

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 工程學(二)科

佳作

052409

禾本科產製酒精效率之研究

學校名稱：佛光山學校財團法人高雄市普門高級中學

作者：  高二 譚穎恩  高二 蔣旻恩  高二 蔡詠巨	指導老師：  魏韶寬  彭奎翰
---	-----------------------------

關鍵詞：象草、酒精發酵

## 摘要

本篇研究是比較釀酒酵母在象草汁、紅甘蔗汁和白甘蔗汁酒精發酵時產製酒精的效率。結果顯示，植物汁液的成分和特性會影響酵母菌的發酵效率和產物。紅甘蔗汁和白甘蔗汁中的其他微生物對酵母菌的影響會隨時間增加而增強，pH 值也會影響酵母菌的活性。不論是否在無氧環境，象草汁中的酵母菌產製酒精的效率最好，並且在象草汁中的酒精被氧化的情形比在紅白甘蔗汁中來的小。因此，將釀酒酵母放入象草汁中進行酒精發酵是取得酒精的最佳方法。本篇研究的禾本科植物中，象草是相當適合作為生質能源的材料。

# 壹、前言

## 一、研究動機

本研究動機主要是探討禾本科植物作為生質能源的效率分析，其中包括以甘蔗和象草為代表的禾本科植物。甘蔗是一種常見的製糖和釀酒原料，其殘渣也可用於生產生質能源。而象草是一種常見的牧草，同為禾本科植物，其在生質能源方面及生產價值尚未被充分開發，因此，本研究將探討象草產製酒精的效率。

相較於甘蔗，象草的生長速度快且生長範圍廣泛，並且不屬於經濟作物，是一種更加便利的生物資源。透過對象草的深入研究，我們能探索一種可持續的生質能源生產方式，同時也有助於保護生態環境和進行循環經濟。

## 二、目的

- (一) 探討紅甘蔗、白甘蔗以及象草汁液中的雙醣與單醣等成分。
- (二) 探討在汁液中加入釀酒酵母之後，比較有氧發酵和無氧發酵的過程。
- (三) 探討象草是在這次研究探討的禾本科植物中適合作為生質能源的材料。

## 三、文獻回顧

### (一) 象草的植物特性：

象草 (*Pennisetum purpureum*)，是一種常見的禾本科植物，原產於非洲，現在在全球各地都有廣泛的栽種，被廣泛用作飼料和綠化植物。它是一種多年生草本植物，稈高可達 3 公尺，具有高度的耐旱性和耐熱性，能生長在平地至中海拔 1,500 公尺山區之河床、耕地、路旁、荒廢地。根據報導，台灣的象草常見於溪床邊，已嚴重排擠甜根子草、蘆竹、蘆葦等沙洲植物生存空間 (莊溪, 2023)。近年來有研究探討象草作為生質能源的應用 (吳芳禎等, 2018)。我們認為，拿象草去比較傳統生質能源作物的甘蔗，是很有意義的。

### (二) 呼吸作用中的有氧呼吸與發酵作用 (酒精發酵)

根據高一生物課本，細胞的呼吸作用會分成「有氧呼吸」與「發酵作用」。

有氧呼吸：葡萄糖 + 氧 → 水 + 二氧化碳 + 能量 (多量 ATP)

發酵作用 (酒精發酵)：葡萄糖 → 酒精 + 二氧化碳 + 能量 (少量 ATP)

可知酵母菌在無氧情況下運用葡萄糖(單醣)，能產生具有能源價值的酒精(陳俊宏，2021)。以此概念為基礎，我們可透過實驗，檢視象草所含單醣量與甘蔗之間的差異，並觀察象草進行酒精發酵的效率。

### (三) 醋酸菌的特性

醋酸菌是一種絕對好氧菌，能夠在溫度為 5 °C~42 °C 的環境中生長，最佳生長溫度約為 30 °C。其最適生長 pH 值範圍為 pH 5.4-6.3。此外，醋酸菌只進行氧化反應，不進行發酵反應(江珮琪，2023)。

### (四) 酯化反應

酯在酸性催化劑存在下，進行脫水縮合反應產生酯類，成為酯化反應，例如乙酸和乙醇反應時，乙酸脫去羥基，乙醇脫去羥基上的氫，兩者結合後產生水，並產生乙酸乙酯。酯化是可逆反應，逆反應為酯加水分解成酸和醇，稱為水解反應(張煥宗，2021)。

### (五) 實驗中用釀酒酵母裡的澱粉酶 ( $\alpha$ -澱粉酶與 $\gamma$ -澱粉酶)

$\alpha$ -澱粉酶(alpha-amylase)是一種糖解酵素，能水解澱粉成麥芽糖、麥芽三糖(maltotriose)、糊精(dextrin)及少量葡萄糖為主作用溫度範圍 60 °C~90 °C，最適宜作用溫度為 60 °C~70 °C，作用 pH 值範圍 5.5~7.0，最適 pH 值為 6.0。(蔡孟勳、翁爾謙、蔣易達、陳冠仲，2008)(林青怡，2004)

$\gamma$ -澱粉酶(gamma-amylase)又稱為葡萄糖澱粉酶(glucoamylase)，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 °C~65 °C。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。(蔡孟勳、翁爾謙、蔣易達、陳冠仲，2008)

### (六) 禾本科植物中存在不同醣類，屬混合碳源：

根據研究，在單一碳源的情況下，醣的濃度會影響酵母菌利用不同種醣類的發酵速率。但即便是存在不同醣類混合碳源的情況，因為分解代謝物抑制(catabolite repression)現象，細菌或酵母菌會優先利用葡萄糖作為能量來源，其他醣類的代謝會被抑制而暫停進行，如此可確保能量的有效利用與轉換(張雋亞等，2021)。另一方

面，醴類發酵的相關科展研究，如：〈酵母菌與碳水化合物的反應與研究〉（張梅鳳等，2002）、〈探討酒精發酵之最佳條件〉（曲柏勳等，2012）、〈不同濃度的單一碳源及混合碳源對酵母菌發酵速率的影響〉（張雋亞等，2021）等，普遍都是直接採用葡萄糖、果糖作為單醴，蔗糖等作為雙醴，在相對單純可控制的狀態下進行測量。

#### 四、研究限制

##### （一）實際取材

這次研究將採取象草、紅甘蔗、白甘蔗等植物榨出汁液進行發酵觀察。大自然的植物中成分複雜，在自然狀態下經採收下來植物中的汁液就開始進行化學變化，與單純取純物質進行分析有很大的不同。然而，也因為在這樣的條件下，本研究的結果更能貼近實際情形，在實際應用上有更大的參考價值。

##### （二）測量儀器的限制

因在高中的實驗室中能取得的研究設備有限，本次研究中所用到測量單醴數值的設備為經認證合格測量人類血糖用的血糖機，測量範圍是在 10（mg/dl）與 600（mg/dl）之間。如果液體中單醴的數值超出這個範圍，將會無法測量到。但是，我們嘗試突破儀器的限制，若測量中有出現過高（單醴數值至少 600mg/dl 以上）的情況，我們便會使用稀釋的方式，例如取 10 c.c.的汁液再加入 30 c.c.的水，使其汁液單醴濃度變成原來的四分之一倍，得到的結果再乘以 4 就可推得原來的值。

## 貳、研究設備與器材

### 一、實驗器材

- (一) 血糖計
- (二) 甜度計
- (三) 酒度計
- (四) 酸鹼度計
- (五) 溫度計
- (六) 燒杯
- (七) 滴管
- (八) 空寶特瓶
- (九) 手電筒



血糖計



甜度計



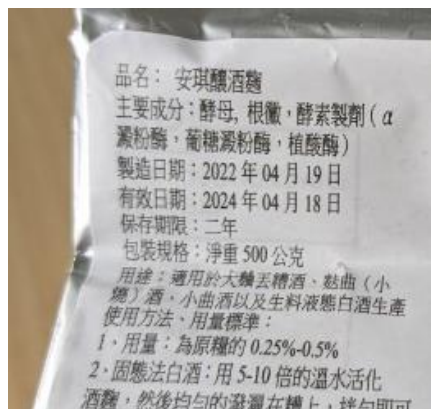
酒度計



酸鹼度計

### 二、實驗耗材

- (一) 釀酒酵母
- (二) 血糖計檢測片
- (三) 蒸餾水
- (四) 衛生紙
- (五) 廚房紙巾



釀酒酵母



血糖計檢測片

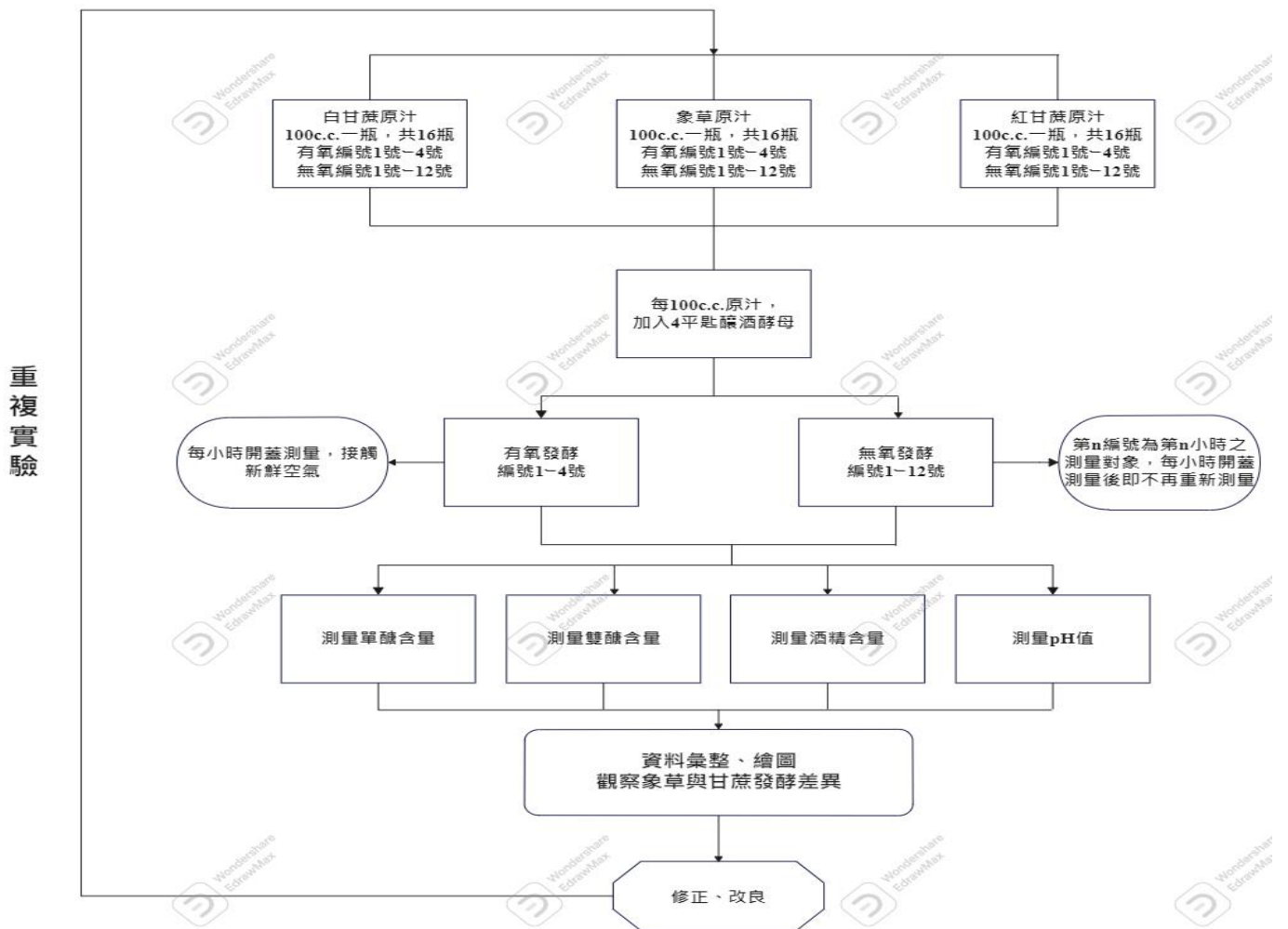
### 三、實驗植物

<p>(一) 白甘蔗原汁</p> <p>請蔗農協助，將非販賣之野生白甘蔗榨成汁</p>	
<p>(二) 紅甘蔗原汁</p> <p>請蔗農協助，將非販賣之野生紅甘蔗榨成汁</p>	
<p>(三) 象草原汁</p> <p>取自路竹牧場的野生象草，請人協助榨成汁</p>	

## 參、研究過程與方法

### 一、實驗架構

為比較象草轉換能源的效率，實驗對象總共分成 6 組：象草有氧、象草無氧、紅甘蔗有氧、紅甘蔗無氧、白甘蔗有氧、白甘蔗無氧。每組 16 瓶，分別放入釀酒酵母後，分 12 梯次，每小時依序測試單醣、雙醣、酒精、pH 值等數值，觀察成分隨時間的變化情形。最後，根據記錄的資料，整理折線圖，並分析象草與甘蔗產生酒精效率的差異。



### 二、研究方法

#### (一) 取得野生象草、紅甘蔗、白甘蔗

台灣目前所生產的甘蔗主要有供榨汁用的巴西蔗（俗稱白甘蔗）、供直接啃食的生食紅甘蔗（俗稱紅甘蔗）及糖用甘蔗等三大類，巴西蔗的水分含量高、蔗糖（雙醣）的濃度低；生食紅甘蔗的纖維較少、糖分及水分適中；糖用甘蔗的蔗糖濃度高、



