

屏東縣第 66 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：金蕉「酒」厲害_探討提升香蕉皮製造生質酒精之研究

關 鍵 詞：香蕉、還原糖、酒度

編號：A3014

金蕉「酒」厲害_探討提升香蕉皮製造生質酒精之研究

摘要

香蕉為臺灣重要農作物，但香蕉皮約占果實重量 30%–40%，多於食用後被丟棄且長年皆有香蕉生產過剩的狀況，造成資源浪費與環境負擔。本研究以外觀或規格不佳之次級香蕉皮為原料，探討其轉化為生質酒精之可行性。實驗先將香蕉皮烘乾磨粉，以提升保存性並增加反應表面積，再透過酸處理、鹼處理與酵素水解比較還原糖生成情形。結果顯示，加熱後再添加酵素可提高還原糖濃度，推測為加熱造成糊化，使結構鬆散而增加酵素作用效率；酸處理在過高濃度或長時間加熱下會造成糖類降解，使還原糖下降；鹼處理則主要作用於木質素，使香蕉皮粉呈膨潤與黏稠狀態。酵素比較結果顯示，纖維素酶與果膠酶生成之還原糖量高於 α -澱粉酶。本研究發現僅添加酵素無法有效產生酒精，需加入酵母進行發酵；其中未加熱組之酒精產率普遍高於加熱組，調整 pH 至 6–7 後，「酵母+果膠酶」組酒度最高可達 19；而未調整 pH 之黃蕉皮粉水（pH 約 5–6）亦適合酵母生長。綜合結果顯示，以「酵素及酵母共同添加之常溫發酵」方式，這是相對節省能源且環保的方式，能有效將香蕉皮轉化為生質酒精，且香蕉皮相較其他農廢之第一次蒸餾之酒度相對高，相當具農業廢棄物再利用與環境永續之潛力。

壹、前言

一、研究動機

香蕉為台灣非常具有代表性的農作物，除了嚴重的產量過剩問題外，占了香蕉整體重量的 30%~40%的蕉皮，食用後被丟棄，若無法妥善應用，會造成極大浪費以及環境污染。透過觀察、蒐集文獻和詢問專家，發現香蕉皮具有抗氧化、農作肥料、抗菌和去除汙水重金屬等功用，其蕉皮所含的大量的果膠和膳食纖維於食品添加物也相當具有開發價值。

近年來，水果果皮再應用的方式有轉換成生質酒精的相關研究，且在疫情期間，酒精需求量大，生質酒精極具發展潛力，因此，我們想藉由探究不同的方式從香蕉皮萃取生質酒精，本次研究均採用外觀或規格不佳的次級蕉，期待農廢循環，讓香蕉農廢有解方，使科學實作兼具環境永續之價值。

二、研究目的

（一）了解香蕉果實組成及生質酒精製作可行性

實驗一：新鮮香蕉組成性質及酒度效果

（二）比較蕉皮粉水經過加熱與未加熱還原糖含量及 pH 值的差異

實驗二：建立葡萄糖檢量線

實驗三：蕉皮粉水加熱後與未加熱還原糖含量及 pH 值變化

實驗四：蕉皮粉水在鹽酸處理後的還原糖含量及 pH 值變化

實驗五：蕉皮粉水在氫氧化鈉處理後的還原糖含量及 pH 值變化

(三) 研究蕉皮粉水經酵素處理後還原糖含量及 pH 值變化

實驗六：蕉皮粉水添加果膠酶的還原糖含量及 pH 值變化

實驗七：蕉皮粉水添加纖維素酶的還原糖含量及 pH 值變化

實驗八：蕉皮粉水添加 α 澱粉酶的還原糖含量及 pH 值變化

(四) 分析各種方式處理過後蕉皮粉水發酵蒸餾結果

實驗九：蕉皮粉水是否加熱、添加酵素、酵母及雙重條件處理之發酵蒸餾實驗

實驗十：蕉皮粉水經調整 pH 值、酸鹼處理後發酵蒸餾實驗

三、文獻探討

(一) 蕉園踏查與發現問題

屏東縣是全臺灣香蕉產量最大的縣市，生活在屏東的我們，幾乎天天都能吃到香蕉，卻很少深入了解香蕉產業背後所面臨的困境。透過產地踏查和訪談蕉農驚訝的發現，香蕉價格極易受到季節供需與氣候因素影響，冬季產量少，價格高，夏季產量大，價格低，波動幅度相當劇烈，每公斤可達 100 元價差，而產量大時，過度剩產，多當作農廢丟棄，這是香蕉產業相當嚴重的困境。



<照片由研究者拍攝

(二) 香蕉皮應用

香蕉皮約占了整根香蕉的 30%~40% 的重量，是極具潛力的綠色經濟資源。世界各國有大量的應用，具有抗氧化、農作肥料、抗菌和去除汙水重金屬等功用，且蕉皮所含的大量的果膠和膳食纖維添加物於食品、保健食品中，相當具有開發價值，而以香蕉皮製作生質酒精則較少被討論。

（三）生質酒精

生質酒精是利用植物中的糖、澱粉或纖維素等生物質原料，經發酵、蒸餾、脫水等過程將糖質、澱粉、纖維分解後經發酵轉化為乙醇，可用於能源、工業、醫療以及食品領域等。第一代生質酒精主要原料是糧食作物，常用玉米、甘蔗；第二代生質酒精原料多為農業廢棄物，目前多國以研發第二代生質酒精為目標，可以兼顧糧食危機和能源競爭的現況，更具有永續發展潛力，本研究的主要目標就是應用香蕉農廢製作第二代生質酒精，其原料成本低，其在地化之特性，成了極具發展優勢之生質能源。

（四）相關科展主題

1.香蕉應用相關研究

表 1、

歷屆科展香蕉相關研究主題

屆別	題目	研究焦點
51	香蕉戳戳樂	利用針破壞香蕉表皮細胞，使得細胞暴露於空氣當中，讓多酚類物質與氧氣產生氧化反應。
61	香蕉不黑皮_探討改變香蕉成熟速度的影響	研究延遲香蕉成熟的方法。
63	水乳蕉融_探討香蕉皮萃取物對烘焙麵團性質之影響	研究香蕉膠質的性質以延緩吐司老化。
64	逞「蕉」鬥「黴」_香蕉皮發酵水抗黴性探討與應用	探討香蕉皮發酵水可有效抑制黴菌，濃度越高效果越佳，並能促進小白菜生長與防蟲，具農業廢棄物再利用價值。
64	香蕉皮的綠色守護者_以香蕉皮製作環保抑菌膜	從香蕉皮中萃取出單寧酸，顯示尚未成熟的香蕉皮中含有高含量的單寧酸。
65	泛泛之「蕉」學問大_影響香蕉抗性澱粉條件之探討	針對未催熟香蕉(綠蕉)之抗性澱粉含量進行探討。

歷屆科展報告中，對於香蕉的研究包括其作物特性以及應用兩大部分，蕉皮應用則研究探討其食品添加和抗菌效果，尚未探討應用製造生質酒精之可行性。

2. 歷屆科展生質酒精相關研究

表 2、

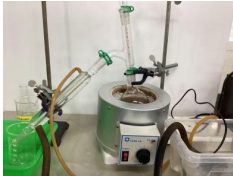
歷屆科展生質酒精相關研究

屆別	題目	研究焦點
50 屆	小米酒進化論_初識生質酒精	探討以小米為原料加酵母釀酒的方法。
53 屆	「果」真如此「酵」果十足	將果皮、果肉，以及主食類的各式廚餘發酵並觀察其 pH 值變化，並探討發酵液蒸餾製成酒精之可能性。
61 屆	百里飄香熱情酒_探討百香果皮製造酒精的可能性	探討百香果（皮）釀酒的可行性以及比較各式處理後果皮的還原糖含量。
64 屆	探討農業廢棄物生產酒精的可能性	探討各種容易取得的農業廢棄物發酵後的酒精濃度、糖度和 pH 值。

在歷屆科展報告中，採用不同種類的農業廢棄物探討生質酒精的可行性，但尚未提及香蕉皮的應用。

貳、研究設備及器材

一、器具及試劑

器具				
	酒度計	pH 值計	蒸餾器材	磁石攪拌器(加熱)
				
