

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

佳作

030820

由廚餘米飯製造酒精之研究

學校名稱：嘉義市私立嘉華高級中學(附設國中部)

|                                                             |                  |
|-------------------------------------------------------------|------------------|
| 作者：<br><br>國三 蔡孟勳<br><br>國三 翁爾謙<br><br>國三 蔣易達<br><br>國三 陳冠仲 | 指導老師：<br><br>林籐旺 |
|-------------------------------------------------------------|------------------|

關鍵詞： 蒸餾、發酵、糖化

# 由廚餘米飯製造酒精之研究

## 壹、摘要

本研究目的是利用學校午餐剩餘的米飯，以多種實驗尋找最省時及最高出酒率之製造方法，且可提升廚餘米飯再利用之經濟價值。研究方法：一是以固態酒麴發酵之傳統方法製造，二是以液態酵素發酵之新式方法製造。初步獲得以下結果：1.以固態酒麴發酵之傳統方法製造酒精：米飯、水與酒麴之最佳重量比例為 100%：150%：1.5%，整個製程需 20 天左右，平均出酒率約 18%。2.以液態酵素發酵之方法製造酒精：米飯、水與液態酵素之最佳重量比例為 100%：200%：0.2%，整個製程需 7 天左右，平均出酒率約 22%。3.使用新式方法之液態酵素發酵，快速、省時且出酒率高，為最佳之製造方法。本法初次蒸餾所得低濃度酒精產品可提供廚房做為菜餚調理之用，再蒸餾所得高濃度酒精產品可作為汽油之替代能源。

## 貳、研究動機

每當看到值日生，抬著營養午餐剩餘的米飯，往廚房的廚餘收集桶傾倒時，不禁讓我們覺得這實在太浪費了，難道它沒有其他的用途嗎？回想起去年我們用甘藷、甘蔗和玉米製造生質酒精，頗有一番心得，因此延續去年研究，改用廚餘米飯來製造酒精，來改變傳統只是將廚餘飯菜用來養豬或是作為飼養雞、鴨牲畜的做法，提升了廚餘米飯的經濟價值；然而在石油及各種原物料價格均不斷攀升的今日，如果以廢棄的廚餘米飯再製成酒精，更符合資源再生利用，創造另一個經濟價值。

## 參、研究目的

- 一、研發由廚餘米飯以固態酒麴發酵之傳統方法製造酒精。
- 二、研發由廚餘米飯以液態酵素發酵之先進方法製造酒精。
- 三、比較固態酒麴發酵法與液態酵素發酵法之優缺點。
- 四、評估由廚餘米飯製造酒精之產值(出酒率)及經濟效益。
- 五、研究酒精中檢測甲醇之方法。
- 六、提高廚餘米飯再利用的價值。

## 肆、研究設備及器材

### 一、廚餘米飯製造酒精部份

- (一)藥品部份： $\alpha$ -澱粉液化酵素( $\alpha$ -amylase)、澱粉糖化酵素(glucoamylase)、砂糖、酒麴(白殼)、活性酵母粉、檸檬酸、廚餘米飯。
- (二)器材部份：酒精度計、糖度計、電阻溫度計、單向氣閥發酵容器、電磁加熱器、不銹鋼蒸餾器、不銹鋼桶、玻璃儲存瓶、燒杯、量筒、試管、磅秤、電子天平、攪拌器、漏斗、紗布。

### 二、甲醇之檢測部份

- (一)藥品部份：甲醇、乙醇、過錳酸鉀、硫酸、磷酸、草酸、亞硫酸鈉、蒸餾水、對-玫瑰苯胺鹽酸鹽(pararosaniline hydrochloride)。
- (二)器材部份：試劑儲存瓶、燒杯、量筒、試管、滴管、玻棒、移液管、安全吸球、試管架、恆溫槽、電子天平。

## 伍、研究方法

### 一、製酒主要酵素簡介

#### (一) 酒麴：

酒麴俗稱白殼，屬於固體物，製酒時需先磨成細粉，再與米飯均勻混合後發酵，酒麴中含有麴黴菌和酵母菌，麴黴菌可將澱粉轉化成葡萄糖，酵母菌則能將葡萄糖轉變成酒精；酒麴在培養及操作上較不方便，培養時場地使用也較佔空間，且耗費人力。另外，培養時為開放狀態，容易造成雜菌汙染，因此有液態酵素的發展。

#### (二) 酶製劑：

隨著釀酒工業的發展，對酶製劑的應用也日益廣泛，初期主要用在酒精工業，20世紀80年代開始應用於白酒生產。釀酒工業常用的酶製劑，有葡萄糖澱粉酶、 $\alpha$ -澱粉酶、 $\beta$ -澱粉酶、纖維素酶、果膠酶、蛋白酶、酯化酶等，這些酶是由麴黴或細菌經發酵精製而成，其能水解水中的澱粉、蛋白質、半纖維素等，而主要以葡萄糖澱粉酶為主，其他酶類為輔助作用。

### (三) $\alpha$ -澱粉液化酵素( $\alpha$ -amylase)：

$\alpha$ -澱粉液化酵素( $\alpha$ -amylase)簡稱液化酶，能水解澱粉分子，成為糊精和少量的低分子醣類。作用時，適宜之 pH 值為 6-7。中溫型之  $\alpha$ -澱粉液化酵素，適宜之溫度約在 60-70℃ 之間；耐高溫型之  $\alpha$ -澱粉液化酵素，適宜之溫度約在 90-105℃ 之間，本研究所採用之液化酶者即為此耐高溫型之  $\alpha$ -澱粉液化酵素。

### (四) 澱粉糖化酵素(glucoamylase)：

又稱為葡萄糖澱粉酶，簡稱糖化酶，它能將澱粉水解，產生葡萄糖，適宜的 pH 值為 3.5-7、溫度為 30-65℃。一般果實通常含有很多糖，用來釀酒時一般只要用酵母就可以進行酒精發酵；而穀類中因為所含的是澱粉，必須先經過微生物酵素的糖化作用，才能讓酵母進行酒精發酵；而米酒之釀製，係先加入液化酵素作為液化劑，再加入糖化酵素作為糖化劑，來水解已液化之澱粉成為葡萄糖，最後再發酵為酒精。

## 二、製酒發酵原理

(一) 製酒的發酵原理是於反應過程中，先加入液化酵素，再加入糖化酵素，使澱粉水解為葡萄糖，最後發酵生成酒精。主要步驟為：

1. 澱粉 + 澱粉液化酵素 + 澱粉糖化酵素  $\xrightarrow{\text{水解}}$  葡萄糖
2. 葡萄糖  $\xrightarrow{\text{發酵}}$  酒醪(完全發酵後之溶液，含酒精濃度約 12%) + 二氧化碳
3. 酒精(12%)  $\rightarrow$  第一次蒸餾(酒精度約 30%~60%)  $\rightarrow$  第二次蒸餾(酒精度約 60%~80%)  $\rightarrow$  第三次蒸餾(酒精度約 80%~91%)。

