

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 化學科

佳作

(鄉土)教材獎

030203

百里飄香熱情酒-探討百香果皮製造酒精的可行性

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者： 國二 洪雅榆 國二 劉之怡	指導老師： 鄭定祐 徐敏益
-------------------------	---------------------

關鍵詞：百香果皮、酵素、酒精

## 摘要

百香果為埔里重要農產之一，果肉製為加工品剩餘果皮被丟棄。本次實驗以百香果皮為材料，探討其製造酒精的可行性，我們發現百香果皮含水率高達 80%，富含果膠不易乾燥而造成環境汙染，我們將乾燥百香果皮經泡水、加熱及添加酸、鹼、果膠酶、纖維素酶處理後，測量還原糖含量及經發酵蒸餾後測其酒精濃度，結果發現經添加酸鹼及酵素處理後還原糖含量均有明顯提升，經加熱處理後的酒精濃度較高，接著我們將百香果皮發酵時做降酸的處理，發現經加熱再添加果膠酶及纖維素酶後，發酵蒸餾測得酒精濃度可達 8%，我們將其進行三次蒸餾，酒精濃度可高達 75%具防疫消毒作用，發酵後的剩餘殘渣，可作為肥料及製成生物炭，改善環境並提供農產品附加價值。

## 壹、研究動機

百香果為埔里特產，7~9 月為盛產期，走在埔里街上處處皆可聞到來自百香果濃郁的酸甜香氣，市售百香果除了以完整果實袋裝、箱裝販賣之外，也會生產加工製品。使用百香果肉製造加工食品，那麼剩餘的百香果皮呢？查詢資料過後，我們發現百香果皮的用處也十分的多，可以製作果凍、果醬、蜜餞等副產品，不過大部分剩餘百香果皮會遭丟棄，盛產期一到便會有大量的百香果加工製品，產生大量廢棄物，因為天氣炎熱而造成腐壞、發臭，引來了許多果蠅、蒼蠅等，造成生活環境上的困擾，將果皮作為廢棄物以掩埋堆肥處理，不但造成土地的負擔也十分可惜。百香果皮富含纖維素、果膠且富含香氣，加工作為食用外，我們嘗試來釀酒應該會有更多的風味，而現今疫情嚴重，南投雖然有酒廠，但消毒酒精仍供不應求，若能製成酒精再利用，除了避免廢棄物處理，亦可解決當前酒精缺乏的問題。

## 貳、研究目的







- 一、探討百香果組成及百香果皮釀酒的可行性。
- 二、比較百香果皮經加熱與未加熱處理的還原糖含量。
- 三、比較以酸和鹼處理過的百香果皮還原糖含量。
- 四、研究添加酵素處理後的百香果皮還原糖含量。
- 五、分析各種方式處理過後的百香果皮發酵結果及找出最佳的方法。

## 叁、研究設備及器材

### 一、實驗設備

			
果汁機	烘乾機	恆溫槽	加熱包
			
果乾機	加熱板	粉碎機	自製冷凝器

### 二、測量儀器

			
糖度計	酒度計(0~80%)	電子秤(精密度 0.001g)	pH 計
			
光度計	酒度計(70%~100%)		

### 三、實驗器材

燒杯(100mL、250mL、500mL)、錐形瓶(250mL、500mL)、圓底燒瓶、滴管、微量滴管(1000  $\mu$ L、5mL)、量筒(100mL、250mL、500mL)、冷凝管、布氏漏斗、過濾瓶、量瓶(100mL)、水封。

### 四、實驗材料

			
百香果	釀酒酵母	果膠酶	纖維素酶

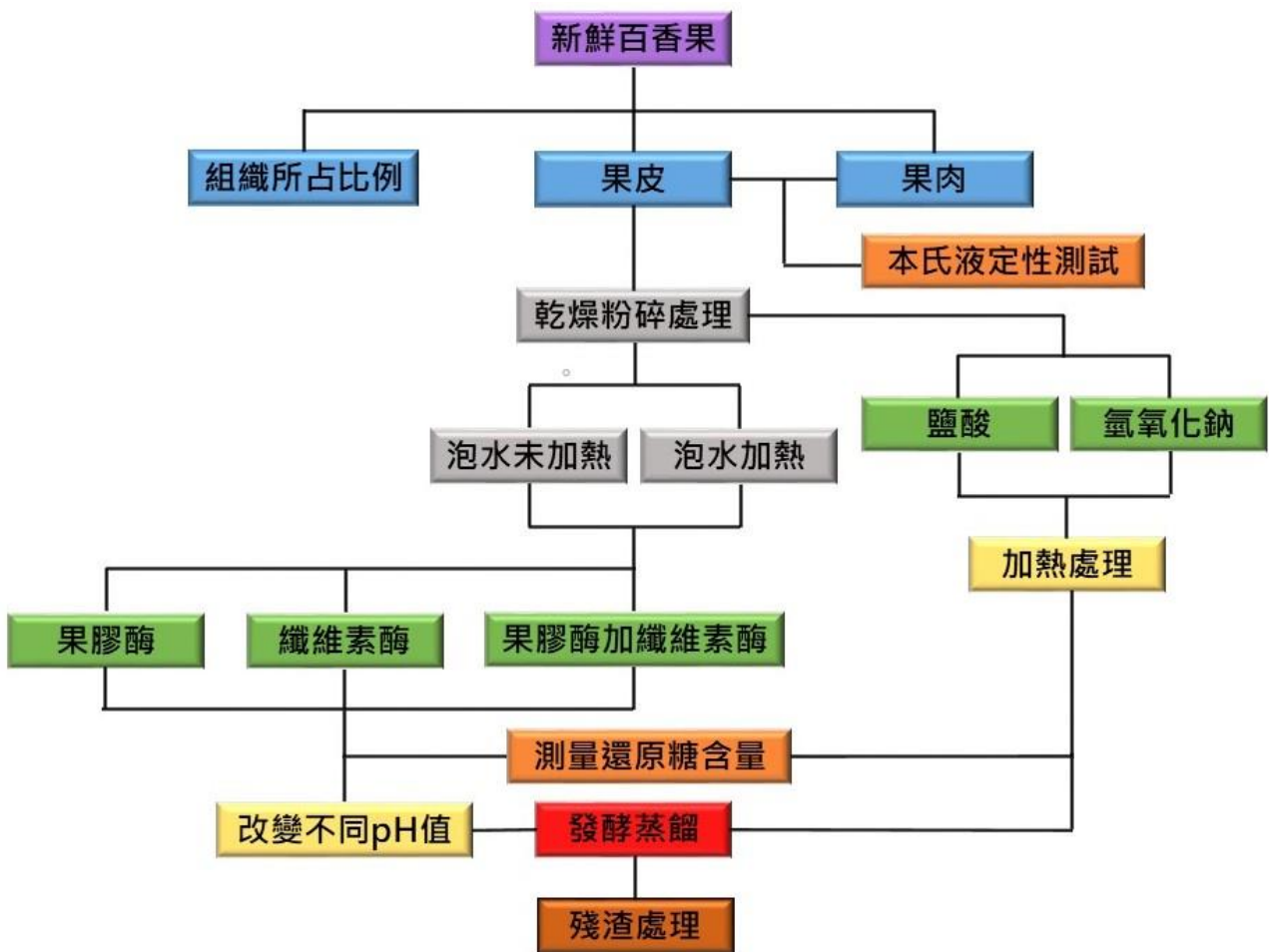
註：果膠酶和纖維素酶(購自汎球國際貿易有限公司)，水果每公斤使用量為 0.3~0.5c.c。

### 五、實驗藥品

蒸餾水、小蘇打粉、鹽酸(6M)、氫氧化鈉、雙硝基水楊酸(DNS)。

## 肆、研究過程或方法

### 一、實驗大綱：



### 二、實驗原理：

#### (一) 百香果及副產物處理

百香果最早於西元 1901 至 1907 年間，由日本人引進紫色種入台灣，西元 1964 年由美國人引進黃色種入埔里，百香果是西番蓮科的蔓性熱帶植物，原產於巴西，其分布遍及熱帶和亞熱帶。目前台灣主要的栽培品種有：紫皮種、黃皮種及紫皮雜交種台農 1 號(圖 1~3)，台灣百香果目前主要栽培品種為台農 1 號。百香果早期的採收方法是撿拾自然落下的果實，但易碰損導致變酸、發霉和發酵(圖 4)，現今均以網架防止落果(圖 5)，經採收後再送至工廠加工，而判斷是否落果，可輕搖果實，若為落果則果肉分離，搖動時會有晃動感。

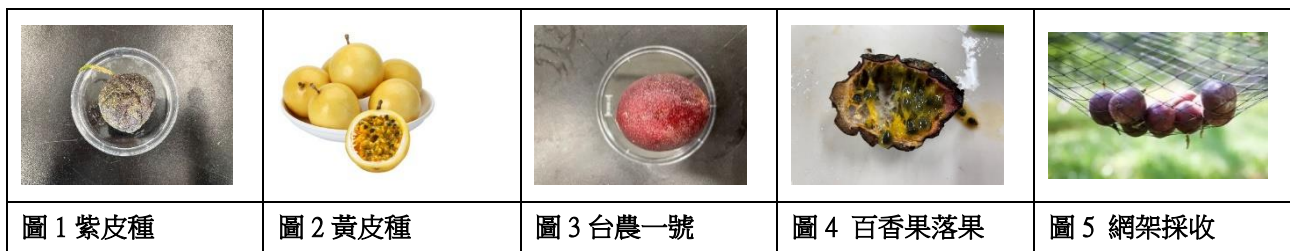


圖 1 紫皮種

圖 2 黃皮種

圖 3 台農一號

圖 4 百香果落果

圖 5 網架採收

在台灣百香果主要產區在南投埔里，栽種面積為 604.09 公頃，年產量 22086.683 公噸(表 1)，種植面積和產量為**全台灣最大**，產量占全台的 87.89%。

表 1 臺灣主要產百香果縣市和其產量(農糧署，2019)

縣市地區	種植株數	收穫株數	種植面積 (公頃)	收穫面積 (公頃)	產量 (公噸)	產量百分比 (%)
台中市	49264	42724	54.29	46.99	915.658	3.64%
苗栗縣	16058	16058	17.55	17.55	365.542	1.45%
南投縣	1093738	1093738	<b>604.09</b>	604.09	<b>22086.683</b>	<b>87.89%</b>
雲林縣	13064	13064	14.27	14.27	261.686	1.04%
嘉義縣	17775	17775	24.04	24.04	286.685	1.14%
全台灣	1261831	1251198	809.4	797.38	25130.242	100.00%

百香果含有許多營養成分，如百香果果汁中含有酚類和維生素 C，果皮含有花青素和黃酮類。但在百香果加工時，剩下的果皮作為飼料、堆肥或丟棄，而落果較酸或已發酵先被挑出淘汰。若能利用百香果加工的副產物(果皮、落果)，開發新的產品和用途，可避免作為農產廢棄物處理，新的加工產品也替農民解決問題及增加農業特產。

百香果皮若作為農業廢棄物，由於含水量高十分難處理，隨意丟棄會造成環境污染，如果燃燒會產生大量煙霧 (PM<sub>2.5</sub>) 除影響空氣品質及用路安全，更可能影響農民及鄰近居民健康，目前環保局規劃破碎再利用、益生菌現地腐化、異地堆肥(圖 6)、生物炭(圖 7)等方式處理(<https://news.ltn.com.tw/news/Nantou/breakingnews/2947517>)。



圖 6 百香果農業廢棄物破碎做堆肥

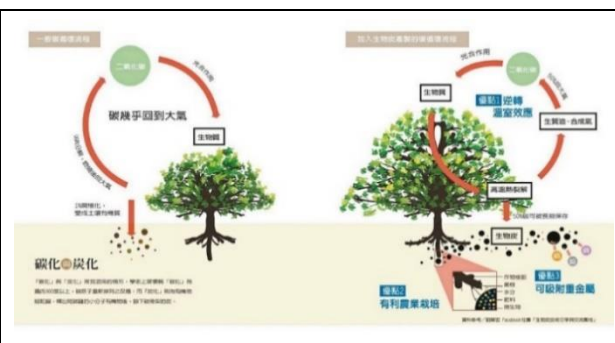


圖 7 生物炭

## (二) 生質酒精

生質酒精是**利用微生物發酵把生物質中的糖分轉化成酒精**。生質酒精可以分為兩種：一種為糧食原料所生產的酒精，另一種為富含木質纖維素所生產的酒精。將纖維生質原料轉化為酒精必須先將木質纖維素轉化為可發酵的醣類，又稱為醣化，醣化技術包含纖維素、半纖維素水解以及木質素移除等三大類。其中，半纖維素水解與木質素移除又稱作前處理技術(表 2)，而醣化的方法包含化學和酵素水解，各有其優缺點，化學方法處理的反應時間較短，但有副產物的產生及廢水處理等問題，而以酵素水解的反應時間雖然較長，但是具有專一性，對於環境較為友善安全，為目前主要發展趨勢。

表2 前處理方法對纖維原料組成與結構影響(陳等人，2006)

前處理方法	增加可接觸 表面積	纖維素 脫結晶性	去除半纖維素	去除木質素	改變木質素 結構
稀酸水解	H	L	H	L	H
蒸氣爆裂	H	L	H	L	M
液態水熱法	H	L	H	L	M
pH控制水熱法	H	L	H	L	L
超臨界流體	H	H	H	L	M
氨氣爆裂	H	H	M	H	H
氨水回收滲濾	H	H	M	H	H
石灰	H	L	M	H	H
有機溶劑	H	L	M	H	H/M
離子液體	H	H	M	H/M	M

### 三、實驗步驟：

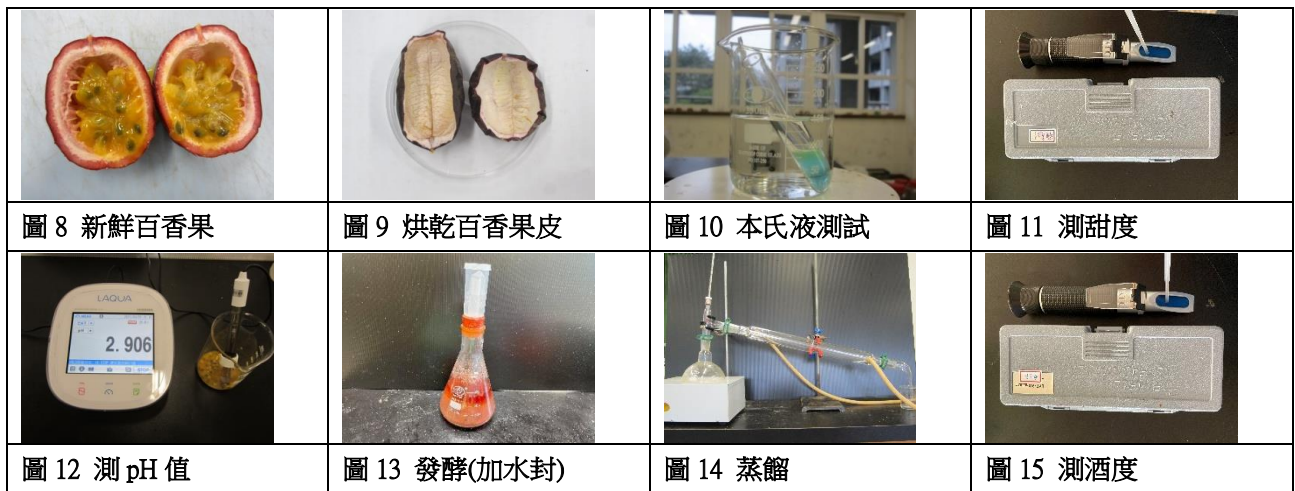
#### (一) 實驗一：新鮮百香果組成性質及釀酒效果

1. 取新鮮百香果數顆，將百香果剖開取出果肉和果皮後(圖 8)，分別測出其重量，再放入果乾機烘乾(圖 9)，即可得到果肉和果皮的含水率。含水率 =  $\frac{\text{原重} - \text{乾重}}{\text{原重}}$
2. 取新鮮百香果果肉和果皮各加入 250mL 的水打成汁，各取數滴加入本氏液中，經隔水加熱後觀察其顏色變化(圖 10)。
3. 再另取新鮮百香果挖出果肉後，測量果肉甜度和 pH 值。
4. 將果肉和果皮分別加入 250mL 的蒸餾水，放入果汁機打成汁後取出，分別測量其甜度及 pH 值(圖 11、12)，加入酵母放置一週發酵後再進行蒸餾(圖 13、14)，取



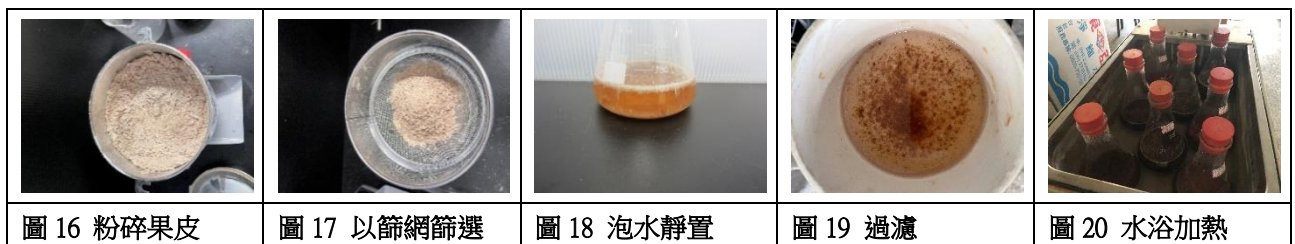
餾出液 10mL 測量其酒精濃度(圖 15)。

5. 重複步驟 4，將加水稀釋後的果肉和果皮置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後進行發酵蒸餾，並測量其酒精濃度。
6. 將整顆百香果加入 250mL 蒸餾水打成汁，分別測量其甜度及 pH 值，再加入酵母後靜置一週發酵，待發酵完成後進行蒸餾，並測量其酒精濃度。
7. 重複步驟 6，將加水稀釋後的整顆百香果汁置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後進行發酵蒸餾，並測量其酒精濃度。



## (二) 實驗二：百香果皮泡水加熱前後還原糖含量及 pH 值變化

1. 將百香果加工廠取回的果皮洗淨並晾乾，再將百香果皮烘乾，使用粉碎機將烘乾後的果皮打成粉末狀，將粉末以篩網篩過備用(圖 16、17)。
2. 取雙硝基水楊酸 5g、酒石酸鉀鈉 150g 及氫氧化鈉 8g 配置 DNS 溶液 500mL 備用，並於吸收波長 540nm 下製作吸收度對葡萄糖濃度的檢量線。
3. 取 1g 果皮粉，加入 100mL 的蒸餾水，攪拌均勻並靜置 1 日後(圖 18)，以布氏漏斗減壓過濾後取其濾液(圖 19)，並測量其 pH 值及還原糖含量。
4. 重複步驟 3，將泡水後的果皮粉末置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時(圖 20)，冷卻靜置一日後，測量其 pH 值及還原糖含量。



(三) 實驗三：百香果皮在鹽酸加熱處理後的還原糖含量及 pH 值變化

1. 配製 0.5M、1M、2M、3M、4M、5M 的鹽酸 100mL 並分別加入 1g 的果皮粉，攪拌均勻後置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，並待冷卻靜置一日後過濾，測量其 pH 值及還原糖含量，將過濾後的殘留物取出烘乾後分別秤其重量。
2. 取 1g、2g、3g、4g、5g 果皮粉，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，待冷卻靜置一日後過濾，測量其 pH 值及還原糖含量，將過濾後的殘留物取出烘乾後分別秤其重量。

(四) 實驗四：百香果皮在氫氧化鈉加熱處理後的還原糖含量及 pH 值變化

1. 配製 0.5M、1M、2M、3M、4M、5M 的氫氧化鈉 100mL 並分別加入 1g 的果皮粉，攪拌均勻後置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，並待冷卻靜置一日後，過濾測量其 pH 值及還原糖含量，將過濾後的殘留物取出烘乾後分別秤其重量。
2. 取 1g、2g、3g、4g、5g 果皮粉，加入 3M 氫氧化鈉 100mL，攪拌均勻後測量其 pH 值及還原糖含量，將過濾後的殘留物取出烘乾後分別秤其重量。