	離心機	分光光度計	恆溫加熱槽 (電子式)	磨豆機

器具				
	精密磅秤	烘果乾機	布式漏斗	果汁機
藥品 試劑				
	酵母	α 澱粉酶	纖維素酶	果膠酶
				
	鹽酸	氫氧化鈉	氫氧化鈣	雙硝基水楊酸
				
	酒石酸鉀鈉	本氏液		

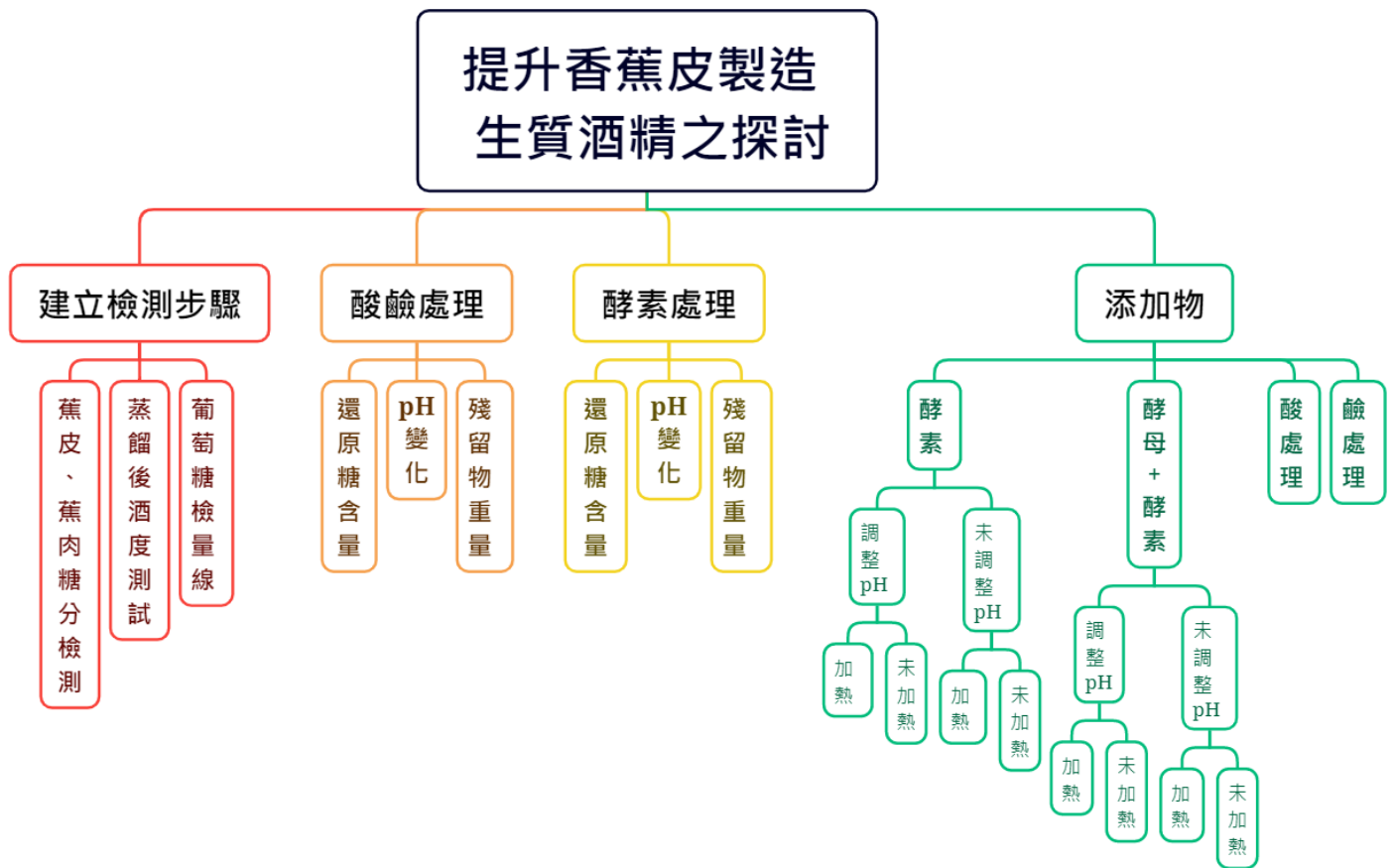
二、自製蕉皮粉

本實驗用之蕉皮粉，均採用外觀或規格不佳的次級蕉，且其已是斑點黃蕉皮，經烘乾後，利用磨豆機磨製成蕉皮粉，其研磨之目的是浸泡於水解液體時，接觸面積越大，能讓水解效果越好。

蕉粉				
	選用斑點黃蕉皮	切塊備用	放入果乾機烘乾	磨碎成蕉皮粉

參、研究方法與過程

一、研究架構



Presented with xmind

二、實驗設計步驟說明

(一) 實驗一：新鮮香蕉組成性質及釀酒效果

1. 分析新鮮香蕉組成性質

(1) 分別取用「香蕉果皮 250g 加入 500mL 的水」、「香蕉果肉 250g 加入 500mL 的水」以及「香蕉果皮 125g 以及香蕉果肉 125g 加入 500mL 的水」攪打成汁。

(2) 測量 pH 值

(3) 取 1mL 加入本氏液。

(4) 隔水加熱觀察各組變色的時間。

2. 測試釀酒效果

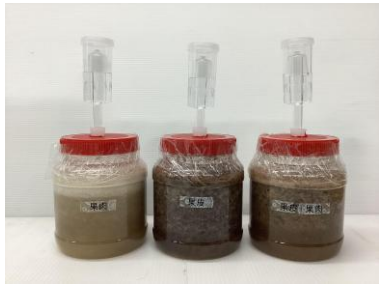
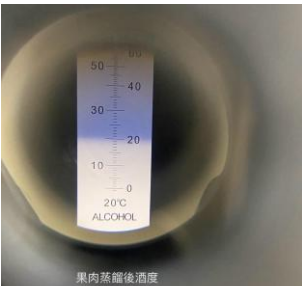
分別為「香蕉果皮發酵」、「香蕉果肉發酵」、「香蕉果皮+香蕉果肉發酵」三組，實驗操作流程如下，以下說明以果皮為例，另兩組操作流程相同：

(1) 取新鮮香蕉果皮 250g 各加入 500mL 的蒸餾水攪打成汁。

(2) 加入酵母(1g 加入 10mL 純水)，放置一週。

(3) 過濾後取發酵浸泡液。

(4)取蒸餾液(取 78°C~85°C 之間) 5mL 測量其酒精濃度。

		
(1) 放入果汁機攪打	(2) 裝入發酵瓶一周	(3) 過濾發酵液
		
(4) 蒸餾發酵液	(5) 蒸餾出液體	(6) 測量酒度

<照片由研究者拍攝>

(二) 實驗二：建立葡萄糖檢量線

1.取雙硝基水楊酸 5g、酒石酸鉀鈉 150g 及氫氧化鈉 8g 配置二硝基水楊酸（DNS）試劑 500mL。

2.於吸收波長 540nm 製作吸收度對葡萄糖濃度的檢量線。

		
(1) 不同濃度葡萄糖	(2) 加入 DNS	(3) 比色管放入光度計中

<照片由研究者拍攝>

(三) 實驗三：蕉皮粉水加熱與未加熱之還原糖含量及 pH 值變化

1.將香蕉皮洗淨切塊，放置果乾機烘乾。

2.使用磨豆機將烘乾後的香蕉皮打成粉末狀備用。

3.製作兩瓶待測樣品 A、B，分別加入 1g 蕉皮粉和 100mL 蒸餾水。A 瓶靜置 1 日，B 瓶置於恆溫水槽 100°C加熱 1 小時後靜置 1 日。

4.1 日後，將 A、B 兩瓶以布氏漏斗抽氣過濾後取其濾液，加入 DNS 後進行水浴，冷卻後經離心機取澄清液，並測量其 pH 值及還原糖含量。

		
經過烘乾磨碎之蕉皮粉	恆溫水槽加熱 1 小時	布氏漏斗抽氣過濾
		
加入 DNS	使用離心機取澄清液	放入分光光度計測量

<照片由研究者拍攝>

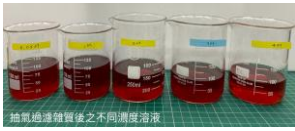
(四) 實驗四：蕉皮粉水在鹽酸處理後的還原糖含量及 pH 值變化

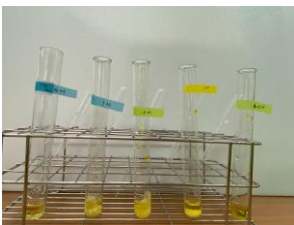
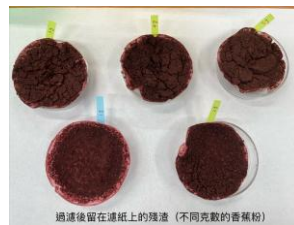
1. 不同濃度酸處理

- (1) 配製 0.5M、1M、2M、3M、4M 的鹽酸 100mL，分別加入 1g 的蕉皮粉攪拌均勻後置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，並待冷卻靜置一日。
- (2) 一日後，以布氏漏斗過濾，加入 DNS 後進行水浴 5 分鐘，冷卻後利用離心機取澄清液，並測量其 pH 值及還原糖含量。
- (3) 將過濾後的殘留物取出烘乾後秤其重量。

2. 同濃度不同蕉皮粉克數酸處理

- (1) 取 1g、2g、3g、4g、5g 蕉皮粉，並加入 1M 鹽酸 100mL，攪拌均勻後置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻靜置一日。
- (2) 一日後，以布氏漏斗過濾，加入 DNS 後進行水浴 5 分鐘，冷卻後利用離心機取澄清液，並測量其 pH 值及還原糖含量。
- (3) 將過濾後的殘留物取出，烘乾後秤其重量。

			
測 pH 值	抽氣過濾	不同蕉皮克數澄清液	不同鹽酸濃度澄清液

			
加入 DNS	放入比色管	各組加鹽酸後殘留物	秤重

<照片由研究者拍攝>

(五) 實驗五：蕉皮粉水在氫氧化鈉處理後的還原糖含量及 pH 值變化

1. 不同濃度鹼處理

(1) 配製 0.5M、1M、2M、3M、4M 的氫氧化鈉 100mL，分別加入 1g 蕉皮粉攪拌均勻後置於恆溫槽 100°C 加熱 1 小時，並待冷卻靜置一日。

(2) 一日後，以布氏漏斗過濾後，加入 DNS 後進行水浴 5 分鐘，冷卻後利用離心機取澄清液，並測量其 pH 值及還原糖含量。

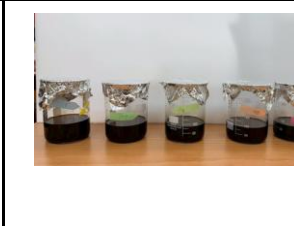
(3) 將過濾後的殘留物取出烘乾後分別秤其重量。

2. 同濃度的氫氧化鈉加入不同重量蕉皮粉之鹼處理

(1) 取 1g、2g、3g、4g、5g 蕉皮粉，分別加入 3M 氫氧化鈉 100mL，攪拌均勻後置於恆溫槽 100°C 加熱 1 小時，待冷卻靜置一日。

(2) 一日後，以布氏漏斗過濾後，加入 DNS 後進行水浴 5 分鐘，冷卻後利用離心機取澄清液，並測量其 pH 值及還原糖含量。

(3) 將過濾後的殘留物取出，烘乾後秤其重量。

			
不同克數蕉皮粉鹼處理	不同濃度氫氧化鈉	1g 蕉粉殘留物	2g 蕉粉殘留物
			
3g 蕉粉殘留物	4g 蕉粉殘留物	5g 蕉粉殘留物	抽氣過濾後澄清液

<照片由研究者拍攝>

(六) 實驗六：蕉皮粉水添加果膠酶的還原糖含量及 pH 值變化

1.蕉皮粉水添加果膠酶(未加熱組)

