

屏東縣第 65 屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國小組

作品名稱：

泛泛之「蕉」學問大_影響香蕉抗性澱粉條件之探討

關 鍵 詞：香蕉、抗性澱粉、熟度

編號：A3010

泛泛之「蕉」學問大_影響香蕉抗性澱粉條件之探討

摘要

香蕉因熟化特性和市場消費需求，容易變成農業廢棄物，然而香蕉富有多種營養素符合國人健康飲食需求，而且減醣飲食成為流行趨勢，「抗性澱粉」因而被提出來熱烈討論。本研究將針對台灣未催熟香蕉之抗性澱粉含量進行探討，並比較不同種類食材抗性澱粉含量。

我們採用不同熟度、不同溫度和不同添加物的香蕉粉，進行抗性澱粉含量比較，並採用香蕉、馬鈴薯、地瓜、木薯和山藥的水洗澱粉，以標準化流程檢測抗性澱粉含量。結果發現，香蕉澱粉於採收後第一天的抗性澱粉含量最高，經過冷藏後抗性澱粉含量增加，經高溫烘烤後會讓抗性澱粉含量減少，添加油脂後，抗性澱粉的含量亦增加。最後，我們觀察不同熟度香蕉的澱粉細胞，發現香蕉放置天數越久，澱粉顆粒會逐漸減少，符合香蕉是呼吸躍變型水果的特性，並證明抗性澱粉隨著放置天數越長，含量越少。

抗性澱粉好處多多，選用正確的烹調與保存方式，才能吃進最多的抗性澱粉，幫助減重吃出健康又能解決香蕉農廢的困境。

壹、前言

一、研究動機

香蕉被聯合國糧農組織（FAO）認定為僅次於水稻、小麥、玉米之後的第四大糧食作物，我們所在的縣市香蕉種植面積是全國最大，因此，如何推廣香蕉應用成為需要關注的議題。香蕉是一種呼吸躍變（climacteric fruit）水果，在運輸途中容易腐敗，加上 20% 的香蕉生產時會因尺寸和外觀缺陷而無法販售或使用（格外品），農民都說這些農廢或格外品「最多」只能當成堆肥，這不禁讓我們思考「如何好好應用香蕉」呢？於是我們開始觀察、蒐集文獻和詢問專家，發現香蕉不同熟度都有不同的用途，其中，香蕉果肉含有抗性澱粉，具有生物利用的價值。

飲食健康是現代流行的趨勢，其中，醣類是不可或缺的營養成分之一，因此選擇「好醣」攝取非常重要。而不容易吸收的「抗性澱粉」在控血糖和降血脂具有成效，成為了熱門話題。香蕉是台灣一年四季常見農作物之一，於外皮呈現綠色且味道生澀時，富含抗性澱粉，不過民眾通常不曉得！因此，我們藉由探究香蕉抗性澱粉含量，讓民眾知道香蕉營養成分的優勢，並期許，未來能透過加工的方式，減少香蕉剩產並促進民眾飲食健康。

二、研究目的

（一）香蕉熟度對糖度變化的影響

（實驗一：香蕉的熟度檢測）

（二）香蕉不同熟度對抗性澱粉的影響

（實驗二： α 澱粉酶分解不同葡萄糖水測定）

（實驗三：比較不同熟度香蕉抗性澱粉含量）

（三）不同溫度對抗性澱粉的影響

（實驗四：比較不同溫度香蕉抗性澱粉含量）

（四）不同添加物對抗性澱粉的影響

（實驗五：加入不同添加物後，抗性澱粉含量的變化）

（五）不同食材抗性澱粉含量差異

（實驗六：研究不同植物抗性澱粉含量的差異）

（六）不同熟度香蕉之澱粉細胞含量差異

（實驗七：探討不同放置天數之香蕉，澱粉細胞的變化）

三、文獻探討

（一）香蕉園踏查

1. 參訪在地香蕉園

屏東，為全國種植香蕉面積及產量最大的縣市，身處屏東的我們，平常都會吃香蕉，卻很少了解有關香蕉的資訊，上網蒐集資料後發現每年的新聞報導都會出現「香蕉剩產」的情形，為了要證實這件事情，於是我們前往香蕉園採訪蕉農，確認新聞報導的真實性。在採訪的過程中，有兩項收穫，第一是了解香蕉從採收到販售的過程，因為篩選條件多，包括：果皮外觀、尺寸，在這個過程中，大部分香蕉會被去化；而夏季香蕉生長快，產量過

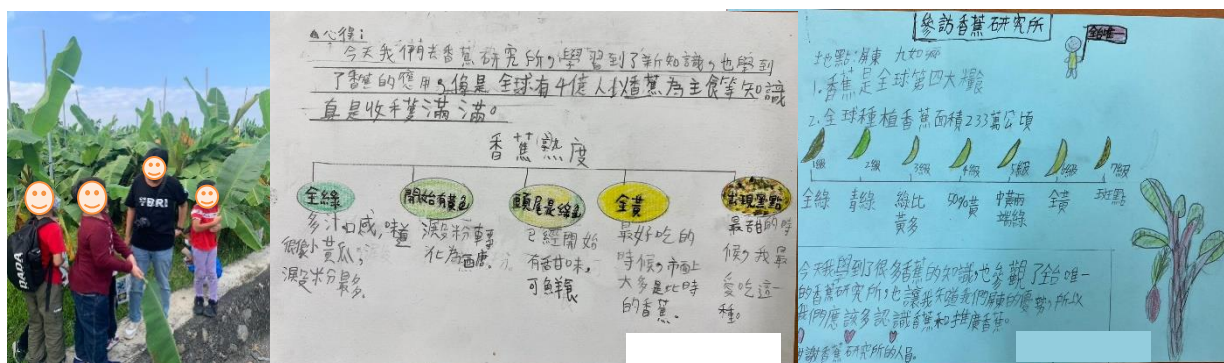
剩，價格也會降低許多，蕉農面對這些去化和過剩的香蕉，會製作成液態肥；第二是對於香蕉全株部位的認識，包括假莖、花和果實的生長方式都和常見的果實有很明顯的不同，這也讓我們對於香蕉這個看似常見的作物，有更不一樣的想法。



2. 台灣香蕉研究所

<照片由研究者拍攝>

接續，我們前往台灣香蕉研究所，了解研究員除了透過基因配對培育適應力最佳的香蕉種苗外，並將催熟後的香蕉熟度分成 7 級，每一級的果皮色澤都有所不同。香蕉熟化程度不同，除了果皮顏色改變，果肉的澱粉轉化成醣類，其味道和營養成分也會隨之轉變；另外更學習到世界生產香蕉主要國家，在香蕉全株應用的多元性，光是食用，可煮、可油炸、可烘乾，對比在台灣，多以鮮食方式食用，差距甚大，其中，東南亞應用綠蕉（Green Banana）磨製成綠蕉粉，強調其低 GI、可增加飽足感之特性，讓我們聯想到現代人講求減少熱量攝取，維持體態之需求，啟動我們對於香蕉成分以及特性的好奇。



3. 香蕉的應用

<照片由研究者拍攝及繪製>

香蕉是典型的呼吸躍變型水果（respiratory climacteric），採收時為綠色，質地堅硬，味道生澀，必須經過一段時間的處存與後熟作用，乙烯量升高促使果實成熟，呼吸作用也會變得旺盛，內含澱粉轉化為糖，生澀轉變為香甜，果皮色澤也會產生改變。因香蕉呼吸躍變之特性，經過催熟後的香蕉，會加速熟化程度，使得儲存和運輸變得困難，將近 20% 的香蕉，因生產尺寸和外觀未符合市場消費者需求去化，還有供過於求之剩產現象，加劇了香蕉果實浪費的情況，造成香蕉每年約有 1/4 被廢棄。

