

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 化學科

080212

美的冒泡-酵母菌與糖的邂逅

學校名稱：苗栗縣公館鄉公館國民小學

作者：  小五 黃思諭 小五 邱旨仟 小五 卓瑜凱 小五 何旻諤 小五 曾晨軒 小五 邱昀亭	指導老師：  湯千慧 范碧玉
---------------------------------------------------------------------	-------------------------

關鍵詞：酵母菌、食糖、產氣量

# 摘要

本研究關注酵母菌與食糖的發酵作用，並設計簡易測量產氣量的裝置。實驗結果發現：

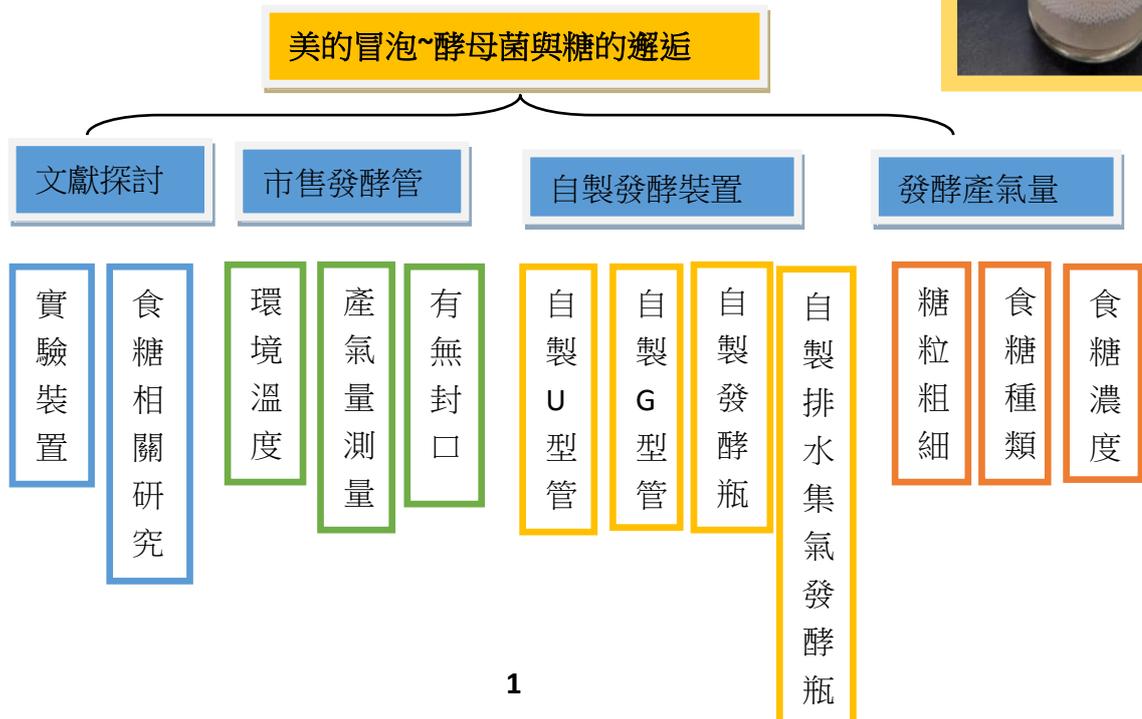
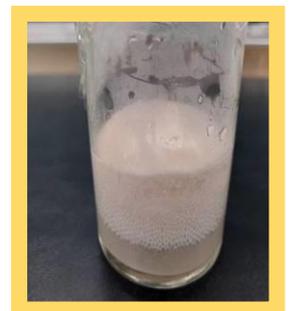
1. 多醣(果寡糖)、雙醣(黑糖、蔗糖、冰糖)發酵速度比單醣(葡萄糖、果糖)快。
2. 冰糖、黑糖、葡萄糖產氣量中顆粒>細顆粒，蔗糖無明顯差異。
3. 無封口產氣量多，有封口前 20 分鐘不穩定。產氣量穩定度為：G 型發酵管>U 型發酵管>市售發酵管。
4. 自製 U 型發酵管左右數值平均，總產量比發酵管少 3mL。
5. 自製 G 型發酵管左側產氣量多，兩側產氣量接近市售發酵管。
6. 自製排水集氣發酵瓶產氣量，總產量比發酵瓶多 1mL。
7. 食糖濃度低，產氣量多、時間快；濃度高，產氣量少、時間慢。
8. 麵粉濃度高，產氣量多、時間快。
9. 食糖和麵粉濃度高，30 分鐘後有二次發酵的情形。

## 壹、前言

### 一、研究動機

探究課程時，我們認識了微生物及品嚐各種發酵食物，了解到酵母菌在製作麵包、饅頭等發麵製品的重要性。在課程中我們學習用發酵管，探討酵母菌發酵產氣量的實驗，然而，我們這一組在糖比例的實驗中，竟然與隔壁組的同學產生相反的實驗結果，當時我們檢查了控制變因、實驗器材，都沒有異狀，為何會有這樣的差異，引起我們的興趣。

查閱相關資料，了解酵母菌在代謝醣類的過程中，分為有氧代謝和無氧代謝，將醣類轉化成能量和二氧化碳，因此，我們藉由觀察產氣量，以了解酵母菌發酵的情形，並提供食品工業製作的參考。(作品與教材之相關性：南一版五上 空氣與燃燒-二氧化碳的生活應用、六下 防鏽與防腐)研究架構圖，如下：



## 二、 研究目的

我們以發酵管和自製發酵裝置，探討食糖對酵母菌產氣量的關鍵因素，進行一系列的研究，並根據研究目的，提出以下研究問題：

### ■目的一、使用市售發酵管測量酵母菌的產氣量

研究 1-1：環境溫度對發酵液的溫度有何影響？

研究 1-2：不同粗細的食糖，對發酵產生的氣體量有何影響？

研究 1-3：有無封口，對發酵產生的氣體量有何影響？

### ■目的二、自製發酵管測量酵母菌的產氣量。

研究 2-1：自製 U 型與 G 型發酵管，發酵產氣量與市售發酵管有何差異？

研究 2-2：比較有無封口，對自製 U 型與 G 型發酵管之發酵產氣量有何差異？

研究 2-3：自製發酵瓶，發酵產氣量與市售發酵管有何差異？

研究 2-4：自製排水集氣發酵瓶，發酵產氣量與市售發酵管有何差異？

### ■目的三、不同種類的食糖研究

研究 3-1：不同種類的食糖，對發酵管產生的氣體量有何影響？

研究 3-2：不同種類的食糖，對自製 U 型與 G 型發酵管產生的氣體量有何影響？

研究 3-3：不同種類的食糖，對自製排水集氣發酵瓶產生的氣體量有何影響？

### ■目的四、不同濃度的食糖研究

研究 4-1：不同濃度的食糖，對發酵管產生的氣體量有何影響？

研究 4-2：不同濃度的食糖，對自製 U 型與 G 型發酵管產生的氣體量有何影響？

研究 4-3：不同濃度的食糖，對自製排水集氣發酵瓶產生的氣體量有何影響？

### ■目的五、不同濃度的麵粉研究

研究 5-1：不同比例的糖、鹽、麵粉，對發酵產生的氣體量有何影響？

研究 5-2：不同濃度的麵粉，對發酵產生的氣體量有何影響？

## 三、 文獻回顧

### (一)酵母菌



不同酵母菌的菌落型態與顏色。(作者：李清福)  
資料來源：吳聲華  
(2011-2012 年)