(1)取 1g、2g、3g、4g、5g 蕉皮粉，並加入 100mL 的蒸餾水和 0.1mL 的果膠酶，攪拌均勻後放置 2 天。

(2)2 天後，以布氏漏斗過濾後，加入 DNS 後進行水浴，冷卻後利用離心機取澄清液，測量其 pH 值及還原糖含量，觀察濾液的顏色與澄清度。

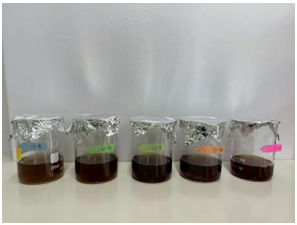
(3)將過濾後的殘留物取出烘乾，秤重量。

2.蕉皮粉水添加果膠酶(加熱組)

(1)取 1g、2g、3g、4g、5g 蕉皮粉，分別加入 100mL 的蒸餾水，攪拌均勻後置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後加入 0.1mL 的果膠酶，並靜置 2 天。

(2)2 天後，以布氏漏斗過濾後，利用離心機取澄清液，測量其 pH 值及還原糖含量，觀察濾液的顏色與澄清度。

(3)將過濾後的殘留物取出烘乾，秤重量。

			
添加果膠酶_抽氣過濾前	添加果膠酶_抽氣過濾後	烘乾後殘留物(未加熱)	烘乾後殘留物(加熱後)

<照片由研究者拍攝>

(七) 實驗七：蕉皮粉水添加纖維素酶的還原糖含量及 pH 值變化

1.蕉皮粉水添加纖維素酶(未加熱組)

(1)取 1g、2g、3g、4g、5g 蕉皮粉，分別加入 100mL 的蒸餾水和 0.1mL 的纖維素酶，攪拌均勻後放置 2 天。

(2)2 天後，以布氏漏斗過濾後，加入 DNS 後進行水浴，冷卻後利用離心機取澄清液，測量其 pH 值及還原糖含量，觀察濾液的顏色與澄清度。

(3)將過濾後的殘留物取出烘乾，秤重量。

2.蕉皮粉水添加纖維素酶(加熱組)

(1)取 1g、2g、3g、4g、5g 蕉皮粉，分別加入 100mL 的蒸餾水，攪拌均勻後置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後加入 0.1mL 的纖維素酶，並靜置 2 天。

(2)2 天後，以布氏漏斗過濾後，加入 DNS 後進行水浴，冷卻後利用離心機取澄清液，測量其 pH 值及還原糖含量，觀察濾液的顏色與澄清度。

(3)將過濾後的殘留物取出烘乾，秤重量。

	
添加纖維素酶_抽氣過濾前	添加纖維素酶_抽氣過濾後

<照片由研究者拍攝>

(八) 實驗八：蕉皮粉水添加 α 澱粉酶的還原糖含量及 pH 值變化

1. 蕉皮粉水添加 α 澱粉酶(未加熱組)

(1) 取 1g、2g、3g、4g、5g 蕉皮粉，分別加入 100mL 的蒸餾水和 0.1mL 的 α 澱粉酶，攪拌均勻後放置 2 天。

(2) 2 天後，以布氏漏斗過濾後，加入 DNS 後進行水浴，冷卻後利用離心機取澄清液，測量其 pH 值及還原糖含量，觀察濾液的顏色與澄清度。

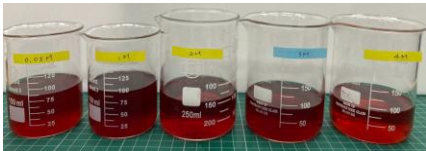
(3) 將過濾後的殘留物取出烘乾，秤重量。

2. 蕉皮粉水添加 α 澱粉酶(加熱組)

(1) 取 1g、2g、3g、4g、5g 蕉皮粉，分別加入 100mL 的蒸餾水，攪拌均勻後置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後加入 0.1mL 的 α 澱粉酶，並靜置 2 天。

(2) 2 天後，以布氏漏斗過濾後，加入 DNS 後進行水浴，冷卻後，利用離心機取澄清液，並測量其 pH 值及還原糖含量，觀察濾液的顏色與澄清度。

(3) 將過濾後的殘留物取出烘乾，秤重量。

		
添加 α 澱粉酶_抽氣過濾前	添加 α 澱粉酶_抽氣過濾後	DNS 與蕉粉澄清液混合後水浴

<照片由研究者拍攝>

(九) 實驗九：蕉皮粉水是否加熱、添加酵素、酵母及雙重條件處理之發酵蒸餾實驗

1. 蕉皮粉水未加熱即加入果膠酶發酵蒸餾：

(1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水及 0.1mL 果膠酶攪拌均勻。

(2) 放置一週發酵後進行蒸餾。

(3) 取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

2.蕉皮粉水加熱後再加入果膠酶發酵蒸餾：

- (1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水攪拌均勻，置於恆溫槽 100°C下加熱 1 小時。
- (2)待冷卻後加入 0.1mL 果膠酶。
- (3)放置一週發酵後進行蒸餾。
- (4)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

3.蕉皮粉水未加熱即加入纖維素酶發酵蒸餾：

- (1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水及 0.1mL 纖維素酶攪拌均勻。
- (2)放置一週發酵後進行蒸餾。
- (3)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

4.蕉皮粉水加熱後再加入纖維素酶發酵蒸餾：

- (1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水攪拌均勻，置於恆溫槽 100°C下加熱 1 小時。
- (2)待冷卻後加入 0.1mL 纖維素酶。
- (3)放置一週發酵後進行蒸餾。
- (4)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

5.蕉皮粉水未加熱即加入 α 澱粉酶發酵蒸餾：

- (1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水及 0.1mL α 澱粉酶攪拌均勻。
- (2) 放置一週發酵後進行蒸餾。
- (3)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

6.蕉皮粉水加熱後再加入 α 澱粉酶發酵蒸餾：

- (1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水攪拌均勻，置於恆溫槽 100°C下加熱 1 小時。
- (2)待冷卻後加入 0.1mL α 澱粉酶。
- (3)放置一週發酵後以蒸餾機進行蒸餾。
- (4)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

7. 蕉皮粉水未加熱即加入酵母發酵蒸餾：

- (1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水攪拌均勻。
- (2)取 0.1g 酵母和 10mL 的蒸餾水攪拌均勻後，加入蕉皮粉液中。
- (3) 放置一週發酵後進行蒸餾。
- (4)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

8.蕉皮粉水加熱後加入酵母發酵蒸餾：

- (1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水攪拌均勻，放入恆溫槽 100°C下加熱 1 小時

(2)取 0.1g 酵母和 10mL 的蒸餾水攪拌均勻，待蕉皮粉液冷卻後加入。

(3) 放置一週發酵後進行蒸餾。

(4)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

9.蕉皮粉水未加熱即加入酵母及果膠酶發酵蒸餾：

(1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水、0.1g 酵母及 0.1mL 果膠酶攪拌均勻。

(2) 放置一週發酵後進行蒸餾。

(3)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

10.蕉皮粉水加熱後加入酵母及果膠酶發酵蒸餾：

(1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水攪拌均勻，置於恆溫槽 100°C下加熱 1 小時。

(2)待冷卻後加入 0.1g 酵母及 0.1mL 果膠酶。

(3)放置一週發酵後進行蒸餾。

(4)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

11. 蕉皮粉水未加熱即加入酵母及纖維素酶發酵蒸餾：

(1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水、0.1g 酵母及 0.1mL 纖維素酶攪拌均勻。

(2) 放置一週發酵後進行蒸餾。

(3)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

12.蕉皮粉水加熱後加入酵母及纖維素酶發酵蒸餾：

(1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水攪拌均勻，置於恆溫槽 100°C下加熱 1 小時。

(2)待冷卻後加入 0.1g 酵母及 0.1mL 纖維素酶。

(3)放置一週發酵後以蒸餾機進行蒸餾。

(4)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

13.蕉皮粉水未加熱即加入酵母及 α 澱粉酶發酵蒸餾：

(1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水、0.1g 酵母及 0.1mL α 澱粉酶攪拌均勻。

(2) 放置一週發酵後進行蒸餾。

(3)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

14.蕉皮粉水加熱後加入酵母及 α 澱粉酶發酵蒸餾：

(1) 取 10g 蕉皮粉，加入 250mL 的蒸餾水攪拌均勻後，置於恆溫槽 100°C下加熱 1 小時。

(2)待冷卻後加入 0.1g 酵母及 0.1mL α 澱粉酶。

(3)放置一週發酵後進行蒸餾。

(4)取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

(十) 實驗十：蕉皮粉水經調整 pH 值、酸鹼處理後發酵蒸餾實驗

1. 酵素組調整 pH 值後發酵蒸餾實驗

- (1) 配置 10g 蕉皮粉和 250ml 蒸餾水，八罐，其中四罐置於恆溫水槽 100°C 加熱一小時；另四罐未加熱。
- (2) 加熱的四罐，待冷卻後，以氫氧化鈉調整八罐蕉皮粉水的 pH 值於 6-7 之間。
- (3) 分別加入果膠酶、纖維素酶、酵母、 α 澱粉酶。
- (4) 放置一週發酵後進行蒸餾。
- (5) 取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

2. 酵母+酵素組調整 pH 值後發酵蒸餾實驗

- (1) 配置 10g 蕉皮粉和 250ml 蒸餾水，八罐，其中四罐置於恆溫水槽 100°C 加熱一小時；另四罐未加熱。
- (2) 加熱的四罐，待冷卻後，以氫氧化鈉調整八罐蕉皮粉水 pH 值在 6-7 之間。
- (3) 每罐先加入 0.1g 酵母，再分別加入果膠酶、纖維素酶、酵母、 α 澱粉酶。
- (4) 放置一週發酵後進行蒸餾。
- (5) 取餾出液 5mL 測量其酒精濃度。

3. 蕉皮粉水經過酸、鹼處理後，調整 pH 值後發酵蒸餾實驗

- (1) 配置 10g 蕉皮粉和 250ml 蒸餾水，兩罐。
- (2) 分別加入 1M 鹽酸和 3M 氫氧化鈉。
- (3) 進行 100°C 隔水加熱一小時後冷卻。
- (4) 將兩罐蕉皮粉水 pH 調至 6-7 後，發酵一周。
- (5) 進行蒸餾後取餾出液 5mL 測量 pH 值和酒精濃度。