(五) 實驗五：百香果皮添加果膠酶的還原糖含量及 pH 值變化

1. 取 1g、2g、3g、4g、5g 果皮粉，並加入 100mL 的蒸餾水和 0.1mL 的果膠酶，放置 2 天後觀察瓶內的變化，經過濾後測量其 pH 值及還原糖含量，觀察濾液的澄清度及顏色變化，將過濾後的殘留物取出烘乾後秤其重量。
2. 重複步驟 1，將加水後的果皮粉置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後加入 0.1mL 的果膠酶，放置 2 天後觀察瓶內的變化，過濾後測量其 pH 值及還原糖含量，觀察濾液的澄清度及顏色變化，將過濾後的殘留物取出烘乾後秤其重量。

(六) 實驗六：百香果皮添加纖維素酶的還原糖含量及 pH 值變化

1. 取 1g、2g、3g、4g、5g 果皮粉，並加入 100mL 的蒸餾水和 0.1mL 纖維素酶，放置 2 天後觀察瓶內溶液的變化，經過濾後測量其 pH 值及還原糖含量，並觀察濾液的澄清度及顏色變化，將過濾後的殘留物取出烘乾後分別秤其重量。
2. 重複步驟 1，將加水後的果皮粉置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後加入 0.1mL 纖維素酶，放置 2 天後觀察瓶內溶液的變化，過濾後測量其 pH 值及還原糖含量，並觀察濾液的澄清度及顏色變化，將過濾後的殘留物取出烘乾後秤其重量。



(七) 實驗七：百香果皮添加果膠酶和纖維素酶的還原糖含量及 pH 值變化

1. 取 1g、2g、3g、4g、5g 果皮粉，並加入 100mL 的蒸餾水及 0.1mL 的果膠酶和纖維素酶，放置 2 天後觀察瓶內溶液的變化，經過濾後測量其 pH 值及還原糖含量，並觀察濾液的澄清度及顏色變化，將過濾後的殘留物取出烘乾後分別秤其重量。
2. 重複步驟 1，將泡水的果皮粉於 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後加入 0.1mL 的果膠酶和纖維素酶，放置 2 天後觀察瓶內溶液的變化，過濾後測量其 pH 值及還原糖含量，觀察濾液的澄清度及顏色變化，將過濾後的殘留物取出烘乾後秤其重量。

(八) 實驗八：百香果皮經泡水加熱、酸鹼及添加酵素處理後發酵蒸餾實驗

1. 百香果皮泡水未加熱與加熱發酵蒸餾結果比較：
  - (1) 取 10g 果皮粉，並加入 250mL 的蒸餾水及酵母攪拌均勻後，經由一週發酵後再進行蒸餾，取餾出液 10mL 測量其酒精濃度。
  - (2) 重複上述步驟，將泡水的果皮粉置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻一天再加入酵母，經發酵蒸餾後，測量其酒精濃度。
2. 百香果皮未加熱與加熱後加入果膠酶發酵蒸餾結果比較：
  - (1) 取 10g 果皮粉，並加入 250mL 的蒸餾水及 0.1mL 果膠酶攪拌均勻後，經由一週發酵再進行蒸餾，取餾出液 10mL 測量其酒精濃度。
  - (2) 重複上述步驟，將泡水後的果皮粉置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後加入 0.1mL 果膠酶，經發酵蒸餾後，測量其酒精濃度。
3. 百香果皮未加熱與加熱後加入纖維素酶發酵蒸餾結果比較：
  - (1) 取 10g 果皮粉，並加入 250mL 的蒸餾水和 0.1mL 纖維素酶攪拌均勻後，經由一週發酵後進行蒸餾，取餾出液 10mL 測量其酒精濃度。
  - (2) 重複上述步驟，將泡水後的果皮粉置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後加入 0.1mL 纖維素酶，經發酵蒸餾後，測量其酒精濃度。
4. 百香果皮未加熱與加熱後加入果膠酶和纖維素酶發酵蒸餾結果比較：
  - (1) 取 10g 果皮粉，並加入 250mL 的蒸餾水，加入 0.1mL 的果膠酶和纖維素酶，攪拌均勻後經由一週發酵後進行蒸餾，取餾出液 10mL 測量其酒精濃度。
  - (2) 重複上述步驟，將泡水的果皮粉置於恆溫槽 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後

加入 0.1mL 的果膠酶和纖維素酶，經發酵蒸餾後，測量其酒精濃度。

5. 重複上述 1~4 步驟，在發酵過程中添加碳酸鈣作降酸處理，使發酵環境的 pH 值控制於 6~7 微酸的環境，經發酵蒸餾後，測量其酒精濃度。

6. 取 10g 果皮粉，加入 1M 的鹽酸 250mL，於 100°C 下加熱反應 1 小時，待冷卻後以氫氧化鈉調配至 pH=6~7，經由一週發酵後進行蒸餾，取餾出液 10mL 測量其酒精濃度。

7. 取 10g 果皮粉，加入 3M 的氫氧化鈉 250mL，於 100°C 下加熱 1 小時，待冷卻後以鹽酸調配至 pH=6~7，進行發酵蒸餾，並測量其酒精濃度。

## 伍、研究結果

### 一、新鮮百香果組成性質及釀酒效果：

#### (一) 百香果肉和果皮比率及含水率

由圖 21 可知：本實驗百香果的果肉和果皮重量比例接近，但果肉比例較高，為**果肉 > 果皮**，其果肉含水率約為 50%，但果皮含水率卻高達 80%。

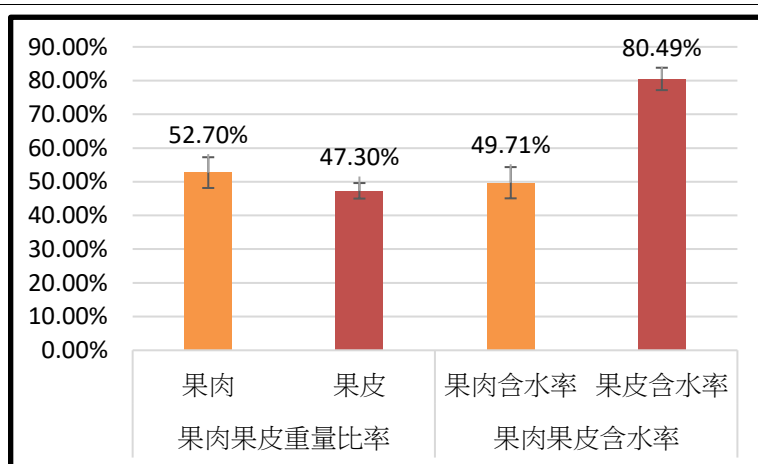


圖 21 百香果肉和果皮比率及含水率

#### (二) 本氏液對果肉和果皮的定性測試

由圖 22、23 可知，果肉和果皮的經由本氏液的測試均會變色，且顏色變化的深淺為**果肉 > 果皮**。



圖 22 果肉的本氏液測試



圖 23 果皮的本氏液測試

#### (三) 果肉和果皮加熱前後性質比較

由表 3 可知，**果肉**加熱後**甜度增加**，pH 值加水前後**接近**，而經由蒸餾後所得到的

酒精濃度會**增加**；果皮加熱後**甜度不變**均為零、pH 值加水後**略為下降**，而經由蒸餾後所得到的酒精濃度反而會**下降**。

表 3 新鮮百香果果肉和果皮分別加熱結果

	果肉				果皮		
	甜度 (°Brix)	pH 值	加水 pH 值	蒸餾酒度 (%)	甜度 (°Brix)	加水 pH 值	蒸餾酒度 (%)
未加熱	14.6±0.8	2.87±0.13	3.16±0.08	<b>6.30±1.30</b>	0	4.692±0.289	<b>3.8±0.8</b>
加熱	15.5±1.1	2.87±0.06	3.11±0.08	<b>10.20±1.48</b>	0	4.515±0.145	<b>0.5</b>

(四) 整顆新鮮百香果(果肉+果皮)加熱前後性質比較

由表 4 可知，果肉加果皮加熱後**甜度略增**、加水後的 pH 值**接近**，而經由蒸餾後所得到的酒精濃度會明顯**增加**(由 10.60%增加至 13.60%)。

表 4 整顆新鮮百香果(果肉+果皮)加熱結果

	果肉+果皮		
	甜度(°Brix)	加水 pH 值	蒸餾酒度(%)
未加熱	15.2±1.1	3.016±0.129	<b>10.60±1.95</b>
加熱	15.4±1.3	3.009±0.110	<b>13.60±3.65</b>

二、百香果皮泡水加熱前後還原糖含量及 pH 值變化

(一) 在最大吸收波長 540nm 下測得葡萄糖吸收度與濃度的檢量線(圖 24)。

(二) 由表 5 可知，乾燥的果皮經泡水未加熱與加熱後比較，還原糖含量**增加**，而 pH 值則會**上升**。

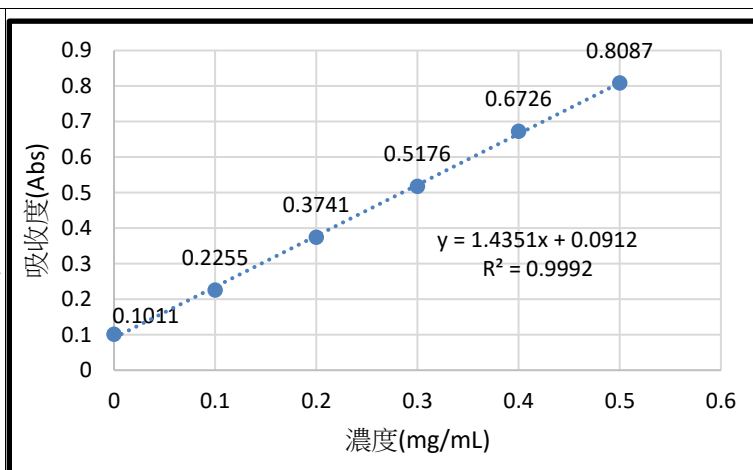


圖 24 葡萄糖吸收度與濃度的檢量線

表 5 乾燥的果皮經泡水未加熱與加熱後比較

未加熱		加熱	
還原糖含量(g)	pH 值	還原糖含量(g)	pH 值
0.072±0.004	4.666±0.040	0.079±0.008	4.868±0.030

### 三、百香果皮在鹽酸加熱處理前後的還原糖含量及 pH 值變化

#### (一) 百香果皮加入不同濃度鹽酸處理結果

由表 6 可知，還原糖含量隨鹽酸濃度增加而**上升**，在[HCl]=1M 後較無明顯增加，經加熱反應後殘留物略為**減少**，pH 值則會下降；由圖 25 和圖 26 比較可知，還原糖含量與鹽酸濃度的相關**較低**( $R^2=0.8655$ )，殘留物重與鹽酸濃度的相關**較高**( $R^2=0.9825$ )，殘留物隨鹽酸濃度增加而減少；由圖 27a~f 可知，經鹽酸處理後沉澱物量**無太大改變**，而溶液顏色在低濃度下為桃紅色(0.5M~3M)，在高濃度下顏色則接近紅色(4M、5M)，由圖 27g~l 可發現濾液會略為**混濁**，且不論鹽酸濃度高低，濾液顏色均**接近桃紅色**。

表 6 乾燥百香果皮(1g/100mL)在不同濃度鹽酸下反應結果

濃度(M)	還原糖含量(g)	殘留物量(g)	濾液 pH 值
0.5	0.279	0.660	0.070
1	0.297	0.635	-0.093
2	0.301	0.575	-0.518
3	0.313	0.540	-0.476
4	0.318	0.455	-1.003
5	0.320	0.435	-1.196

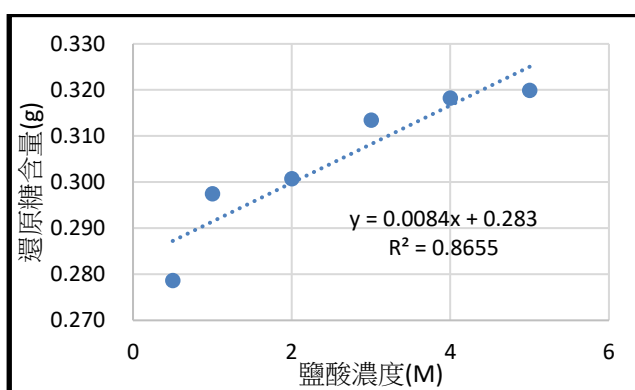


圖 25 還原糖含量與鹽酸濃度關係

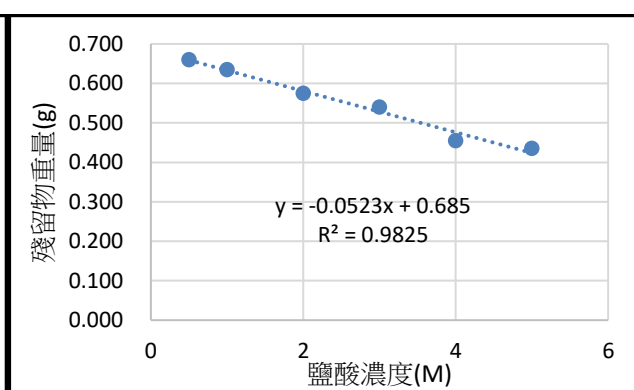


圖 26 殘留物重與鹽酸濃度關係

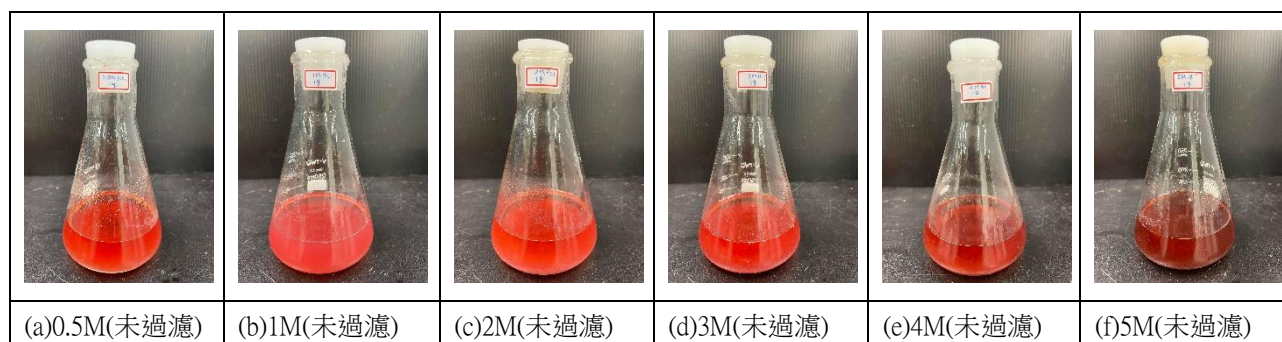
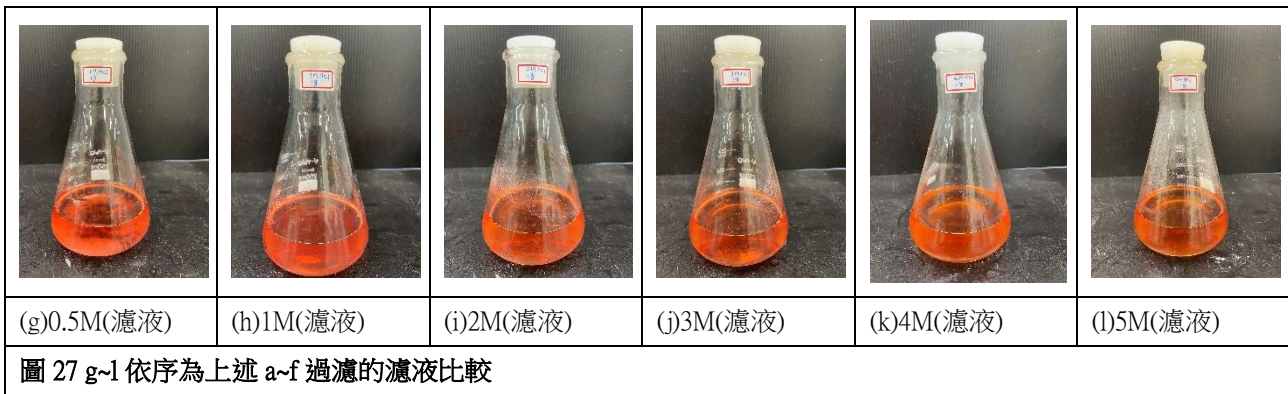


圖 27 a~f 依序為 1g 的果皮在 0.5M~5M 的鹽酸加熱處理結果



(二) 不同重量的百香果皮以鹽酸處理結果

由表 7 可知，還原糖含量隨百香果皮重增加而**上升**，殘留物亦隨之**增加**，pH 值則會下降；由圖 28 和圖 29 比較可知，還原糖含量與果皮重的相關**較高**( $R^2=0.9437$ )，殘留物重與果皮重的相關**較高**( $R^2=0.9855$ )；再由圖 30a~e 可知，沉澱量隨果皮添加量增加而**明顯變多**，而顏色均接近桃紅色，將上述溶液過濾後，由圖 30f~j 可發現濾液明顯**澄清**外，且除 1g 果皮濾液為桃紅色外，其餘濾液顏色較深均皆**接近紅色**。

表 7 乾燥百香果皮在 1M 鹽酸處理下結果

重量(g)	還原糖含量(g)	殘留物量(g)	濾液 pH 值
1	0.298	0.545	-0.093
2	0.561	1.095	-0.134
3	0.718	1.830	-0.148
4	0.907	2.140	-0.148
5	0.934	2.645	-0.156

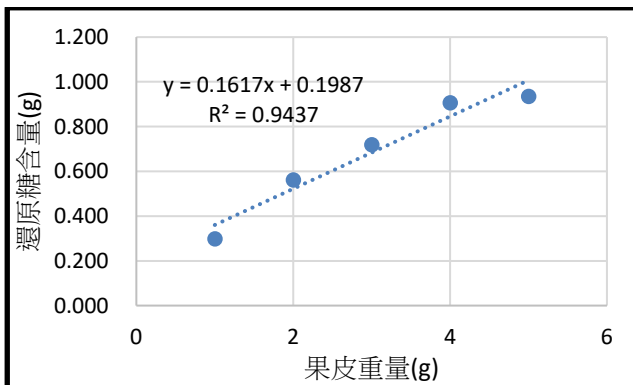


圖 28 還原糖含量與果皮重量關係

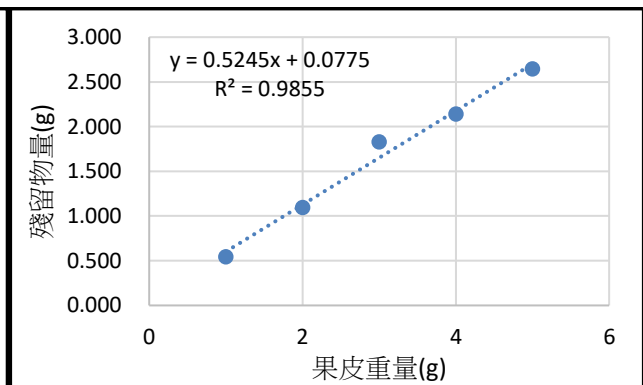


圖 29 殘留物重與果皮重量度關係





#### 四、百香果皮在氫氧化鈉加熱處理前後的還原糖含量及 pH 值變化

##### (一) 百香果皮加入不同濃度氫氧化鈉處理結果

由表 8 可知，還原糖含量隨氫氧化鈉濃度**增加**，殘留物反之則**下降**，pH 則會上升至 13 左右，由圖 31 和圖 32 可知：氫氧化鈉濃度與還原糖含量相關**較高**( $R^2=0.9401$ )，與殘留物量相關**較低**( $R^2=0.06217$ )；由圖 33a~f 可知，沉澱量隨果皮添加量增加而**明顯變多**，而顏色均接近**橘黃色**，將上述溶液過濾後，由圖 33g~l 可發現濾液明顯**澄清**外，且除 1g 和 2g 果皮濾液為黃色外，其餘濾液顏色較深均皆**接近橘黃色**。

**表 8 乾燥百香果皮(1g/100mL)在不同濃度氫氧化鈉下反應結果**

濃度(M)	還原糖含量(g)	殘留物量(g)	pH 值
0.5	0.111	0.635	12.949
1	0.120	0.520	13.066
2	0.173	0.445	13.115
3	0.221	0.435	13.124
4	0.290	0.435	13.105
5	0.427	0.435	13.086