水分含量較少，最適合製造蔗糖（張毓禎等，2007）。由於農用甘蔗多經過施肥、改良等人工照顧，所含糖分較高，故我們試著尋找相對野生的甘蔗作為研究對象與野生象草進行對照。

(二) 本實驗設置如下：

1. 依實驗對象總共分成 6 組：象草有氧、象草無氧、紅甘蔗有氧、紅甘蔗無氧、白甘蔗有氧、白甘蔗無氧。在有氧環境跟無氧環境發酵的象草汁，以及對應的紅甘蔗汁與白甘蔗汁。
2. 本實驗的各項變因如下表所示：

控制變因	操縱變因	應變變因
原汁量、酵母菌量、陰暗處無太陽直曬等	有開蓋（有氧發酵） 無開蓋（無氧發酵）	單位時間，單醣變化量、 雙醣變化量、酒精變化量、 pH 值變化

(三) 實驗步驟

1. 實驗對象裝瓶：將象草原汁、紅甘蔗原汁、白甘蔗原汁，分裝至空寶特瓶中，每瓶 100 c.c.，每種植物原汁裝 16 瓶，共 48 瓶。（如圖 3-2-3-1、圖 3-2-3-2）



圖 3-2-3-1 測量中與尚未測量



圖 3-2-3-2 測量完依順序置放

2. 瓶身編號：從編號 1 號開始至編號 12 號。編號邏輯為象草／無氧發酵／第一瓶，即編為「象無 1」；象草第 12 瓶編號為「象無 12」。依此類推象草編號從「象無 1」至「象無 12」；紅甘蔗編號從「紅無 1」至「紅無 12」；白甘蔗編號從「白

無 1」至「白無 12」。

有氧發酵則有「象有 1」、「象有 2」、「象有 3」、「象有 4」；「紅有 1」、「紅有 2」、「紅有 3」、「紅有 4」；「白有 1」、「白有 2」、「白有 3」、「白有 4」。

(1) 本實驗之有氧發酵是指每間隔一個小時測量時，因開啟瓶蓋測量會讓原汁與新鮮空氣接觸。因此，有氧發酵只需用第一瓶（「象有 1」、「紅有 1」、「白有 1」）持續測量至完整週期結束即可。但因為我們這次紅甘蔗與白甘蔗有使用稀釋汁液的方式進行測量，所以為了避免到後期有氧發酵的汁液不夠測量，所以我們便使用四瓶，測量時同時開蓋，測完再同時蓋緊蓋子。

### 3. 測量項目：單醣含量檢測、雙醣含量檢測、酒精濃度檢測、pH 值檢測

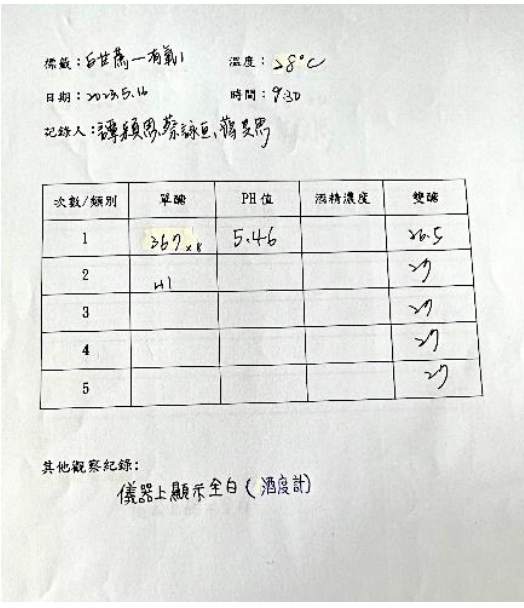
(1) 單醣含量檢測：我們採用血糖計，當測量到血糖計數值為 L0 ( $\leq 10\text{mg/dl}$ ) 或 H1 ( $\geq 600\text{mg/dl}$ )，即表示液體中的單醣含量超出測量範圍，便測量第二次，我們的實驗目前沒有 L0 的情況，只有 H1 的情況，所以我們便會以稀釋的方式進行測量與推算，例如取 10c.c.的汁液再加入 30c.c.的水，使其汁液單醣濃度變成原來的四分之一倍，得到的結果再乘以 4 就可推算原本超出的值為多少。

(2) 雙醣含量檢測：我們使用光學甜度計，檢測範圍是 0-90。單位是 Brix（每 100 克水溶液中溶解的蔗糖克數）重複測量 5 次，取平均數。

(3) 酒精濃度檢測：我們使用光學酒度計，檢測範圍是 0%-80%。單位是體積百分濃度（體積分數，V/V），指每 100 毫升的溶液中所含溶質（酒精）毫升數。重複測量 5 次，取平均數。

(4) pH 值檢測：使用酸鹼度計直接測量。

4. 測量登記表：

<p>標籤：</p> <p>象草有氧共 12 張、象草無氧共 12 張、紅甘蔗有氧共 12 張、紅甘蔗無氧共 12 張、白甘蔗有氧共 12 張、白甘蔗無氧共 12 張</p> <p>表格分成四個欄位：</p> <p>單醣、pH 值、酒精濃度、雙醣</p> <p>其他觀察紀錄：</p> <p>若有注意到特殊狀況，會寫下來再跟老師討論</p>	 <p style="text-align: center;">圖 3-2-3-3</p>
--	---

5. 測量週期：每一小時測一次，共測量 12 次。

- (1) 裝瓶完，先進行初始檢測，以掌握原汁中的四項數據狀況。
- (2) 由於我們的實驗有重複做多次，所以我們便不以時間為單位，用編號 0 代表初始測量。接著間隔一小時後，從編號 1 開始第一次測量，至編號 12 進行最後一次測量，共測 12 次。

6. 繪製折線圖：

- (1) 每個檢測對象，皆繪製三種折線圖，分別是：雙醣與單醣的對照、單醣與酒精濃度的對照、酒精濃度與 pH 值的對照。
- (2) 雙醣與單醣：雙醣折線用深藍色表示，單位 Brix (g/dl)，置於左側主座標；單醣折線用紅色表示，單位 mg/dl，置於右側副座標。
- (3) 單醣與酒精濃度：酒精濃度折線用綠色表示，單位用體積百分濃度（體積分數，V/V），置於右側副座標。
- (4) 酒精濃度與 pH 值：pH 值折線用黑色表示，直接以 pH 值表示，置於右側副座標。

## 肆、研究結果

### 一、未發酵前液體成分與特性

項目\液體	象草	紅甘蔗	白甘蔗
雙醣(Brix,g/dl)	0	19.5	16
單醣(mg/dl)	34	593	379
pH 值	5.95	5.58	5.56

表 4-1 未發酵前各植物汁液成分與特性

根據表格中的數據比較，各液體的特點如下：

- 象草：雙醣含量為 0，單醣含量低，pH 值偏酸性
- 紅甘蔗：雙醣含量最高，單醣含量最高，pH 值偏酸性
- 白甘蔗：雙醣含量高，單醣含量高，pH 值偏酸性

共同特點：本研究的禾本科植物，其汁液的 pH 值呈現酸性。

### 二、各液體觀測項目的數值對照

#### (一) 在象草汁中進行有氧發酵

##### 1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣 (g/dl)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
單醣 (mg/dl)	34	208	24	31	31	33	32	31	36	39	36	36	36

表 4-2-1-1：在有氧的環境下，象草汁中的雙醣與單醣數值對照表

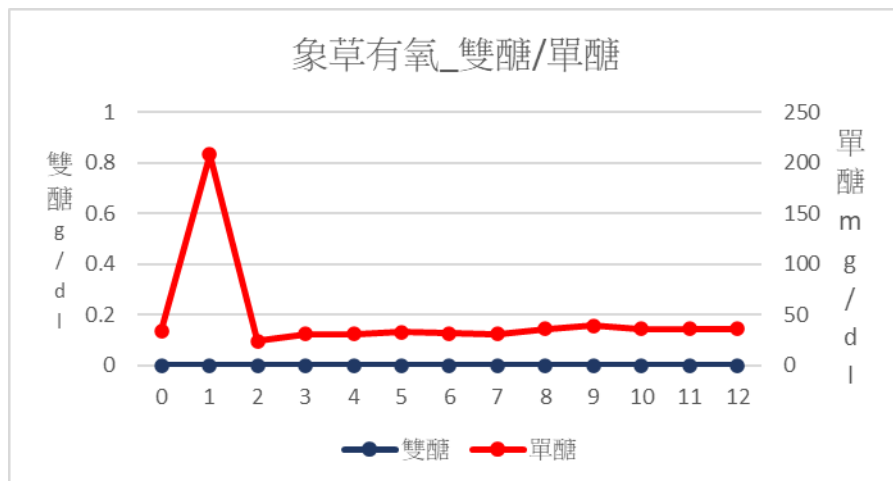


圖 4-2-1-1：在有氧的環境下，象草汁中的雙醣與單醣數值對照圖

結果：從表 4-2-1-1 與圖 4-2-1-1 可以看出，實驗一開始時單醣數值上升程度最為明

顯，是由於汁液中的澱粉被酵母粉中的澱粉酶分解成雙醣與單醣，而後該雙醣經由水解成單醣。在實驗第一個小時後，單醣數值迅速下降，是由於酵母菌的數量增加，導致消耗單醣的影響顯著。而後單醣數值趨勢接近水平線，表示單醣增加的量與被消耗的量相當。

## 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣 (mg/dl)	34	208	24	31	31	33	32	31	36	39	36	36	36
酒精濃度 (%)	1	10	10	10	10	10	9	10.4	10	11	10	10	10

表 4-2-1-2：在有氧的環境下，象草汁中的單醣與酒精數值

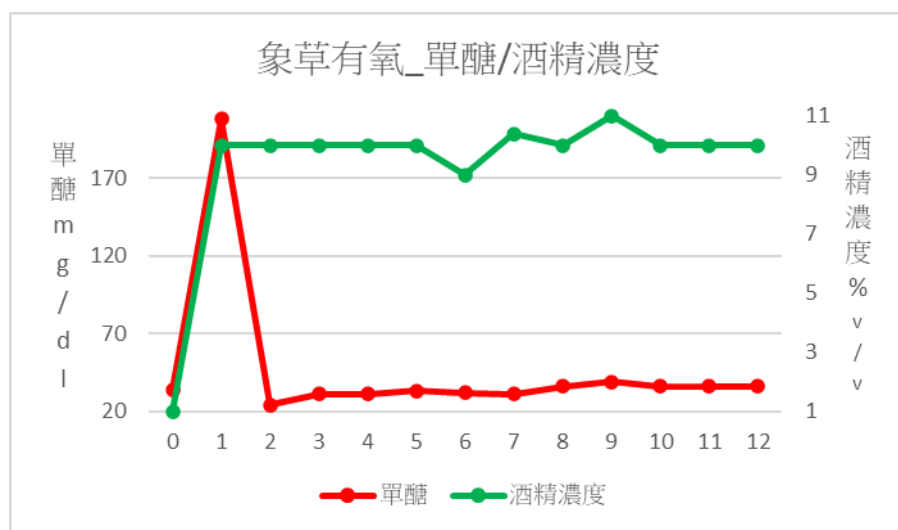


圖 4-2-1-2：在有氧的環境下，象草汁中的單醣與酒精數值對照圖

結果：從圖 4-2-1-2 可以看出，實驗一開始至第一個小時酒精濃度上升最為顯著，表示酵母菌正進行發酵作用。從第二個小時的單醣數值來看，汁液中的分解澱粉的反應效率降低，同時酵母菌進行發酵作用，使單醣數值下降。而後，單醣數值與酒精濃度維持輕微升降變化，為穩定的水平趨勢。

## 3. 酒精與 pH 值的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度 (%)	1	10	10	10	10	10	9	10.4	10	11	10	10	10
pH值	5.95	5.72	5.65	5.81	5.77	5.77	5.91	5.94	5.87	5.89	5.88	5.9	5.92

表 4-2-1-3：在有氧的環境下，象草汁中的酒精濃度與 pH 數值

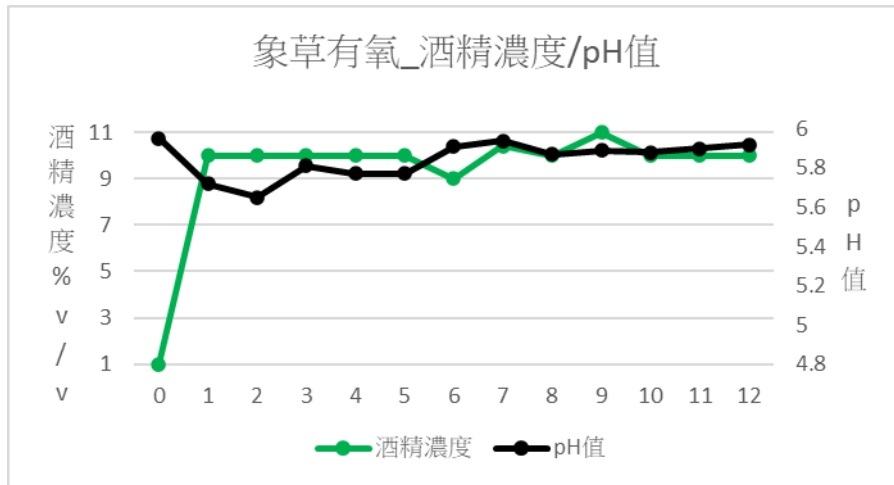


圖 4-2-1-3：在有氧的環境下，象草汁中的酒精濃度與 pH 數值對照圖

結果：從圖 4-2-1-3 的 pH 值的變化趨勢來看，在實驗初期象草汁液有酸化的現象，在第二個小時的時候為數值的最低點。在第二個小時之後，pH 值有穩定上升的趨勢，並在第三個小時之後汁液作取樣時聞到強烈的氣味，表示汁液中不僅有酵母菌進行呼吸作用，還有汁液中的酸與酒精進行酯化反應。