			
鹽酸組調整 PH 值	果膠酶調整 PH 值	測量酒度	確認酒度

<照片由研究者拍攝>

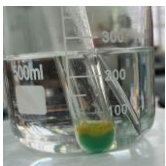
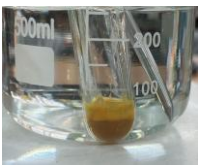
肆、研究結果

一、實驗一：新鮮香蕉組成性質及釀酒效果

採用已催熟的黃蕉，以本氏液、pH 值計和糖度計分別檢測香蕉果肉、香蕉皮及果肉加果皮三組說明觀察結果。

表 3、

香蕉果肉 pH 值、糖度及加入本氏液變化情形

本氏液顏色	綠	黃	橙	紅	pH	糖度
變化過程					5.9	6.1
變色時間	1 分 02 秒	1 秒 49 秒	2 分 05 秒	3 分 40 秒		

<照片由研究者拍攝>

表 4、

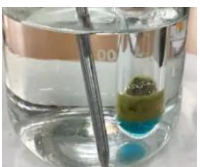
香蕉果皮 pH 值、糖度及加入本氏液變化情形

本氏液顏色	綠	黃	pH	糖度
變化過程			5.5	1.7
變色時間	2 分 06 秒	3 分 40 秒		

<照片由研究者拍攝>

表 5、

香蕉果皮果肉混合之 pH 值、糖度及加入本氏液變化情形

本氏液顏色	綠	黃	橙	pH	糖度
變化過程				5.7	3.7
變色時間	1 分 20 秒	1 分 54 秒	3 分 40 秒		

<照片由研究者拍攝>

本氏液為檢測還原糖的淺藍色試劑，需與待測液混合並「隔水加熱」。反應會將二價銅離子（ Cu^{2+} ）還原為一價銅（氧化亞銅），顏色由藍色依糖含量由少至多變為：綠色 → 黃色 → 橙色 → 紅色/磚紅色。由表 3 可知，香蕉果肉含糖量最高，本氏液色層的改變時間最短，

最後顏色接近紅色；由表 4 可知，香蕉皮的本氏液色層只變成黃色；由表 5 可知，蕉皮加果肉本氏液色層最終成黃色接近橙色。糖度為果肉>蕉皮+果肉>蕉皮，而蕉皮或果肉測出的 pH 值皆位於 5-6 之間。

表 6、
香蕉果實不同部位發酵蒸餾後酒度比較

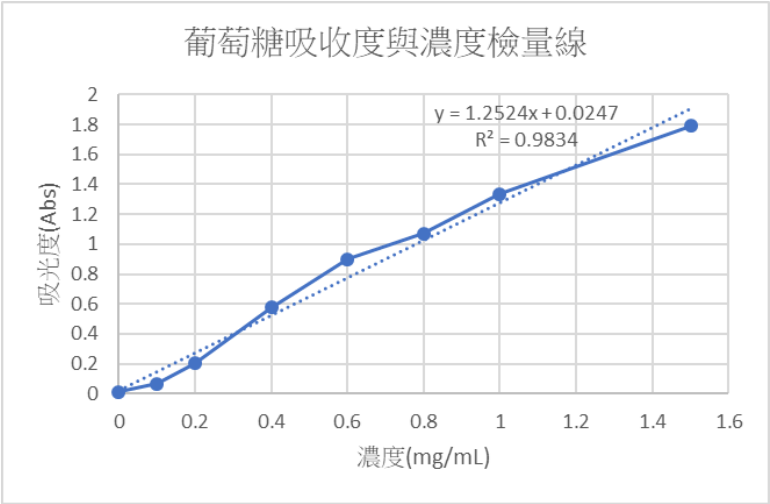
不同部位	香蕉皮+果肉	香蕉果肉	香蕉皮
蒸餾後酒度(%)	11	14	6

由表 6 可知，經一週發酵並蒸餾後，酒度明顯提升，果肉糖分高，酒度可達 14，而常被認為是廢棄物的香蕉皮經發酵蒸餾後酒度可達 6，也具生質酒精潛力。

二、實驗二：建立葡萄糖吸收度與濃度檢量線

圖 1、

葡萄糖吸收度與濃度檢量線

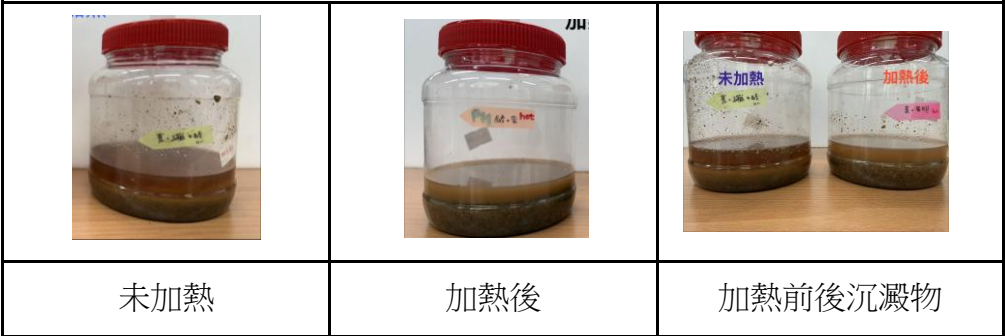


在最大吸收波長 540nm 下，利用分光光度計測得葡萄糖吸收度與濃度的檢量線。由圖 1 可知，葡萄糖濃度越高，吸光值越大。

三、實驗三：蕉皮粉水加熱與未加熱還原糖含量及 pH 值變化

圖 2、

加熱與未加熱之蕉皮水沉澱物特徵



<照片由研究者拍攝>

由圖 2 可看出，未加熱的蕉皮粉水，液體較澄清。蕉皮粉水在加熱後，液體看起來較混濁，蕉皮粉沉澱物膨脹。

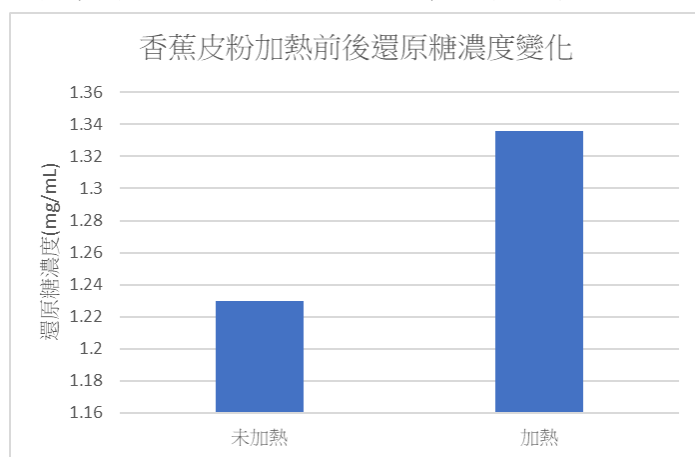
表 7、

蕉皮粉加熱與未加熱殘留量與 pH 值變化

未加熱			加熱後		
殘留量(g)	還原糖濃度(mg/mL)	pH 值	殘留量(g)	還原糖濃度(mg/mL)	pH 值
0.48	1.229	5.92	0.41	1.335	5.99

圖 3、

蕉皮粉水加熱與未加熱之還原糖濃度比較圖



由表 7 與圖 3 可知，蕉皮粉水加熱後，蕉皮粉殘留量會減少，且還原糖濃度明顯比未加熱高。

四、實驗四：不同濃度鹽酸處理以及同濃度鹽酸不同重量蕉皮粉處理之還原糖含量、殘留物量以及 pH 值變化

表 8、經鹽酸處理後還原糖含量、PH 值、殘留物比較表

不同濃度鹽酸經處理				不同克數蕉皮粉經 1M 鹽酸處理			
氫氧化鈉濃度(M)	還原糖濃度(mg/mL)	殘留物量(g)	PH	蕉皮粉重量(g)	還原糖濃度(mg/mL)	殘留物量(g)	PH
0.5M	0.0856	0.32	0.5	1g	0.0673	0.27	0.89
1M	0.0673	0.29	0.89	2g	0.0856	0.65	0.93
2M	0.0545	0.30	0.5	3g	0.1056	1.07	0.81
3M	0.0441	0.29	0.36	4g	0.1263	1.23	0.76
4M	0.0425	0.27	0.18	5g	0.1495	2.09	0.77

