

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

030207

探討以折光計檢測酒精濃度及應用於高端鳳梨
酒的測定

學校名稱：彰化縣立成功高級中學(附設國中)

作者： 國一 胡天恩 國一 劉耕宏	指導老師： 洪世皇 王思璇
-------------------------	---------------------

關鍵詞：體積非加成性、折光計、酒精濃度

摘要

本研究成功開發高端鳳梨酒釀製方法，有助農民疏解鳳梨產銷問題。從以折光計測定酒精度，發現該方法有濃度限制性，經實驗提出正確的測定方式，成功應用在鳳梨酒的酒精檢測。探討乙醇與水的非加成性，避免配製時產生誤差；也探討折光計測定酒精需在 50%內才有準確結果。高端鳳梨酒的製造，探討最佳釀造條件如糖添加量、溫度、酵母菌、及蒸餾等。結果顯示鳳梨汁在 25°Brix 糖度、與酵母菌重量比 100:1、於 15°C-25°C 發酵僅需 4~6 天即可完成，糖的分解率高達 75%，可降低成本，靜置 3 月蒸餾可得鳳梨風味酒。本方法可降低成本，提升售價，提高農民收入並解決鳳梨過剩問題，此模式也能用於其他產量過剩的水果。經蒸餾收集的高濃度酒精，也能用來調配成殺病毒的酒精。

壹、研究動機

一、文獻回顧

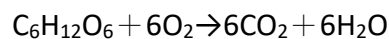
(一) 水果酒的釀造

有關水果酒的釀造，在歷年來科展活動裡，以有不少作品探討，然而水果不同，其最佳釀造條件也有所不同。羅文昕等(第 52 屆科展作品)利用蘋果製酒，發現加冰糖比例在 25%、發酵溫度 25°C 時最佳。曹正秋等(第 43 屆科展作品)認為釀造葡萄酒的砂糖與葡萄質量比約為 1:4，若葡萄較酸澀可以提高比例到 1:3，釀造環境的溫度太低，葡萄幾乎不發酵，所以釀酒需考量溫度。宜蘭大學林世斌教授則提出所有的水果均含有天然的酵母，但必須保持在較低的溫度中自然發酵才可能產生，製酒時必須非常注意避免不良的自然發酵發生。在隔離空氣的密閉式發酵大約充填 3/4 滿後封蓋。目前許多人釀酒都是採取這種自然發酵方式，但產酒率普遍不高，每次品質都不太相同，最好能購買純菌種或自行培養菌株，添加到酒醪中發酵，產品品質才能較為均一。因此要進行水果發酵釀酒時，選擇酵母菌株種類與使用量，及控制糖度及溫度都是很重要的考量。

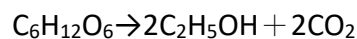
不同於米酒的釀造，水果酒有著芳醇香味與纖細的口感，除了能體會釀造的精深所在的紅酒外、台灣盛產的鳳梨酒也是很值得推廣的釀造酒。水果酒大致分為兩種，一種是以水果或果汁為原料，經發酵釀造製成的「發酵水果酒」，以及將水果浸泡在高濃度酒精中的「再製

酒」，又稱「浸泡酒」、「合成酒」。紅酒跟鳳梨酒都屬於前者，而梅酒跟杏子酒則屬於後者，以代表性的濃厚香氣著稱。實際上白蘭地也是從水果酒蒸餾後，做出來的一種水果酒。大部分的水果都存在著單糖，主要為葡萄糖和果糖，在合適的溫度和濕度條件下，就可以被自然界中存在的微生物發酵產生酒精。早在幾萬年以前，人類已經會貯存食物，採集貯存的水果。經一段時間後，就會自然產生酒精。

水果酒的製作離不開酵母菌，大多數水果表皮皆含有酵母菌。酵母菌是兼性厭氧微生物。在有氧條件下，酵母菌進行有氧呼吸，大量繁殖。反應式如下：

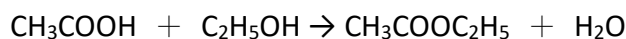


在無氧條件下，則進行無氧呼吸，即進行發酵，產生酒精。其反應式如下：



因為糖發酵產生酒的反應為放熱反應，因此溫度會影響發酵反應，在過去的文獻中，酒精發酵時一般會將溫度控制在 21~24°C。(王仁助，2004)

水果酒在釀造後，要經過一段時間的熟成，才能產生該水果酒的特殊風味。特殊風味的產生來自發酵生成的醇類與水果中的有機酸產生酯化反應。不同水果所含的酸不同，所產生水果酒特殊風味的酯類也不同。以乙醇與醋酸生成乙酸乙酯的酯化反應如下：



(二)鳳梨酒的製造

鳳梨酒是以鳳梨果實為原料發酵而成的酒精飲料。在鳳梨酒的自然發酵過程，其主要的作用是附著在鳳梨皮上的野生型酵母菌對所含有的醣類產生發酵。在發酵過程，隨著酒精度數提高，糖逐漸地減少。在缺氧、呈酸性的鳳梨發酵液中，酵母菌可以生長繁殖，而絕大多數其他微生物因無法適應這一環境而受到抑制。

鳳梨酒的製造有五個最主要的步驟如下：(柯文慶，2018)

- 1.水果必須經過檢查和適當前處理。
- 2.取鳳梨與水依重量比 1:1 製成待發酵液，添加適量的糖、酵母菌當成操縱變因。
- 3.控制不同的發酵溫度，觀察反應速率、推估糖的消耗量。
- 4.熟成：發酵完成後利用換桶、過濾等方式將酒澄清及安定化。

5.裝瓶（酒液必須澄清而安定）。

每個步驟對釀造酒的品質都深具影響，其中的熟成階段最耗時。要釀造出好的鳳梨酒，最重要的還是選用好的原料，即高品質且完全成熟的鳳梨，然而若選用太過熟成的鳳梨，果肉可能會有過多的雜菌，會影響釀造的品質。一般而言，釀造鳳梨酒需 2~3 個月的時間，然高品質的鳳梨酒大概需 6 個月左右的時間才能裝瓶。在此熟成階段，發酵生成的醇類會與鳳梨中的有機酸反應產生具鳳梨酒特殊風味的丁酸乙酯。

當水果經切碎、壓榨之後，可以通過較細的篩網後進行發酵，過去爺爺用自種的葡萄製酒時是用完整果實直接進行發酵，發酵過程中葡萄易浮起，容易與空氣中雜菌作用導致發酵失敗，故本研究在發酵液製作上會先經過切碎、壓榨及過篩的步驟，避免雜菌的汙染。曹正秋等(第 43 屆科展)提出影響釀造葡萄酒速率及酒質的因素有：溫度、糖度、壓力、接觸面積、酵母菌及密封與否。綜觀上述條件，壓力及密封與否是釀造條件，厭氧發酵時，會產生二氧化碳，故須定期洩壓，故本研究分別選定糖度、溫度及酵母菌為操縱變因進行實驗觀察。

(三)折光計的檢測原理

對於酒中酒精度的測定，以酒度計來檢測，是利用不同濃度的酒精在水溶液中有不同的折射角的關係來測定。

在光學中，司乃耳定律是描述光或其他的波，從一個介質進入另一介質(例如玻璃與水)，入射角與折射角關係的一個公式，此定律得到入射角的正弦值與折射角的正弦值的比值為一定值。光從入射折射率小的第一介質進入折射率比較大的第二介質 ($n_2 > n_1$)，因為第二介質光行進的速度較慢 ($v_2 < v_1$)，所以折射角 θ_2 會比入射角 θ_1 小，光線折射後會偏向法線，如圖 1 所示。

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1} \text{ 或者 } n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

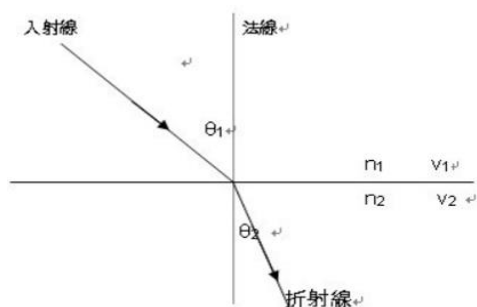


圖 1. 光線折射現象示意圖

折光計的製作原理為司乃耳定律的應用，當光線由某種介質進入另一種不同密度的介質時，它的速度會有所改變，同時在它進入與離開這兩種介質的交界面時，其方向會有一點偏折，這種光線發生偏折的現象稱為折射。許睦毅等(第 52 屆科展作品)曾利用此原理製作簡易折光式糖度計檢測糖的濃度，發現糖濃度越高折射角度越小，該研究的優點是易組裝、檢測方式簡單，但光的折射裝置採用燒杯易導致測量誤差，研究也未對不同入射角所產生的折射角來探討。

(四)影響折光計檢測的因素

果農常利用糖度計來檢測水果的糖度，糖度的測量單位是 **Brix (°Bx)**，代表每 100 g 水中溶解的蔗糖重量(g)。糖度計利用「光在濃度較高的糖水中，折射的角度較大」原理，判定糖水的濃度有多少。自製折光計也是司乃耳定律的應用，除了不同介質會有不同折射率外，影響折光計的因素也是實驗必須操控的。

- 1.溫度的影響：折射率與溫度成反比，溫度越高，折射率越小。介質的溫度上升將導致分子和原子間的距離增大，導致單位長度內的分子團、分子和原子的數量減少。折射率就會隨溫度升高而減小。
- 2.密度的影響：折射率與密度成正比，密度越大折射率也越大。介質的密度增大時，單位長度內的分子團、分子和原子數量增加，折射率會隨密度的增加而增大。
- 3.入射光波長的影響：折射率與波長成反比，波長越長，折射率越小。折射率與單位長度內分子的數量的立方根有一定的關聯性，折射率與單位長度內分子數量的立方根成正比；另一方面，折射率與分子量的大小也有一定的關係，分子量越小，折射率也越小。

4.壓力的影響(對氣體)：折射率與壓力成正比，壓力越大，折射率也越大。一般物質的密度隨壓力的增大而增大，特別是氣態物質。因此，當壓力增大時，分子團、分子和原子間間距變小，單位長度內的分子團、分子和原子的數量就會增大，折射率就會隨壓力的增加而增大。

(五)糖度與酒精度量測的差異

水果中測得的糖度是表示每 100 g 水中溶解的蔗糖重量(g)，為重量百分比濃度。有別於糖度，酒類中酒精度是每 100 毫升的酒中所含有酒精的毫升數，為體積百分比濃度(每 100 毫升的溶液中所含溶質的毫升數)。

對於有加成性的溶劑與溶質，其配製與計算是非常容易的。然而酒為酒精溶在水溶液中，由於酒精與水的非加成性，所以在配製標準酒精溶液或稀釋時，應特別加以注意其計算。

本研究我們以自組折光計來測定酒精濃度，在配製不同酒精濃度的水溶液製作檢量線時，我們發現折射角與酒精濃度並未全部呈正相關性，而是在兩段濃度範圍內分別呈現正相關及負相關性。這現象引起我們的好奇心，進而探討其發生原因。我們發現可能是水與酒精相混時的加成性所引起。因此本研究也先探討水與酒精調配時所引起的加成性造成的誤差程度，來解釋檢量線在高低濃度範圍所引起的差異，做為以折光計測定酒精度的參考。

貳、研究目的

一、自製折光計檢測酒精度檢量線探討

水與酒精相混時的加成性所引起的誤差

準確測定酒精度檢量線方法

二、以自製折光計檢測酒精度應用於鳳梨發酵因素探討

不同糖度時鳳梨發酵酒精的產量






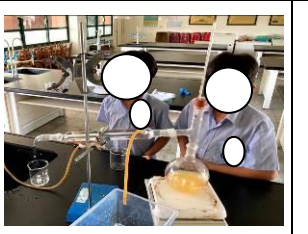
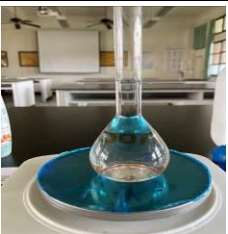
探討鳳梨發酵時不同溫度的酒精產量