行政院農業委員會和臺灣香蕉研究所將香蕉熟度分成七級，色級一、全綠；色級二、青綠；色級三、綠多於黃；色級四、約 50%變黃；色級五、黃色兩端綠；色級六、全黃；色級七、全黃帶褐斑。且香蕉經催熟後果實中的澱粉逐漸轉變成糖分，而熟化過程除了外觀顏色改變，其營養成分也有所不同。

未熟化之香蕉，果皮呈現綠色，稱之為綠蕉（Green Banana），富含膳食纖維、寡糖、鉀和鎂離子，維生素 A、C、E，而最重要的「抗性澱粉」在綠蕉階段含量尤其豐富，食用具有血糖控制和體重管理之功能，在世界產區，將綠蕉加工成粉狀，以沖泡方式飲用，亦可加入烘焙麵糰中。熟化香蕉可鮮食，含有豐富的蛋白質、脂肪、碳水化合物、膳食纖維、果膠、鈣、磷、鐵、鉀等營養元素，成為全球鮮果消費量最多的水果，除了鮮食，適合作為甜點之用。

4. 香蕉果實形態觀察

以採收後一日未催熟狀態的綠蕉和催熟後可鮮食之黃蕉，進行觀察比較，包括外觀、氣味、硬度、烘乾、觸摸及碘液測試等，觀察紀錄如下表一。

表一、香蕉果實形態觀察比較

香蕉熟度 觀察方式	未催熟綠蕉	可鮮食黃蕉
切開	切開時有清脆聲。	切開時呈黏滑狀。
觸摸	粗糙乾澀。	黏滑狀。
按壓	質地硬，用食指按壓一公分切面無壓痕。	質地軟，用食指壓一公分切面有明顯壓痕。
撥開	香蕉皮緊黏果實，難以剝開	香蕉皮容易撥開。
嗅聞	嗅聞有生澀味。	嗅聞起來是香甜的氣味
滴碘液	將碘液滴在香蕉果肉上，立刻變色成藍黑色。	顏色留停在黃褐色階段很久，約 2 小時候，少量區域呈現藍黑色。
烘乾	烘乾後質地變脆，可折斷。 切面不透光。	烘乾後質地變黏，無法折斷，切面透光。
打碎	烘乾後可打碎成粉末狀。	烘乾後因質地黏而軟，無法打碎成粉末狀。
其他	切開果柄處有乳白色汁液流出。	切開果柄處沒有汁液流出。

就上述現象觀察，證實文獻資料提及香蕉是「呼吸躍變型水果」，在不同的熟化狀態下，物質轉變之特性。

（二）相關研究主題的搜尋與分析

1. 歷屆科展香蕉相關研究主題

表二、歷屆科展香蕉相關研究主題

屆別	題目	研究焦點
31	早熟的包娜娜	探討香蕉不同溫度及方法對香蕉催熟影響，以及熟化原因。
34	吃香蕉話香蕉	該研究在探討香蕉催熟方法及成熟時改變（顏色、重量）。
44	蕉點話題	探討不同熟度香蕉，糖含量的變化。
52	「蕉」慮變「膠」傲－香蕉果膠的探討與應用	探討香蕉果膠萃取方式及香蕉果膠多元應用方式。

歷屆科展報告中，對於香蕉研究多聚焦在熟度變化過程之外觀、糖量變化的探討，以及熟化後香蕉之果膠萃取與應用，缺少對於未熟化香蕉其他內含成份及特性的研究。

2. 歷屆科展澱粉相關研究主題

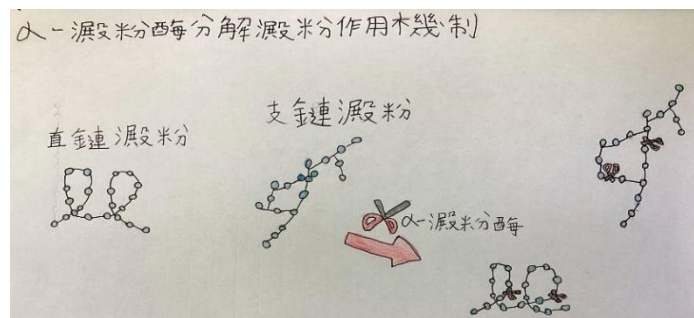
表三、歷屆科展澱粉相關研究主題

屆別	題目	研究焦點
47	解開「澱粉~碘」的藍色密碼	本研究以碘液測定 8 種不同狀態澱粉吸光度之差異。
50	菱角變身秀	研究透過對菱角澱粉性質的探究，了解菱角澱粉利用的可行性和進行澱粉加工利用的方法。
51	誰是口水王－唾液澱粉酶對澱粉的消化作用	探討澱粉消化與不同身材之間的關係，再經由認識澱粉分解過程，提出健康飲食的建議方式。
62	飯」科學~探討米飯的抗性澱粉形成條件	研究討論不同種類的米抗性澱粉含量與增加抗性澱粉之最佳條件。

澱粉相關研究中，抗性澱粉探討極少，因此，我們參考歷屆作品中的研究方法加以改良，進一步探討不同熟度香蕉，其抗性澱粉含量的變化情形，並以不同狀況條件，探討抗性澱粉的最佳狀態。

3. 抗性澱粉

澱粉因分子內氫鍵捲曲成螺旋結構不同，可分為直鏈澱粉和支鏈澱粉，人體透過酸和酶（例如澱粉酶）的作用，將澱粉轉化為糖的過程稱為澱粉分解。



圖一、 α -澱粉酶分解澱粉機制（研究者手繪）

抗解澱粉（Resistant starch，簡稱 RS），也可稱之為抗性澱粉，抗性澱粉對 α -澱粉酶的分解具有耐受性，因此被胃和小腸消化分解速度慢。抗性澱粉是一種膳食纖維，是指在同樣 pH 值和溫度的情況下，經由 α -澱粉酶分解後，分解出的葡萄糖量少於普通澱粉，能形成抗性澱粉的原因有很多種，如：回凝、包覆、分子結構排序等。以下將介紹五種抗性澱粉類型。

第一類（RS1）：和一般澱粉的化學結構相似，不過因為被包覆的關係，如：硬殼、油脂包覆等，而物理性的無法接觸到 α -澱粉酶，因為無法完全接觸到 α -澱粉酶而被分解而不容易被消化，但如經過一些加工手續，如：除去果皮、去除油脂、磨碎咀嚼等，RS1 抗性澱粉而可以被 α -澱粉酶有效分解。

第二類（RS2）：這種抗性澱粉主要存在於未熟的食物中，且未糊化，是因為其中的澱粉顆粒排列緊密， α -澱粉酶不易完整入侵和分解，存在於生馬鈴薯、綠蕉等，在小腸中不容易消化，因此得經入大腸成為腸道菌的食物，可幫助消化。

第三類（RS3）：又稱「回凝澱粉」或「老化澱粉」是指任何澱粉經過「糊化」（加水、升溫）再經過老化（水分蒸發、降溫）形成更強的結構，也因為回凝澱粉再次糊化的溫度很高（約 170 度）因此不會因為烹煮而流失，進而可以添加在食物中，保存較多的抗性澱粉。存在於冷飯、玉米片、麵包等。