## (二) 在象草汁中進行無氧發酵

### 1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣 (g/dl)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
單醣 (mg/dl)	34	140	25	32	31	56	25	11	27	31	34	34	35

表 4-2-2-1：在無氧的環境下，象草汁中的雙醣與單醣數值對照表

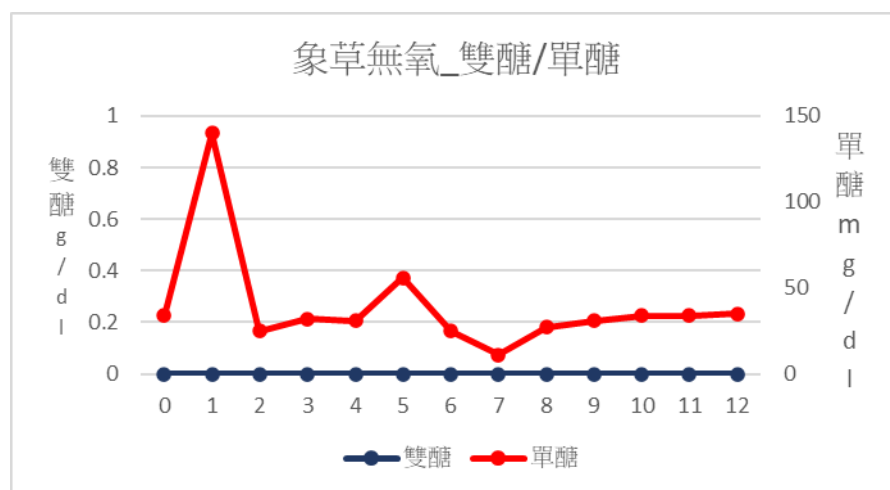


圖 4-2-2-1：在無氧的環境下，象草汁中的雙醣與單醣數值對照圖

結果：將表 4-2-2-1、圖 4-2-2-1、表 4-2-1-1、圖 4-2-1-1 一起對照來看，單醣數值變化

的趨勢相近。但以單醣數值來看，在無氧的環境下，澱粉被分解與雙醣水解的效率比有氧的環境下低，故在圖 4-2-2-1 中第 5 個小時單醣數值有上升的現象。

## 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣 (mg/dl)	34	140	25	32	31	56	25	11	27	31	34	34	35
酒精濃度 (%)	1	10	8.2	9.2	9	9.4	9.2	10.4	10	10	10.2	10	10

表 4-2-2-2：在無氧的環境下，象草汁中的單醣與酒精濃度數值對照表

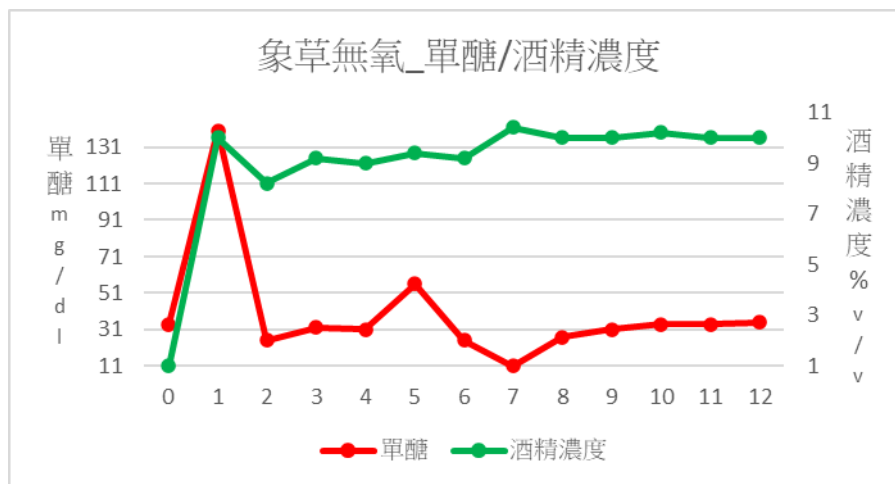


圖 4-2-2-2：在無氧的環境下，象草汁中的單醣與酒精濃度數值對照圖

結果：對照圖 4-2-1-2 與圖 4-2-2-2，在無氧的環境下，除了在實驗一開始單醣數值比有氧的環境下低，整體而言單醣與酒精濃度數值的變化趨勢相近。

## 3. 酒精與 pH 值的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度 (%)	1	10	8.2	9.2	9	9.4	9.2	10.4	10	10	10.2	10	10
pH值	5.95	5.74	5.52	5.63	5.65	5.67	5.77	5.84	5.88	5.79	5.79	5.78	5.91

表 4-2-2-3：在無氧的環境下，象草汁中的酒精濃度與 pH 數值

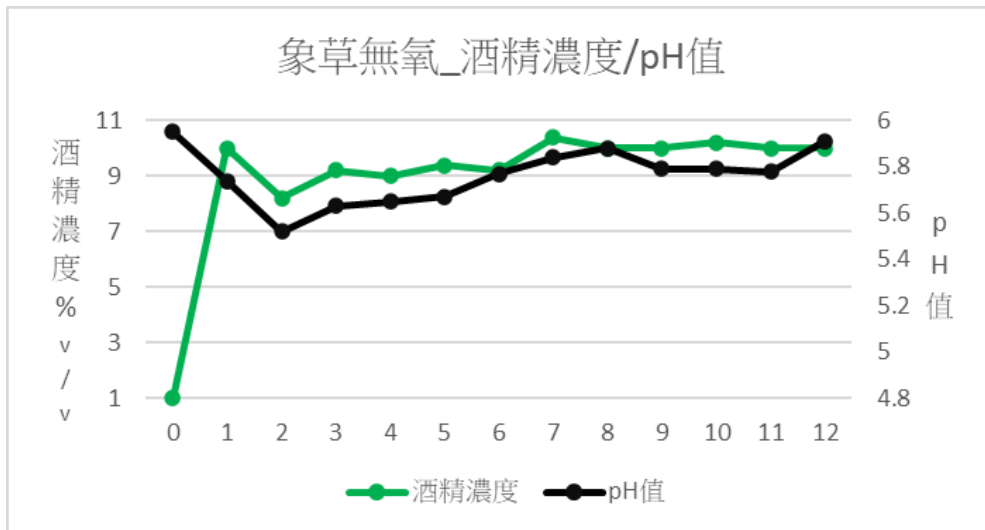


圖 4-2-2-3：在無氧的環境下，象草汁中的酒精濃度與 pH 數值對照圖

結果：將表 4-2-2-3、圖 4-2-2-3、表 4-2-1-3、圖 4-2-1-3 一起對照來看，在有氧環境與無氧環境下象草汁的酒精濃度與 pH 數值趨勢相近。在無氧環境下象草汁的 pH 值比在有氧時略低一點。

### (三) 在紅甘蔗汁中進行有氧發酵

#### 1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣 (g/dl)	19.5	20.5	21	21	22	20	18	18	16.5	16	15	13	12
單醣 (mg/dl)	593	2288	3456	2496	3472	2576	2208	3488	3592	2488	2240	2256	1528

表 4-2-3-1：在有氧的環境下，紅甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照表

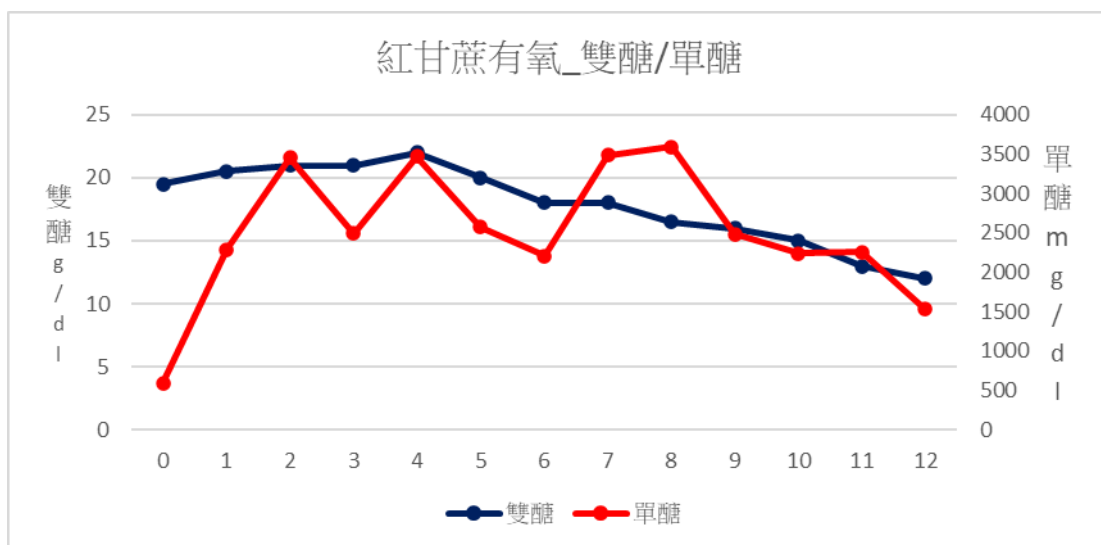


圖 4-2-3-1：在有氧的環境下，紅甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照圖

結果：從圖 4-2-3-1 來看，雙醣數值隨著時間先升後降是由於汁液中有限澱粉被分解成



雙醣與單醣，而後雙醣持續水解成單醣。再來看單醣數值部份，實驗開始至第二個小時之間，單醣數值增加是因為雙醣水解，酵母菌的呼吸作用與發酵作用所消耗單醣的量小於雙醣水解所產生單醣的量。而後，隨著酵母菌數量增加，呼吸作用與發酵作用所消耗單醣的量增加，同時汁液中的雙醣持續水解，故在實驗時間中期單醣數值變化趨勢成上下震盪的現象。

## 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣 (mg/dl)	593	2288	3456	2496	3472	2576	2208	3488	3592	2488	2240	2256	1528
酒精濃度 (%)	64	64	52	56	56	48	48	44	44.8	40	30.4	39.2	25.6

表 4-2-3-2：在有氧的環境下，紅甘蔗汁中的單醣與酒精濃度數值對照表

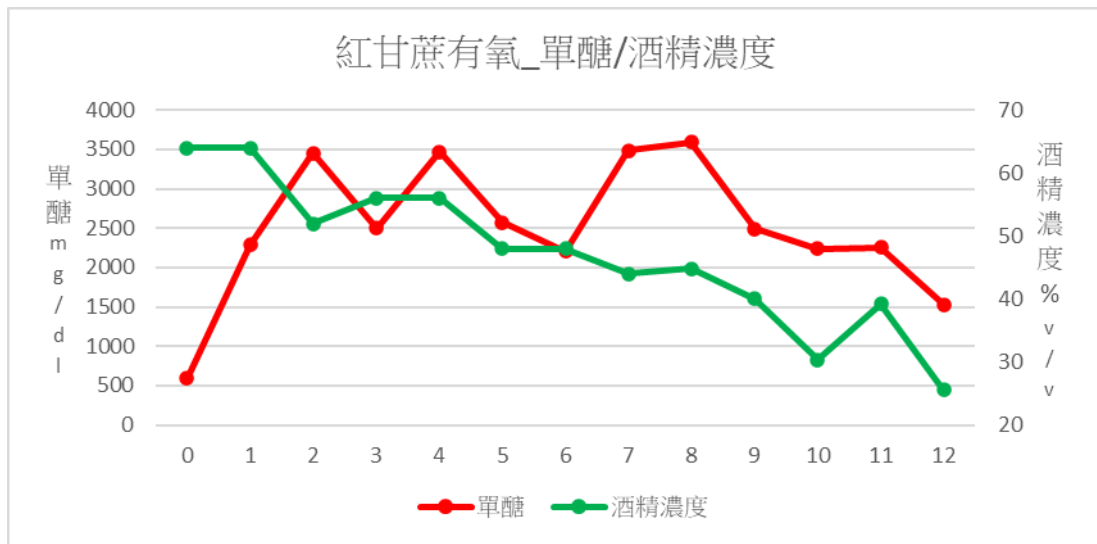


圖 4-2-3-2：在有氧的環境下，紅甘蔗汁中的單醣與酒精濃度數值對照圖

結果：酵母菌在進行無氧發酵時，將單醣轉換成酒精，理應酒精量增加，對應的酒精濃度數值會有所提升。然而，在有氧的環境下，汁液中被氧化的效率比酵母菌將單醣轉換成酒精的效率高，故在圖 4-2-3-2 中的酒精濃度的數值會不斷下降。

## 3. 酒精與 pH 值的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度 (%)	64	64	52	56	56	48	48	44	44.8	40	30.4	39.2	25.6
pH值	5.58	5.48	5.47	5.41	5.48	5.34	5.27	5.19	5.09	4.86	4.73	4.74	4.67