探討鳳梨發酵液加入不同重量酵母菌的酒精產量

探討不同沸點區間鳳梨發酵液的酒精濃度

叁、研究設備與器材

			
鳳梨	果汁機	紗布	砂糖
			
漏斗	酵母菌	糖度計	酒度計
			
<p>1. 壓克力透明半圓型水槽。</p> <p>2. 圓形角度盤：白色泡棉，上面印有刻度，共四個象限。</p> <p>3. 大頭針</p>	電子天秤	<p>1. 附側管錐形瓶</p> <p>2. 量筒(測量 CO₂ 體積)</p> <p>3. 水槽(利用排水集氣法收集 CO₂)</p>	<p>1. 燒杯</p> <p>2. 定量管</p> <p>3. 安全吸球</p>
			
鐵架	加熱攪拌器	圓底燒瓶	三叉管

			
溫度計	冷凝管	L形管	藥用酒精
			
雷射筆	簡易蒸餾設備	定量瓶	

肆、研究過程與方法

一、自製折光計及量測操作 (圖 4.1.1 - 4.1.7)

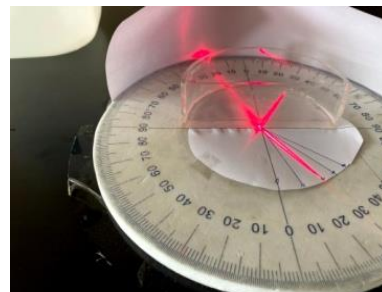
1. 為避免人為因素影響，將白色紙張置於圓形角度盤上，將圓心固定並用尺連線 圓心與圓盤角度，用藍筆將角度連線繪製於白紙上，避免手持雷射筆時晃動導致入射角度不準確產生誤差(圖 4.1.1)。
2. 調整圓形角度盤位置以將指定的人射角度對準雷射筆發射口，將雷射光射向圓形角度盤的圓心(圖 4.1.2)。
3. 放上壓克力透明半圓形水槽觀察入射光是否在角度線上，確保入射光射在圓形角度盤的圓心(圖 4.1.3)。



(圖 4.1.1)



(圖 4.1.2)



(圖 4.1.3)

4. 將待測酒精溶液從恆溫槽(25°C)取出，倒進壓克力透明半圓水槽內(圖 4.1.4)。

5.讀取折射光落於白紙上的折射角(圖 4.1.5)。

6.紀錄實驗結果(圖 4.1.6)



(圖 4.1.4)



(圖 4.1.5)



(圖 4.1.6)

7.使用插針法(圖 4.1.7a)與酒度計重複驗證(圖 4.1.7b)



(圖 4.1.7a)



(圖 4.1.7b)

二、酒精標準溶液的配製

藥用酒精的濃度 95%為體積百分濃度，一般人在稀釋時，常以體積莫爾濃度稀釋的計算方式 $M_1V_1=M_2V_2$ (M_1 為 95%酒精體積百分濃度， V_1 為 95%酒精體積， M_2 為稀釋後酒精溶液的體積百分濃度 V_2 為稀釋後酒精體積) 來計算體積百分濃度。然而，酒精的濃度是體積百分濃度，酒精% = (酒精體積/溶液體積)%=純酒精體積/100。

因水與酒精的相容，使體積非加成性，所以水加入的體積大於(100 -酒精體積)。因此，在酒精標準溶液的配製，應特加注意，不能分別量取酒精和水的體積直接混加，須取欲配製濃度所需要的酒精體積量加水至所要配製的定量體積。例如：若欲以 95%的酒精配製 100 毫升的 20%酒精，先計算所需要 95%酒精需要量， $V_{mL} \times 95\% = 100 \text{ mL} \times 20\%$ ， $V_{mL} = (100 \text{ mL} \times 20\%) / 95\%$ ，亦即要取 V_{mL} 的酒精加水到 100mL，就有 100 毫升的 20%酒精。

(一)不同濃度酒精標準溶液配製方法如下：

- 1.以 95%酒精，依前述方式計算，配製不同體積百分濃度之酒精溶液 100mL。
- 2.計算所需取出的 95%酒精體積加入 100 mL 容量瓶，再加入逆滲透水(RO)水至刻度。酒精濃度分別為 70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%及 5%。
- 3.將配製好的酒精溶液放進冰箱儲存。

(二)酒精濃度與折射角之關係

取出 70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%及 5%的酒精溶液，置於 25°C 水中。偵測時取出倒進壓克力透明半圓水槽內，使用雷射光、插針法觀察入射角與折射角之關係，並利用酒度計驗證。

三、酒精與水加成性探討

- 1.依百分比計算，所需 95%酒精及 RO 水的體積量。
- 2.以定量管分別量取 95%酒精與 RO 水的體積，置於 100mL 容量瓶中。
- 3.補足因酒精與水的非加成性所需加入水的體積。

四、檢量線的製作

- 1.將 50%、40%、30%、20%、10%及 5%的酒精溶液，置於 25°C 水中。偵測時取出倒進壓克力透明半圓水槽內。
- 2.使用雷射光、插針法，量測入射角與折射角之關係，並利用酒度計驗證，製作檢量線。

五、鳳梨酒的發酵製作探討

(一)鳳梨酒發酵操作過程

 <p>1. 將表皮粗略切，保留些許含天然酵母的皮層。</p>	 <p>2. 削好皮後，先秤重量、測量糖度值，置於盤上，準備切片。</p>	 <p>3. 將鳳梨切片</p>	 <p>4. 將切好的鳳梨與水以重量比 1:1 放入果汁機中</p>
 <p>5. 利用果汁機將鳳梨高速攪碎</p>	 <p>6. 調整鳳梨汁的糖度至實驗所需</p>	 <p>7. 利用紗布過濾，取鳳梨澄清液</p>	 <p>8. 秤取適量酵母菌</p>
 <p>9. 將酵母菌加入定量鳳梨發酵液中，並將瓶口密封。</p>	 <p>10. 利用排水集氣法收集 CO₂。</p>	 <p>11. 利用糖度計觀察發酵過程中糖的消耗量</p>	 <p>12. 紀錄不同階段發酵液的糖度值</p>
 <p>13. 將鳳梨發酵液放置三個月進行熟成</p>	 <p>14. 將鳳梨發酵液進行蒸餾取得酒精</p>	 <p>15. 收集不同沸點的蒸餾液</p>	 <p>16. 燃燒測試</p>
 <p>17. 利用酒度計測量酒精濃度</p>	 <p>18. 利用雷射筆觀察不同濃度酒精折射率</p>	 <p>19. 利用插針法測試不同濃度酒精折射率</p>	

(二)不同糖度發酵對糖的分解及酒精產量的影響

在以 400g 鳳梨、400 g 水、及 1g 的酵母菌，加入二號砂糖調整糖度，使糖度值分別為 10、15、20、25、30°Brix，觀察發酵時二氧化碳產量，由化學反應方程式推估 $C_6H_{12}O_6$ 分解量及 $C_6H_{12}O_6$ 分解百分率。

(三)不同溫度發酵對酒精產量的影響

以 400g 鳳梨、400 g 水、及 1g 的酵母菌，及在糖度 25°Brix 下，控制發酵溫度分別在 6°C、15°C、25°C、及 30°C，觀察發酵時二氧化碳產量，推算酒精產量。

(四)不同重量酵母菌發酵對酒精產量的影響

在以 400g 鳳梨、400 g 水、糖度 25°Brix、發酵溫度 15°C 及 0.5g、1g、2g、3g 的酵母菌量下，觀察發酵時二氧化碳產量，推算酒精產量。

(五) 鳳梨酒蒸餾，檢測不同沸點區間餾出物酒精濃度

經過三個月的發酵後，將不同糖度發酵液進行蒸餾。簡易蒸餾裝置的架設如圖 4.5 所示，從左至右依順序為升降台→加熱板→加熱包→圓底燒瓶以三叉夾夾緊夾穩→三叉管→溫度計插座→溫度計→冷凝管→與三插管連接處扣上 C 型環→夾大鐵夾調整高度夾好冷凝管→L 型接收管連接處扣上 C 型環→接上冷卻水管→接收管下方置一量筒收集蒸餾液。設備架設需垂直，加熱包電源插在溫控器上以控制溫度。



圖 4.5 簡易蒸餾裝置的架設

鳳梨酒蒸餾步驟如下：

- 1.取 400mL 發酵液，加入蒸餾裝置的 1000mL 圓底燒瓶內並加入攪拌子，進行發酵液蒸餾。
- 2.收集不同溫度範圍蒸餾液。
- 3.將蒸餾液溫度控制在 25°C ，以入射角 30° 檢測不同沸點區間蒸餾液的酒精濃度。

(六)研究架構流程圖

本研究整個研究架構流程圖，如圖 4.6 所示。

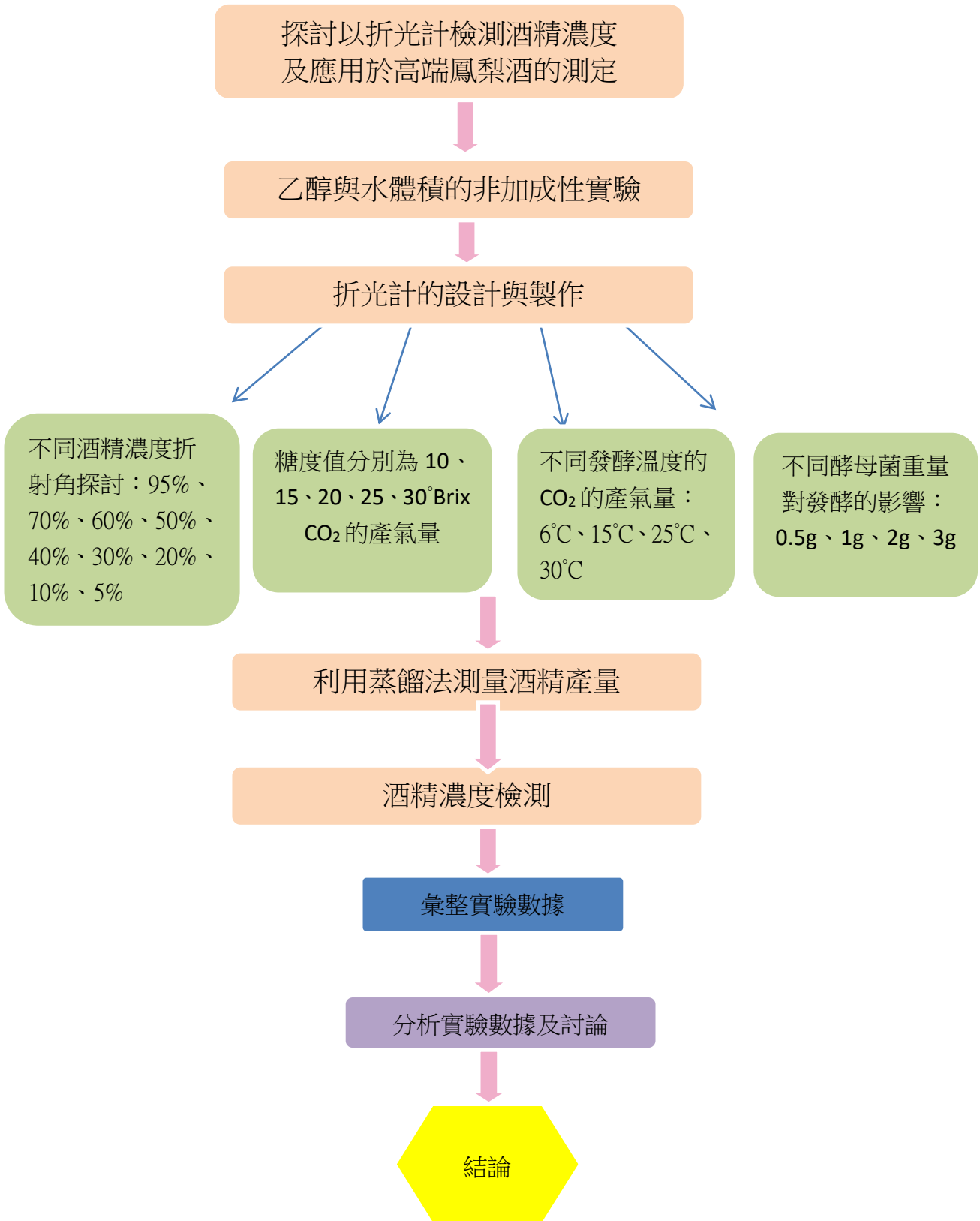


圖 4.6 研究架構流程圖

伍、研究結果

一、酒精濃度與折射角之關係

以 RO 水將 95% 的酒精稀釋成 70%、60%、50%、40%、30%、20%、10% 及 5%，在溫度 25°C，以雷射光、插針法觀察光線の入射角分別從 15、30、40、50、及 60 度所產生的折射角，如表 5.1 所列，並與酒度計比對。