酵母菌 (yeast) 這個名詞源自麵包或釀酒發酵過程中，所產生的「發泡」現象。

目前普遍所認定的酵母菌係指：一群具有單細胞型態的真菌，主要以分裂或出芽型式行無性生殖，部分菌種可產生黃色或紅色之類胡蘿蔔素，特殊條件下可產生假菌絲者稱之。

酵母菌的發酵特性令人印象深刻，所以酵母菌理應棲居於葡萄等果實上。但除了果實外，酵母菌之棲居地廣泛。酵母菌菌種(species) 至目前為止，被詳細描述之菌種數約1000種左右，仍陸續增加中。這些菌種分佈廣泛，舉凡淡水、海水、土壤、植物體、動物體，甚或一些極端條件等自然環境，皆可能分離出各類酵母菌。



酵母無氧發酵與有氧發酵作用的解析  
資料來源：(fluff 烘焙志，2018)

**文獻探討：**酵母基本上屬於兼性厭氧生物，在有氧無氧的環境中都可以生存，在有氧的環境下執行有氧呼吸作用，在無氧的環境下執行發酵作用（Fermentation）。

在缺乏氧氣時，酵母會進行無氧發酵，當中通過糖酵解作用將葡萄糖轉化成CO<sub>2</sub>與乙醇並產生能量(ATP)。



在有氧條件下酵母菌能夠迅速出芽繁殖，酵母將葡萄糖經有氧呼吸(糖酵解→三羧酸循環)代謝生成CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O。



我們之前學到酵母菌屬於單細胞生物，主要行出芽生殖，具有細胞壁但缺乏葉綠體，釋出酵素到外界分解後再吸收養分。透過查閱資料，才發現酵母菌的種類、來源和生殖方式其實非常多元，在發酵作用的過程中，氧氣具有相當的重要性。

## (二)食糖



資料來源：維基百科-食糖

**文獻探討：**食糖，又稱砂糖，簡稱糖（sugar）泛指各種可食用的帶有甜味的晶體，有甜味、短鏈、可溶於水的有機化合物，許多會用在食品。糖在有機化學中屬於醣類，由碳、氫及氧三種原子組成。醣類為人體之重要的營養素，主要分成三大類：單醣、雙醣和多醣。

1. 單醣：結構較簡單的糖，如：葡萄糖、果糖及半乳糖。
2. 雙醣：在人體中會分解成葡萄糖及果糖。如：蔗糖、麥芽糖及乳糖。
3. 多醣/寡醣：多醣可作為儲存養分的物質，如：澱粉、肝糖。
4. 有些化學結構不同的物質也有甜味，稱為甜味劑，一般俗稱代糖。

一般的食用糖是蔗糖，以蔗糖為主要成分的食糖，根據純度的由高到低又分為：冰糖（99.9%）、白砂糖（99.5%）、綿白糖（97.9%）和赤砂糖（也稱紅糖或黑糖，89%）。

了解生活中不同的食糖之後，我們的實驗選用生活中常見粉狀的食糖，並選用經常加入麵包製作的單醣-葡萄糖.果糖、雙醣-蔗糖.冰糖.黑糖、多醣-果寡糖.澱粉，進行以下的實驗。

## (三)相關研究

我們上網查閱相關資料後，發現有 11 篇相關的研究，可見酵母菌的議題一直受到關注，我們聚焦在「醣類的發酵情形」、「實驗裝置的設計」整理如下表：

名稱	研究發現	實驗裝置
第四十二屆農業科高職組 酵母菌與碳水化合物的反應與研究	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 單醣類是最簡單的醣，材料中所使用的葡萄糖 (glucose)、果糖 (fructose)、半乳糖 (galactose) 皆為六碳糖 (hexose)，其化學式相同，但由於結構式不同，所以造成發酵速度快慢不同。</li> <li>2. <u>酵母菌的族群，隨著糖類濃度的降低而減少。</u></li> </ol>	錐形瓶中培養，顯微鏡下觀察：計算 3 個不同區域的酵母菌個數再取其平均數
第四十五屆中小學科學展覽會國小組自然科 起酵 A! 酵母菌的研究	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在糖水中，麵包酵母菌的產氣量較多，酒麴酵母菌產氣較少。</li> <li>2. <u>酵母菌發酵速率不會因糖濃度的增高而增高。</u></li> </ol>	發酵管，觀察氣泡高度
第四十八屆中小學科學展覽會國小組生物及地球科學科 不同磁極磁場對酵母菌發酵作用的影響	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. N 極磁場處理的酵母液糖度平均較低。</li> </ol>	錐型瓶、橡皮塞、空心玻璃管，觀察氣泡高度
第五十四屆中小學科學展覽會國小組化學 親愛的，我把饅頭變好吃了--探討麵糰發酵與做出美味饅頭的撇步	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 增加適量的糖可加速發酵，少量的鹽可讓饅頭口感更具彈性，過多的話，抑制發酵。</li> <li>2. <u>不同種類糖比較其發酵的速度，其中以果糖發酵速度較佳，其次是黑糖，方糖次之，冰糖、砂糖最差。</u></li> </ol>	針筒、麵團放置於量筒中，觀察麵團膨脹情形
第五十七屆中小學科學展覽會國小組化學 花酵母的神奇魔法	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 從花酵母培養時的產氣量、氣泡數、花香味、淡酒味及沉澱物，可觀察出酵母的成長與消退。</li> </ol>	密封罐培養，測量發酵後的氣泡高度
第六十屆中小學科學展覽會國中組應科 (二) 醉傲天際——天然水果酵母與麵包黴菌的火花	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用不同比例配方(糖、水、水果)對於製成後的酵母液，檸檬酵母液的 pH 值變化量最大，木瓜酵母液甜度變化量最大，而由比例四 1(18g): 4(72g): 1/2(10g)的酵母液氣泡量最多，pH 值及甜度最低。</li> </ol>	密封罐中培養，吸取溶液於顯微鏡下觀察，計算視野中酵母菌數量

以上幾篇文獻多數是點數酵母菌數量，或是測量高度進行產氣量的研究，對食糖的著墨較少。而我們的研究關注酵母菌與各種食糖的發酵作用，並嘗試設計生活中易取得，並能夠迅速測量產氣量的裝置，讓食品製造者能在生活中進行應用。