圖 4、

不同濃度鹽酸處理後還原糖含量

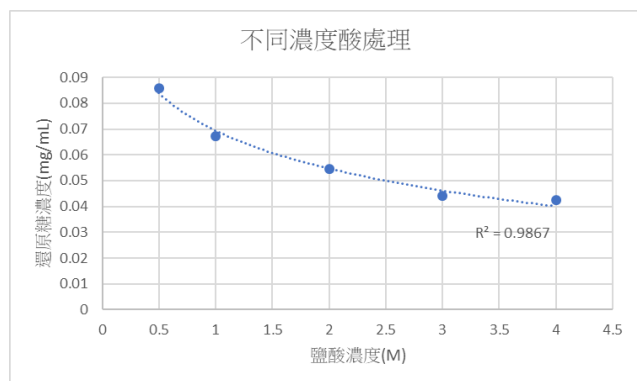


圖 5、

不同克數蕉皮粉經 1M 鹽酸處理後還原糖含量

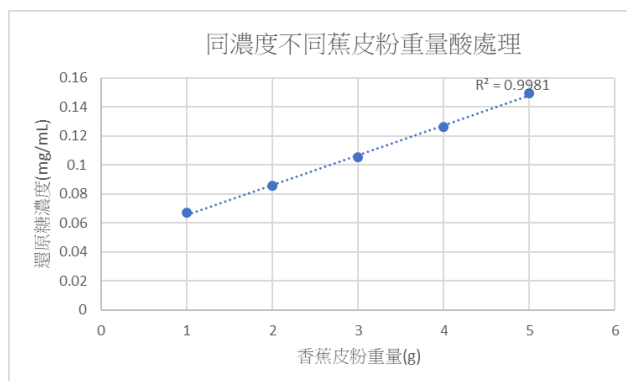


圖 6、

不同濃度鹽酸處理後殘留物重

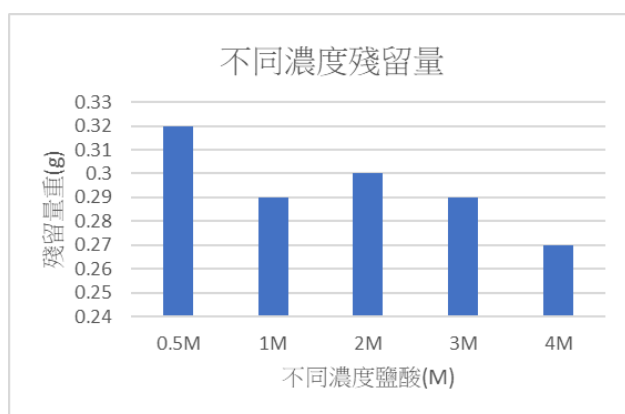
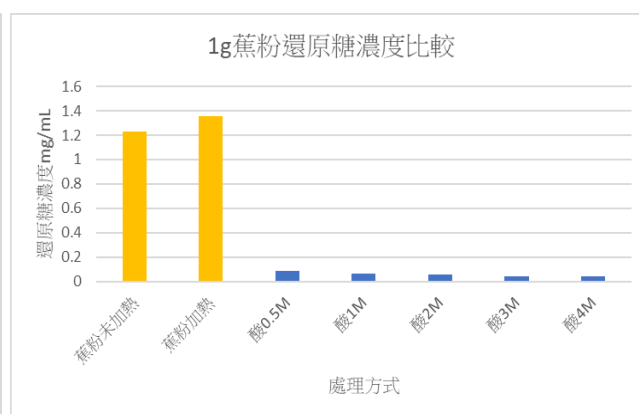


圖 7、

還原糖濃度比較



由圖 4 發現，還原糖含量會隨鹽酸濃度上升而下降，且鹽酸濃度越高，還原糖含量變化逐漸趨於平緩，可推估是 1g 蕉皮粉中可被鹽酸分解的物質已幾乎被分解完畢，對應到圖 6，蕉皮粉在 2M、3M、4M 的鹽酸作用下，殘留量雖逐漸減少，但差異不大。

由圖 5 可得知，還原糖含量會隨蕉皮粉克數增加而上升，並且呈穩定的線性關係。

由圖 7 可知，將實驗四與實驗三結果互相比較，經過酸處理的還原糖濃度都遠低於未經酸處理蕉粉的還原糖濃度，由此實驗可知，酸處理會降低還原糖濃度。

五、實驗五：蕉皮水在不同濃度氫氧化鈉以及同濃度氫氧化鈉不同重量蕉皮粉處理之還原糖含量、殘留物量以及 pH 值變化

表 9、

經氫氧化鈉處理(鹼處理)後還原糖含量、殘留物及 pH 值比較表

不同濃度之氫氧化鈉/加熱處理				不同克數蕉皮粉經 3M 氫氧化鈉加熱處理			
氫氧化鈉濃度(M)	還原糖濃度 (mg/mL)	殘留物量 (g)	pH	蕉皮粉重量(g)	還原糖濃度 (mg/mL)	殘留物量 (g)	pH
0.5M	1.8234	0.34	13.15	1g	4.5174	0.66	13.13
1M	3.5982	0.44	13.03	2g	6.1531	1.04	12.98
2M	4.0763	0.69	12.59	3g	9.3812	2.71	13.53
3M	4.5174	0.66	13.72	4g	10.6132	4.02	12.76
4M	5.2174	0.96	13.51	5g	11.2076	6.36	13.49

圖 8、

不同濃度鹼處理後還原糖含量

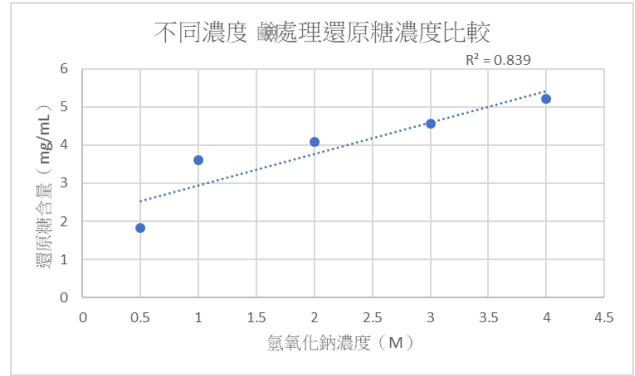
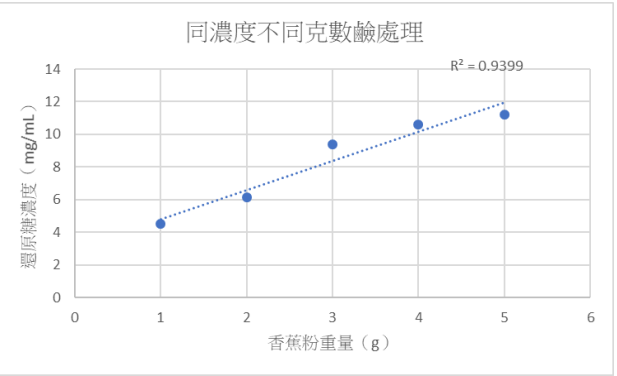


圖 9、

不同克數蕉皮粉經鹼處理後還原糖含量



鹼處理後的蕉皮粉水，隨濃度增加越濃稠，這使得抽氣過濾的過程耗時許久。經過濾後，液體顏色呈紅褐色，隨濃度越高顏色越深，甚至接近黑色

由表 9 可知，還原糖含量和殘留物隨著蕉皮粉克數增加而上升，pH 值約在 13 左右。

由圖 8 可知，不同濃度氫氧化鈉對 1g 粉蕉皮粉這組的還原糖濃度，在 2M 之後趨於平緩。

由圖 9 可知，利用濃度 3M 的氫氧化鈉處理不同克數的蕉粉的還原糖含量，從趨勢線來看，蕉粉越多，還原糖濃度越大。

六、實驗六：不同重量之蕉皮粉添加果膠酶的還原糖含量、pH 值及殘留物變化

表 10、蕉皮粉未加熱及加熱條件下添加果膠酶後還原糖含量、pH 值、殘留物比較表

未加熱				加熱後			
重量(g)	還原糖濃度(mg/mL)	殘留物量(g)	pH	重量(g)	還原糖濃度(mg/mL)	殘留物量(g)	pH
1	2.040	0.39	4.8	1	4.715	0.33	5.38
2	4.036	0.84	5.01	2	7.958	0.79	5.18
3	6.374	1.37	5.07	3	10.385	1.29	5.04
4	7.535	2.31	5.04	4	12.020	1.86	5.02
5	8.014	4.25	4.95	5	13.611	2.53	4.97

圖 10、未加熱之添加果膠酶還原糖含量

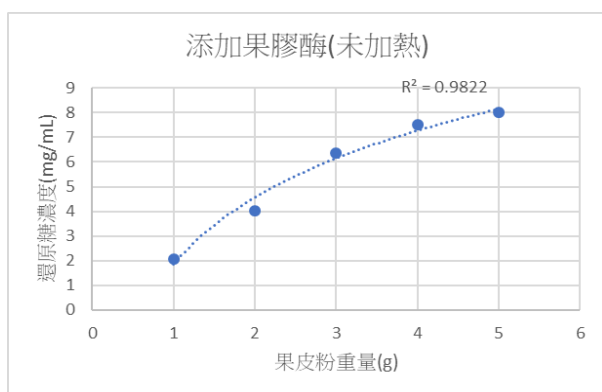
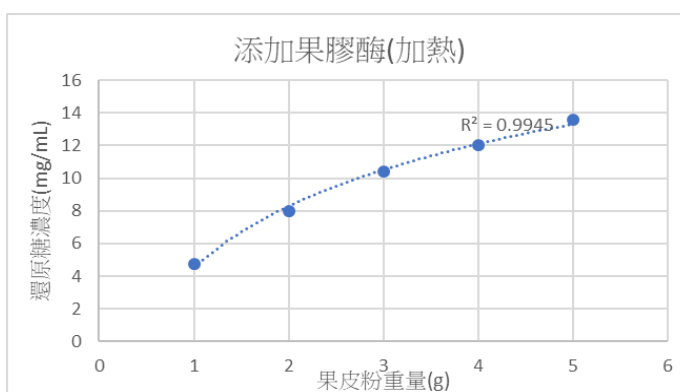


圖 11、加熱後添加果膠酶加熱後還原糖含量



由表 10 可知，不管是未加熱組或是加熱組，還原糖濃度都會隨著蕉皮粉重量增加而上升，PH 值在 4.8-5.5 之間。從圖 10 未加熱組還原糖含量的趨勢線可看出，隨著蕉皮粉的增加，濃度升高越緩慢，推測果膠酶分解趨於飽和狀態。經加熱後，殘留物會變少，此結果可對應到圖 13、圖 14，相同克數的蕉皮粉，加熱組殘留物量比未加熱組的殘留物量少，圖 12 呈現加熱組的還原糖含量高於未加熱組，應是加熱組蕉皮粉內能被果膠酶分解的物質較多，使得殘留物減少，還原糖含量高。

