

作品說明書



科 別：生活與應用科學二

組 別：國中組

作品名稱：微醺背後的科學：打破糖度干擾與自釀酒安全性之探討

關 鍵 詞：水果發酵、酒精濃度、折射率

編 號：115JA-L003

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號由承辦學校統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

目 錄

<u>摘要</u>	3
<u>壹、研究動機及目的</u>	3
<u>貳、研究設備與器材</u>	4
<u>參、研究過程與方法</u>	5
<u>肆、研究結果</u>	11
<u>伍、討論</u>	17
<u>陸、結論</u>	19
<u>柒、參考文獻資料</u>	19

摘要

本研究以自釀水果酒為情境，探討不同糖量及是否添加酒類對酒精濃度之影響，並進一步分析測量方法可能造成之誤差。實驗中控制水果種類、重量、發酵時間及環境條件，操控糖量與外加酒精變因，並透過自製雷射折射測量裝置進行濃度推估。

研究結果顯示，在自然發酵條件下，酒精濃度隨糖量增加呈上升趨勢，而外加酒類組別則以物理混合效應為主。此外，市售酒度計在「高糖」環境下易產生偏差，顯示測量方法可能影響結果判讀。

本研究亦觀察到部分自釀樣本中甲醇數值偏高，顯示潛在安全風險。整體而言，本研究不僅釐清酒精生成機制，亦指出測量工具對科學判斷的重要影響。

壹、研究動機及目的

自釀水果酒在民間相當常見，部分民眾認為「天然水果發酵較安全」，近年新聞報導中，偶有因飲用自釀酒而產生健康風險之案例，引發社會對其安全性的關注。查閱文獻資料後發現，發酵過程中主要生成的是乙醇，但若原料選擇、發酵條件或後續處理不當，仍可能伴隨其他對人體有害的成分風險。

在國中自然科課程中，我們學到微生物發酵與能量轉換的概念，但課本中較少結合真實生活案例進行探究。因此，本研究以「生活中可能接觸到的自釀水果酒」作為研究情境，透過控制糖量與是否添加酒類，系統性比較不同配方在發酵後的酒精變化，並進一步從科學角度討論其安全性，期望提升科學探究能力與公共安全意識，因此提出以下問題進行探討：

一、 研究目的:

(一) 糖量是否影響發酵生成酒精之程度

透過控制初始糖量，系統性分析其對水果發酵後酒精濃度之影響，釐清酒精生成與糖類發酵之因果關係與變化趨勢。

(二) 發酵生成與外加酒精在機制上的差異

比較自然發酵（釀造酒）與外加酒類（浸泡酒）兩種處理方式之酒精濃度變化，從實驗數據區辨化學反應生成與物理混合所造成之差異。

(三) 測量方法是否會影響酒精濃度之判讀

針對市售酒度計易受溶液中殘留糖分影響之限制，設計並製作以光學折射原理為基礎之雷射測量裝置，以提升酒精濃度判定之準確性與可靠性。

(四) 評估自釀水果酒之潛在安全風險

結合酒精濃度與相關檢測數據，分析自釀過程中可能產生之風險因子，並與現行安全標準進行比對，以進行科學化之安全評估。

二、本研究相關教材連結

翰林及康軒自然科學第一冊發酵作用。

翰林及康軒自然科學第三冊光的折射。

翰林及康軒自然科學第四冊化學反應。

貳、研究設備與器材

一、實驗原料與樣本

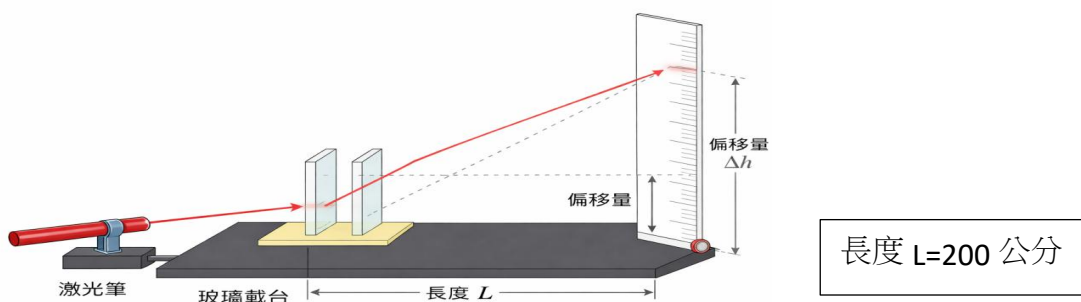
- 固定品種葡萄：統一購買特定品種，並記錄購買日期。
- 高純度蔗糖（砂糖）：作為發酵的反應物。
- 標準酒基：市售 0.5 %、34 % 米酒與 58 % 高粱酒（作為物理混合對照組）。

二、發酵與計量工具

- 恆溫環境及陰涼避光處：確保各組發酵溫度一致。
- 精密電子天平（校正至 0.01 g）：精確秤量葡萄重量與糖量。
- 玻璃發酵瓶(200 ml)：發酵會產生二氧化碳，可觀察氣泡並防止爆裂。
- 量筒與量杯：測量液體體積。

二、核心檢測儀器

- 市售糖度計
- 市售酒度計
- 自製雷射折射測量裝置(如圖一)：紅光雷射筆作為光源、量角器用於記錄雷射光偏折的角度或位移距離、透明載玻片兩片、100 公分鐵尺。