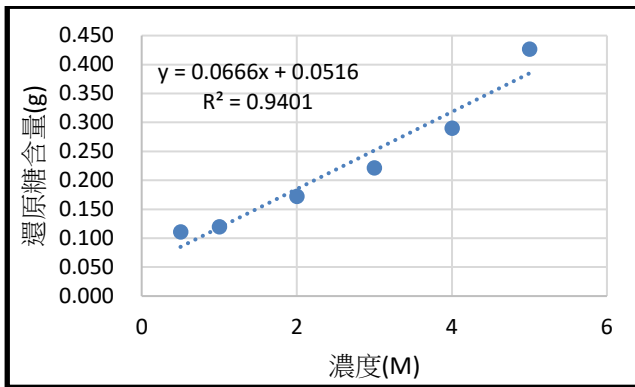


圖 31 還原糖含量與氫氧化鈉濃度關係

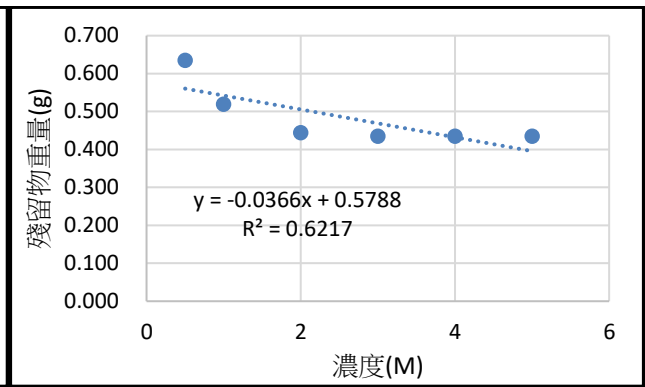


圖 32 殘留物重與鹽酸濃度關係

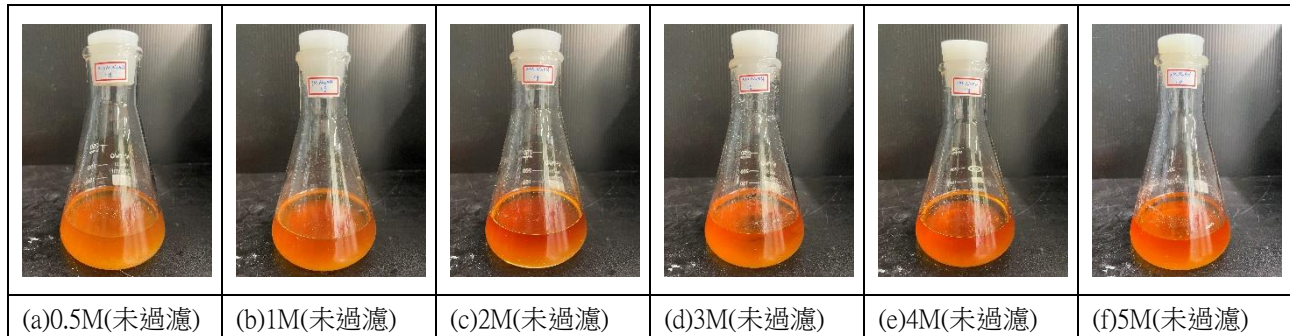


圖 33 a~f 依序為 1g 的果皮在 0.5M~5M 的氫氧化鈉加熱處理結果

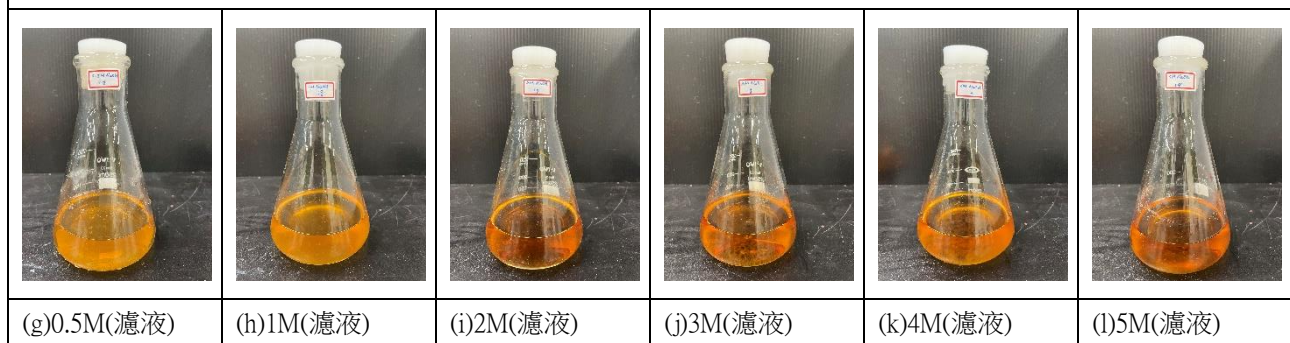


圖 33 g~l 依序為上述 a~f 過濾的濾液比較

(二) 不同重量的百香果皮以氫氧化鈉處理結果

由表 9 可知，還原糖含量和殘留物隨果皮增加而**上升**，pH 值則會上升約 13，由圖 34 和圖 35 可知：果皮重與還原糖含量相關**較高**( $R^2=0.9542$ )，與殘留物量相關**較高**( $R^2=0.9852$ )；由圖 36a~e 可知，沉澱量隨果皮添加量增加而**明顯變多**，而顏色隨果皮增加而變深，將溶液過濾後，由圖 36f~j 可發現濾液**明顯澄清**外，由橘色變褐色而**變深**。

表 9 乾燥百香果皮在 3M 氫氧化鈉處理下結果

重量(g)	還原糖含量(g)	殘留物量(g)	pH 值
1	0.231	0.435	13.313
2	0.285	0.890	13.362
3	0.449	1.090	13.374
4	0.465	1.660	13.382
5	0.581	2.030	13.375

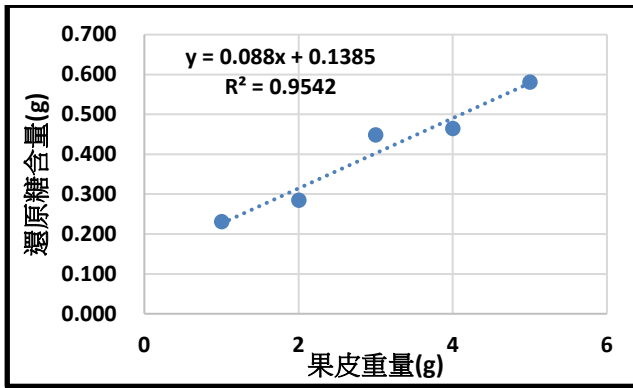


圖 34 還原糖含量與果皮重量關係

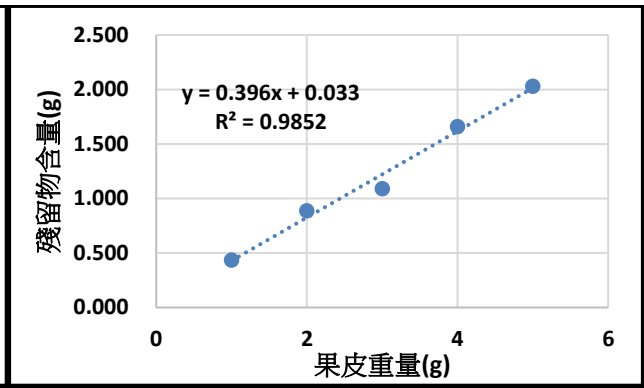
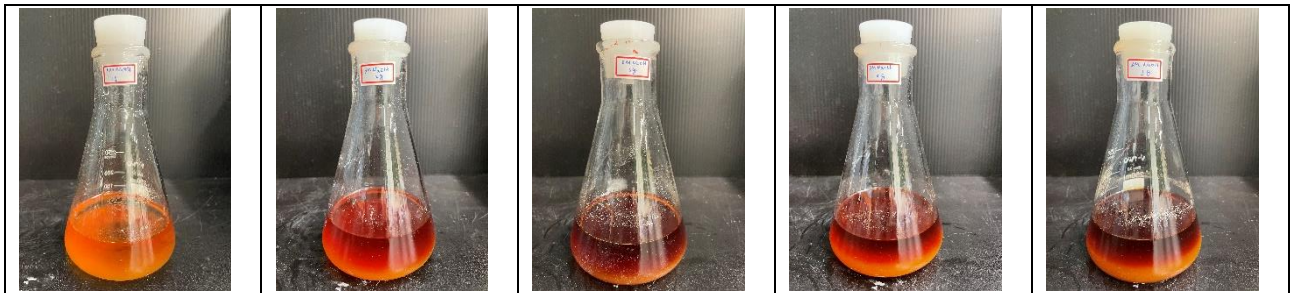


圖 35 殘留物重與果皮重量度關係



(a)1g(3M 氫氧化鈉)

(b)2g(3M 氫氧化鈉)

(c)3g(3M 氫氧化鈉)

(d)4g(3M 氫氧化鈉)

(e)5g(3M 氫氧化鈉)

圖 36 a~e 依序為 1g~5g 的果皮在 1M 氫氧化鈉加熱處理結果



(f)1g(3M 氫氧化鈉)

(g)2g(3M 氫氧化鈉)

(h)3g(3M 氫氧化鈉)

(i)4g(3M 氫氧化鈉)

(j)5g(3M 氫氧化鈉)

圖 36 f~j 依序為上述 a~e 過濾的濾液比較

## 五、百香果皮添加果膠酶的還原糖含量及 pH 值變化

### (一) 百香果皮未加熱添加果膠酶

由表 10 可知，還原糖含量和殘留物量會隨百香果皮重量增加而**上升**，pH 值則均下降至**約為 4** 且數值接近；再由圖 37 和圖 38 比較可知，還原糖含量與果皮重的相關**較高** ( $R^2=0.9562$ )，殘留物重與果皮重的相關**較高** ( $R^2=0.9951$ )；由圖 39a~e 可知，未加熱添加果膠酶可使**大部分沉降分離**，除**大多在下方沉澱**外，仍有**少量浮在液面**，沉澱量隨果皮添加量增加而**明顯變多**，將上述溶液過濾後，由圖 39f~j 可發現濾液較**澄清**外，濾液顏色亦隨果皮添加量而**變深**。



表 10 百香果皮未加熱添加果膠酶性質比較

重量(g)	還原糖含量(g)	殘留物量(g)	pH 值
1	0.240	0.380	4.083
2	0.382	0.755	3.984
3	0.588	1.255	4.015
4	0.705	1.685	3.979
5	0.748	2.265	4.002

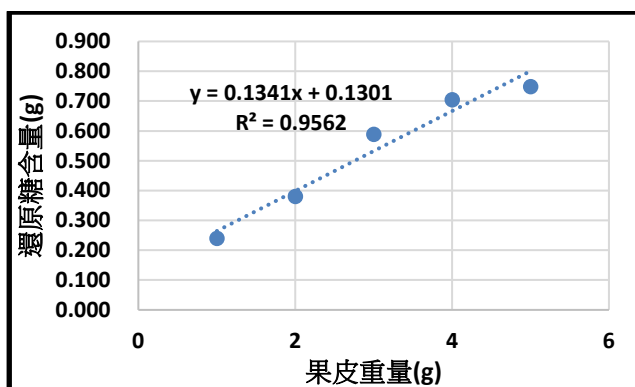


圖 37 還原糖含量與果皮重量關係

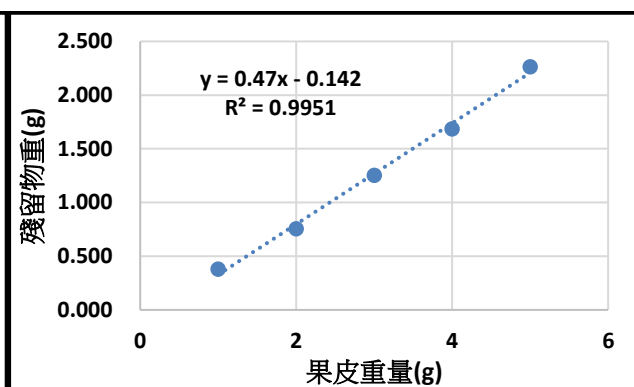


圖 38 殘留物重與果皮重量度關係

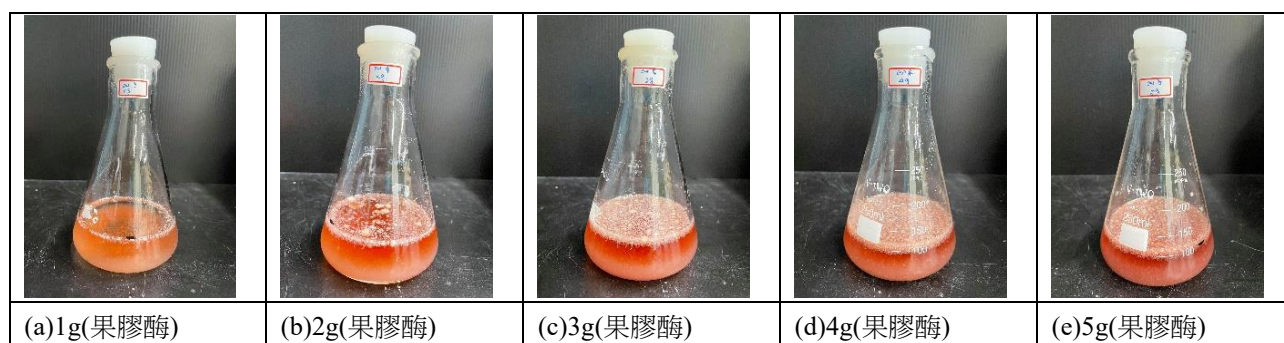


圖 39 a~e 依序為 1g~5g 的果皮未加熱添加果膠酶

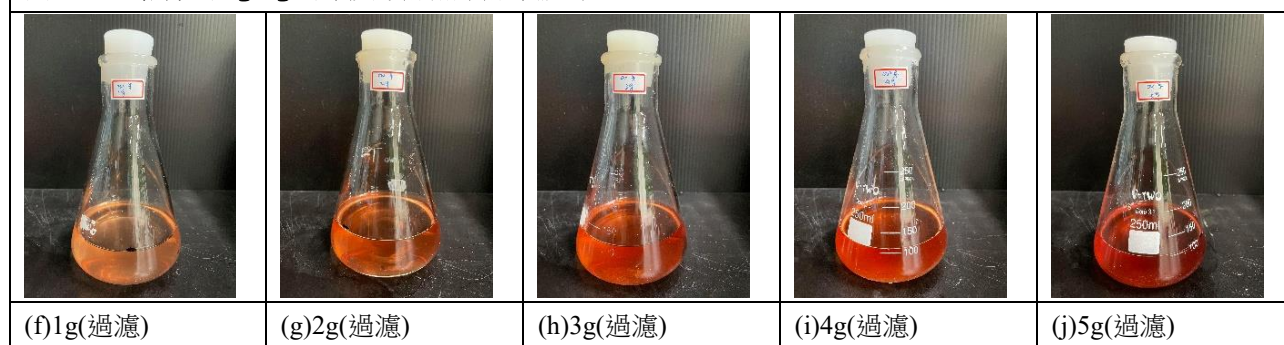


圖 39 f~j 依序為上圖 a~e 過濾的濾液比較

(二) 百香果皮加熱冷卻後添加果膠酶

由表 11 可知，還原糖含量和殘留物量會果皮增加而上升，pH 值則下降約為 4；由圖 40 和圖 41 比較可知，果皮重與還原糖含量的相關較低( $R^2=0.8376$ )，與殘留物重的相關較高( $R^2=0.988$ )；由圖 42a~e 可知，加熱再加酶可沉降分離，沉澱量隨果皮增加而變

多，將溶液過濾，由圖 42f~j 發現濾液略為混濁，濾液顏色亦隨果皮添加量而變深。

表 11 百香果皮加熱冷卻後添加果膠酶性質比較

重量(g)	還原糖含量(g)	殘留物量(g)	pH 值
1	0.496	0.415	4.013
2	0.866	0.805	4.073
3	0.966	1.445	4.065
4	1.022	1.750	4.096
5	1.104	2.155	4.068

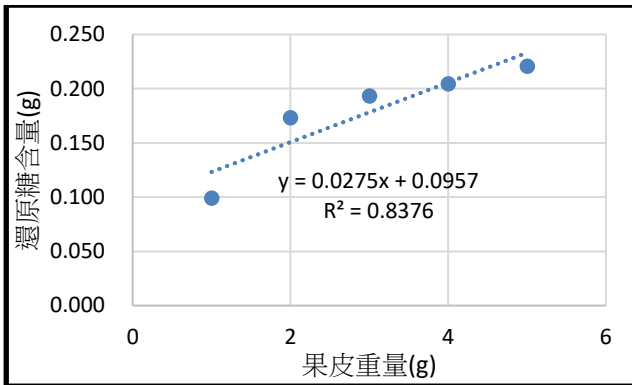


圖 40 還原糖含量與果皮重量關係

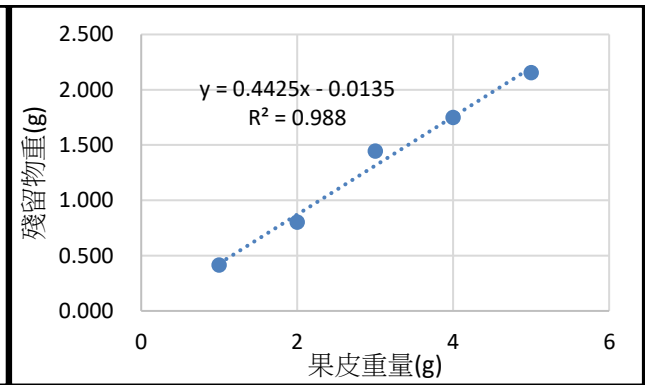


圖 41 殘留物重與果皮重量度關係

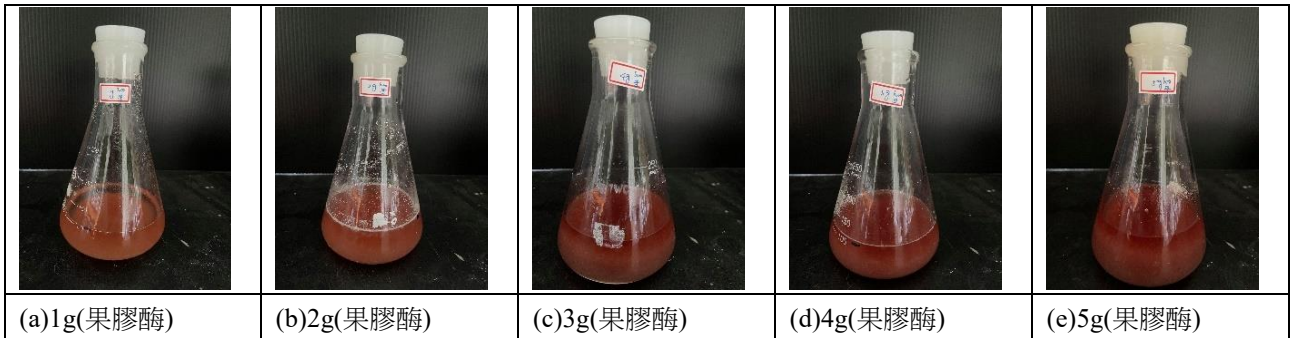


圖 42 a~e 依序為 1g~5g 的果皮經加熱後添加果膠酶

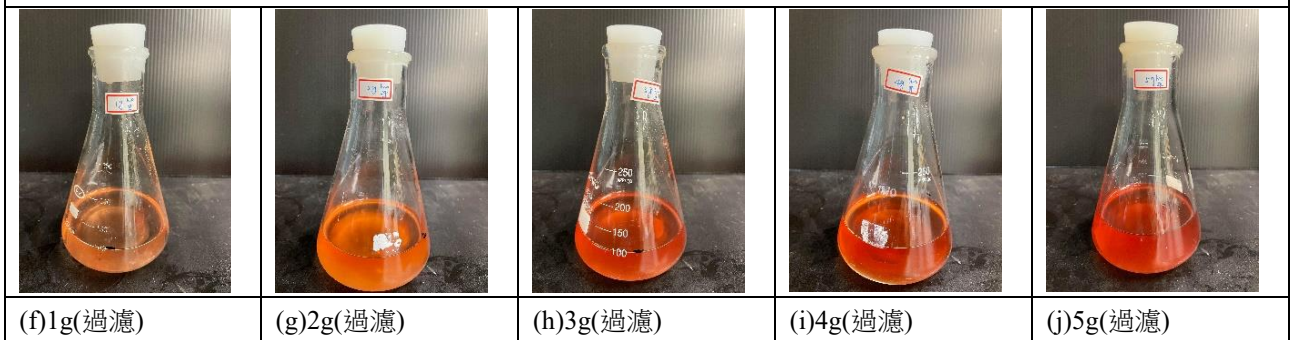


圖 42 f~j 依序為上圖 a~e 過濾的濾液比較

## 六、百香果皮添加纖維素酶的還原糖含量及 pH 值變化

### (一) 百香果皮未加熱添加纖維素酶

由表 12 可知，還原糖含量和殘留物量會隨百香果皮重增加而上升，pH 值則均下降



至約為 3.4；再由圖 43 和圖 44 比較可知，果皮重與還原糖含量的相關較高( $R^2=0.9535$ )，與殘留物重的相關較高( $R^2=0.9972$ )；再由圖 45a~e 可知，果皮 1g 和 2g 添加纖維素酶液面幾乎無懸浮物，在 3g~5g 時液面懸浮物隨果皮重增加而變多；由圖 45f~j 可發現濾液略帶混濁外，濾液顏色亦隨果皮添加量而變深。