圖 12、果膠酶加熱與未加熱還原糖含量變比較

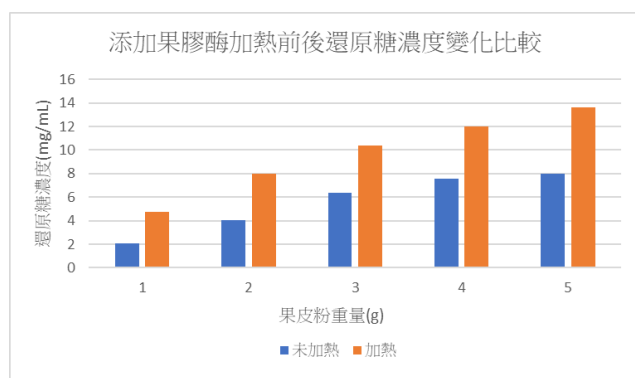


圖 13、添加果膠酶未加熱組殘留量變化

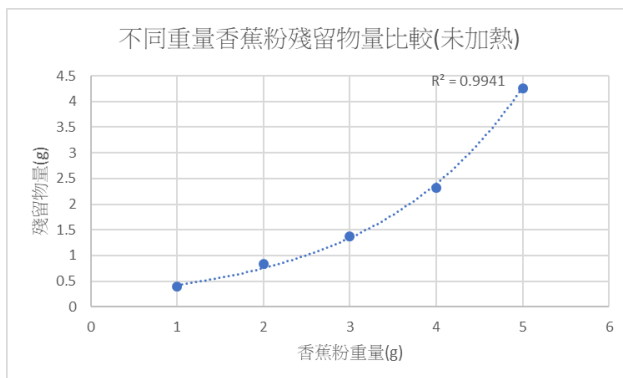


圖 13、
添加果膠酶加熱組殘留量變化

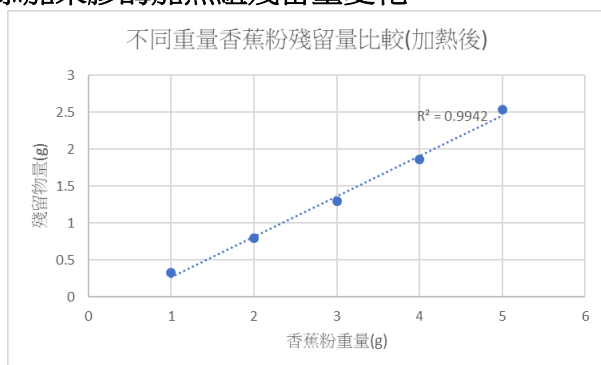
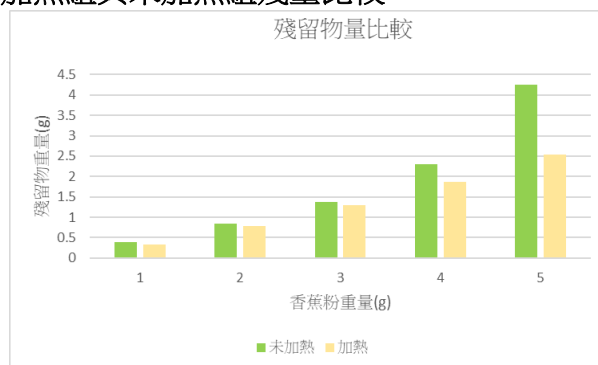


圖 14、
加熱組與未加熱組殘量比較



七、實驗七：蕉皮粉添加纖維素酶的還原糖含量、pH 值及殘留物變化

表 11、

蕉皮粉水未加熱及加熱條件下添加纖維素酶後還原糖含量、pH 值及殘留物比較表

未加熱				加熱後			
重量(g)	還原糖濃度(mg/mL)	殘留物量(g)	pH	重量(g)	還原糖濃度(mg/mL)	殘留物量(g)	pH
1	2.817	0.40	5.04	1	3.341	0.48	5.48
2	5.513	0.85	5.23	2	6.202	0.94	5.75
3	7.396	1.38	5.21	3	8.661	1.59	5.68
4	10.216	2.28	5.32	4	11.426	3.31	5.72
5	11.076	3.45	5.35	5	12.539	4.38	5.64

圖 15、
添加纖維素酶未加熱還原糖含量變化

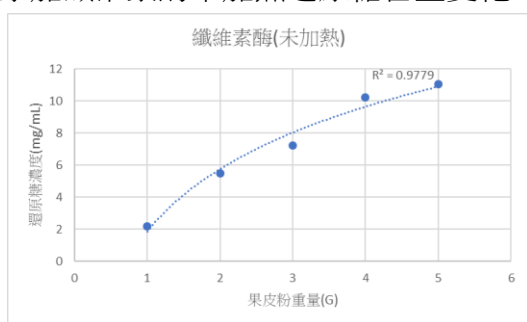


圖 16、
添加纖維素酶加熱後還原糖含量變化

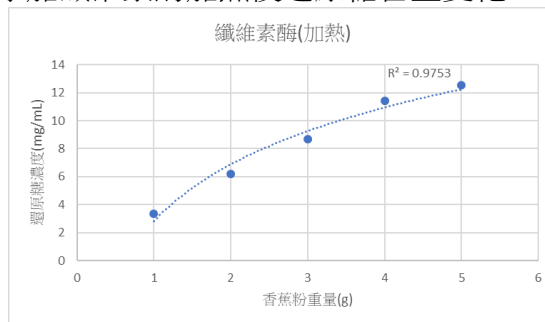


圖 17、纖維素酶加熱與未加熱還原糖含量變比較

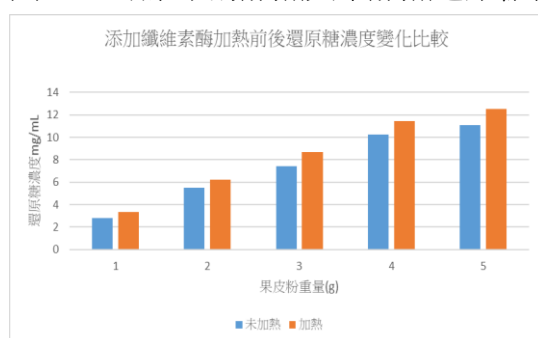


圖 18、添加纖維素酶殘留量比較

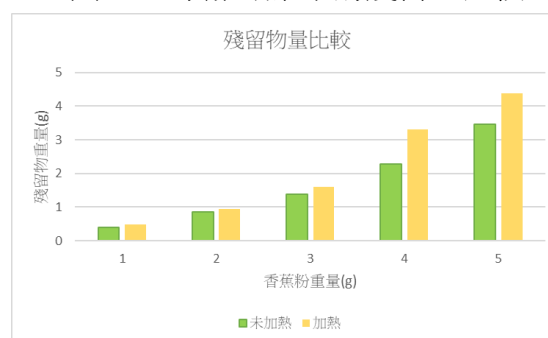


表 11 與圖 17 呈現，加熱組的還原糖含量高於未加熱組，但只是微幅上升。我們推測 100℃ 加熱對纖維素的破壞有限，產生的還原糖量沒有多出許多。未加熱組與加熱組，pH 值維持 5.0-5.6 之間，加熱後之 pH 些微高於未加熱組。

圖 15 與圖 16 呈現還原糖濃度隨著蕉皮粉克數增加而升高，但 4g 到 5g 還原糖含量增加不多，推測是酵素分解趨於飽和狀態之緣故。由圖 18 得知，添加纖維素酶，加熱組的殘留量高於未加熱組的殘留量，與實驗六添加果膠酶殘留量結果相反。

八、實驗八：香蕉果皮添加 α 澱粉酶的還原糖含量及 pH 值變化

表 12、

蕉皮粉水在未加熱及加熱條件下添加 α 澱粉酶後還原糖含量、pH 值及殘留物比較表

未加熱				加熱後			
重量(g)	還原糖濃度(mg/mL)	殘留物量(g)	pH	重量(g)	還原糖濃度(mg/mL)	殘留物量(g)	pH
1	1.685	0.58	4.73	1	2.686	0.52	4.91
2	3.651	1.1	5.22	2	5.421	1.03	5.21
3	5.181	1.81	5.59	3	8.213	1.62	5.32
4	6.756	2.23	5.31	4	9.438	2.42	5.69
5	7.261	2.85	5.63	5	9.924	3.21	5.31

圖 19、

添加 α 澱粉酶未加熱還原糖含量變化

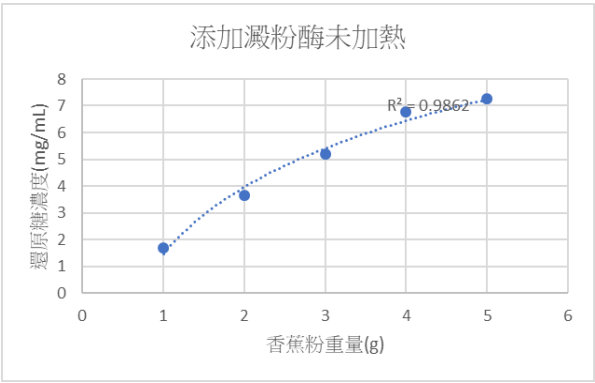


圖 20、

添加 α 澱粉酶加熱後還原糖含量變化

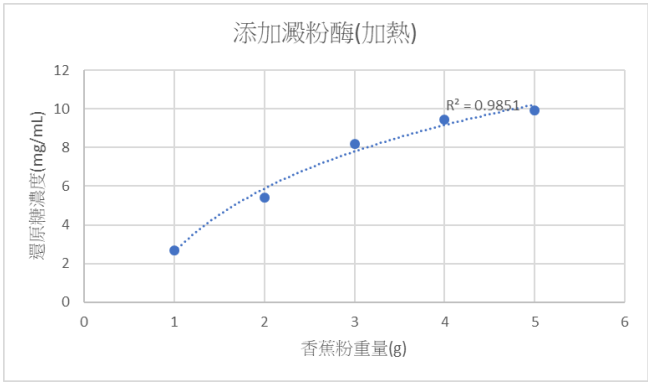
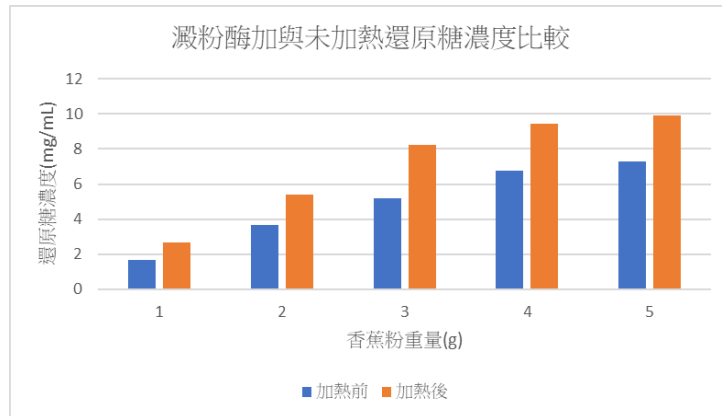


圖 21、

 α 澱粉酶加熱與未加熱還原糖含量變比較

由表 12 可知，不管是未加熱組或是加熱組，還原糖濃度都會隨著蕉皮粉重量增加而上升，pH 值在 4.7-5.7 之間。1g、2g、3g，經加熱後，殘留物會變少，4g 及 5g，經加熱後，殘留物會反而變多，可對應到由圖 21，加熱組的還原糖含量高於未加熱組，但加熱組 4g、5g 的還原糖濃度只有稍微提升。圖 19 與圖 20 呈現，未加熱組與加熱組，還原糖含量都隨著蕉皮粉克數增加而上升，但在 4g 之後，趨勢線趨於平緩。