第四類（RS4）：又稱修飾澱粉，在澱粉內添加化學物質，限制葡萄糖澱粉分子被 α -澱粉酶分解的量，從而產生抗性澱粉。且因不會老化而失去水分，保持 Q 彈口感，也不會因為烹調流失。

第五類（RS5）：當澱粉與脂質交互作用時，直鏈澱粉及支鏈澱粉的長支鍊會與脂肪酸及脂肪醇形成單螺旋複合物，當這種結構形成之後，澱粉酶便無法與澱粉結合也無法將澱粉分解，直鏈澱粉-脂質的複合物還會纏繞住支鏈澱粉，限制了澱粉分子的膨脹以及酵素的水解加上形成非常快速，在烹煮過後可以再形成，因此被認為對熱是穩定的。

抗性澱粉不會被小腸中澱粉酵素分解，能直接進入到大腸，構成與膳食纖維相近的功能，對大腸健康有益，說明如下：

（1）有助於穩定血糖

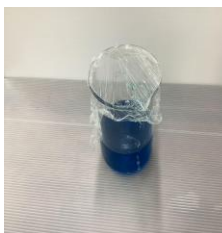
抗性澱粉不能被健康人體的小腸所消化吸收和提供葡萄糖，也比較不會刺激到血糖、胰島素，讓血糖比較穩定，也因此適合控制熱量的人攝取。

（2）促進腸道健康

雖然上消化道不能吸收，但抗性澱粉具膳食纖維特性，培養腸道中的健康環境，防止大腸出現壞菌，促進腸道蠕動，增加排便量，促進腸道健康。

貳、研究設備及器材

一、試劑及器具：

試劑					
	過錳酸鉀	葡萄糖	α -澱粉酶	1M 硫酸	本試液
器具					
	試管震盪機	恆溫水槽	電子秤	磨豆機	
器具					
	濾布	磁石攪拌器	糖度計	手機顯微鏡	

<照片由研究者拍攝>

二、材料：以水洗法取得四階段未催熟且不同熟度之香蕉澱粉，以及馬鈴薯粉、地瓜粉、木薯粉及山藥粉。

(一) 製作流程：

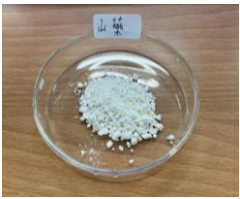
1. 分別將採收後儲存 1、5、9、12 天的香蕉去皮切小塊。
2. 放入攪打機，加入蒸餾水至蓋過香蕉。
3. 將香蕉攪打至泥狀。
4. 將蕉泥倒入濾布並搓揉。

- 5.擠出濾布內的液體，過程中持續加適量蒸餾水至濾布內。
- 6..搓揉至液體呈現透明狀（大約 15~30 分鐘）。
- 7.將液體靜置 2 小時後，倒掉上層的水。
- 8.將底層沉澱物取出、風乾備用。
- 9.用磨豆機將風乾後沉澱物磨成粉末狀。

		
1.去皮切小塊	2.放入攪打機攪打	3.將蕉泥倒入濾布
		
4.搓洗並擠出液體	5.將搓洗完的液體靜置	6.將底層物質取出、風乾

<照片由研究者拍攝>

(二) 各式植物澱粉

不同種類植物澱粉沉澱液			
			
地瓜澱粉	馬鈴薯澱粉	山藥澱粉	木薯澱粉
不同種類植物澱粉			
			
地瓜澱粉沉澱	馬鈴薯澱粉沉澱	山藥澱粉沉澱	木薯澱粉沉澱
不同放置天數的香蕉澱粉			
			
第 1 天香蕉澱粉	第 5 天香蕉澱粉	第 9 天香蕉澱粉	第 12 天香蕉澱粉

<照片由研究者拍攝>

(三) 耗材：濾紙、標籤紙

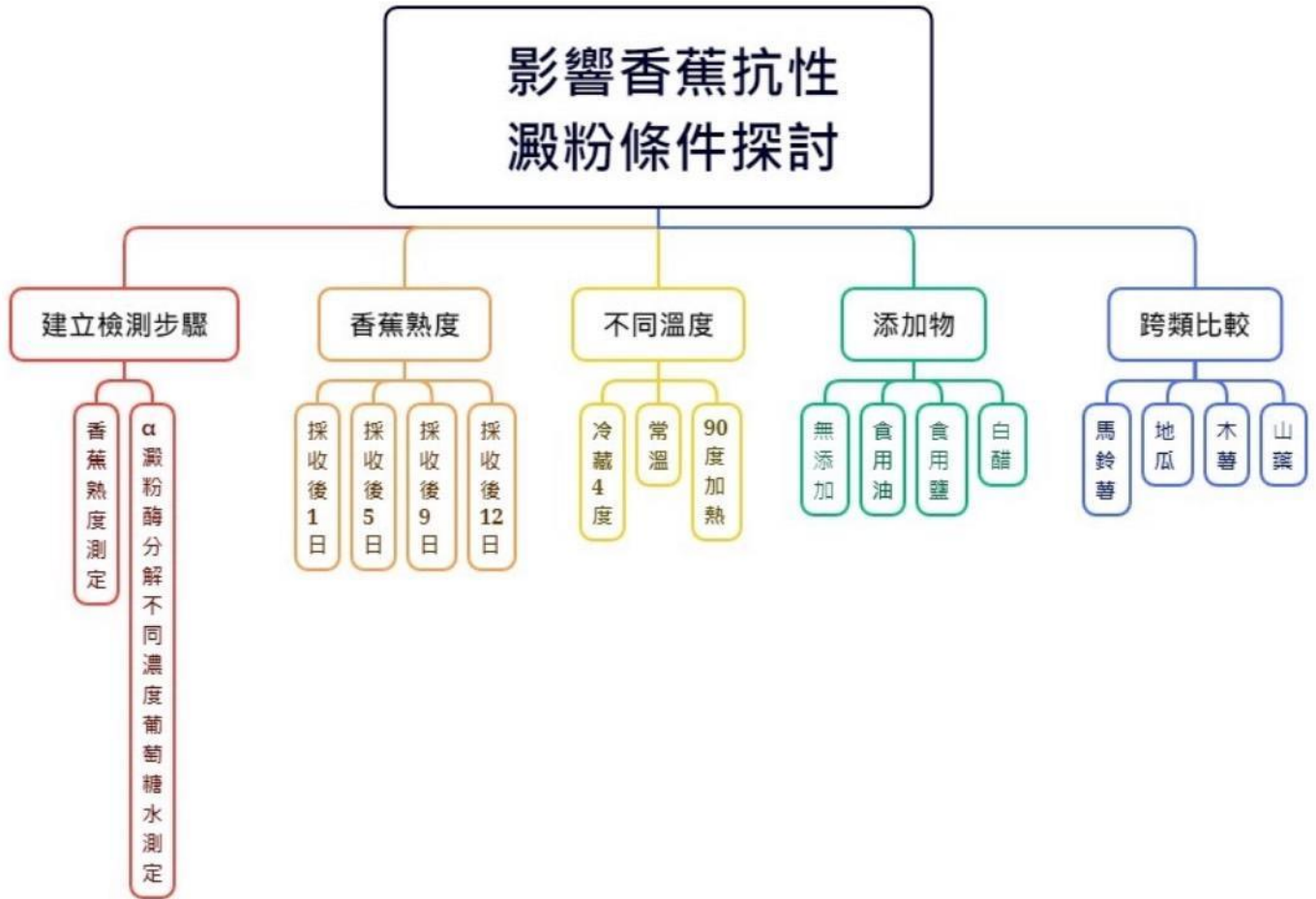
(四) 自製器具：腳踏式過濾器，將家中的腳踏式吸鼻器加以改裝，裝上適合口徑之漏斗，以過濾紙過濾澱粉液，來取澄清澱粉液。

