

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 化學科

(鄉土)教材獎

050213

金枝綠葉-綠色能源之探究

學校名稱：南投縣立旭光高級中學

作者： 高二 黃哲亞 高一 廖子宸 高二 李佳芸	指導老師： 李佩樺 陳英田
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：廚餘酒精、水果酒精、茶葉酒精

摘 要

生質酒精之酒精濃度、溫度、糖度及 pH 值都會影響或抑制酵母菌的發酵。以廚餘米飯來製備酒精最佳重量比例為酵母菌：米飯：水=1：100：100，環境條件為 pH=6、溫度 25℃ 為佳；有些水果成分中含有抑制發酵之成分，故不是每種水果皆可發酵酒精。甘蔗實施三次蒸餾後酒精度可達 70%，最佳重量比例為水果酵母菌：甘蔗汁=1：50，環境條件為 pH=6、溫度 15℃ 為佳；茶葉酒精則以發酵度較少之茶葉與其梗為原料較佳，茶葉之枝比葉好-金枝綠葉，前處理以 0.5%KOH 加 5%Ca(OH)₂ 在 60℃ 超音波震盪 1hr 後以微波加熱 90 秒，再加入硫酸調至 pH<1，超音波震盪 1hr 再放置 24hr 以上等步驟為最佳前處理水解糖化程序。

壹、研究動機

近年來能源危機越來越逼近，而核能電廠的發電量及安全性成為我國人民對核能發電的質疑，所以尋找替代能源將是目前刻不容緩的工作與研究。我們在國中時期即有研究生質柴油與醱類發酵酒精的初步結果，其中茶葉酒精一直是我們很有興趣的研究主題，又聽聞老師及教授們說明對我們來說，廚餘酒精、水果酒精及茶葉渣酒精未來趨勢應該是以茶葉酒精最具值得發展與創意之可能，而目前茶葉渣酒精困難之處在於纖維素水解為葡萄糖的量太少，因此蒸發酒精量就太少。因此目前首要就是要繼續探究如何以化學水解之方法讓茶葉渣之水解葡萄糖量增多，而參考一般文獻及歷屆科展中有關纖維素酒精作品都是直接討論酒精產量，如此結合前處理與醱類發酵二步驟去討論是否妥適，很值得我們去探究，畢竟將纖維素水解為葡萄糖的量提升應該是首要任務，因此，我們想繼續探究醱類發酵酒精此議題，且再繼續深入探究茶葉纖維酒精前(預備)處理之影響因素來提高單醱水解糖化率。希望我們的研究能夠對未來綠色替代能源提供一些參考依據，進而能對台灣的未來替代能源發展有所貢獻。

貳、研究目的

- 一、了解廚餘酒精、水果酒精及茶葉酒精的製備過程及條件控制。
- 二、評估廚餘酒精、水果酒精及茶葉酒精之產值及經濟效益。
- 三、比較廚餘酒精、水果酒精及茶葉酒精等應用及使用為替代能源之優劣性。
- 四、將發酵等技術應用在泡茶之茶葉渣上，嘗試發展茶葉渣酒精之可能。
- 五、深入探究茶葉原料前處理來製備茶葉酒精之變因，有效提高茶葉纖維之水解糖化率。

參、研究設備與器材

- 一、**實驗器材與藥品：**各式量筒、燒瓶、燒杯、錐形瓶、漏斗、汽水瓶、硫酸、氫氧化鉀、石灰水、本氏液、碘液、冷凝管、小瓦斯爐、水壺、橡皮塞、橡皮管、玻璃管、

可彎曲不鏽鋼水管、剩飯、酵母、過濾布袋、保鮮膜、量筒、氣球、水盆、塑膠吸管、分液漏斗、量瓶、玻棒、三腳架、陶瓷纖維網、蒸發皿、酒精、篩網及各式茶葉、水果等。

二、 **儀器設備**：磁石攪拌器、鋼球研磨機、咖啡攪拌器、不鏽鋼鍋、瓦斯爐、冰箱、烘箱、電腦、PS-2600 光譜儀、微波爐。

三、 **測量工具儀器**：電子天平、比重計、電子天平、溫度計、糖度計、酒精度計、碼錶。

肆、 研究步驟與方法

我們確立要製備並探究醱類酒精生質能源這個主題之後，便開始著手蒐集相關資料，我們根據此次的研究目的與所欲探討之主題，我們設計實驗步驟與流程圖（圖 1）如下：

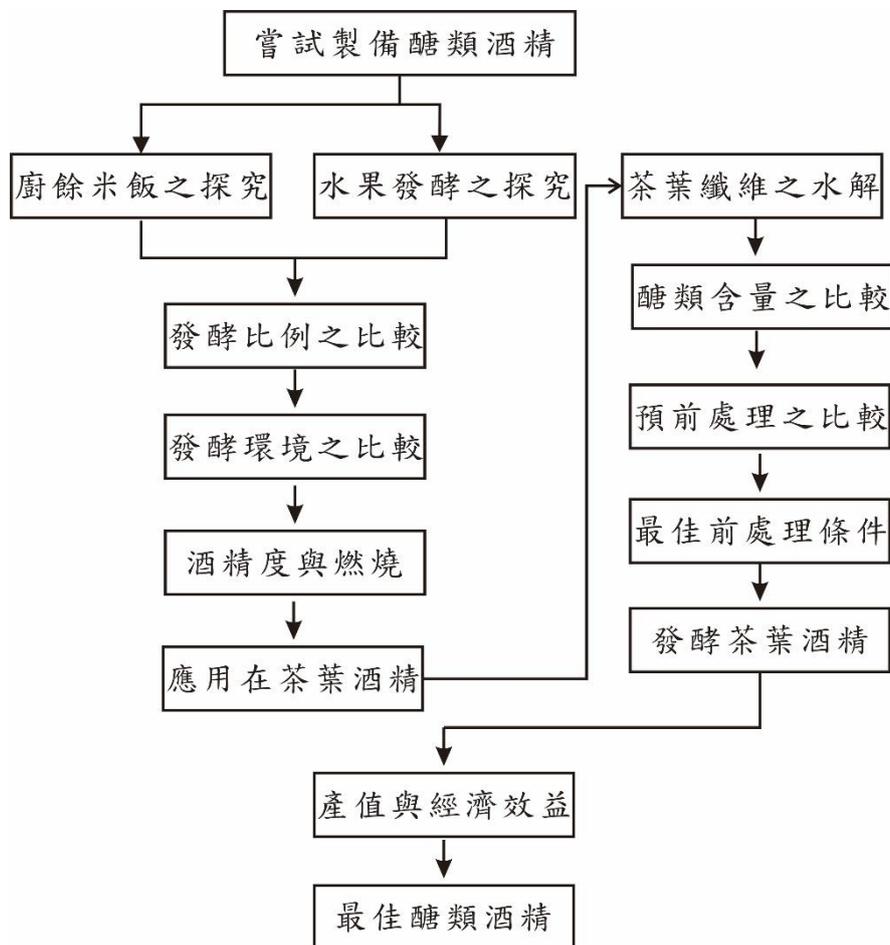


圖 1、實驗流程圖。

一、 實驗原理。

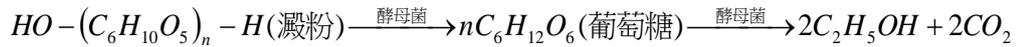
(一) 發酵原理。

1. 已知道酵母菌是單細胞的真菌能出芽繁殖，在氧氣充足時能行呼吸作用，在缺氧時能行發酵作用。

單發酵：糖 $\xrightarrow{\text{酵母菌}}$ 酒精 + 二氧化碳 + 能量，例如：水果酒。

複發酵：澱粉 $\xrightarrow{\text{糖化}}$ 糖分 $\xrightarrow{\text{酒精發酵}}$ 酒精，例如：米酒、紹興酒

2. 其化學反應方程式可以如下所示。



(二) 纖維水解成單醣原理。

木質纖維素是最豐富的可再生生物質，木質纖維素是由纖維素、半纖維素和木質素以及其他次要成分組成（圖 2），纖維素和半纖維素都是糖的聚合物，因此是可以水解成單醣或將其轉化為糖類產物的過程中之潛在來源。半纖維素可以在弱酸或強鹼條件下容易水解，但是纖維素更具抵抗力，因此需要更嚴格的前處理方式。通常可通過碾磨對木質纖維進行初步物理前處理後，再以化學或生物前處理將纖維素水解成單醣後才可發酵成酒精，其處理可分為兩個步驟：

1. 化學預前處理方法，目的為分離及打斷木質素與纖維素及半纖維素之鍵結及作用力，使纖維素聚合物更容易進一步水解糖化，在此步驟中部分半纖維素可能發生水解如圖 3 所示。
2. 第二步驟即是添加酶，即使用纖維素酶促進纖維素水解成單醣。

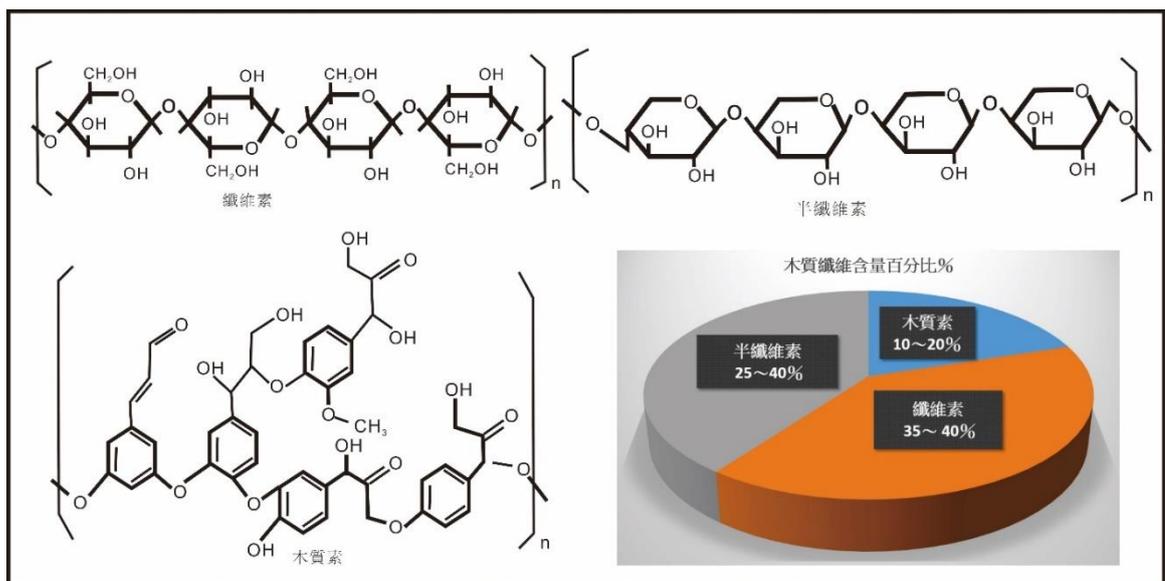


圖 2、木質纖維組成。

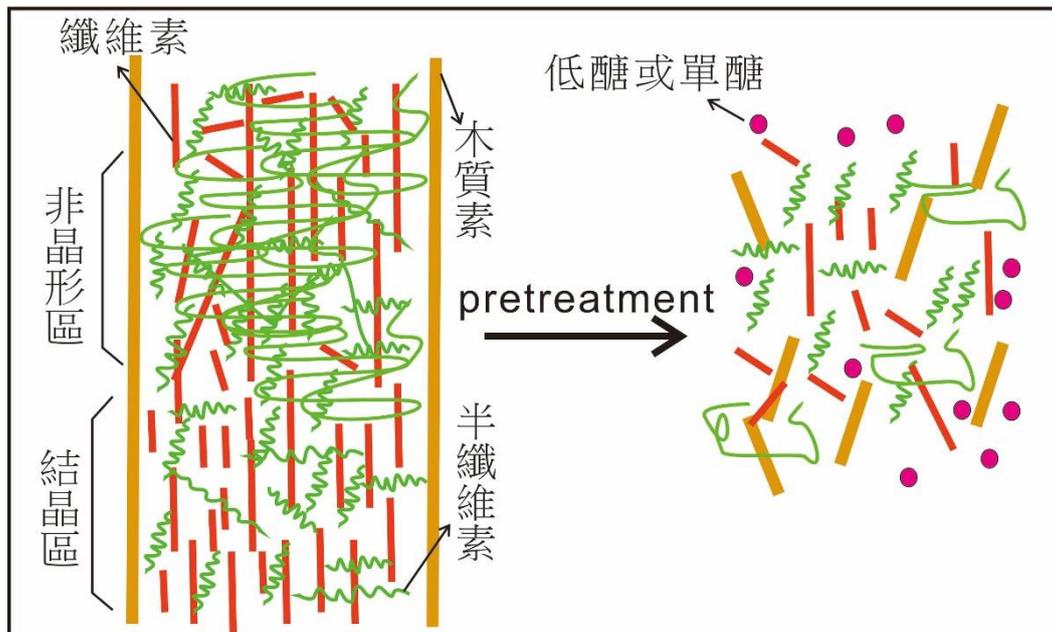


圖 3、木質纖維預前處理作用圖示。

二、 醴類發酵酒精生質能源之製備與探討。

(一) 廚餘酒精之製備與探討。

1. 酵母菌與米飯的比例探討。

- (1) 我們將各班級中午午餐之廚餘集中到實驗室，挑出青菜與魚肉骨頭等雜物，只留白米飯部分。
- (2) 將剩下之白米飯各秤取 200 公克，再以酵母菌：米飯為 0.5：100、1：100 及 2：100 等三種重量比例混合，分別放入透明水槽中，上覆蓋 PE 保鮮膜。
- (3) 靜置 3 天後，再加入適量的水，並在 PE 保鮮膜上戳洞讓氣體逸出。
- (4) 20 天後以酒精度計測量蒸餾後之酒精度（圖 4）。



圖 4、廚餘米飯發酵及測量工具實驗圖示。

2. 酵母粥與水的比例實驗。

(1) 以酵母菌：米飯=1：200 為控制變因，取 600 克之米飯與酵母菌混合放入保特瓶中，將瓶蓋轉緊，放置室溫之櫥櫃中。

(2) 第四天起，分別加入 300 克、600 克與 1200 克（即飯：水=2：1、1：1 及 1：2）等三種不同比例之純水為操縱變因，定時釋放瓶內產生的氣體進入汽球中，用電子天平秤量各瓶釋放氣體前後的重量（圖 5）。



(3) 並逐日記錄排氣量，藉此瞭解發酵之週期性。

圖 5、以氣球收集發酵之氣體。

3. 不同環境(溫度與 pH 值)之酒精度與糖度的量測。

(1) 以酵母菌：米飯=2：100 為控制變因，以溫度為操縱變因，取 200 克之米飯與酵母菌混合放入四個保特瓶中，將瓶蓋轉緊，第 4 天起將瓶蓋穿洞，分別放入冰箱（7℃）、保溫冰箱（15℃）、室溫（25℃）及烘箱（45℃）等四種不同溫度之環境，20 天後再分別以酒精度測量蒸餾後之酒精度。

(2) 以酵母菌：米飯=2：100 為控制變因，以 pH 值為操縱變因，取 200 克之米飯與酵母菌混合放入四個保特瓶中，將瓶蓋轉緊，第 4 天起將瓶蓋穿洞，分別加入 50ml 之醋酸溶液調成 pH=2.0、4.0 及 6.0 等三種不同 pH 值之環境，再另以 50 ml 之 NaOH 溶液將第 4 瓶調成 pH=8.0 之環境，20 天後以酒精度計測量酒精度比較之。

4. 酒精純度與生質燃料的關係。

(1) 我們由相關參考資料中可知酒精度與密度的關係如表 1 及圖 6 所示，因此如果知道酒精的比重即可知道酒精度為何。

表 1、酒精濃度與密度之關係。

酒精濃度	密度	單位
0 度	1.000	g/ml
10 度	0.988	g/ml
20 度	0.977	g/ml
30 度	0.966	g/ml
40 度	0.955	g/ml
50 度	0.942	g/ml
60 度	0.929	g/ml
70 度	0.903	g/ml
80 度	0.878	g/ml
90 度	0.844	g/ml
100 度	0.802	g/ml

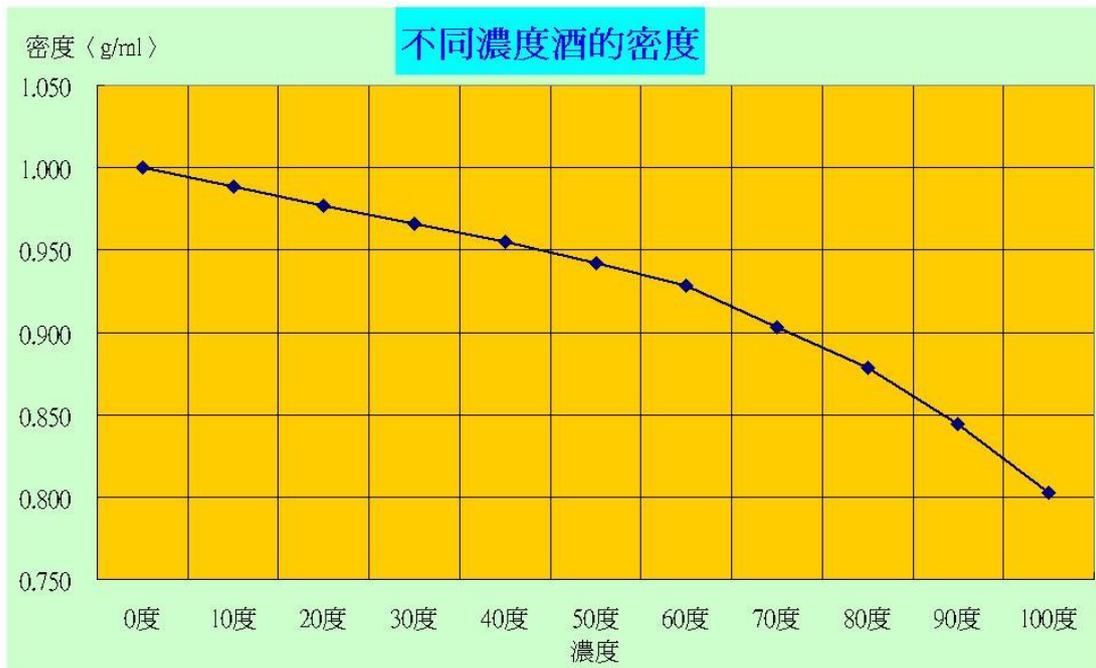


圖 6、酒精濃度與密度之關係圖。

(2) 為更進一步了解酒精度與可用燃料的關係，我們設計將實驗室常用純度為 95% 的酒精，加水調配成 95%、90%、85%、80%...40% 等比例，倒入酒精燈中嘗試燃燒記錄其燃燒時間，實驗其可燃性及可利用性，並以酒精度計比較其對應之純度關係。

5. 發酵過程中酒槽內物質的探討。

- (1) 以碘液實驗記錄是否有澱粉之存在。
- (2) 以本氏液嘗試檢測餾出物是否有葡萄糖之存在。
- (3) 以澄清石灰水驗證排出之氣體是否為 CO_2 ，每日觀察是否仍有氣體排出。(圖 7)