## 貳、研究設備及器材

### 一、實驗材料：



速發酵母粉



食鹽、中筋麵粉



果糖

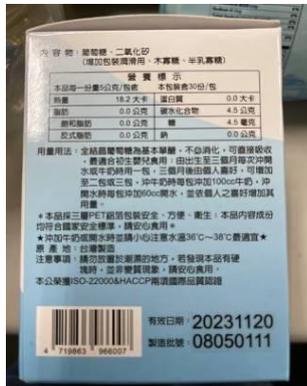
果寡糖



黑糖



蔗糖



葡萄糖、冰糖



### 二、實驗設備：



電子秤



乾溫溼度計



25mL 量筒



錐形瓶



250mL、50mL 量杯



30 目篩網



60 目篩網



研鉢



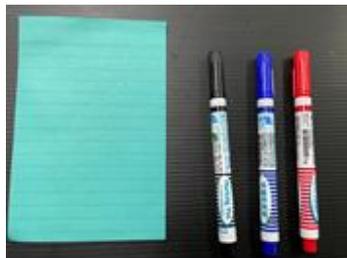
塑膠碟



酒精溫度計



量匙、攪拌匙



記錄紙、標記筆



碼表



漏斗

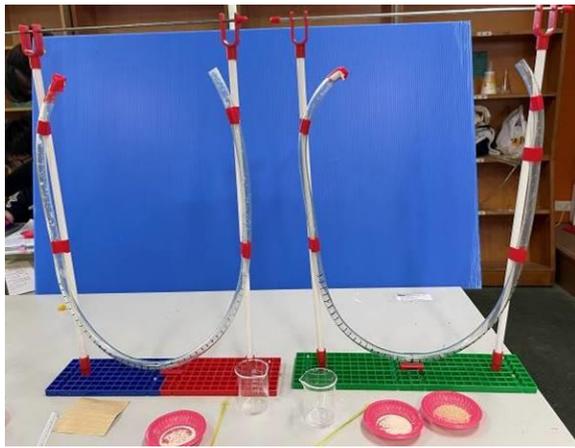
### 三、實驗裝置：



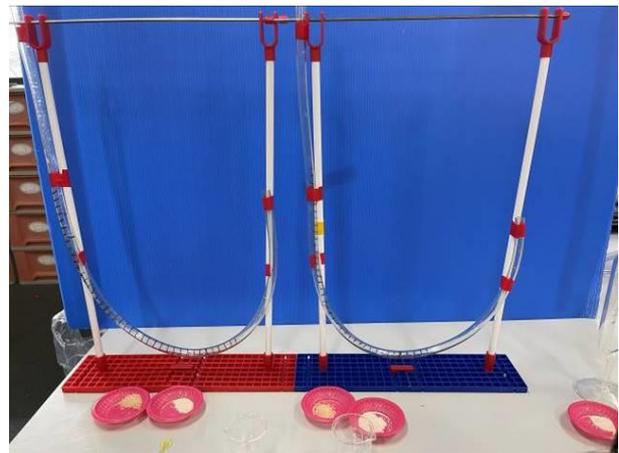
針筒集氣袋 (活塞摩擦力太大無法推動)



市售發酵管



自製 U 型發酵管



自製 G 型發酵管



自製發酵瓶



自製排水集氣發酵瓶

## 參、研究過程與研究結果

### ■ 目的一、使用市售發酵管測量酵母菌的產氣量

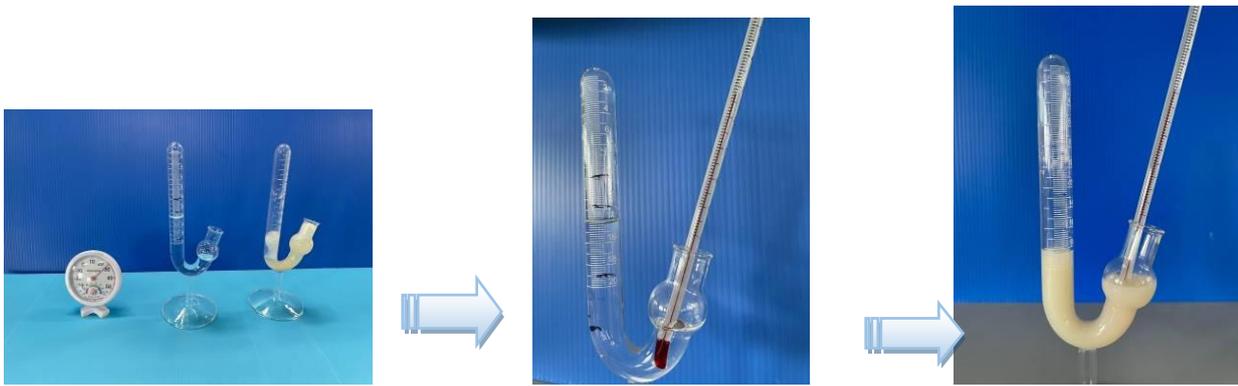
#### 研究 1-1：環境溫度對發酵液的溫度有何影響？

##### 【研究構想】：

溫度對發酵過程有很大的影響，在一般的小學教室中，並沒有恆溫箱或恆溫水槽的設備，在教育部班班有冷氣的 policy 下，冷氣房是比較能夠執行溫度控制的方式，因此我們設定冷氣溫度  $25^{\circ}\text{C}$ ，進行以下實驗。

##### 【實驗步驟】：

1. 設定冷氣溫度  $25^{\circ}\text{C}$ 。
2. 測量室溫：將溫溼度計放置於實驗桌中央，記錄每 5 分鐘的溫度變化。
3. 測量水溫：取 20mL，水溫  $28^{\circ}\text{C}$  的水，倒入市售發酵管，以溫度計記錄每 5 分鐘的溫度變化。
4. 測量發酵液溫度：取 1.5g 的蔗糖、0.5g 的酵母菌，加入裝有水溫  $28^{\circ}\text{C}$ 、20mL 水的燒杯中，攪拌至溶解，倒入市售發酵管，以溫度計記錄每 5 分鐘的溫度變化。
5. 每個實驗重複 5 次，利用表格記錄結果、算出平均數，並畫成統計圖。



### 【研究發現】：

1. 冷氣設定溫度  $25^{\circ}\text{C}$ ，室溫會在  $25.8\sim 26^{\circ}\text{C}$  之間，但不會超過  $1^{\circ}\text{C}$  的差距。
2. 取水溫度  $28^{\circ}\text{C}$ ，倒入玻璃發酵管，會降低  $1^{\circ}\text{C}$ ，並隨著時間持續降低，至 45 分鐘與室溫達到平衡，保持  $26^{\circ}\text{C}$ 。
3. 調製發酵液，倒入玻璃發酵管，跟水溫一樣會降低  $1^{\circ}\text{C}$ ，但有發酵的情況下，溫度保持在  $26\sim 27^{\circ}\text{C}$ ，至 45 分鐘與室溫達到平衡，保持  $26^{\circ}\text{C}$ 。
4. 水和發酵液在整個實驗過程，溫度差異在  $2^{\circ}\text{C}$ ，變化不大，因此以下的實驗皆在固定的座位與冷氣房中進行。
5. 結果如表 1、圖 1。