表 5.1 不同酒精濃度在不同入射角的光所產生的折射角

酒精 濃度%	95%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	5%	
	折射角	折射角	折射角	折射角	折射角	折射角	折射角	折射角	折射角	
雷射光 入射角(度)	15	11.5	10	9.5	8.5	9.5	9.5	10	11	11
	30	21	21	20.8	20	20.1	20.5	21	21.5	22
	40	27.5	27.5	27.5	26.5	26.5	27	27.5	28	28.1
	50	33.5	33.5	33.5	32	33	32.5	34	34	34
	60	39	38.5	38.5	37	38	37.5	39	39.5	39
插針法 入射角(度)	15	11.5	11	10	9.8	10.1	11	11	11.5	11.7
	30	22.5	21.5	21	20.5	21	21.5	22.5	22.5	22.7
	40	29	27.5	29	28	28.5	28.7	28.8	29.5	29.3
	50	36	34.5	34.5	34	35.3	35	35	36	36.7
	60	41	41	41	41	40.7	40.7	41	41.5	42
酒度計 °Brix	19	18.2	16.1	15.5	13	10	6.5	3	1	

二、酒精與水混合體積的非加成性

酒精的濃度為體積百分濃度，在配製不同濃度時，一般加水來稀釋。然因水與酒精的相溶，使體積非加成性，所以加入水的體積大於扣除掉酒精體積。實驗中探討在不同酒精濃度的配製時，因酒精與水的非加成性，所需多加入水的體積。其結果如表 5.2。

表 5.2 不同濃度 100mL 酒精體積的非加成性實驗記錄

酒精濃度(%)	取 95%酒精體積(mL)	加入 RO 水體積(mL)	混合後溶液		須補入 RO 水		補水後溶液		稀釋後溶液密度(g/mL)
			體積(mL)	體積(mL)	體積(mL)	體積(mL)	質量(g)	質量(g)	
70%	73.7	26.3	97.60	97.55	2.40	2.45	86.83	86.94	0.8694
			97.56		2.44		86.97		
			97.50		2.50		87.01		
60%	63.2	36.8	97.45	97.42	2.55	2.58	88.89	89.22	0.8922
			97.40		2.60		89.37		
			97.40		2.60		89.41		
50%	52.6	47.4	97.10	97.15	2.90	2.85	91.59	91.43	0.9143
			97.16		2.84		91.37		
			97.18		2.82		91.33		
40%	42.1	57.9	97.67	97.63	2.33	2.37	93.11	93.30	0.9330
			97.60		2.40		93.34		
			97.58		2.42		93.45		
30%	31.6	68.4	98.20	98.20	1.80	1.80	95.01	95.03	0.9503
			98.20		1.80		95.02		
			98.18		1.81		95.05		
20%	21.0	79.0	98.84	98.85	1.16	1.15	96.35	96.36	0.9636
			98.86		1.14		96.30		
			98.85		1.15		96.44		
10%	10.5	89.5	99.60	99.60	0.40	0.40	97.75	97.76	0.9776
			99.59		0.41		97.81		
			99.60		0.40		97.71		
			99.90		0.10		98.30		

5%	5.3	94.7	99.90	99.90	0.10	0.10	98.28	98.29	0.9829
			99.90		0.10		98.29		

三、檢量線的製作

配製 5%、10%、20%、30%、40%及 50%的酒精標準溶液，在 25°C 溫度下，以入射角 30° 進行量測各濃度酒精標準溶液的折射角，以紅色雷射光及插針法量測，劃出檢量線。以紅色雷射光法及以插針法測得濃度與折射角之關係，分別為 $y = -0.044x + 22.00$ ，和 $y = -0.051x + 23.10$ 。如圖 5.1 及 5.2 所示。比較與市售酒度計檢驗相同範圍酒精濃度之折射角，其相關性如圖 5.3 所示，其相關係數 R^2 高達 0.9953。

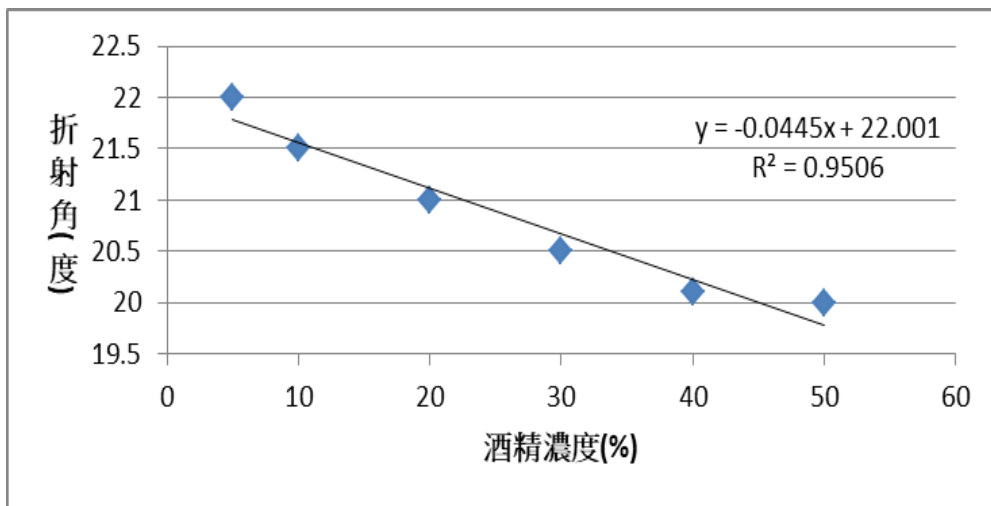


圖 5.1 以紅色雷射光法量測折射角與酒精濃度之檢量線(入射角 30°)

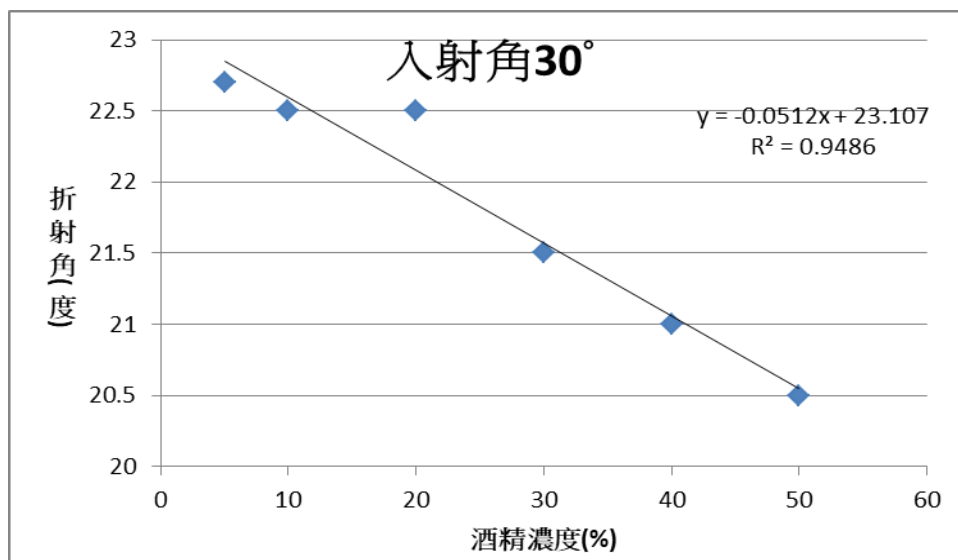


圖 5.2 以插針法量測折射角與酒精濃度之檢量線 (入射角 30°)

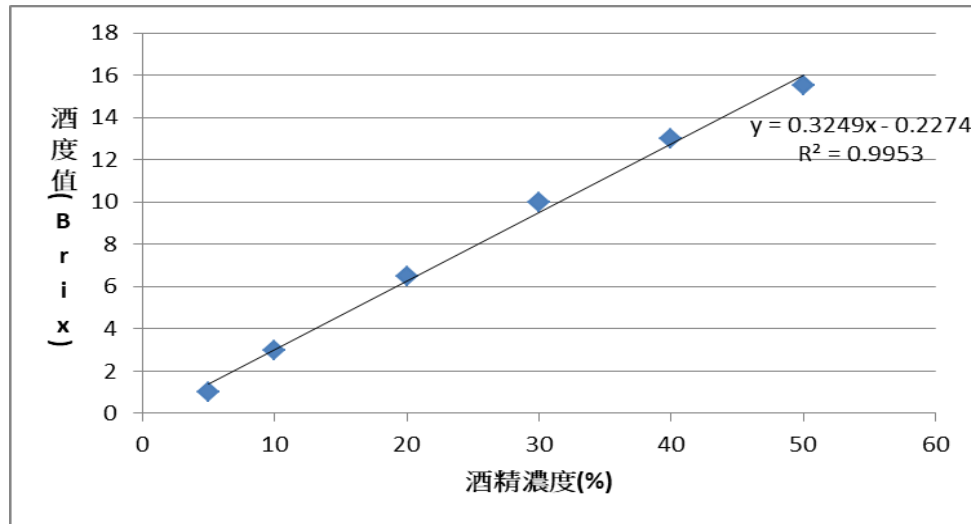


圖 5.3 酒精濃度 50%以下酒精濃度與酒度值之相關性

四、鳳梨酒的發酵製造探討

(一)糖度對鳳梨發酵酒精產量影響

在鳳梨汁(400g 鳳梨、水 400 g、及 1g 的酵母菌)的發酵，加入二號砂糖調整糖度分別為 10、15、20、25、30°Brix，觀察發酵時二氧化碳產量，由化學反應方程式推估 $C_6H_{12}O_6$ 分解量及 $C_6H_{12}O_6$ 分解百分率及酒精產生量。結果如表 5.3 所列。

表 5.3 不同糖度鳳梨汁發酵糖的分解率及酒精產量

糖度	10°Brix 40g 砂糖	15°Brix 60g 砂糖	20°Brix 80g 砂糖	25°Brix 100g 砂糖	30°Brix 120g 砂糖
CO ₂ 產氣量(cm ³)	5433	8865	13446	18780	13332
CO ₂ 重量(g)	10.76	17.55	26.62	37.18	26.37
C ₂ H ₅ OH 重量(g)	11.25	18.35	27.83	38.87	27.57
C ₆ H ₁₂ O ₆ 分解量(g)	22.01	35.90	54.45	76.05	53.94
C ₆ H ₁₂ O ₆ 分解百分率	55%	59.83%	68.18%	76.05%	44.98%