參、研究過程與方法

本研究採實驗研究法，研究過程及方法介紹如下：

一、 研究過程實驗緣起

水果發酵屬於一種化學反應，利用糖作為反應物，經一系列反應生成乙醇與二氧化碳。本研究透過改變糖量與是否外加酒類，觀察酒精濃度及反應產物生成種類，比較不同條件下化學反應的結果差異，**評估自釀水果酒之食品安全風險**，在實驗過程中發現市售酒度計受到糖度干擾酒精濃度偏高所以自製酒精濃度檢測器測量酒精濃度。

二、 文獻回顧

過去相關研究多著重於發酵條件（如糖量、溫度與酵母）對酒精生成的影響，例如，中華民國第 43 屆全國中小學科學展覽會國中化學組作品「釀造葡萄酒的探討」已建立基本發酵概念。然而，多數研究仍停留於條件比較，較少釐清酒精來源究竟為發酵生成或外加酒精之物理混合。此外，在測量方法上，亦較少探討糖分對酒精濃度判讀之干擾問題，綜合上述，本研究除探討發酵條件外，亦進一步關注測量工具對結果判讀之影響，以補足相關研究之不足因此提出以下三大面向進行研究與討論：

第一，反應機制釐清: 區分「發酵反應生成」與「外加酒精混合」兩種不同機制，使研究由現象描述提升至科學本質的理解。

第二，測量方法改良: 結合光的折射原理，自製雷射測量裝置，以降低溶質干擾對測量結果的影響，提升數據之準確性與可信度。

第三，食品安全評估: 結合甲醇檢測與法規，比較實驗結果與安全標準，連結到生活中的食品安全議題。

三、 實驗共分為三個階段

第一階段：實驗樣品製備

(一)原料前處理：選取新鮮葡萄、柳丁，以清水洗淨後徹底風乾。利用電子秤將葡萄、柳丁精確平分 9 組（每組重量為 60 g 需相同）。

(二)變因設定：依照實驗設計分別加入 0 g、15 g、30 g 的砂糖，並區分為「不加酒」、「加米酒」及「加高粱酒」三種處理方式。

(三)密封標記：將上述配方放入洗淨煮沸後並乾燥的 200ml 玻璃發酵瓶中，於瓶身貼上標籤註明組別與製作日期，確保容器密封完整。

第二階段：發酵監控與環境控制

(一)恆溫存放：將所有實驗組置於室溫（約 25°C - 28°C）且避光之處，確保環境因子一致。

(二)每日定時觀察：每日中午 12 點 30 分觀察並記錄以下指標：

- 1.外觀變化：氣泡產生的頻率與果肉分解程度。
- 2.嗅覺測試：是否有明顯酒味或異常酸味。
- 3.記錄週期：本實驗共釀了三批水果酒，發酵週期設定為固定天數，每批水果酒各組在相同時間基點進行酒精濃度及甲醇濃度測量。
- 4.不同條件釀酒情形:分別有綠葡萄自釀酒、紅葡萄自釀酒、柳丁削皮自釀酒、柳丁未削皮自釀酒。

綠葡萄 60 克			
組別	初始糖量 (g)	是否外加酒類	圖片
自然發酵 A	0	否	
自然發酵 B	0	米酒	
自然發酵 C	0	高粱酒	
低糖發酵 A	15	否	
低糖發酵 B	15	米酒	
低糖發酵 C	15	高粱酒	
高糖發酵 A	30	否	
高糖發酵 B	30	米酒	
高糖發酵 C	30	高粱酒	

紅葡萄 60 克			
組別	初始糖量 (g)	是否外加酒類	圖片
自然發酵 A	0	否	
自然發酵 B	0	米酒	
自然發酵 C	0	高粱酒	
低糖發酵 A	15	否	
低糖發酵 B	15	米酒	
低糖發酵 C	15	高粱酒	
高糖發酵 A	30	否	
高糖發酵 B	30	米酒	
高糖發酵 C	30	高粱酒	

柳丁 60 克削皮			
組別	初始糖量 (g)	是否外加酒類	圖片
自然發酵 A	0	否	
自然發酵 B	0	米酒	
自然發酵 C	0	高粱酒	

低糖發酵 A	15	否	
低糖發酵 B	15	米酒	
低糖發酵 C	15	高粱酒	
高糖發酵 A	30	否	
高糖發酵 B	30	米酒	
高糖發酵 C	30	高粱酒	

柳丁 60 克未削皮			
組別	初始糖量 (g)	是否外加酒類	圖片
自然發酵 A	0	否	
自然發酵 B	0	米酒	
自然發酵 C	0	高粱酒	
低糖發酵 A	15	否	
低糖發酵 B	15	米酒	
低糖發酵 C	15	高粱酒	
高糖發酵 A	30	否	
高糖發酵 B	30	米酒	
高糖發酵 C	30	高粱酒	