圖 7、以澄清石灰水檢查收集之氣體性質。

(二) 水果酒精之製備與探討。

1. 以研究米飯製備酒精之實驗為基礎，以改水果酵母菌嘗試其他種水果發酵。比較各種水果之單發酵的優缺點(圖 8)。



圖 8、各種水果的單發酵實驗。

(左而右依次為：甘蔗含酵母菌、蓮霧、柳丁、葡萄、柚子、蕃茄、鳳梨及一般甘蔗汁)

2. 水果酵母粥與表現最佳之水果的比例實驗。

(1) 以水果酵母菌：甘蔗汁=0.5：50、1：50 及 2：50 等三種不同重量比例之為操縱變因，一起放入密封留有孔洞之燒杯中。

(2) 以電子天平連接電腦秤量各瓶釋放氣體前後的重量，每 10 分鐘記錄排氣量，藉此瞭解發酵之週期性，如圖 9。

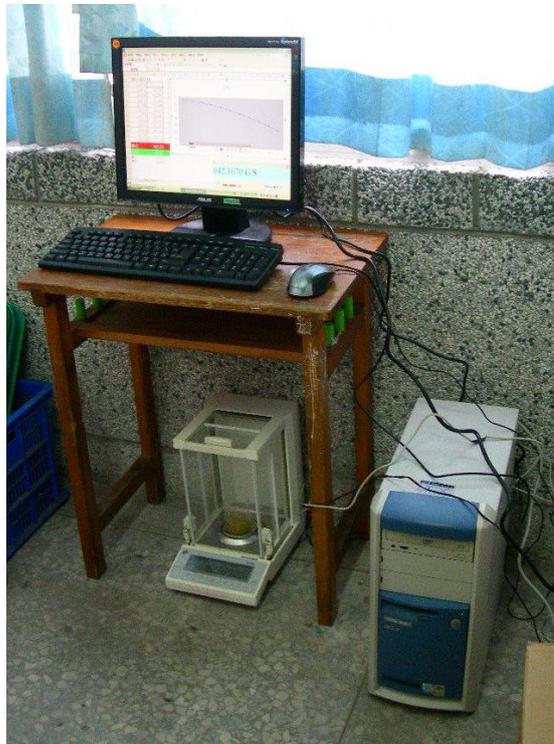


圖 9、以電腦連接電子天平，紀錄水果發酵的重量變化。

3. 水果酒精在不同環境(溫度、pH 值及添加蔗糖)之酒精度與糖度的量測。

(1) 以重量比酵母菌：水果液體=1：50 為控制變因，以溫度為操縱變因，取 50g 之水

果溶液與酵母菌混合放入四個保特瓶中，將瓶蓋轉緊，第 4 天起將瓶蓋穿洞，分別放入冰箱（7℃）、保溫冰箱（15℃）、室溫（25℃）及烘箱（45℃）等四種不同溫度之環境，20 天後再分別以酒精度測量蒸餾後之酒精度。

(2) 以酵母菌：水果液體 = 1：50 為控制變因，以 pH 值為操縱變因，取 50 克之水果溶液與酵母菌混合放入四個保特瓶中，將瓶蓋轉緊，第 4 天起將瓶蓋穿洞，分別加入 50ml 之醋酸溶液調成 pH=2.0、4.0 及 6.0 等三種不同 pH 值之環境，再另以 50 ml 之 NaOH 溶液將第 4 瓶調成 pH=8.0 之環境，20 天後以酒精度測量酒精度比較之。

(3) 以酵母菌：水果液體 = 1：200 為控制變因，再添加不同比例之台糖紅蔗糖，以添加 25 g、50 g 及 100 g 三種不同比例之添加，看看是否糖度愈高愈好。

4. 冷凝裝置之設計

(1) 以實驗室之有側支之燒瓶及錐形瓶與冷凝管架設冷凝裝置（圖 10）。

(2) 餾出之澄清液體以酒精度計及糖度計量測其酒精度及糖度。

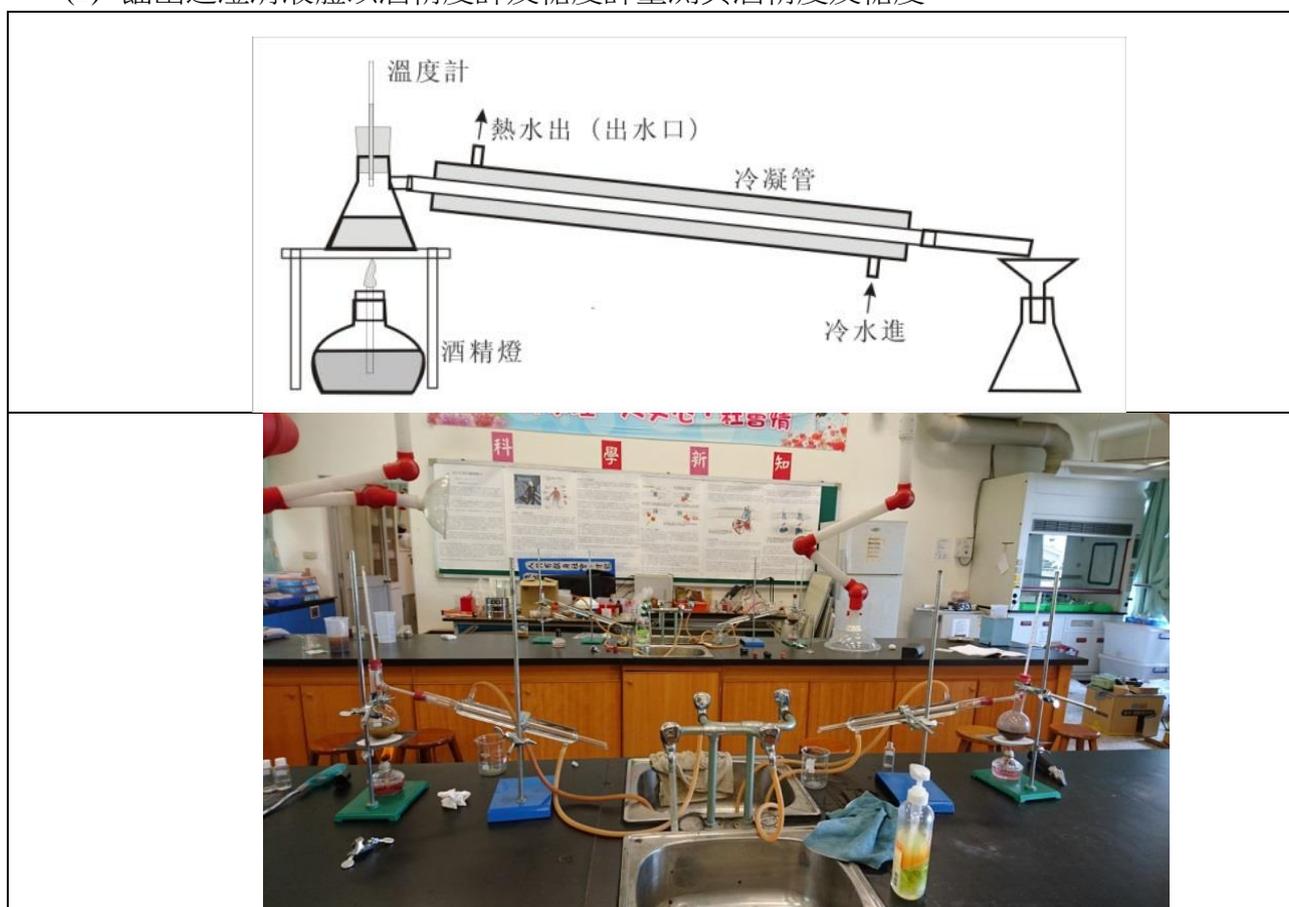


圖 10、實驗室之冷凝裝置。

(三) 將發酵技術應用在茶葉渣酒精之嘗試。

1. 以研究米飯製備酒精之實驗以及參考落葉酒精之方法為基礎，將茶葉渣經研磨過篩及糖化發酵之過程探討以茶葉渣來製備生物酒精之嘗試（如圖 11）。



		
茶葉渣	切碎研磨	過篩分級
		
水解糖化	發酵	製備酒精

圖 11、茶葉渣發酵製備酒精流程圖示。

2. 茶葉渣之處理與水解。

- (1) 收集辦公室泡茶後之茶葉渣。
- (2) 置入 110°C 乾燥烘箱烘乾 24 小時。
- (3) 將茶葉渣原料以咖啡研磨機切碎再放入鋼珠球型研磨機磨細。
- (4) 再將原料過篩號 200 以下之篩析網得到直徑小於 0.1mm 之原料。
- (5) 取過篩後原料 10 公克+500 ml 以 5% 濃度之硫酸，放置 50 °C 恆溫超音波水槽並開始震盪 1 小時後，並放置超過 24 小時將茶葉水解為葡萄糖。
- (6) 將上層液取出用 pH 計紀錄酸鹼值並以 28% 氨水以塑膠滴管小心中和至 pH=6.5~7。
- (7) 為比較與瞭解茶葉水解糖化之程度，利用不同之酸及鹽添加來比較茶葉水解糖化程度，以不同濃度（1M~6M）之鹽酸、硫酸與三氯化鋁添加加入定量之茶葉水溶液中。代替上步驟(5)之 5% 濃度之硫酸，並重複步驟(5)~(6)。

3. DNS 法檢驗葡萄糖。

- (1) 取糖液 2 ml 倒入比色管內。
- (2) 加入 3 ml DNS 試劑：以 0.25 g 之 3,5-dinitrosalicylic acid 與 75 g 之酒石酸鉀鈉溶於 50 mL、2 M 之 NaOH 中，再稀釋至 250 mL，製備之二硝基水楊酸 DNS 試劑。

- (3) 置入約 70°C 之水浴 10 分鐘
- (4) 置入 ps-2600 光譜儀設定波長 540 nm 檢驗其吸光度。
- (5) 利用不同濃度之糖液製作檢量線。
- (6) 取出 1g : 100g 之茶 : 水之水解後之糖液代入檢量線求得水解出的糖濃度。
- (7) DNS 法檢驗葡萄糖之原理：3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) 試劑之反應是利用 DNS 與還原糖發生氧化還原之特性，因此碳水化合物只要具有游離或游離趨勢之醛(葡萄糖)或酮基，即能在鹼性溶液下有還原的能力而進行以下反應 (圖 12)。

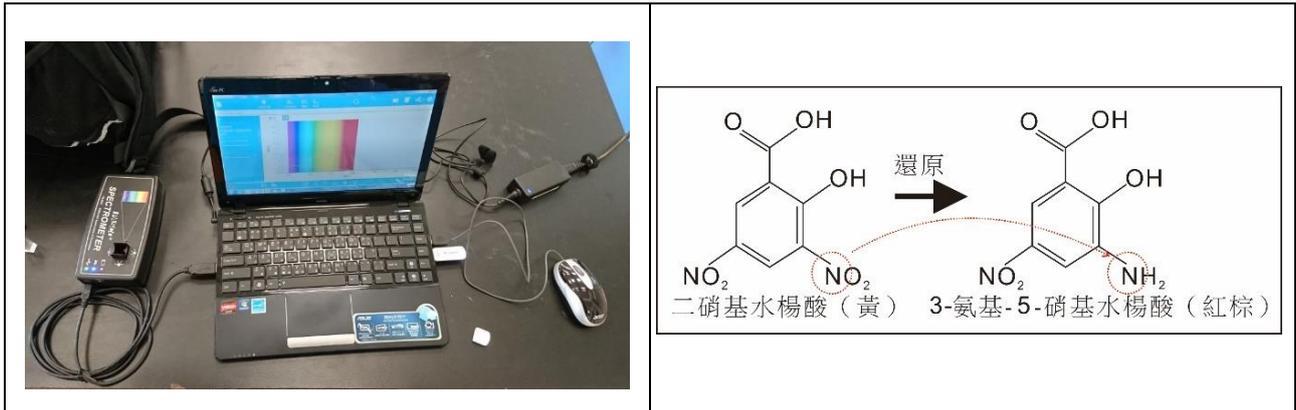


圖 12、利用 PASCO PS-2600 光譜儀檢測 DNS 法檢驗茶葉水解後之葡萄糖。

4. 發酵成生質酒精。

- (1) 取三種水解後糖液 (紅茶、綠茶、烏龍茶) 各 100ml 加入 1 克酵母菌 (分成 A、B、C、D 及混合 ABCD 等五種) 共 15 杯發酵數天 (如圖 13)。

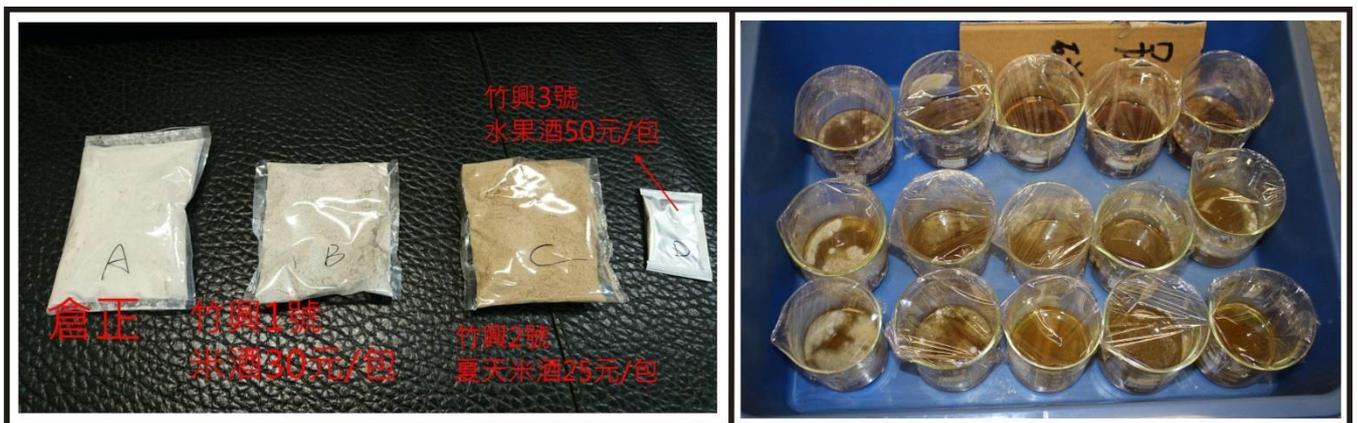


圖 13、四種酵母菌(A、B、C 及 D)之嘗試及發酵數天。

- (2) 將發酵 14 天以上之糖液以蒸餾裝置蒸餾之，在 75~85°C 之間取得餾液。
- (3) 以酒精度計紀錄酒精度。
- (4) 再依記錄取得最佳之茶葉種類、何種酸來糖解之濃度及酵母菌比例，進行第二次及第三次蒸餾，記錄最佳之酒精度值。

(四) 茶葉纖維水解之探究：依據茶葉纖維原料發酵程度之水解糖化發酵成酒精的實驗結果，繼續探討與比較茶葉成分組成與水解之關係。

1. 蒐集教師及家長常泡茶後之茶葉渣放入學校之熱循環箱內乾燥，以不同時間之乾燥天數（10、30 及 50 天）來比較乾燥天數是否會影響水解糖化之程度。其糖化水解之實驗條件一律取過篩後粉末 5g 與 250ml 之 1M 硫酸反應，超音波以 60°C 震盪 60 分並放置 24 小時後，加入 DNS 檢驗水解糖化程度，纖維素在酸溶液中之水解糖化原理如圖 14。

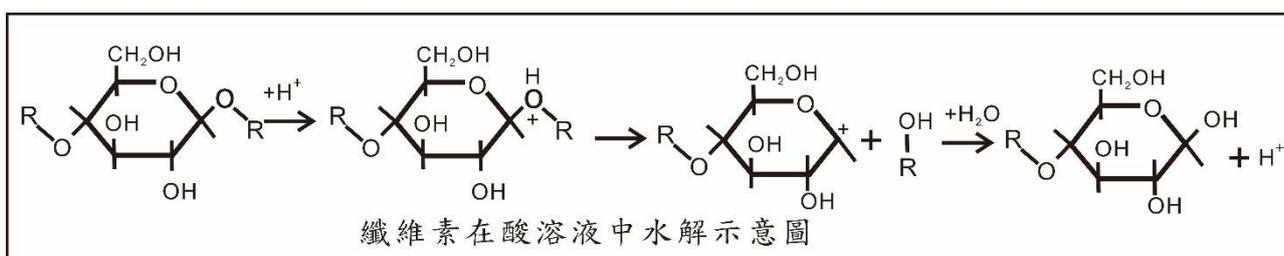


圖 14、纖維素在酸溶液中水解糖化原理圖示。

2. 將茶葉分成未泡生茶葉、已沖泡後之茶葉渣、沖泡後茶梗以及沖泡後茶葉來分析比較其水解糖化程度（圖 15）。（其糖化水解之實驗條件同上步驟 1，一律取過篩後粉末 5g）