* CO₂密度 1.98Kg/m³，C₂H₅OH 密度 0.789g/cm³。

(二)溫度對鳳梨發酵酒精產量影響

發酵於最佳糖度(25°Brix)，控制溫度分別在 6°C、15°C、25°C 及 30°C，觀察發酵時二氧化碳產量，推算糖的發酵分解率及酒精產量。實驗結果如表 5.4 所列。

表 5.4 不同發酵溫度下糖的分解率及酒精產量

	6°C	15°C	25°C	30°C
CO ₂ 產氣時間	45 天	5 天	4 天	3 天
CO ₂ 產氣量(cm ³)	18920	18642	18780	16653
CO ₂ 重量(g)	37.46	36.91	37.18	32.97
C ₂ H ₅ OH 重量(g)	39.16	38.59	38.87	34.47
C ₆ H ₁₂ O ₆ 分解量(g)	80.1	75.49	76.05	67.43
C ₆ H ₁₂ O ₆ 分解百分率	80.1%	75.49%	76.05%	67.43

(三)酵母菌的量對酒精產量影響

將發酵鳳梨汁液的糖度控制在 25°Brix，於 15°C，分別加入 0.5g、1g、2g、3g 的酵母菌發酵，觀察發酵時二氧化碳產量，推算糖的發酵分解率及酒精產量。實驗結果如表 5.5 所列。

表 5.5 不同酵母菌重量下糖的分解率及酒精產量

酵母菌重量	0.5g	1g	2g	3g
CO ₂ 產氣時間	4 天	5 天	6 天	8 天
CO ₂ 產氣量(cm ³)	13269	18780	18864	19108
CO ₂ 重量(g)	26.27	37.18	37.35	37.83
C ₂ H ₅ OH 重量(g)	27.46	38.87	39.05	39.55
C ₆ H ₁₂ O ₆ 分解量(g)	53.73	76.05	76.40	77.38
C ₆ H ₁₂ O ₆ 分解百分率	53.73%	76.05%	76.40%	77.38%

(四)不同糖度鳳梨發酵液蒸餾的酒精產量

將不同糖度發酵液經三個月發酵後進行蒸餾，收集不同溫度範圍蒸餾液。檢測各蒸餾液的酒精濃度及試驗其可燃性。實驗結果如表 5.6 所列。

表 5.6 不同糖度鳳梨發酵液的蒸餾酒精產量

糖度 沸點區間(°C)	10°Brix	15°Brix	20°Brix	25°Brix	30°Brix	燃燒 測試
	40g 糖	60g 糖	80g 糖	100g 糖	120g 糖	
78~80°C 體積(mL)	1.1	1.7	2.6	3.6	2.6	可燃
80~85°C 體積(mL)	4.5	7.2	11.0	15.4	11.0	可燃
85~90°C 體積(mL)	6.6	10.6	16.20	22.6	16.0	可燃
90~95°C 體積(mL)	9.3	15.0	22.9	32	22.7	不可燃
95~98°C 體積(mL)	16.5	26.8	40.9	57	40.5	不可燃
C ₂ H ₅ OH 體積(mL)	14.25	23.26	35.3	49.26	34.94	
C ₂ H ₅ OH 重量(g)	11.25	18.35	27.83	38.87	27.57	

五、以自製折光計檢測鳳梨等水果酒濃度檢測

將蒸餾出的酒精溶液，以 RO 水稀釋至原體積的兩倍後，置於 25°C 水中。偵測時取出倒進壓克力透明半圓水槽內，使用雷射光、插針法，以 30° 入射角量測其折射角，從所製作的檢量線讀取稀釋酒的酒精含量後，乘以 2 倍，即為酒的酒精度。表 5.8 為不同溫度區段收集蒸餾液的酒精濃度。

表 5.8 不同區段沸點的酒精濃度

蒸餾沸點	78~80°C	80~85°C	85~90°C	90~95°C	95~98°C
紅色雷射光	85.4%	85.4%	58.5%	31.5%	13.5%
插針法	82.3%	82.3%	62.8%	35.4%	15.9%
酒度計	81.4%	81.4%	63%	32.2%	13.7%

陸、討論

一、酒精濃度與折射角之關係

在以紅色雷射光及插針法以不同入射角的光所產生的折射角來量測不同濃度酒精的實驗數據(表 5.1)，發現不管以紅色雷射光或插針法測量不同入射角時，酒精濃度與折射角的關係並不明確，往往在中間濃度(約在 50%)出現轉折，而是在兩段濃度範圍內分別呈現正相關及負相關性。在以市售酒度計驗證不同酒精濃度與酒度值(Brix)(折射角)關係時，也發現相似現象，如圖 6.1 所示。在酒精濃度高於 50%以上，就呈現不穩的關係圖。若在 50%以下，其線性關係就相當好。

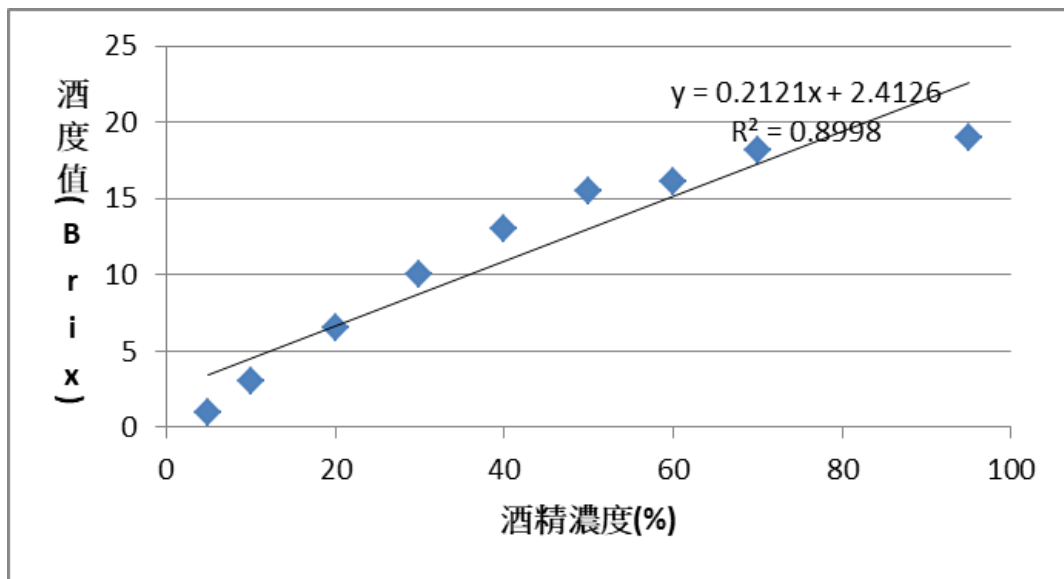


圖 6.1 以酒度計測量不同濃度酒精的酒度值(Brix)

因此我們也將以紅色雷射光或插針法測量在 50%以下不同酒精濃度的折射角，發現也具有線性關係。紅色雷射光在入射角為 15°、30°、40°時，酒精濃度與折射角的相關係數 R^2 分別為 0.9409、0.9506 及 0.9605，而入射角 50°、60°時，酒精濃度與折射角的相關係數 R^2 較為降低，分別為 0.802 及 0.7996。以插針法在入射角為 15°、30°、40°時，酒精濃度與折射角的相關係數 R^2 分別為 0.9507、0.9486 及 0.9198，而入射角 50°、60°時，酒精濃度與折射角的相關係數 R^2 較為降低，分別為 0.7721 及 0.5956。因此，在後續的實驗量測，我們選在 30°的入射角對 50%以下濃度的酒精做量測，亦即用折光度計測酒精只適合於 50%以下濃度的酒精。

二、酒精與水混合體積的非加成性

酒精的濃度為體積百分濃度，因水與酒精能相溶，使得體積非加成性，所以在配製不同濃度時，需多加入水來彌補其相溶所減少的體積。此體積非加成性所減少的體積，應來自水分子與乙醇分子間產生的氫鍵大於水與水分子間及乙醇與乙醇分子間的氫鍵作用力，使結合的分子體積縮小，增加分子緊密度，減少了混合後的體積。在實驗中我們探討在不同酒精濃度配製時，所需多加入水的體積，實驗結果如表 5.2。讓我們很驚訝的是，在配製不同濃度酒精所需多加入水的體積也跟折光度量測一樣，在 50%濃度前後分成兩段，如圖 6.2 所示。圖中可看出乙醇與水的體積非加成性，在濃度 50%時達到飽和。在濃度 5~50%的酒精濃度，隨著濃度增加，因氫鍵作用所減少的體積愈大，當超過 50%以上濃度時，超過生成氫鍵的飽和濃度，所以減少的體積量也隨之降低。這也間接反應了前面所敘述的分子的大小及緊密性會影響折射率的測定。因此在以折光度來測酒精濃度時，只適合於 50%以下的濃度。

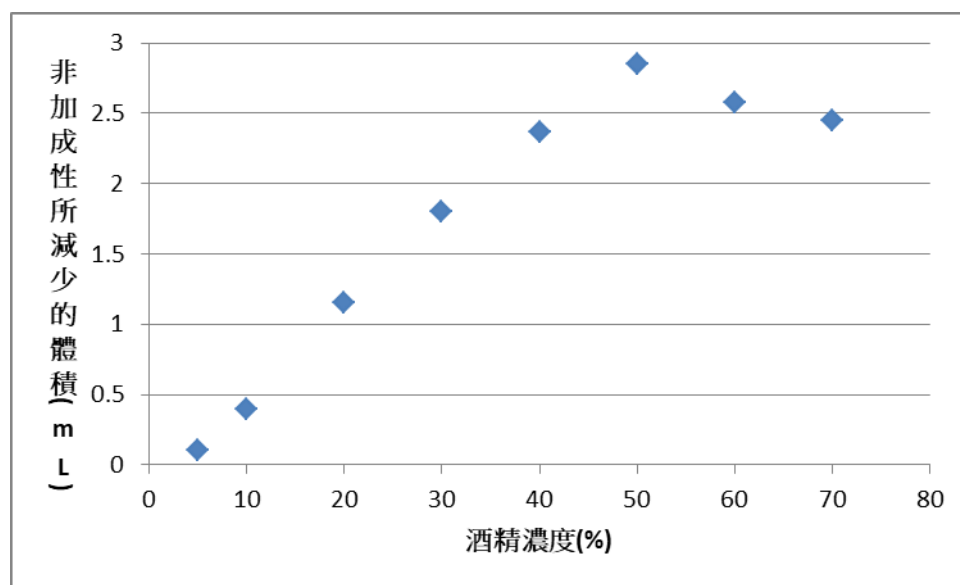


圖 6.2 配製 100mL 不同酒精濃度因相容減少的體積

三、以折射度來測酒精濃度樣品製備及適合量測濃度範圍

利用折光計的測定，除了不同介質會有不同折射率外，也不能疏忽影響折光計量測的因素，例如溫度、分子緊密度、入射光波長、及壓力，然而壓力對液體樣品影響不大。因此這些因素在實驗中都得加以控制，因而實驗中折光計的量測都控制溫度在 25°C。

因光線在照射時遇到粒子會有散射現象，影響測定訊號，因此樣品中不得有懸浮物質。水果酒釀造液中，存在很複雜的成分及粒子，因此不能直接使用折光計來量測其酒精含量。必須先經過蒸餾後，取得的蒸餾酒已不含雜質，才能以折光計來量測其酒精含量。

依照我們實驗結果，要以折光計來量測酒精含量，也必須在含 50%酒精以下的酒才能較準確量測。超過 50%酒精的酒就會失去其準確性，所以我們建議將蒸餾出來的蒸餾酒，將酒的樣品量先加水至其兩倍的體積，亦即稀釋為一半的酒精度再量測，測得的酒精濃度再乘以兩倍就是蒸餾酒的酒精濃度。