表 1：室溫.水溫.發酵液平均溫度比較表

時間	室溫	水溫	發酵液溫度
5	25.8	27.0	27.0
10	25.8	27.0	27.0
15	25.8	27.0	26.8
20	26.0	26.5	26.9
25	26.0	26.5	26.9
30	26.0	26.5	26.8
35	26.0	26.5	26.8
40	26.0	26.5	26.8
45	26.0	26.0	26.0
50	25.8	26.0	26.0
55	25.8	26.0	26.0
60	25.8	26.0	26.0
65	25.8	26.0	26.0

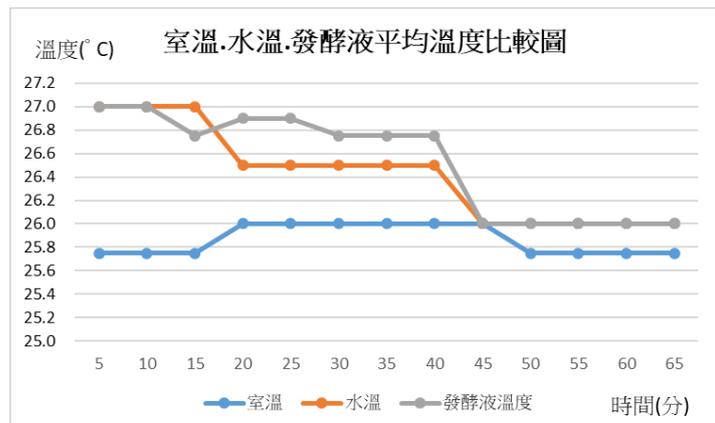


圖 1：室溫.水溫.發酵液平均溫度比較圖

## 研究 1-2：不同粗細的食糖，對發酵產生的氣體量有何影響？

### 【研究構想】：

探究教學上課時，我們有兩組同學進行有關糖的發酵實驗，實驗結果卻相反，讓我們產生好奇。因此我們先運用發酵管，以市售常見的食糖進行研究。

### 【實驗步驟】：

1. 分別將冰糖、黑糖、葡萄糖、蔗糖取出，以研鉢研磨，使每個糖粒均勻。
2. 以 30 目篩網過濾，停留在篩網中的糖粒標記為「粗」；再以 60 目篩網過濾，停留在篩網中的糖粒標記為「中」；通過 60 目篩網的糖粒定義為「細」。
3. 取 20mL，水溫  $28^{\circ}\text{C}$  的水。

- 分別利用電子秤出 1.5g 的「中顆粒」冰糖、黑糖、葡萄糖、蔗糖，加入裝有 20mL 水的燒杯中，攪拌至溶解。
- 利用電子秤出 0.5g 的酵母菌，加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
- 將燒杯中的液體注入發酵管內，注入的容量為彎管處的 1/2，使直管內沒有氣泡，管口用棉花塞好。
- 記錄匯集在直管刻度管頂部氣體的液面，計算出氣體體積。
- 分別取出「細顆粒」的冰糖、黑糖、葡萄糖、蔗糖，重複步驟 3-5。
- 每個實驗重複 5 次，利用表格記錄平均結果，並畫成統計圖。



以研鉢研磨



分別以 30 目、60 目篩網過濾



將糖粒分為粗.中.細顆粒

### 【研究發現】：

- 在 60 分鐘內，中顆粒的發酵產氣量黑糖 > 冰糖 > 蔗糖 > 葡萄糖。
- 在 60 分鐘內，細顆粒的發酵產氣量黑糖 > 蔗糖 > 冰糖 > 葡萄糖。
- 冰糖、黑糖、葡萄糖中顆粒的產氣量都比細顆粒的產氣量大。
- 在 60 分鐘內，蔗糖中顆粒和細顆粒的發酵總產氣量最接近。
- 60 分鐘後，黑糖泡沫流出，使實驗無法進行。
- 結果如表 2.3、圖 2.3。

表 2：不同粗細的糖累積氣體量比較表

種類	顆粒	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
葡萄糖	中	0.00	0.00	0.63	1.20	1.87	2.63	3.53	4.23	5.03	5.87	6.30	6.73
	細	0.00	0.00	0.53	0.97	1.47	2.20	3.00	3.53	4.23	4.97	5.50	5.93
蔗糖	中	0.00	0.20	1.03	1.63	2.43	3.23	4.40	5.23	6.10	6.50	7.30	7.87
	細	0.00	0.17	0.87	1.83	2.70	3.37	4.40	5.33	6.03	6.83	7.40	8.13
冰糖	中	0.00	0.00	1.13	1.80	2.67	3.87	4.77	6.07	7.03	7.53	7.97	8.47
	細	0.00	0.00	0.80	1.10	1.50	2.23	2.87	3.53	4.13	4.80	5.50	6.20
黑糖	中	0.00	0.33	0.97	1.87	2.97	4.23	5.90	6.93	7.67	8.63	9.63	10.67
	細	0.00	0.33	0.83	1.10	1.90	3.07	4.00	5.20	6.17	7.33	8.00	8.57

表 3：不同粗細的糖平均氣體量變化表

種類	顆粒	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
葡萄糖	中	0	0	0.63	0.57	0.67	0.77	0.9	0.7	0.8	0.83	0.43	0.43
	細	0	0	0.53	0.43	0.5	0.73	0.8	0.53	0.7	0.73	0.53	0.43
蔗糖	中	0	0.2	0.83	0.6	0.8	0.8	1.17	0.83	0.87	0.4	0.8	0.57
	細	0	0.17	0.7	0.97	0.87	0.67	1.03	0.93	0.7	0.8	0.57	0.73
冰糖	中	0	0	1.13	0.67	0.87	1.2	0.9	1.3	0.97	0.5	0.43	0.5
	細	0	0	0.8	0.3	0.4	0.73	0.63	0.67	0.6	0.67	0.7	0.7
黑糖	中	0	0.33	0.63	0.9	1.1	1.27	1.67	1.03	0.73	0.97	1	1.03
	細	0	0.33	0.5	0.27	0.8	1.17	0.93	1.2	0.97	1.17	0.67	0.57