第三階段：酒精濃度與甲醇含量檢測

(一)市售酒度計檢測：使用市售酒度計量測各組樣本之糖度 (Brix) 與波美度 (Baumé)，並據此推估其酒精濃度。其測量原理說明如下：

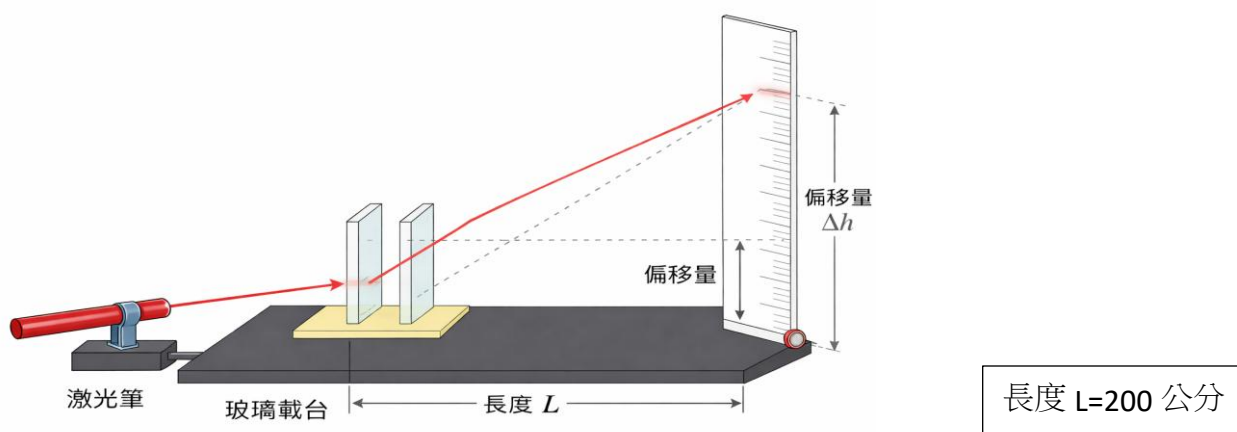
1. 使用市售酒度計量測各組樣本之糖度 (Brix) 與波美度 (Baumé)，並據此推估其酒精濃度。其測量原理說明如下：
糖度 (Brix, 符號為 $^{\circ}\text{Bx}$) 為釀酒、食品加工及農業領域中常用的測量單位，其原理係透過溶液的折射率進行判定。當液體中溶解的糖分越高，光的折射率亦隨之增加。其定義為：在 20°C 時，每 100 克溶液中含有 1 克蔗糖，即為 1°Bx 。
2. 波美度 (Baumé scale, 符號為 $^{\circ}\text{Bé}$) 則為衡量液體密度 (比重) 的指標，廣泛應用於釀酒、製糖及化工領域。在葡萄釀造中，波美度常被作為判斷果實成熟度的重要依據，用以測量葡萄汁中的含糖量，並進一步推估其潛在酒精濃度。實務上常以經驗法則估算： 1°Bé 約相當於 1% 的潛在酒精濃度。
3. 需注意的是，波美度反映的是溶液整體密度，若液體中除糖之外尚含有其他溶解物 (如礦物質或已生成之酒精)，皆可能影響其測量結果，進而造成判讀上的誤差。

(二)自製雷射折射測量裝置校正：

由於無論是糖度 (Brix) 或波美度 (Baumé) 所呈現的數值，皆為糖水與酒精混合溶液的綜合結果，如何更準確反映樣品中的實際酒精濃度，成為本研究的重要課題。

在實驗過程中，使用市售酒度計所測得的酒精濃度普遍偏高，甚至部分樣本顯示酒精濃度超過 80 %。推測其原因在於酒度計係利用光的折射原理進行測量，而樣本中除酒精外，水果本身所含糖分、額外添加的糖會產生懸浮物，亦會改變溶液的折射率，進而影響測量結果，導致酒精濃度判讀產生誤差。

因此，本研究嘗試建立一套簡單且快速的方法，以提升自釀酒酒精濃度判定的準確性，並設計自製雷射折射測量裝置進行校正，其操作步驟如下 (如圖一)：



步驟一、將發酵液過濾後滴於兩片長方形載玻片中夾住。

步驟二、將發酵液過濾後滴於兩片長方形載玻片中夾住，雷射光通過「兩片載玻片 + 中間液體」，產生微小偏折，測量雷射光穿透樣本液體後的折射高度。

步驟三、將不同濃度之酒精滴於兩片長方形載玻片中夾住，重複步驟二，共做七次實驗，每次實驗重複測量三次取平均值並紀錄。

自製雷射折射測量裝置在 不同濃度之酒精(不含糖) 所造成之偏折高度測量結果							
種類 \ 次數	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四	實驗五	實驗六	實驗七
玻璃	82.70	82.40	83.00	83.00	80.55	80.60	83.10
水	83.35	83.37	81.20	82.90	80.45	80.45	83.30
米酒 (0.5%)	83.15	82.75	83.85	83.75	80.48	80.30	83.10
米酒 (34%)	82.25	83.70	82.00	81.90	80.40	83.25	83.15
酒精 (75%)	82.40	82.80	81.10	80.55	80.50	80.40	83.10

步驟四、將不同濃度之糖水滴於兩片長方形載玻片中夾住，重複步驟二，共做四次實驗，每次實驗重複測量三次取平均值並紀錄。

自製雷射折射測量裝置測量 不同濃度的糖水 所造成之偏折高度測量結果					
(每 10 克水)	介質	實驗一	實驗二	實驗三	實驗四
玻璃	玻璃	82.95	82.95	82.95	82.95
水	水	83.00	83.00	83.00	83.00
加 1 克糖	糖水濃度 9 %	83.20	82.15	82.93	83.00
加 2 克糖	糖水濃度 16.7 %	83.00	82.75	83.28	82.82
加 3 克糖	糖水濃度 23 %	82.45	83.05	83.00	81.98
加 4 克糖	糖水濃度 28.6 %	82.65	83.20	83.35	83.00
加 5 克糖	糖水濃度 33.3 %	82.70	83.30	83.10	83.16