(二) 反應方程式，如下所示：

1. 澱粉  $\text{HO}-(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n-\text{H} + (n-1)\text{H}_2\text{O} + \text{澱粉酵素} \xrightarrow{\text{水解}} n \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  葡萄糖
2.  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  葡萄糖  $\xrightarrow{\text{發酵}} 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  酒精 +  $2\text{CO}_2$

## 三、方法及步驟

(一) 方法：本研究由廚餘米飯製酒精，採用兩種方法，一是以固態酒麴發酵之傳統方法製造，二是以液態酵素發酵之方法製造，依以上二種方法將米飯、水及酵素以各種比例之用量組合，進行發酵，找出最高的酒精出酒率。

(二) 步驟：以固態酒麴發酵之傳統方法製造步驟，詳述於下列研究一；而以液態酵素發酵之方法製造步驟，詳述於下列研究二。

## 【研究一】探討由廚餘米飯以固態酒麴發酵之傳統方法製造酒精

(一)方法：以米飯、水及酒麴等三種原料，依下列 1－3 實驗，採用不同比例之組合，測試出酒率最高之配方，實驗操作情形如圖 1.2。

實驗 1：廚餘米飯與水之重量比為 100%：200%(控制變因)，酒麴(白殼)之重量比例分別是：0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%、4.0%。

實驗 2：廚餘米飯與水之重量比為 100%：150%(控制變因)，酒麴(白殼)之重量比例分別是：0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%、4.0%。

實驗 3：廚餘米飯與水之重量比為 100%：100%(控制變因)，酒麴(白殼)之重量比例分別是：0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%、3.5%、4.0%。



圖 1.酒麴用量以 0.5%~2.0%比率  
依 A.B.C.D 編組進行發酵



圖 2.酒麴用量以 2.5%~4.0%比率  
依 E.F.G.H 編組進行發酵

### (二)步驟：(圖 3)

- 1.至本校廚房收集各班營養午餐剩餘之米飯。
- 2.加入適量的水略為攪拌後，撿去魚骨、菜等殘渣，並去除浮於上層的油質。
- 3.以紗布過濾除去水分，依所需的米飯量秤重後，倒入不銹鋼桶中。
- 4.將酒麴磨成細粉，使用電子天平稱得所需的重量，加入米飯中攪拌均勻。
- 5.置入不銹鋼桶中，用空酒瓶在米飯中心挖孔，覆上紗布後加蓋，靜置發酵 3~4 天，再進行糖化作用。
- 6.糖化 3~4 天後，加入一定量的蒸餾水，覆上蓋子並留部分孔隙，使酒化所產生的二氧化碳能順利排出桶外。
- 7.靜置再發酵兩星期，至無二氧化碳氣體產生為止，並測試米醪糖度，當糖度為零時，是為完全發酵，此時即可停止發酵。
- 8.將發酵完全之米醪，倒入蒸餾器中蒸餾，蒸餾液溫度達 80℃時即有酒精餾出，當酒精度降為 30%時停止蒸餾，測定酒精度，將成品放入玻容器中保存備用。



A. 收集午餐剩餘米飯



B. 撿去魚骨、菜等殘渣



C. 秤重後，置入不銹鋼桶中



D. 加入酒麴(白殼)細粉，攪拌均勻



E. 置入桶中，並在中心挖孔



F. 覆蓋紗布靜置發酵 3 天



G. 第四天加入蒸餾水



H. 覆上蓋子，發酵約二星期



I. 發酵完全之酒醪倒入蒸餾器中



J. 蒸餾至 80℃時，即有酒精產出

圖 3. 廚餘米飯以固態酒麴發酵之步驟(A-J)

## 【研究二】：探討由廚餘米飯以液態酵素發酵之先進方法製造酒精

(一)方法：以米飯、水及液態酵素(澱粉液化酵素與澱粉糖化酵素)等三種原料，依下列 1—4 實驗，以各種比例，測試出酒率最高之組合配方以製造酒精，實驗操作情形如圖 4。

實驗 1：以廚餘米飯與水之重量比為 100%：100%(控制變因)，液態酵素之重量依序為：0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%、0.35%、0.40%。

實驗 2：以廚餘米飯與水之重量比為 100%：150%(控制變因)，液態酵素之重量依序為 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%、0.35%、0.40%。

實驗 3：以廚餘米飯與水之重量比為 100%：200%(控制變因)，液態酵素之重量依序為：0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%、0.35%、0.40%。

實驗 4：以廚餘米飯與水之重量比為 100%：250%(控制變因)，液態酵素之重量依序為：0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%、0.30%、0.35%、0.40%。

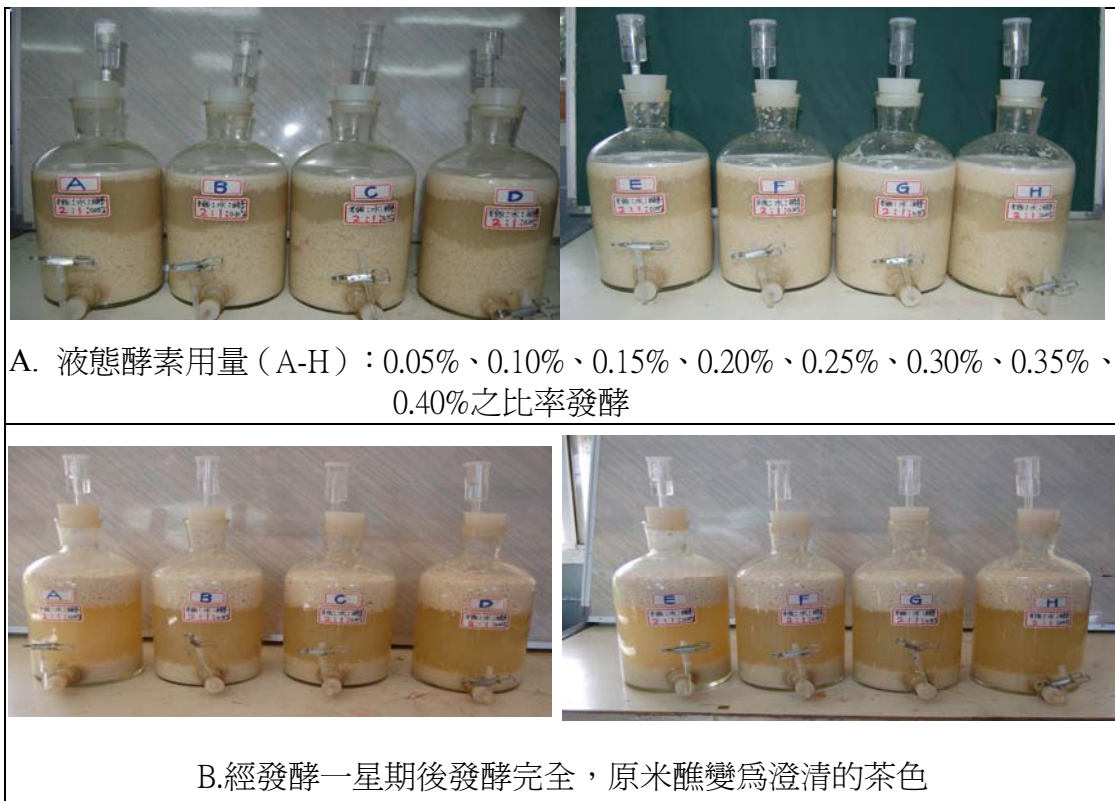


圖 4.米飯、水及液態酵素三種原料，各種比例組合發酵製造酒精之情形 (A-B)