表 4-2-3-3：在有氧的環境下，紅甘蔗汁中的酒精濃度與 pH 數值對照表

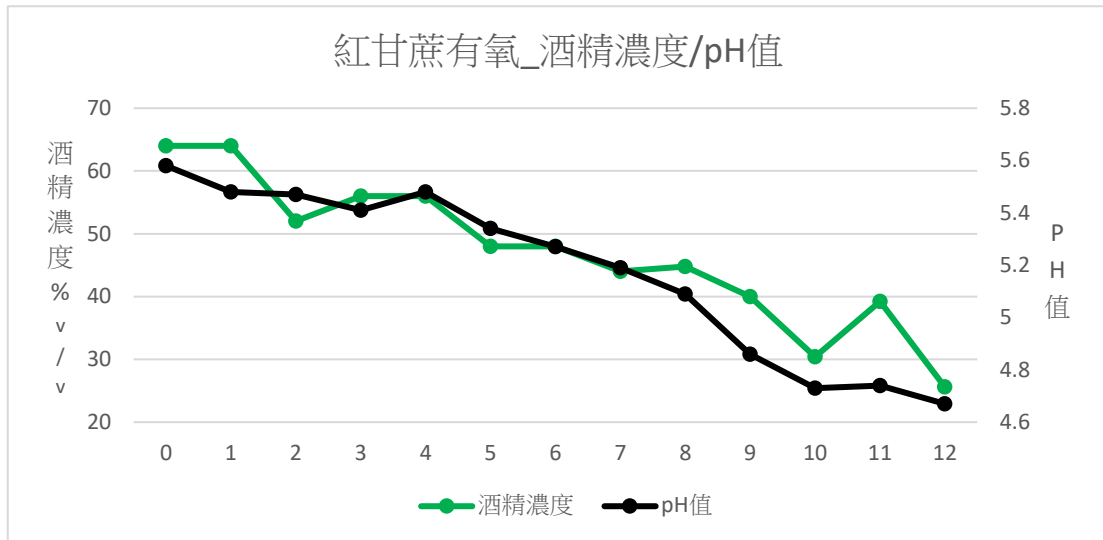


圖 4-2-3-3：在有氧的環境下，紅甘蔗汁中的酒精濃度與 pH 數值對照圖

結果：從圖 4-2-3-3 的酒精濃度與 pH 值的數值變化來看，酒精濃度和 pH 值都隨著時間持續往下降，證明汁液中的氧化反應的效率比酵母菌的發酵作用高。

#### (四) 在紅甘蔗汁中進行無氧發酵

##### 1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣 (g/dl)	19.5	20.5	21	20	22	20.5	18	17.75	16	18	17.5	17	17
單醣 (mg/dl)	593	2320	2352	2096	1920	2592	1744	2144	1744	1872	2384	1712	1424

表 4-2-4-1：在無氧的環境下，紅甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照表

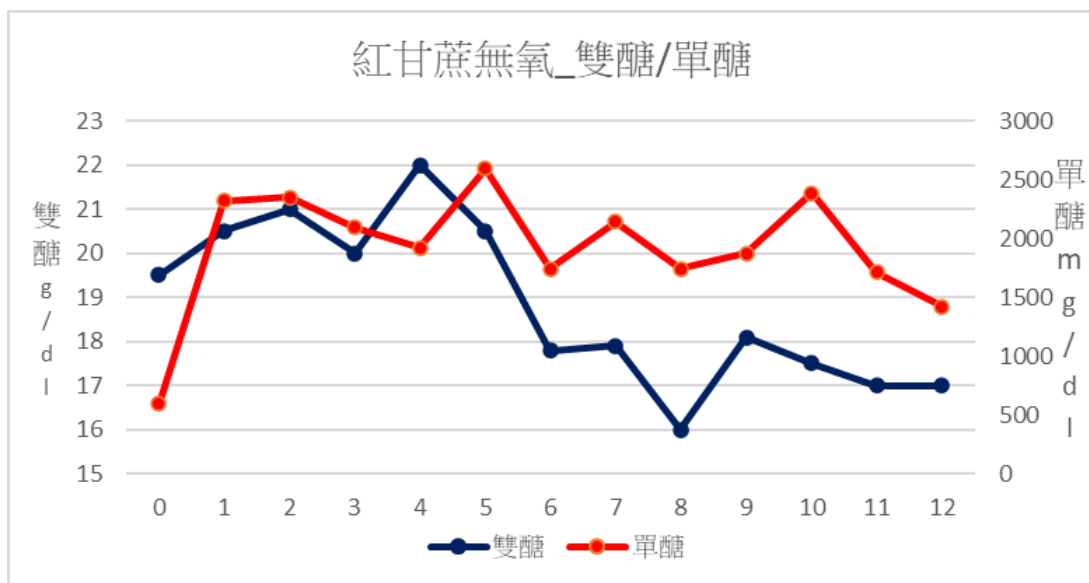


圖 4-2-4-1：在無氧的環境下，紅甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照圖

結果：從圖 4-2-4-1 來看，單醣數值趨勢在實驗一開始時上升而後上下震盪，在第一

個小時後的整體數值趨勢是下降的。雙醣數值方面也有上下震盪的現象，整體數值趨勢也是下降的。這是由於汁液中的澱粉被分解成雙醣與單醣，雙醣水解成單醣導致單醣與雙醣數值有增加的現象，而後因酵母菌的數量增加且雙醣持續水解，單醣與雙醣的數值持續下降。值得注意的是，從單醣與雙醣數值變化程度來看，汁液中反應的效率比在有氧的時候（見圖 4-2-3-1）來得低。

## 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣 (mg/dl)	593	2320	2352	2096	1920	2592	1744	2144	1744	1872	2384	1712	1424
酒精濃度 (%)	64	61.6	57.6	56	59.2	56.8	48.8	48	45.6	45	44	42.4	48

表 4-2-4-2：在無氧的環境下，紅甘蔗汁中的單醣與酒精濃度數值對照表

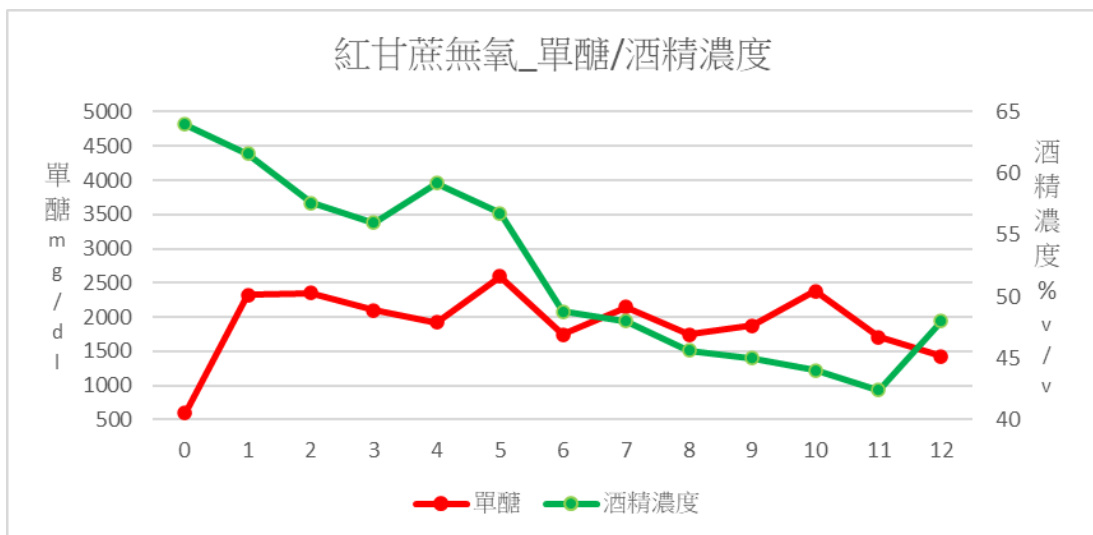


圖 4-2-4-2：在無氧的環境下，紅甘蔗汁中的單醣與酒精濃度數值對照圖

結果：根據圖 4-2-4-2 的圖形走向，酒精濃度數值持續下降是由於瓶中還有氧氣，酒精會持續進行氧化反應。直到第十一個小時後，酒精濃度上升是由於瓶中氧氣不足，汁液的氧化反應效率降低，發酵反應效率相對提升。

## 3. 酒精與 pH 值的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度 (%)	64	61.6	57.6	56	59.2	56.8	48.8	48	45.6	45	44	42.4	48
pH值	5.58	5.55	5.45	5.48	5.48	5.26	5.13	5.11	5.19	5.09	5.1	5.02	5.07

表 4-2-4-3：在無氧的環境下，紅甘蔗汁中的酒精濃度與 pH 數值對照表

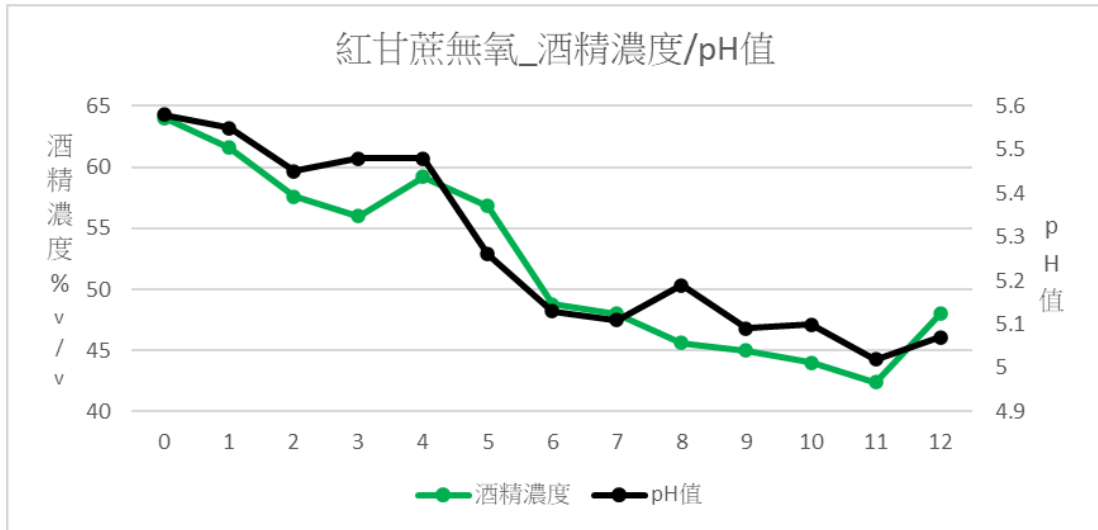


圖 4-2-4-3：在無氧的環境下，紅甘蔗汁中的酒精濃度與 pH 數值對照圖

結果：從圖 4-2-4-3 得知，酒精濃度與 pH 值整體趨勢下降直到實驗最後一個小時上升，是由於實驗前、中期瓶中仍有氧氣，汁液中氧化反應的效率大於發酵反應的效率。直到實驗最後一個小時因氧氣不足，汁液中氧化反應的效率小於發酵反應的效率，導致酒精濃度與 pH 值數值上升。

(五) 在白甘蔗汁中進行有氧發酵

1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣 (g/dl)	16	21.8	21.5	21.1	20.6	21.5	21.5	21.5	20	20	17.5	18	17
單醣 (mg/dl)	379	2064	1760	3376	3296	2528	2832	2416	2960	3560	3648	4224	3512

表 4-2-5-1：在有氧的環境下，白甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照表

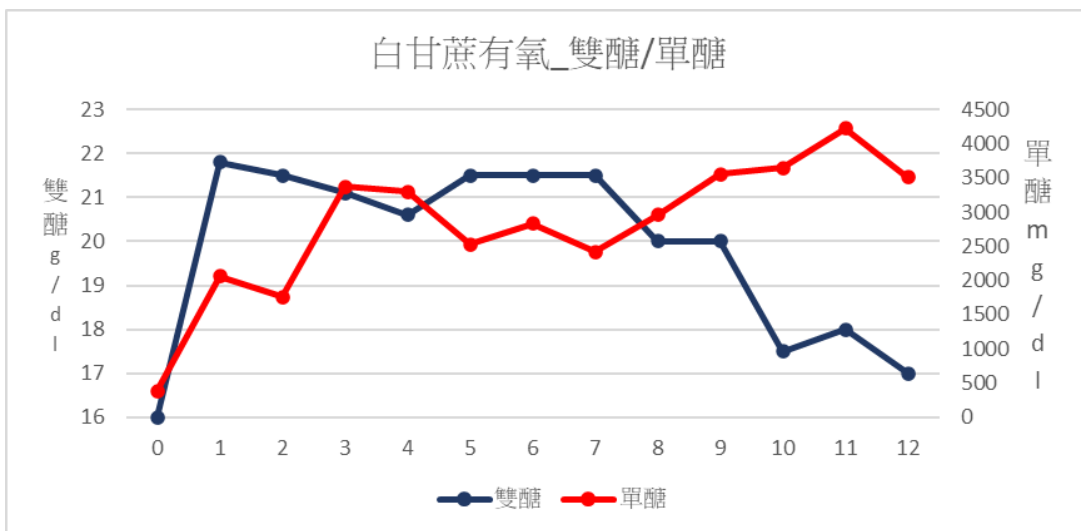


圖 4-2-5-1：在有氧的環境下，白甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照圖

結果：從圖 4-2-5-1 來看，雙醣數值在實驗一開始時增加變化最為明顯而後再下降，表示汁液中的澱粉在初期被分解的效率很好。單醣數值方面，實驗開始至第三個小時之間整體數值上升的幅度是最為明顯的，接著到第十一個小時穩定上升，其中間數值趨勢有上下震盪，最後第十二個小時才下降。單醣數值會有這樣的變化是因為澱粉持續被澱粉酶分解成雙醣與單醣、雙醣水解成單醣以及酵母菌消耗單醣等因素。整體而言，單醣增加的反應效率是相對高的，直到實驗最後一個小時效率才相對下降。