收集器	腳踏式幫浦	漏斗	過濾紙
			

<照片由研究者拍攝>

參、研究方法與過程

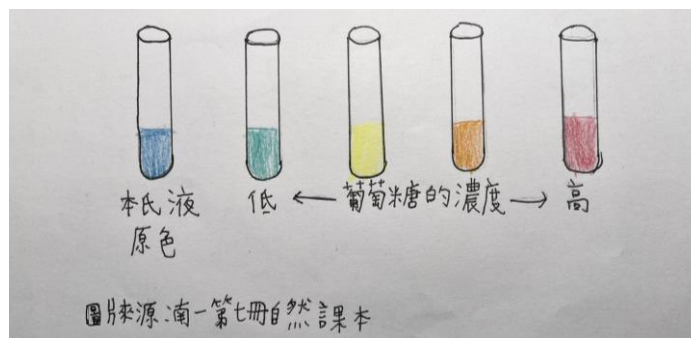
一、研究架構



二、實驗設計步驟說明

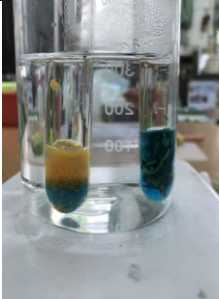
(一) 實驗一、香蕉熟度檢測

1. 原理介紹：本氏液是一種藍色試劑，可用來檢測樣本中是否含有葡萄糖，麥芽糖等醣類。如果樣本中含有葡萄糖，將本氏液加入樣本並加熱後，本氏液的顏色會改變（綠、黃、橙、紅），顏色越偏紅色，代表葡萄糖的濃度越高。



圖二、葡萄糖濃度影響本氏液反應顏色(研究者手繪)

2. 實驗操作：以放置天數不同之香蕉，加入本氏液後，觀察本氏液顏色變化，佐證香蕉是呼吸躍變型水果，內含澱粉會逐步轉化為糖。

			
(1) 取用 1g 香蕉果肉，用研鉢搗成泥狀	(2) 將 1g 香蕉和 5ml 本試液加入試管中	(3) 將試管隔水加熱 75℃ 15 分鐘	(4) 觀察其改變情形

<照片由研究者拍攝>

(二) 實驗二： α 澱粉酶分解不同葡萄糖水測定（建立葡萄糖濃度曲線）

1. 原理介紹：澱粉（英語：starch, amyllum）是一種多醣類，由通過糖苷鍵連接的大量葡萄糖單元組成的聚合型碳水化合物。純澱粉為一種白色、無味、無臭的粉末，不溶於冷水或酒精，分子式為 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。製造澱粉是綠色植物貯存能量的一種方式，一般檢測葡萄糖會使用本氏液，但本氏液測定難以做到準確的定量。我們的目標是比較不同熟度之香蕉抗性澱粉含量，所以採用過錳酸鉀溶液來測定溶液中的葡萄糖含量。葡萄糖與紫色的過錳酸鉀離子 (MnO_4^-) 反應，將其還原成無色的錳離子 (Mn^{2+}) 。該反應的離子方程式如下：



溶液中葡萄糖的濃度，決定了標準過錳酸鉀溶液被脫色所需的時間，利用不同濃度的葡萄糖溶液，分別測定它們使標準過錳酸鉀溶液脫色的時間，便可繪製出一條標準曲線，這條標準曲線可用作估算不同樣品的葡萄糖濃度。

2. 操作步驟

- (1) 將葡萄糖配置成濃度 40%、30%、20%、10%、5%、2.5% 之溶液。
- (2) 調配過錳酸鉀液（2g 過錳酸鉀+250ml 水）。
- (3) 將配置好的葡萄糖取 10ml 加入 5ml 1M 硫酸液。
- (4) 取 5ml 樣品再加入 1ml 過錳酸鉀液。
- (5) 測量過錳酸鉀脫色時間。

			
調配五種濃度葡萄糖	葡萄糖加入硫酸	測量脫色時間	完全脫色變成透明

<照片由研究者拍攝>

(三) 實驗三：比較不同熟度香蕉抗性澱粉含量

1. 實驗介紹：採用四組在未催熟狀態下不同放置天數的香蕉澱粉液，四組分別是採收後之第一天、第五天、第九天與第十二天，與 α -澱粉酶反應後取澄清液，加入過錳酸鉀，觀察過錳酸鉀的脫色時間，來推估葡萄糖濃度，進而推估抗性澱粉含量。

2. 操作步驟：

(一) 將四個階段不同熟度之綠蕉粉，各取兩管 1g 綠蕉粉，分為 A 管與 B 管。

(二) 將 1g 綠蕉澱粉+9ml 水混合。

(三) 加入 α -澱粉酶 1ml，震盪後放置 37 度水浴 10 分鐘 (A 管) 與 20 分鐘 (B 管)。

(四) 水浴後加入 5ml 硫酸。

(五) 使用改裝的腳踏式過濾器過濾，取 5ml 澄清液。

(六) 將 1ml 過錳酸鉀加入澄清液中，測量過錳酸鉀脫色時間。

四組不同放置天數的香蕉粉抗性澱粉皆以上述流程，以 10 分鐘 (A 管) 與 20 分鐘 (B 管) 分別測定之。

					
取 1g 香蕉粉	將 1g 香蕉澱粉+9ml 水混合	37 度水浴 10 分鐘 (A 管) 與 20 分鐘 (B 管)	加入 5ml 硫酸	利用自製過濾器，取 5ml 澄清液	測量過錳酸鉀脫色時間

<照片由研究者拍攝>

(四) 實驗四：香蕉澱粉在不同溫度下，抗性澱粉含量的變化

1. 實驗介紹：利用（實驗三）得出來的數據，我們採用放置天數為第一天、第五天、第九天的香蕉澱粉，分別經過 90℃ 烘烤、冷藏 4℃ 和常溫狀態下，其抗性澱粉含量變化。

2. 操作步驟：

- (1) 分別取用放置天數為一、五、九天的香蕉澱粉，並進行不同溫度條件之準備。
- (2) 將不同放置天數和不同溫度條件之香蕉澱粉，各取 1g 加入 9ml 水混合。
- (3) 加入 α -澱粉酶 1ml，震盪後 37℃ 水浴 20 分鐘。
- (4) 水浴後加入 5ml 硫酸。
- (5) 使用改裝的腳踏式過濾器過濾，取 5ml 澄清液。
- (6) 將 1ml 過錳酸鉀加入澄清液中，測量過錳酸鉀脫色時間。

不同放置天數及不同溫度狀態的香蕉澱粉皆以上述方式測定之。

(五) 實驗五：加入不同添加物後，抗性澱粉含量的變化

1. 實驗介紹：我們採用放置第五天的香蕉澱粉，分別加入鹽、醋、油，再觀察抗性澱粉的變化。

2. 操作步驟：

- (1) 取三份 1g 香蕉粉，各自加入 9ml 水混合。
- (2) 將三個不同添加物分別加入不同試管的香蕉澱粉溶液中。
- (3) 加入 α -澱粉酶 1ml，震盪後 37 度水浴 20 分鐘。
- (4) 水浴後加入 5ml 硫酸。
- (5) 使用改裝的腳踏式過濾器過濾，取 5ml 澄清液。
- (6) 將 1ml 過錳酸鉀加入澄清液中，測量過錳酸鉀脫色時間。