## (二)步驟：(圖 5)

- 1.至本校廚房收集各班營養午餐剩餘之米飯。
- 2.加入適量的水略為攪拌後，撿去魚骨、菜等殘渣，並去除上層的浮油。
- 3.紗布過濾以除去水分，依所需的米飯量秤重後，倒入不銹鋼桶中。
- 4.每一桶依一定的比例加入蒸餾水及澱粉液化酵素，攪拌均勻後，置於瓦斯爐或電磁爐上加熱煮沸，溫度維持在 95℃~105℃ 間，並隨時注意攪拌，加熱 90 分鐘。
- 5.再加入定量的蒸餾水（依前述比例的量）攪拌均勻，置入水槽中冷卻，使溫度降至約 50℃。
- 6.加入約米飯重量的 0.05%檸檬酸、1%砂糖及一定量的澱粉糖化酵素，並攪拌均勻。
- 7.待溫度降至 40℃ 以下，加入 0.1%活性酵母粉，充分攪拌溶解，形成米醪溶液。
- 8.將不銹鋼桶中之米醪溶液，以漏斗轉移至玻璃瓶發酵容器中，塞上單向式氣閥，使發酵過程中所產生的二氧化碳能順利排出。
- 9.靜置發酵約 6~7 天後，當二氧化碳氣體不再產生，酒醪變為透明茶色之時，表示發酵已完成。
- 10.倒出部分酒醪溶液，以糖度計測定酒醪之糖度，確認是否發酵完全(糖度為零)。
- 11.將已完全發酵之酒醪溶液，倒入蒸餾器中繼續加熱，蒸餾液溫度約 80℃ 餾出酒精，酒精度約為 30%時即停止蒸餾，可得平均濃度約 40%的酒精，將成品放入玻容器中保存備用。
- 12.若將上列產品再倒入蒸餾器中，加熱進行第二次蒸餾，可得平均濃度約 70%酒精，若進行第三次蒸餾，可得平均濃度約 90%酒精。



圖 5. 廚餘米飯以以液態酵素發酵之步驟(A-L)

### 【研究三】探討米飯發酵過程米醪之糖度與酒精度變化之相關性

(一)方法：於研究二中之實驗 3 的 A~D 項(使用廚餘米飯與水之重量比為 100%：200%，液態酵素之重量依序以：0.05%、0.10%、0.15%、0.20%，)之實驗過程中，每一天對米醪實施糖度與酒精度之測定。

#### (二)步驟：(圖 6)

- 1.廚餘米飯秤重後放入不銹鋼桶中，加一定比例的水及澱粉液化酵素，攪拌加熱約 90 分鐘，浸於冷水中，冷卻至 50℃ 即可。
- 2.加入約米飯重量的 0.05%檸檬酸、1%砂糖及一定量的澱粉糖化酵素，攪拌均勻。
- 3.待溫度降至 40℃ 以下，加入 0.1%活性酵母粉，充分攪拌溶解，形成米醪溶液
- 4.靜置發酵一天，取出米醪溶液約 40ml，測定糖度及酒精度，並觀察發酵情形。
- 5.持續每天同一時間作糖度及酒精度之測定，並觀察發酵情形。
- 6.待糖度測定值為零時，表示發酵已完全，即可停止測定。
- 7.將糖度及酒精度之測定值及每日觀察米醪發酵情形紀錄。