## 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣 (mg/dl)	379	2064	1760	3376	3296	2528	2832	2416	2960	3560	3648	4224	3512
酒精濃度 (%)	45	56	62.4	64	59.2	58.4	51.2	48	48	47.2	46.8	44.8	44

表 4-2-5-2：在有氧的環境下，白甘蔗汁中的單醣與酒精濃度數值對照表

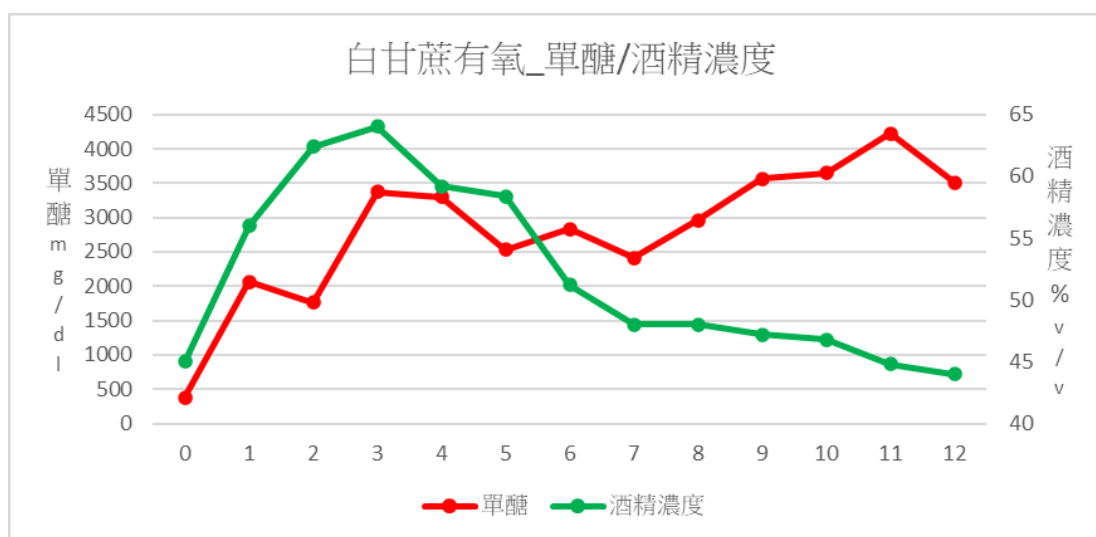


圖 4-2-5-2：在有氧的環境下，白甘蔗汁中的單醣與酒精濃度數值對照圖

結果：從圖 4-2-5-2 得知，從酒精濃度數值變化來看，實驗前三個小時數值趨勢上升，酵母菌發酵作用顯著，而後數值下降是因為酒精氧化反應效率大於發酵作用的效率。綜合單醣數值變化來看，單醣增加的反應效率持續增加直到第十一個小時為止，單醣減少的反應效率（發酵作用）在實驗第三個小時之後逐步下降。

## 3. 酒精與 pH 值的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度 (%)	45	56	62.4	64	59.2	58.4	51.2	48	48	47.2	46.8	44.8	44
pH值	5.56	5.66	5.57	5.49	5.43	5.45	5.46	5.33	5.29	5.29	5.19	4.98	4.84

表 4-2-5-3：在有氧的環境下，白甘蔗汁中的酒精濃度與 pH 數值對照表

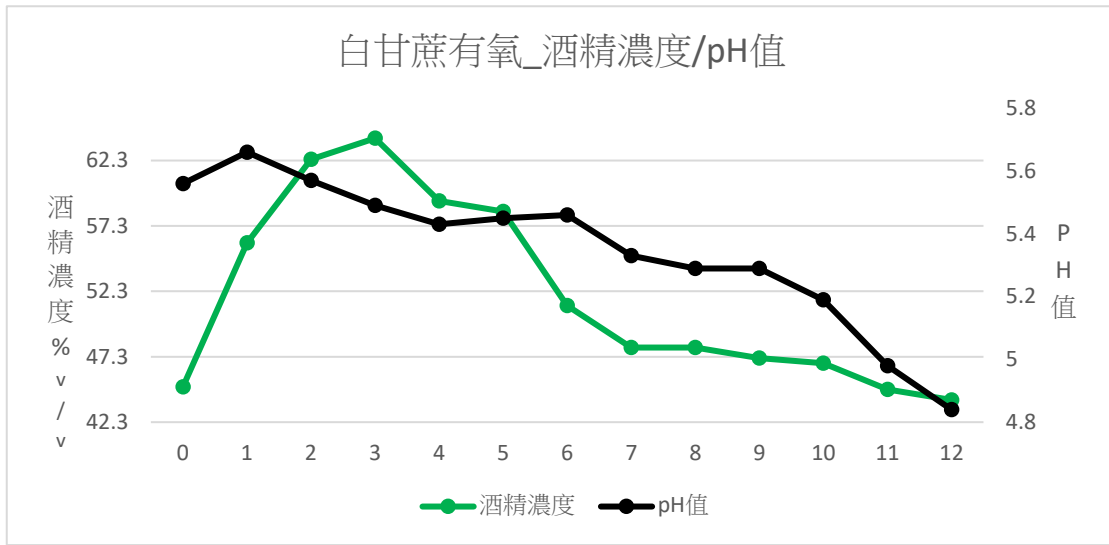


圖 4-2-5-3：在有氧的環境下，白甘蔗汁中的酒精濃度與 pH 數值對照圖

結果：由圖 4-2-5-3 得知，對照酒精濃度的變化，酵母菌的發酵作用所產生酒精導致在實驗一開始 pH 值提升。而後酒精在有氧的環境下持續被氧化以及在持續酸化的環境降低酵母菌的活性，導致 pH 值趨勢持續下降。

(六) 在白甘蔗汁中進行無氧發酵

1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣 (g/dl)	16	17	20	20	22	22	19.5	19.5	17.5	17.5	16.5	13	13
單醣 (mg/dl)	379	2440	3296	3168	3248	2768	2672	1952	2432	4208	3848	2288	1980

表 4-2-6-1：在無氧的環境下，白甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照表

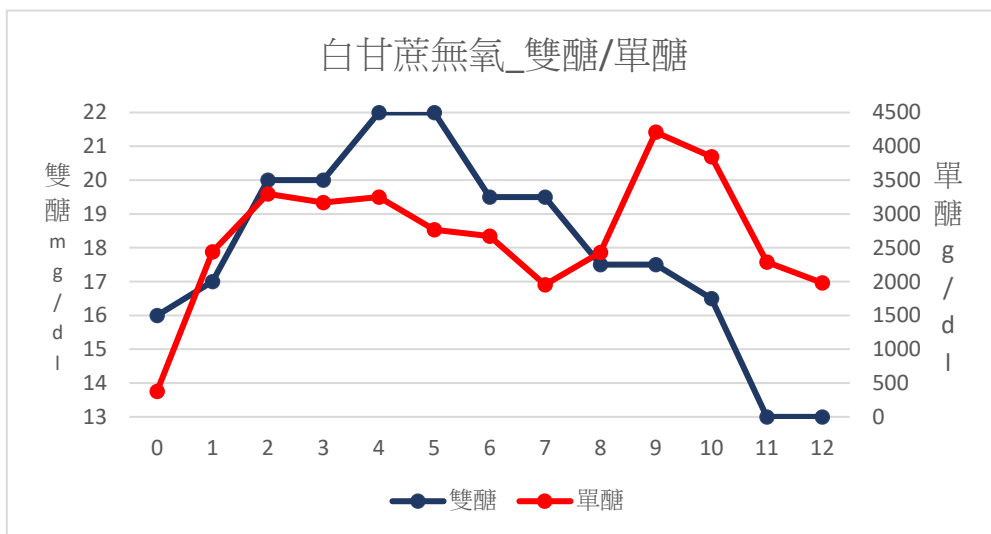


圖 4-2-6-1：在無氧的環境下，白甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照圖

結果：從圖 4-2-6-1 可以知道，雙醣因為汁液中的澱粉被分解成雙醣與單醣，導致在實驗第五個小時前雙醣數值趨勢上升。而後澱粉被分解的反應效率降低，雙醣持續被水解成單醣，故雙醣數值在第五個小時後持續下降。實驗開始的第一個小時之間整體數值上升的幅度是最為明顯的，接著到第十一個小時穩定上升，其中間數值趨勢有上下震盪，在第九個小時上升到最大值。單醣數值會有這樣的變化是因為澱粉持續被澱粉酶分解成雙醣與單醣、雙醣水解成單醣以及酵母菌消耗單醣等因素。

## 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣 (mg/dl)	379	2440	3296	3168	3248	2768	2672	1952	2432	4208	3848	2288	1980
酒精濃度 (%)	45	58	70	56	52	53.6	48	52	46.4	46.4	44	31.2	33.6

表 4-2-6-2：在無氧的環境下，白甘蔗汁中的單醣與酒精濃度數值對照表

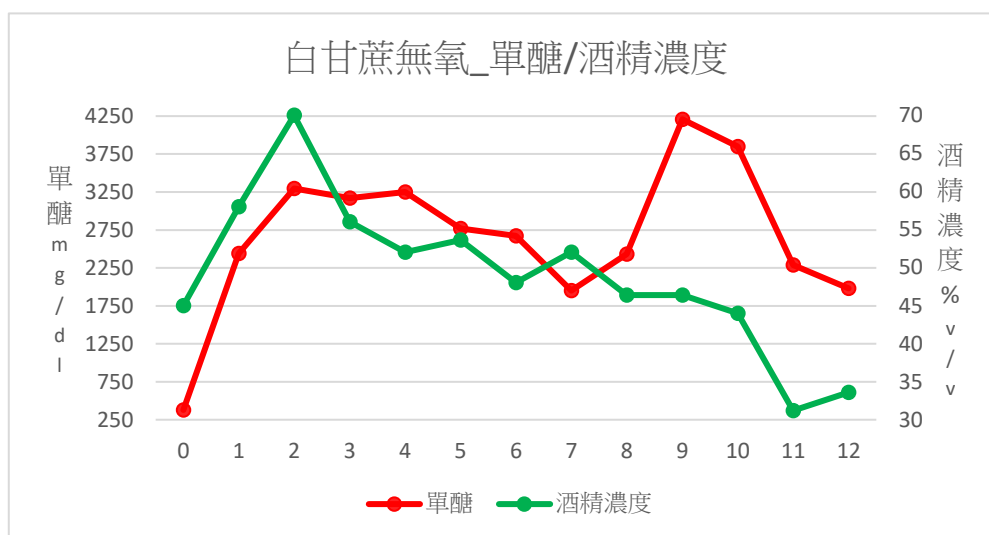


圖 4-2-6-2：在無氧的環境下，白甘蔗汁中的單醣與酒精濃度數值對照圖

結果：圖 4-2-6-2 的單醣趨勢如前段所述。酒精濃度方面，實驗開始後數值即上升，表示實驗開始後酵母菌的發酵作用產生酒精效率顯著。到實驗的第二個小時的時候達到最大值，而後在下降。變化的原因是在於瓶中還有氧氣，酒精持續被氧化，導致酒精濃度下降。

## 3. 酒精與 pH 值的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度 (%)	45	58	70	56	52	53.6	48	52	46.4	46.4	44	31.2	33.6
pH值	5.56	5.6	5.36	5.33	5.39	5.37	5.16	5.07	5.03	4.96	4.9	4.81	4.77

表 4-2-6-3：在無氧的環境下，白甘蔗汁中的酒精濃度與 pH 數值對照表

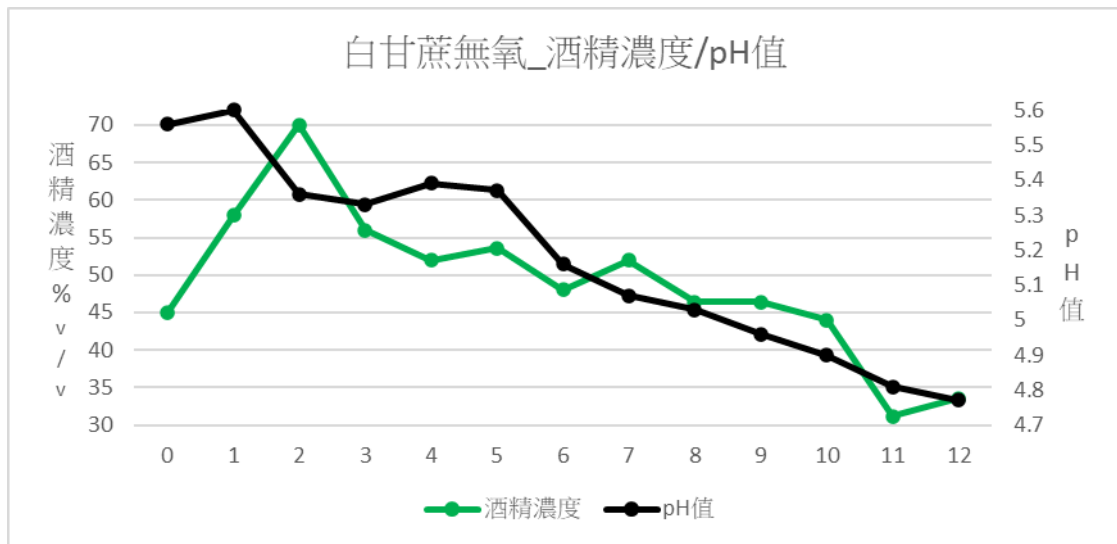


圖 4-2-6-3：在無氧的環境下，白甘蔗汁中的酒精濃度與 pH 數值對照圖

結果：在圖 4-2-6-3 中，酒精濃度方面如前段所述。另一方面，pH 值持續下降是因為瓶中還有氧氣，以及在持續酸化的環境降低酵母菌的活性致使 pH 值和酒精濃度皆持續下降。