從表 13 可知，未加熱組還原糖含量比較：纖維素酶>果膠酶> α 澱粉酶；加熱後還原糖含量比較：果膠酶>纖維素酶> α 澱粉酶。

表 13、

添加各種酵素還原糖含量比較

蕉粉 \ 酵素	果膠酶還原糖(mg/mL)		纖維素酶還原糖(mg/mL)		α 澱粉酶還原糖(mg/mL)	
	未加熱	加熱後	未加熱	加熱後	未加熱	加熱後
1g	2.040	4.715	2.817	3.341	1.685	2.686
2g	4.036	7.958	5.513	6.202	3.651	5.421
3g	6.374	10.385	7.396	8.661	5.181	8.213
4g	7.535	12.020	10.216	11.426	6.756	9.438
5g	8.014	13.611	11.076	12.539	7.261	9.924

表 14 中，果膠酶組，經加熱後殘留物減少；纖維素酶組，經加熱後殘留物增加； α 澱粉酶在 4g、5g 這兩組，加熱後殘留物增加，三組殘留量增減狀態皆不同。

表 14、

添加各種酵素後殘留物量比較

	果膠酶組殘留量(g)		纖維素酶組殘留量(g)		α 澱粉酶組殘留量(g)	
	未加熱	加熱後	未加熱	加熱後	未加熱	加熱後
蕉粉						
1g	0.39	0.33	0.40	0.48	0.58	0.52
2g	0.84	0.79	0.85	0.94	1.1	1.03
3g	1.37	1.29	1.38	1.59	1.81	1.62
4g	2.31	1.86	2.28	3.31	2.23	2.42
5g	4.25	2.53	3.45	4.38	2.85	3.21

九、實驗九：蕉皮粉水是否加熱、添加酵素、酵母及雙重條件處理之發酵蒸餾實驗

表 15、

添加酵素發酵後蒸餾之酒度

狀態 酵素	未加熱		加熱	
	酒度(%)	pH	酒度(%)	pH
果膠酶	1	4.25	1	4.77
纖維素酶	0.5	5.23	0.5	5.8
α 澱粉酶	0.5	4.1	0.5	5.44

由表 15 可知，蕉皮粉水不論加熱組與未加熱組，於本實驗中若只添加酵素，對產生酒精無顯著效果。而發酵是糖轉化為酒精的關鍵，因此，接續的實驗，調整為雙重條件，即添加酵素和酵母，確認是否可藉此提升酒度。

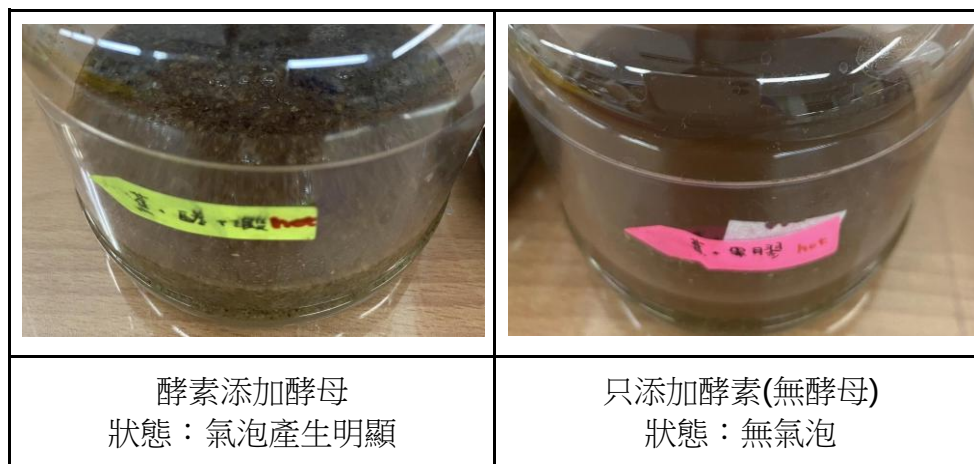
表 16、

添加酵母和酵素雙重條件後蒸餾之酒度

狀態 添加物	未加熱		加熱	
	酒度(%)	pH	酒度(%)	pH
酵母	4	5.62	9	5.65
酵母+果膠酶	13	4.42	10	5.61
酵母+纖維素酶	14	5.14	11	5.97
酵母+ α 澱粉酶	13	4.47	11	5.91

由表 16 可知，未加熱組，添加酵母和酵素，經蒸餾後，酒度都比只加酵素和只加酵母的酒度高。對應之前觀察的記錄，如圖 22，只添加酵素組，無氣泡產生，加酵母組則一直冒氣泡，這是酵母將還原糖轉化成酒精和二氧化碳($C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{能量}$)。且實驗發現，未加熱組酒度>加熱組酒度，顯示，不需加熱即能產生良好的效果。

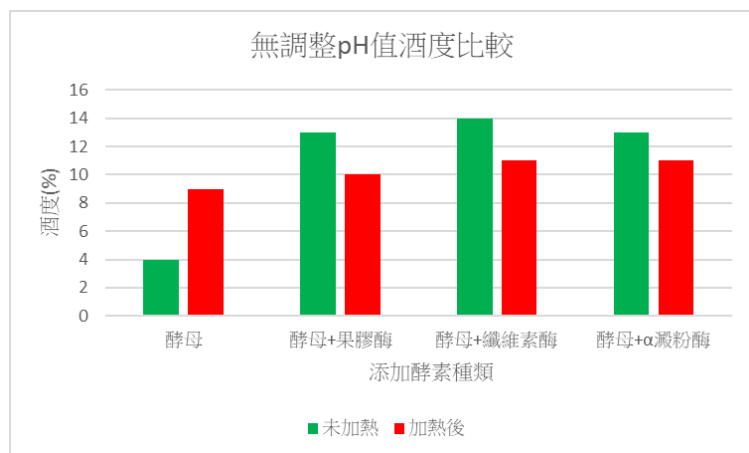
圖 22、有無添加酵母



<照片由研究者拍攝>

圖 23、

無調整 pH 值之各組酒度比較



由圖 23 可知，在未調整 pH 值的情況下，未加熱組以「酵母+纖維素酶」酒度最高，「酵母+果膠酶」與「酵母+α澱粉酶」蒸餾後酒度相同，「只加酵母」蒸餾後酒度最低。有添加酵素蒸餾後酒度都可到 10 以上。而加熱組中，只添加酵母的酒度增加，其餘組別的酒度均降低。可見蕉皮粉水經過加熱水解後同時添加酵素和酵母，有助於提升酒度。

實驗十：蕉皮粉經調整 pH 值、酸鹼處理後發酵蒸餾實驗

表 17、

添加酵素並調整 pH 值後蒸餾之酒度

狀態 添加物	未加熱		加熱	
	酒度(%)	pH	酒度(%)	pH
未添加酵素	0.5	6.52	0.5	6.78
果膠酶	1	6.38	0.5	6.42
纖維素酶	0.5	6.76	0.5	6.52
澱粉酶	0.5	6.65	0.5	6.73

表 17 可知，蕉皮粉水加熱前後，若只添加酵素，調整 pH 值，經一周發酵後，會發現 pH 值還是維持在 6-7，且對產生酒精無顯著效果。

表 18、

添加酵母及酵素調整 pH 值後蒸餾之酒度

狀態 添加物	未加熱		加熱	
	酒度(%)	pH	酒度(%)	pH
酵母	1	4.58	7	4.63
酵母+果膠酶	19	4.86	4	4.91
酵母+纖維素酶	16	4.36	4	5.19
酵母+ α 澱粉酶	7	4.25	5	4.88

從表 18 可知，經過調整 pH 值在 6-7 後，經過一周發酵再測 pH 值，會發現 pH 值降低不少，變成在 4.2-5.5 之間。

圖 24、調整 pH 值各組酒度比較

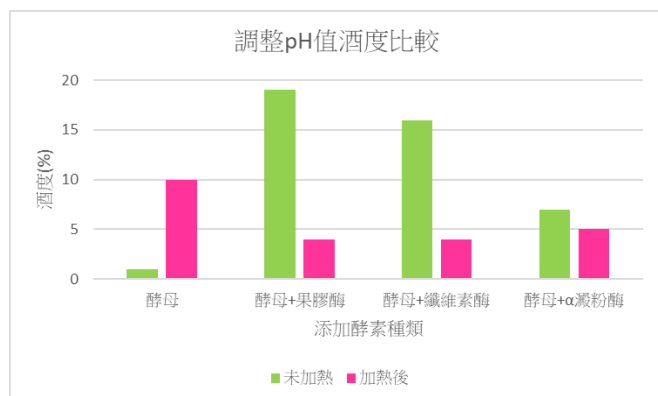


圖 24 可知，調整 pH 值的情況下，未加熱組以「酵母+果膠酶」酒度最高，酒度高達 19，接下來酒度高低依序是「酵母+纖維素酶」、「酵母+ α 澱粉酶」，「只加酵母」的酒度很低。加熱組中，「只加酵母」的酒度較未加熱組明顯提升。「酵母+酵素組」的酒度都下降不少，酒度均在 5 以下。

表 19、

酸鹼處理後加入酵母蒸餾之酒度

	酒度(%)	pH
酸處理	1	7
鹼處理	12	6.12

由表 19 可知，蕉皮粉經過鹼處理，蒸餾後的酒度高於酸處理，此結果可對應到實驗五，酸處理會使得還原糖濃度下降，而鹼處理使還原糖濃度上升。

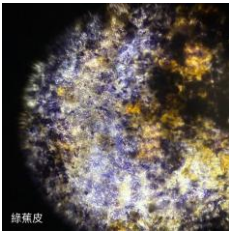
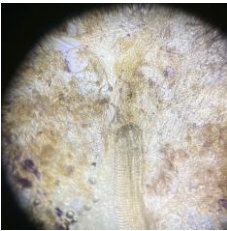
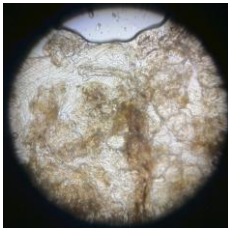
伍、討論