步驟五、對照「玻璃」基準之折射高度，計算出高度差並利用步驟三和步驟四的酒精濃度和糖水濃度來校正樣本溶液的酒精濃度，以排除殘留糖分的干擾。本實驗利用已知酒精濃度與糖水濃度之標準液，將其雷射高度測量值減去基準值求得的高度差 (Δh) 進行樣本溶

液的酒精濃度線性回歸分析，進行完線性回歸獲得校正模型(函數)如下:

【酒精濃度(%) = -82.77 Δh + 26.92】，利用此模型(函數)將雷射量測結果轉換為酒精濃度估計值(請參閱研究結果)。

(三) 甲醇快速檢測

利用市售甲醇快速檢測管，量測各項樣品中的甲醇含量，並與財政部國庫署訂定之甲醇安全標準進行比較分析。

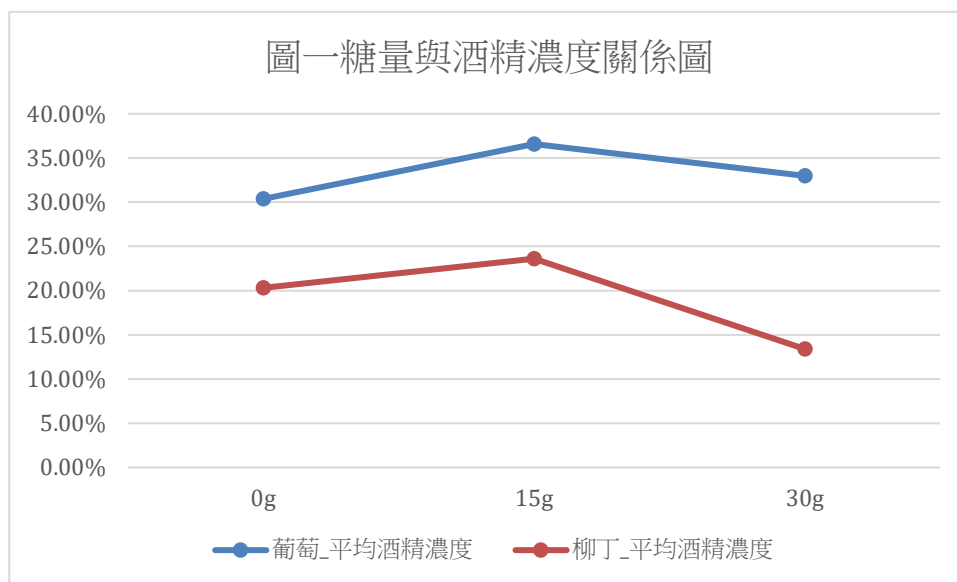
依據相關法規，不同酒類之甲醇含量上限如下：

- 水果酒／蒸餾酒：甲醇含量應低於 4000 mg/L（以純乙醇計）
- 葡萄酒／龍舌蘭酒：甲醇含量應低於 3000 mg/L（以純乙醇計）
- 白蘭地／葡萄蒸餾酒：甲醇含量應低於 2000 mg/L（以純乙醇計）

本研究將各樣品之實測結果與上述標準進行比對，以評估其安全性與是否符合相關法規規範。

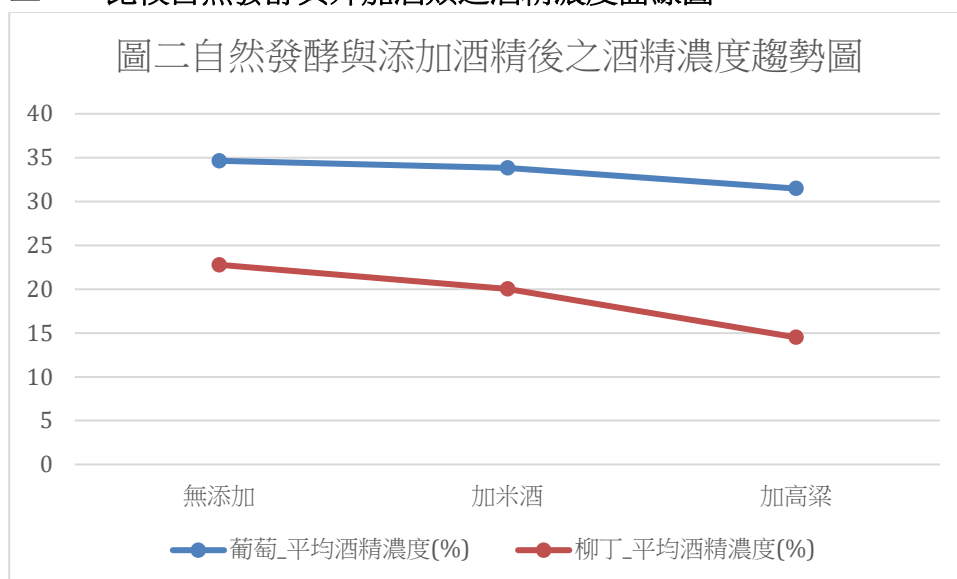
肆、研究結果

一、糖量與酒精濃度的相關性:



【結果說明】圖一當糖量由 0 g 增加至 15g 時，酒精濃度上升，顯示糖為發酵之主要物質；然而當糖量增加至 30 g 時，酒精濃度反而下降，推測為高糖濃度造成滲透壓上升，抑制水果中的天然酵母活性所致。此外，葡萄的甜度較高而柳丁酸度較高，使發酵更易受抑制，因此葡萄的酒精濃度明顯較柳丁高。

二、 比較自然發酵與外加酒類之酒精濃度曲線圖：



【結果說明】圖二釀酒靠酵母自然發酵，酒精濃度通常難以太高，因為高濃度酒精會殺死酵母抑制發酵作用。從實驗中亦可發現，加入高粱沒有讓酒精濃度上升甚至比加入低濃度的米酒所產生的酒精濃度少。

三、酒精濃度測量與校正結果:

(一)表一：以市售酒度計測量自釀酒酒精濃度測量結果

樣本	初始糖量 (g)	是否外加酒類	市售酒度計讀數 (%)	結果分析	推測異常原因
葡萄 60 g	0	否	80	嚴重異常	糖度干擾
葡萄 60 g	15	否	80	嚴重異常	糖度干擾
葡萄 60 g	30	否	80	嚴重異常	糖度干擾
葡萄 60 g	15	米酒	12	異常	讀數受稀釋
葡萄 60 g	30	米酒	22.5	異常	讀數受稀釋
葡萄 60 g	15	高粱酒	72.5	異常	發酵重疊影響
葡萄 60 g	30	高粱酒	80	嚴重異常	發酵重疊影響

【結果說明】經由文獻資料得知自釀酒酒精濃度介於 15 %到 16 %之間，本研究在實驗的結果出現 80 % (如表一) 的酒精濃度明顯的不合理，分析發現可能糖量過高、水果果肉、懸浮物等皆會影響折射率，於是我們自製雷射折射測量裝置發現可以將實驗結果修正至較合理的範圍。

(二)表二：以自製雷射折射測量裝置測量自釀葡萄酒雷射光偏折高度測量結果

組別	初始糖量 (g)	是否外加酒類	偏折高度(cm) 綠葡萄	偏折高度(cm) 紅葡萄
自然發酵 A	0	否	83.00	82.80
自然發酵 B	0	米酒	83.05	82.80

自然發酵 C	0	高粱酒	82.90	82.90
低糖發酵 A	15	否	82.75	82.90
低糖發酵 B	15	米酒	82.70	82.85
低糖發酵 C	15	高粱酒	82.90	82.90
高糖發酵 A	30	否	82.89	82.80
高糖發酵 B	30	米酒	82.90	82.90
高糖發酵 C	30	高粱酒	82.95	82.82

【結果說明】取 60 克葡萄分別以不同的糖量釀造與不同的酒精濃度浸泡，利用自製雷射折射測量裝置測量並紀錄其偏折高度獲得測量值。

(三)表三：以自製雷射折射測量裝置測量自釀柳丁酒雷射光偏折高度測量結果

組別	初始糖量 (g)	是否外加酒類	偏折高度(cm) 柳丁削皮	偏折高度(cm) 柳丁未削皮
自然發酵 A	0	否	82.85	82.80
自然發酵 B	0	米酒	82.90	82.85
自然發酵 C	0	高粱酒	82.89	82.87
低糖發酵 A	15	否	82.70	82.80
低糖發酵 B	15	米酒	82.90	82.83
低糖發酵 C	15	高粱酒	82.92	82.96
高糖發酵 A	30	否	83.00	82.90
高糖發酵 B	30	米酒	82.85	82.90
高糖發酵 C	30	高粱酒	83.04	82.90

【結果說明】定量的柳丁 60 克分別以不同的糖量釀造與不同的酒精濃度浸泡時，利用自製雷射折射測量裝置測量並記錄其偏折高度

(四)表四:自製雷射折射酒精濃度測量結果

組別	樣本	初始糖量 (g)	是否外加酒類	雷射高度 (cm)	高度差 Δh (cm)	推估酒精濃度(%)
自然發酵 A	綠葡萄	0	否	83	0.05	22.78
自然發酵 B	綠葡萄	0	米酒	83.05	0.1	18.64
自然發酵 C	綠葡萄	0	高粱酒	82.9	0.05	31.06
低糖發酵 A	綠葡萄	15	否	82.75	0.2	43.47
低糖發酵 B	綠葡萄	15	米酒	82.7	0.25	47.61
低糖發酵 C	綠葡萄	15	高粱酒	82.9	0.05	31.06
高糖發酵 A	綠葡萄	30	否	82.89	0.06	31.88
高糖發酵 B	綠葡萄	30	米酒	82.9	0.05	31.06
高糖發酵 C	綠葡萄	30	高粱酒	82.95	0	26.92

自然發酵 A	紅葡萄	0	否	82.8	0.15	39.33
自然發酵 B	紅葡萄	0	米酒	82.8	0.15	39.33
自然發酵 C	紅葡萄	0	高粱酒	82.9	0.05	31.06
低糖發酵 A	紅葡萄	15	否	82.9	0.05	31.06
低糖發酵 B	紅葡萄	15	米酒	82.85	0.1	35.2
低糖發酵 C	紅葡萄	15	高粱酒	82.9	0.05	31.06
高糖發酵 A	紅葡萄	30	否	82.8	0.15	39.33
高糖發酵 B	紅葡萄	30	米酒	82.9	0.05	31.06
高糖發酵 C	紅葡萄	30	高粱酒	82.82	0.13	37.68