## 伍、討論

### 一、未發酵前植物汁液成分與特性

從表 4-1 得知，在雙醣、單醣這些觀測值中，象草的單醣量和雙醣量相比，單醣量是相對較多。就以醣類來看，表示象草所含的成分是相對單純的。額外發現到的是，在實際的植物汁液中所含的成分不像在一般認知的這麼單純，也知道植物在採收下來的時候裡面的成分就已經開始進行發酵。汁液裡面有天然的酵母菌可以將醣類分解成單醣或酒精，有醋酸菌將酒精分解成醋酸。

### 二、雙醣、單醣、酒精等成分的轉換

#### (一) 在象草汁中進行有氧發酵

從圖 4-2-1-1 得知，汁液中的澱粉被酵母粉中的澱粉酶分解成雙醣與單醣而後該雙醣經由水解成單醣導致在一開始的時候單醣數值提升。同時，從圖 4-2-1-3 得知，酒精濃度在實驗一開始的時候上升變化顯著，表示在有氧的情況下，釀酒酵母菌有在進行發酵作用。由於酵母菌的呼吸作用以及酸與酒精的酯化反應導致圖 4-2-1-3 的 pH 值變化趨勢先降後升，酒精濃度數值變化趨近水平線。

#### (二) 在象草汁中進行無氧發酵

從圖 5-2-2-1、圖 5-2-2-2、圖 5-2-2-3、圖 5-2-2-4 來看，比較象草汁中的有氧和無氧發酵，其觀察數值變化趨勢相近。從圖 5-2-2-2 得知在無氧的環境下，提升單醣的反應速率比在有氧環境時來的低。從圖 5-2-2-4 得知，在有氧環境下，象草汁的 pH 值比在無氧環境時穩定。

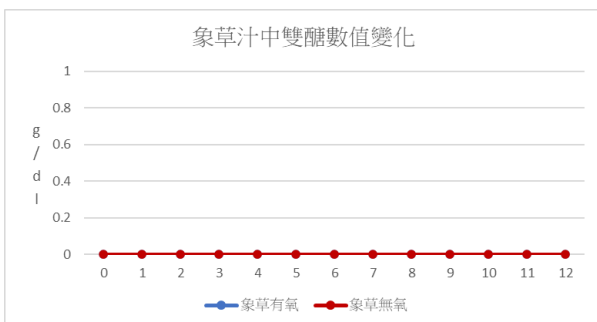


圖 5-2-2-1：象草汁中雙醣數值變化

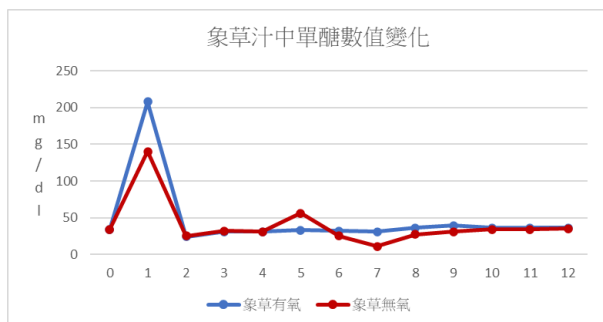


圖 5-2-2-2：象草汁中單醣數值變化

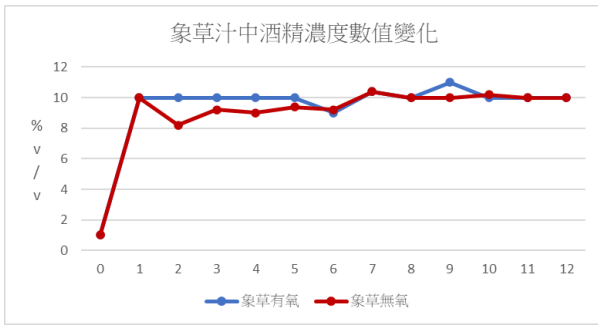


圖 5-2-2-3：象草汁中酒精濃度數值變化

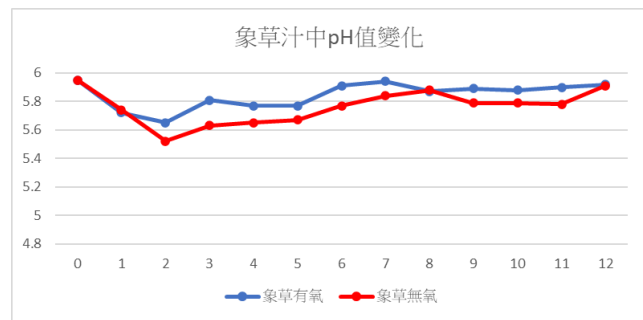


圖 5-2-2-4：象草汁中 pH 值變化

### (三) 在紅甘蔗汁中進行有氧發酵

從圖 4-2-3-1 得知，由於澱粉會被分解成雙醣和單醣，所以雙醣一開始有上升的現象，後面開始下降是因為被水解成單醣。單醣的部分，前期數值增加是因為雙醣水解，酵母菌的呼吸作用與發酵作用所消耗單醣的量小於雙醣水解所產生單醣的量。後期隨著酵母菌數量增加，呼吸作用與發酵作用所消耗單醣的量增加，加上雙醣持續水解，所以趨勢成上下震盪的現象。再來看圖 4-2-3-3，在有氧的環境下，汁液中被氧化的效率比酵母菌將單醣轉換成酒精的效率，所以酒精濃度和 pH 值持續在下降。

### (四) 在紅甘蔗汁中進行無氧發酵

相對於有氧發酵的情況，從圖 4-2-4-1 看出雙醣被分解的速度比較緩和，單醣部份在第四個小時和第十個小時增加的程度較顯著。圖 4-2-3-3 與圖 4-2-4-3 對照後發現，在無氧的環境下，酒精濃度數值較不穩定。而 pH 值的部分，因為瓶中氧化反應的效率高於發酵作用導致 pH 值持續往下降。

### (五) 在白甘蔗汁中進行有氧發酵

從圖 4-2-5-1 來看，澱粉在初期被分解的效率顯著，所以雙醣在初期上升變化最為明顯。單醣數值方面，因為澱粉持續被澱粉酶分解成雙醣與單醣、雙醣水解成單醣以及酵母菌消耗單醣等因素，所以數值趨勢較不穩定。圖 4-2-5-3 中，可以看出酒精濃度數值在前期酵母菌發酵作用顯著，而後，數值下降是因為酒精氧化反應效率大於發酵作用的效率。而 pH 值的部分，整體趨勢是下降的。

### (六) 在白甘蔗汁中進行無氧發酵

比較所有白甘蔗有氧發酵時對應項目的圖，相較於有氧發酵的情況，雙醣、酒精濃度及 pH 值的變化皆比有氧的狀況來的緩和，由此可以知道在無氧的環境下，汁液中的雙醣、酒精整體轉換的速率比在有氧時慢。

### 三、比較不同汁液發酵後取得酒精作為生質能源的可行性

從氧氣的環境各別觀察汁液中的成分之後，接著比較不同汁液的觀測酒精濃度的數值變化，如圖 5-3-1。從圖 5-3-1 酒精濃度變化的趨勢來看，不論是在有氧和無氧環境下，紅甘蔗汁酒精濃度數值趨勢不斷下降。象草汁與白甘蔗汁在實驗開始後一個小時內酒精濃度有顯著提升，表示釀酒酵母發酵所產生酒精的量大於被其他化學反應（例如：氧化反應和酯化反應）消耗酒精的量。隨著時間的推移，白甘蔗汁的酒精濃度數值有下降的趨勢，象草汁中的酒精濃度數值維持水平的趨勢，表示在象草汁中的酒精被消耗的量比較少。在非特定實驗室的环境下，酒精取得需要擔心被氧化的問題，但這次實驗中，我們發現到將釀酒酵母菌放入象草汁中進行酒精發酵可以比在紅甘蔗汁與白甘蔗汁中更容易取得酒精。因此，在這次實驗的禾本科植物之中，象草是很適合作為生質能源的材料。

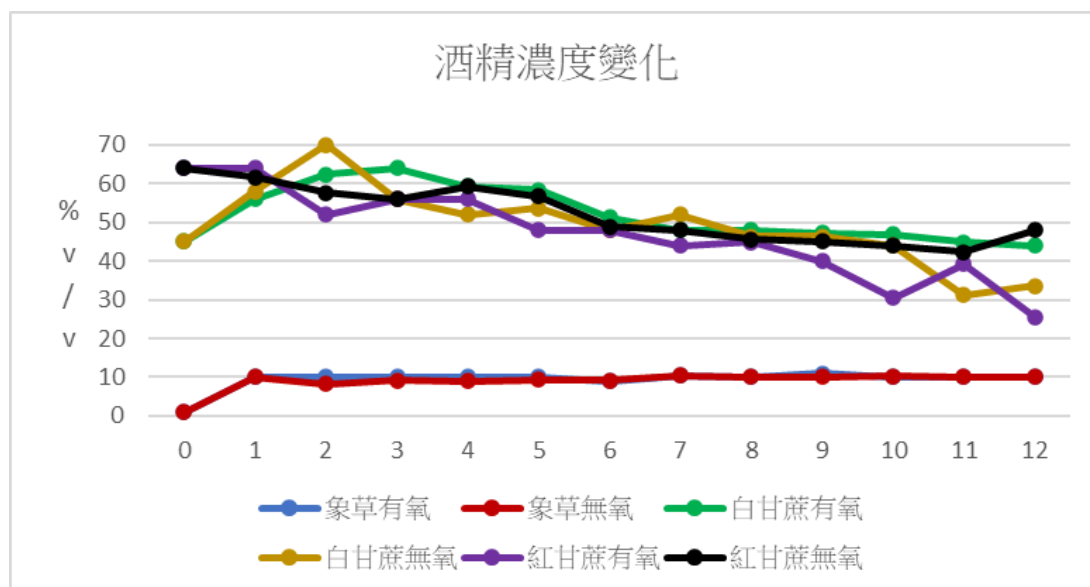


圖 5-3-1：酒精濃度的變化

## 陸、結論

從植物汁液成分與特性來看，就醱類方面來說，在三種植物中，象草的成分是最為單純的。事實上，植物汁液中的成分也不僅僅是單純的醱類和其代謝物，還有可能包含酒精、醋酸等成分，這些成分可能是自然的化學反應所產生的。

從雙醱、單醱與酒精成分變化來看，在象草汁、紅甘蔗汁以及白甘蔗汁中進行發酵時，汁液中酒精增加量與增加效率的因素主要包括酵母菌的數量、環境中的氧氣濃度、酸鹼值以及其他微生物的存在。值得注意的是，在有氧環境下，象草汁和白甘蔗汁酒精濃度數值在實驗初期就有上升的現象，表示釀酒酵母菌在有氧環境下會進行發酵作用。

在非特定實驗室的環境下，將釀酒酵母菌放入象草汁中進行酒精發酵是取得酒精的最佳方法，因為相較於放入紅甘蔗汁與白甘蔗汁，象草汁液酒精濃度數值在實驗初期立即上升到一個定值並持續穩定的水平趨勢，表示酒精被消耗的量比較少，取得酒精相對容易。因此，在本次實驗的禾本科植物中，象草是很適合作為生質能源的材料。

## 柒、參考資料

莊溪 (2023 年 3 月 20 日)。象草。取自：

<http://kplant.biodiv.tw/%E8%B1%A1%E8%8D%89/%E8%B1%A1%E8%8D%890/%E8%B1%A1%E8%8D%890.htm>

林長彥、陳韋誠、盛中德 (2017)。農業廢棄物生產生質酒精之前處理系統應用。 *Journal of Agriculture and Forestry*, 65(3):165-172

曲柏勳、郭瑜安、李竝均、黃偉特、黃敬昊、林培育 (2012)。探討酒精發酵之最佳條件。

臺灣網路科教館。取自：[https://www.ntsec.edu.tw/Science-](https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=254&sid=9710)

[Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=254&sid=9710](https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=254&sid=9710)

江珮琪 (2023 年 03 月 20 日)。微生物的世界—微生物知識「菌種介紹 >>A >>Acetobacter aceti」。取自 <https://microbiology.scu.edu.tw/MIB/micro/bacteria/A1.htm>

張梅鳳、吳嘉琪、張詠湘 (2002)。酵母菌與碳水化合物的反應與研究。臺灣網路科教館。

取自：[https://www.ntsec.edu.tw/Science-](https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=547&sid=773)

[Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=547&sid=773](https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=547&sid=773)

張毓禎、林大陣 (2023)。糖的科學。 *科學研習月刊*，46-5。取自：

[https://www.ntsec.edu.tw/LiveSupply-](https://www.ntsec.edu.tw/LiveSupply-Content.aspx?a=6829&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&lsid=8248)

[Content.aspx?a=6829&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&lsid=8248](https://www.ntsec.edu.tw/LiveSupply-Content.aspx?a=6829&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&lsid=8248)

張雋亞、張恩維、林存恩、吳少愚、房樹生 (2021)。不同濃度的單一碳源及混合碳源對酵母菌發酵速率的影響。 *科學教育月刊*，441，40-48。

陳俊宏主編 (2021)。普通型高級中學生物。新北市：龍騰。

張煥宗主編 (2021)。普通型高級中學選修化學。新北市：龍騰。

林青怡 (2004)。探討七種中草藥對腸道生理功能之影響。國立中興大學食品科系研究所碩士論文。台中市。取自：<https://hdl.handle.net/11296/v49f64>