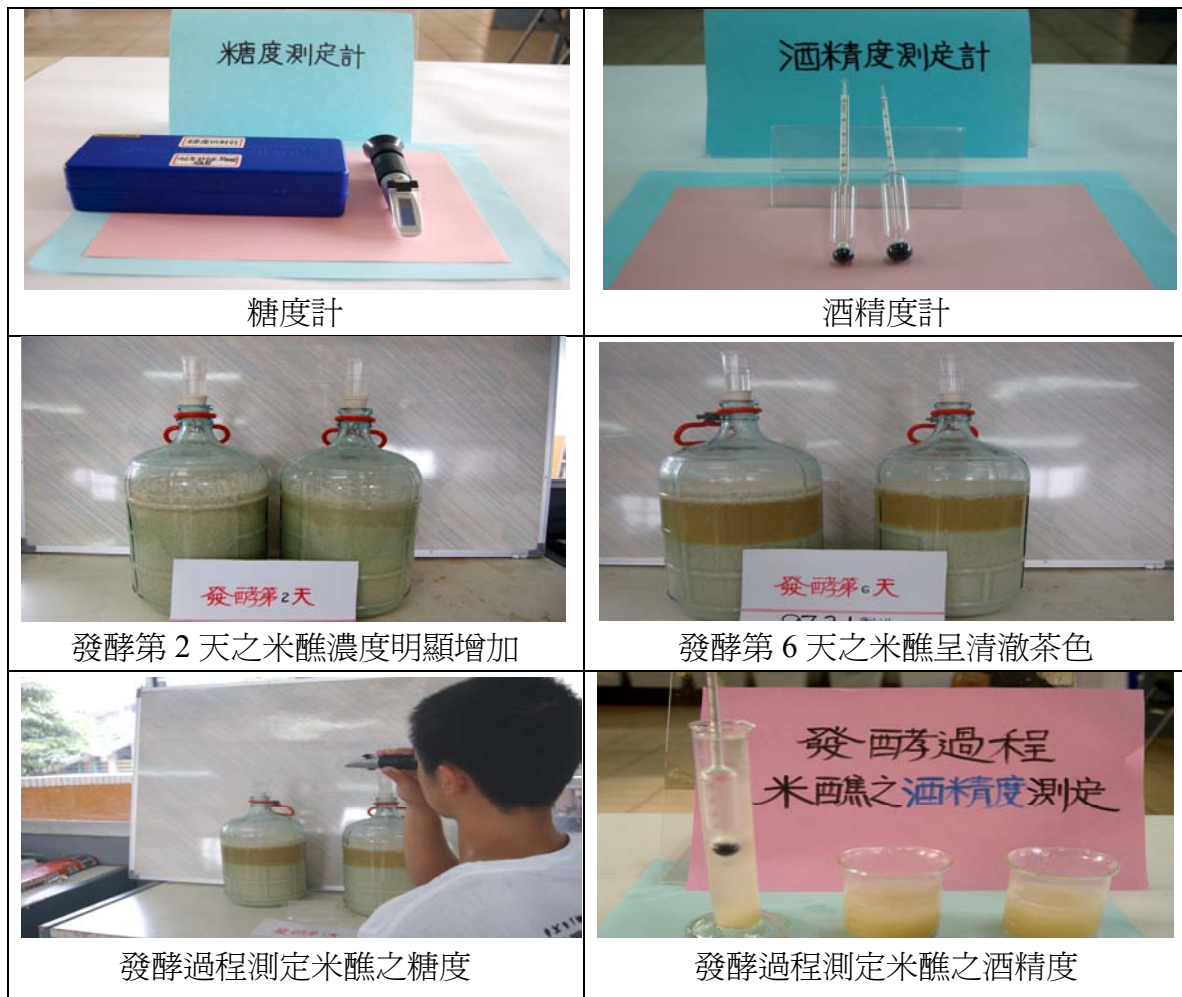


圖 6.米醪溶液之糖度與酒精度測量

## 【研究四】酒精製品中甲醇之檢測

### (一)方法：利用比色篩檢法

#### 1.檢測試劑配製

(1)3%過錳酸鉀( $\text{KMnO}_4$ )溶液：3g 過錳酸鉀加磷酸 15ml，加水稀釋至 100ml。

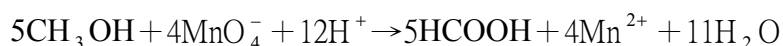
(2) 5%草酸溶液( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ )：5g 草酸溶解於 9M 硫酸，加水稀釋至 100ml。

(3)亞硫酸-對玫瑰苯胺鹽酸鹽溶液( $\text{C}_{19}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{Cl}$ ，pararosaniline)：0.5g 對-玫瑰苯胺鹽酸鹽磨成細粉加入 300ml 熱水（80℃）溶解，再加入 5g 亞硫酸溶解之，冷卻備用。

(4)甲醇對照標準液：0.1g 純甲醇加水至 100ml 是為原液，取原液 5ml 加乙醇 5ml，再加水稀釋成 100ml，此濃度為 50ppm 甲醇標準液。

#### 2.檢測原理

(1)甲醇( $\text{CH}_3\text{OH}$ )先在磷酸( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )的酸性條件下和過錳酸鉀( $\text{KMnO}_4$ )反應成甲酸( $\text{HCOOH}$ )，反應式如下：



(2)加入對玫瑰苯胺鹽酸鹽溶液時，甲酸再被亞硫酸溶液還原成甲醛，最後對玫瑰苯胺鹽酸鹽試劑與甲醛反應呈藍紫色之產物。

### (二)步驟：(圖 7)

1.空白實驗：取甲醇標準液 2ml，置入試管中，加入 3%過錳酸鉀試劑 2ml，於 30℃ 水浴中反應 15 分鐘，加 5%草酸溶液 2ml 脫色，再加入亞硫酸-對玫瑰苯胺鹽酸鹽溶液 5ml，置入 30℃ 水浴中 30 分鐘，取出後觀察呈色反應。

2.準備 7 支試管，第 1 支試管加入 2ml 甲醇標準液，第 2、3、4、5、6、7 支試管，分別加入 2ml 的 46%、55%、58%、63%、74%及 78%之酒精成品。

3.每一試管加入 3%過錳酸鉀試劑 2ml，放入 30℃ 水浴中 15 分鐘。

4.取出試管加入 5%草酸溶液 2ml，脫色後再加 5ml 對玫瑰苯胺鹽酸鹽溶液，放入 30℃ 水浴中 30 分鐘。

5.取出試管，觀察每一支試管之呈色反應，並與甲醇標準液比對顏色。

6.將比色結果逐項記錄。



A. 準備甲醇檢測用藥



B. 配製甲醇檢測試劑



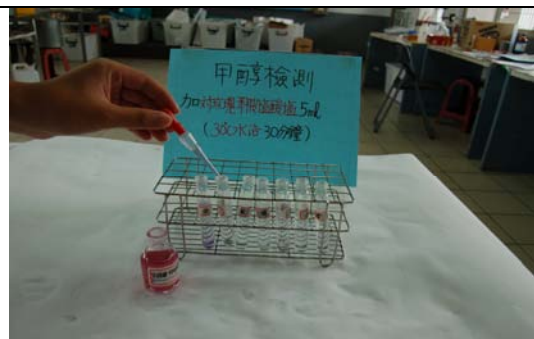
C. 甲醇檢測對照實驗(空白實驗)



D. 檢測試樣 + 3%  $\text{KMnO}_4$



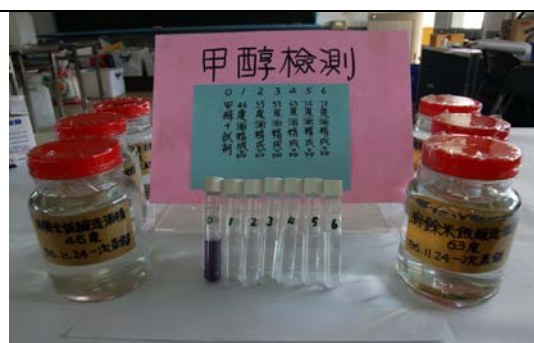
E. 檢測試樣 + 5% 草酸溶液(脫色)



F. 檢測試樣 + 5ml 晶紅試劑



G. 不同濃度甲醇標準液之呈色對照



H. 酒精製品做甲醇含量檢測

圖 7. 酒精製品中甲醇之檢測流程 (A-H)

## 【研究五】廚餘米飯製造酒精之產值(出酒率)計算及經濟效益評估

(一)方法：以液態酵素發酵之方法及研究結果之最佳組合配方(米飯：水：液態酵素之重量比為 100%：200%：0.20 %)製造酒精，並測定酒精度，計算平均產值。

### (二)步驟：

- 1.廚餘米飯秤重後放入不銹鋼桶中，加一定量的水及澱粉液化酵素攪拌，加熱約 90 分鐘，冷卻至 50℃。
- 2.加入約米飯重量的 0.05%檸檬酸、1%砂糖及一定量的澱粉糖化酵素，攪拌均勻。
- 3.待溫度降至 40℃ 以下，加入 0.1%活性酵母粉，充分攪拌溶解形成米醪溶液。
- 4.將不銹鋼桶中之米醪溶液，轉移至玻璃瓶發酵容器中，塞上單向式氣閥，使發酵過程中所產生的二氧化碳能順利排出。
- 5.靜置發酵約 6~7 天後，當酒醪變為透明茶色，二氧化碳氣體不再產生時，表示發酵已完成。
- 6.倒出部分酒醪溶液，以糖度計測定酒醪之糖度，確認是否發酵完全(糖度為零)。
- 7.將已完全發酵之酒醪溶液，倒入蒸餾器中。
- 8.每一實驗組發酵完全之米醪，分別蒸餾，當酒精度至 30%時，即可停止蒸餾。
- 9.測定每一實驗組酒精製品之平均酒精度，並紀錄之。
- 10.計算平均產值。