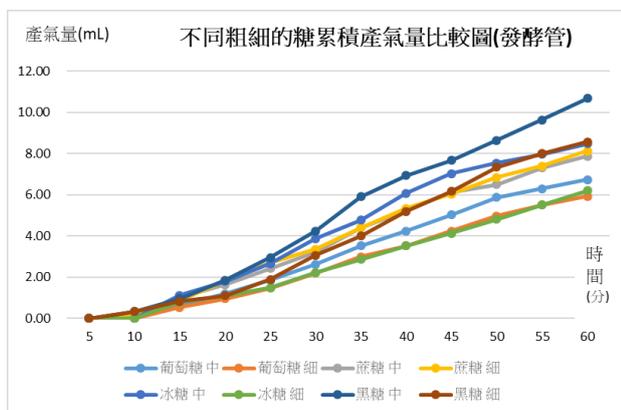


圖 2：不同粗細的糖累積氣體量比較圖

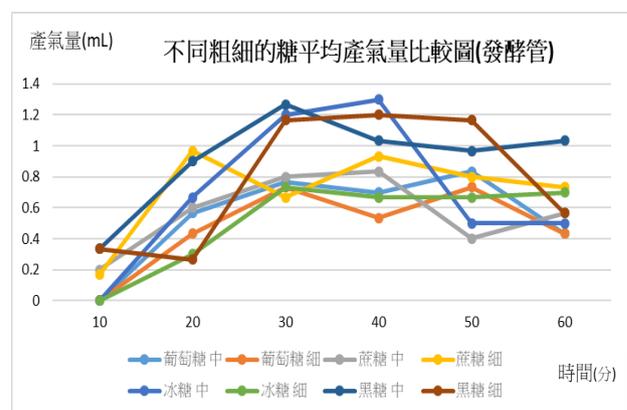


圖 3：不同粗細的糖平均氣體量變化圖

## 【實驗結果與討論】

在不同粗細的食糖實驗中，我們先測試不提供食糖、只有酵母菌與水的情況下，發現並沒有發酵的情形。

雙糖的蔗糖、黑糖、冰糖在 30 分鐘內的發酵速度，比單糖的葡萄糖還要快，這與我們推論的「雙糖在人體中會分解成葡萄糖」，所以雙糖可能發酵會比較慢的認知有點不同，加上研究過程中遇到發酵管容積太小而溢出的問題，我們討論要自製一些方便觀察的研究裝置。

### 研究 1-3：有無封口，對發酵產生的氣體量有何影響？

#### 【研究構想】：

根據文獻資料，酵母菌在有氧的環境下，會利用氧氣進行呼吸作用，將醣類轉化為能量及二氧化碳；在無氧的環境下，則會利用發酵作用，將醣類轉化為酒精和二氧化碳。

無氧發酵： $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$

有氧呼吸： $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 30(32)ATP$

因此，在缺乏氧氣時，1 莫耳的葡萄糖產生 2 莫耳  $CO_2 = 1:2$ ；有氧的條件下，1 莫耳的葡萄糖產生 6 莫耳  $CO_2 = 1:6$ ，因此，無氧的產氣量：有氧的產氣量為  $2:6=1:3$ ，我們想了解在發酵管中是否也有這樣的現象，因此進行以下實驗。

#### 【實驗步驟】：

1. 取 20mL，水溫  $28^\circ C$  的水。
2. 利用電子秤出 1.5g 的蔗糖，加入裝有 20mL 水的燒杯中，攪拌至溶解。
3. 利用電子秤出 0.5g 的酵母菌，加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
4. 將燒杯中的液體注入發酵管內，注入的容量為彎管處的  $1/2$ ，使直管內沒有氣泡，管口用棉花塞好。
5. 記錄匯集在直管刻度管頂部氣體的液面，計算出氣體體積。
6. 將步驟 4 改為管口不用棉花塞，重複步驟 2-5。
7. 實驗重複 5 次，利用表格記錄平均結果，並畫成統計圖。

#### 【研究發現】：

1. 在 60 分鐘內，無封口發酵的產氣量比有封口發酵多。
2. 有封口發酵的產氣量在前 25 分鐘不穩定。
3. 根據文獻資料，無氧的產氣量：有氧的產氣量約為  $2:6=1:3$ ，我們實驗平均的結果為  $2.2:4.12$  約為  $1:2$ ，推測是因為發酵管內仍會留有一段空氣，加上棉花封口，仍有些微的細縫導致。
4. 結果如表 4.5、圖 4.5。



表 4：不同種類的糖累積氣體量比較表

表 5：不同種類的糖平均氣體量變化表

類別	時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
發酵管(無封口)	0.00	0.10	0.46	1.04	1.54	2.04	2.56	2.90	3.24	3.52	3.76	4.12	
發酵管(有封口)	0.00	0.00	0.00	0.20	1.20	1.33	1.49	1.57	1.65	1.86	1.91	2.20	

類別	時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
發酵管(無封口)	0.00	0.10	0.36	0.68	0.86	1.18	1.38	1.52	1.72	1.80	1.96	2.16	
發酵管(有封口)	0.00	0.00	0.00	0.20	1.00	1.13	1.16	0.08	0.08	0.21	0.05	0.29	

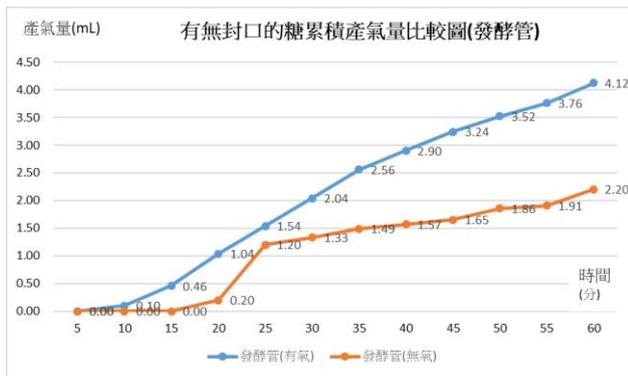


圖 4：有無封口的糖累積氣體量比較圖

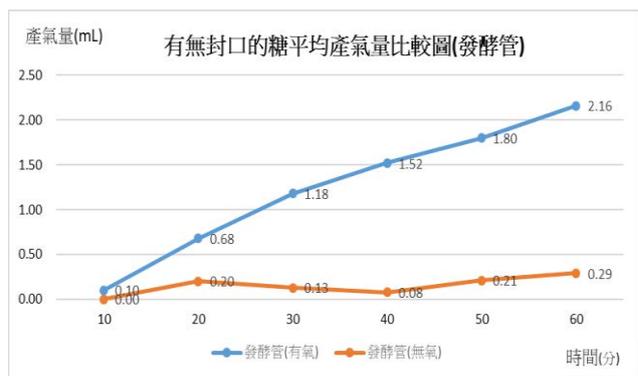


圖 5：有無封口的糖平均氣體量變化圖

## 目的二、自製發酵管測量酵母菌的產氣量。

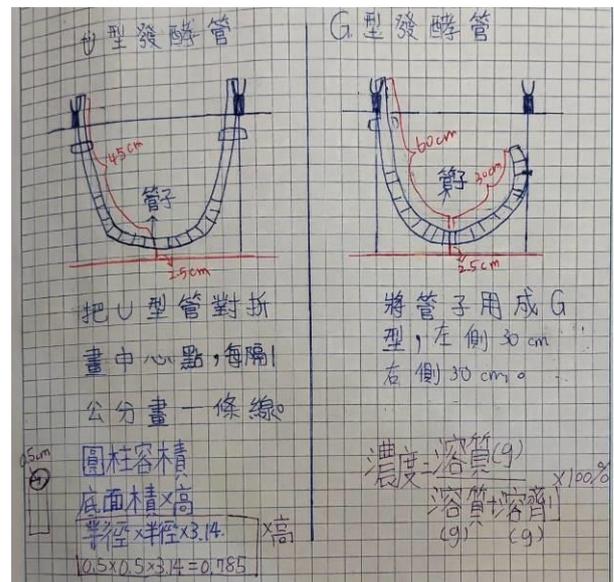
### 研究 2-1：自製 U 型與 G 型發酵管，發酵產氣量與市售發酵管有何差異？