(六) 實驗六：比較不同植物之抗性澱粉含量差異

1. 實驗介紹：選用澱粉量含量高的馬鈴薯、地瓜、木薯、山藥，並以水洗法，將澱粉質篩出，比較香蕉和這四種植物在抗性澱粉量的差異。

2. 操作步驟：

- (一) 取馬鈴薯、地瓜、木薯、山藥水洗澱粉各 1g，各自加入 9ml 水混合。
- (二) 加入 α -澱粉酶 1ml，震盪後 37 度水浴 20 分鐘。
- (三) 水浴後加入 5ml 硫酸。
- (四) 使用改裝的腳踏式過濾器過濾，取 5ml 澄清液。
- (五) 將 1ml 過錳酸鉀加入澄清液中，測量過錳酸鉀脫色時間。

（七）實驗七：探討不同放置天數之香蕉，澱粉細胞的變化

為驗證我們在實驗四的推論，我們增加實驗七，觀察放置不同天數後香蕉果肉內的澱粉顆粒變化。

1. 原理介紹：碘液是可以檢測食物是否含有澱粉的試劑，透過碘液特性，我們將放置不同天數的香蕉，透過滴入碘液，並取滴碘液處微量果肉，以手機顯微鏡觀察取用樣本內的澱粉細胞含量。

2. 操作步驟：

（1）取用放置一、五、九、十二天的香蕉。

（2）各加入一滴碘液。

（3）使用鑷子取少量樣本。

（4）使用手機顯微鏡觀察。

				
把一片香蕉放進培養皿中，並滴上碘液。	用鑷子夾起一塊果肉，並放到觀察片上。	製作好觀察玻片。	將玻片移到燈源上方。	裝上高倍鏡，並觀察。

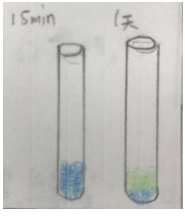
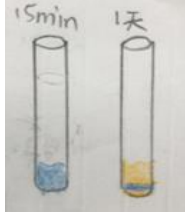
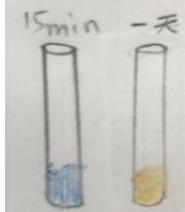
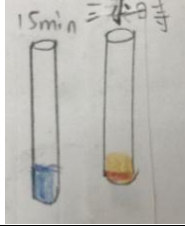
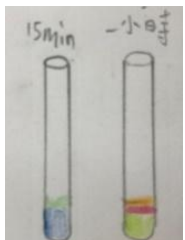
<照片由研究者拍攝>

肆、研究結果

一、實驗一：香蕉熟度檢測

熟度檢測部分，選用同一批經過催熟的香蕉，以本氏液和糖度計進行不同放置天數的狀態，並輔以外皮顏色的變化進行記錄。香蕉隨著放置時間增加，糖分隨著熟度產生改變。經由實驗後發現，香蕉存放的時間越久，糖分確實會變高，並且在前期時糖分增長速度較快，驗證香蕉會有呼吸躍變的現象，會突然釋放大量乙烯，導致糖分在第 3 天會突然快速增加，而香蕉皮的外觀，也從青綠轉黃，斑點也因熟化而明顯增加。

表四、香蕉熟度變化紀錄

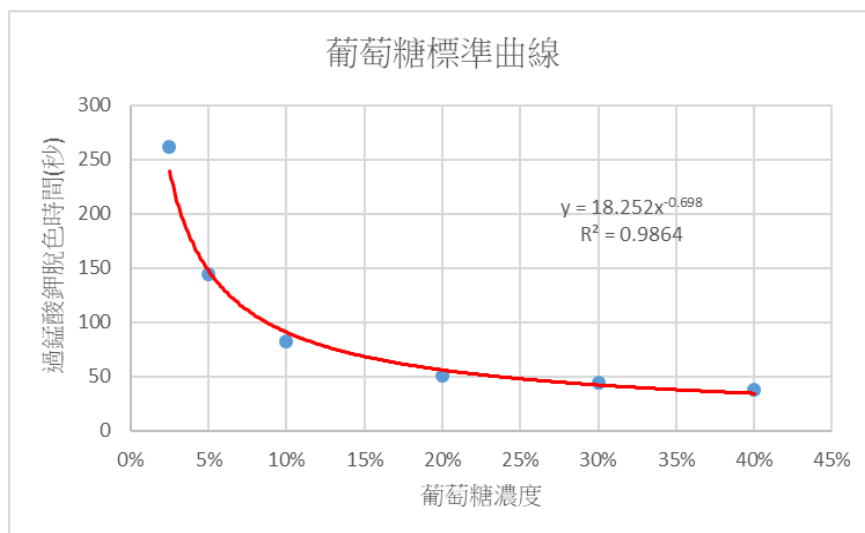
存放天數	香蕉外觀	色卡	本氏液測試觀察	糖度計數值
催熟後第一天		Y100-4 Y100-5 Y100-6	 1.加熱 15 分鐘後維持藍色。 2.放置 1 天後表層浮現淺綠。	15
催熟後第二天		Y99-6 Y99-7	 1.加熱 15 分鐘後維持藍色 2.放置 1 天後試管內顏色改變成橙色，底部有少許藍綠色。	15.2
催熟後第三天		Y92-4 Y92-5	 1.加熱 15 分鐘後維持藍色。 2.放置 1 天後試管全為橙色。	17.6
催熟後第四天		Y92-6 Y92-7	 1.加熱 15 分鐘後維持藍色。 2.放置 3 小時後試管全為橙色。	17.8
催熟後第五天		Y92-6 Y92-7	 1.加熱 15 分鐘後呈現藍綠色。 2.放置 1 小時後顏色變化為橙/紅/綠（由上而下）	18

<照片及圖畫由研究者拍攝、繪製>

二、實驗二： α 澱粉酶分解不同葡萄糖水測定/建立葡萄糖濃度曲線

(一) 檢測不同濃度葡萄糖與過錳酸鉀混和後，利用過錳酸鉀的脫色時間得到一條回歸線，之後將測得樣本的反應時間代入公式，就可以得到樣本經 α -澱粉酶分解後所產生葡萄糖的濃度。

(二) 隨著葡萄糖濃度增加，過錳酸鉀的反應時間會減少，如圖三。



圖三、葡萄糖濃度影響本氏液反應顏色(研究者製作)

三、實驗三：比較不同熟度香蕉抗性澱粉含量

(一) 不同熟度之香蕉澱粉液，過錳酸鉀脫色時間如表五。

表五、不同熟度之香蕉澱粉液之過錳酸鉀脫色時間

放置天數 水浴時間	第一天	第五天	第九天	第十二天
10 分鐘	>60 分	4 分 01 秒 41	0 分 23 秒 80	22 分 17 秒 03
20 分鐘	>60 分	2 分 17 秒 51	0 分 21 秒 39	19 分 20 秒 04

(二) 採收後的第一天香蕉澱粉液，脫色時間久至一整天都無法完全脫色，最後一直呈現淡粉紅色，（表格中以>60 分鐘表示），表示 α -澱粉酶所分解出的葡萄糖含量極少，少到無法使過錳酸鉀完全脫色，代表不容易被 α -澱粉酶分解的抗性澱粉含量很多。