(三)產值計算：平均產值 (出酒率) = 產出酒精體積(L)×酒精度(%)／原料重(Kg)

## 陸、研究結果

### 【研究一】探討由廚餘米飯以固態酒麴發酵之傳統方法製造酒精結果：

- (1)由表 1、表 2 及表 3 之 A~H 各項實驗紀錄數據中發現，不論使用廚餘米飯與水之重量比例為何，以酒麴之用量在 1%~2%之間所製得酒精之產值為各分組實驗中最高。
- (2)由表 1、表 2 及表 3 之 A~H 各項實驗紀錄數據中比較發現，酒麴之用量比例一定時，當使用廚餘米飯和水之重量比為 100%：150%所製得酒精之產值最高。
- (3)綜合表 1、表 2 及表 3 之 A~H 各實驗數據中發現，以固態酒麴發酵之傳統方法製造酒精中，當使用米飯：水：酒麴之重量比為 100%：150%：1.5%時，為最佳組合配方，製得酒精之平均產值最高，達 18.7%。

表 1：以固態酒麴發酵之傳統方法製造酒精結果(實驗 1)

| 項 目<br>實驗編組 | 原料：<br>米飯/水/酒麴<br>(kg/kg/kg) | 完全發酵<br>天數<br>(天) | 蒸餾前<br>酒精度<br>(%) | 第一次蒸餾<br>產出酒精體積<br>(公升) | 第一次蒸餾<br>平均酒精度<br>(%) | 產 值<br>(出酒率)<br>(%) |
|-------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| A           | 1/2/1x0.5%                   | 22                | 5                 | 0.400                   | 34                    | 13.6                |
| B           | <b>1/2/1x1.0%</b>            | <b>21</b>         | <b>7</b>          | <b>0.462</b>            | <b>35</b>             | <b>16.2</b>         |
| C           | <b>1/21x1.5%</b>             | <b>20</b>         | <b>8</b>          | <b>0.475</b>            | <b>36</b>             | <b>17.1</b>         |
| D           | <b>1/2/1x2.0%</b>            | <b>20</b>         | <b>8</b>          | <b>0.470</b>            | <b>36</b>             | <b>16.9</b>         |
| E           | 1/2/1x2.5%                   | 19                | 8                 | 0.465                   | 35                    | 16.2                |
| F           | 1/2/1x3.0%                   | 19                | 8                 | 0.460                   | 34                    | 15.6                |
| G           | 1/2/1x3.5%                   | 18                | 8                 | 0.458                   | 32                    | 14.6                |
| H           | 1/2/1x4.0%                   | 18                | 8                 | 0.450                   | 32                    | 14.4                |
| 平均          | -----                        | 19                | 8                 | 0.455                   | 34                    | 15.5                |

表 2：以固態酒麴發酵之傳統方法製造酒精結果(實驗 2)

| 項 目<br>實驗編組 | 原料：<br>米飯/水/酒麴<br>(kg/kg/kg) | 完全發<br>酵天數<br>(天) | 蒸餾前<br>酒精度<br>(%) | 第一次蒸餾<br>產出酒精體積<br>(公升) | 第一次蒸餾<br>平均酒精度<br>(%) | 產 值<br>(出酒率)<br>(%) |
|-------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| A           | 1/1.5 /1x0.5%                | 20                | 5                 | 0.440                   | 37                    | 16.3                |
| B           | <b>1/1.5/1x1.0%</b>          | <b>18</b>         | <b>7</b>          | <b>0.485</b>            | <b>39</b>             | <b>18.9</b>         |
| C           | <b>1/1.5/1x1.5%</b>          | <b>19</b>         | <b>9</b>          | <b>0.508</b>            | <b>39</b>             | <b>19.8</b>         |
| D           | <b>1/1.5/1x2.0%</b>          | <b>19</b>         | <b>8</b>          | <b>0.500</b>            | <b>38</b>             | <b>19.0</b>         |
| E           | 1/1.5/1x2.5%                 | 19                | 8                 | 0.497                   | 38                    | 18.9                |
| F           | 1/1.5/1x3.0%                 | 18                | 8                 | 0.508                   | 37                    | 18.8                |
| G           | 1/1.5/1x3.5%                 | 19                | 7                 | 0.486                   | 37                    | 17.9                |
| H           | 1/1.5/1x4.0%                 | 18                | 8                 | 0.485                   | 37                    | 17.9                |
| 平均          | -----                        | 18                | 8                 | 0.488                   | 38                    | 18.5                |

表 3：以固態酒麴發酵之傳統方法製造酒精結果(實驗 3)

| 項 目<br>實驗編組 | 原料：<br>米飯/水/酒麴<br>(kg/kg/kg) | 完全發酵<br>天數<br>(天) | 蒸餾前<br>酒精度<br>(%) | 第一次蒸餾<br>產出酒精體積<br>(公升) | 第一次蒸餾<br>平均酒精度<br>(%) | 產 值<br>(出酒率)<br>(%) |
|-------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| A           | 1/1/1x0.5%                   | 21                | 5                 | 0.380                   | 30                    | 11.4                |
| B           | <b>1/1/1x1.0%</b>            | <b>19</b>         | <b>8</b>          | <b>0.390</b>            | <b>31</b>             | <b>12.1</b>         |
| C           | <b>1/1/1x1.5%</b>            | <b>18</b>         | <b>8</b>          | <b>0.395</b>            | <b>33</b>             | <b>13.0</b>         |
| D           | <b>1/1/1x2.0%</b>            | <b>18</b>         | <b>8</b>          | <b>0.386</b>            | <b>33</b>             | <b>12.7</b>         |
| E           | 1/1/1x2.5%                   | 19                | 7                 | 0.380                   | 31                    | 11.8                |
| F           | 1/1/1x3.0%                   | 19                | 7                 | 0.370                   | 31                    | 11.5                |
| G           | 1/1/1x3.5%                   | 18                | 6                 | 0.376                   | 30                    | 11.2                |
| H           | 1/1/1x4.0%                   | 18                | 6                 | 0.373                   | 30                    | 11.2                |
| 平均          | -----                        | 19                | 7                 | 0.381                   | 31                    | 11.8                |

## 【研究二】探討由廚餘米飯以液態酵素發酵之先進方法製造酒精結果：

- (1)由實驗 1—4 之 A~H 各項實驗紀錄數據中發現，不論使用廚餘米飯與水之重量比例為何，以液態酵素之用量為米飯的 0.20%時，所製得酒精之產值(出酒率)為各分組實驗中最高。
- (2)將實驗 1—4 之 A~H 各項實驗數據相互對照發現，酒麴之用量比例一定，當使用廚餘米飯：水之重量為 100%：200%時，所製得酒精之產值(出酒率)最高。
- (3)綜合實驗 1—4 之 A~H 各項實驗紀錄數據發現，以液態酵素發酵之先進方法製造酒精，當使用米飯：水：液態酵素之重量為 100%：200%：0.2 %時，為最佳組合配方，所製得酒精之產值最高，達 22%。