#### 【研究構想】：

在上一個研究中，發現發酵管的容量只有 20 毫升，容量小、容易溢出，於是我們使用手邊的透明軟管，自製發酵管來進行實驗。根據研究 1-1 的實驗結果，採用發酵產氣量最穩定的蔗糖進行實驗。

#### 【實驗步驟】：

1. 準備長度 90cm、內口徑 1cm 的透明塑膠軟管，將塑膠管對折畫出中心點，每隔 1cm 畫一條線。
2. U 型發酵管：準備一組支架，中心點對齊支架中央，左右兩側分別為 45cm 的軟管，中央距離桌面 2.5cm，以絕緣膠帶固定塑膠軟管於支架上，一端塞上棉花並用絕緣膠帶纏繞以保持密閉。
3. G 型發酵管：準備另一組支架，將軟管總長標記三等份，左側為 60cm、右側 30cm，最低點距離桌面 2.5cm，以絕緣膠帶固定塑膠軟管於支架上，一端塞上棉花並用絕緣膠帶纏繞以保持密閉。
4. 取 20mL，水溫 28°C 的水。
5. 利用電子秤出 1.5g 的蔗糖，加入裝有 20mL 水的燒杯中，攪拌至溶解。
6. 利用電子秤出 1g 的酵母菌，加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
7. 將燒杯中的液體注入 U 型透明塑膠軟管內。
8. 重複步驟 4-6，將燒杯中的液體注入 G 型透明塑膠軟管內。
9. 記錄匯集在兩側刻度管頂部氣體的液面，計算出氣體體積。
10. 實驗重複 5 次，利用表格記錄平均結果，並畫成統計圖。



## 【研究發現】：

1. 在 45 分鐘內，U 型發酵管左右兩側數值較為平均。
2. G 型發酵管左側(密封.較高的一端)，產氣量較右側(無封口.較低)的一端多。
3. G 型發酵管在 30 分鐘時，較右側(無封口.較低)的一端產氣量增加許多。
4. G 型發酵管左右兩側的產氣量合起來，接近市售發酵管所測量的數據。
5. 結果如表 6、圖 6.7。

表 6: 自製發酵管與市售發酵管單側產氣量(無封口)比較表

類型/時間(分)	5分鐘	10分鐘	15分鐘	20分鐘	25分鐘	30分鐘	35分鐘	40分鐘	45分鐘	小計	總計
發酵管(無封)	0.00	0.00	1.00	1.20	1.60	2.60	2.60	2.20	2.20	13.40	13.40
G型管(左/有)	0.00	0.00	0.39	0.71	0.86	0.55	2.36	1.33	1.02	7.22	13.58
G型管(右/無)	0.00	0.00	0.24	0.47	0.79	1.65	1.57	1.10	0.55	6.36	
U型管(左/有)	0.24	0.24	0.47	0.00	0.94	1.18	1.26	0.86	0.00	5.18	10.28
U型管(右/無)	0.00	0.55	0.16	0.00	0.79	0.94	1.88	0.79	0.00	5.10	

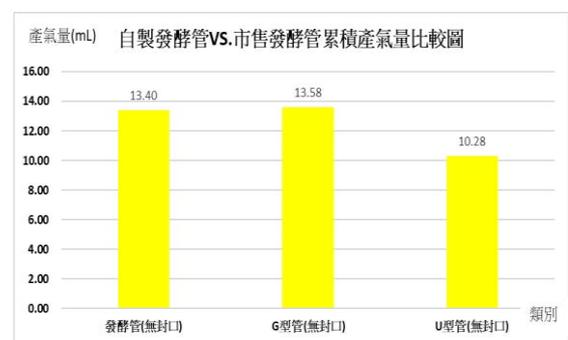
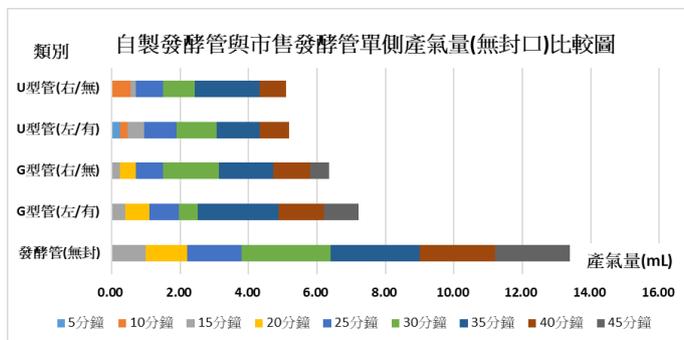


圖 6: 自製發酵管與市售發酵管單側產氣量(無封口)比較圖 圖 7: 自製發酵管 VS.市售發酵管累積產氣量比較圖

## 【實驗結果與討論】

發酵管的設計外型採用 G 型管，我們自製的 G 型發酵管，所計算的產氣量與發酵管相似。但是 U 型發酵管則減少約 3mL 的產氣量，是否與右側接觸空氣的氣壓有關連，將進一步進行研究。

## 研究 2-2：比較有無封口，對自製 U 型與 G 型發酵管之發酵產氣量有何差異？

### 【研究構想】：

實驗步驟中，發酵管一端要塞上棉花，為了隔絕外界氧氣的進入，我們想知道有沒有隔絕一端的空氣出入口，對發酵以及右側的氣壓是否有影響，因此進行以下實驗。

### 【實驗步驟】：

1. 準備研究 2-1 的 U 型發酵管與 G 型發酵管實驗裝置。
2. 重複研究 2-1 的實驗步驟，並將右側管口用棉花塞緊。
3. 記錄匯集在兩側刻度管頂部氣體的液面，計算出氣體體積。
4. 每個實驗重複 5 次，利用表格記錄結果、算出平均數，並畫成統計圖。

## 【研究發現】：

1. 在 45 分鐘內，有封口的情況下，發酵管的產氣量明顯下降。
2. G 型發酵管、U 型發酵管在有封口的實驗中，產氣量沒有明顯差異。
3. 結果如表 7、圖 8.9。

表 7: 自製發酵管與市售發酵管單側產氣量(有封口)比較表

類型/時間(分)	5分鐘	10分鐘	15分鐘	20分鐘	25分鐘	30分鐘	35分鐘	40分鐘	45分鐘	小計	總計
發酵管(有封)	0.00	0.00	0.00	0.20	1.20	1.60	1.80	1.40	1.60	7.80	7.80
G型管(左/有)	0.00	0.00	0.79	1.18	1.57	1.49	1.49	0.71	0.39	7.61	14.99
G型管(右/有)	0.00	0.00	0.71	1.26	1.65	1.65	0.55	1.18	0.39	7.38	
U型管(左/有)	0.24	0.00	1.33	1.10	1.33	0.00	0.00	0.79	0.08	4.87	10.60
U型管(右/有)	0.00	0.00	0.79	0.79	0.79	1.57	1.02	0.63	0.16	5.73	