【結果說明】在研究過程及方法已說明:以線性回歸分析獲得校正模型(函數),因此本實驗透過雷射偏折高度變化(Δh)來推估酒精濃度,利用已知濃度樣本建立校正模型利用此模型(函數)將雷射量測結果轉換為酒精濃度估計值(如下表)。

1.回歸方程:酒精濃度(%) = -82.77 Δh + 26.92

2.資料處理:

利用多次實驗平均值作為高度,並以玻璃作為基準計算Δh。

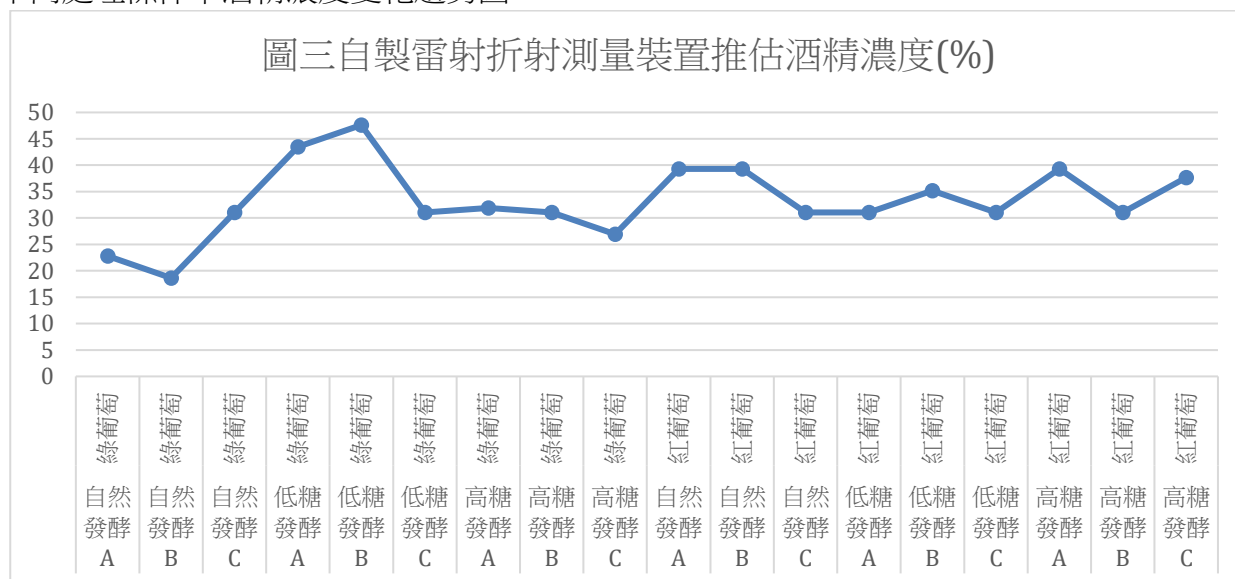
3.線性回歸方法:

假設酒精濃度與Δh呈線性關係,使用最小平方法求得最佳直線。由於偏折角度極小,根據小角度近似,可假設偏移量Δh與酒精濃度呈線性關係:酒精濃度 = a·Δh + b

4.結果分析:

回歸結果顯示兩者呈負相關,代表折射率變化導致光偏折方向改變。

(五)不同處理條件下酒精濃度變化趨勢圖



【結果說明】圖三分析推估酒精濃度均介於 20 %~48 %的趨勢

四、不同條件下自釀酒甲醇濃度測量結果-

(一)表五自釀葡萄酒甲醇濃度

組別	樣本	初始糖量 (g)	是否外加酒類	甲醇(g/L)	結果分析 (mg/L)純乙醇計
自然發酵 A	綠葡萄 60 g	0	否	0.1	500
自然發酵 B	綠葡萄 60 g	0	米酒	0.1	500
自然發酵 C	綠葡萄 60 g	0	高粱酒	1	5000
低糖發酵 A	綠葡萄 60 g	15	否	0.2	1000
低糖發酵 B	綠葡萄 60 g	15	米酒	0.6	3000
低糖發酵 C	綠葡萄 60 g	15	高粱酒	0.1	500
高糖發酵 A	綠葡萄 60 g	30	否	1	5000
高糖發酵 B	綠葡萄 60 g	30	米酒	0.6	3000
高糖發酵 C	綠葡萄 60 g	30	高粱酒	0	0
自然發酵 A	紅葡萄 60 g	0	否	1	5000
自然發酵 B	紅葡萄 60 g	0	米酒	0.1	500
自然發酵 C	紅葡萄 60 g	0	高粱酒	0	0
低糖發酵 A	紅葡萄 60 g	15	否	0.1	500
低糖發酵 B	紅葡萄 60 g	15	米酒	1	5000
低糖發酵 C	紅葡萄 60 g	15	高粱酒	0.1	500
高糖發酵 A	紅葡萄 60 g	30	否	1.5	7500
高糖發酵 B	紅葡萄 60 g	30	米酒	0	0
高糖發酵 C	紅葡萄 60 g	30	高粱酒	0.6	3000