四、鳳梨酒的發酵製造探討

(一)糖度對鳳梨發酵酒精產量影響

由於不同季節的鳳梨或不同品種的鳳梨，會有不同的糖度，而糖度則是影響酒精產量的主要因素。實驗中以加入二號砂糖的量來改變發酵液中糖的濃度，利用排水集氣法收集二氧化碳的體積，得知其發生量，並由化學反應方程式的關係性，換算出酒精的重量，及推估 $C_6H_{12}O_6$ 分解量及分解百分率。實驗結果如表 5.3。表中可發現隨著糖度的增加，二氧化碳氣量也增多，在加入 100 克砂糖的 25°Brix 糖度的發酵液，產生二氧化碳氣量 18780 cm^3 最多。將二氧化碳體積乘以 CO_2 密度 1.98 Kg/m^3 ，可以算出二氧化碳的重量，再由化學反應方程式算出糖類參與反應的重量，進而推估出糖的分解百分率。從表 5.3 可看出酒精的產量及糖的轉化率，也以 25°Brix 最高。糖度 30°Brix 的發酵液反而下降許多，可能因為糖度太高致使酵母菌脫水，甚至比 20°Brix 的發酵液少。因此鳳梨酒的發酵製造，將發酵液的糖度調為 25°Brix 糖度，可得較高的酒精產量。

(二)溫度對鳳梨發酵酒精產量影響

從前述實驗發現發酵液糖度調整為 25°Brix 有較高的酒精產量及糖分解率，因此在探討發酵溫度對酒精產量的影響，我們將發酵液糖度控制在 25°Brix。表 5.4 所列為不同發酵溫度下的酒精產量及糖的分解效率。從表中，可發現除在 30°C 發酵，在 6°C、15°C、及 25°C 的鳳梨發酵液，CO₂ 的產氣量都相差不大，在 6°C 冰箱中的鳳梨發酵液，CO₂ 的產氣量略為高些，但發酵時間長達 45 天，較不利於商業用途。隨著溫度升高，所需發酵時間就愈短。表 5.4 也可發現 30°C 的鳳梨發酵液酒精的產量最少，可能是因為發酵溫度高時，快速的產生酒精，而酒精的濃度會抑制酵母菌的生長。從 6°C 的發酵，糖的分解率高達 80.10%，比 30°C 發酵的 67.43% 高出 12.67%，可見此株酵母菌低溫發酵時能強勢發酵，而抑制腐敗菌生長。

(三)酵母菌的量對鳳梨發酵酒精產量影響

將發酵鳳梨汁液的糖度控制在 25°Brix(100g)，於 15°C，分別加入 0.5g、1g、2g、3g 的酵母菌發酵，觀察發酵時二氧化碳產量，推算糖的發酵分解率及酒精產量。如表 5.5 所列。從表中可發現在酵母菌(0.5g)與糖(100g)的重量比為 1:200 的鳳梨汁液發酵，其 CO₂ 的產氣量、酒精產量及糖分解率分別為 13269cm³、27.46g、53.73%，效率並不高。而酵母菌的重量分別為 1g、2g、3g 時發酵，CO₂ 的產氣量分別為 18780、18864 及 19108cm³，酒精產量分別為 38.87、39.05 及 39.55g，糖分解率分別為 76.05%、76.40%、77.38%，三者差異並不大。雖然酵母菌重量愈多時，一開始的產氣量較快，但 16 小時之後三者的產氣量就趨於穩定，在五天後的產氣量也降為 3mL/hr。從這些結果，在鳳梨酒的發酵產製，糖與酵母菌的最佳重量比為 100:1。

(四)不同糖度鳳梨發酵液蒸餾的酒精產量

將不同糖度發酵液經三個月發酵後進行蒸餾，收集不同溫度範圍蒸餾液。檢測各蒸餾液的酒精濃度及試驗其可燃性。結果如表 5.6 所列。表中可發現加入 40g、60g、80g、100g 及 120g 糖的發酵液，在 78~98°C 間可分別蒸餾出 38、61.3、93.6、130.6 及 92.8 mL 的蒸餾液；100 克糖的鳳梨發酵液在各個沸點區間蒸餾液的體積皆為最多，共蒸餾出 130.6mL 的液體，而第一滴蒸餾液滴出的溫度約為 78°C (為酒精與水的共沸點)。

實驗中，取沸點 78~80°C、80~85°C、85~90°C、90~95°C、95~98°C 的蒸餾液各 2mL，利用打火機點火進行燃燒性測試。結果顯示，在 78~90°C 區間的蒸餾液皆為可燃，其中又以 78~80°C 的蒸餾液火焰較大，在此溫度下蒸出來的蒸餾液大致為乙醇與水的共沸物(乙醇的沸點 78.4°C，與水的共沸點為 78.2°C，為 95.63%的乙醇與 4.73%的水混合溶液)，因乙醇含量極高，故很容易燃燒。隨著溫度升高的蒸餾液，其乙醇含量越來越低，燃燒性也越來越低。因此，90~95°C、95~98°C 的蒸餾液經試驗皆為不可燃，顯示這區段的蒸餾液的水分含量已升高，乙醇含量也降低到無法燃燒。

五、以自製折光計檢測鳳梨等水果酒濃度檢測

在鳳梨發酵液蒸餾時，將各溫度區間所收集的蒸餾液，利用自製折射計量測折射角，將所測量之折射角帶入先前實驗回歸所推得檢量公式可得待測物濃度。

以紅色雷射光入射 30°角時，酒精濃度與折射角之關係為 $y = -0.0445x + 22.001$ ；

以插針法入射 30°角時，酒精濃度與折射角之關係為 $y = -0.0512x + 23.107$ ；

以酒度計入射 30°角時，酒精濃度與折射角之關係為 $y = 0.3249x - 0.2247$ 。

由於先前已將取待測液 50 mL，再補水至總體積 100mL，帶入公式後所得之濃度需乘以 2，即可求出不同沸點區間酒精的濃度，結果如表 5.8 所示。從表中可看出在 78~80°C 及 80~85°C 溫度範圍，三種測定法均測得酒精含量在 81.4-85.4%，在 85~90°C 溫度範圍，則在 58.5-63%左右，在 90~95°C 則為 31.5-35.4%，95~98°C 則約 13.5-15.9%。此結果與燃燒試驗的結果相符合。90~95°C 及 95~98°C 的蒸餾液經試驗皆為不可燃，因濃度在 35.4%以下。一般而言，在室溫下，乙醇與水混合液在 40%以上即具有可燃性。在酒精水溶液中，隨者酒精含量的提高，燃燒的溫度越低，例如：乙醇 100% (12°C)、80%(19°C)、60%(22.75°C)、40%(26.25°C)、20%(36.75°C)、10% (49°C)。因此，在進行與酒精有關的實驗火使用酒精溶液時，必須注意其燃燒安全性。

從蒸餾液中酒精濃度的檢測，使用紅色雷射光或插針法所求得的酒精濃度與市售酒度計量測出來的濃度差異並不大。在五個溫度區間裡，蒸餾液中酒精濃度的相差都在 4%以內，可見以自製折射計來測量酒精的濃度具有便利性又準確性，是可用來檢測白酒或如蒸餾鳳梨酒等水果酒。

柒、結論

- 一、本研究從為解決農民鳳梨過剩問題，成功地開發釀酒成高端蒸餾鳳梨酒產品的方法；從以折光計測定酒精含量的過程，我們也發現及探討該方法使用的濃度限制性，並提出正確的測定方式，成功地應用在鳳梨酒的酒精檢測，可做為未來各種酒類檢測參考。從釀造蒸餾鳳梨酒的效益分析結果，確能解決農民鳳梨過剩問題，此模式也能套用於其他產量過剩的水果。經蒸餾出來的高濃度酒精，也能用來調配成殺病毒的酒精。
- 二、研究中，我們發覺由於乙醇與水的非加成性，在酒精濃度的配製時要注意到，乙醇與水相容減少的體積要由水來補足。在酒精體積百分濃度為 50%時，分子間的緊密度最高，減少的體積最多；補足的水量，會隨著酒的濃度不同而不同。
- 三、以折光計測定酒精含量時，檢量線的製作要在酒精濃度在 50%以下才有穩定的線性關係。因此在測定高濃度酒精含量時，必須取樣品量以水稀釋至兩倍樣品量再測定，測定結果再乘以二倍即可很準確的得到酒精度。
- 四、鳳梨酒發酵液的蒸餾，沸點在 78~80°C、80~85°C 時的蒸餾液，使用紅色雷射光、插針法及酒度計所測得的酒精濃度最高，分別是 85.4%、82.3%及 81.4%，酒精純度較高，亦適合拿來稀釋當成防疫酒精。
- 五、使用紅色雷射光、插針法所求得的酒精濃度與市售酒度計量測濃度差異並不大，在五個溫度區間裡，濃度相差都在 4%以內，驗證了自製折射計測量酒精濃度的可靠性、方便又準確。

捌、參考資料

- 1.穀物中的紅寶石「紅藜釀酒」之探討 第 58 屆科展
- 2.好酒不見～水果酒釀造之研究與應用 第 52 屆科展
- 3.釀造葡萄酒之探討 曹正秋等四人 第 43 屆科展
- 4.林世斌 本土水果釀造實務 宜蘭大學
- 5.台灣大學化學實驗手冊 單元四 簡單蒸餾與分餾
- 6.王仁助 製酒技術簡介 苗栗區農業專訊 第二十一期
- 7.柯文慶 製酒技術高階訓練班講義 2018