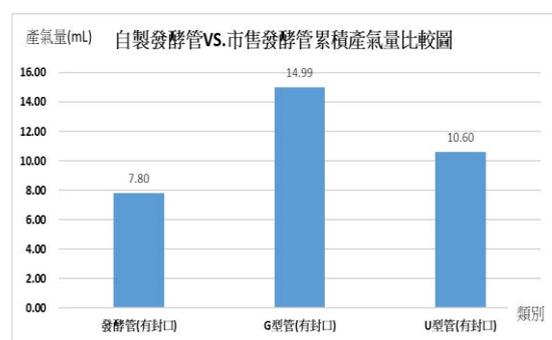
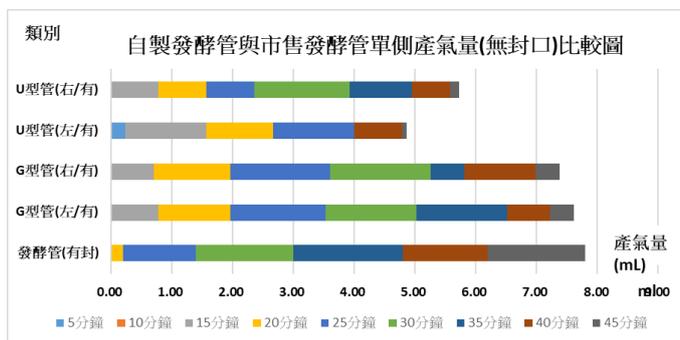


圖 8: 自製發酵管與市售發酵管單側產氣量(有封口)比較圖 圖 9: 自製發酵管 VS.市售發酵管累積產氣量比較圖

## 【實驗結果與討論】

G 型發酵管、U 型發酵管軟管較長，且為塑膠材質，密合度可能沒有玻璃發酵管好，因此在有無封口的情況下差異不大。但是在無封口的情況下，U 型發酵管實驗結果與發酵管的產氣量約有 3mL 的差異。

因此，在實際使用上，無論有無封口，所測量的發酵產氣量穩定度為：G 型發酵管 > U 型發酵管 > 市售發酵管。

## 研究 2-3：自製發酵瓶，發酵產氣量與市售發酵管有何差異？

### 【研究構想】：

為了尋找更簡便的測量方法，我們查詢到科學探究 MIT 第 3 期 (謝宜君，無日期)中，使用點滴瓶、吸管及燒杯裝水，自製發酵瓶來進行探究教學。因此我們仿作這種方式，用不同種類的糖進行實驗，想驗證研究 1-1 的實驗結果。

### 【實驗步驟】：

1. 準備 20mL 塑膠點滴瓶、可彎吸管、錐形瓶。
2. 取 10mL，水溫 28 ° C 的水。
3. 利用電子秤出 0.75g 的蔗糖，加入裝有 10mL 水的燒杯中，攪拌至溶解。
4. 利用電子秤出 0.5g 的酵母菌，加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
5. 將燒杯中的液體注入塑膠點滴瓶內，管口接上可彎吸管，另一端放入裝水的錐型瓶中。

- 記錄從錐型瓶一端吸管口冒出的氣泡數量。
- 分別取出黑糖、葡萄糖、冰糖，重複步驟 3-5。
- 每個實驗重複 5 次，利用表格記錄結果、算出平均數，並畫成統計圖。

### 【研究發現】：

- 在 30 分鐘內的實驗中，各種食糖在 10 分鐘內開始發酵。
- 產氣量依序為冰糖 > 黑糖 > 葡萄糖 > 蔗糖。
- 結果如表 8、圖 10。

表 8: 不同種類的糖對自製發酵瓶發酵氣泡數的比較表

種類\時間(分)	5	10	15	20	25	30	總計
冰糖	0	8	22	21	36	36	123
黑糖	0	10	25	26	25	22	108
葡萄糖	0	4	16	20	20	22	82
蔗糖	0	8	14	17	18	17	74

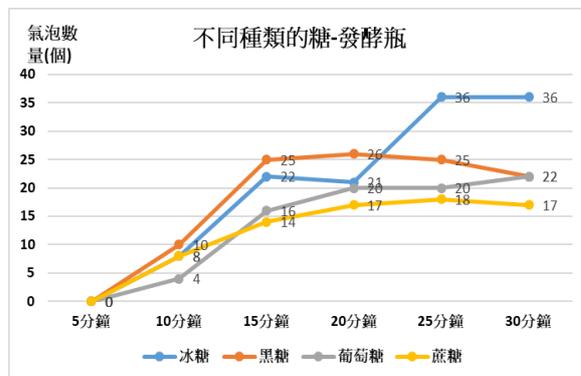


圖 10 不同種類的糖對自製發酵瓶發酵氣泡數的比較圖

### 【實驗結果與討論】

比較自製發酵瓶發酵產氣量與市售發酵管的數據，雖然兩者的單位不同，但是可以看出產氣量的趨勢大致相符，產氣量依序為冰糖 > 黑糖 > 蔗糖，但是葡萄糖在發酵管與發酵瓶中的情況差異較大，推測是因為發酵瓶空間小，所以將糖和酵母菌的量都減半所導致。

種類	發酵管(mL)	發酵瓶(個)
冰糖	16.34	123
黑糖	16.5	108
葡萄糖	8	82
蔗糖	10.6	74

### 研究 2-4：自製排水集氣發酵瓶，發酵產氣量與市售發酵管有何差異？

#### 【研究構想】：

由於研究 2-3 無法算出排出氣體量，發酵瓶的空間又太小，老師告訴我們可以用排水集氣法，收集反應過程產生的微溶或不溶於水的氣體，以記錄排出來的氣體量；因此著手進行改良。

第一代排水集氣裝置	第二代排水集氣裝置	第三代排水集氣裝置
<p><b>設計理念：</b>使用 250mL 點滴瓶，彎曲軟管，以量筒收集氣體。</p> <p><b>缺點：</b>點滴瓶空間太大，產生的氣體無法立即排出。</p>	<p><b>設計理念：</b>使用 50mL 量筒，以絕緣膠帶接合並彎曲軟管，再以量筒收集氣體。</p> <p><b>缺點：</b>接合處無法密合，容易漏氣，發酵液倒入後才能封口，使用不便。</p>	<p><b>設計理念：</b>使用 50mL 小空瓶，接上可彎曲軟管，以量筒收集氣體，並以束線帶與試管架固定量筒，避免傾倒。</p> <p style="color: red; text-align: center;"><b>終於成功了！</b></p>

### 【實驗步驟】：

1. 準備 50mL 小空瓶、可彎軟管、量筒、試管架、束線、水盆，製作排水集氣發酵實驗裝置。
2. 取 20mL，水溫 28 ° C 的水。
3. 利用電子秤出 1.5g 的蔗糖，加入裝有 20mL 水的燒杯中，攪拌至溶解。
4. 利用電子秤出 0.5g 的酵母菌，加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
5. 將燒杯中的液體注入小空瓶內，扣上可彎軟管，另一端放入裝滿水的量筒中。
6. 每 5 分鐘記錄量筒的刻度。
7. 重複 5 次，利用表格記錄結果、算出平均數，並畫成統計圖。