(三) 收成後的第五天香蕉澱粉液，脫色時間比第一天香蕉澱粉液的反應時間減少許多，表示 α -澱粉酶所分解出的葡萄糖含量增加，代表不容易被 α -澱粉酶分解的抗性澱粉含量減少。

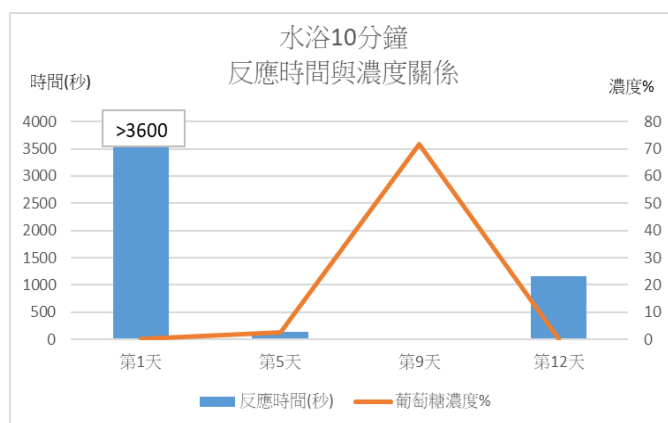
(四) 收成後的第九天香蕉澱粉液，脫色時間又比第五天的時間減少許多，表示 α -澱粉酶所分解出的葡萄糖含量增加，不容易被 α -澱粉酶分解的抗性澱粉含量大幅減少。

(五) 在水洗澱粉的過程中，第十二天香蕉在水洗時和前三階段的狀況非常不同，香蕉本體呈現非常軟的狀態，洗出來的液體也非常黏稠。而實驗後的結果，收成後的第十二天香蕉澱粉液，脫色時間比第五天的時間多出許多。我們推測第十二天的香蕉果肉內澱粉顆粒，較多部分已轉換成醣類，所以我們取出來的 1g 澱粉中有大量纖維和果肉細胞及其他物質，純澱粉含量較少。纖維素中的葡萄糖是以 β 鍵連結， α -澱粉酶無法分解，故能分解出的葡萄糖減少，使過錳酸鉀脫色時間增加。

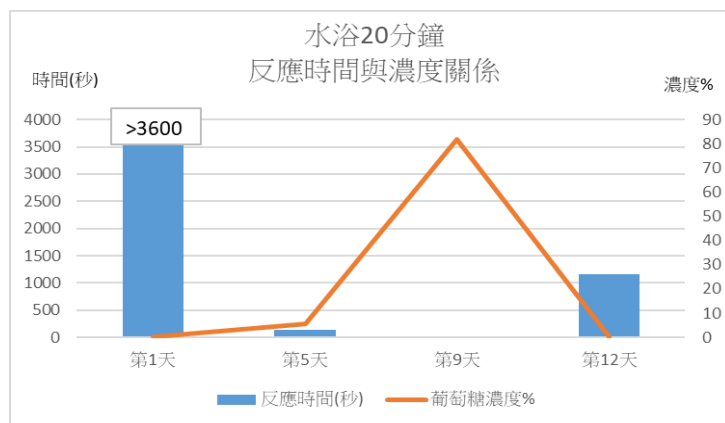
(六) 如(圖四)，水浴 10 分鐘，葡萄糖濃度不斷增加，到第十二天葡萄糖濃度減少。

(七) 如(圖五)，水浴 20 分鐘，葡萄糖濃度不斷增加，到第十二天葡萄糖濃度減少。

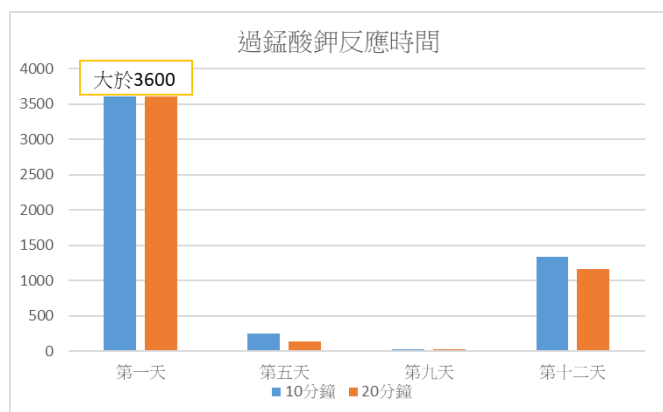
(八) 比較水浴 10 分鐘與水浴 20 分鐘的結果，水浴 20 分鐘的反應時間>水浴 10 分鐘的反應時間(如圖六)。水浴 20 分鐘 α -澱粉酶分解出的葡萄糖濃度>水浴 10 分鐘 α -澱粉酶分解出的葡萄糖濃度(如圖七)。



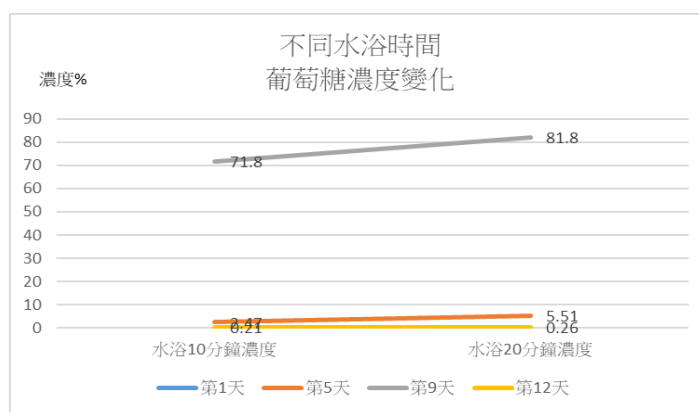
圖四、水浴 10 分鐘反應時間與濃度關係



圖五、水浴 20 分鐘反應時間與濃度關係



圖六、不同水域時間過錳酸鉀反應時間差異



圖七、不同水浴時間葡萄糖濃度變化

四、實驗四：香蕉澱粉在不同溫度下，抗性澱粉含量的變化

表六為將不同熟度的香蕉澱粉，分別經過 20 分鐘 90℃ 加熱，與經過 24 小時冷藏 4℃ 後，進行常溫、加熱和冷藏三組樣本與過錳酸鉀脫色的反應時間表。

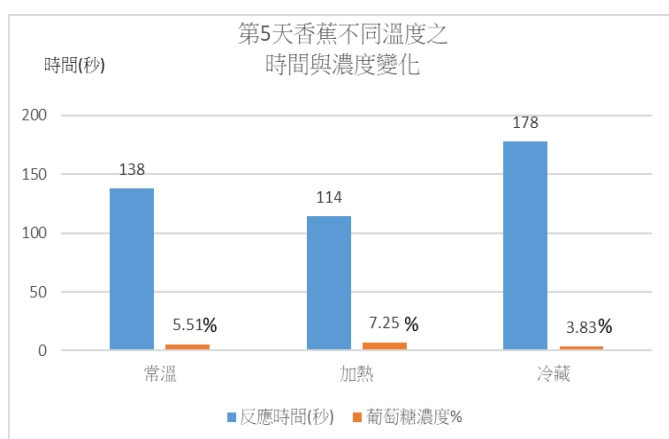
表六、不同溫度狀態之香蕉澱粉液與過錳酸鉀脫色時間

溫度狀態 \ 放置天數	第一天	第五天	第九天
常溫	> 60 分鐘	2 分 17 秒 51	0 分 21 秒 39
90℃ 加熱	> 60 分鐘	1 分 53 秒 64	12 秒 01
4℃ 冷藏	> 60 分鐘	2 分 57 秒 62	28 秒 54