表 12 百香果皮未加熱添加纖維素酶性質比較

重量(g)	還原糖含量(g)	殘留物量(g)	pH 值
1	0.643	0.305	3.498
2	1.100	0.785	3.496
3	1.387	1.255	3.486
4	2.253	1.665	3.455
5	2.345	2.040	3.465

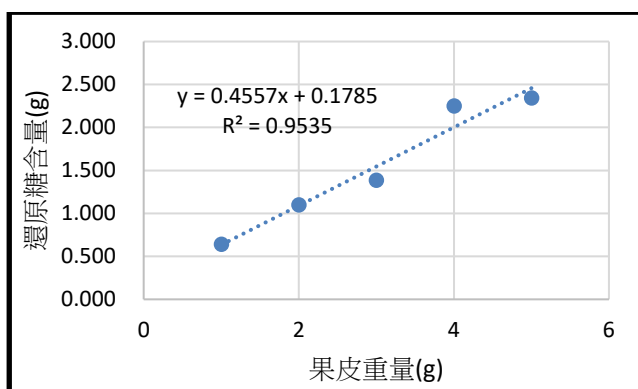


圖 43 還原糖含量與果皮重量關係

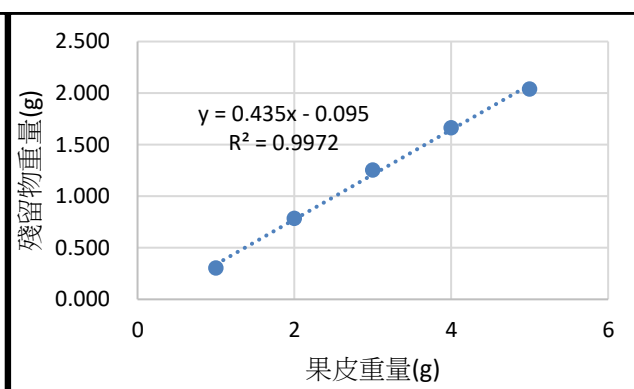
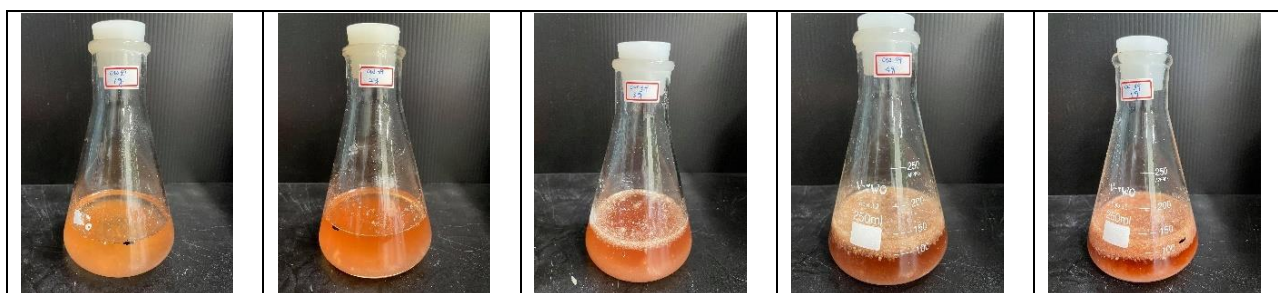
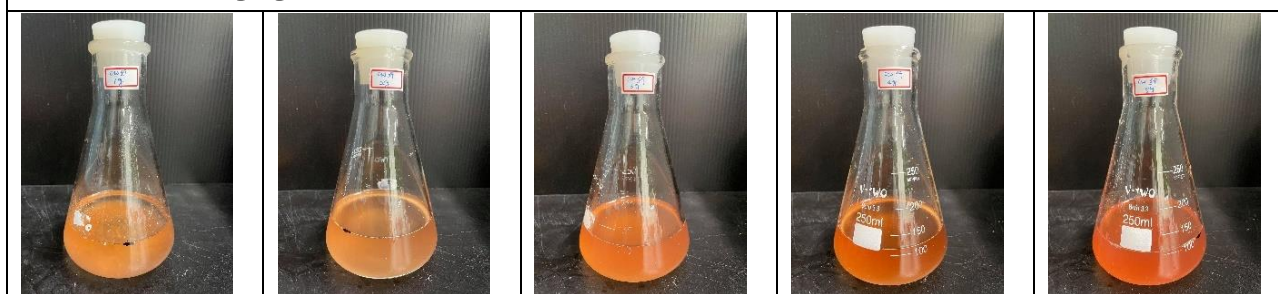


圖 44 殘留物重與果皮重量度關係



(a)1g(纖維素酶) (b)2g(纖維素酶) (c)3g(纖維素酶) (d)4g(纖維素酶) (e)5g(纖維素酶)

圖 45 a~e 依序為 1g~5g 的果皮經加熱後添加纖維素酶



(f)1g(過濾) (g)2g(過濾) (h)3g(過濾) (i)4g(過濾) (j)5g(過濾)

圖 45 f~j 依序為上圖 a~e 過濾的濾液比較

(二) 百香果皮加熱冷卻後添加纖維素酶

由表 13 可知，還原糖含量和殘留物量會隨果皮重增加而**上升**，pH 值則下降**約為 4**；由圖 46 和圖 47 比較可知，還原糖含量與果皮重的相關**較高**( $R^2=0.9942$ )，殘留物重與果皮重的相關**較高**( $R^2=0.9851$ )；由圖 48a~e 可知，加熱後添加纖維素酶使果皮**沉降分離**，沉澱量隨果皮增加而**明顯變多**，將溶液過濾後，由圖 48f~j 可發現濾液略為**混濁**，顏色隨果皮量而**變深**。

表 13 百香果皮添加熱冷卻後添加纖維素酶性質比較

重量(g)	還原糖含量(g)	殘留物量(g)	pH 值
1	0.909	0.315	4.424
2	1.246	0.785	4.359
3	1.549	1.255	4.342
4	1.897	1.690	4.314
5	2.349	1.910	4.112

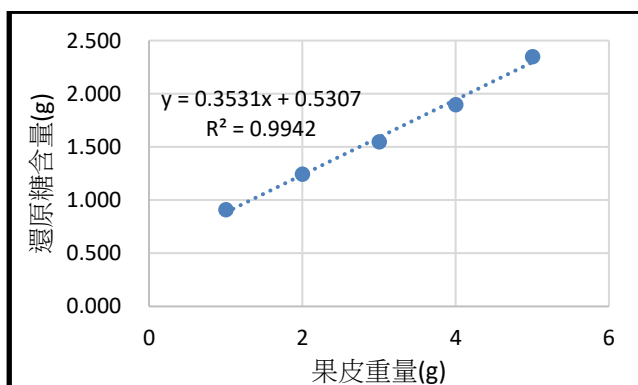


圖 46 還原糖含量與果皮重量關係

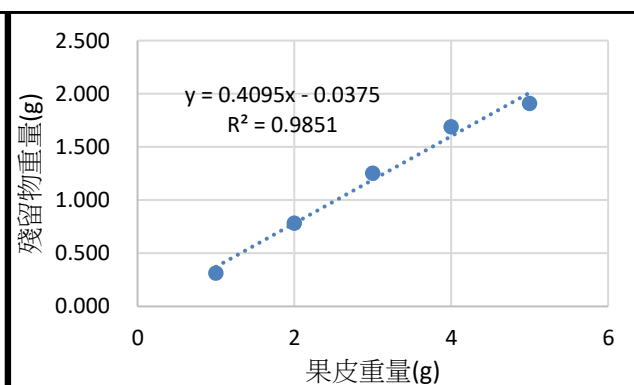
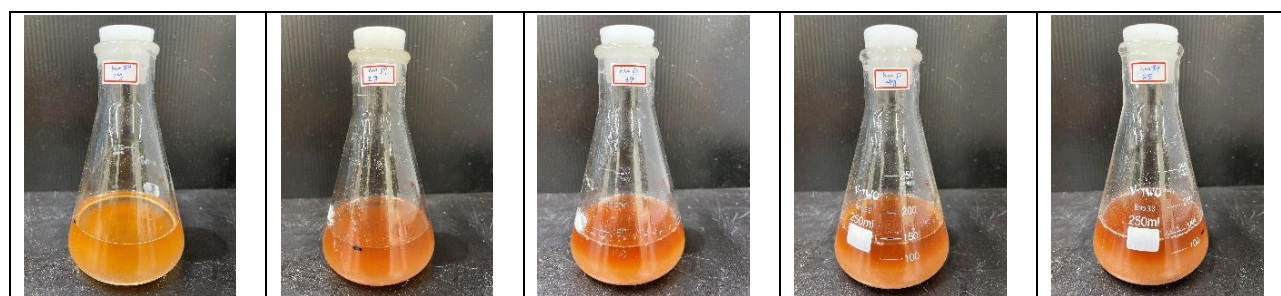
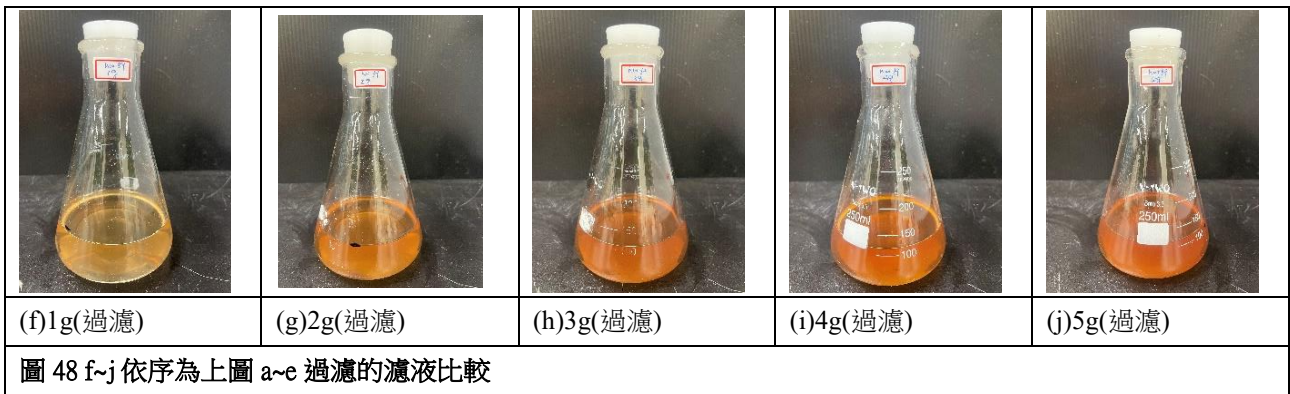


圖 47 殘留物重與果皮重量度關係



(a)1g(纖維素酶) (b)2g(纖維素酶) (c)3g(纖維素酶) (d)4g(纖維素酶) (e)5g(纖維素酶)  
圖 48 a~e 依序為 1g~5g 的果皮經加熱後添加纖維素酶



## 七、百香果皮添加果膠酶和纖維素酶的還原糖含量及 pH 值變化

### (一) 百香果皮添加果膠酶和纖維素酶未加熱

由表 14 可知，還原糖含量和殘留物量會隨百香果皮重增加而**上升**，pH 值則隨之**下降**；再由圖 49 和圖 50 比較可知，果皮重與還原糖含量的相關**較高**( $R^2=0.9793$ )，與殘留物重的相關**較高**( $R^2=0.9971$ )；由圖 51a~e 可知，添加果膠酶和纖維素酶可使果皮**沉降分離**，1g 和 2g 可完全分離，3g~5g 仍有少量浮在液面，在下方的沉澱量隨果皮添加量增加而**明顯變多**，將溶液過濾後，由圖 51f~j 可發現濾液較**澄清**外，濾液顏色亦隨果皮添加量而**變深**。

表 14 百香果皮添加果膠酶和纖維素酶性質比較

重量(g)	還原糖含量(g)	殘留克數	pH
1	0.274	0.255	3.473
2	0.490	0.570	3.438
3	0.757	0.780	3.115
4	0.929	1.090	3.113
5	1.041	1.365	3.073

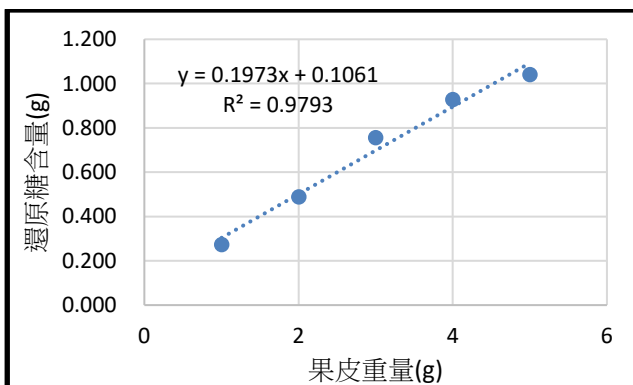


圖 49 還原糖含量與果皮重量關係

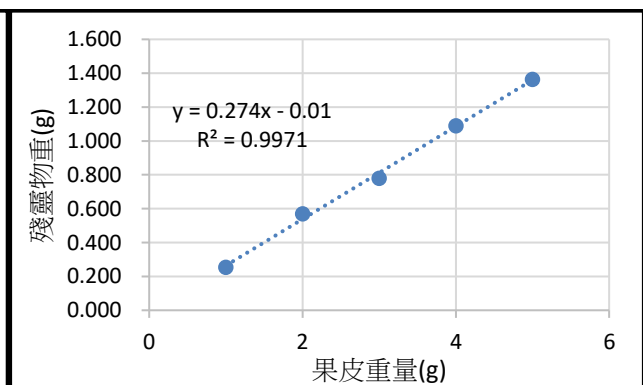
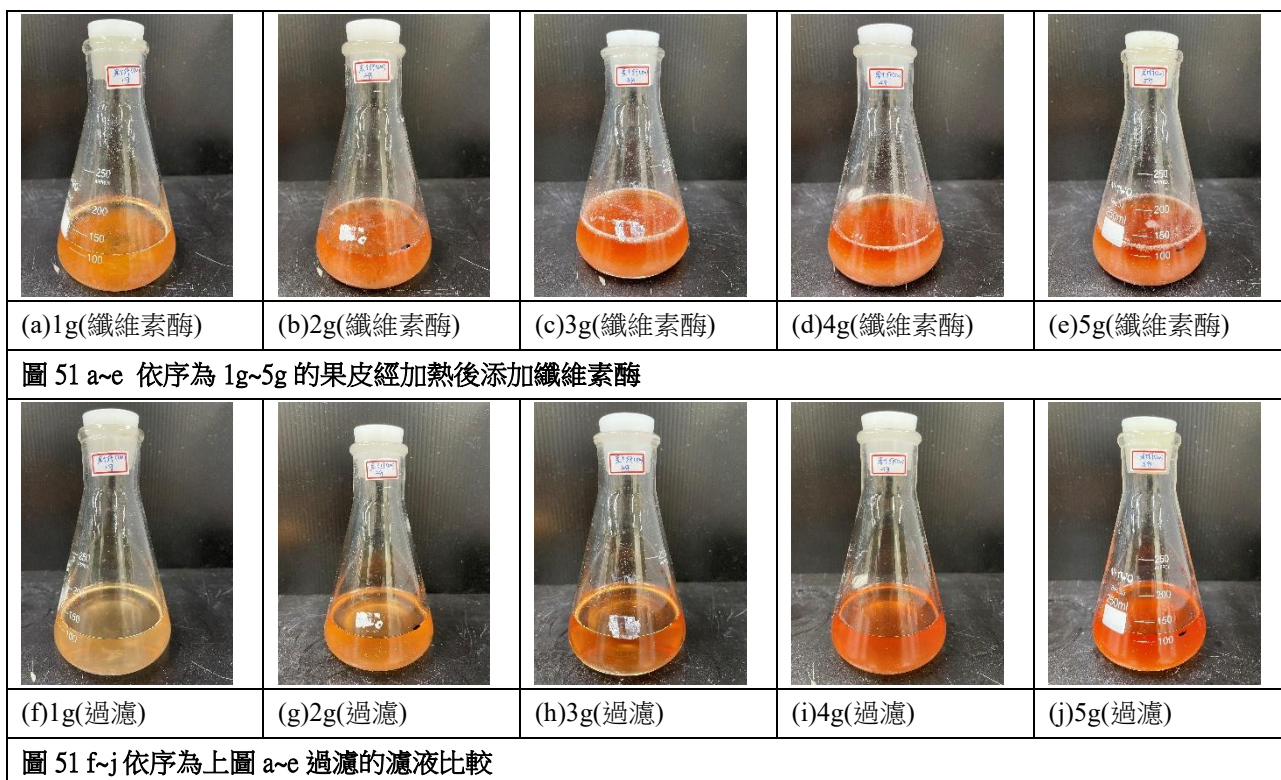


圖 50 殘留物重與果皮重量度關係





## (二) 百香果皮加熱冷卻後添加果膠酶和纖維素酶

由表 15 可知，還原糖含量和殘留物量會隨果皮重增加而**上升**，pH 值則會**降低**；由圖 52 和圖 53 比較可知，還原糖含量與果皮重的相關**較低**( $R^2=0.751$ )，殘留物重與果皮重的相關**較高**( $R^2=0.989$ )；由圖 54a~e 可知，加熱後再添加果膠酶與纖維素酶可使果皮**沉降分離**，沉澱量隨果皮添加量增加而**明顯變多**，將上述溶液過濾後，由圖 54f~j 可發現濾液明顯**澄清**外，顏色隨果皮添加而**變深**。

表 15 百香果皮加熱冷卻後添加果膠酶和纖維素酶

重量(g)	還原糖含量(g)	殘留克數	pH
1	0.524	0.245	3.510
2	0.915	0.530	3.506
3	0.962	1.050	3.472
4	1.014	1.450	3.448
5	1.064	1.720	3.379