表 4：以液態酵素發酵之先進方法製造酒精結果（實驗 1）

| 項 目<br>實驗編組 | 原料：<br>米飯/水/液態酵素<br>(kg/kg/kg) | 完全發<br>酵天數<br>(天) | 蒸餾前<br>酒精度<br>(%) | 第一次蒸餾<br>產出酒精體積<br>(公升) | 第一次蒸餾<br>平均酒精度<br>(%) | 產 值<br>(出酒率)<br>(%) |
|-------------|--------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| A           | 3/3/3x0.05%                    | 10                | 8                 | 1.500                   | 34                    | 17.0                |
| B           | 3/3/3x0.10%                    | 10                | 9                 | 1.450                   | 37                    | 17.8                |
| C           | <b>3/3/3x0.15%</b>             | <b>9</b>          | <b>9</b>          | <b>1.640</b>            | <b>38</b>             | <b>20.7</b>         |
| D           | <b>3/3/3x0.20%</b>             | <b>9</b>          | <b>11</b>         | <b>1.680</b>            | <b>40</b>             | <b>22.4</b>         |
| E           | <b>3/3/3x0.25%</b>             | <b>10</b>         | <b>11</b>         | <b>1.650</b>            | <b>39</b>             | <b>21.4</b>         |
| F           | 3/3/3x0.30%                    | 10                | 10                | 1.620                   | 37                    | 20.3                |
| G           | 3/3/3x0.35%                    | 10                | 10                | 1.500                   | 36                    | 18.0                |
| H           | 3/3/3x0.40%                    | 10                | 9                 | 1.552                   | 36                    | 18.6                |
| 平均          | -----                          | 10                | 10                | 1.574                   | 37                    | 19.5                |

表 5：以液態酵素發酵之先進方法製造酒精結果（實驗 2）

| 項 目<br>實驗編組 | 原料：<br>米飯/水/液態酵素<br>(kg/kg/ kg) | 完全發<br>酵天數<br>(天) | 蒸餾前<br>酒精度<br>(%) | 第一次蒸餾<br>產出酒精體積<br>(公升) | 第一次蒸餾<br>平均酒精度<br>(%) | 產 值<br>(出酒率)<br>(%) |
|-------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| A           | 3/4.5/3x0.05%                   | 10                | 9                 | 1.540                   | 36                    | 18.5                |
| B           | 3/4.5/3x0.10%                   | 9                 | 9                 | 1.560                   | 39                    | 20.3                |
| C           | <b>3/4.5/3x0.15%</b>            | <b>8</b>          | <b>9</b>          | <b>1.580</b>            | <b>40</b>             | <b>21.0</b>         |
| D           | <b>3/4.5/3x0.20%</b>            | <b>8</b>          | <b>12</b>         | <b>1.630</b>            | <b>41</b>             | <b>22.3</b>         |
| E           | 3/4.5/3x0.25%                   | 8                 | 11                | 1.600                   | 39                    | 20.8                |
| F           | 3/4.5/3x0.30%                   | 9                 | 11                | 1.616                   | 38                    | 20.5                |
| G           | 3/4.5/3x0.35%                   | 9                 | 10                | 1.580                   | 37                    | 19.5                |
| H           | 3/4.5/3x0.40%                   | 9                 | 9                 | 1.554                   | 38                    | 19.7                |
| 平均          | -----                           | 9                 | 10                | 1.583                   | 38                    | 20.1                |

表 6：以液態酵素發酵之先進方法製造酒精結果（實驗 3）

| 項 目<br>實驗編組 | 原料：<br>米飯/水/液態酵素<br>(kg/kg/ kg) | 完全發<br>酵天數<br>(天) | 蒸餾前<br>酒精度<br>(%) | 第一次蒸餾<br>產出酒精體積<br>(公升) | 第一次蒸餾<br>平均酒精度<br>(%) | 產 值<br>(出酒率)<br>(%) |
|-------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| A           | 3/6/3x0.05%                     | 9                 | 11                | 1.530                   | 38                    | 19.4                |
| B           | 3/6/3x0.10%                     | 8                 | 11                | 1.575                   | 40                    | 21.0                |
| C           | 3/6/3x0.15%                     | 7                 | 12                | 1.600                   | 40                    | 21.3                |
| D           | <b>3/6/3x0.20%</b>              | <b>6</b>          | <b>13</b>         | <b>1.740</b>            | <b>42</b>             | <b>24.4</b>         |
| E           | <b>3/6/3x0.25%</b>              | <b>6</b>          | <b>12</b>         | <b>1.653</b>            | <b>41</b>             | <b>22.6</b>         |
| F           | 3/6/3x0.30%                     | 7                 | 12                | 1.710                   | 40                    | 22.8                |
| G           | 3/6/3x0.35%                     | 7                 | 12                | 1.640                   | 40                    | 22.0                |
| H           | 3/6/3x0.40%                     | 7                 | 12                | 1.605                   | 40                    | 21.4                |
| 平均          | -----                           | 7                 | 12                | 1.632                   | 40                    | 21.8                |

表 7：以液態酵素發酵之先進方法製造酒精結果（實驗 4）

| 項 目<br>實驗編組 | 原料：<br>米飯/水/液態酵素<br>(kg/kg/ kg) | 完全發<br>酵天數<br>(天) | 蒸餾前<br>酒精度<br>(%) | 第一次蒸餾<br>產出酒精體積<br>(公升) | 第一次蒸餾<br>平均酒精度<br>(%) | 產 值<br>(出酒率)<br>(%) |
|-------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| A           | 3/7.5/3x0.05%                   | 9                 | 9                 | 1.500                   | 36                    | 18.0                |
| B           | 3/7.5/3x0.10%                   | 9                 | 10                | 1.550                   | 38                    | 19.6                |
| C           | 3/7.5/3x0.15%                   | 8                 | 10                | 1.600                   | 39                    | 20.8                |
| D           | <b>3/7.5/3x0.20%</b>            | <b>8</b>          | <b>11</b>         | <b>1.675</b>            | <b>40</b>             | <b>22.3</b>         |
| E           | <b>3/7.5/3x0.25%</b>            | <b>7</b>          | <b>10</b>         | <b>1.650</b>            | <b>39</b>             | <b>21.4</b>         |
| F           | 3/7.5/3x0.30%                   | 8                 | 10                | 1.610                   | 38                    | 20.3                |
| G           | 3/7.5/3x0.35%                   | 9                 | 9                 | 1.530                   | 37                    | 18.9                |
| H           | 3/7.5/3x0.40%                   | 8                 | 9                 | 1.585                   | 36                    | 19.0                |
| 平均          | -----                           | 8                 | 10                | 1.587                   | 36                    | 19.1                |