【評語】 030207

同學們研究鳳梨發酵酒精的各種可能性，但控制變因應該再更加仔細，對研究的熱情及努力值得鼓勵。

作品簡報

探討以折光計檢測酒精濃度 及應用於高端鳳梨酒的測定

組 別

國中組

科 別 編 號

化學科

030207



◆ 前言：研究問題

一、鳳梨酒釀造

- ◆ 為解決農民鳳梨產量過剩問題
- ◆ 歷年科展只對葡萄及蘋果等水果釀造進行探討



二、折光計設計

- ◆ 司乃耳定律的應用

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

或者 $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$



三、研究問題

(一) 自製折光計檢測酒精度檢量線

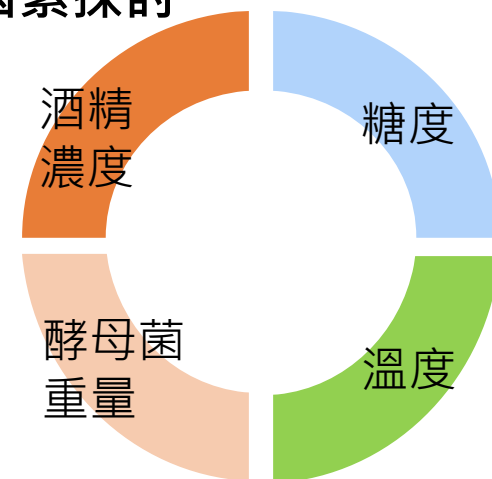
探討

- ◆ 加成性的誤差
- ◆ 提出正確檢測方法



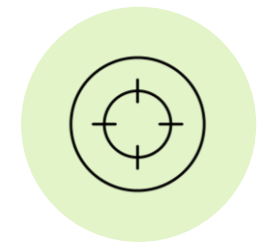
(二) 以自製折光計檢測酒精度應用

於鳳梨發酵因素探討



研究流程

探討以折光計檢測酒精濃度及應用於高端鳳梨酒的測定



Step 1

折光計的
設計與製作



Step 2

乙醇與水體積的
非加成性實驗

不同變因探討

糖度值

發酵溫度

酵母菌重量

酒精濃度折射角

Step 3

鳳梨酒釀造



Step 4

利用蒸餾法測
量酒精產量



Step 8

結論



Step 7

分析與討論



Step 6

彙整數據

發展出正確
檢測方式

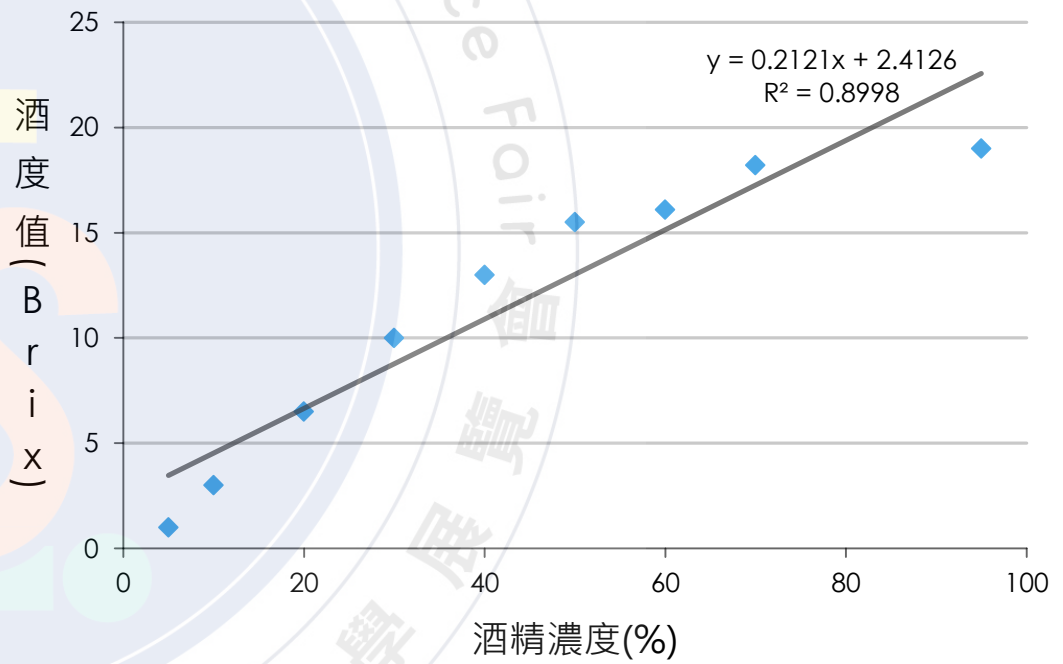
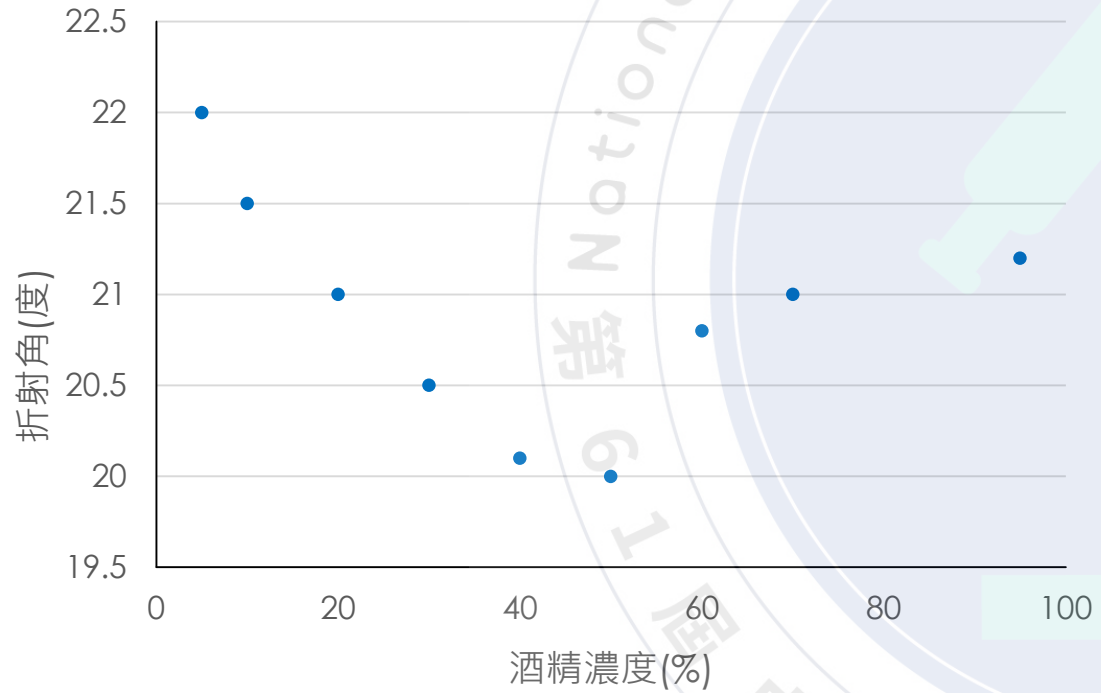


Step 5

酒精濃度檢測

研究結果與討論

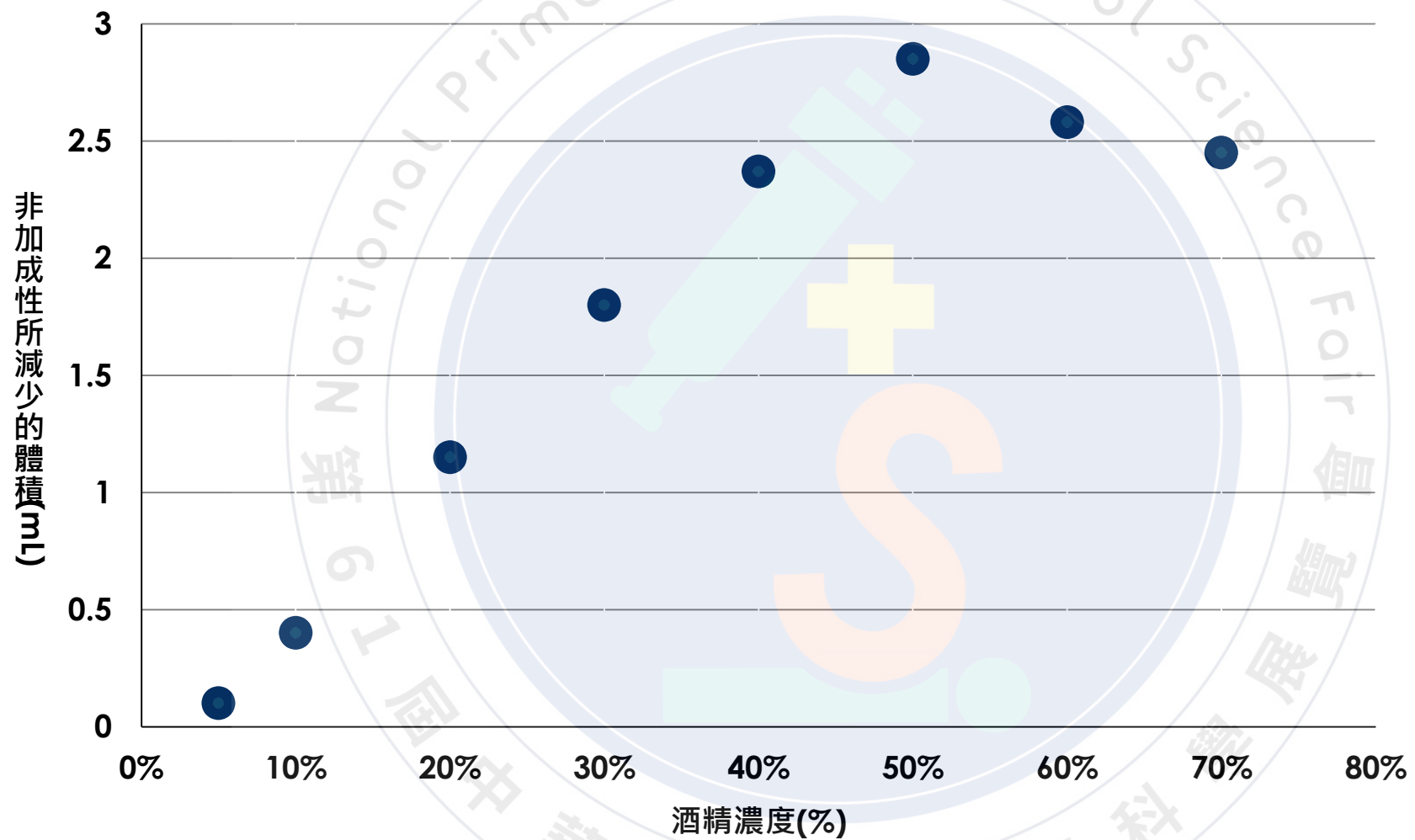
一、酒精濃度與折射角之關係



以紅色雷射光測量酒精折射角

以酒度計測量酒精折射角

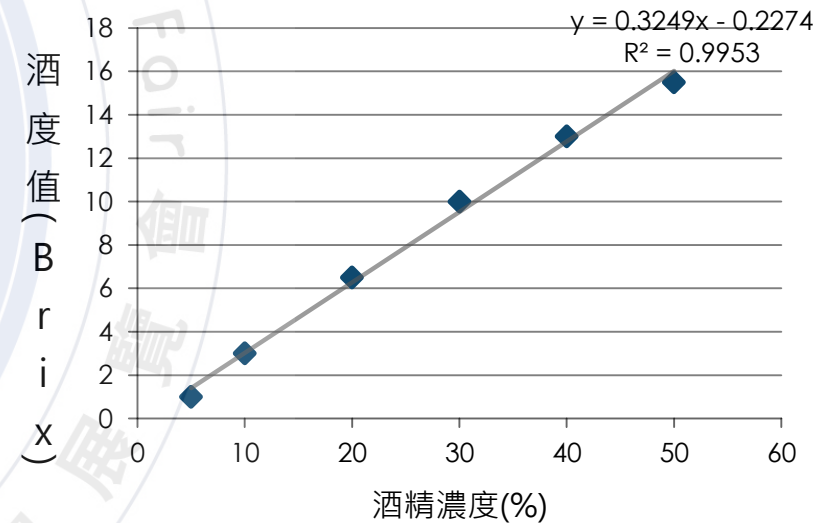
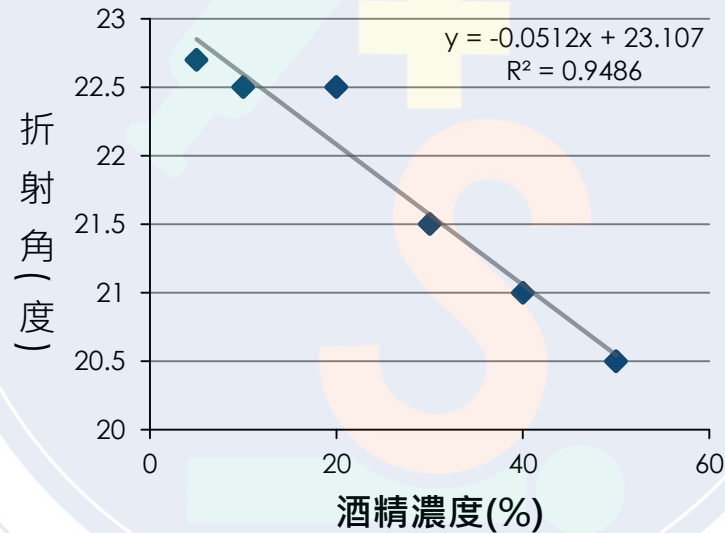
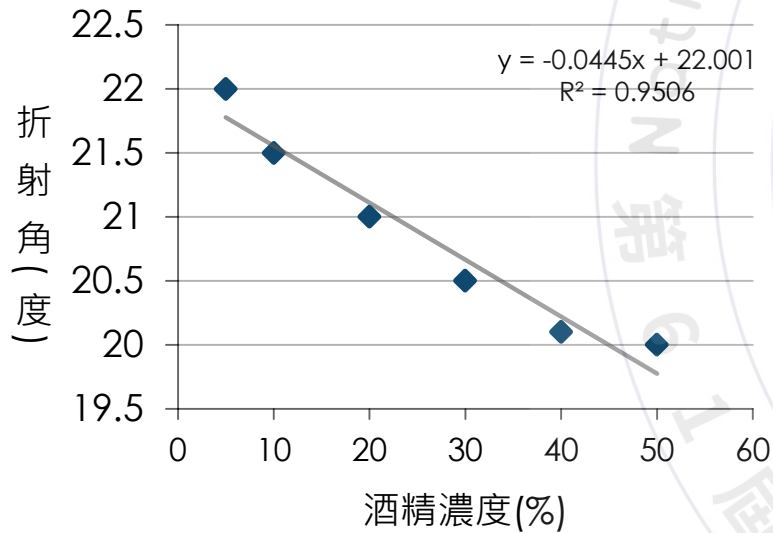
二、酒精與水混合體積(100mL)的非加成性探討