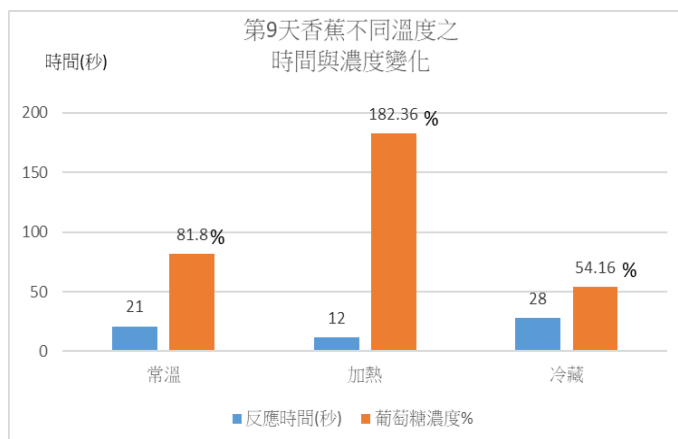
（一）採收後第一天的香蕉澱粉，不論是冷藏過後，還是經烘烤過後，過錳酸鉀最後一直呈現淡粉紅色，無法完全脫色，代表葡萄糖濃度都很低，表格中以>60 分鐘表示。

（二）採收後第五天和第九天的香蕉澱粉，經過高溫烘烤後，過錳酸鉀的反應時間都低於常溫香蕉澱粉的反應時間。可見得 α -澱粉酶分解出的葡萄糖變多了，使得反應時間縮短，葡萄糖濃度增加，如（圖八），代表經過高溫加熱後，會減少抗性澱粉的含量。

（三）第五天和第九天的香蕉粉經過冷藏一天之後，過錳酸鉀的反應時間，都高於常溫香蕉粉。可見得 α -澱粉酶分解出的葡萄糖變少了，使得反應時間增加，如（圖九），代表經過冷藏後，會增加抗性澱粉的含量。我們查了相關文獻得知，冷藏 12 小時會使其在直鏈澱粉分子外的氫鍵形成，也會轉變成抗性澱粉。



圖八、放置 5 天後不同溫度狀態之反應時間



圖九、放置 9 天後不同溫度狀態之反應時間

五、實驗五：研究香蕉澱粉加入不同添加物後，抗性澱粉含量的變化

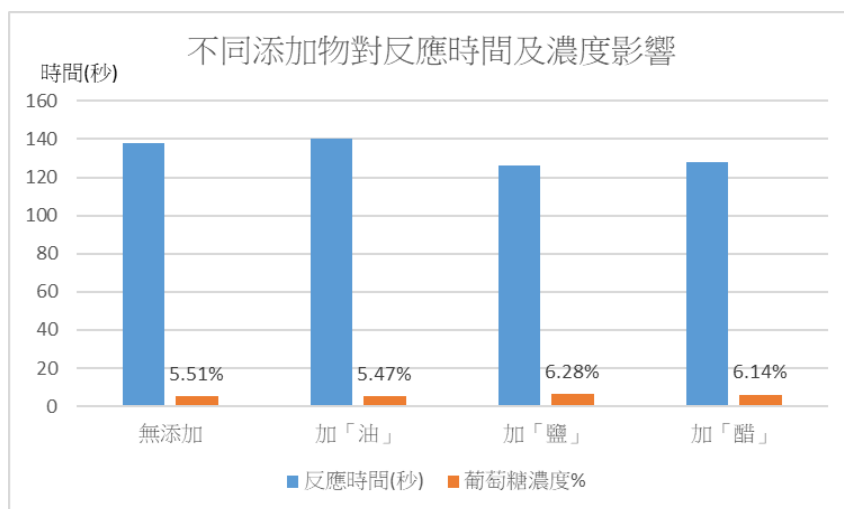
表七為使用放置第五天之香蕉澱粉，分別添加鹽、醋、油後，與過錳酸鉀的反應時間。

表七、香蕉澱粉液添加不同物質之過錳酸鉀脫色時間

添加物	無添加	加「油」	加「鹽」	加「醋」
反應時間	2 分 17 秒 51	2 分 19 秒 50	2 分 05 秒 76	2 分 07 秒 97

(一) 由(圖十)可得知，加「油」的反應時間比未添加的反應時間多一些，葡萄糖濃度也略為降低，代表加「油」可以增加抗性澱粉含量。因為油脂包覆澱粉顆粒表面，會妨礙澱粉吸水，經過查詢文獻後發現，這種抗性澱粉為「第五類抗性澱粉」直鏈澱粉-脂質複合物，其形成率和水溶解性會隨著烹煮脂肪酸比例的增加，使直鏈澱粉-脂質複合物的形成率增加，而水溶解性減少，水溶解性的減少代表被酵素分解的部分變少，因為酵素需要水相媒介來幫助分解基質。

(二) 加「鹽」和加「醋」後，過錳酸鉀的反應時間變短，葡萄糖濃度增加，表示加「鹽」和加「醋」會影響抗性澱粉含量，使其減少。



圖十、不同添加物之反應時間

六、實驗六：比較不同植物之抗性澱粉含量差異

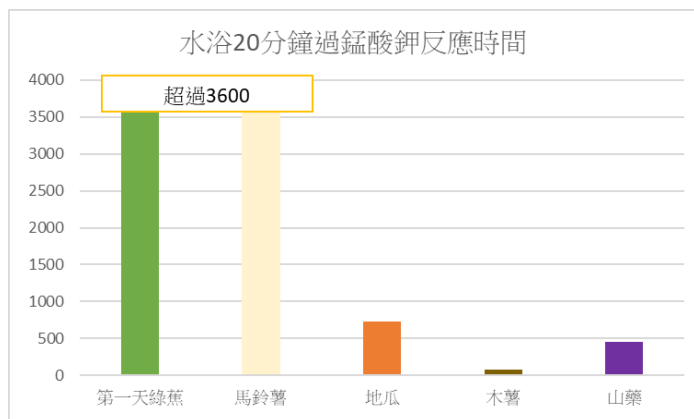
表八為進行比較不同植物澱粉液與過錳酸鉀脫色反應時間進行紀錄。

表八、不同植物澱粉之過錳酸鉀脫色時間

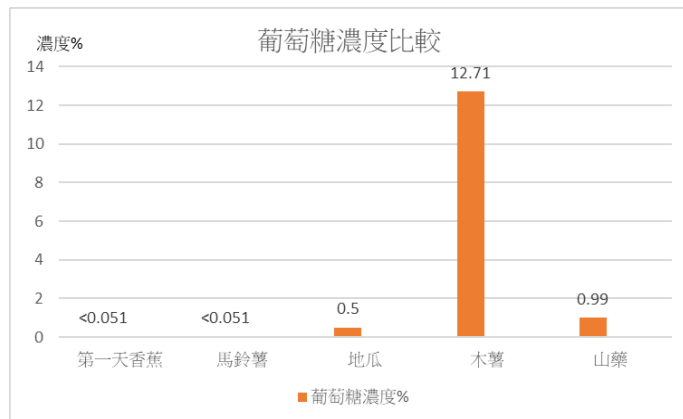
植物種類	採收後一天香蕉	馬鈴薯	地瓜	木薯	山藥
反應時間	> 24 小時	22 小時	12 分 12 秒 92	1 分 17 秒 94	7 分 38 秒 46