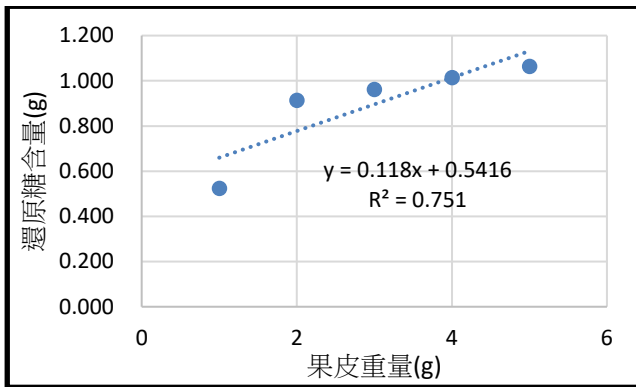


圖 52 還原糖含量與果皮重量關係

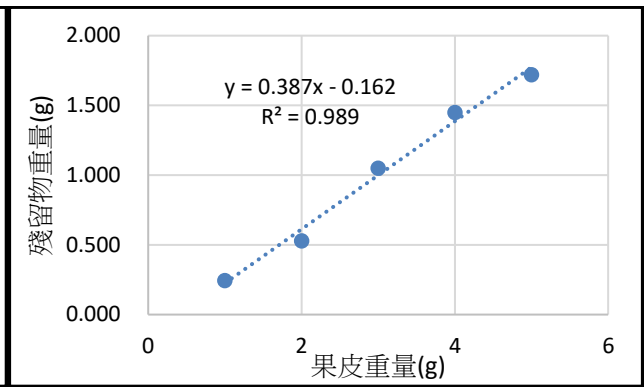


圖 53 殘留物重與果皮重量度關係

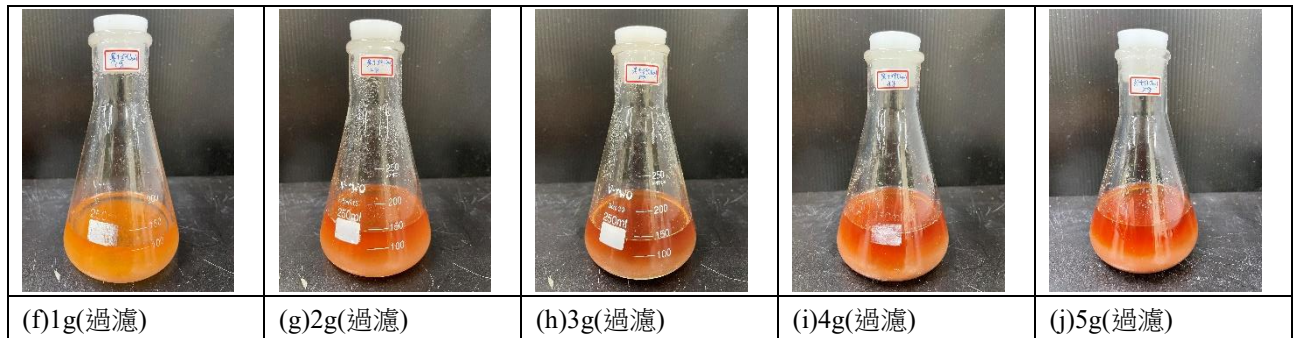


圖 54 f~j 依序為上圖 a~e 過濾的濾液比較

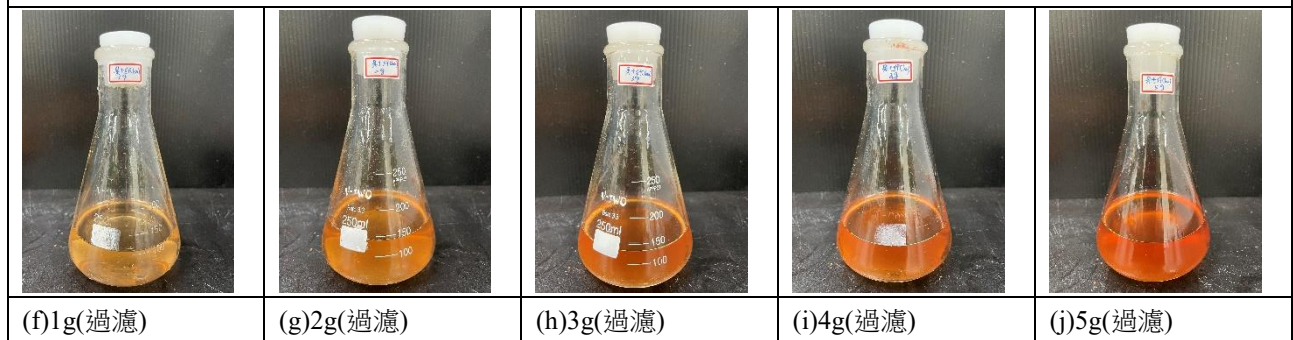


圖 54 f~j 依序為上圖 a~e 過濾的濾液比較

## 八、百香果皮經泡水加熱、酸鹼及添加酵素處理後發酵蒸餾實驗

(一) 由圖 55 可知，百香果皮經**加熱**後再發酵蒸餾測得**酒精濃度較高**，泡水與添加果膠酶的酒精濃度皆為 2%，添加纖維素酶與添加果膠酶+纖維素酶酒精濃度皆為 2.5%，故最高酒精濃度僅為 2.5%。

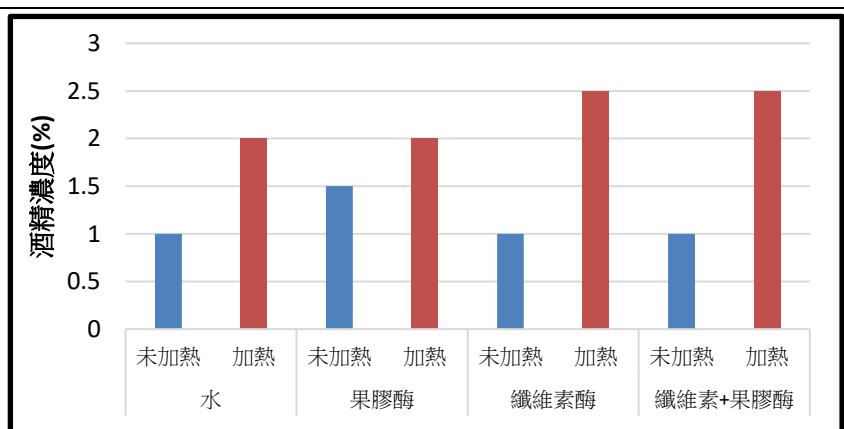


圖 55 未經降酸的發酵蒸餾結果

未加熱：果膠酶 > 泡水 = 纖維素酶 = 纖維素酶+果膠酶

加熱：纖維素酶+果膠酶 = 纖維素酶 > 果膠酶 = 泡水



(二) 由圖 56 可知，添加碳酸鈣作降酸處理後經發酵蒸餾測得酒精濃度會提高，經加熱後泡水、添加果膠酶與添加纖維素酶+果膠酶的酒精濃度較未加熱高，添加果膠酶+纖維素酶效果最好可達 8%，而添加纖維素酶加熱與未加熱結果相同，其酒精濃度皆為 5%。

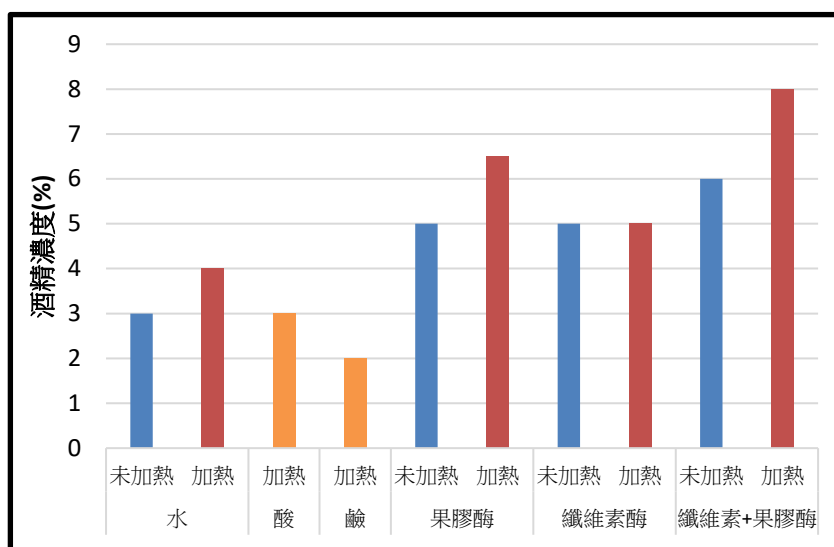


圖 56 經過降酸處理發酵的蒸餾結果

未加熱：纖維素酶+果膠酶 > 果膠酶 = 纖維素酶 > 泡水

加熱：纖維素酶+果膠酶 > 果膠酶 > 纖維素酶 > 泡水 > 加酸 > 加鹼

## 陸、討論

一、由新鮮百香果的測量可知：

(一) 百香果採收結果會因品種、季節和地點等因素影響，本實驗所採用的百香果為台農一號，果肉比例較高，顏色和香氣均飽滿，由於果皮較薄及季節因素，含水率約為 80.49%，但由圖 21 可知，百香果皮仍占百香果重量將近一半，使用果肉做為加工製品，果皮被大量丟棄，又由於含水量高而易腐敗導致異味及蚊蠅等環境汙染。

(二) 由圖 22 及圖 23 可知，果肉和果皮本氏液定性測試均會變色，但顏色變化為果肉 > 果皮，表示果肉內糖的含量比果皮多，且顯示除果肉外，果皮亦含有還原糖，故百香果剩餘的果皮仍有附加價值。

(三) 由表 3 可知，將果肉加熱經發酵蒸餾後酒精濃度會明顯提高，其可能原因為百香果肉經加熱後，果肉內的澱粉水解，可進行發酵的醱類變多，而將果皮加熱後，蒸餾酒精濃度反而會下降，與果肉加熱情形相反，其可能原因為新鮮的果皮內含有酵素，在未加熱時可有效分解出更多還原糖，但加熱後造成酵素的破壞使得還原糖較少，故後續果皮要能有效利用外，需經由物理、化學或酵素處理以分解出更多的還原糖。

(四) 由於水果富含果膠，釀製過程會因天然的果膠甲酯酶作用而產生甲醇(圖 57)，新鮮

果肉和果皮經發酵蒸餾所得的酒精密度由圖 58 比較可知：不論是果肉和果皮經蒸餾後密度均小於理論值，密度果肉大於果皮，其可能原因為果皮富含果膠且還原糖含量較少所造成，且隨濃度由 5% 提升至 10% 密度會降低，但果肉和果皮發酵蒸餾所產生的酒精密度依然低於理論值，顯示果皮發酵需先去天然酵素的活性避免甲醇產生。

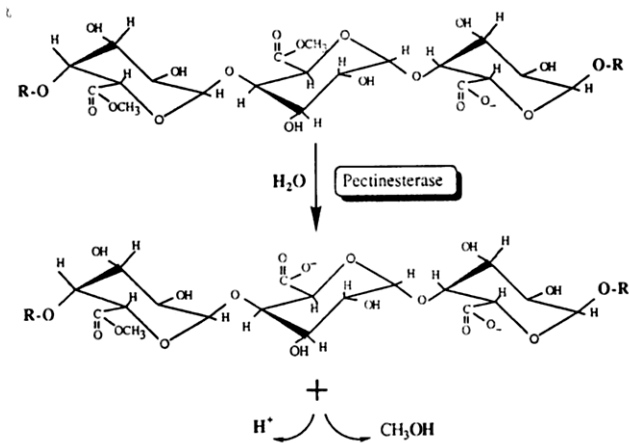


圖 57 果膠甲酯酶所催化去酯化反應(李, 2002)

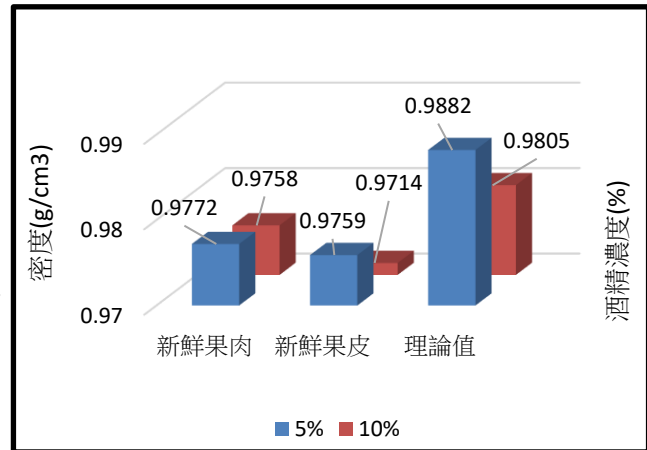


圖 58 新鮮果肉和果皮發酵蒸餾酒精在 5%10% 密度比較

(五) 由表 4 可知，整顆百香果(果肉+果皮)加熱前後比較，其糖度及 pH 值無明顯改變，加熱後經發酵蒸餾的酒精濃度會有明顯增加，依上述表 3 結果，未加熱的果肉加果皮應為 6.30+3.80=10.10(%)與表 4 的實驗結果 10.60(%)接近，但加熱後果肉加果皮應為 10.20+0.50=10.70(%)與表 4 的實驗結果 13.60(%)有所差距，但經由加熱後酵素會被破壞，果皮可發酵的還原糖應該很低，其可能原因為果肉內含**有機酸**，經加熱後除造成澱粉水解，亦可能使果皮內的**纖維素與酸作用造成分解出還原糖**，使得加熱後的酒精濃度增加，故在後續的處理可考慮分解纖維素，以便分解出更多還原糖增加酒精產量。

(六) 除加熱外，酸鹼度亦是影響發酵因素之一。百香果雖然甜度不低但酸性較高，一般發酵須加水及降低酸度處理，將一顆百香果肉以食用小蘇打中和至中性需加 1.8g(圖 59)，而果皮**具還原糖且酸性較低**，可減少降低酸度處理步驟。

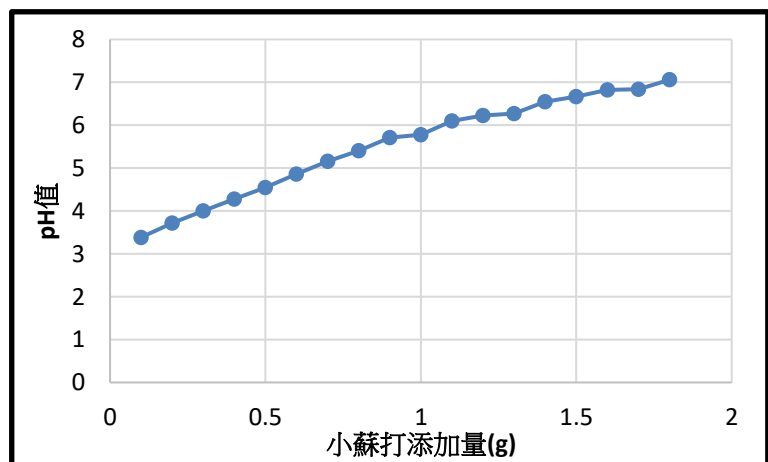


圖 59 果肉 pH 值與小蘇打添加量關係

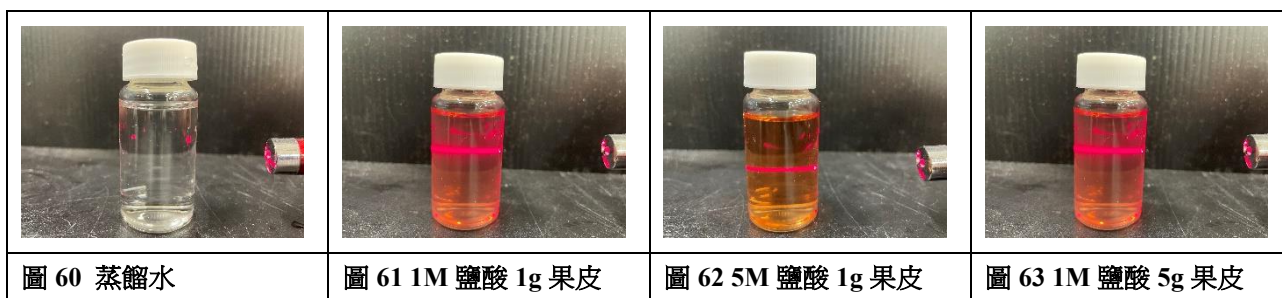
二、由將百香果皮加熱前後測量還原糖含量及 pH 值變化可知：

當乾燥後的果皮泡水加熱後，還原糖含量會增加但增加量不多，顯示僅靠加熱只能分解出**少量還原糖**，若要分解出更多還原糖要靠其他處理方法。

三、由將百香果皮在鹽酸加熱處理後還原糖含量及 pH 值變化可知：

(一) 在同重的百香果皮、不同濃度的鹽酸下處理，殘留物減少，濾液變得較澄清，這是因為果膠在稀酸中水解為水溶性果膠，故能溶在稀酸中，由圖 60~62 比較可知，濾液並非真溶液而是膠體溶液，以雷射筆照射下會因**廷德爾效應**出現光徑(陳等人，2020)，在鹽酸 1M 下光徑較 5M 大且明顯，顯示經由鹽酸可分解更多半纖維素，使得還原糖含量更高、殘留物變少，濾液變的更澄清的原因，由於 pH 值接近而使濾液顏色均為桃紅色。

(二) 在不同重量的百香果皮、同濃度的鹽酸下處理，由於果皮量增加，還原糖含量會增加外，懸浮物也會增加，再由圖 61、63 可知，以雷射筆照射下會有明顯光徑，顯示果皮中並非單純含有木質纖維，可能因含有大量果膠使的溶液中的分散質增加，造成散射而有明顯的廷得耳效應，且由於 pH 值降低及花青素含量增加，其濾液顏色會接近紅色。

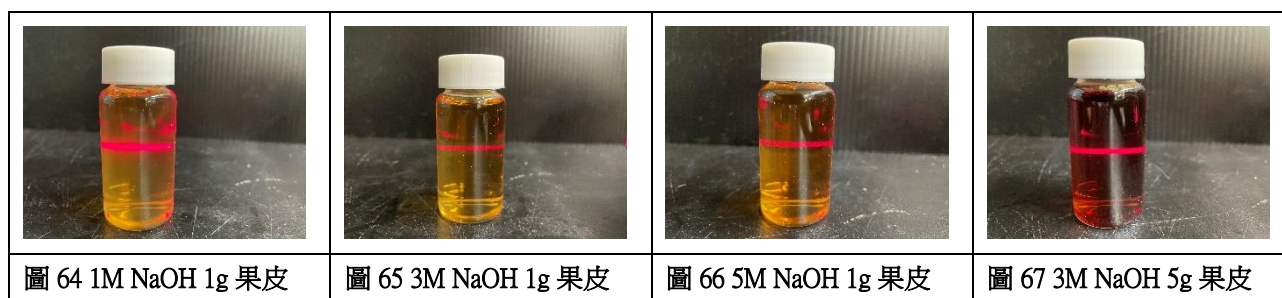


四、由將百香果皮在氫氧化鈉加熱處理前後還原糖含量及 pH 值變化可知：

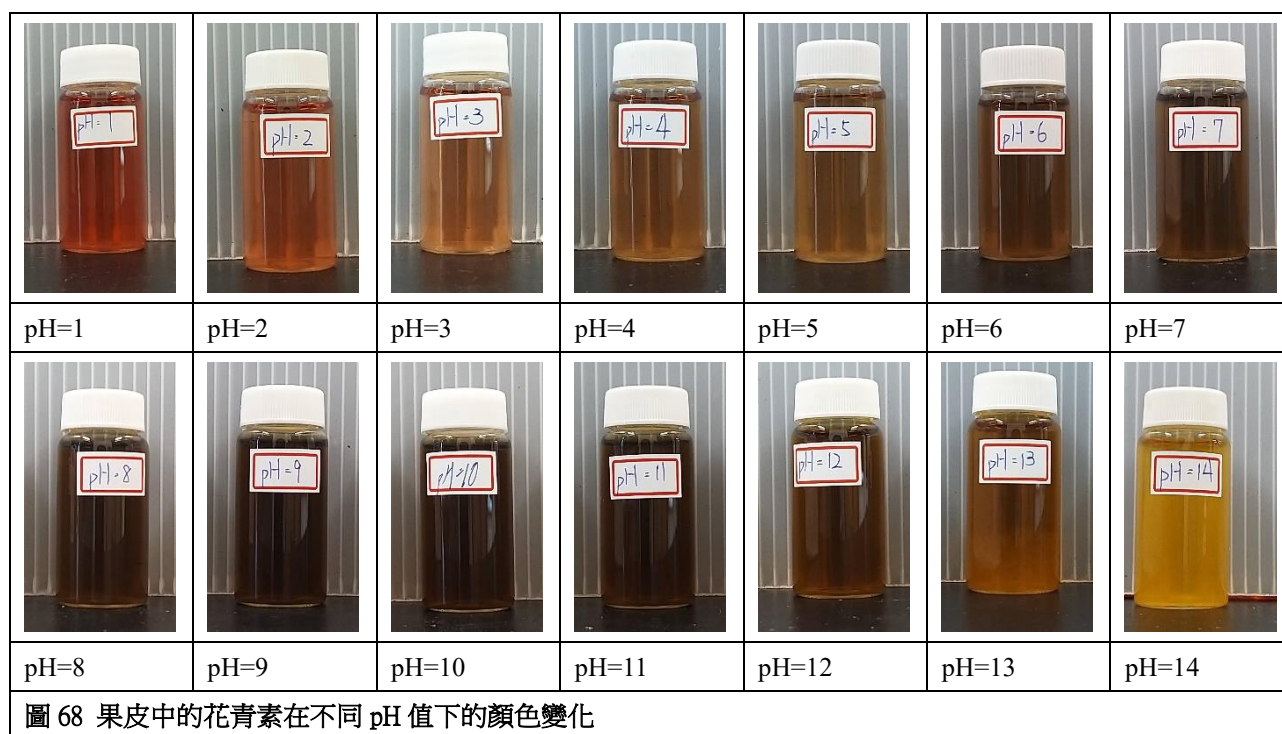
(一) 在同重量的百香果皮、不同濃度的氫氧化鈉下，還原糖含量隨氫氧化鈉濃度增加而上升，顯示果皮在鹼性環境下有效影響纖維素脫結晶性，增加糖化效果，且**加鹼可去除木質素使濾液較澄清**，由下圖 64~66 可知：隨濃度增加光徑變得明顯且清晰，殘留物重會下降，在 3M 時達定值，表示在 3M 以上即可有效反應。