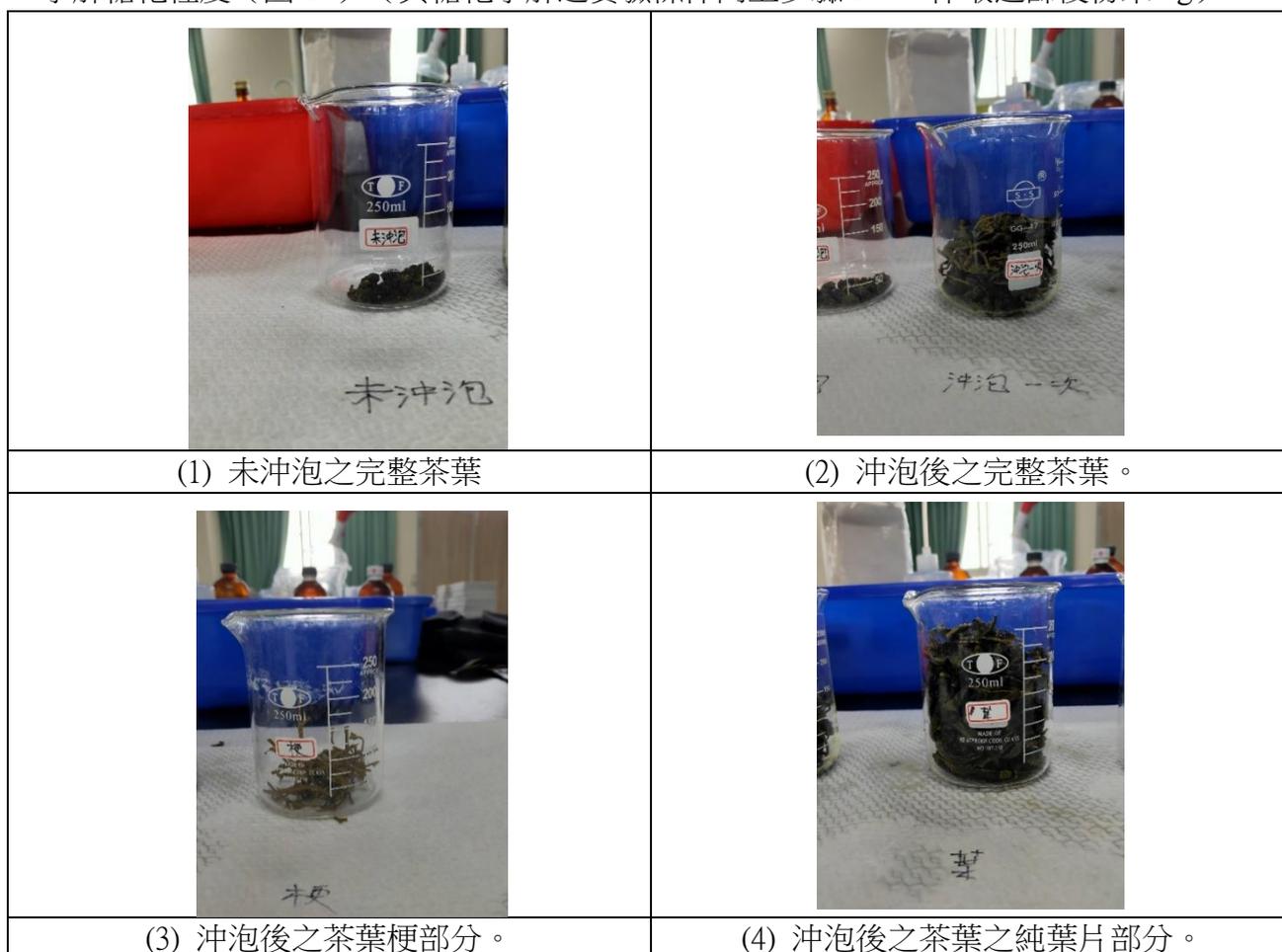


圖 15、分析茶葉與茶葉渣之組成原料其水解程度之比較。

3. 呈上 2 之酸環境水解步驟，以鹼性氫氧化鉀與氫氧化鈣（生石灰）取代硫酸找嘗試出更環保之茶葉纖維水解預前處理方式，因鉀離子可以為土壤環境之肥料故較對環境友善。
- (1) 以添加 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 來部分取代強鹼 KOH 來比較水解糖化之結果。
 - (2) 以氫氧化鉀與氫氧化鈣不同比例來添加， $\text{KOH}:\text{Ca}(\text{OH})_2$ 分別為 2.5%:0、0.5% : 1%、0.5% : 2%、0.5% : 3%、0.5% : 4%以及 0.5% : 5%。
 - (3) 其餘實驗條件同上步驟 2，纖維素在鹼溶液中之水解糖化原理如圖 16。

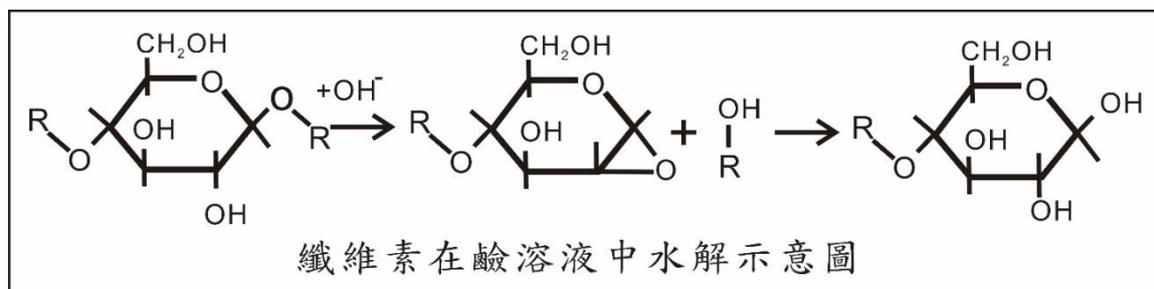


圖 16、纖維素分別在鹼溶液中之水解糖化原理圖示。

4. 討論加上微波加熱方式是否可以增加水解糖化率。
 - (1) 固定微波功率（1200W），固定其他實驗條件及變因，以不同微波加熱時間來比較水解糖化率。
 - (2) 實驗條件同上步驟 3（皆固定比例添加 KOH 0.5%+ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 2%）。
5. 綜合評論以上實驗步驟及結果，找出最佳預前處理之實驗條件操作，嘗試設計一標準化學藥品添加處理程序來提高茶葉渣之水解糖化率。

三、 醴類酒精生質能源之產值及經濟效益評估。

1. 在製備酒精方面無論是廚餘酒精、水果酒精及茶葉酒精都是屬於葡萄糖氧化成酒精之發酵，已知葡萄糖經酵母菌作用產生酒精二氧化碳和能量，一分子的葡萄糖會轉變為兩分子的二氧化碳及兩分子的酒精， CO_2 之分子量為 44 而酒精為 46，故 90 克葡萄糖經酵母菌發酵會產生 44 克之二氧化碳及 46 克之酒精。

單發酵： $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \xrightarrow{\text{酵母菌}} 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2 + Q$ ，例如：水果酒、米酒等。

$$\text{產率} = \frac{\text{實際產量}}{\text{理論產量}} \times 100\%$$

2. 依據實驗結果與已知資料討論醴類酒精生質能源的產值與經濟效益。

伍、 結果與討論

一、 製備生質酒精酒精的實驗結果。

(一) 廚餘酒精與水果酒精的結果與討論。

1. 酵母菌與米飯的重量比例經 20 天後蒸餾結果如圖 17 所示，酵母菌和米飯的比例愈高，則發酵效果並未較佳且各比例差異不大，以我們的實驗來說以 1 : 100 為最佳比例。

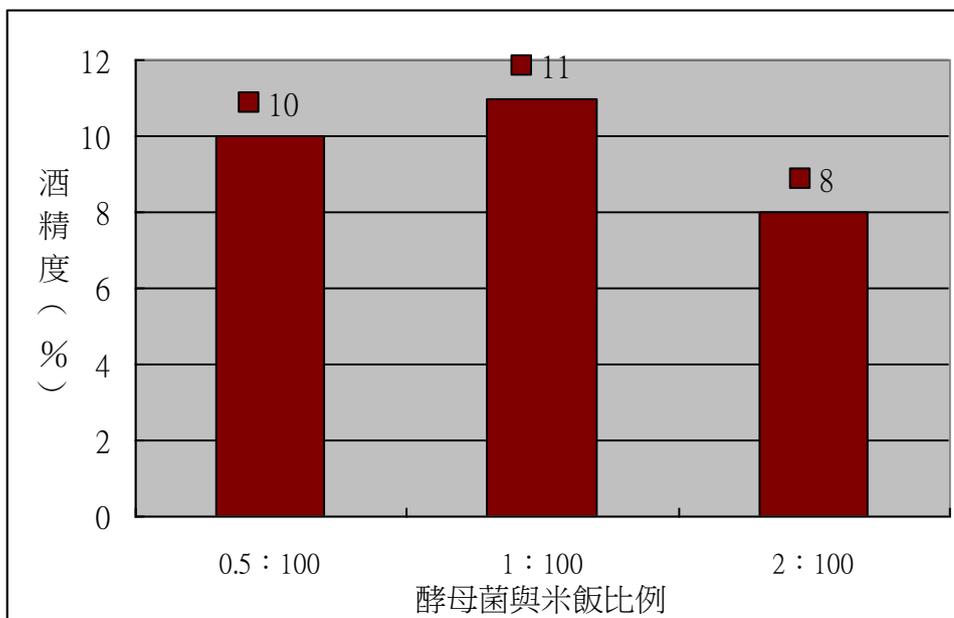


圖 17、酵母菌與米飯比例關係之實驗結果。

2. 酵母粥與水的比例。

- (1) 實驗結果如圖 18，以產生氣體的速率來比較顯示粥與水的重量比例愈高則剛開始發酵作用較快，應是因酵母菌和粥的濃度較高，但約幾天後 1：1 所產生氣體的速率較快反而大過 2：1，應是被反應物的濃度已降低，或酒精濃度已較高而抑制酵母菌的發酵，整體來說酵母粥：水=1：1 表現較佳，加太多的水雖酒精總產量沒有較少，但濃度會較低，且較佔空間，蒸餾會耗去較多能量。
- (2) 而以酵母粥：水=1：1 的氣體每日產生累積量來看（圖 19），可以知道開始發酵後，前一、二天為發酵最盛時期，約莫到 5 天後發酵開始變慢。
- (3) 總體來說酵母菌：米飯：水的發酵最佳比例約是 1：100：100。

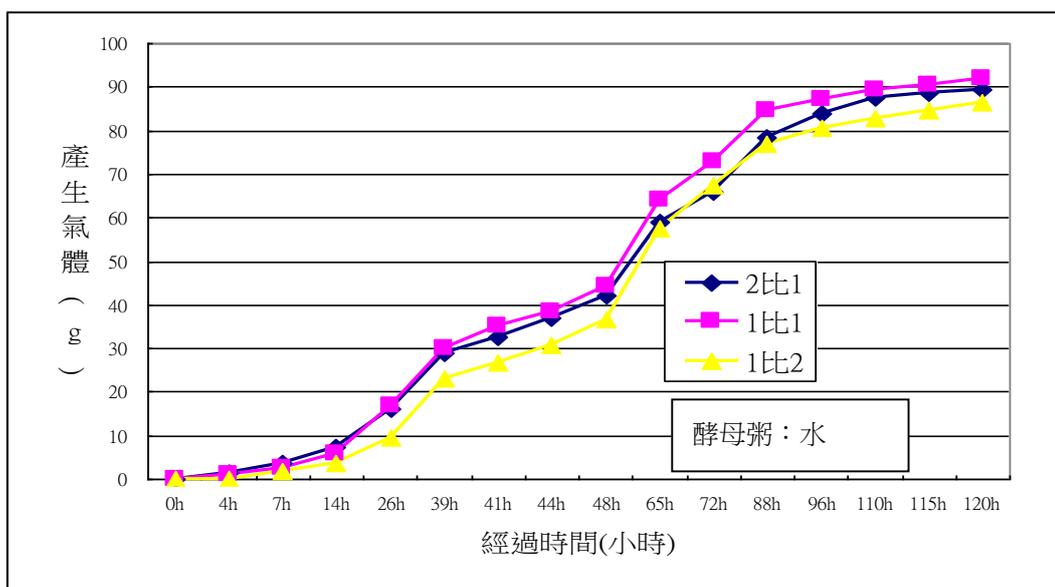


圖 18、酵母粥與水的比例關係之實驗結果。



圖 19、重量比為酵母粥：水=1：1 之開始發酵日起，每日產生氣體累積量。

3. 發酵過程中酒槽內物質的探討。

(1) 以碘液實驗記錄酒槽內是否有澱粉之存在。

依碘液之檢測實驗結果如圖 20 知只有廚餘米飯尚有澱粉之殘留，而水果類則無殘餘澱粉存在，而米飯酒糟狀似豆渣，我們判斷有蛋白質，核酸等組成細胞的成分，故酵母菌也能將米飯的營養素轉變為蛋白質、核酸等營養成分。



圖 20、碘液之實驗檢測結果。

(2) 以本氏液實驗記錄餾出物是否有葡萄糖之存在。

本氏液的反應原理為還原糖（葡萄糖）和本氏液（含藍色 Cu^{2+} ）共熱就會產生氧化亞銅（ Cu_2O ）的紅色沉澱。亦即：依本氏液之檢測餾出物之實驗結果如圖 21 知，餾出物中皆無葡萄糖之殘留，代表葡萄糖已經發酵完全成醇類或有機酸。



(3) 而排出之氣體由澄清石灰水（ $\text{Ca}(\text{OH})_{2(aq)}$ ）變白色混濁之現象亦知確實為二氧化碳。

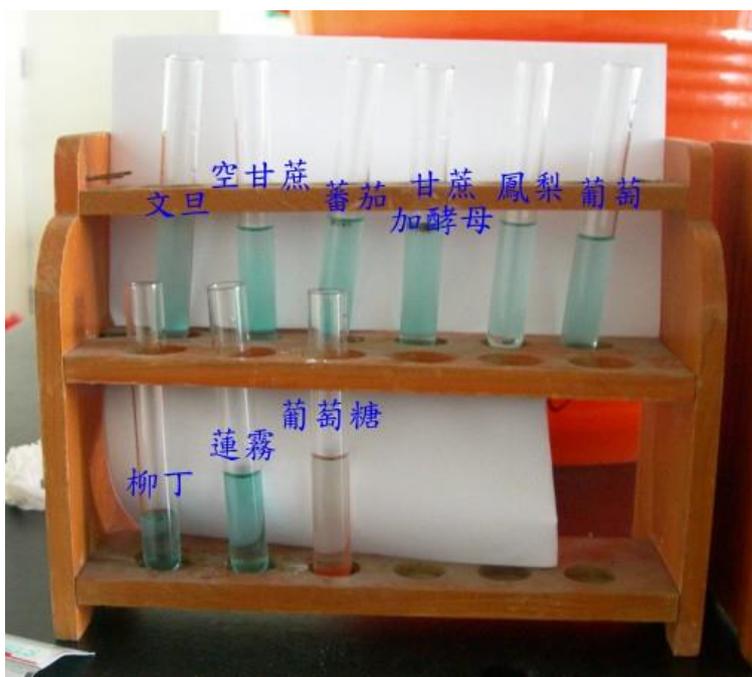
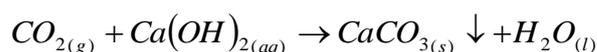


圖 21、本氏液之實驗檢測結果顯示發酵後已無葡萄糖殘留。

(二) 水果酒精的製備。

1. 以 8 種的水果 10 天的發酵蒸餾結果來看（表 2），糖度愈高，產出之生質酒精愈高。

表 2、水果發酵前糖度與 10 日發酵後酒精度之關係表。

水果名稱	甘蔗	蓮霧	柳丁	葡萄	柚子	蕃茄	鳳梨
原始糖度	14°	7°	6°	12°	7°	6°	15°
10 天後酒精度	17%	2%	0%	15%	0%	0%	16%

2. 而有些水果如柚子、柳丁與蕃茄，但是卻未見發酵效果，可能水果成分中雖有糖份但可能亦含有抑制發酵之成分存在，故不全然每一種水果皆可發酵水果酒精。

3. 我們的實驗結果顯示水果中亦以甘蔗為最佳生質酒精之製造原料，其次是鳳梨，而我們將甘蔗實施三次蒸餾結果如圖 22 所示，發現蒸餾次數愈多，酒精度愈高，第三次蒸餾後發現酒精度可以達 70% 以上。