蔡孟勳、翁爾謙、蔣易達、陳冠仲 (2008)。由廚餘米飯製造酒精之研究。嘉義市私立嘉華高級中學(附設國中部)。取自中華民國第四十八屆中小學科學展覽會作品說明書：

<https://reurl.cc/WGEWOx>

## 【評語】 052409

比較禾本科植物中象草、紅甘蔗與白甘蔗作為生質能源材料之適當性，於有氧與無氧環境下，實驗量測其單醣含量、雙醣含量、酒精濃度與 pH 值之變化趨勢，進而評估其產製酒精效率與作為生質能源材料之優劣。實驗量測結果顯示，將釀酒酵母放入象草汁液中，產製酒精效率優於其他兩種汁液，推論象草適合作為生質能源材料。象草為外來品種，已嚴重擠壓其他植物生存空間，利用象草作為生質能源的材料，不僅能取得酒精，還能解決生態問題，但是，發酵後酒精濃度相當低，宜考量後續酒水分離之能耗。本研究以寶特瓶無開蓋代表無氧發酵環境，可能因瓶蓋拴緊程度不同而影響試驗結果正確性，另外，如何將野生象草壓擠成汁，以及三種汁液成分可能因不同農民操作而產生差異，皆將影響試驗結果正確性。

## 作品海報

# 禾本科產製酒精效率之研究



## 摘要

1. 本篇研究是比較釀酒酵母在象草汁、紅甘蔗汁和白甘蔗汁無氧發酵時產製酒精的效率。
2. 紅甘蔗汁和白甘蔗汁中的其他微生物對酵母菌的影響會隨時間增加而增強，pH值也會影響酵母菌的活性。
3. 不論是否在無氧環境，象草汁中的酵母菌產製酒精的效率最好，且象草汁中的酒精被氧化的情形是相對最小的。
4. 釀酒酵母放入象草汁中進行酒精發酵是取得酒精的最佳方法。

## 壹、前言

### 一、研究動機

- (一) 探討禾本科植物作為生質能源的效率分析。
- (二) 甘蔗是常見的製糖和釀酒原料，其殘渣可用於生質能源生產。
- (三) 象草是常見的牧草，同為禾本科植物，象草的生長速度快、生長範圍廣泛，並且不屬於經濟作物，其在生質能源方面的利用價值及生產價值尚未被充分開發。

### 二、研究目的

- (一) 探討紅甘蔗、白甘蔗以及象草汁液中的雙醣與單醣等成分。
- (二) 探討在汁液中加入釀酒酵母之後，比較有氧發酵和無氧發酵的過程。
- (三) 探討象草是這次研究的禾本科植物中，適合作為生質能源的材料。

### 三、研究限制

- (一) 材料來源  
直接榨取的植物汁液與取純物質進行分析有很大不同，但也因此本研究更貼近實際情況，更有參考價值。
- (二) 測量儀器的限制  
本研究中使用人類血糖機測試單醣，但超出可測範圍無法測量。然而，我們嘗試突破儀器的限制，若測量中有出現過高（單醣數值至少600 mg/dl以上）無法觀測的情況，我們便會使用稀釋的方式，例如取10 c.c.的汁液再加入30 c.c.的水，使其汁液單醣濃度變成原來的1/4倍，得到的結果再乘以4就可推得原來的值。

## 貳、研究設備與器材

### 一、實驗器材

1. 血糖計 2. 甜度計 3. 酒度計 4. 酸鹼度計 5. 溫度計 6. 燒杯 7. 滴管 8. 手電筒 9. 空寶特瓶

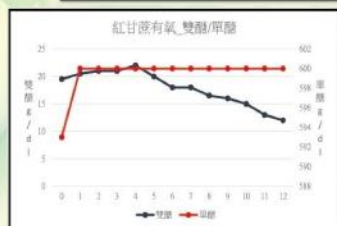
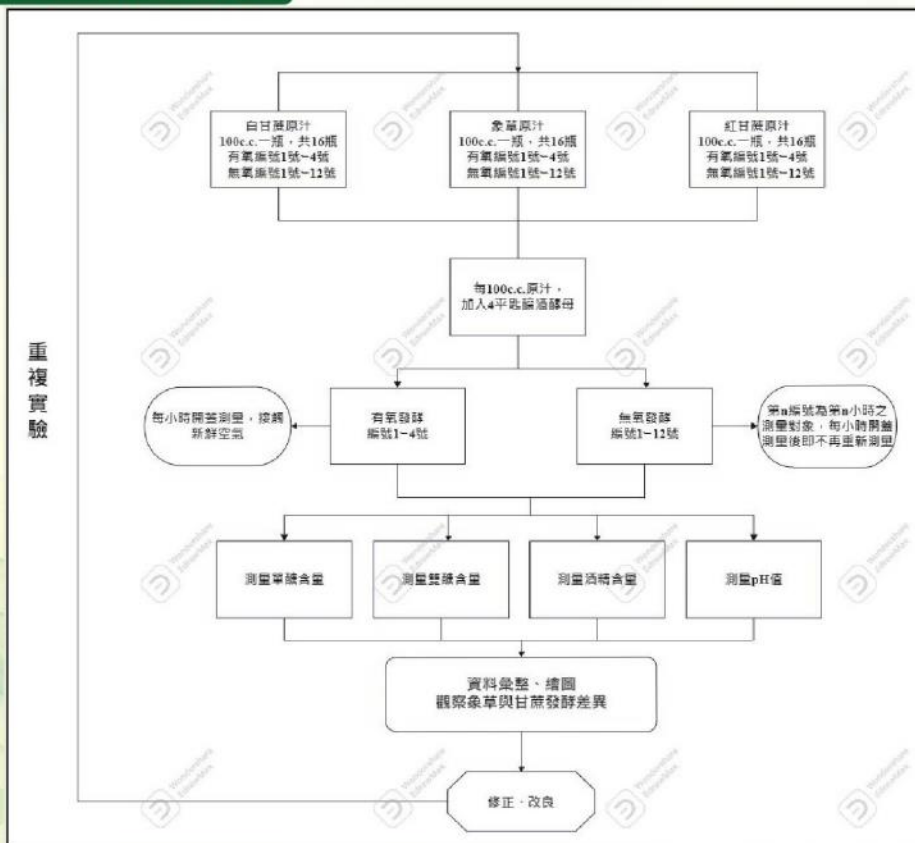
### 四、文獻回顧

- (一) 象草的植物特性  
高度耐熱性和耐旱性
- (二) 呼吸作用中的有氧呼吸與發酵作用(酒精發酵)  
有氧呼吸：葡萄糖 + 氧 → 水 + 二氧化碳 + 能量  
發酵作用(酒精發酵)：葡萄糖 → 酒精 + 二氧化碳 + 能量  
酵母菌在無氧情況下運用單醣，能產生具有能源價值的酒精
- (三) 醋酸菌的特性  
在溫度為5-42°C的環境中生長，最佳生長溫度約為30°C  
最適生長pH值範圍為pH 5.4-6.3  
醋酸菌只進行氧化反應，不進行發酵反應
- (四) 酯化反應  
醇在酸性催化劑存在下，進行脫水縮合反應產生酯類。  
酯化是可逆反應，逆反應為酯加水分解成酸和醇，稱為水解反應。
- (五) 實驗中用釀酒酵母裡的澱粉酶(α-澱粉酶與γ-澱粉酶)  
α-澱粉酶是一種糖解酵素，作用pH值範圍5.5~7.0。  
γ-澱粉酶又稱為葡萄糖澱粉酶，適宜的pH值為3.5-7.0。

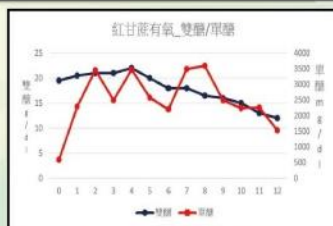
### 二、實驗耗材

1. 釀酒酵母 2. 血糖計檢測片 3. 蒸餾水 4. 衛生紙 5. 廚房紙巾

## 參、研究過程與方法



汁液未被稀釋時單醣數值圖表



汁液被稀釋後時單醣數值圖表



測量完依序排放

# 肆、研究成果

## 一、未發酵前液體成分與特性

象草：雙醣含量為0，單醣含量低，pH值偏酸性

紅甘蔗：雙醣含量最高，單醣含量最高，pH值偏酸性

白甘蔗：雙醣含量高，單醣含量高，pH值偏酸性

共同特點：本研究的禾本科植物，其汁液的pH值呈現酸性

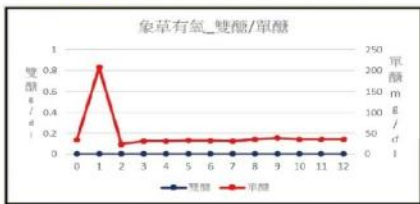
項目/液體	象草	紅甘蔗	白甘蔗
雙醣 ( Brix,g/dl)	0	19.5	16
單醣 ( mg/dl )	34	593	379
pH值	5.95	5.58	5.56

## 二、各液體觀測項目的數值對照

### (一) 在象草汁中進行有氣發酵

#### 1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
單醣	34	206	34	31	31	33	32	34	36	39	36	36	36

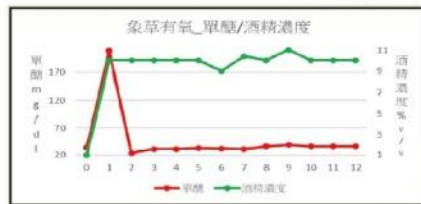


在有氧的環境下，象草汁中的雙醣與單醣數值對照圖

- 汁液中的澱粉被酵母粉中的澱粉酶分解成雙醣和單醣，而後該雙醣經由水解成單醣。
- 在第一個小時單醣上升的幅度是最明顯的，而後單醣數值迅速下降。

#### 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣	34	206	24	31	31	33	32	31	36	39	36	36	36
酒精濃度	1	10	10	10	10	10	9	10.4	10	11	10	10	10

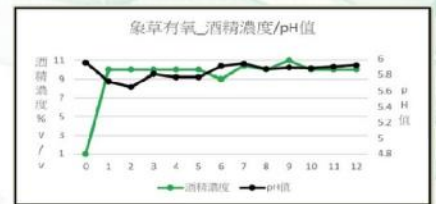


在有氧的環境下，象草汁中的單醣與酒精數值對照圖

- 在第一個小時酒精濃度上升最顯著，表示酵母菌正進行發酵作用。
- 因為酵母菌進行發酵作用，導致酒精濃度往上升而單醣數值往下降的現象。

#### 3. 酒精與pH值的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度	1	10	10	10	10	10	9	10.4	10	11	10	10	10
pH值	5.95	5.72	5.65	5.81	5.77	5.72	5.91	5.84	5.87	5.89	5.88	5.9	5.92



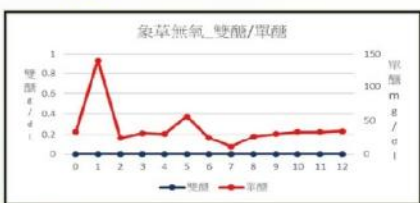
在有氧的環境下，象草汁中的酒精濃度與pH值對照圖

- 在實驗初期其汁液有酸化的現象，第二個小時為數值的最低點，而後有穩定上升的趨勢。
- 由於在第三個小時之後取樣時有聞到強烈的氣味，表示酵母菌不僅進行呼吸作用也進行酯化反應。

### (二) 在象草汁中進行無氣發酵

#### 1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
單醣	34	140	25	32	31	56	25	11	27	31	34	34	35

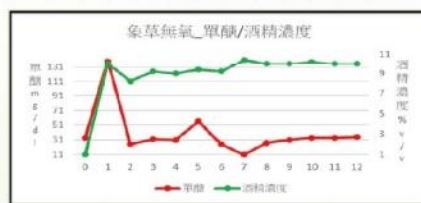


在無氧的環境下，象草汁中的雙醣與單醣數值對照圖

- 單醣數值變化與在有氧的情況下相近，但其效率較有氣情況下來得低。

#### 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣	34	140	24	32	31	56	25	11	27	31	34	34	35
酒精濃度	1	10	8.2	9.2	9	9.4	9.2	10.4	10	10	10.2	10	10

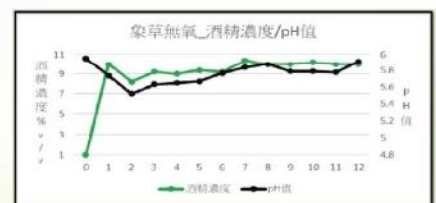


在無氧的環境下，象草汁中的單醣與酒精數值對照圖

- 第一個小時單醣數值較有氣環境下低。
- 單醣數值與酒精濃度與在有氣情況下趨勢相近。

#### 3. 酒精與pH值的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度	1	10	8.2	9.2	9	9.4	9.2	10.4	10	10	10.2	10	10
pH值	5.95	5.74	5.52	5.63	5.65	5.61	5.77	5.84	5.88	5.79	5.79	5.78	5.91



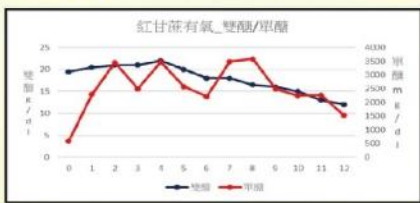
在無氧的環境下，象草汁中的酒精濃度與pH值對照圖

- 酒精濃度與pH值與在有氣情況下趨勢相近。
- pH值比在有氧環境下略低。

### (三) 在紅甘蔗汁中進行有氣發酵

#### 1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣	9.5	20.5	21	21	22	20	18	18	16.5	16	15	15	12
單醣	893	2288	3456	2496	3472	2576	2208	3488	3592	2488	2240	2256	1528