### 【研究三】探討米飯發酵過程米醪之糖度與酒精度變化之相關性結果：

- (1)發酵第一至九天測得米醪糖度，依序為 17—0 °Brix，酒精度為依序為 0—11% (表 8)。
- (2)在米醪發酵過程中，糖度遞減而酒精度遞增，變化情形如圖 8。
- (3)由實驗中觀察得知，米醪發酵過程中會釋放 CO<sub>2</sub>，當發酵完全時，則不再生成。
- (4)由實驗中觀察得知，發酵過程中米醪的清澈度漸高，最後變成透明茶色。

表 8：糖度和酒精度之測量結果

| 實驗項目<br>發酵日數 | 糖 度<br>(°Brix) | 酒精度<br>(%) | 發酵情形敘述                                              |
|--------------|----------------|------------|-----------------------------------------------------|
| 第一天          | 17             | 0          | 廚餘米飯加入水、澱粉液化酵素及糖化酵素，並加熱約 1 小時形成濃稠之米醪。               |
| 第二天          | 16             | 1          | 澱粉米醪慢慢轉化成葡萄糖，有少量 CO <sub>2</sub> 氣泡產生。              |
| 第三天          | 14             | 2          | 葡萄糖已開始轉化成酒精，糖度開始下降，酒精度略上升，有多量 CO <sub>2</sub> 氣泡產生。 |
| 第四天          | 12             | 4          | 米醪濃度變稀，糖度開始下降，酒精度上升，有多量 CO <sub>2</sub> 氣泡產生。       |
| 第五天          | 8              | 7          | 糖度再下降，酒精度上升，CO <sub>2</sub> 氣泡漸少。                   |
| 第六天          | 4              | 9          | 米醪漸漸呈清澈狀，僅有少量 CO <sub>2</sub> 氣泡產生。                 |
| 第七天          | 2              | 10         | 米醪成清澈茶色，糖度幾乎消失，酒精度明顯上升，CO <sub>2</sub> 氣泡消失。        |
| 第八天          | 1              | 10         | 糖度及酒精度變化不明顯，發酵趨於完全。                                 |
| 第九天          | 0              | 11         | 糖度為零，酒精度不再變化，發酵已完全。                                 |

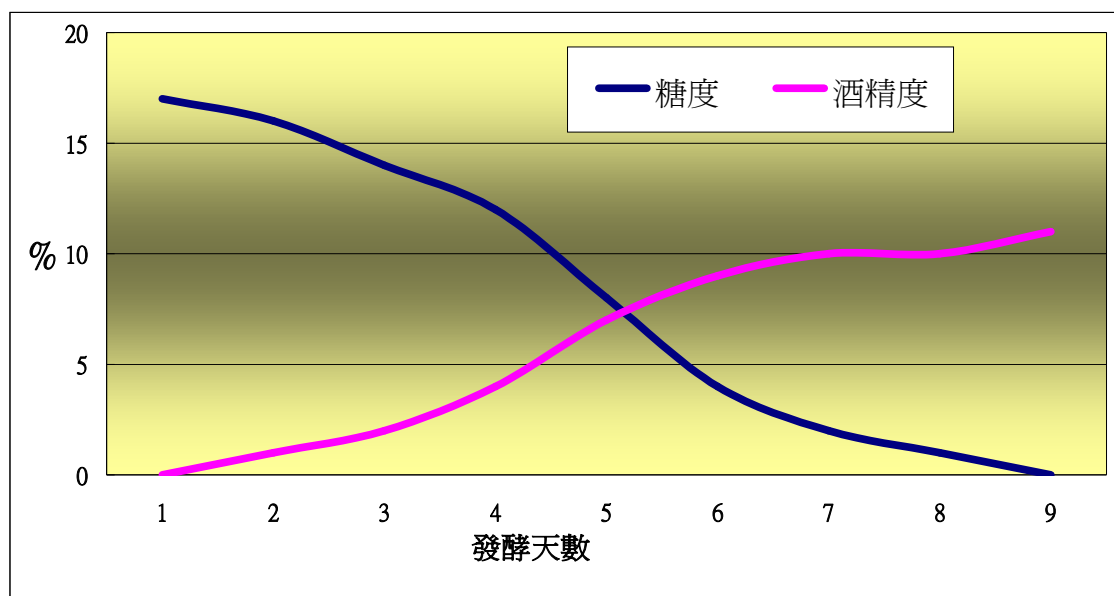


圖 8：發酵過程中糖度與酒精度之變化圖

#### 【研究四】酒精製品中甲醇之檢測結果：(表 9)

- (1)所配製之甲醇標準液為含甲醇量 50ppm，加入檢測試劑呈紫色，甲醇含量越多，其呈色反應越深。
- (2)本研究由廚餘米飯製得之酒精成品，經檢測結果均呈無色，亦即不含甲醇，假若有之，其含量亦在 50ppm 以下(依行政院衛生署公告酒類含甲醇不得超過 1000ppm，資料來源：行政院衛生署食品檢驗局網站)。

表 9：酒精製品中甲醇之檢測結果

| 酒精製品 | 50ppm<br>甲醇比色標準液 | 46%<br>酒精 | 55%<br>酒精 | 58%<br>酒精 | 63%<br>酒精 | 74%<br>酒精 | 78%<br>酒精 |
|------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 呈色反應 | 紫色               | 無色        | 無色        | 無色        | 無色        | 無色        | 無色        |
| 甲醇含量 | 對照組              | 無         | 無         | 無         | 無         | 無         | 無         |

#### 【研究五】廚餘米飯製造酒精之產值(出酒率)計算及經濟效益評估結果：

1.平均產值 (出酒率) = 產出酒精體積(L)×酒精度 (%) / 原料重(Kg)

$$= 1.632 \times 40\% / 3 = 22\%$$

2.經濟效益評估：(表 10)

- (1)每 3Kg 廚餘米飯經發酵可製得約 1.6 公升、40%之米酒(1.6 公升÷0.6 公升/瓶=2.6 瓶)，即每一公斤廚餘米飯經發酵可製得約 0.54 公升、40%的酒精，價值約 180 元，以目前一瓶 0.6 升之 40%紅標米酒售價 200 元估計(台灣菸酒公司售價)，其經濟效益頗高。
- (2)若經第三次蒸餾酒精度可達 90~92%，此產品可作為替代汽車之燃料油。