4. 我們以甘蔗為發酵原料，嘗試以不同重量比例之水果酵母菌與甘蔗汁之實驗結果如下圖 23。結果顯示酵母菌與甘蔗汁 = 1:50 比例為最佳。

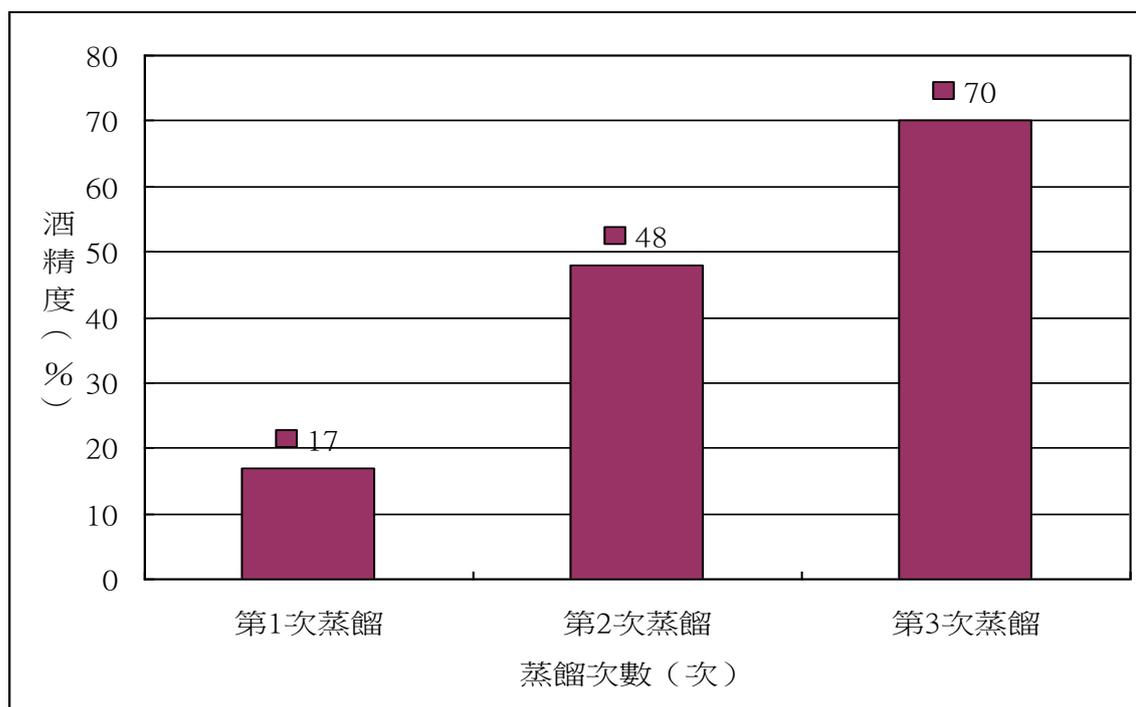


圖 22、甘蔗實施三次蒸餾測其酒精度結果。

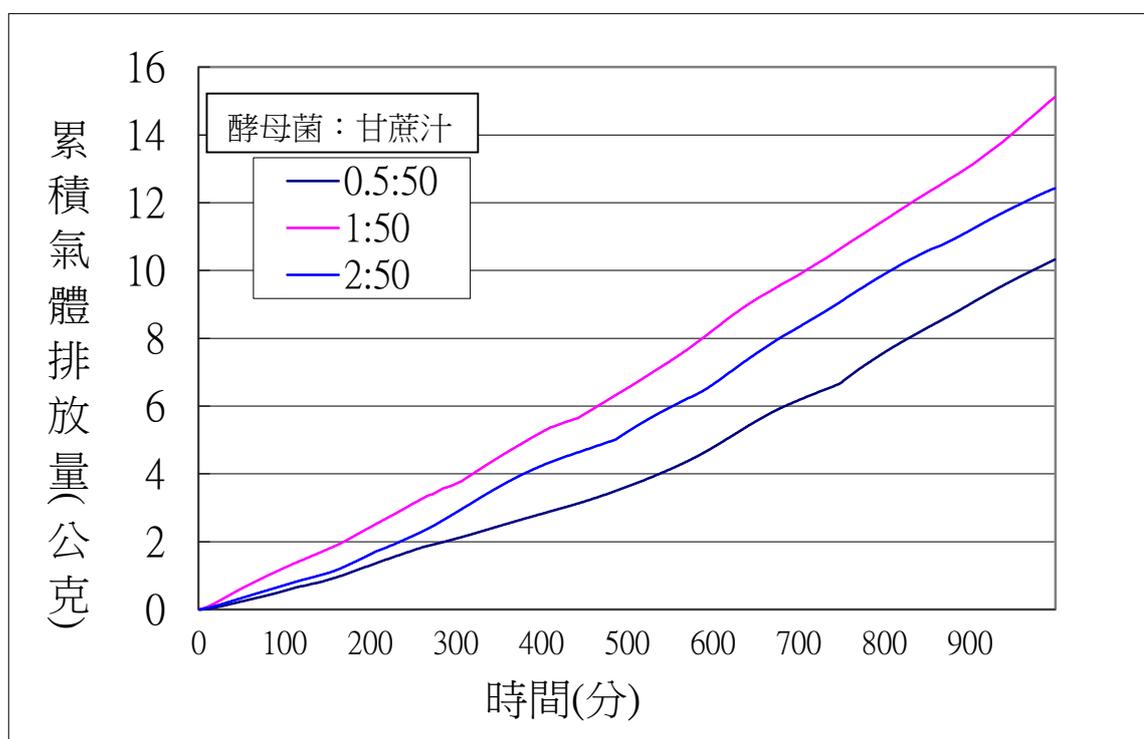


圖 23、酵母粥與甘蔗汁的重量比例關係之實驗結果。

5. 嘗試添加不同量之蔗糖結果如圖 24。結果顯示並非糖度愈高愈好，反而是添加蔗糖最少的實驗為最佳，這顯示在發酵過程中，過高的甜度可能會抑制酵母菌的發酵。

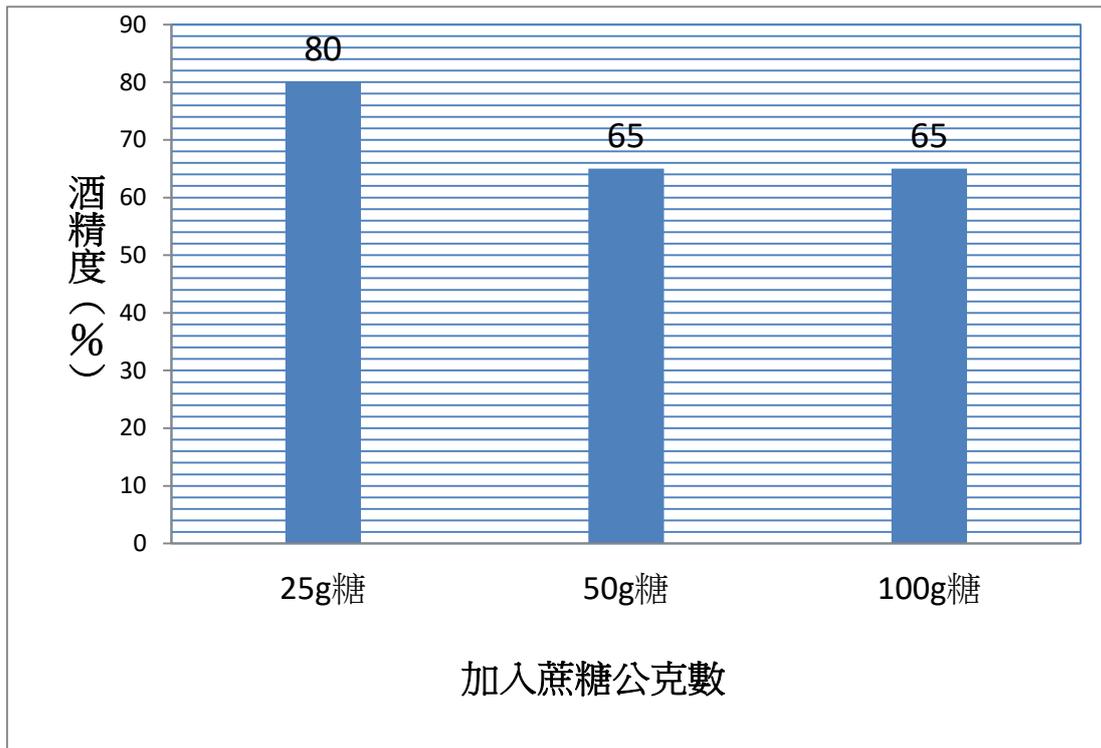


圖 24、另外加入蔗糖公克數發酵比較結果。

(三) 環境對生質酒精發酵的影響。

1. 不同酸鹼環境(pH 值)十天發酵後的量測結果如圖 25 所示，顯示無論是廚餘酒精或是水果酒精都顯示 pH 值太低時 (pH=2) 會有抑制發酵的跡象，故可知太酸的環境會抑制酵母菌的發酵，最適合的酸鹼環境為 pH=6 左右的微弱酸環境；而溫度對廚餘與水果發酵的影響倒是不同，廚餘適合室溫發酵，而水果反而是比室溫低些比較好 (圖 26)。

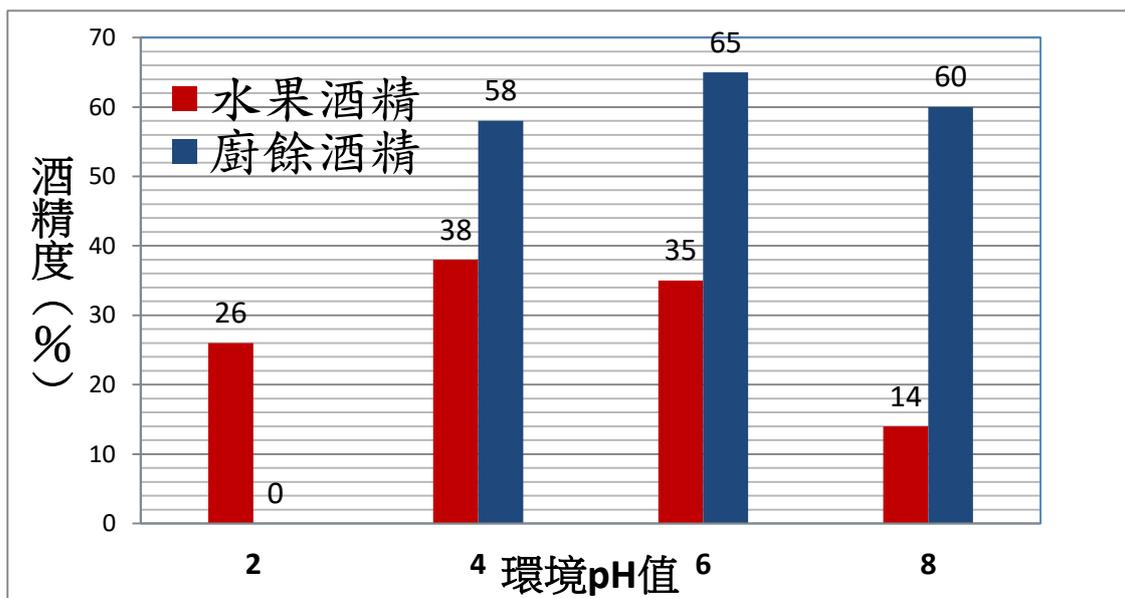


圖 25、酸鹼環境(pH 值)對水果酒精度的影響。

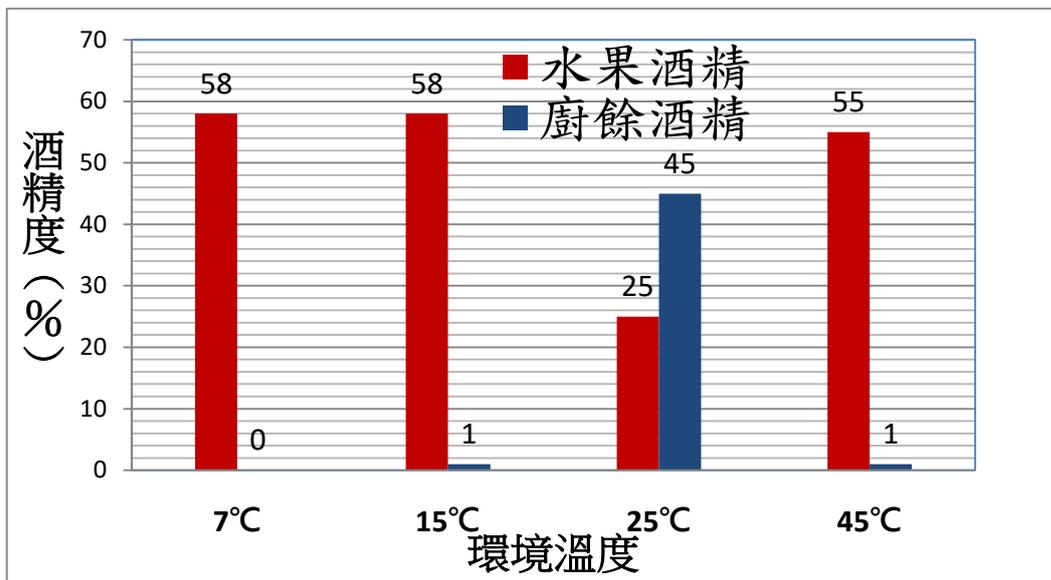


圖 26、溫度對水果酒精度的影響。

2. 酒精純度與生質燃料的關係。

- (1) 再次檢視我們所採用之 AL80 酒精度計是利用光線穿透不同濃度的液體時，折射角度會產生改變的原理，來測量不同濃度的液體如酒水、糖水、鹽水等，以換算出溶液的實際濃度，所以，在尚未蒸餾之前並不適合來量初始酒精度。
- (2) 重新檢視酒精度計與特別調配酒精度（以藥用酒精與水調配）%如表三，發現酒精度與實際藥用酒精之實際酒精度有±5%的誤差，與圖 6 酒精比重與濃度之關係相互參照，爾後只要知道酒精之比重或酒精度計之讀數即可知道正確之酒精濃度。
- (3) 由表 3 及結果整理圖 27 中亦可知酒精度與酒精燈燃燒的關係，發現轉化出來之生質酒精如要充作實驗室之燃料用酒精，純度則要 80%以上就可以燃燒 1 分鐘以上。而我們利用米飯所製備之第一次蒸餾酒精純度約為 15%，第二次為 45%，第三次則可以到達 80%以上。所以，如我們要製備生質酒精則最少要蒸餾三次以上才適合。

表 3、酒精度計與調配之酒精度之關係表。

項次	酒精度計讀數	調配酒精度%	酒精燃燒時間（秒）
1	80	95	60 ↑
2	80	90	60 ↑
3	80	85	60 ↑
4	80	80	60 ↑
5	80	75	55
6	75	70	46
7	68	65	57
8	65	60	9
9	50	55	17
10	50	50	15
11	50	45	5
12	45	40	0
13	35	35	0

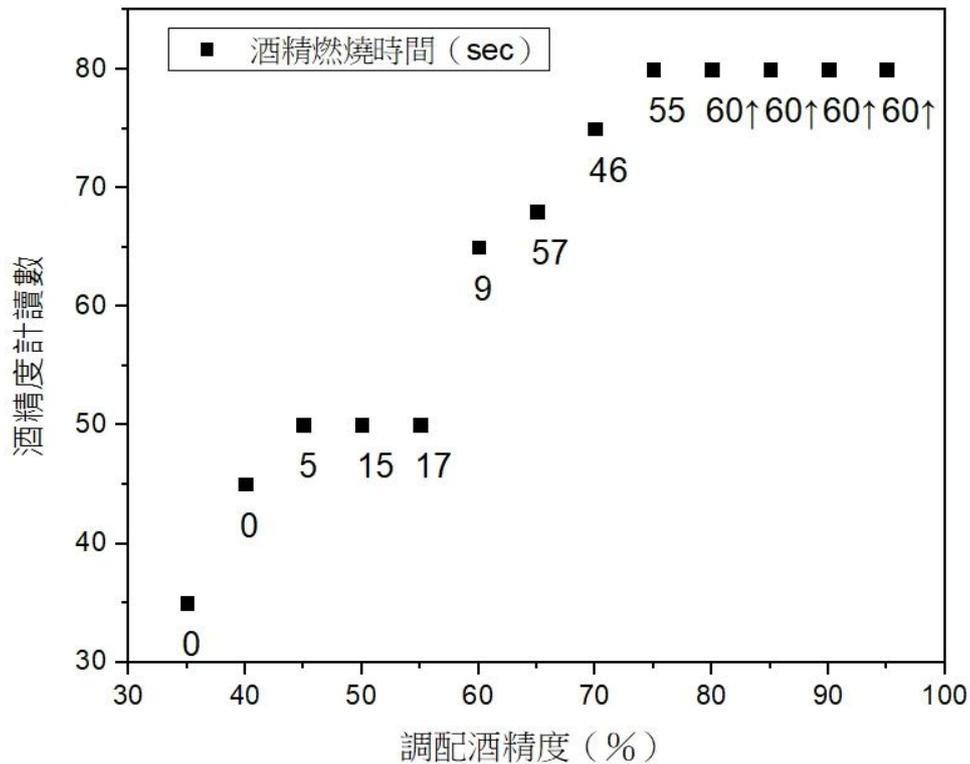


圖 27、酒精度計及調配之酒精度個別與酒精燃燒時間之關係結果比較圖。

二、茶葉酒精之嘗試結果。

(一) DNS 法檢驗茶葉水解得到葡萄糖之結果。

1. 將實驗室之葡萄糖配製成 0.02%、0.04%、0.06%、0.08%及 0.1%置入 PS-2600 之光譜儀中以 540nm 之吸收度製作檢量線結果如圖 28。
2. 再將 1：100 之紅茶與水比例之糖解液置入檢量線，**由圖 28 中可發現紅茶糖解後葡萄糖濃度為 0.01577%**，證明紅茶確實可以稀酸水解得到葡萄糖。故如要發展茶葉酒精應該是可行之道，如要以茶葉渣來進行水解糖化只要再加入合適藥品加熱破壞纖維素來去除木質素與半纖維素對纖維素之保護作用過程，即可廢物利用且可兼顧環境保護之效。

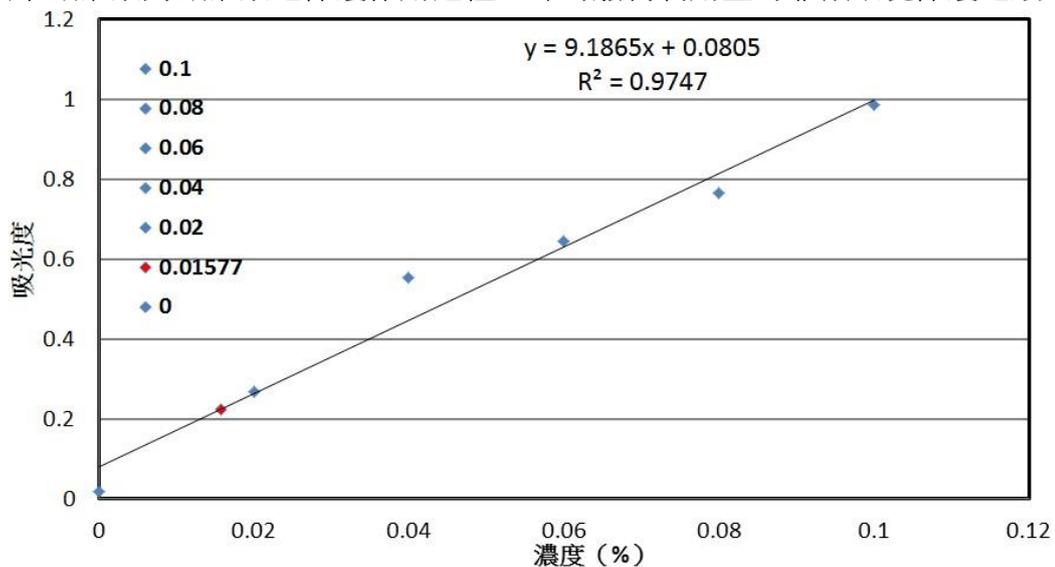


圖 28、檢測茶葉稀酸水解後之葡萄糖濃度結果。

(二) 茶葉種類與酵母菌種類搭配之實驗結果與討論。

1. 實驗結果如圖 29 所示。由圖中可以看出，密封之保鮮膜在前三天有鼓起，顯示確有進行發酵之過程。且實驗記錄觀察為 A、B 及混用酵母菌為最佳。



圖 29、茶葉種類與酵母菌種類搭配發酵 14 天之實際實驗照片圖。

2. 實際測試酒精度結果發現酒精度極少近於 0，只能以蒸餾前幾滴才測的到酒精度（1%~6%），如要蒸餾一段時間收集固定量才測酒精度，通常都測不到。因此研判實是茶葉糖解量太少，不夠酵母菌繼續發酵下去。

(三) 提高比例(茶：水=4:100)再實際檢測茶葉種類之糖解量分析。

1. 將紅茶、綠茶及烏龍茶以 ps-2600 測得光譜分析如圖 30 所示。顯示三種茶葉渣水解糖化程度確實有差異。

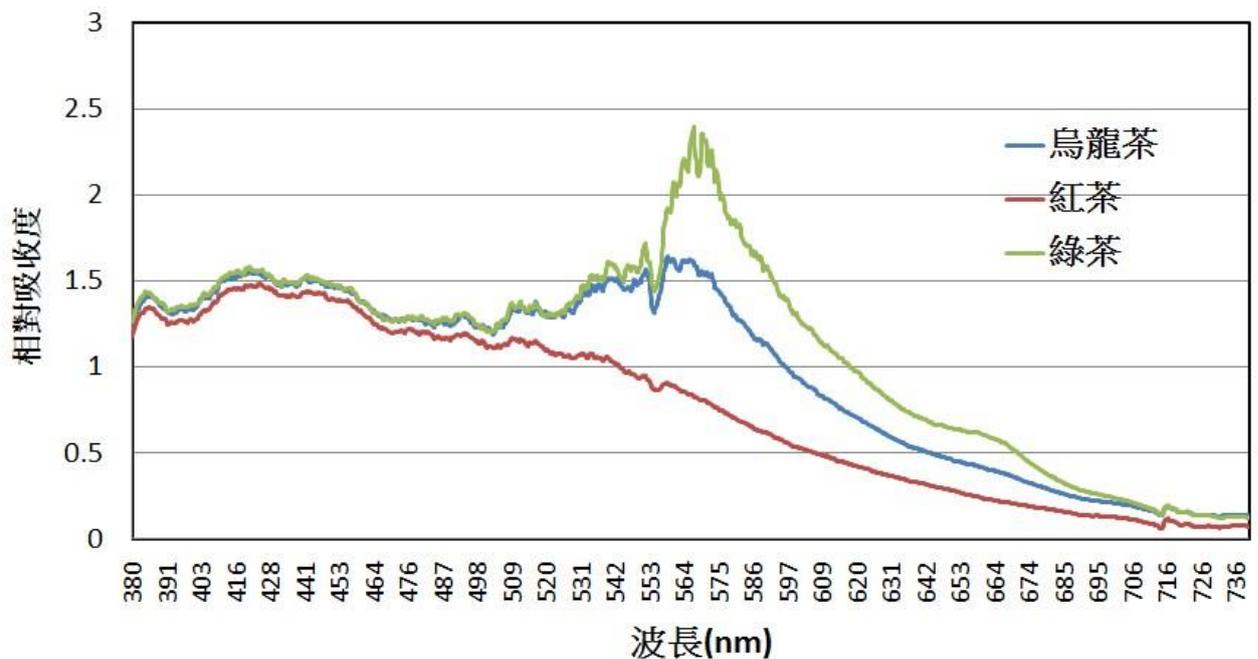


圖 30、三種茶葉種類水解糖化之光譜分析結果。

2. 將三種之光譜以 DNS 法檢量發現以綠茶水解糖化程度最高為 1.6%（圖 31），烏龍茶次之為 1.511%，而紅茶則最低為 1.038%，或許是綠茶為為發酵茶、烏龍為半發酵茶、而紅茶為全發酵茶有關，這值得爾後繼續研究發展，但是可以確定水解糖化程度皆較低，故爾後如要發展茶葉酒精應要以水解糖化程度列為首要克服困難重點要項。