(1) 採收後第一天的香蕉澱粉，觀察至一天，過錳酸鉀都還沒變透明，只呈現淡粉紅色。馬鈴薯粉的反應時間至 22 小時後，過錳酸鉀完全變透明，故抗性澱粉含量：採收後第一天香蕉>馬鈴薯，在（圖十一）中，第一天香蕉與馬鈴薯的反應時間，以>3600 秒表示。

(2) 由（圖十二）可看出，木薯分解出來的葡萄糖最多，接著是山藥與地瓜。故五種植物抗性澱粉含量比較為：採收後第一天香蕉>馬鈴薯>地瓜>山藥>木薯。



圖十一、不同植物澱粉反應時間

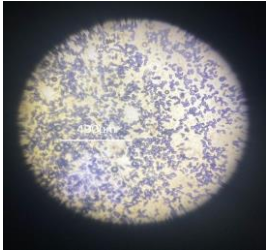
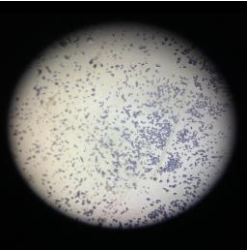
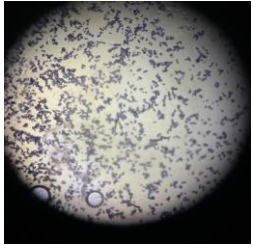


圖十二、不同植物澱粉葡萄糖濃度比較

七、實驗七：探討不同放置天數之香蕉，澱粉細胞的變化

表九為觀察四組放置不同天數之香蕉果肉內的澱粉顆粒狀況（未催熟狀態下）。

表九、放置不同天數之香蕉果肉澱粉顆粒改變情形

紀錄	第 1 天	第 5 天	第 9 天	第 12 天
香蕉外觀				
香蕉外觀	整條為青綠色	右上角有一小塊部分稍微變黃	黃色部分增多，果柄萎縮	整條香蕉為黃綠色，果柄開始變黑
澱粉顆粒變化情形（照片）				
說明	澱粉顆粒密集且完整	澱粉顆粒略減，但形體完整	澱粉顆粒略減，少量顆粒較為破碎	澱粉顆粒明顯減少，果肉細胞明顯

（一）圖中紫色點狀的部分為澱粉顆粒。

（二）第一天香蕉和第五天香蕉果肉內的澱粉顆粒最密集，第九天香蕉果肉內澱粉顆粒有減少一些，且顆粒較為破碎。至第十二天香蕉果肉內的澱粉顆粒明顯減少許多，不完整的顆粒也更多了。澱粉顆粒會隨著香蕉成熟的過程轉換成醣類，而逐漸減少。

（三）綜合（實驗一）與（實驗七）之香蕉外觀觀察，發現經過催熟（實驗一）的香蕉，變黃的速度很快，且隨著成熟會慢慢長出褐色斑點。而未經催熟（實驗七）的香蕉，直到第十二天才會有明顯的變黃，變黃的過程幾乎沒有出現黃色的斑點，且隨著香蕉逐漸成熟，會先從果柄變成黑色，然後慢慢整條變黑。

伍、討論

一、大部分檢測植物抗性澱粉含量，會使用抗性澱粉檢測套組 Resistant Starch Assay Kit，我們希望透過其他方式，比較不同熟度香蕉，以及不同植物抗性澱粉含量，故參考全國科展第62屆作品-「飯」科學~探討米飯的抗性澱粉形成條件之研究方法，並加以改良，設計出一個標準流程。一開始，我們將香蕉加水打成泥之後，用布式漏斗取出澄清液來做實驗，但過錳酸鉀反應時間非常快速，幾秒內就變成無色。我們開始思考，澄清液中應該還有其他成分，例如：香蕉內的果糖，所以影響了實驗結果。後來我們改成將香蕉烘乾磨粉來做實驗，實驗出來的反應時間也是快到不可思議。我們在這個地方卡關很久，後來查了許多資料，最後參考太白粉的製作方法來取香蕉澱粉。我們以水洗澱粉的方式取出各種不同熟度之香蕉和不同植物之澱粉，並加以檢測。實驗中利用 α -澱粉酶分解澱粉轉換成葡萄糖，與過錳酸鉀反應時間，再回推該樣本的葡萄糖濃度，以推估抗性澱粉含量。

二、第十二天香蕉澱粉的實驗結果令人出乎意料，也因此增加設計了實驗七，來確認我們的假設是否成立。而香蕉熟成過程中，果肉內澱粉顆粒的變化，也是一個可以延伸討論的議題。

三、水洗香蕉澱粉的方法，適用於香蕉呈現綠色皮的時候。因為，我們發現，香蕉皮一旦開始呈現半黃狀態，水洗澱粉的時候，會洗出非常多黏稠的液體，與前三階段的樣貌大不相同。而這些液體應該是澱粉經過轉換後的物質，也可再深入探討。

陸、結論

- 一、香蕉抗性澱粉含量會隨著熟度（採收後放置的天數）增加而減少。所以，第一天>第五天>第九天。
- 二、儲藏溫度越低會增加抗性澱粉含量。冷藏後抗性澱粉含量>常溫抗性澱粉含量>烘烤後抗性澱粉含量。
- 三、香蕉粉添加油脂可增加抗性澱粉含量，而添加「鹽」和「醋」則會讓抗性澱粉含量減少。
- 四、就富含澱粉類的植物進行跨組比較，採收後第一天的香蕉抗性澱粉含量明顯高於其他組，也比同樣具有抗性澱粉 RS2 型的馬鈴薯更多。採收後第一天香蕉>馬鈴薯>地瓜>山藥>木薯。
- 五、不論是水浴 10 分鐘或水浴 20 分鐘，香蕉抗性澱粉含量都是：第一天>第五天>第九天。而第十二天的香蕉，因澱粉顆粒明顯減少（由顯微鏡觀察可見），故我們取出的澱粉是含有大量的纖維及其他物質，澱粉含量少。纖維素中的葡萄糖是以 β 鍵連結， α -澱粉酶無法分解，故能分解出的葡萄糖減少，使過錳酸鉀脫色時間增加。
- 六、抗性澱粉對於現代人健康需求具正面效益，其香蕉之抗性澱粉特性，若能透過推廣，必能有效減少台灣香蕉於夏季面臨產量過剩的窘境，除了催熟黃蕉可當水果鮮食外，未經催熟之剛採收香蕉其抗性澱粉含量最佳，可替換米食食用，並能透過低溫保存和添加油脂等再增加抗性澱粉含量的特性。依據香蕉不同熟度的營養價值特性，作為健康飲食的推廣應用，能讓台灣香蕉王國之稱號更有價值。

柒、參考資料及其他

- 許愛娜（2010）。認識抗解澱粉（Resistant starch）。臺中區農改場九十九年討論專輯，51-57。取自：https://www.tcdares.gov.tw/upload/tdais/files/web_structure/6868/TC02-105-13.pdf
- 張佑安、陳冠仲、張翔及林信成（2014）。香蕉保健功能及香蕉皮利用健康與照顧科學學刊卷期，2（1），14-22。
- 「飯」科學~探討米飯的抗性澱粉形成條件。中華民國 62 屆科展。國小組，化學科。
- Falcomer.A.U, Riquette.R.R, Lima, Ginani.V.C.（2019）。Health Benefits of Green Banana Consumption:A Systematic Review.Nutrients. 11（6）.1-22.