- 一、香蕉皮容易腐敗難以保存，故本次實驗使用黃蕉皮烘乾後磨粉使用，可增加蕉皮的保存期限。香蕉皮的結構非常強韌，含有大量的纖維素與果膠，經烘乾磨粉後，可增加與發酵物接觸的表面積。
- 二、實驗四蕉皮粉水經酸處理後，蕉粉還原糖濃度下降，由查閱文獻發現，酸處理可促進纖維素分解生成單醣，但在酸濃度過高或加熱時間過長時，生成的單醣會進一步發生降解反應，當糖類的降解速率大於生成速率時，最終測得的還原糖濃度便會降低。
- 三、實驗五蕉皮粉水經鹼處理後，隨著鹼的濃度增加，使蕉皮粉越來越濃稠，經文獻發現，鹼的主要目標是木質素，對於纖維素本身，鹼幾乎沒有拆除能力，鹼處理後的殘留物通常呈現蜂窩狀或海綿狀，體積會比原始粉末大出好幾倍，故讓蕉粉變濃稠。
- 四、實驗六~實驗八中，各組酵素在蕉皮粉加熱後，測得的還原糖濃度均高於未加熱組，應是加熱後蕉皮粉糊化，使結構鬆散，增加與酵素接觸的表面積，使酵素更易與其作用，故還原糖濃度增加。
- 五、實驗七，添加纖維素酶後，粉末殘留量為「加熱組 > 未加熱組」。查詢相關文獻，因為蕉粉加熱後冷卻與 2 天的靜置過程中，蕉皮粉中的澱粉發生了回凝作用（Retrogradation）。澱粉分子重新排列形成不溶性的抗性澱粉結晶，增加了固體殘留量。且蕉皮粉中的纖維素發生了顯著的溶脹現象，溶脹後的纖維與糊化的澱粉在冷卻後形成了高黏度的網狀結構，這不僅造成過濾困難，更在澱粉回凝過程中包裹了更多物質，最終導致烘乾殘留物的重量增加。
- 六、實驗八，添加 α 澱粉酶的還原糖含量，低於添加果膠酶組與纖維素酶組，應與本次實驗用的香蕉熟度有關。本次實驗都採用有褐色斑點的黃蕉皮，而蕉皮內澱粉含量會隨著熟度不同而改變。蕉皮澱粉含量最高的是未成熟的綠蕉，隨著香蕉逐漸成熟，蕉皮內的澱

粉也逐漸轉換成醣類。所以我們利用手機顯微鏡，觀察不同熟度蕉皮內澱粉細胞的含量。我們發現斑點蕉的蕉皮內，澱粉細胞顆粒非常少。之後的研究，可針對「不同熟度蕉皮之生質酒精」做延伸探討。

圖 25、

不同熟度香蕉皮內澱粉細胞觀察

			
不同熟度香蕉	綠蕉 大量澱粉細胞	黃蕉 少量澱粉細胞	斑點蕉 幾乎沒有澱粉細胞

<照片由研究者拍攝>

七、實驗九調整 pH 值實驗，鹽酸組從 pH0.05 要調至 pH6-7 時，一開始效果不明顯，pH 值爬升很慢，但大約到了 pH5 之後，pH 值爬升非常快速。氫氧化鈉組從 pH13.45 要調到 pH6-7 時，一開始也是 pH 值下降非常緩慢，但大約到了 pH8 之後，下降速度變很快。針對這個現象我們查了文獻，發現溶液 pH 值隨著滴定劑的加入而變化的過程曲線通常呈現「S」型。若起點為低 pH 值（強酸性），隨著鹼的加入，pH 值緩慢上升，在接近當量點時會急劇跳變。

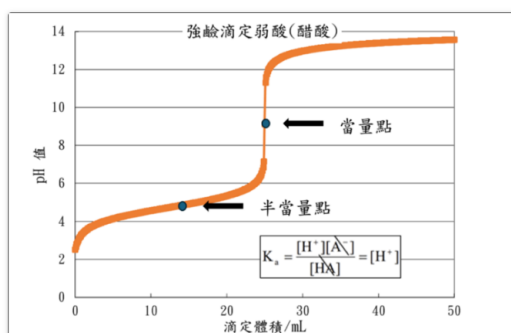


圖1：處於半當量點， $pH = pK_a = 4.99$

圖片出處：台灣化學教育 透過 MS-Excel 學習滴定曲線的原理

八、為確保蒸餾過程中取得的是乙醇，需讓溫度維持在 78°C 到 85°C，故加熱溫度維持成為關鍵。後來找出讓溫度穩定的方式，一開始將蒸餾機的溫度控制轉至刻度 5，溫度升到 70°C 後轉至刻度 0，溫度會升至 82°C 左右後開始下降，等到降到 78°C 便再將溫控調到刻度 1.5，會升到 81°C，再調到刻度 1，約 5 分鐘後會開始下降至 76°C，調到刻度 1.5，等升到時 80°C 時重複循環，溫控就能穩定。

九、實驗九，經過蒸餾後發現，若蕉皮粉只加酵素，蒸餾後酒度都非常低。查閱相關資料後發現，酵素是催化劑，它們的功能是把大分子的纖維、果膠、澱粉「切碎」變成小分子的糖。乙醇是生物代謝的產物，必須由具有代謝能力的活生物（主要是酵母菌）「分

解」糖，才能產出乙醇。

十、實驗九中，「酵母+酵素」加熱組的酒度均低於未加熱組。我們查了相關資料，雖然高溫處理能物理性促進澱粉糊化，但隨之產生的熱降解產物（如糠醛）對後續添加之酵素具有抑制作用。這導致加熱組在酵素水解階段的效率受損，加上糠醛對酵母發酵的毒性，最終使加熱組的酒精產率低於環境友善且無毒的未加熱組。

十一、實驗十中，我們發現「酵母+果膠酶」在調整 pH 值之後，酒度大大提升。經查閱資料得知，許多市售果膠酶在 pH 6.0 - 7.0 之間活性最強。調整 pH 後，使得原本果膠酶被完全激活，開始努力拆解細胞壁，使得還原糖含量大增，故酒度得以提升。

十二、實驗十中，我們先將各組調整 pH 值在 6-7 之間，經一周發酵後，發現 pH 值降低了。經查閱資料，這是正常的現象。因酵母菌分解糖分產生大量 CO_2 ，這些氣體溶解在發酵液中會形成微弱的碳酸。酵母菌偏好在微酸性環境中生長，因為這能抑制許多雜菌。因此，它會主動分泌質來降低環境 pH 值，將其調整到最適合自己（約 pH 4.0-5.0）的狀態。

十三、經實驗發現，調整 pH 值蒸餾後的酒度與未調整組，結果差異頗大。實驗中酒度最高的組合為：調整 pH 值「酵母與果膠酶共同添加」之未加熱組，酒度最高，但未調整 pH 值組的酒度表現也很好，黃蕉皮粉的 pH 值約在 5.0 至 6 之間，正好是酵母和酵素適合生長的環境。故釀造蕉皮粉生質酒精時，不用調整 pH 值，就可以達到很好的效果

陸、結論

一、各組實驗中，加熱組的還原糖濃度均高於未加熱組的還原糖濃度。

二、蕉皮粉水添加各種酵素後，還原糖濃度都能提升，還原糖含量比較：未加熱組為「纖維素酶>果膠酶> α 澱粉酶」；加熱組為「果膠酶>纖維素酶> α 澱粉酶」。

三、蕉皮粉水若只添加酵素，蒸餾後酒度都非常低，而加入酵母及酵素後，蒸餾後酒度明顯提升。

四、未調整 pH 值的組別中，蒸餾後效果最好的為「酵母+纖維素酶」；未加熱組中，「酵母+纖維素酶」、「酵母+果膠酶」、「酵母+ α 澱粉酶」蒸餾後酒度都可在 13 以上。而此三組加熱後的酒度反而下降。調整 pH 值的組別中，未加熱組以「酵母+果膠酶」酒度最高，酒度高達 19，「酵母+纖維素酶」酒度為 15，「酵母+ α 澱粉酶」酒度為 7。黃蕉皮的 pH 值約在 5.0 至 6 之間，正好是酵母和酵素適合生長的環境。根據實驗結果，我們可以歸納出，「酵素 + 長時間常溫發酵」（未加熱組）是效率高且最環保的做法，它既能釋放糖分，又避開了高溫產生的毒素，且還能節省加熱能源。

五、目前香蕉皮若缺乏完善的回收與應用機制，常被視為廚餘丟棄，增加環境負擔。本實驗使用廢棄黃蕉皮作為原料，添加酵素增加還原糖含量，經過發酵蒸餾後，都能得到很好的效果，第一次蒸餾就可達到酒度 10 以上。且蕉皮的天然酸度非常適合酵母菌生長，不需額外調整 pH 值，就能有很好的效果。蕉皮廢棄物再利用，相較其他農業廢棄物之第一次蒸餾之酒度相對高，是相當再利用與環境永續潛力的農業廢棄物。

柒、參考資料及其他

- 1.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。
- 2.百里飄香熱情酒—探討百香果皮製造酒精的可能性。中華民國 62 屆科展。國中組，化學科。
- 3.「果」真如此「酵」果十足。中華民國 53 屆科展。國小組，化學科。
- 4.還原糖的彩虹—探討糖與鹼之應用。中華民國 60 屆科展。國中組，化學科。
- 5.游文綺、胡景瀚（2024） 透過 MS-Excel 學習滴定曲線的原理。台灣化學教育
<https://531.9e9.myftpupload.com/archives/45287>
- 6.趙國評、邱煥文（2007）。淺談生質酒精。林業研究專訊 Vol.14 No.3 2007
- 7.Banana Peel (Musa ABB cv. Nam Wa Mali-Ong) as a Source of Value-Adding Components and the Functional Properties of Its Bioactive Ingredients.Plants, 13, 593 ,1-18,2024.
- 8.Banana Peels as Bioactive Ingredients: A Systematic Review of Nutritional and Pharmacological Attributes.Journal of Food Chemistry & Nanotechnology.Volume 9 Supplement 1,577-587 2023.