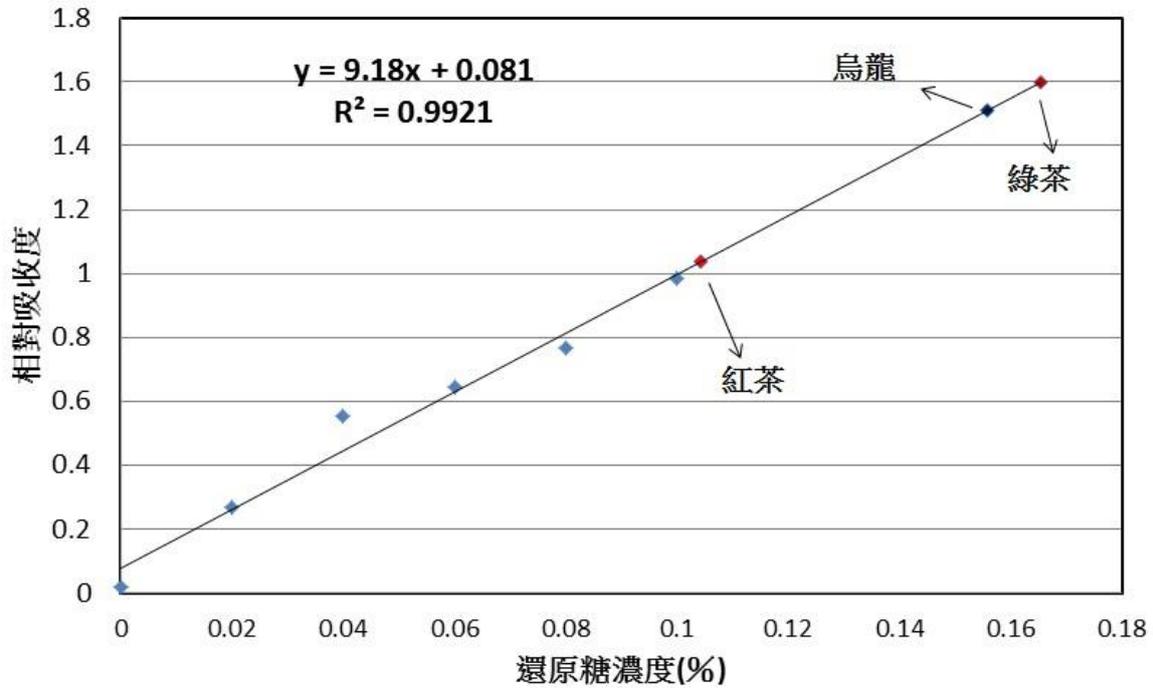


圖 31、三種茶葉種類以葡萄糖減量測試結果。

3. 以不同濃度之鹽酸、硫酸及三氯化鋁來嘗試水解糖化茶葉渣之特徵吸收光譜結果分別如圖 32、圖 33 及圖 34 所示。結果可以看出以 1M 之硫酸可水解糖化效果亦不錯，故未來因兼顧成本考量及環保，本實驗之酸皆以添加 1M 之硫酸為最佳之選擇。

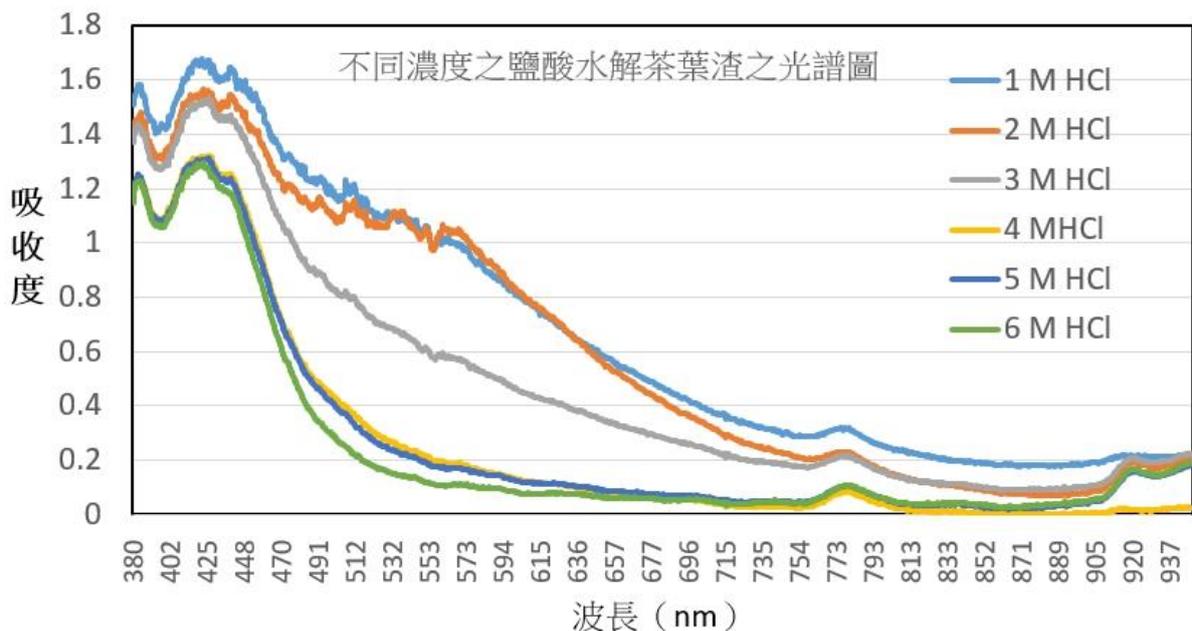


圖 32、不同濃度之鹽酸水解糖化茶葉渣之結果。

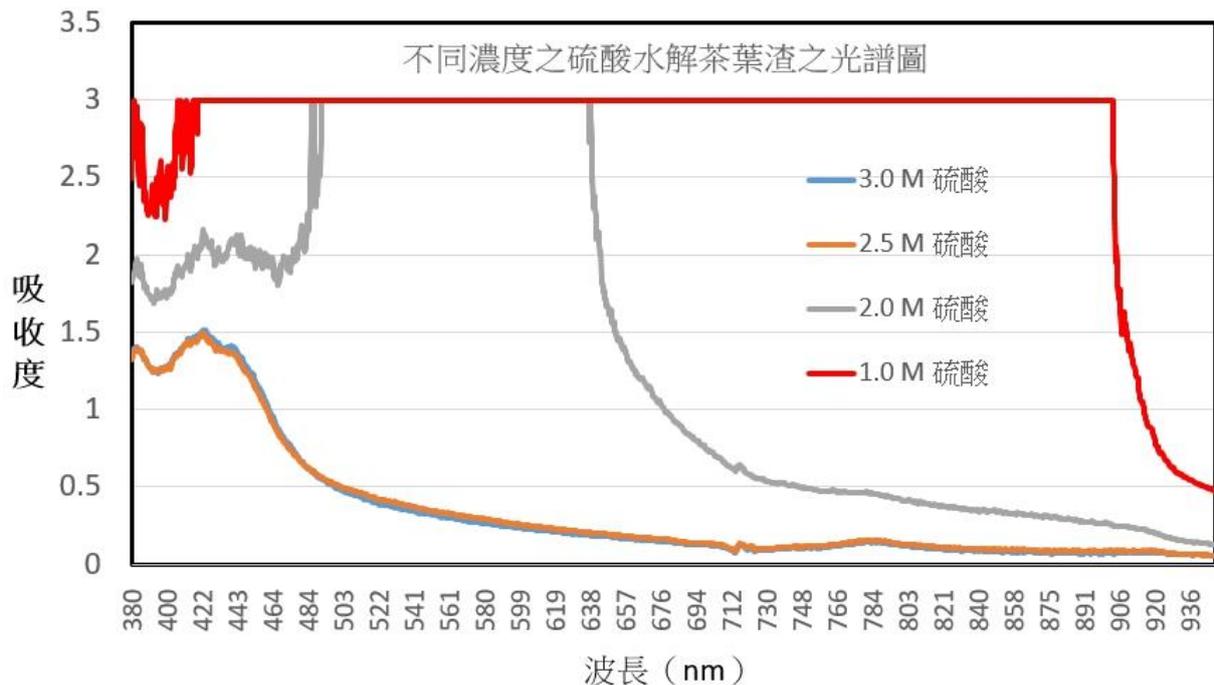


圖 33、不同濃度之硫酸水解糖化茶葉渣之結果。

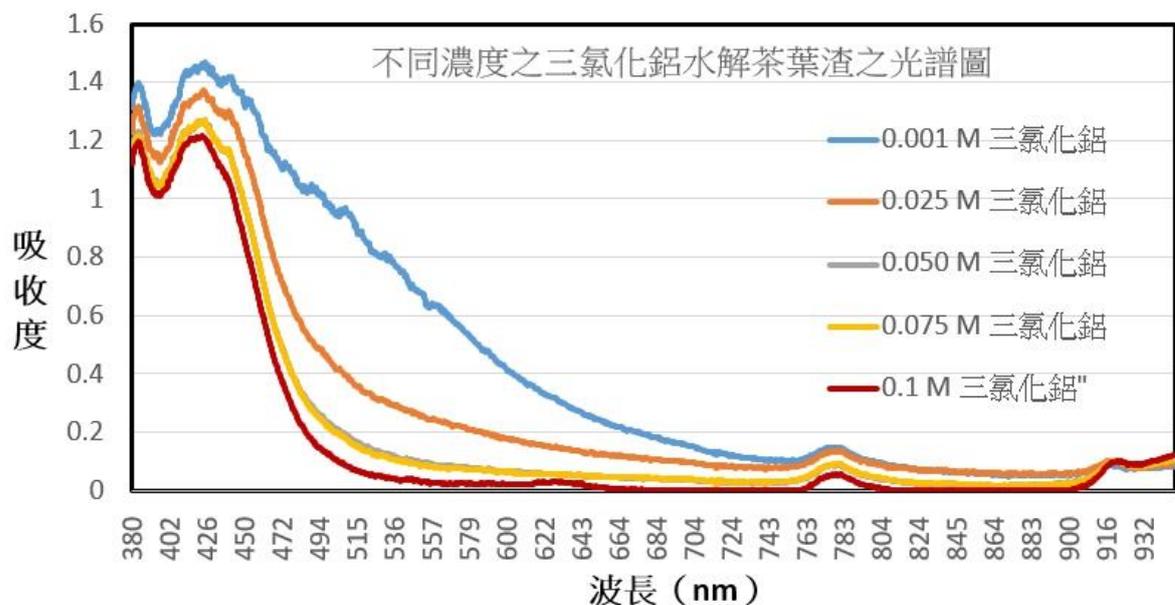


圖 34、不同濃度之三氯化鋁溶液水解糖化茶葉渣之結果。

三、茶葉纖維水解糖化之探究結果與討論。

(一)茶葉渣原料乾燥天數測試結果如圖 35 顯示只要乾燥天數足夠即可進行下一步之前處理步驟，在 60°C 乾燥箱中時間越久，或許可以讓前處理之酸或鹼溶液更容易進到木質纖維中進行鍵結與結合力之破壞，茶葉木質纖維之各鍵結與作用力整理分析如表 4 所示，由資料顯示單純乾燥應不至於會讓水解糖化率增高很多或差異太大，畢竟木質纖維素各成分之間的鍵結與作用力十分強大。

茶葉乾燥天數對茶葉水解糖化的影響

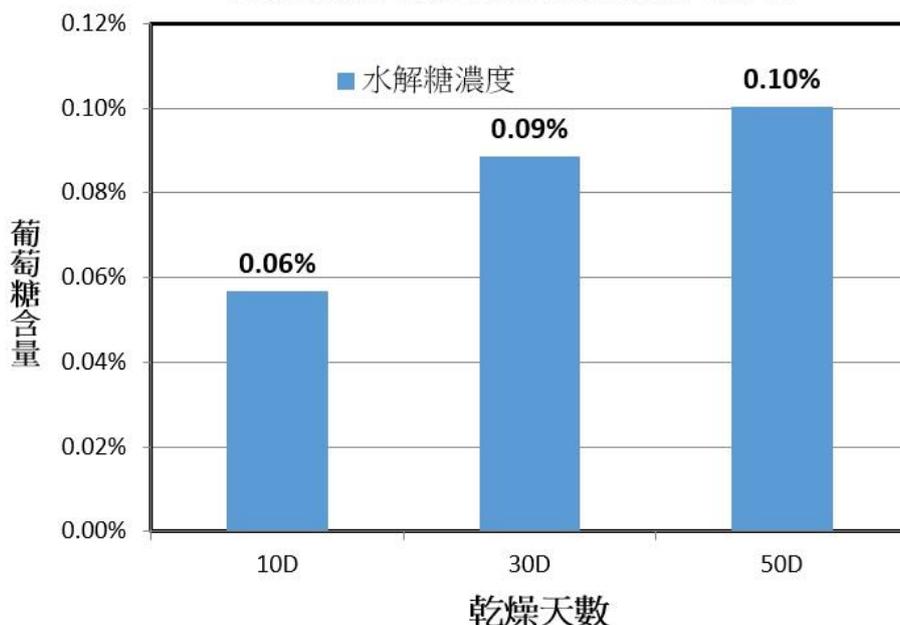


圖 35、茶葉渣原料乾燥天數之影響結果。

表 4、木質纖維素之間鍵結與作用力之關係。(文獻 13 資料整理)

木質纖維素中之木質素、纖維素和半纖維素的單體單元之間及聚合物之間的連接作用力	
Bonds within different components (intrapolymer linkages)	
醚基鍵結	木質素，纖維素與半纖維素
碳-碳鍵結	木質素
氫鍵	纖維素
酯基鍵結	半纖維素
Bonds connecting different components (interpolymer linkages)	
醚基鍵結	木質素-纖維素 木質素-半纖維素
酯基鍵結	木質素-半纖維素
氫鍵	纖維素-半纖維素 木質素-半纖維素 木質素-纖維素

木質纖維素成分中的官能基團			
Functional Group	木質素	纖維素	半纖維素
芳香烴	○		
羥基	○		
碳-碳鍵	○		
醚(糖苷)鍵	○	○	○
酯基鍵結			○
氫鍵		○	○

備註：氫鍵不是官能團，但它的存在會改變了分子(物質)的溶解度，因此它的存在與否對於分解木質纖維素很重要。

(二)以酸為水解條件之四種茶葉原料水解糖化程度 DNS 分析之結果如圖 36 所示。

1. 由圖之可知含糖量高至低為未沖泡>已沖泡>茶梗>純葉片，未沖泡前確實糖化程度最高，研判應與茶葉組成成分（表 5）有關，確實沖泡後會有部分可溶灰分含醣類流失掉，但相對的仍會有有用之纖維素及半纖維素可以留下來供水解糖化。
2. 實驗結果亦可知道茶葉梗之水解糖化比葉的部分更有利用價值，顯然是與梗富含纖維素（約含 50%纖維素），而葉則是富含半纖維素有關係（約含 85%半纖維素）（文獻 13）。
3. 由結果中亦再度驗證茶葉原料之發酵程度會影響水解糖化之結果，一般來說高山茶葉發酵程度在 20%以內，而烏龍茶則是在 30%以上，而學校老師及父執輩們則喜歡喝高山茶，所以高山茶之茶葉渣原料來源我們是可以不用發愁的。

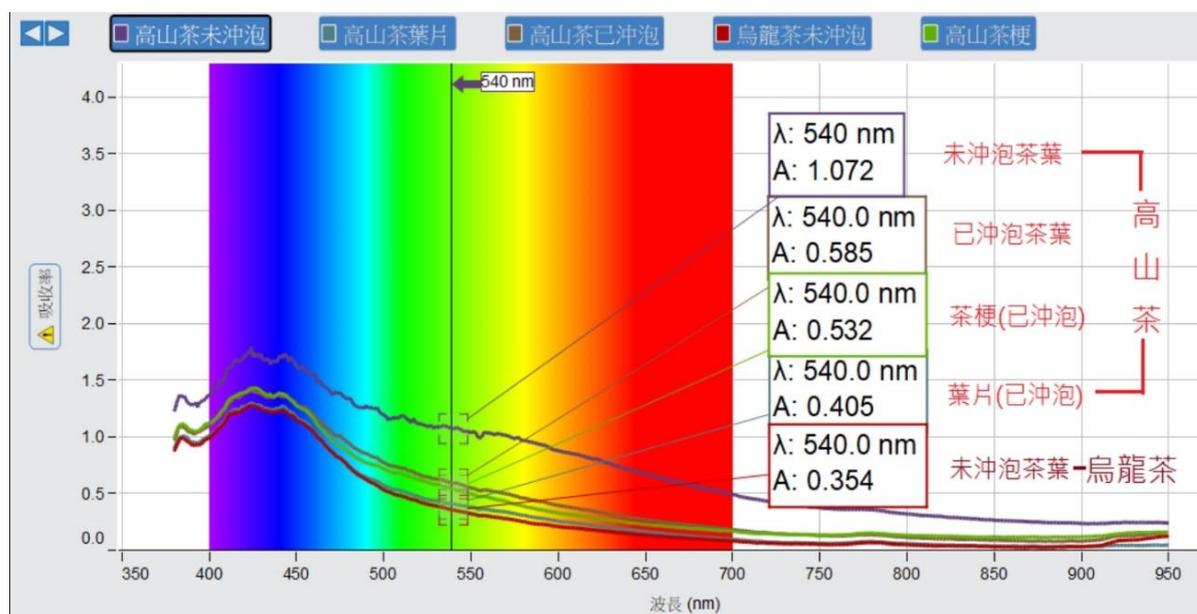


圖 36、不同茶葉原料之酸溶液水解糖化之 DNS 光譜結果。

表 5、茶葉之組成成分。（文獻 7 整理）

茶葉所含成分分析表

成分	乾物量中%	可溶分中%
單糖類	4	11
果膠質	4~7	0.5~1
澱粉	1~2	
粗纖維	13	
半纖維	7	
脂質	2~3	
礦物質	5	10
植物色素	0.01	
蛋白質	15~23	1~2
氨基酸	2~4	5~10
咖啡因	3~4	8~10
揮發性成分	0.01-0.02	
有機酸	0.5	1
總組成(約)	60%	40%