(二) 在不同重量的百香果皮、同濃度的氫氧化鈉下，還原糖含量隨果皮重而增加，濾液因木質素的關係而變得更深，由下圖 65、67 可知有明顯因膠體粒子造成的光徑，顯示

除木質纖維素外，尚有未能分解的剩餘物質在其中。



(三) 果皮經由氫氧化鈉處理後濾液的 pH 值會在 13~14，其可能原因為果皮含有有機酸，而有機酸為弱酸，和氫氧化鈉反應後形成弱酸強鹼鹽的緩衝溶液(陳，2020)，故隨氫氧化鈉濃度增加，其 pH 值均不易改變，而濾液顏色會變黃，其原因是因為果皮中的花青素在鹼性環境下所導致，綜合酸和鹼的處理結果。我們將新鮮果皮加水過濾後的濾液以酸和鹼調整至 pH1~14 觀察其顏色變化(圖 68)，花青素可作為酸鹼指示計，以肉眼觀察其顏色大致可判斷其酸鹼度，便於判斷其酸鹼度，液面變化與鹽酸處理相同，氫氧化鈉可與果皮中的半纖維素及木質素作用，但仍無法有效分果膠。



五、由將百香果皮添加果膠酶還原糖含量及 pH 值變化可知：

(一) 百香果皮不管是否加熱，添加果膠酶後其還原糖含量均會隨果皮重量增加而上升，但還原糖含量**加熱**>**未加熱**，且由果皮重與還原糖含量的關係比較，其**未加熱**( $R^2=0.9562$ )>**加熱**( $R^2=0.8376$ )，果皮重與殘留物重的關係卻是**未加熱**( $R^2=0.9951$ ) $\neq$ **加熱**



( $R^2=0.988$ )，可能原因為：經由加熱後可使更多果膠分離，使果膠酶更有效的與果膠作用，經過濾後的濾液含有較多的懸浮物，使得溶液較混濁而影響還原糖測量結果。

(二) 果膠主要為半乳糖醛酸構成的多醣天然聚合物(圖 69)，添加果膠酶後使果膠分解為半乳糖醛酸和果膠酸等小分子，使溶液的固形物沉澱下來使溶液較為澄清

([http://www.wetctw.com/product\\_cg33698.html](http://www.wetctw.com/product_cg33698.html))，因降解過程中會產生有機酸，故加入果膠酶後其酸性會增加，使其 pH 值會降低至 4 左右。

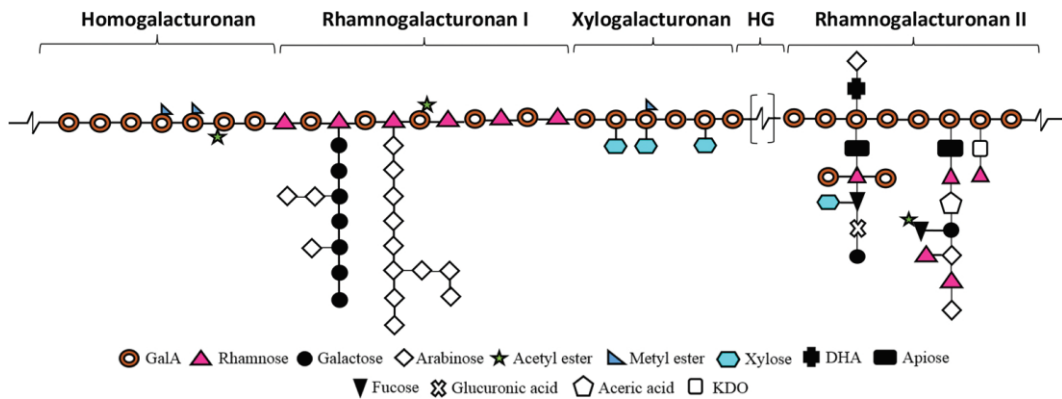


圖 69 果膠結構示意圖(黃等人, 2015)

六、由將百香果添加纖維素酶還原糖含量及 pH 值變化可知：

(一) 百香果皮未加熱下添加纖維素酶，還原糖含量會隨果皮添加量增加而上升，其殘留物重量也會隨之增加，但比原先少，顯示纖維素酶可有效分解果皮內的纖維素。

(二) 將百香果皮加熱後再添加纖維素酶，還原糖含量及殘留物重均隨果皮量增加而上升，且與未加熱下的重量接近，而加熱後的 pH 值卻較未加熱而上升，其可能原因為經加熱後果皮內的有機酸參與反應外，沸點較低的有機酸隨加熱而逸出。

(三) 由液面觀察可發現：添加纖維素酶的果皮溶液會產生分離，因纖維素的分解而使液面較為澄清，但仍有果膠的影響導致明顯分為兩層，也因有果膠的關係導致溶液較為混濁，吸收度增加而影響測量結果，導致還原糖含量較酸鹼處理及添加果膠酶高許多。

七、由將百香果皮添加果膠酶及纖維素酶還原糖含量及 pH 值變化可知：

(一) 百香果皮未加熱下添加果膠酶及纖維素酶，還原糖含量隨果皮重而增加，殘留物重較果皮少，故在果膠酶與纖維素酶的共同作用下，使得果膠與纖維素有效分解，且隨果皮量增加，其 pH 值則會下降，顯示未加熱下能有部分物質未反應或析出。

(二) 百香果皮加熱冷卻後再添加果膠酶及纖維素酶，還原糖含量也會隨果皮重而增加，



但相關較低( $R^2=0.751$ )與添加果膠酶相似，其可能原因為：添加酵素處理需較長的時間，務必在 2 日內測量，否則會導致變質而影響測量結果，在短時間內分解出的還原糖較低，使得還原糖在果皮重量高時不如預期多，故須經由長時間發酵結果來判斷較準確，且其濾液的 pH 值也接近，顯示經過加熱後可將其他物質更能反應或析出。

(三) 觀察果皮添加果膠酶及纖維素酶溶液液面可知：液面可明顯分為兩層且沉澱量變少，表示經酵素處理後除使液面較澄清外濾液也較多。

八、百香果皮經泡水加熱、酸鹼及添加酵素處理後發酵蒸餾結果可知：

(一) 在不調整 pH 值條件下，酒精蒸餾最高才 2.5%，在加熱過後蒸餾測得酒精濃度皆比未加熱測得結果高，與水解的還原糖量較預期的低，顯示有其他因素影響，故取果皮發酵時間對 pH 值作圖可知(圖 70)，pH 值則隨時間逐漸下降，進一步影響發酵結果。

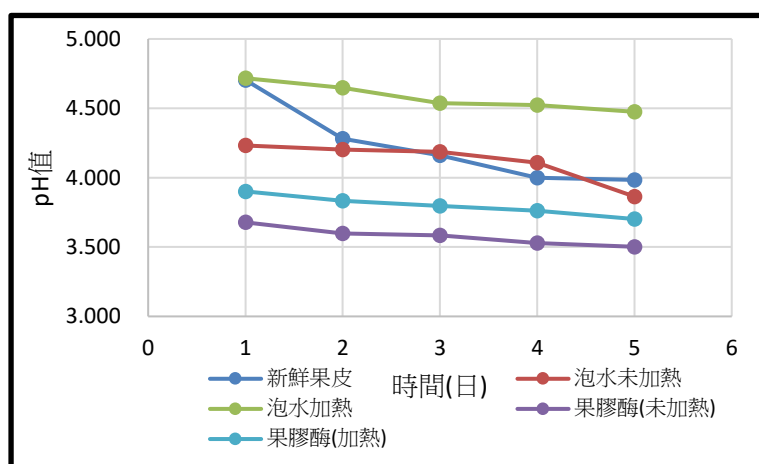




圖 70 發酵時間與 pH 值關係

(二) 考慮 pH 值對發酵的影響，我們以碳酸鈣作降酸處理，使發酵環境在 pH=5~6 之間再進行蒸餾，發現其酒精濃度比起未降酸時來的高，顯示除了還原糖量的因素外，發酵時的酸鹼環境亦是重要因素(徐等人，2018)，經過鹽酸和氫氧化鈉處理過的果皮雖然還原糖的量增加，但經發酵蒸餾處理過後，其酒精濃度並無太大增加，可能原因為經鹽酸和氫氧化鈉處理過後的濾液酸鹼濃度仍太高，在發酵前仍須調整至合適發酵的酸鹼環境，而酸鹼中和會產生鹽類，過多的鹽類會影響發酵，經酸鹼處理的濾液看似澄清，但實為膠體溶液而影響測量值(宋等人，2010)，實際還原糖量應小於測量結果；添加果膠酶處理後，酒精量：加熱 > 未加熱，因還原糖增加酒精量亦增加與預期相同；添加纖維素酶處理後，酒精量：加熱 = 未加熱，顯示不須加熱可達到相同結果可節省成本；而添加果膠酶和纖維素處理後，酒精量：加熱 > 未加熱，在兩者作用下可分解出更多還原糖，且酒精量最高可達 8%。

(三) 故我們取 15g 果皮加 250mL 的水的比例添加果膠酶和纖維素處理後，經過三次蒸餾，第一次可達約 11.5%，第二次蒸餾可達 58%，第三次蒸餾即可達 75%，可作為防疫用的酒精，且釀出的酒因富含百香果的有機酸和酯類的**特殊香味**，濃度不高也可作為飲用酒(村上春樹，2004)，除解決因疫情造成的酒精缺貨問題，亦開發新的農產業。

第一次蒸餾(11.5%)	第二次蒸餾(58%)	第三次蒸餾(75%)	
			

## 柒、結論

- 一、百香果果皮含水量高十分難處理，但富含多種黃酮類及花青素等營養成分，作為堆肥及炭化處理太可惜，故我們發現百香果除纖維素外，仍含有不少醣類及果膠，若能有效利用發酵作生質酒精，作為**燃料**或現今**防疫消毒**是很好的應用方向。
- 二、百香果一般以果肉釀酒，雖甜度高但酸性也高，須加水使**酸性降低**，而果皮酸性較低，富含纖維素及果膠，在未加熱情況下因**天然酵素**作用，經由發酵及一次蒸餾可得約 3% 的酒精，但會含有毒的甲醇，加熱破壞酵素雖可抑制甲醇生成，但酒精的產率亦會降低。
- 三、由於果皮含水量高易腐敗，先烘乾後雖有利於儲藏再利用，但無法有效分解纖維素及果膠，故能發酵蒸餾的酒精偏低，需再經處理提高還原糖含量。
- 四、以酸和鹼處理過果皮，其優點為**反應快**，雖然能有效分解纖維素達到還原糖增加的目的，但仍有果膠和酸鹼中和產生的**鹽**，造成酒精量較預期低，且過多的酸鹼也會造成環境汙染及藥品的浪費。
- 五、故我們考慮以**酵素**處理果皮達到分解的目的，雖然所需**時間較長**但較為**環保**，添加果膠酶後，底部會有未分解纖維素的沉澱，果皮加熱使果膠和纖維素能有效分離，可發酵蒸餾出較多的酒精；添加纖維素酶後，可分解纖維素使汁液較為澄清但無法解決果膠的問題，且加熱下也未能發酵蒸餾出更多酒精。
- 六、考慮纖維素酶和果膠酶各有其功能性，故我們改良流程，先加熱使果膠與纖維素分離，

再加入果膠酶使果膠分解以及纖維素酶使纖維素分解，加入酵母發酵一周後，經過三次蒸餾可達 75%，已達到防疫用的酒精濃度標準。

## 捌、參考資料

1. 陳文華、郭家倫、黃文松。2016。木質纖維素原料解聚醱化技術其應用於升質化學品之生產製程。化工63(4):42-54。
2. 李靜雯。2002。番茄及柳橙果膠酯酶所催化轉醯基反應之探討。碩士論文。台北市。國立台灣大學。食品科技研究所。
3. 陳秋炳、蔡易州。2020。高中化學(全)。初版，56-58，台南市，翰林出版。
4. 陳秋炳。2020。高中選修化學(上)。三版，153-155，台南市，翰林出版
5. 黃林華、吳厚玖、馬亞琴、王華、孫志高。2015。果膠低聚醱的研究進展。食品科學 36(19):277-281。
6. 徐永年、陳嘉鴻。2018。大人的釀酒學。初版。82-84。台北市。麥浩斯出版。
7. 宋紹瑜、吳妍萱。2010。色變-醱的真「本氏」，第 50 屆中小學科展。高雄市立高雄女子高級中學。
8. 村上春樹。2004。如果威士忌是我們的語言。36-45。時報文化出版。

## 【評語】 030203

能夠以本氏液與 DNS 法測量百香果皮含有還原糖，具進一步釀製酒精價值，運用酵素與調整 pH 值方法能達到促進果皮分解以及提高還原糖與酒精含量的目的，三次蒸餾可高達 75% 酒精濃度，有實用價值。作品貼近時勢，具有防疫概念，同時達到農廢再利用與循環經濟之目的。



## 作品簡報

國中組 化學科

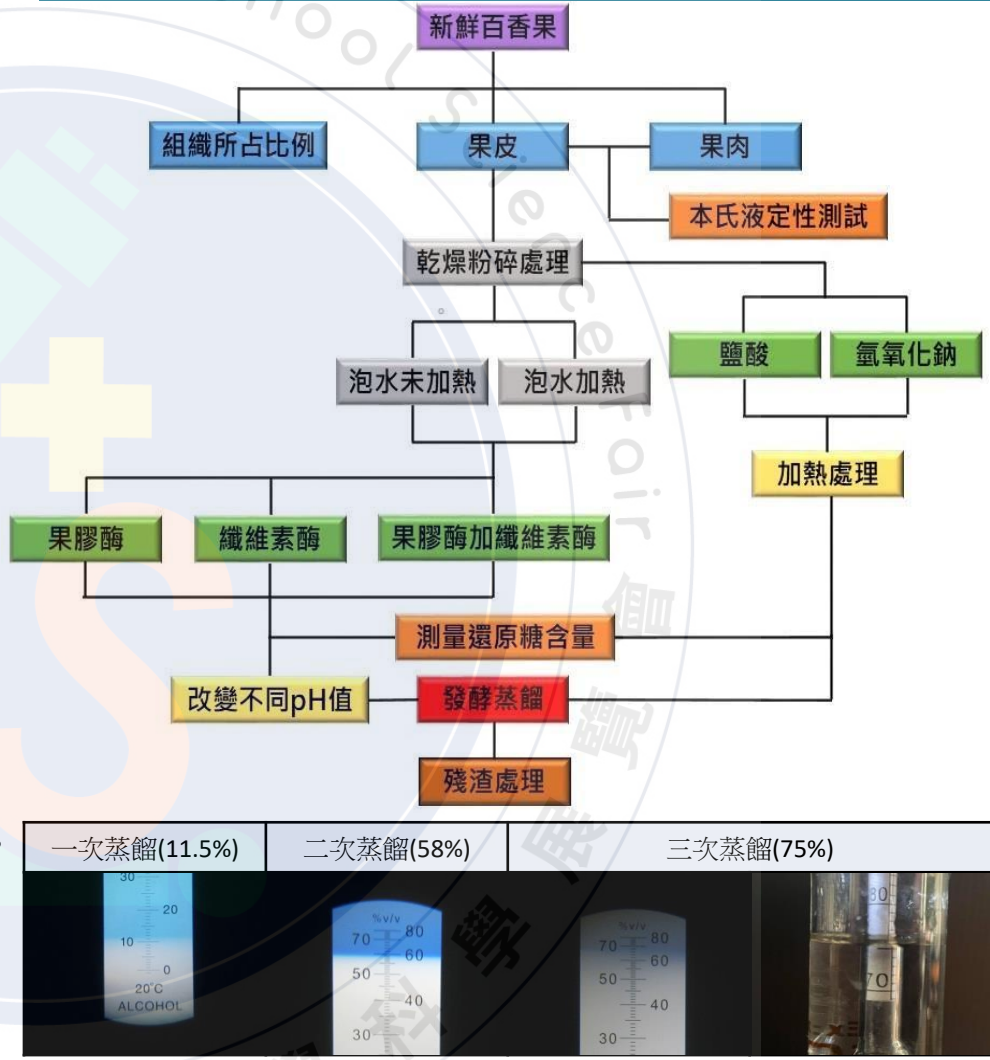
# 百里飄香熱情酒

-探討百香果皮製造酒精的可行性

# 前言

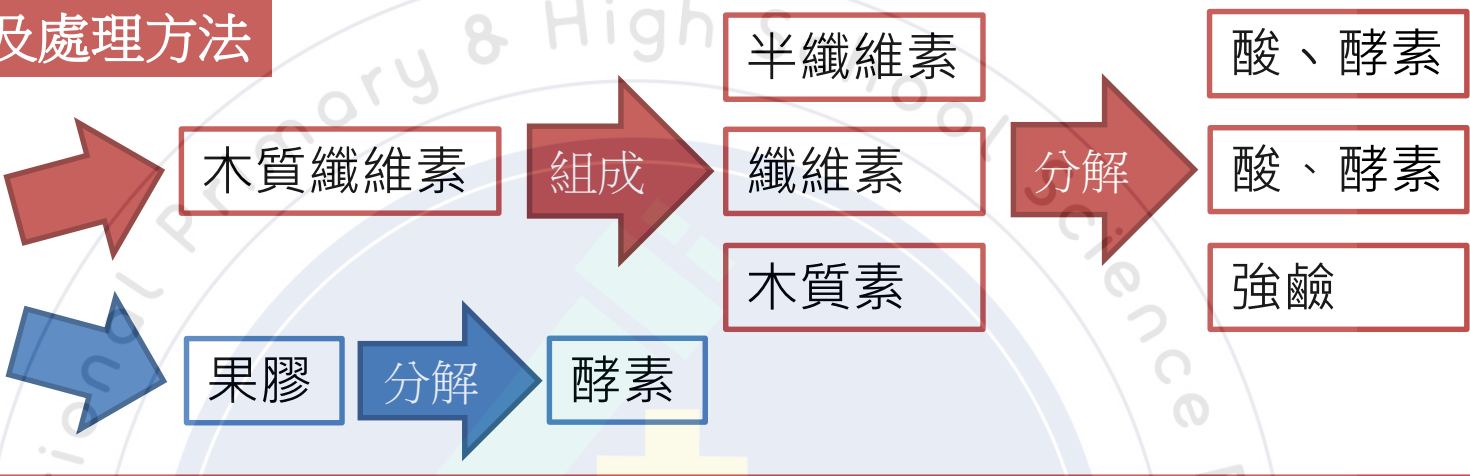
- 百香果為埔里重要農產之一，果肉製為加工品，剩餘果皮被大量丟棄，天然百香果皮含水率高達80%，不易乾燥會造成環境汙染
- 農業廢棄物如稻稈、甘蔗渣、筍殼等富含纖維素，可製成纖維酒精再利用，木質纖維素結構緻密，須先以物理或化學的方式處理，但產率低、成本高
- 百香果皮除纖維素外，較一般水果含有更多的果膠，不易以化學方法處理，所以我們以酵素進行分解，配合發酵過程，可獲得更高的酒精產量