酒精與水混合體積(100mL)的非加成性實驗

三、檢量線的製作

配製5%、10%、20%、30%、40%及50%的酒精標準溶液，在25 °C溫度下，以入射角30°進行量測各濃度酒精標準溶液的折射角，以紅色雷射光及插針法量測，劃出檢量線。



以紅色雷射光法量測折射角與酒精濃度之檢量線(入射角30°)

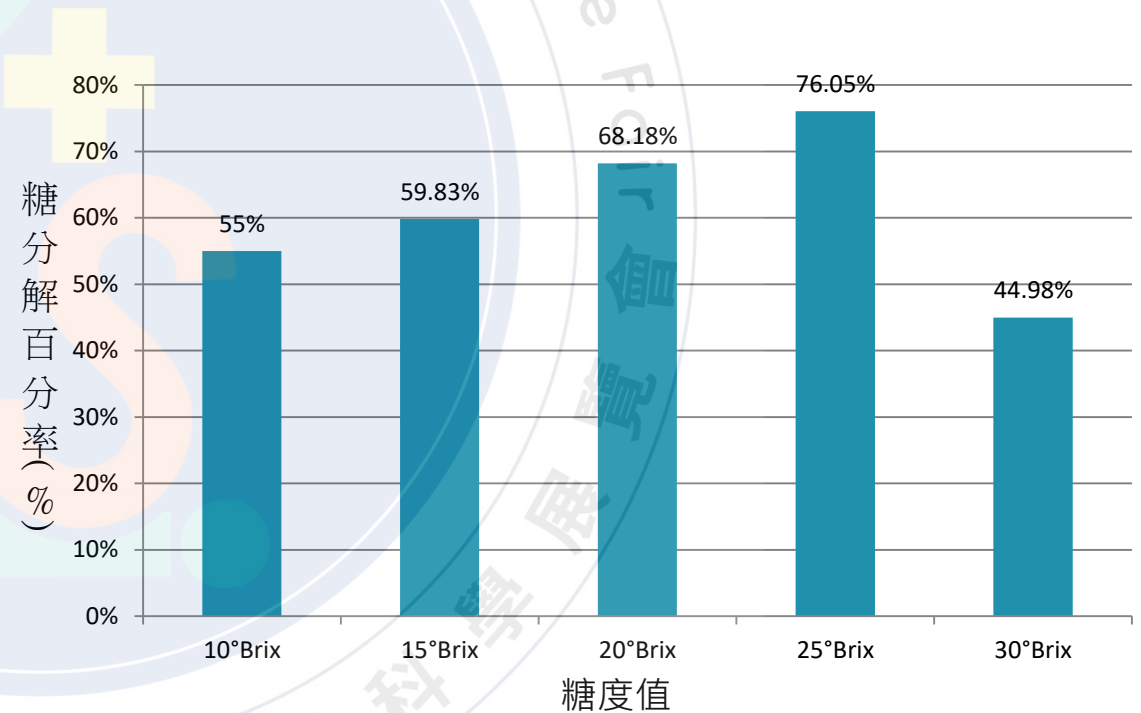
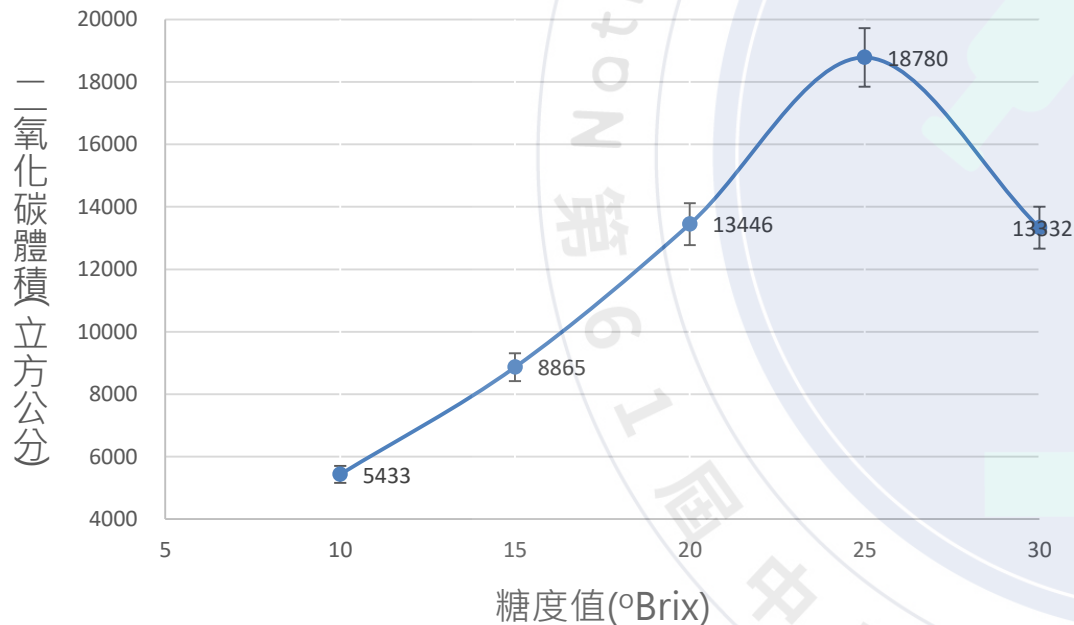
以插針法量測折射角與酒精濃度之檢量線 (入射角30°)

酒精濃度50%以下酒精濃度與酒度值之相關性

四、鳳梨酒的發酵製造探討

(一)糖度對鳳梨發酵酒精產量影響

在鳳梨汁(100g鳳梨、水100 g、及1g的酵母菌)的發酵，加入二號砂糖調整糖度分別為10、15、20、25、30°Brix，測量發酵時二氧化碳產量，由化學反應方程式推估 $C_6H_{12}O_6$ 分解量及 $C_6H_{12}O_6$ 分解百分率及酒精產生量。