(三)尋求比濃硫酸更環保之（0.5%KOH+2%Ca(OH)₂）鹼性水解條件的比較結果。

1. 如圖 37 可有效提高水解糖化率近 30 倍（鹼的條件 4.69%比酸的條件之 0.16%）。
2. 結果顯示含糖量為純梗>未沖泡>沖泡>葉，但梗更是大大提高，研判應與鹼性溶液在預前處理部分更容易破壞木質素與纖維素及半纖維素之鍵結與作用力有關。

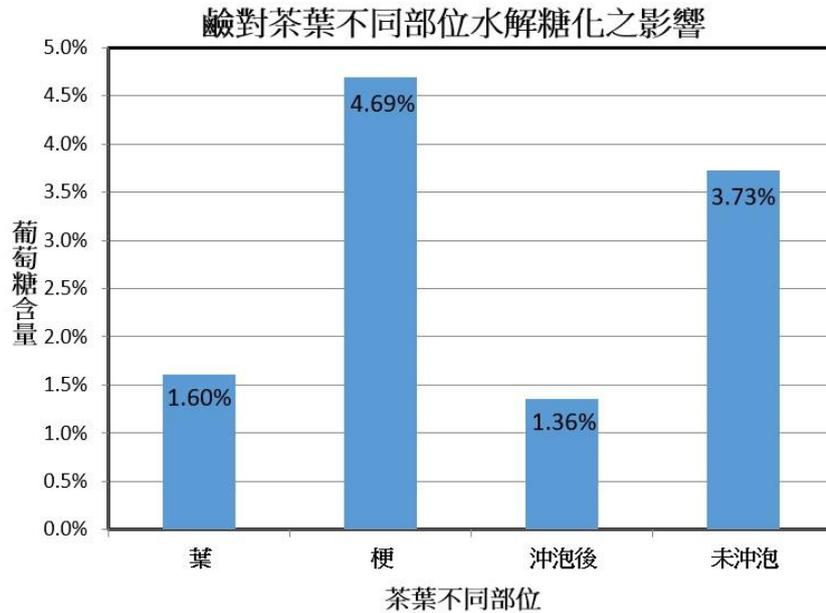


圖 37、不同茶葉原料之鹼性溶液水解糖化之比較結果。

(四)不同比例之 KOH 與 Ca(OH)₂ 之鹼性水解條件之比較結果。

1. 實驗結果如圖 38 可見 Ca(OH)₂ 比例越高水解糖化率就越高，故未來利用鹼性溶液預前處理確實可利用石灰部分取代 KOH 或 NaOH 等強鹼，如此可對環境更友善。
2. 圖中亦可發現在鹼溶液中含糖量最高為 5.35%比酸的條件（約為 0.16%）亦提高了約 30 倍，顯見茶葉渣的前處理上在鹼性溶液條件下確實比酸性溶液條件佳，這或許跟茶葉木質素、纖維素及半纖維素之間鍵結及作用力方式有關，這部分值得再深究。

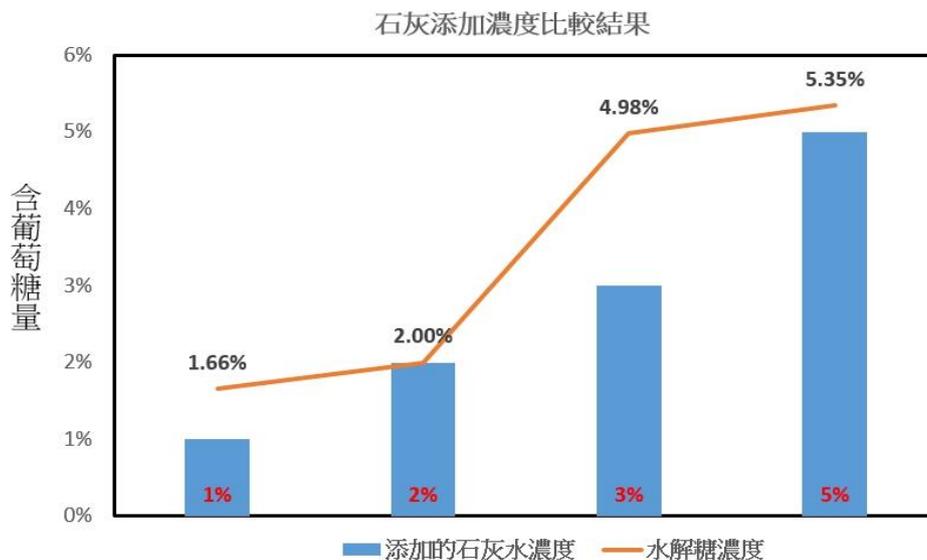


圖 38、不同比例之鹼性溶液水解糖化後含糖量之比較結果。

(五)微波爐加熱之實驗結果討論。

1. 實驗結果如圖 39 所示，可見微波加熱方式確實亦可促進茶葉水解糖化。
2. 以微波加熱方式來預前處理確實可如參考文獻所述可增加水分子進到木質纖維素之間去破壞木質素、纖維素與半纖維素之間的作用力之機會，但是實驗中亦發現微波時因加熱方式快且可用容器量小，常伴隨著高溫溶液沸騰噴濺的問題，所以微波無法長時間連續加熱是一大困擾之一，如圖中只有 24 秒沒有噴濺問題，其他加熱時間都有溶液因高溫沸騰噴濺到加熱盤中，研判因此造成水解糖化數據難判讀之情形。

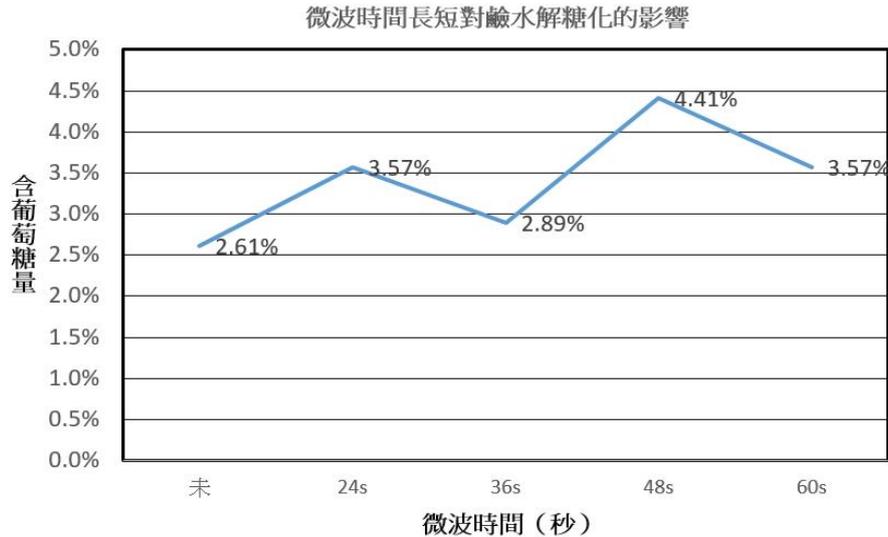


圖 39、不同時間之微波加熱水解糖化後含糖量之比較結果。

(六)依實驗結果，取過篩後茶葉渣粉末 5g 與 250ml 之 0.5%KOH+5%Ca(OH)₂ 混合超音波以 60°C 震盪 60 分後以功率 1200W 微波 90 秒並放置 10 小時，進行以鹼破壞木質纖維與半纖維素及纖維素之鍵結，後再以濃硫酸滴至 pH 值 < 1，放置烘箱中 60°C 靜置 24 小時以上進行纖維素及半纖維素之水解，其結果如圖 40 顯示如此操作程序，確實可以提高纖維素水解糖化率至含糖量達 10.97%，正好可以進行下一步之酵素酶之將糖發酵成纖維酒精。

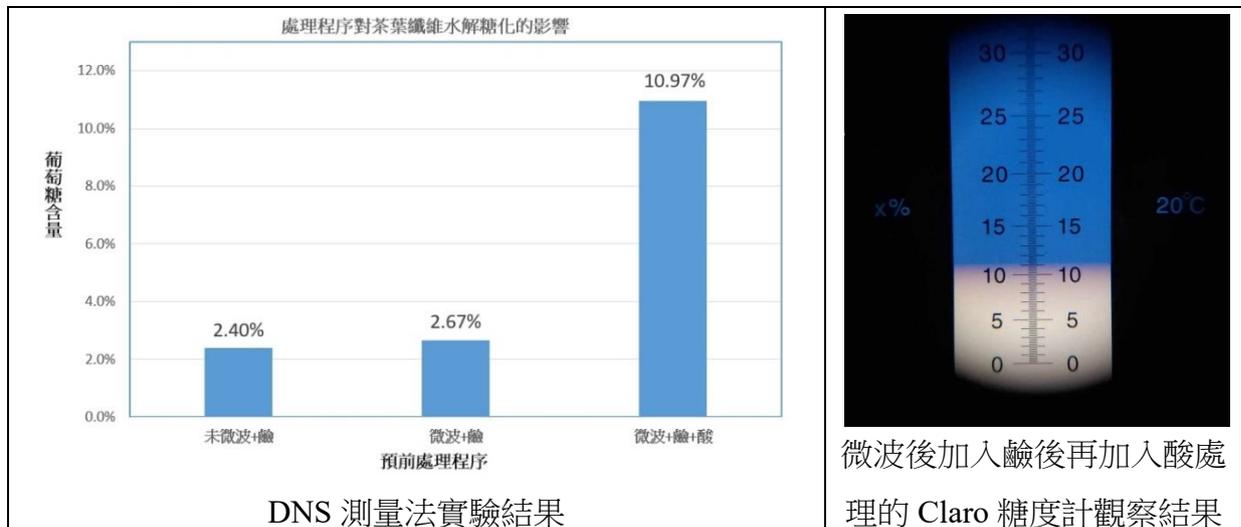
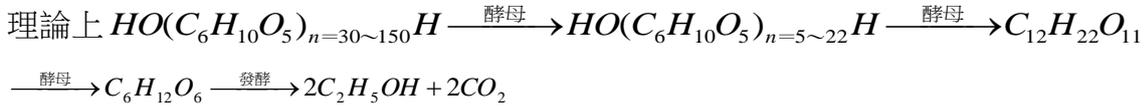


圖 40、目前最佳之纖維素水解預前處理程序之糖化結果比較。

四、生質能源之產值及經濟效益評估。

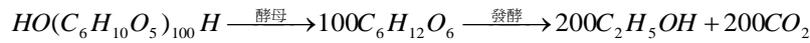
(一) 製造生質酒精之產值及經濟效益評估。

1. 如以廚餘酒精來看，100g 的米約可煮成 200g 的飯（米加水），而我們的實驗結果可知，廚餘 600g 飯，約可產生 100g 的二氧化碳與約 100g 的酒精，其餘是水分和酵母菌的細胞成份。



意即：澱粉→糊精→麥芽糖→葡萄糖→酒精加二氧化碳。

故如以澱粉均值 $n=100$ 來看，理論如下



故 600g 米飯理論值為 $(600/16218) \times 200 \times 46 = 340$ (g)，

所以我們的蒸餾結果來看平均產值約為 29%。 $(100/340 \times 100\% = 29\%)$

經濟效益即是 $100/600 \times 100\% = 17\%$ ，即是 600g 的米飯約可生成 100g 有用的酒精。

2. 而水果酒精來看，理論上 $C_{12}H_{22}O_{11} \xrightarrow{\text{酵母}} C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{發酵}} 2C_2H_5OH + 2CO_2$ ，意即如果有 100g 的甘蔗汁，甜度為 18%，則有 18g (0.1 莫耳) 的雙醣類，如有 100% 的產率反應約可以產生 9.2 公克 (0.2 莫耳) 的酒精。但是以我們多次蒸餾的結果來看，產率只有 20%，故較不及理論值。
3. 以茶葉酒精來看，當時測得第一滴蒸餾酒精度最高為 6% 至第 5 滴約為 1%，而以一滴的量依據 3ml 塑膠滴管以 20 滴數滴完來計數，一滴量約為 3/20ml，而以最高一滴量 $6\% \times 3/20\text{ml} = 0.009\text{ml}$ ，就算前面數滴都採計其實際產率 (體積%) 亦最高不會到 1%，所以酒精度計在一定量之後完全測不到數據，所以常只測到 0%；而假設以 100ml 的綠茶水解糖化最高葡萄糖量 $1.6\% \times 100\text{ml} = 1.6\text{ml}$ ，假設比重近於 1，那麼也只有 1.6 克葡萄糖，又依據 $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{發酵}} 2C_2H_5OH + 2CO_2$ ，所以 100% 的產率反應只可產出約 0.81 克的酒精，而 100ml 綠茶當時是以 10 克綠茶溶於 500ml 再分成 100 ml 之 5 杯中，所以綠茶茶葉酒精產率 (以重量計) 理論值為 $0.81/2 \times 100\% = 40.8\%$ ，而實際產率不到 1% 遠不及理論值。實是因為水解葡萄糖量太低，故此次我們已將纖維水解糖量提高 30 倍以上，相信爾後之纖維酒精發酵將可大大提升酒精度。

(二) 醣類生質酒精之經濟效益比較。

1. 以我們實驗來說醣類酒精產值生質最高為米飯酒精可達 29%，但是確實還是不高。而要為生質能源之用途的話，需要多次蒸餾至酒精純度約為 80% 以上，才有類似酒精燈燃燒 1 分鐘以上之能源效用。
2. 提高水解糖化率後以參考文獻 14 利用以光合作用菌：活力美：木黴菌：醣類酵母菌 = 1：

5 : 7 : 3 加入 300ml 茶葉渣水溶液嘗試複合菌種之發酵，依據實驗結果分成三階段處理：

(1) 第一階段：鹼性溶液加微波脹破木質素、纖維素及半纖維素間之作用力（圖 41）。



圖 41、鹼性溶液加微波水解槽裝置圖。

(2) 第二階段：加入 1M 之硫酸及超音波震盪幫助纖維素之水解糖化(圖 42)，以 DNS 法測得葡萄糖度約 11.5%，以糖度計檢測亦是約 11%左右。

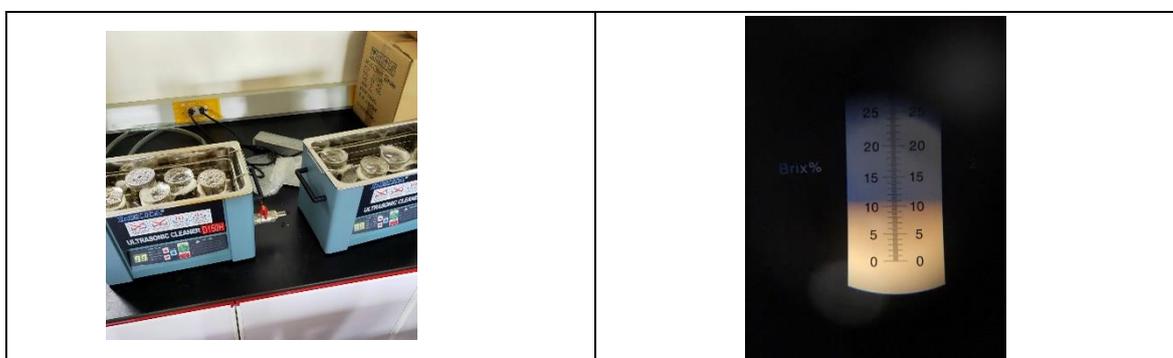


圖 42、硫酸水解糖化纖維素槽裝置及水解糖化提高至 11%左右。

(3) 第三階段：加入木黴菌、活力美、光合作用菌及醱類酵母菌等複合菌種幫助將醱類發酵成酒精，亦幫助尚未完全水解糖化之纖維素及半纖維素進一步以菌種之方式進行水解糖化，發酵 14 天後以酒精度計亦可測得約 12%的酒精度，且所發酵之茶葉酒精皆有散發濃厚的茶葉香氣，而最近坊間皆有生產與綠茶或茶葉相關食品之販售，或許如果茶葉渣酒精可以順利量產，除了能源用途考量之外，在商業經濟價值之用途亦可考慮發展利用茶葉渣之酒精來生產如茶葉啤酒、酒糖及巧克力等之添加風味來增加經濟效益(圖 43)。



圖 43.複合菌種發酵槽及茶葉風味糖及飲用酒類添加之示意圖與 AL-80 酒精度計的結果。

陸、結論

- 一、午餐廚餘來製備生質酒精，酵母粥與水的重量比例愈高則剛開始發酵作用明顯較快，幾天後反應物的濃度降低而降低發酵速率，而酒精濃度較高亦可能抑制酵母菌的發酵，最佳重量比例為酵母菌：米飯：水約是 1：100：100；環境則為 pH=6、溫度為 25°C 左右為最佳反應條件，而發酵後 1、2 天是為發酵高峰期，第 5 天後則較緩慢，另外平均產值為 29% 左右，而第三次蒸餾後則可得到 80% 純度之生質酒精，此生質酒精確實可以做為實驗室酒精燃料用。
- 二、水果的糖度愈高，發酵結果愈好，但如另外添加蔗糖則以適量為佳，過量亦會抑制發酵，有些水果成分中雖有糖份但可能亦含有抑制發酵之成分存在。結果顯示水果中以甘蔗為最佳生質酒精之製造原料，其次是鳳梨，而我們將甘蔗實施三次蒸餾結果後發現酒精度可以達 70% 以上。水果發酵（甘蔗）最佳重量比例為水果酵母菌：甘蔗汁=約是 1：50；環境則為 pH=6、溫度為 15°C 以下為較好之環境反應條件。
- 三、而數字型酒精度計使用需受到一些限制，必須為高純度之澄清液體，因此建議測量酒精度仍須利用一般玻璃比重計較佳，可以參考酒精濃度與比重對照表來應用；酒糟添加碘液檢驗發現廚餘米飯中仍有澱粉的反應，而水果類則沒有澱粉的存在，而餾出物中以本氏液檢測亦知皆無葡萄糖之存在表示發酵已完全，且逸出之氣體亦確定為二氧化碳。
- 四、茶葉渣酒精有廢物再利用之價值，如可適當比例之鹼性溶液(0.5%KOH+5%Ca(OH)₂)加上超音波震盪及微波加熱幫助溶解木質纖維之鍵結作用力，後再加入 H₂SO₄ 幫助纖維素及半纖維素之水解糖化可達前所未有之含糖量 10% 以上，如此未來發展茶葉酒精大有可為。
- 五、以產率及經濟效益來看，醴類發酵生質酒精目前以廚餘米飯為最佳，但未來如能對環境較友善且具商業經濟價值來看，或許發展茶葉酒精是可行的方向之一。