## 流程圖



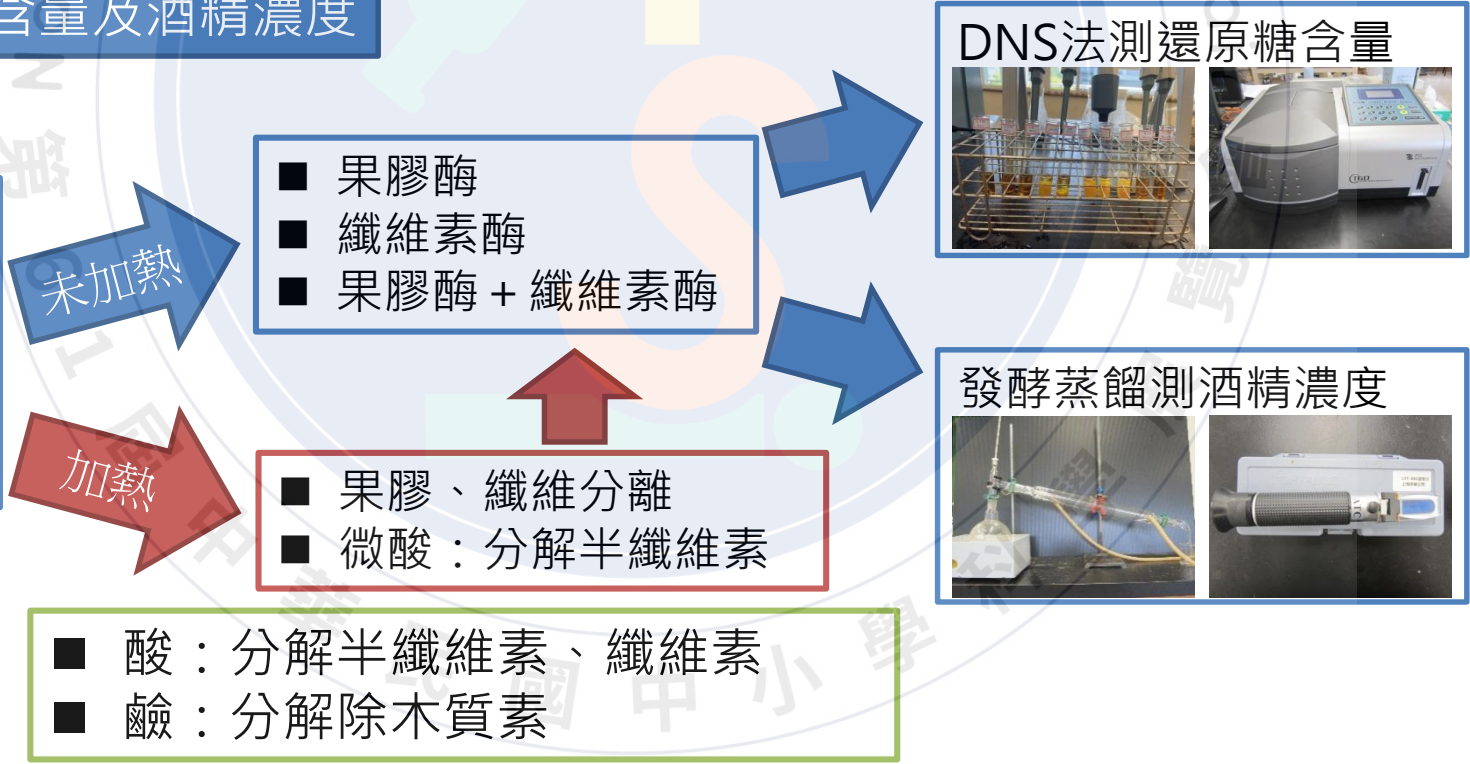
# 實驗方法

## 百香果組成及處理方法



## 測量還原糖含量及酒精濃度

前處理(物理)  
增加表面積



- 酸：分解半纖維素、纖維素
- 鹼：分解除木質素



# 結果與討論

## 實驗一：測量百香果的性質及釀酒效果

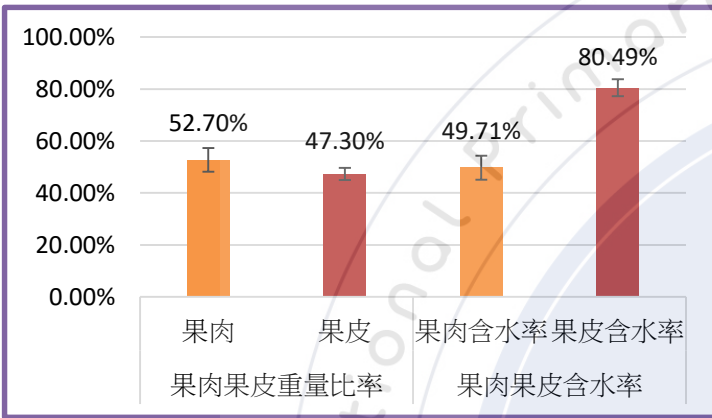


圖21 百香果肉和果皮比率及含水率

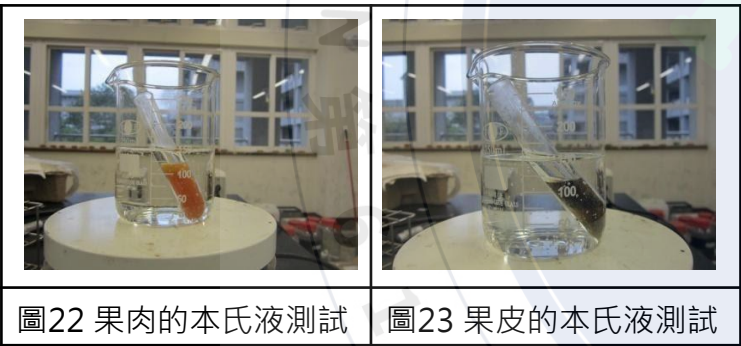


圖22 果肉的本氏液測試

圖23 果皮的本氏液測試

由圖21可知：

- 百香果皮占百香果重量將近一半，由於含水量高易腐敗導致異味及蚊蠅等環境汙染

由圖22和圖23可知：

- 本氏液定性測試顏色變化：果肉 > 果皮，果皮亦含還原糖，仍有附加價值

由表3和表4可知：

- 果肉加熱後，酒精濃度提高
- 果皮加熱後，酒精濃度反而會下降，因新鮮果皮含**酵素**，加熱後造成**酵素破壞**
- 整顆百香果加熱後，酒精濃度會增加，因果肉內含有**機酸**，加熱後造成**澱粉和纖維素水解**

表3+表4 百香果肉、果皮及整顆百香果加熱結果

	果肉		果皮		整顆百香果	
	甜度(°Brix)	酒度(%)	甜度(°Brix)	酒度(%)	甜度(°Brix)	酒度(%)
未加熱	14.6±0.8	6.30±1.30	0	3.8±0.8	15.2±1.1	10.60±1.95
加熱	15.5±1.1	10.20±1.48	0	0.5	15.4±1.3	13.60±3.65

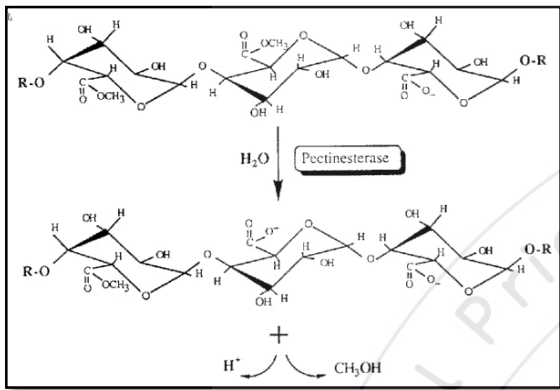


圖57 果膠甲酯酶所催化去酯化反應

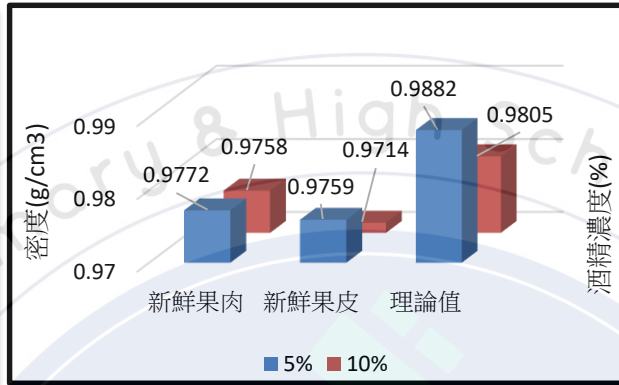


圖58 新鮮果肉和果皮發酵蒸餾酒精在5%10%密度比較

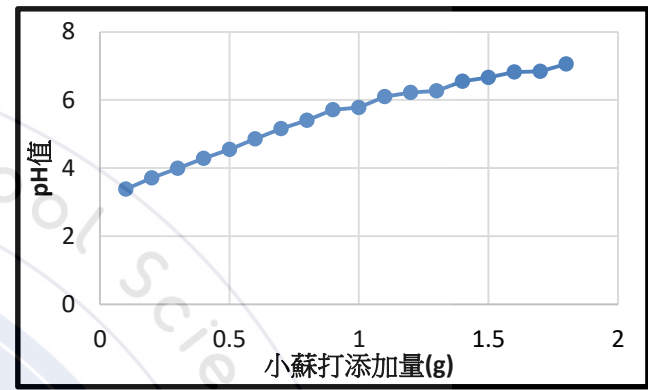


圖59 果肉pH值與小蘇打添加量關係

- 釀製的過程會因果膠而形成**甲醇**(圖57)，再由圖58可知，酒精密度皆小於理論值，需去除天然酵素的**活性**避免甲醇產生
- 酸鹼度會影響發酵，百香果甜度不低但酸性高，發酵須加水及降低酸度處理，將一顆百香果肉以食用小蘇打中和至中性需加1.8g(圖59)，顯示果皮具還原糖且酸性低

## 實驗二：百香果皮泡水加熱前後還原糖含量及pH值變化

表5 乾燥的果皮經泡水未加熱與加熱後比較

未加熱		加熱	
還原糖含量(g)	pH值	還原糖含量(g)	pH值
0.072±0.004	4.666±0.040	0.079±0.008	4.868±0.030

- 由DNS法可得還原糖含量

由表5可知：

- 果皮泡水加熱後可得還原糖含量不多，靠加熱只能分解出**少量還原糖**

# 實驗三：百香果皮在鹽酸加熱前後還原糖含量及pH值

## 百香果皮加入不同濃度鹽酸處理結果

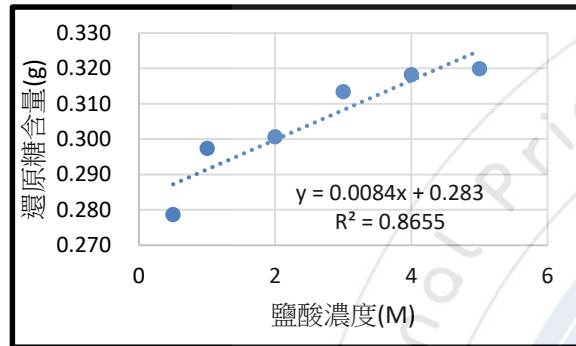


圖25 還原糖含量與鹽酸濃度關係

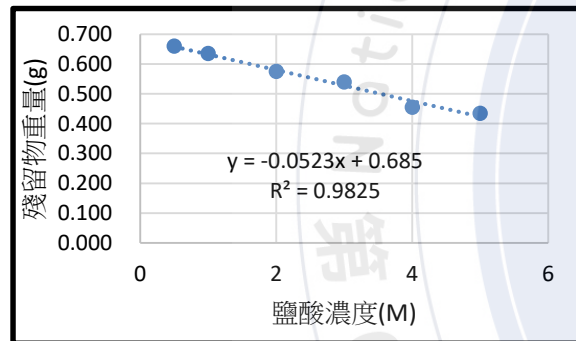
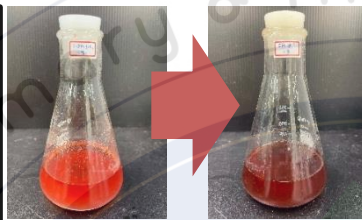


圖26 殘留物重與鹽酸濃度關係



0.5M

1M

過濾



0.5M

1M

## 不同重量的百香果皮以鹽酸處理結果

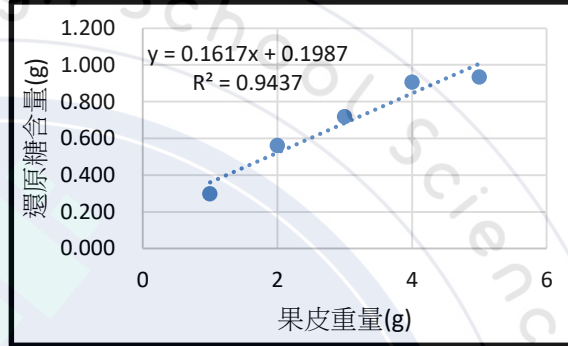


圖28 還原糖含量與果皮重量關係

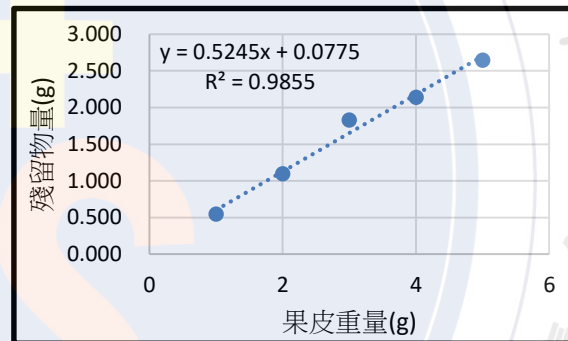
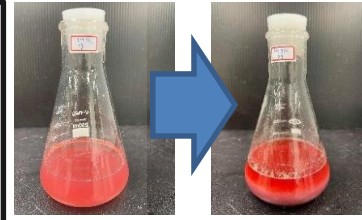


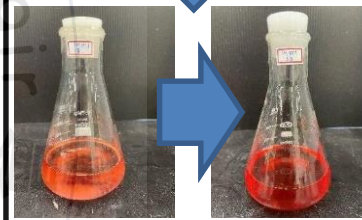
圖29 殘留物重與果皮重量度關係



1g

5g

過濾



1g

5g

- 濾液變得較澄清，因為果膠在稀酸中水解為水溶性果膠，故能溶在稀酸中
- 鹽酸可分解更多半纖維素，使得還原糖含量更高、殘留物變少，濾液變澄清，由於pH值接近使濾液顏色均為桃紅色

- 果皮量增加，還原糖含量增加，懸浮物也會增加
- 由於pH值降低及花青素含量增加，其濾液顏色會接近**紅色**



# 實驗四：百香果皮在氫氧化鈉加熱前後還原糖含量及pH值

## 百香果皮加入不同濃度氫氧化鈉處理結果

## 不同重量的百香果皮以氫氧化鈉處理結果

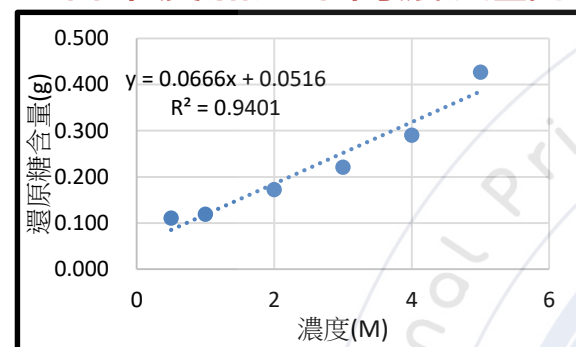
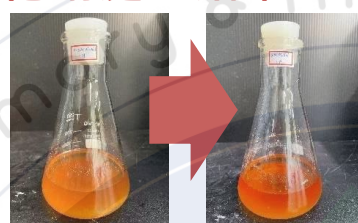
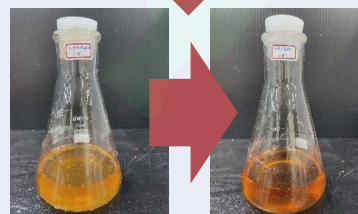


圖31 還原糖含量與氫氧化鈉濃度關係



0.5M 1M

過濾



0.5M 1M

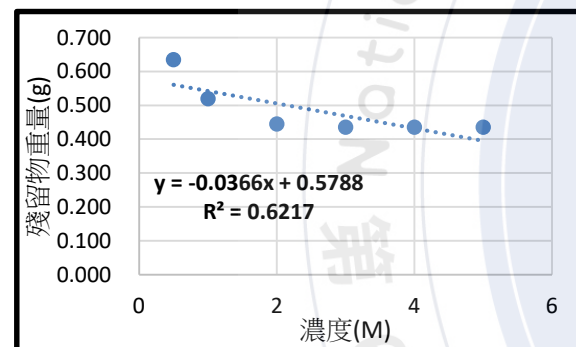


圖32 殘留物重與鹽酸濃度關係

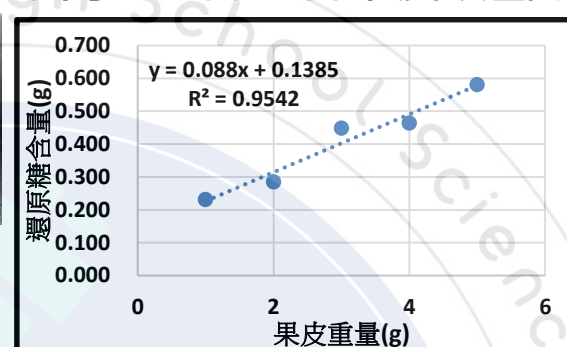
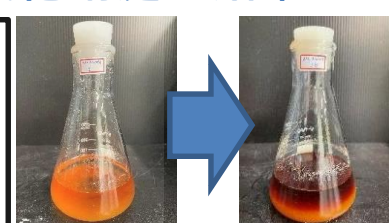
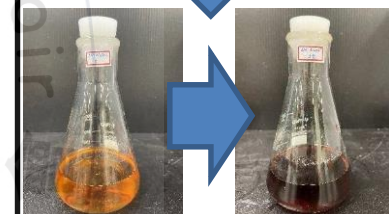


圖34 還原糖含量與果皮重量關係



1g 5g

過濾



1g 5g

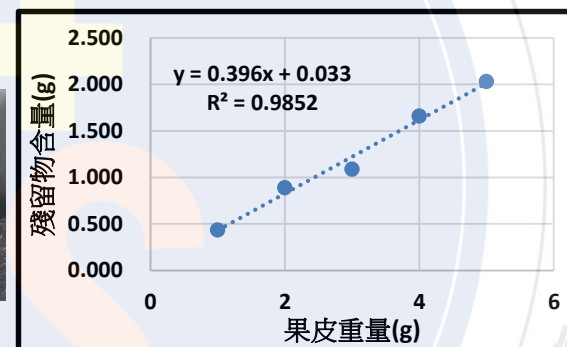


圖35 殘留物重與果皮重量度關係

- 還原糖含量隨氫氧化鈉濃度增加而上升，在鹼性環境下有效影響纖維素脫結晶性，增加糖化效果
- 加鹼可去除木質素使濾液較澄清，殘留物重會下降，在3M時達定值，表示在3M以上即可有效反應。

- 還原糖含量隨果皮重而增加，濾液顏色會變黃，因果皮中的花青素在鹼性環境下所導致
- 經由鹼處理後濾液的pH值會在13~14，因果皮含有機酸，和氫氧化鈉反應後形成緩衝溶液



# 實驗五：百香果皮在果膠酶加熱前後還原糖含量及pH值

## 百香果皮未加熱添加果膠酶

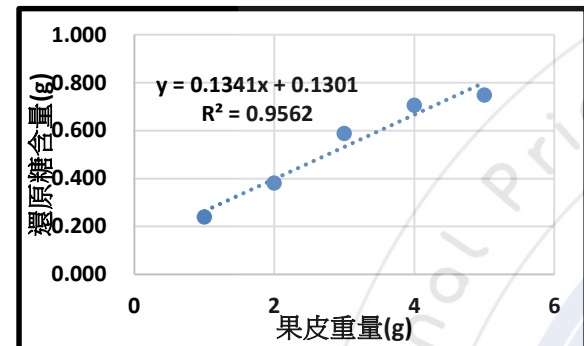


圖37 還原糖含量與果皮重量關係

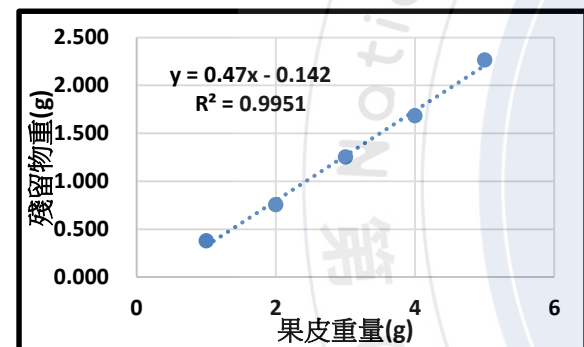
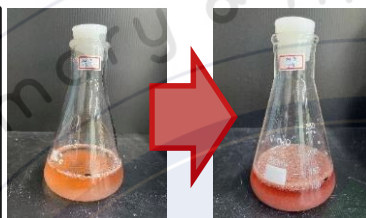
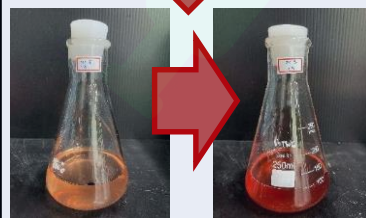


