒(2011) 抽穗時割葉處理對香蕉果實發育及採後品質與 1-MCP-處理對香蕉後熟及品質之影響 <https://ndltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/gs32/gsweb.cgi?o=dnclcdr&s=id=%22100NPUS5403020%22.&searchmode=basic>
- (6) 中華民國第 52 屆中小學科展香蕉小姐的 SK2-延緩後熟的秘密武器
- (7) 中華民國第 45 屆中小學科展 香蕉新樂園
- (8) 財團法人台灣香蕉研究所網站 <http://www.banana.org.tw/Default.aspx>
- (9) 工業技術與資訊月刊(工業技術研究院)(331 期 2019 年 07 月號)號  
<https://www.itri.org.tw/ListStyle.aspx?DisplayStyle=18&SiteID=1&MmmID=1036452026061075714&PRID=1003025246256444235&PCID=620610314656502404>
- (10) 維基百科(氧化鈣) <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B0%A7%E5%8C%96%E9%88%A3>
- (11) 行政院農業委員會網站 <https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=23987>