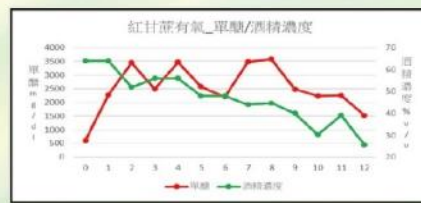


在有氧的環境下，紅甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照圖

- 在第二個小時之前，單醣數值因雙醣水解而增加。
- 因酵母菌數量增加，呼吸作用與發酵作用持續消耗單醣，但汁液中的雙醣持續水解，導致單醣數值有上下震盪的趨勢。

#### 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣	893	2288	3456	2496	3472	2576	2208	3488	3592	2488	2240	2256	1528
酒精濃度	64	64	52	56	56	48	48	44	44.8	40	30.4	39.2	25.6

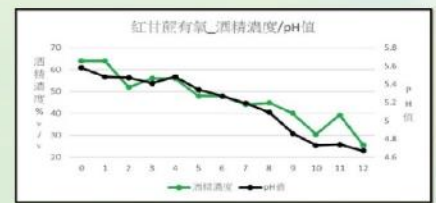


在有氧的環境下，紅甘蔗汁中的單醣與酒精數值對照圖

- 汁液被氧化的效率比酵母菌將單醣轉換成酒精的效率低，故酒精濃度有不斷下降的趨勢。

#### 3. 酒精與pH值的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度	64	64	52	56	56	48	48	44	44.8	40	30.4	39.2	25.6
pH值	5.58	5.48	5.47	5.41	5.48	5.34	5.27	5.19	5.09	4.86	4.73	4.74	4.67



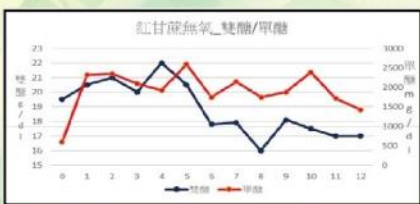
在有氧的環境下，紅甘蔗汁中的酒精濃度與pH值對照圖

- 酒精濃度和pH值隨時間往下降，證明汁液中的氧化反應的效率比發酵作用高。

### (四) 在紅甘蔗汁中進行無氣發酵

#### 1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣	8.5	20.5	21	20	22	20.5	18	17.75	16	18	17.5	17	17
單醣	893	2270	2252	2096	1920	2592	1744	2144	1744	1872	2384	1712	1424

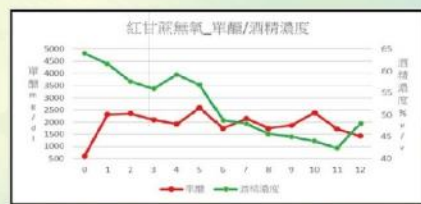


在無氧的環境下，紅甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照圖

- 由於汁液中的澱粉被分解成雙醣和單醣，雙醣水解成單醣，導致兩者數值都有增加的現象。
- 在五個小時後因酵母菌數量增加且雙醣持續水解，致使兩者有下降的趨勢。

#### 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣	893	2270	2252	2096	1920	2592	1744	2144	1744	1872	2384	1712	1424
酒精濃度	64	61.6	57.6	56	59.2	56.8	48.8	48	45.6	45	44	42.4	48

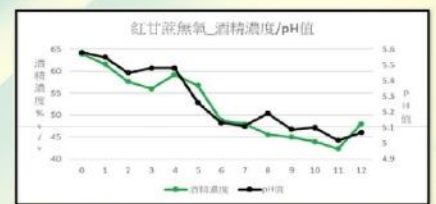


在無氧的環境下，紅甘蔗汁中的單醣與酒精數值對照圖

- 因為瓶中還有氧氣，所以酒精濃度持續往下降。
- 在第十一個小時後，由於瓶中氧氣不足，汁液的氧化反應效率降低，發酵反應相對提升。

#### 3. 酒精與pH值的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度	64	61.6	57.6	56	59.2	56.8	48.8	48	45.6	45	44	42.4	48
pH值	5.58	5.55	5.45	5.48	5.48	5.36	5.13	5.11	5.19	5.09	5.1	5.02	5.07



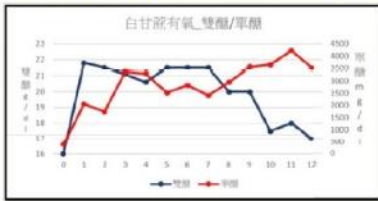
在無氧的環境下，紅甘蔗汁中的酒精濃度與pH值對照圖

- 酒精濃度和pH值都有隨時間往下降的趨勢。
- 實驗前中期是由於瓶中還有氧氣，致使氧化反應的效率大於發酵反應，直到第十一個小時後兩者才有上升的現象。

## (五) 在白甘蔗汁中進行有氧發酵

### 1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣	18	10.5	13.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5
單醣	375	334.5	330	335.5	326.5	328	332.5	332	332.5	332	332	332	332

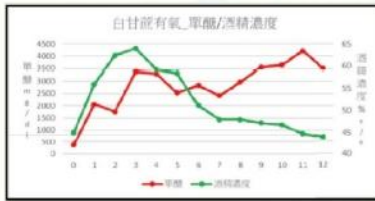


在有氧的環境下，白甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照圖

- 雙醣在一開始上升最顯著的，而後開始往下下降。
- 在實驗一開始至第三個小時之間單醣上升的幅度是最明顯的。

### 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣	375	344.5	339	344.5	335.5	337	341.5	341	341.5	341	341	341	341
酒精濃度	45	55	62.5	56	59.2	58.4	57.2	49	48	47.1	45.8	44.8	44

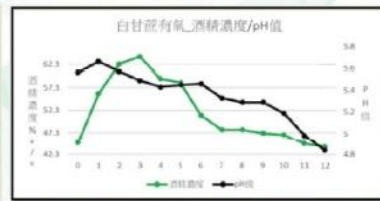


在有氧的環境下，白甘蔗汁中的單醣與酒精數值對照圖

- 酒精濃度數值在前三個小時持續上升，表示酵母菌發酵作用顯著。
- 三個小時後，整體趨勢來看，酒精減少量大於酒精增加量。

### 3. 酒精與pH值的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度	45	55	62.5	56	59.2	58.4	57.2	49	48	47.1	45.8	44.8	44
pH值	5.9	5.9	5.7	5.8	5.63	5.8	5.8	5.71	5.28	5.28	5.28	4.9	4.84



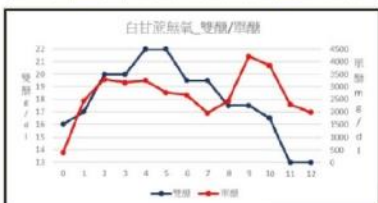
在有氧的環境下，紅甘蔗汁中的酒精濃度與pH值對照圖

- 實驗初期酒精濃度上升的趨勢是最顯著的，而後酒精在有氧的環境下持續被氧化以及在持續酸化的環境下降低酵母菌的活性，導致pH值趨勢持續下降。

## (六) 在白甘蔗汁中進行無氧發酵

### 1. 雙醣與單醣的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
雙醣	36	17	20	22	23	10.5	10.5	17.5	17.5	16.5	12	12	12
單醣	375	344.5	339	335.5	326.5	328	332.5	332	332.5	332	332	332	332

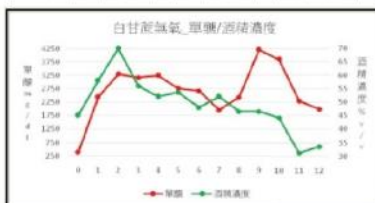


在無氧的環境下，白甘蔗汁中的雙醣與單醣數值對照圖

- 澱粉中、後期分解效率降低，雙醣持續水解成單醣，所以雙醣數值持續下降。
- 因有酵母菌消耗單醣，所以單醣數值呈上下震動的現象。

### 2. 單醣與酒精的變化

小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
單醣	375	344.5	339	335.5	326.5	328	332.5	332	332.5	332	332	332	332
酒精濃度	45	55	70	55	53	53.6	48	52	46.4	44	44	31.2	31.4

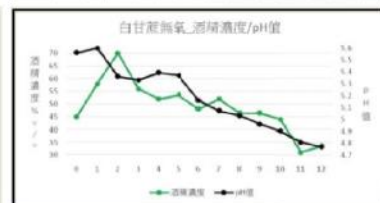


在無氧的環境下，白甘蔗汁中的單醣與酒精數值對照圖

- 酒精濃度前期因為受到發酵作用影響，呈現上升現象，而後期酒精持續被氧化，導致酒精濃度下降。

### 3. 酒精與pH值的變化

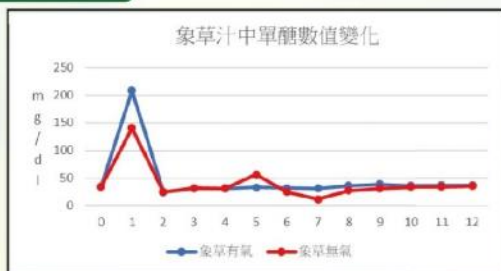
小時	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
酒精濃度	45	55	70	55	53	53.6	48	52	46.4	44	44	31.2	31.4
pH值	5.56	5.8	5.36	5.33	5.39	5.37	5.36	5.07	5.01	4.96	4.9	4.81	4.77



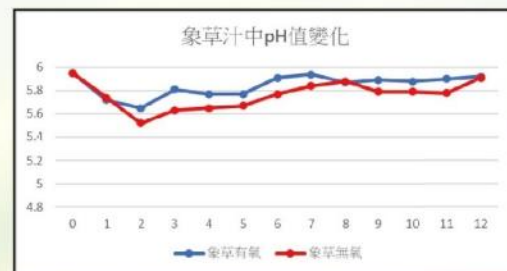
在無氧的環境下，紅甘蔗汁中的酒精濃度與pH值對照圖

- pH值在第二小時達到了最大值，之後便開始持續下降。

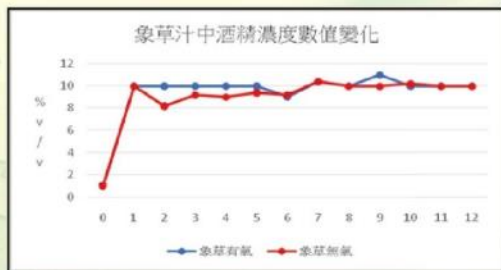
## 伍、討論



- 在無氧的環境下，提升單醣的反應速率比在有氧環境時來的低。



- 在有氧環境下，象草汁的pH值比在無氧環境時穩定。



- 不論是在有氧與無氧的環境下，象草汁的酒精濃度數值在實驗初期立即上升到一個定值並有持續穩定的水平趨勢。



- 紅、白甘蔗酒精濃度持續在下降，只有象草不但初期有上升現象，之後數值還維持穩定的趨勢，表示象草汁中酒精被消耗的量較少。

## 陸、結論

- 一、在三種植物中，就以醱類方面來看，象草的成分相對單純。
- 二、酵母菌的數量、環境中的氧氣濃度、酸鹼值以及其他微生物的存在會影響汁液中酒精增加量與生產效率。值得注意的是，在有氧環境下，從各汁液的酒精濃度變化來看，可以知道釀酒酵母菌在有氧環境下是會進行發酵作用。
- 三、相較於紅甘蔗汁與白甘蔗汁，象草汁液酒精濃度數值在實驗初期立即上升到一個定值並有持續穩定的水平趨勢，表示酒精被消耗的量比較少，取得酒精相對容易。因此，在本次實驗的禾本科植物中，象草很適合作為生質能源的材料。

## 柒、參考資料

- 莊溪 (2023年3月20日)。象草。取自：[http://kplnt.biodiv.tw/%E8%B1%A1%E8%8D%89%E8%B1%A1%E8%8D%89.htm](http://kplnt.biodiv.tw/%E8%B1%A1%E8%8D%89%E8%B1%A1%E8%8D%89%E8%B1%A1%E8%8D%89.htm)
- 林長泰、陳承誠、盧中樞 (2017)。農業廢棄物生產生質酒精之前處理系統應用。Journal of Agriculture and Forestry, 65(2), 165-172
- 曲自勤、郭安安、李紹均、黃偉特、歐毅榮、林培育 (2012)。探討酒精發酵之最佳條件。臺灣網路教習。取自：<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fid=&key=&sid=1&icop=10&p=254&sid=9710>
- 江琪琪 (2023年03月20日)。微生物的世界—微生物知識「菌種介紹」>>A>>Acetobacter aceti。取自：<https://microbiology.scu.edu.tw/MIB/micro/bacteria/A1.htm>
- 張順鳳、吳嘉琪、張詠彬 (2002)。酵母菌與碳水化合物代謝反應與研究。臺灣網路教習。取自：<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fid=&key=&sid=1&icop=10&p=547&sid=773>
- 張順鳳、林天傑 (2023)。糖的科學。科學研習刊, 46-5。取自：<https://www.ntsec.edu.tw/LiveSupply-Content.aspx?a=6829&fid=&key=&sid=1&icop=10&p=1&sid=8248>
- 張萬益、張恩維、林存恩、吳少愚、賴樹生 (2021)。不同濃度的單一碳源及混合碳源對酵母菌發酵速率的影響。科學教育月刊, 44(1), 40-48。
- 陳俊宏主編 (2021)。普通型高級中學生物。新北市：龍騰。