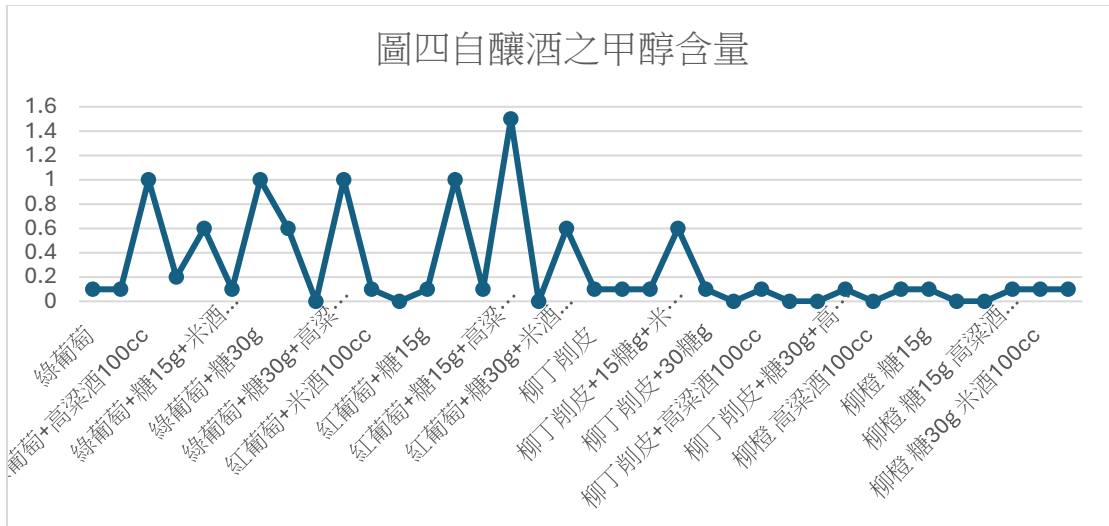
【結果說明】由於甲醇快速檢測管測出的是「樣品中含量」（即樣品酒直接測得的濃度），而法規是「以純乙醇計」，因此需要考慮樣品的酒精濃度。依據此次實驗樣品酒精濃度約為20%~48%，經過濃度校正(除以酒精濃度)將實際含量除以該酒的酒精體積百分比即得甲醇法規標準單位(mg/L)純乙醇計之數值，在結果分析數值大於3000 mg/L 代表異常，自釀葡萄酒部分甲醇含量明顯偏高。

(二)表六 柳丁自釀酒甲醇濃度

組別	樣本	初始糖量 (g)	是否外加酒類	甲醇 (g/L)	結果分析 (mg/L)純乙醇計
自然發酵 A	柳丁削皮 60 g	0	否	0.1	500
自然發酵 B	柳丁削皮 60 g	0	米酒	0	0
自然發酵 C	柳丁削皮 60 g	0	高粱酒	0.1	500
低糖發酵 A	柳丁削皮 60 g	15	否	0.1	500
低糖發酵 B	柳丁削皮 60 g	15	米酒	0.1	500
低糖發酵 C	柳丁削皮 60 g	15	高粱酒	0.6	3000
高糖發酵 A	柳丁削皮 60 g	30	否	0.1	500
高糖發酵 B	柳丁削皮 60 g	30	米酒	0	0
高糖發酵 C	柳丁削皮 60 g	30	高粱酒	0	0
自然發酵 A	柳丁未削皮 60 g	0	否	0.1	500
自然發酵 B	柳丁未削皮 60 g	0	米酒	0.1	500
自然發酵 C	柳丁未削皮 60 g	0	高粱酒	0	0
低糖發酵 A	柳丁未削皮 60 g	15	否	0.1	500
低糖發酵 B	柳丁未削皮 60 g	15	米酒	0.1	500
低糖發酵 C	柳丁未削皮 60 g	15	高粱酒	0	0
高糖發酵 A	柳丁未削皮 60 g	30	否	0.1	500
高糖發酵 B	柳丁未削皮 60 g	30	米酒	0.1	500
高糖發酵 C	柳丁未削皮 60 g	30	高粱酒	0.1	500

【結果說明】於甲醇快速檢測管測出的是「樣品中含量」（即樣品酒直接測得的濃度），而法規是「以純乙醇計」，因此需要考慮樣品的酒精濃度。依據此次實驗樣品酒精濃度約為20%~48%，經過濃度校正(除以酒精濃度)將實際含量除以該酒的酒精體積百分比即得甲醇法規標準單位(mg/L)純乙醇計之數值，在結果分析數值大於3000 mg/L代表異常，柳丁自釀酒甲醇大部分含量均低於3000 mg/L

(三) 甲醇含量曲線圖



【結果說明】圖四從數據可以看出，自釀葡萄酒產生甲醇的風險較高，其中以葡萄直接加糖所釀製的發酵酒所產生的甲醇含量最高高達 1.5 g/L，而使用柳丁的自釀酒其甲醇含量普遍均低於 0.2g/L，本研究測得葡萄組甲醇濃度最高達 1.5 g/L。

伍、討論

一、酒精生成之化學反應驗證

(一) 反應物對產物之影響：

依據圖一在未添加外加酒類的條件下，隨著糖量增加，酒精濃度呈現上升趨勢，顯示糖確實為發酵反應的重要反應物。然而，由於本研究之酒精濃度主要來自雷射推估模型，其數值仍存在一定誤差，因此本研究著重於「趨勢判斷」，而非絕對數值之精確性。

(二) 物理混合與化學生成之區別：

依據圖二在添加米酒與高粱酒的組別中，酒精濃度明顯高於自然發酵組，顯示最終濃度主要來自外加酒精，而非完全由發酵生成。然而，部分樣本仍受到糖分與發酵過程的影響，使得數據呈現疊加效果，顯示實際系統為「物理混合與化學反應並存」，易誤判發酵效率。