圖38 殘留物重與果皮重量度關係



0.5M 1M

過濾



0.5M 1M

## 百香果皮加熱冷卻後添加果膠酶

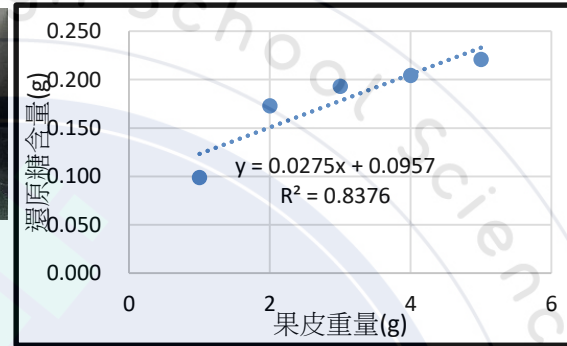


圖40 還原糖含量與果皮重量關係

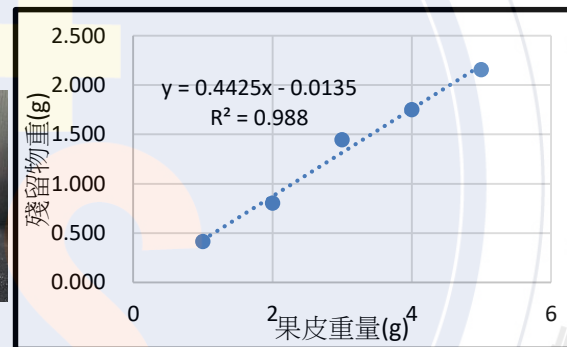
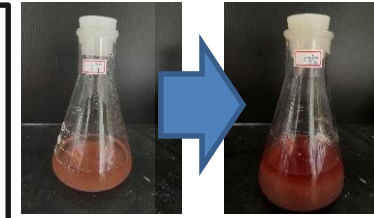
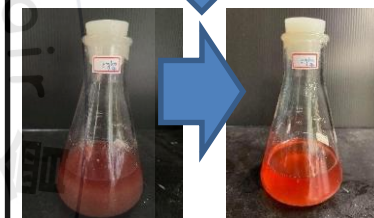


圖41 殘留物重與果皮重量度關係



1g 5g

過濾



1g 5g

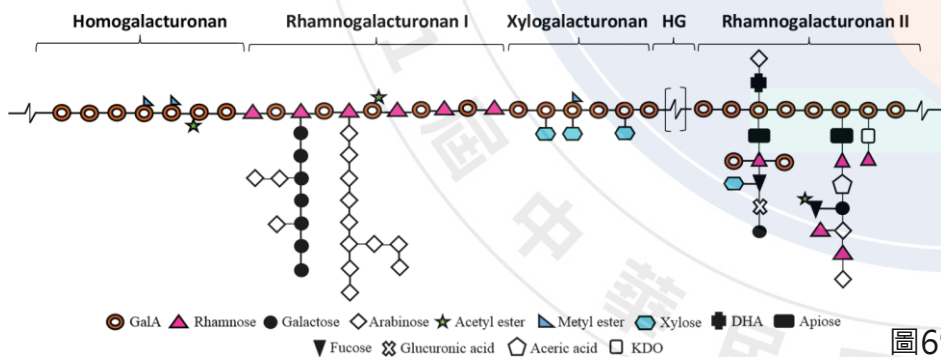


圖69 果膠結構示意圖

● 加熱後使果膠分離，果膠酶更有效的與果膠作用，經過濾後的濾液含有較多的懸浮物，使得溶液較混濁而影響還原糖測量結果。

● 果膠主要為半乳糖醛酸構成的多醣天然聚合物(圖69)，添加果膠酶後使果膠分解為半乳糖醛酸和果膠酸等小分子，使溶液的固形物沉澱下來使溶液較為澄清

# 實驗六：百香果皮在纖維素酶加熱前後還原糖含量及pH值

## 百香果皮未加熱添加纖維素酶

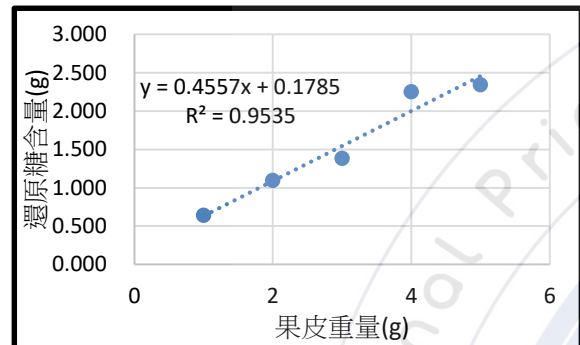


圖43 還原糖含量與果皮重量關係

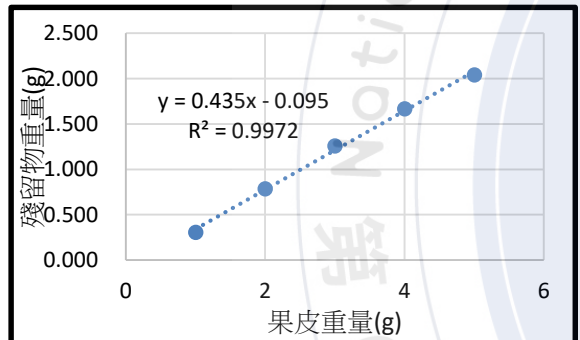
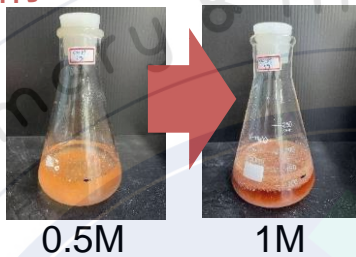
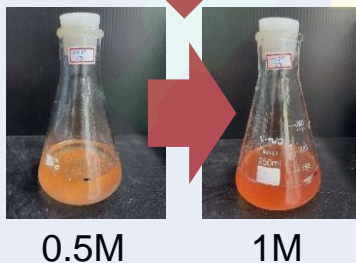


圖44 殘留物重與果皮重量度關係



過濾



## 百香果皮加熱冷卻後添加纖維素酶

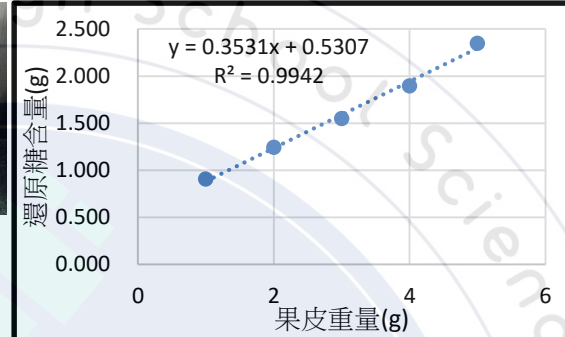


圖46 還原糖含量與果皮重量關係

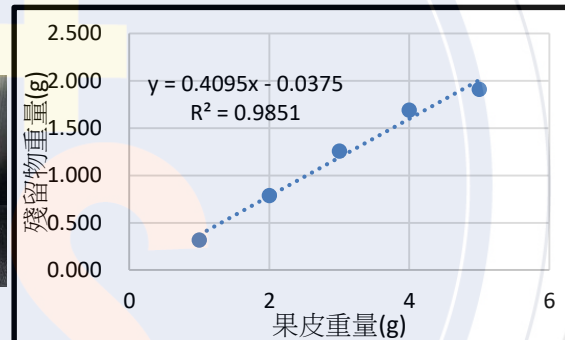
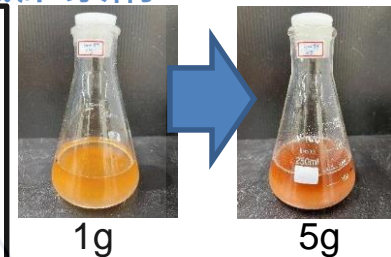
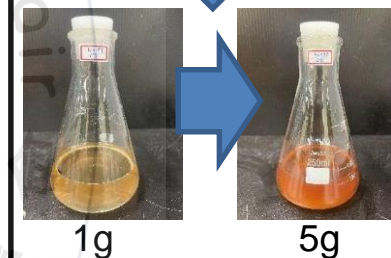


圖47 殘留物重與果皮重量度關係



過濾



- 還原糖含量隨果皮量增加而上升，殘留物重也隨之增加，但皆比原先少，顯示**纖維素酶可有效分解果皮內的纖維素**。

- 還原糖含量及殘留物重均隨果皮量增加而上升，加熱後的pH值上升，因為沸點較低的有機酸隨加熱而逸出。

- 添加纖維素酶的果皮溶液，因分解纖維素，導致溶液較為混濁，過濾後測量還原糖含量時濾液顏色較深，使還原糖含量測量結果較高。

# 實驗七：百香果皮在果膠酶加纖維素酶加熱前後還原糖含量及pH值

## 百香果皮添加果膠酶和纖維素酶未加熱

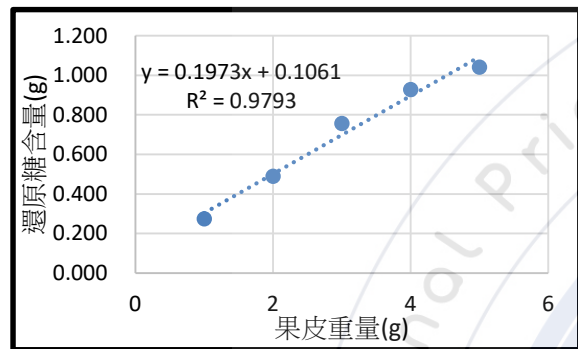
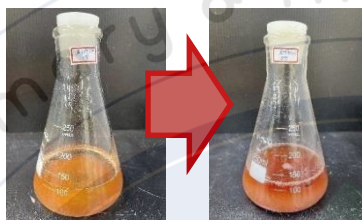


圖49 還原糖含量與果皮重量關係



0.5M 1M

過  
濾

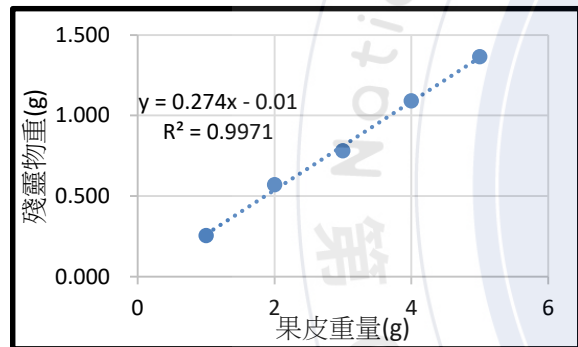
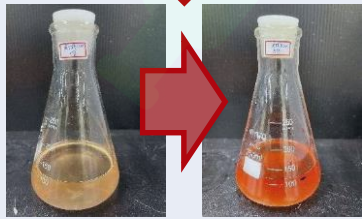


圖50 殘留物重與果皮重量度關係



0.5M 1M

## 百香果皮加熱冷卻後添加果膠酶和纖維素酶

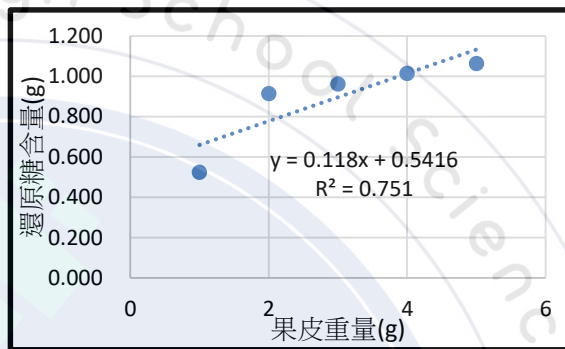
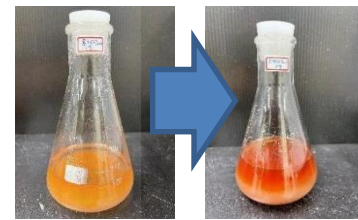


圖52 還原糖含量與果皮重量關係



1g 5g

過  
濾

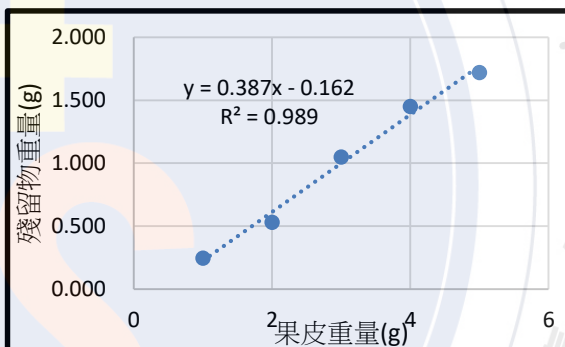


圖53 殘留物重與果皮重量度關係



1g 5g

- 還原糖含量隨果皮重而增加，殘留物重較果皮少，在果膠酶與纖維素酶的共同作用下，使得果膠與纖維素有效分解
- pH值會下降，顯示未加熱下有部分物質未反應或析出

- 還原糖含量隨果皮重而增加，與果膠酶相似，因添加酵素處理需較長時間，可能會導致變質而影響測量結果
- 在短時間內分解出的還原糖較低，不如預期多，故須經由長時間發酵結果來判斷，濾液的pH值也接近，顯示經加熱後可將其他物質反應或析出。



# 實驗八：百香果皮經泡水加熱、酸鹼及添加酵素處理後發酵蒸餾實驗

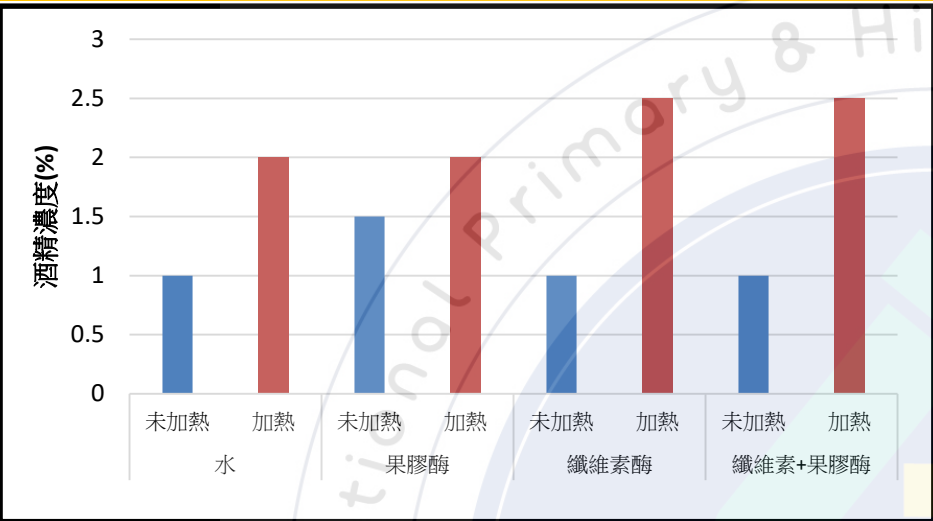


圖55 未經降酸的發酵蒸餾結果  
 未加熱：果膠酶 > 泡水 = 纖維素酶 = 纖維素酶+果膠酶  
 加熱：纖維素酶+果膠酶 = 纖維素酶 > 果膠酶 = 泡水

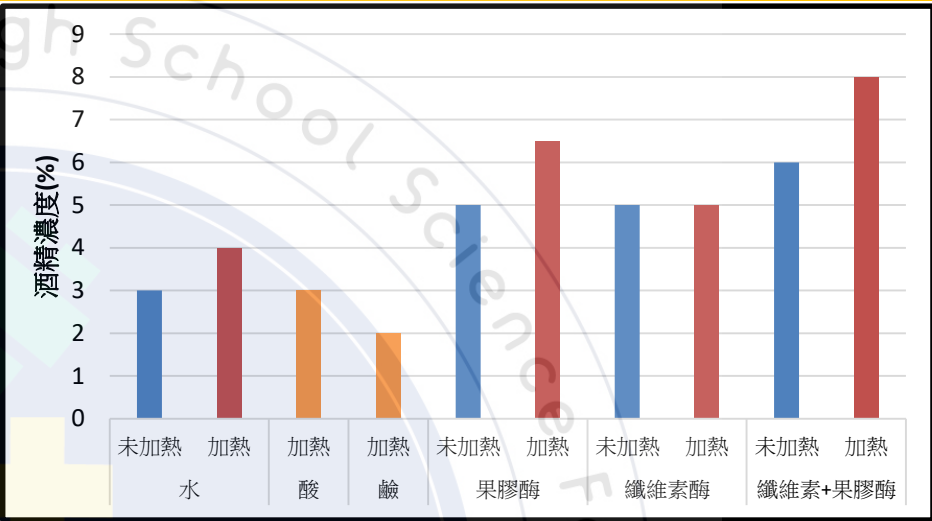
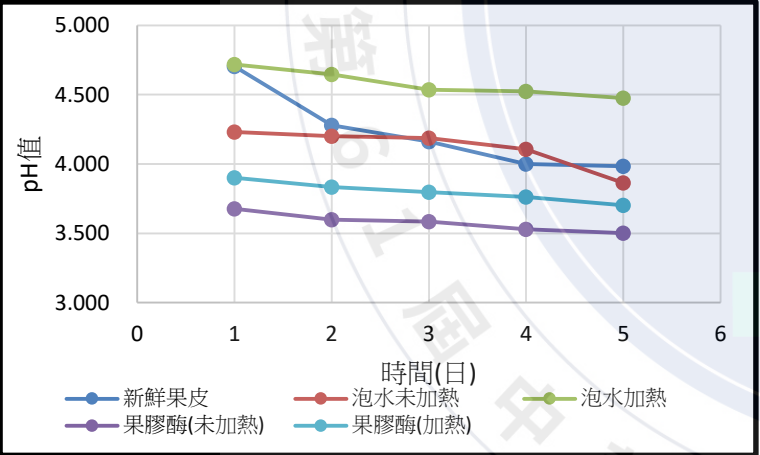


圖56 經過降酸處理發酵的蒸餾結果  
 未加熱：纖維素酶+果膠酶 > 果膠酶 = 纖維素酶 > 泡水  
 加熱：纖維素酶+果膠酶 > 果膠酶 > 纖維素酶 > 泡水 > 加酸 > 加鹼



- 由圖70可知，**pH值隨時間增加下降**，進而影響發酵結果
- 作降酸處理再進行蒸餾，酒精濃度比起未降酸時來的高，除了還原糖含量的因素外，發酵時的**酸鹼環境**亦是重要因素

圖70 發酵時間與pH值關係

- 果皮還原糖含量增加，酒精濃度增加不大，可能因為濾液在發酵前仍須調整至合適發酵的環境，但因酸鹼中和會產生鹽類，過多的鹽類進而影響發酵結果
- 濾液看似澄清，但實為**膠體溶液**而影響測量值



# 結論

- 一、百香果果皮含水量高十分難處理，除了含纖維素外，仍有不少醣類及果膠，若有效利用發酵作生質酒精，**燃料**或現今**防疫消毒**是很好的應用方向。
- 二、百香果一般以果肉釀酒，須加水使**酸性降低**，而果皮酸性較低，富含纖維素及果膠，在未加熱下因**天然酵素**作用，經發酵及一次蒸餾可得約3%的酒精，但會含有毒的甲醇，加熱破壞酵素雖可抑制甲醇生成，但酒精的產率亦會降低。
- 三、由於果皮**含水量高**易腐敗，先烘乾後雖有利於儲藏再利用，但無法有效分解纖維素及果膠，故能發酵蒸餾的酒精偏低，需再經處理提高還原糖含量。
- 四、以酸和鹼處理果皮，其優點為**反應快**，雖然能有效分解纖維素達到還原糖增加的目的，但仍有果膠和酸鹼中和產生的**鹽類**，造成酒精量較預期低，且過多的酸鹼造成環境汙染及藥品的浪費。
- 五、我們以**酵素**處理果皮達到分解的目的，添加果膠酶和纖維素酶後，使汁液較為澄清，可產生更多還原糖，雖然所需**時間較長**，但較為**環保**。
- 六、我們改良流程，先加熱使果膠與纖維素分離，再加入果膠酶使果膠分解以及纖維素酶使纖維素分解，加入酵母發酵一周後，經過三次蒸餾可達75%，已達到防疫用的酒精濃度標準。
- 七、現今果皮處理方法為直接燃燒炭化，發酵後的殘留物可作為生物炭再利用

## 參考資料

- 1.陳文華、郭家倫、黃文松。2016。  
木質纖維素原料解聚醣化技術其應用於升質化學品之生產製程。化工63(4):42-54。
- 2.林詩雅。2016。「茭」糖釀的酒。第56屆中小學科展。南投縣立大成國民中學。
- 3.黃林華、吳厚玖、馬亞琴、王華、孫志高。2015。  
果膠低聚醣的研究進展。食品科學36(19):277-281。
- 4.徐永年、陳嘉鴻。2018。大人的釀酒學。初版。82-84。台北市。麥浩斯出版。