表 10：酒精之產值計算

| 項 目<br>實驗次數 | 原料：<br>廚餘米飯<br>(Kg) | 發酵完全之米醪<br>(含 6 公升水)<br>(公升) | 第一次蒸餾<br>產出酒精體積<br>(公升) | 第一次蒸餾<br>平均酒精度<br>(%) | 產 值<br>(出酒率)<br>(%) |
|-------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| 1           | 3                   | 6.765                        | 1.530                   | 38                    | 19.4                |
| 2           | 3                   | 6.750                        | 1.575                   | 40                    | 21.0                |
| 3           | 3                   | 6.825                        | 1.600                   | 40                    | 21.3                |
| 4           | 3                   | 6.857                        | 1.740                   | 42                    | 24.4                |
| 5           | 3                   | 6.810                        | 1.653                   | 41                    | 22.6                |
| 6           | 3                   | 6.862                        | 1.710                   | 40                    | 22.8                |
| 7           | 3                   | 6.787                        | 1.640                   | 40                    | 22.0                |
| 8           | 3                   | 6.764                        | 1.605                   | 40                    | 21.4                |
| 平均          | 3                   | 6.808                        | 1.632                   | 40                    | 21.8                |

## 柒、討論

- 一、廚餘米飯以固態酒麴發酵之傳統方法製造酒精，糖化(酒麴中的黴菌將澱粉分解成糖)過程需三天之久，接著酒化(酒麴中的酵母菌將糖分解成酒精)過程則需約二星期之久，整個製酒流程需 20 天左右；若改用液態酵素發酵，先加入  $\alpha$ -澱粉液化酵素，使澱粉水解液化，過程只需 1~2 小時，接著加入澱粉糖化酵素，繼續使澱粉完全水解，經發酵成為酒精，整個製酒流程只需 7 天左右，快速、省時且出酒率高。
- 二、廚餘米飯以液態酵素發酵之方法製造酒精，於發酵過程中所使用的澱粉液化酵素，因屬於微生物酶製劑，為可耐高溫(90~105℃)之液態酵素，因此可大大縮短發酵之時間，整個製程時間僅需傳統固態酒麴發酵法的三分之一。
- 三、本實驗採用單向氣閥瓶塞的發酵容器，可將容器內生成的二氧化碳排出，且空氣中的壞菌及污染源不易進入瓶內，發酵之酒醪無黴菌生成，可提高酒之品質。
- 四、米醪加入澱粉糖化酵素需攪拌均勻，且溫度應降至 40℃ 以下，若溫度太高時，酵素成分會變質失效，故加入糖化酵素時，發酵溫度宜高於室溫 5℃~10℃，因酵素之主要成分是蛋白質，遇高溫會產生凝固，且結構遭破壞而失去功能，但若反應溫度太低，發酵之速率又太慢，因此控制酵素反應之溫度是否恰當，是發酵的成敗關鍵。
- 五、米飯原料加水應適量，加水若太少，澱粉水解不完全，造成出酒率降低，浪費原料；加水若太多，發酵時會造成酒精濃度過低，無法抑制有害細菌（如醋酸菌）的

生長，以致造成酒精有異味或帶有酸味，更因為水量的增加，也增加了蒸餾時能源的損耗（陳,民 78）。

六、米飯製酒於糖化過程中，澱粉酵素作用時適宜的 pH 值為 3.5~7.0，故需加入約米飯重量的 0.05%檸檬酸；而加入 1%蔗糖及 0.1%活性酵母粉，可促進酵母菌的發酵作用，提高產值(郭, 民 81)。

七、米飯原料加入水混合，主要目的是使原料與酵素的接觸面積增大，使發酵速率加快；且加入的水應使用純水或蒸餾水，避免雜菌混入原料，而污染了酒精產品。

八、收集廚餘米飯作為製酒原料，除了應去除混在其中的菜餚、魚刺、骨頭等雜物外，並須加適量的水，攪拌後傾去浮於上層的油及雜質，否則會降低出酒率。

九、發酵過程米醱糖度與酒精度之變化恰好相反，發酵越完全，糖度越低，酒精度越高。

十、發酵過程中米醱濃度漸漸變稀，透明度漸高，變成清澈透明之茶色，且不再生成二氧化碳氣體時，即表示米醱已發酵完全。

十一、在本次的研究過程中，為了驗證我們製造的酒精產品是否含有毒性，經多方的收集資料，及應用氧化還原知識，並且在老師的指導之下，學到甲醇的比色檢測法，因而增加對假酒的認識。

## 捌、結論

一、由研究一實驗得知，以固態酒麴發酵之傳統方法製造酒精，當使用米飯：水：酒麴之重量比為 100%：150%：1.5%時，為最佳組合配方，製得酒精平均產值約達 19%。

二、由研究二實驗得知，以液態酵素發酵之方法製造酒精，當使用米飯：水：液態酵素之重量比為 100%：200%：0.20 %時，為最佳組合配方，製得酒精產值約達 22%。

三、由研究一及研究二比較得知，採用傳統固態之酒麴發酵，整個製酒流程歷時約三星期；而使用液態耐高溫型酵素發酵，整個製酒流程歷時僅約一星期，不但省時，且酒精之產值亦較高。

四、以廚餘米飯製造酒精宜選用液態酵素發酵方法，而米飯、水與液態酵素之重量比例以 100%：200%：0.20%之組合為最佳之配方，發酵完全之米醱經第一次蒸餾可得平均濃度約 40%酒精，第二次蒸餾可得平均濃度約 70%酒精，第三次蒸餾可得平均濃度約 90%酒精。

五、將廚餘米飯發酵製造成酒精，不但打破傳統僅將廚餘米飯做為餵豬或其他禽畜之食用的觀念，並且大大的提升了經濟價值；廚餘米飯製得之低濃度酒精產品（米酒），可提供學校廚房做為菜餚調理之用，而再蒸餾之高濃度產品（生質酒精），可作為汽油之替代能源，實在是一舉兩得，在石油能源日益枯竭，燃油價格日益高漲的今日，廚餘米飯再利用的經濟價值，實不容忽視。

## 玖、參考資料

### 一、書籍部份

- (一)國中自然與生活科技，第四冊第五章第五節食品科技，南一出版社，民國 95 年。
- (二)陳紀全，高中化學實驗，建興出版社，民國 91 年。
- (三)續光清，食品化學，徐氏出版社，民國 84 年。
- (四)陳國誠，微生物-發酵工程學，藝軒出版社，民國 78 年。
- (五)郭俊欽，發酵食品，徐氏出版社，民國 81 年。
- (六)酒類衛生標準修正條文，行政院衛生署衛署食字第 0950403402 號，民國 95 年。

### 二、網站部份

- (一)行政院農業委員會苗栗區農業改良場：

<http://www.mdais.gov.tw/admin/upload/20051125152930.htm>

- (二)行政院衛生署食品檢驗局：<http://www.nlfd.gov.tw/method/index.html>

- (三)台灣菸酒股份有限公司：<http://www.ttl.com.tw/>

**【評語】 030820**

利用米飯製備是一個常見的反應物，本研究的設計能利用學習者擁有的背景知識去改變影響反應，主題與教材有相關性，若能對使用物酵素間的比較做更詳細探討應更完善。