二、測量誤差來源分析

(一) 本研究發現市售折射計讀數普遍高於自製雷射測量值，尤其在「高糖組」偏差最為嚴重（偏移量達 +3.7 %），多數樣本讀值達 80 % (表一)，顯示其測量結果已超出合理範圍。推測

其可能原因為折射率與濃度關係：酒精與糖皆會改變水的折射率，但兩者對光線偏折的規律不同，且發酵液為多成分混合物。

(二)相較之下，雷射折射法可降低部分干擾，校正邏輯為自製雷射測量儀能透過固定光路測量折射角，並藉由已知濃度的標準液進行校正。相比於市售折射計，雷射折射法對液體成分細微變化的敏感度較高，較能過濾掉大比重溶質（糖）帶來的粗略誤差。但實驗結果顯示其回歸相關性仍偏低（ $R^2=0.25$ ），顯示本方法目前**僅適合做趨勢判斷，不適合精準定量**。

(三)依據目前雷射校正模型推估之相對酒精濃度結果，推估值多落在 **20%~48%**(**實驗數據圖三**)，對「自釀葡萄酒」來說偏高。這代表：校正模型目前還不夠穩定，但已經比市售酒度計數值合理許多！不夠穩定經推論分析實驗中出現以下幾點限制:

- 1.本研究之雷射測量裝置精度有限，可能影響數據準確性。
- 2.折射率差異較小，使測量靈敏度受限。
- 3.未使用氣相層析等專業儀器進行酒精與甲醇精確分析。
- 4.樣本數與實驗條件仍有擴充空間。

三、 實驗變因之潛在干擾

(一)過濾程度：發酵液中的懸浮果肉殘渣會導致雷射光產生散射（Scattering），影響折射角的邊界清晰度，進而造成讀數判定上的微小誤差。

(二)溫度影響：由於折射率與密度皆隨溫度變化，若測量時環境溫度波動，亦會導致數據產生偏移。

(三)容器幾何形狀：原稿若使用圓形玻璃瓶進行雷射實驗，會產生透鏡聚焦效應，因此本研究強調應使用平整載杯以確保光路穩定。

四、 甲醇數據之安全性

依據表五、表六及圖四葡萄直接加糖所釀製的發酵酒所產生的甲醇含量較高，其中有高達 1.5 g/L，而使用柳丁的自釀酒其甲醇含量普遍均低於 0.2 g/L，本研究測得葡萄組甲醇濃度最高達 1.5 g/L，超過法規標準，本研究酒精濃度為推估值（非精密分析），未使用專業儀器（如氣相層析儀 GC）測定甲醇，樣本數仍有限，數據僅供趨勢參考，仍需進一步精密分析驗證，但研究過程中觀察到高糖組發酵初期的氣泡釋放過於劇烈。查閱文獻發現，不當的發酵條件或雜菌污染可能伴隨甲醇等有害物質，單純追求高濃度酒精而過度加糖，若無精密檢測儀器監控，可能隱藏食品安全風險。

陸、結論

本研究以自釀水果酒為情境，透過控制糖量與外加酒精變因，結合發酵反應與光學折射原理，探討酒精生成機制、測量誤差來源及食品安全風險，獲得以下結論：

一、在自然發酵條件下，隨糖量增加，酒精濃度呈現上升趨勢，顯示糖為發酵反應中生成酒精的重要來源。然而，由於測量方式限制，本研究結果主要用於趨勢判斷。

二、外加酒類之組別，其酒精濃度主要來自原始酒精，屬於物理混合效應，與發酵生成之化學反應本質不同。

三、市售酒度計在高糖環境下易產生顯著偏差，顯示測量方法可能影響實驗結果判讀。

四、本研究設計之雷射折射測量方法可降低部分干擾，並建立酒精濃度與雷射偏移量之關聯模型，雖目前仍受限於量測精度與相關性，但可作為趨勢分析之輔助工具。

五、部分自釀葡萄酒樣本中觀察到較高甲醇數值，顯示自釀酒可能存在潛在食品安全風險，仍需進一步以精密儀器驗證。

六、本研究發現，影響實驗結果的不僅是化學反應本身，亦包含測量方法與工具之限制，顯示科學探究中「測量」的重要性。

七、未來展望：

可透過建立標準酒精濃度校正曲線，提升雷射測量之準確性，並結合數位感測技術進行精密量測。此外，亦可使用氣相層析儀分析酒精與甲醇含量，以提升研究結果之可靠性。

柒、參考文獻資料

一、吳祈東，（2002）。《釀酒 D.I.Y 水果酒與米酒》。台北市，驛優。

二、翰林出版。（2023）。《自然科學第四冊：微生物與發酵》。

三、財政部國庫署。（2024）。《酒類衛生標準》。取自財政部國庫署全球資訊網。

四、中華民國中小學科學展覽會。第 43 屆中小學科學展覽會國中化學組：釀造葡萄酒的探討。

五、中華民國中小學科學展覽會。第 52 屆中小學科學展覽會國小化學科：我自橫罐七天酵，去留酒氣兩崑崙～探討酒精發酵之最佳條件

六、Snell's law（斯乃爾定律）與折射率應用。取自

<https://zh.wikipedia.org/zhw/%E6%96%AF%E6%B6%85%E5%B0%94%E5%AE%9A%E5%BE%8B>。