柒、參考資料

1. 李思源等，生「柴」有道—米酒、廢油變柴油，中華民國第四十六屆中小學科學展覽會高職組化工科第二名作品說明書。
2. 林詩雅，「茭」糖釀的酒-探討以茭白筍殼製作生質酒精的可行性，中華民國第五十六屆中小學科學展覽會國中組化學科第三名作品說明書。
3. 江斐瑜等（2009）：國中自然與生活科技 第四冊 第五章 生活中的有機物 第三節 常見有機物—酯，翰林出版社。
4. 紀鈺鈴、吳玟璇、陳仕勳，落葉變變變，中學生網站小論文專區化學類，屏東高工。
5. 生質能源——化腐朽為能源。2019.1.26 查詢。
<http://web1.nsc.gov.tw/fp.aspx?ctNode=439&xItem=8119&mp=1>
6. 李宏台編著，生質能源利用展望，化工技術第 12 卷第 10 期，第 99~107 頁。
7. 茶的成分，<http://www.coonatea.com/zh-hant/node/114>，2019.12.6 查詢。
8. 林正浩、王澍賢、傅裕鈞，蔗渣纖維素水解葡萄糖之研究，中華民國第 57 屆中小學科學展覽會高中組化學科最佳鄉土教材獎作品說明書。
9. 陳文恆、郭家倫、黃文松、王嘉寶，纖維酒精技術之發展，植物種苗生技 2007 年 第九期，第 62~69 頁。
10. Sanette Marx, Busiswa Ndaba, Idan Chiyanzu, Corneels Schabort “Fuel ethanol production from sweet sorghum bagasse using microwave irradiation”, Elsevier,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.11.019>
11. Farrukh Raza Amin¹, Habiba Khalid¹, Han Zhang, Sajid u Rahman¹, Ruihong Zhang, Guangqing Liu, ” Pretreatment methods of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion and Chang Chen¹” Amin et al. AMB Expr (2017).
12. Lin Li, Chang Chen, Ruihong Zhang, Yanfeng He, Wen Wang, and Guangqing Liu, ” Pretreatment of Corn Stover for Methane Production with the Combination of Potassium Hydroxide and Calcium Hydroxide” Energy Fuels 2015, 29, 5841–5846.
13. Paulien Harmsen, Wouter Huijgen, Laura Bermudez, Robert Bakker, “Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass” September 2010, Report 1184.
14. 馮玉杰、李冬梅、任南琪，混合菌種用於纖維糖化和燃料酒精發酵的試驗研究，太陽能學報 2007 年 4 月 Vol.28 No.4 第九期，第 375~379 頁。

【評語】 050213

使用的處理含纖維素的茶葉渣方法並非獨特，且比現行方式不足以產生足夠可發酵的葡萄糖。另外甘蔗汁、米飯又是含澱粉的生質材料，不可和茶葉渣混為一談，建議可利用酵素來分解纖維素，增加葡萄糖的產量。

摘要

生質酒精之酒精濃度、溫度、糖度及pH值都會影響或抑制酵母菌的發酵。以廚餘米飯來製備酒精最佳重量比例為酵母菌：米飯：水=1：100：100，環境條件為pH=6、溫度25°C為佳；有些水果成分中含有抑制發酵之成分，故不是每種水果皆可發酵酒精。甘蔗實施三次蒸餾後酒精度可達70%，最佳重量比例為水果酵母菌：甘蔗汁=1：50，環境條件為pH=6、溫度15°C為佳；茶葉酒精則以發酵度較少之茶葉與其梗為原料較佳，茶葉之枝比葉好-金枝綠葉，前處理以0.5%KOH加5%Ca(OH)₂在60°C超音波震盪1hr後以微波加熱90秒，再加入硫酸調至pH<1，超音波震盪1hr再放置24hr以上等步驟為最佳前處理水解糖化程序。

壹、研究動機

在國中時期即有研究生質柴油與醱類發酵酒精的初步結果，其中茶葉酒精一直是我們很有興趣的研究，目前茶葉渣酒精困難之處在於纖維素水解為葡萄糖的量太少，因此蒸發酒精量就太少。因此目前首要就是要繼續探究如何以化學水解之方法讓茶葉渣之水解葡萄糖量增多，而參考一般文獻及歷屆科展中有關纖維素酒精作品都是直接討論酒精產量，如此結合前處理與醱類發酵二步驟去討論是否妥適，很值得我們去探究(圖1)。

貳、研究目的

- 一、了解廚餘酒精、水果酒精及茶葉酒精的製備過程及條件控制。
- 二、評估廚餘酒精、水果酒精及茶葉酒精之產值及經濟效益。
- 三、比較廚餘酒精、水果酒精及茶葉酒精等應用及優劣性。
- 四、將發酵等技術應用在泡茶之茶葉渣上，嘗試發展茶葉渣酒精之可能。
- 五、探究茶葉原料前處理製備茶葉酒精，有效提高茶葉纖維之水解糖化率。

參、研究設備與器材

- 一、**實驗器材與藥品**：各式實驗玻璃器材；石灰水、本氏液、碘液等藥品；剩飯、酵母及茶葉、水果等材料(圖3)。
- 二、**儀器設備**：攪拌器、研磨機、瓦斯爐、烘箱、PS-2600光譜儀、微波爐等。
- 三、**測量工具儀器**：比重計、電子天平、溫度計、糖度計、酒精度計、碼錶。

肆、實驗步驟與方法

一、實驗步驟與流程如圖4。

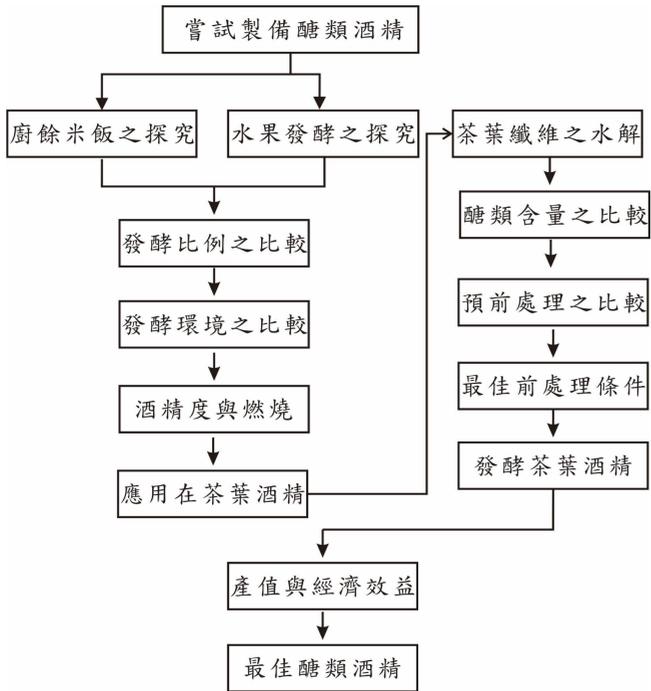


圖4、實驗流程圖。

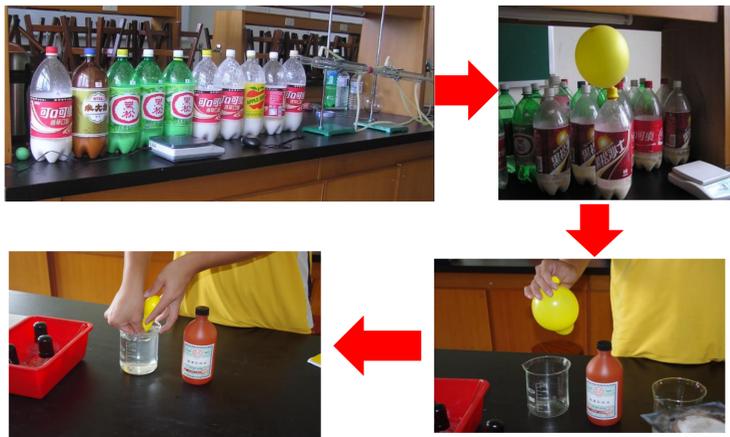


圖8、酵母與水的比例實驗及物質檢驗圖示。

(二)各種水果酒精的製備與探討：以上步驟(一)之基礎，比較各種水果之單發酵的優缺點並以電子天平連接電腦秤量各瓶釋放氣體前後的重量、比較溫度與pH值、添加糖度及冷凝裝置之餾出酒液測量(圖9)。

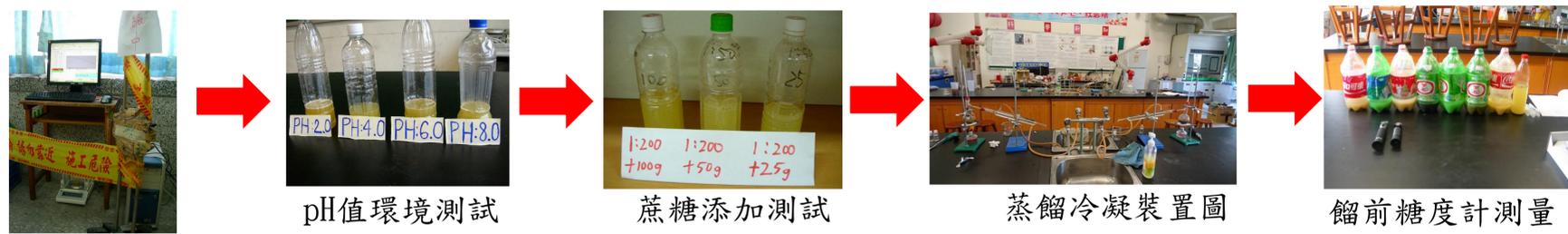
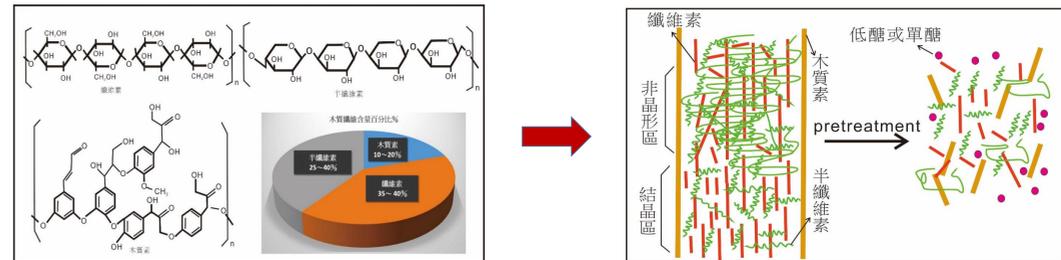


圖9、水果酒精之製備與探討實驗圖示。

第1步驟：纖維素水解為單醱前處理。



圖說明：木質纖維素組成。

圖說明：木質素前處理。

第2步驟：醱類發酵原理。

單發酵：糖— $\xrightarrow{\text{酵母菌}}$ —酒精+二氧化碳+能量 例如：水果酒。

複發酵：澱粉— $\xrightarrow{\text{糖化}}$ —糖分— $\xrightarrow{\text{酒精發酵}}$ —酒精



圖1、纖維(醱類)酒精二步驟處理方式說明。



圖2、使用電子天平計量。



圖3、廚餘發酵、水果發酵及實驗設備器材部分圖示說明。

二、實驗原理。

知纖維水解為單醱及發酵原理之外，亦需知DNS法測葡萄糖原理。(圖5)

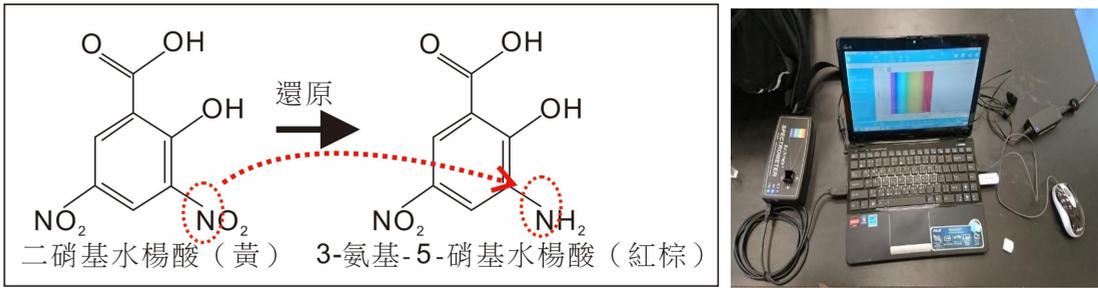


圖5、DNS法檢驗葡萄糖量之原理及光譜法說明圖示。

三、醱類發酵酒精生質能源之製備。

(一)廚餘酒精之製備與探討酵母菌與米飯的比例(圖6)、酵母與水的比例、不同環境(溫度與pH值)之酒精度與糖度、酒精純度與生質燃料的關係(表1、圖7)及發酵過程酒槽內物質的探討(圖8)。



圖6、廚餘酒精探討探討酵母菌與米飯之比例實驗圖示。

表1、酒精濃度與密度之關係。

酒精濃度	密度	單位
0度	1.000	g/ml
10度	0.988	g/ml
20度	0.977	g/ml
30度	0.966	g/ml
40度	0.955	g/ml
50度	0.942	g/ml
60度	0.929	g/ml
70度	0.903	g/ml
80度	0.878	g/ml
90度	0.844	g/ml
100度	0.802	g/ml

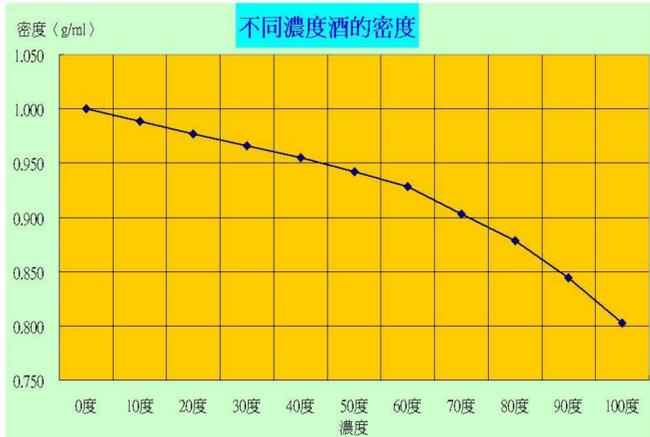


圖7、酒精濃度與密度之關係圖。

圖9、水果酒精之製備與探討實驗圖示。

(三) 發酵技術應用在茶葉渣酒精之嘗試：茶葉渣經研磨過篩、前處理、水解糖化檢測糖度及酵母菌發酵酒精之嘗試。(圖10)

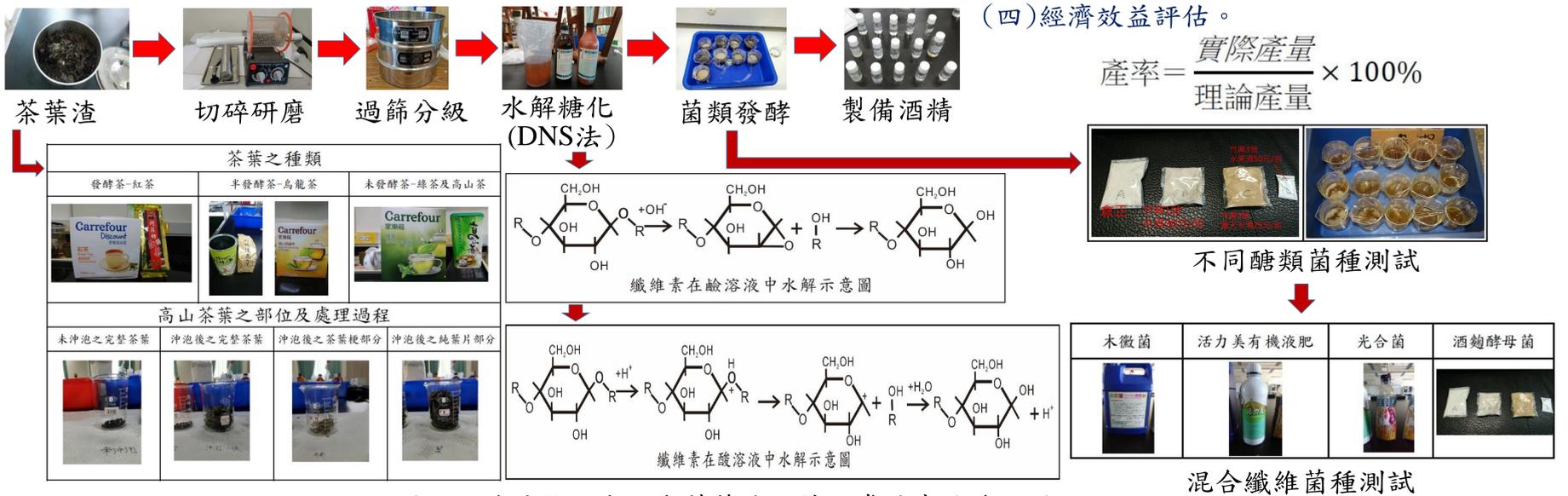


圖10、發酵技術應用在茶葉渣酒精之嘗試實驗流程圖示。

伍、結果與討論

一、製備廚餘生質酒精之結果與討論。

(一) 廚餘酵母菌與米飯比例之結果如圖11。

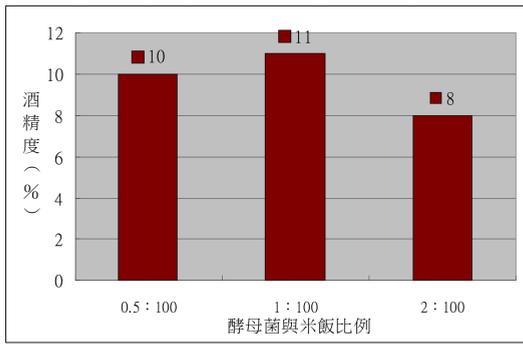


圖11、酵母菌與米飯比例關係之結果。

(二) 酵母粥與水的比例之結果如圖12。

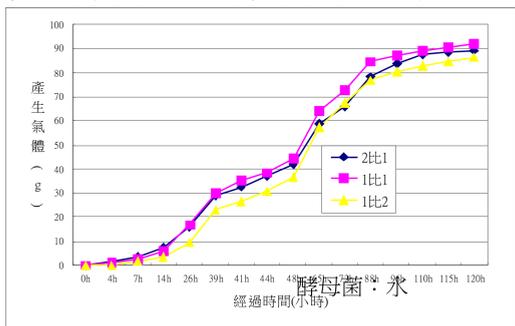


圖12、酵母菌與水比例關係之結果。

(三) 重量比為酵母粥：水=1：1開始發酵日起，每日產生氣體累積量如圖13。

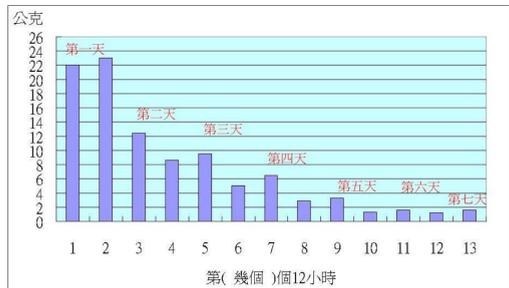


圖13、酵母粥：水=1：1開始發酵日起，每日產生氣體累積量。

(四) 發酵過程中酒槽內物質的探討，碘液實驗記錄如圖14。



圖14、碘液之實驗檢測結果。

(五) 本氏液實驗記錄釀出物是否有葡萄糖之存在如圖15顯示已無葡萄糖存在。



圖15、本氏液之實驗檢測結果。

二、水果生質酒精之結果與討論。

(一) 8種的水果的發酵蒸餾比較如表2。

表2、水果發酵前糖度與10日發酵後酒精度之關係表。

水果名稱	甘蔗	蓮霧	柳丁	葡萄	柚子	蕃茄	鳳梨
原始糖度	14°	7°	6°	12°	7°	6°	15°
10天後酒精度	17%	2%	0%	15%	0%	0%	16%