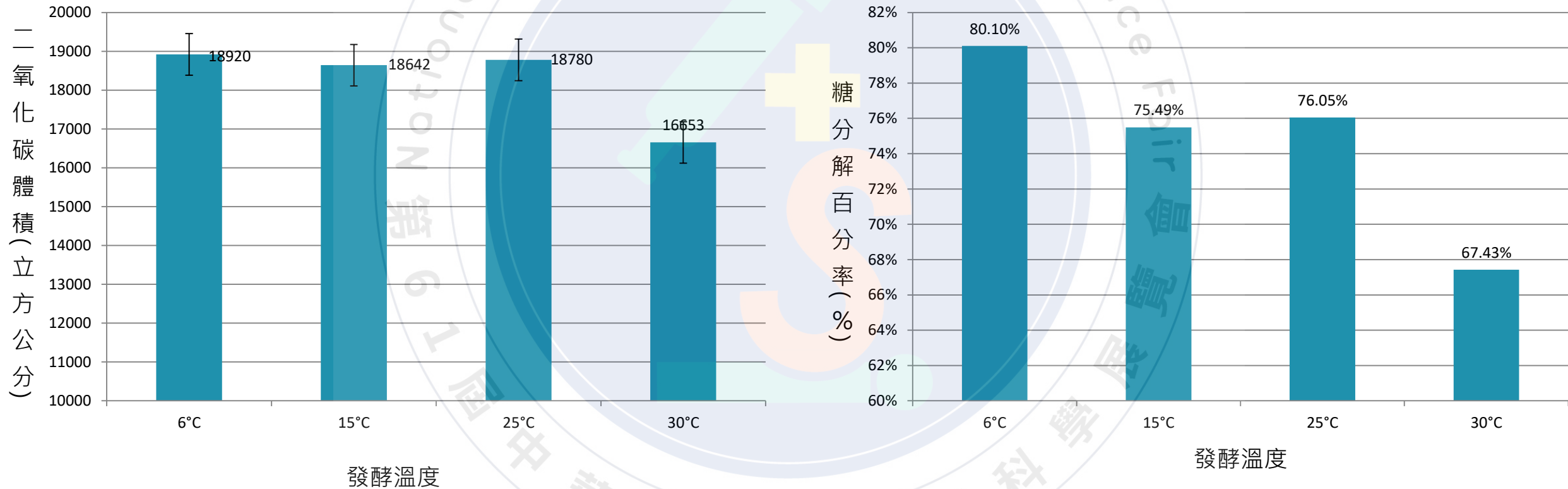


不同糖度值中產生的二氧化碳體積

不同糖度值的糖分解百分率

(二)溫度對鳳梨發酵酒精產量影響

發酵於最佳糖度(25°Brix)，控制溫度分別在6°C、15°C、25°C及30°C，測量發酵時二氧化碳產量，推算糖的發酵分解率及酒精產量。

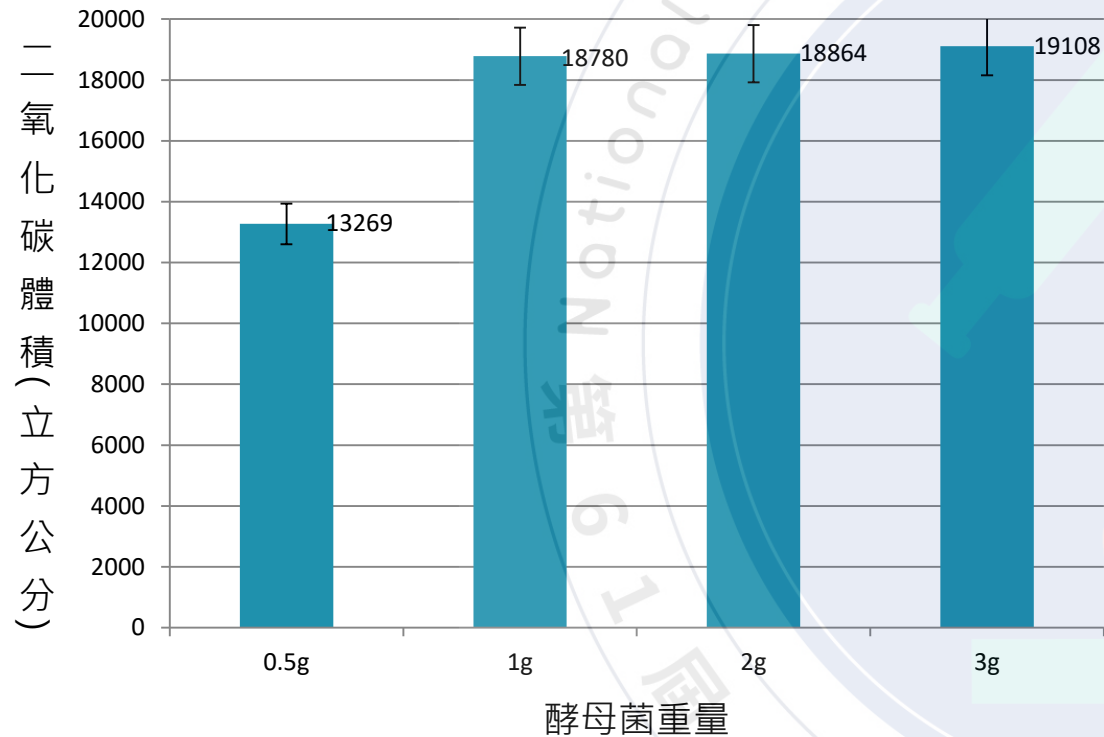


不同發酵溫度的CO₂的產氣量

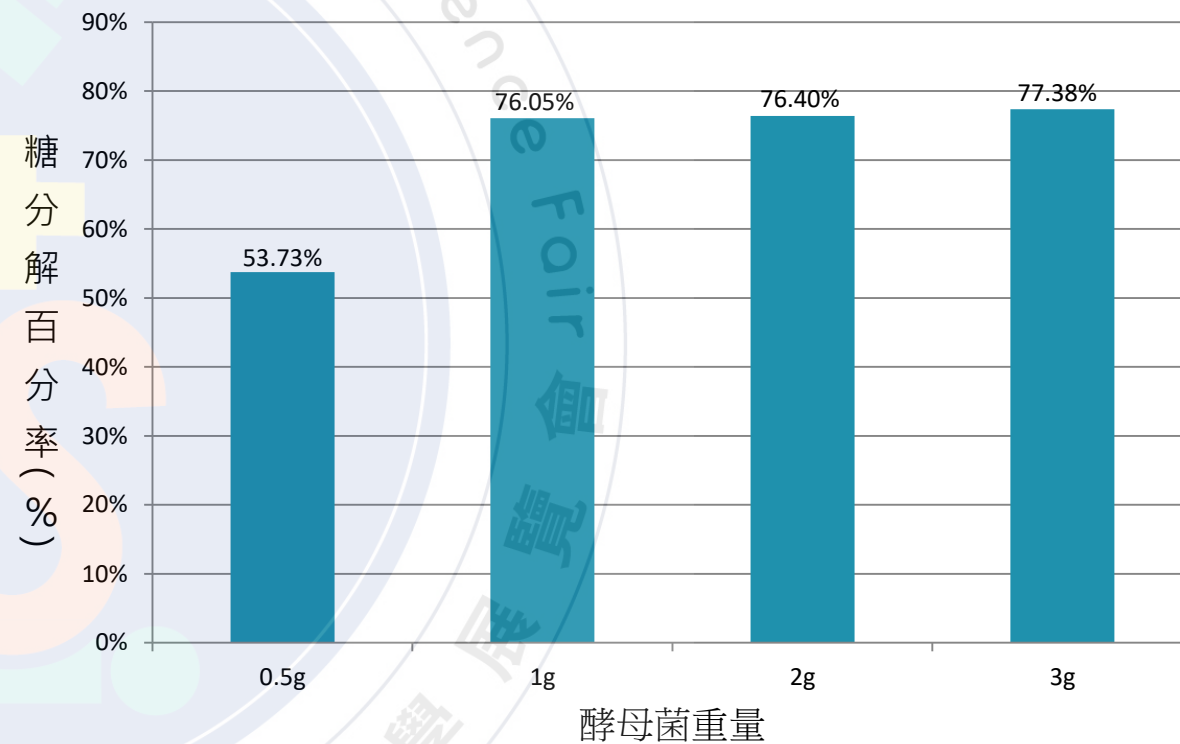
不同發酵溫度的酒精產量

(三) 酵母菌的量對酒精產量影響

將發酵鳳梨汁液的糖度控制在25°Brix，分別加入0.5g、1g、2g、3g的酵母菌發酵，於15°C時，測量二氧化碳產量，推算糖的發酵分解率及酒精產量。



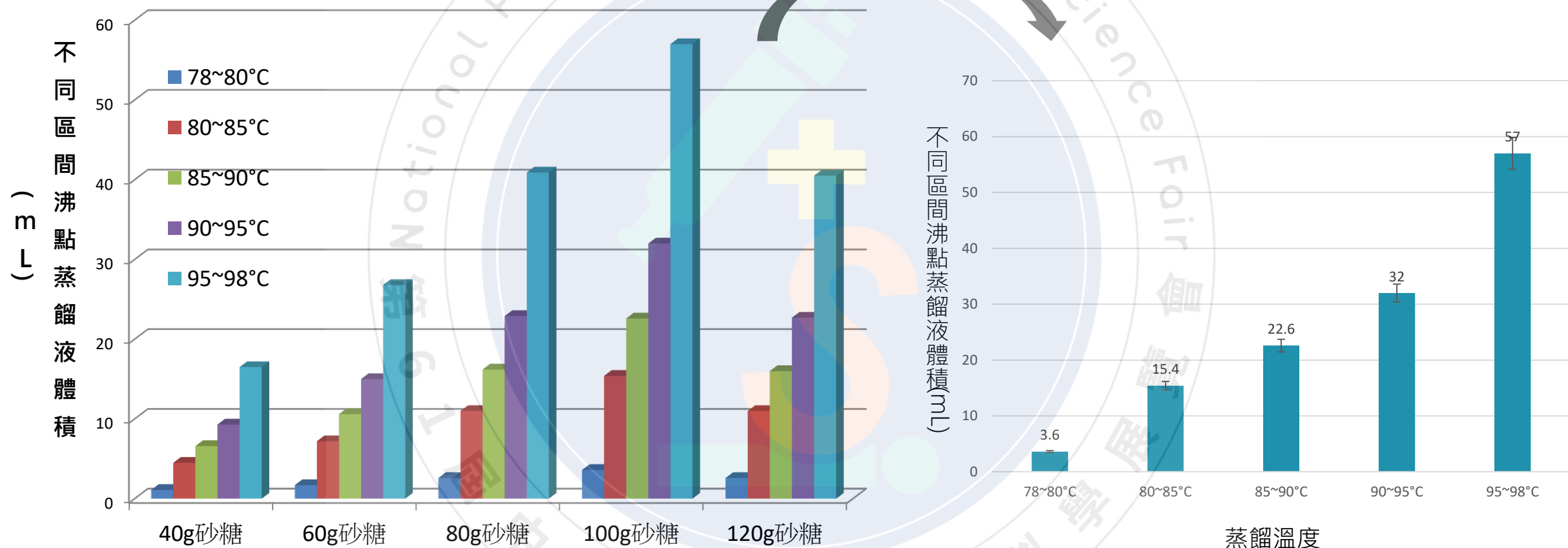
不同重量酵母菌的CO₂產氣量



不同發酵溫度糖的分解百分率

(四)不同糖度鳳梨發酵液蒸餾的酒精產量

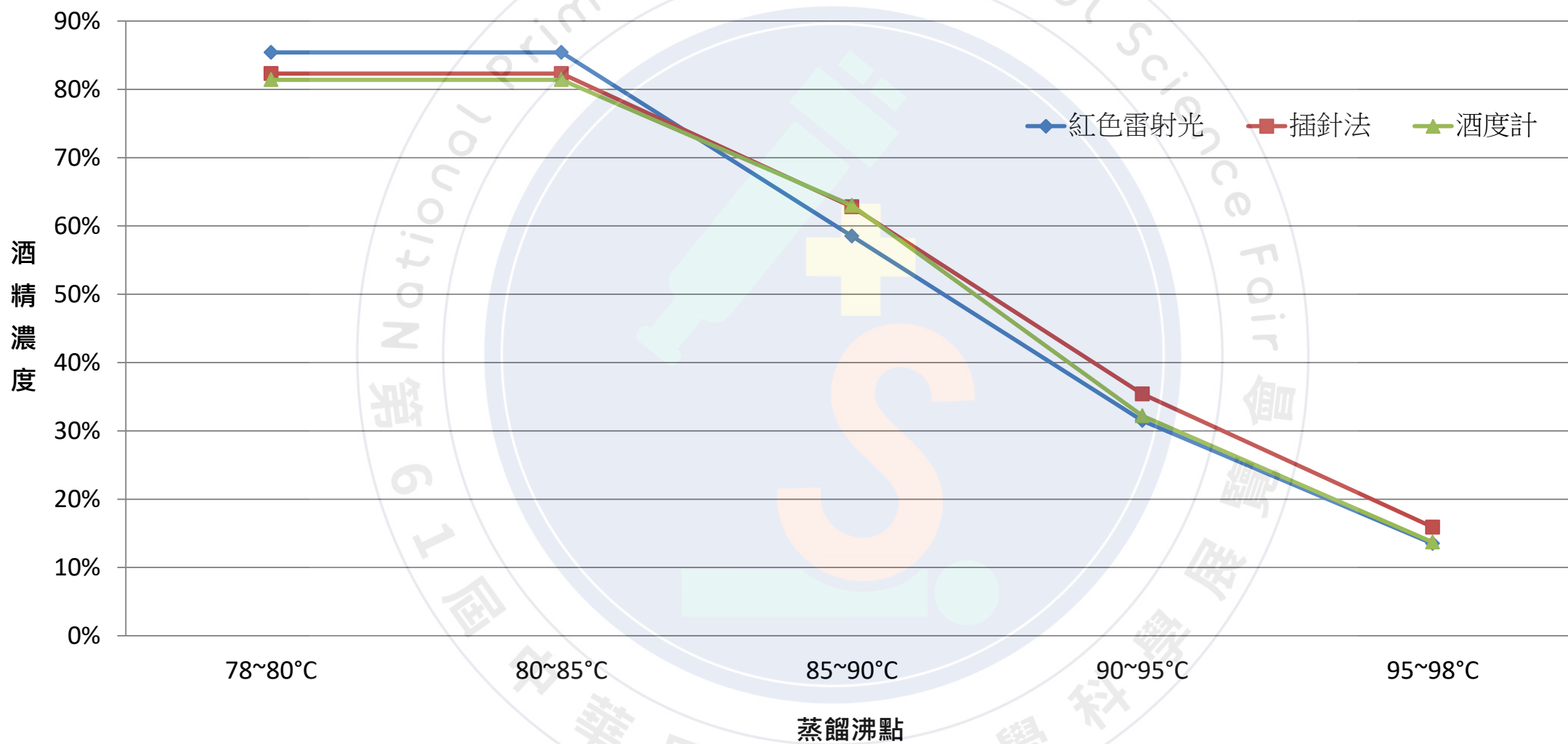
將不同糖度發酵液經三個月發酵後進行蒸餾，收集不同溫度範圍蒸餾液。檢測各蒸餾液的酒精濃度及試驗其可燃性。



不同糖度鳳梨發酵液的蒸餾酒精產量


糖度25°Brix鳳梨發酵液的蒸餾酒精產量

五、以自製折光計檢測鳳梨等水果酒濃度檢測



不同區段沸點的酒精濃度

◆ 結論

- 一、本研究從為解決農民鳳梨過剩問題，成功地開發釀酒成高端蒸餾鳳梨酒產品方法的最佳條件：
 - (一)25°Brix糖度
 - (二)鳳梨與酵母菌重量比100:1
 - (三)發酵溫度15°C-25°C
 - (四)發酵時間4~6天

高轉化率
降低成本
- 二、酒精體積百分濃度為50%時，乙醇與水分子間的緊密度最高，減少的體積最多。
- 三、以折光計測定酒精含量時，檢量線的製作要在酒精濃度在50%以下才有穩定的線性關係。
- 四、鳳梨酒發酵液的蒸餾，沸點在78~85°C時的蒸餾液，使用紅色雷射光、插針法及酒度計所測得的酒精濃度最高，分別是85.4%、82.3%及81.4%。
- 五、本研究鳳梨釀造酒蒸餾時，收集沸點78°C~89°C蒸餾液所測得酒精平均濃度為75%。沸點78°C~95°C蒸餾液所測得酒精平均濃度為53.7%，出酒率高於市面約50%。
- 六、使用紅色雷射光、插針法所求得的酒精濃度與市售酒度計量測濃度差異並不大，在五個溫度區間裡，濃度相差都在4%以內，確定使用折光計方法是可行的。