(二) 甘蔗實施三次蒸餾測其結果如圖16。

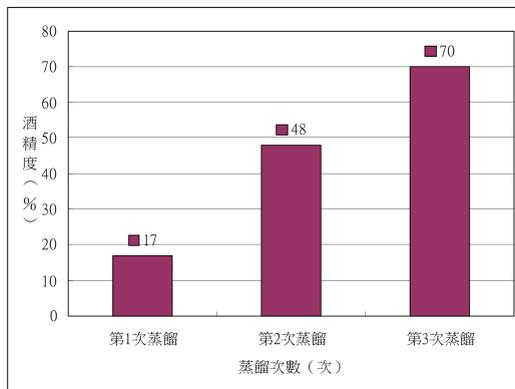


圖16、甘蔗實施三次蒸餾測其酒精度。

(三) 圖17為酵母粥：甘蔗汁的重量比結果。

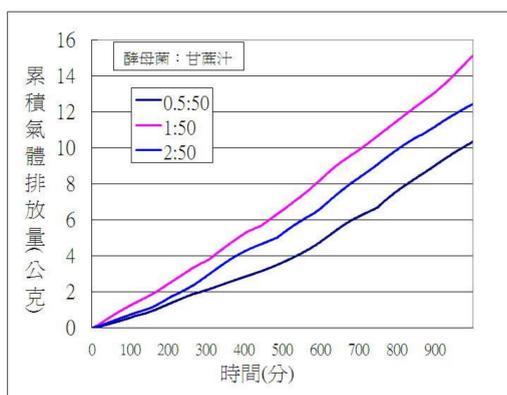


圖17、水果酵母粥與甘蔗汁的重量比例之實驗結果。

(四) 圖18為嘗試添加不同量之蔗糖結果。

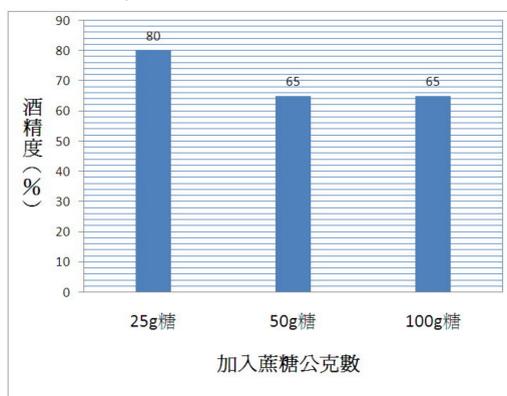


圖18、加入蔗糖公克數發酵比較結果。

三、環境對生質酒精發酵的影響。

(一) 圖19為不同酸鹼環境的量測結果：無論是廚餘酒精或是水果酒精都顯示pH值太低時會有抑制發酵的跡象，可知太酸的環境會抑制酵母菌的發酵。

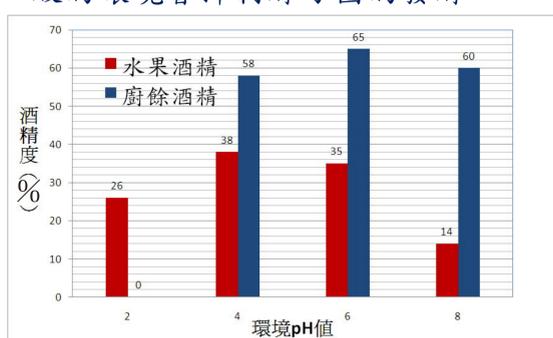


圖19、酸鹼環境(pH值)對生質酒精度之比較結果。

(二) 圖20為溫度對水果酒精度的影響結果。

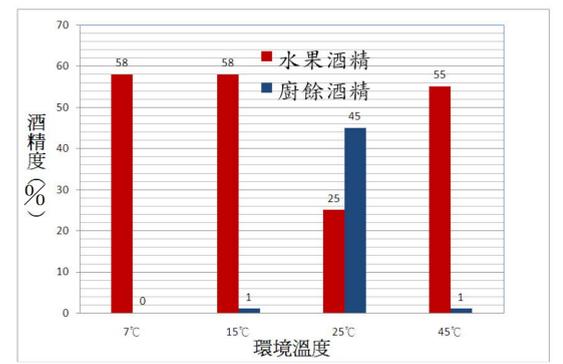


圖20、溫度對生質酒精度的影響。

四、酒精純度與生質燃料的關係。

(一) 由表3及結果整理圖21中可知酒精度與酒精燈燃燒的關係。

表3、酒精度計與調配之酒精度之關係表。

項次	酒精度計讀數	調配酒精度%	酒精燃燒時間(秒)
1	80	95	60 ↑
2	80	90	60 ↑
3	80	85	60 ↑
4	80	80	60 ↑
5	80	75	55
6	75	70	46
7	68	65	57
8	65	60	9
9	50	55	17
10	50	50	15
11	50	45	5
12	45	40	0
13	35	35	0

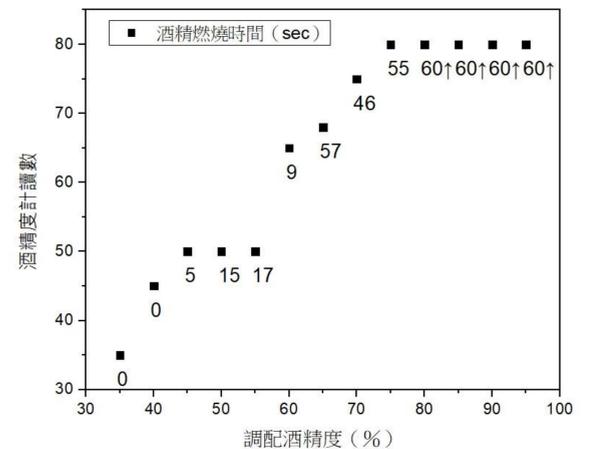


圖21、酒精度計及酒精度個別與酒精燃燒時間之比較結果。

五、茶葉酒精之嘗試實驗結果。

(一) 圖22為DNS法檢驗水解葡萄糖之結果。

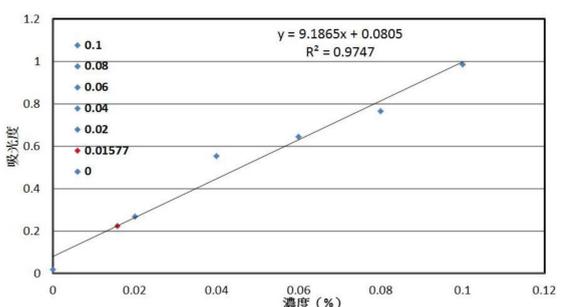


圖22、檢測茶葉稀酸水解後之葡萄糖濃度結果。

(二) 圖23為檢測茶葉種類之糖解量分析。

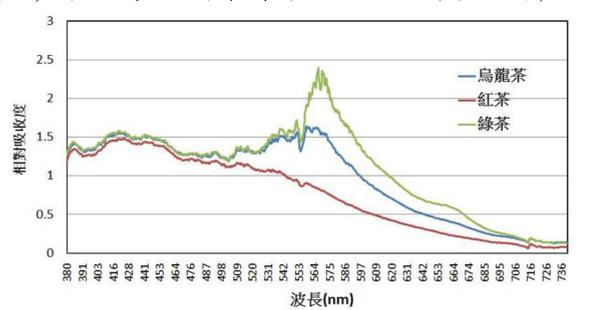


圖23、茶葉種類水解糖化之分析結果。

(三)圖24為檢測茶葉種類之水解糖化量分析結果。

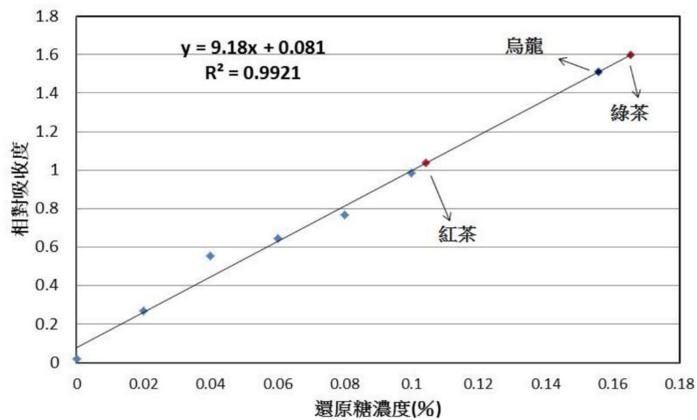


圖24、三種茶葉種類水解糖化之檢量分析結果。

六、茶葉纖維水解糖化之探究結果與討論。

(一)茶葉渣原料乾燥天數測試結果如圖25所示。

茶葉乾燥天數對茶葉水解糖化的影響

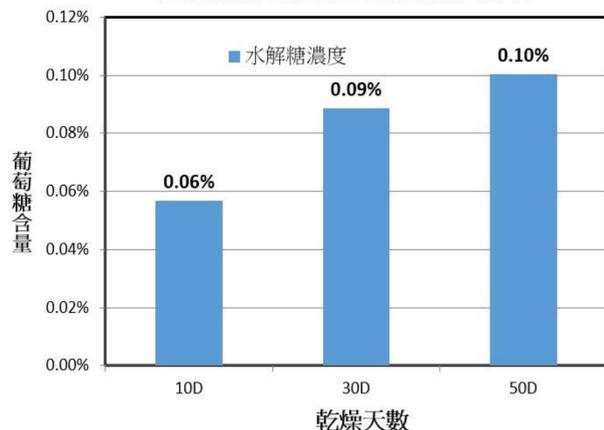


圖25、茶葉渣原料乾燥天數之影響結果。

(二)茶葉木質纖維之各鍵結與作用力整理分析如表4，而茶葉組成成分(表5)。

表4、木質纖維素之間鍵結與作用力之關係。(文獻13資料整理)

Bonds within different components (intrapolymer linkages)	
糖基鍵結	木質素、纖維素與半纖維素
碳-碳鍵結	木質素
氫鍵	纖維素
酯基鍵結	半纖維素
Bonds connecting different components (interpolymer linkages)	
糖基鍵結	木質素-纖維素 木質素-半纖維素
酯基鍵結	木質素-半纖維素
氫鍵	纖維素-半纖維素 木質素-半纖維素 木質素-纖維素

表5、茶葉之組成成分。(文獻7整理)

茶葉所含成分分析表		
成分	乾物量中%	可溶分中%
單糖類	4	11
果糖質	4~7	0.5~1
澱粉	1~2	
粗纖維	13	
半纖維	7	
脂質	2~3	
礦物質	5	10
植物色素	0.01	
蛋白質	15~23	1~2
氨基酸	2~4	5~10
咖啡因	3~4	8~10
揮發性成分	0.01-0.02	
有機酸	0.5	1
總組成(約)	60%	40%

木質纖維素成分中的官能基團			
Functional Group	木質素	纖維素	半纖維素
芳香烴	○		
羥基	○		
碳-碳鍵	○		
醚(糖苷)鍵	○	○	○
酯基鍵結			○
氫鍵		○	○

備註：氫鍵不是官能團，但它的存在會改變了分子(物質)的溶解度，因此它的存在與否對於分解木質纖維素很重要。

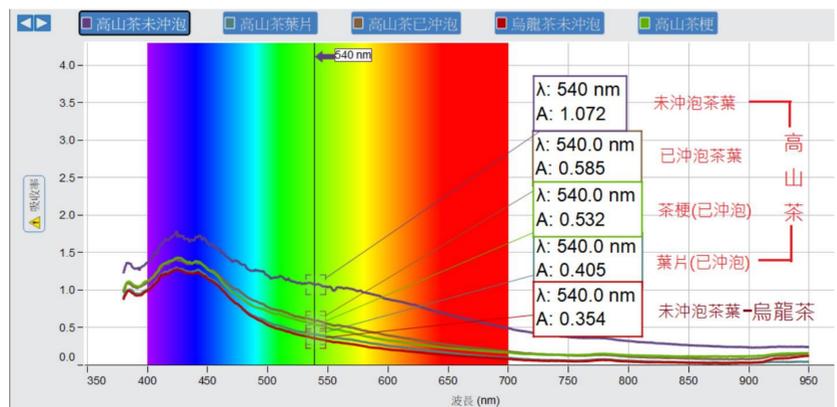


圖26、不同茶葉原料之酸溶液水解糖化之DNS光譜。

(三)圖27為比硫酸更環保之鹼性水解條件的比較結果。

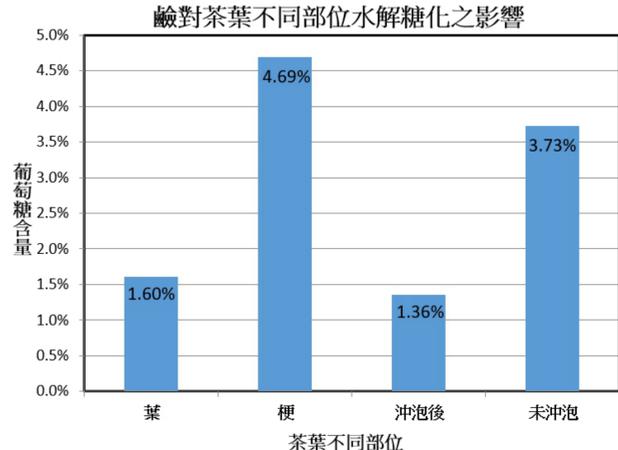


圖27、不同茶葉原料之酸溶液水解糖化之DNS光譜。

(四)圖28為不同比例之KOH與Ca(OH)₂之水解比較結果。

石灰添加濃度比較結果

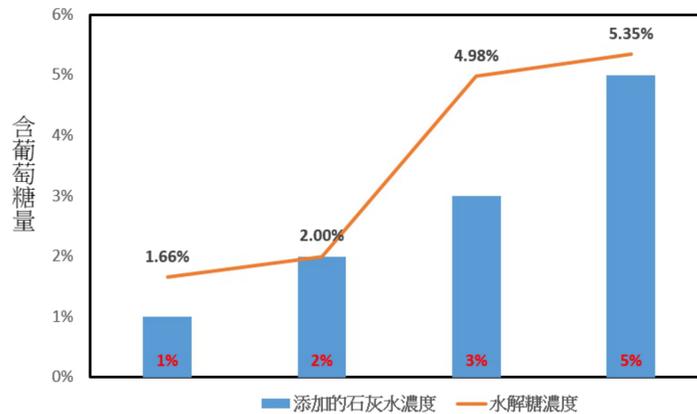


圖28、不同比例之鹼性溶液水解後含糖量比較。

(五)圖29為微波爐不同時間加熱之實驗結果。

微波時間長短對鹼水解糖化的影響

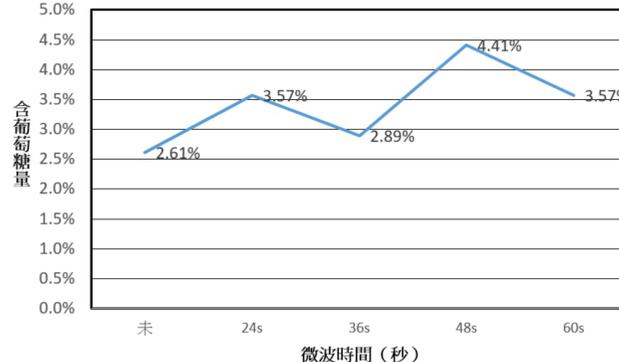


圖29、微波加熱水解糖化後含糖量之比較結果。

(六)圖30為最佳前處理之纖維素水解條件之糖化結果。

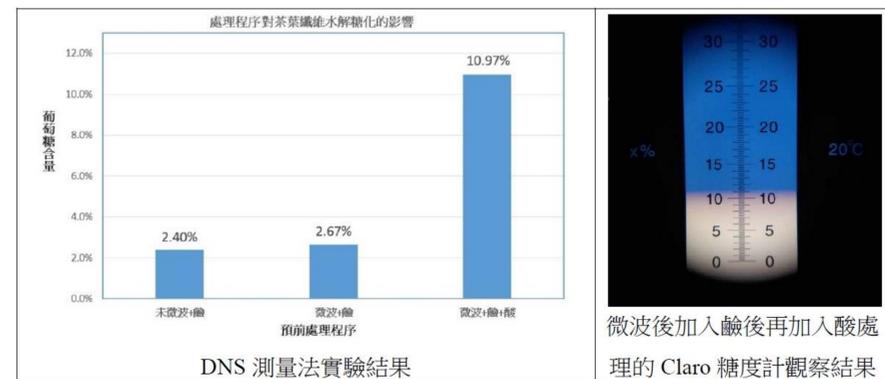


圖30、目前最佳之纖維素水解條件之糖化結果。

七、生質能源之產值及經濟效益評估。

- (一)廚餘酒精來看平均產值約為29%，經濟效益17%，水果酒經產率只有20%，而茶葉酒精目前最低。
- (二)目前生質酒精要為生質能源之用途的話，需要多次蒸餾至酒精純度約為80%以上才有能源之效用。
- (三)以光合作用菌：活力美：木黴菌：醱類酵母菌=1：5：7：3嘗試複合菌種之發酵成三階段處理如圖31。



圖31、三階段處理茶葉水解及發酵生質酒精說明圖。

陸、結論

- 一、廚餘酒精最佳重量比例為酵母菌：米飯：水約是1：100：100；環境條件則為pH=6、溫度為25°C左右。
- 二、有些水果成分中可能亦含有抑制發酵之成分存在，水果中以甘蔗為最佳生質酒精之製造原料，其次是鳳梨，而我們將甘蔗實施三次蒸餾結果後發現酒精度可以達70%以上。水果發酵最佳重量比例為水果酵母菌：甘蔗汁=約是1：50；環境則為pH=6、溫度為15°C以下為較好之環境反應條件。
- 三、酒精度利用一般玻璃比重計較佳，可參考酒精濃度與比重對照表來應用。
- 四、茶葉渣酒精適當比例之鹼性溶液(0.5%KOH+5%Ca(OH)₂)加上超音波震盪及微波加熱幫助溶解木質纖維之鍵結作用力，再加入H₂SO₄幫助纖維素及半纖維素之水解糖化可達前之含糖量10%以上。
- 五、產率及經濟效益來看醱類發酵生質酒精目前以廚餘米飯為最佳，未來商業經濟價值或許可發展茶葉酒精。

柒、參考文獻

- 1.Paulien Harmsen, Wouter Huijgen, Laura Bermudez, Robert Bakker, "Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass" September 2010, Report 1184.
- 2.Lin Li, Chang Chen, Ruihong Zhang, Yanfeng He, Wen Wang, and Guangqing Liu, "Pretreatment of Corn Stover for Methane Production with the Combination of Potassium Hydroxide and Calcium Hydroxide" Energy Fuels 2015, 29, 5841-5846.
- 3.Farrukh Raza Amin1, Habiba Khalid1, Han Zhang, Sajid u Rahman1, Ruihong Zhang, Guangqing Liu, "Pretreatment methods of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion and Chang Chen1" Amin et al. AMB Expr (2017).