### 【研究發現】：

1. 自製排水集氣發酵瓶與市售發酵瓶累積氣體量，在 30 分鐘內大致相同。
2. 在 60 分鐘內，排水集氣發酵瓶較市售發酵瓶多了 1mL 產氣量。
3. 結果如表 9、圖 11。

表 9：自製排水集氣發酵瓶 vs.市售發酵瓶-累積氣體量比較表

種類/時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
排水集氣發酵	0.00	0.00	1.10	1.93	2.50	3.33	4.50	5.50	6.67	7.50	8.50	9.17
市售發酵管	0.00	0.17	0.87	1.83	2.70	3.37	4.40	5.33	6.03	6.83	7.40	8.13

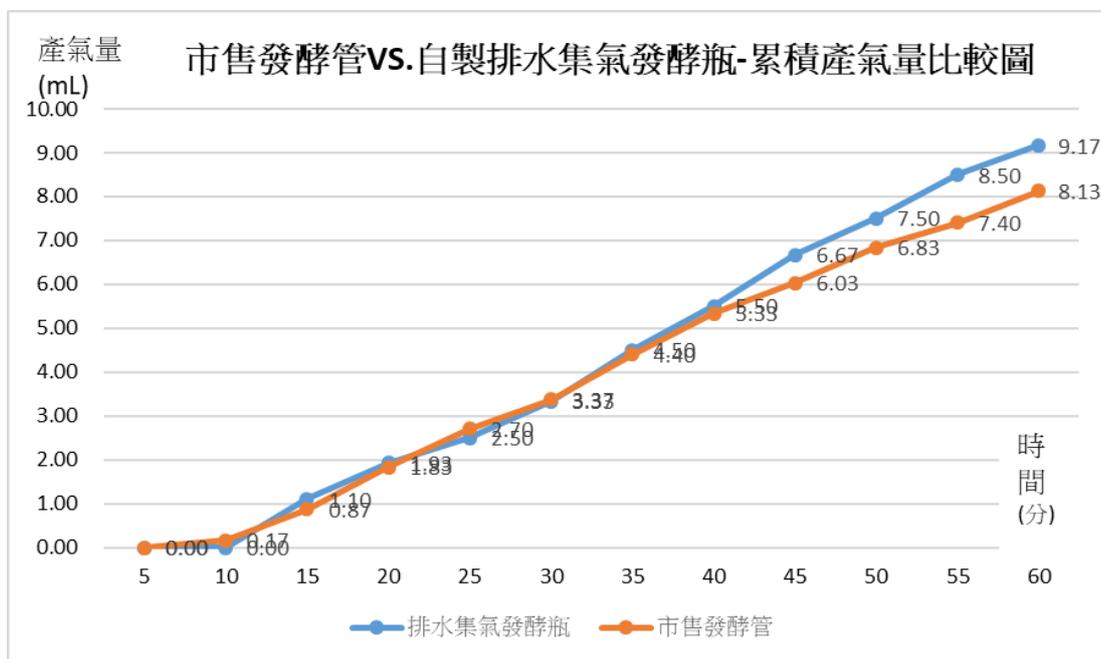


圖 11：自製排水集氣發酵瓶 vs.市售發酵瓶-累積氣體量比較圖

## 目的三、不同種類的食糖研究

研究 3-1：不同種類的食糖，對發酵管產生的氣體量有何影響？

## 【研究構想】：

在探究課程中，同學們發現兩組有關糖的實驗結果竟然相反，推測可能原因在不同種類糖的發酵時間中有些差異，因此以下採用發酵管進行酵母菌對食糖相關的研究。

## 【實驗步驟】：

1. 取 20mL，水溫 28 ° C 的水。
2. 分別利用電子秤出 1.5g 的「中顆粒」冰糖、黑糖、葡萄糖、蔗糖，加入裝有 20mL 水的燒杯中，攪拌至溶解。
3. 利用電子秤出 0.5g 的酵母菌，加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
4. 將燒杯中的液體注入發酵管內，注入的容量為彎管處的 1/2，使直管內沒有氣泡，管口用棉花塞好。
5. 記錄匯集在直管刻度管頂部氣體的液面，計算出氣體體積。
6. 每個實驗重複 5 次，利用表格記錄平均結果，並畫成統計圖。

## 【研究發現】：

1. 在 60 分鐘內，發酵管總產氣量依序為黑糖 > 果寡糖 > 蔗糖 > 冰糖 > 果糖 > 葡萄糖。
2. 蔗糖、果寡糖在第 30 分鐘開始發酵產氣量降低。
3. 果糖在第 20 分鐘，產氣量開始降低。
4. 黑糖產氣量大，氣體變化量不穩定。
5. 結果如表 10.11、圖 12.13。

表 10：不同種類的糖累積氣體量比較表

種類時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
葡萄糖	0.00	0.47	0.87	1.67	2.43	3.27	4.10	4.77	5.27	5.83	6.43	6.97
果糖	0.00	0.17	0.77	1.73	2.57	3.40	4.27	4.83	5.40	5.87	6.27	6.87
果寡糖	0.00	0.17	1.13	1.80	2.60	3.63	4.77	5.73	6.93	7.43	8.37	8.60
蔗糖	0.00	0.60	1.27	2.20	2.97	4.13	5.30	6.07	7.13	7.57	8.03	8.20
冰糖	0.00	0.63	1.63	2.27	2.90	3.57	4.23	4.87	5.63	6.07	6.67	7.13
黑糖	0.00	0.33	1.10	1.77	2.90	4.17	5.13	6.67	7.83	8.50	9.10	9.83

表 11：不同種類的糖平均氣體量變化表

種類時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
葡萄糖	0.00	0.47	0.40	0.80	0.77	0.83	0.83	0.67	0.50	0.57	0.60	0.53
果糖	0.00	0.17	0.60	0.97	0.83	0.83	0.87	0.57	0.57	0.47	0.40	0.60
果寡糖	0.00	0.17	0.97	0.67	0.80	1.03	1.13	0.97	1.20	0.50	0.93	0.23
蔗糖	0.00	0.60	0.67	0.93	0.77	1.17	1.17	0.77	1.07	0.43	0.47	0.17
冰糖	0.00	0.63	1.00	0.63	0.63	0.67	0.67	0.63	0.77	0.43	0.60	0.47
黑糖	0.00	0.33	0.77	0.67	1.13	1.27	0.97	1.53	1.17	0.67	0.60	0.73

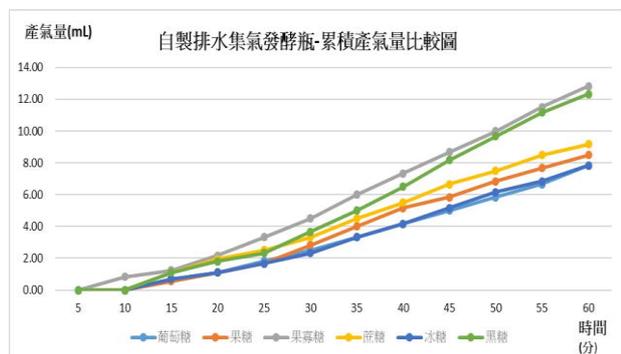


圖 12：不同種類的糖累積氣體量比較圖

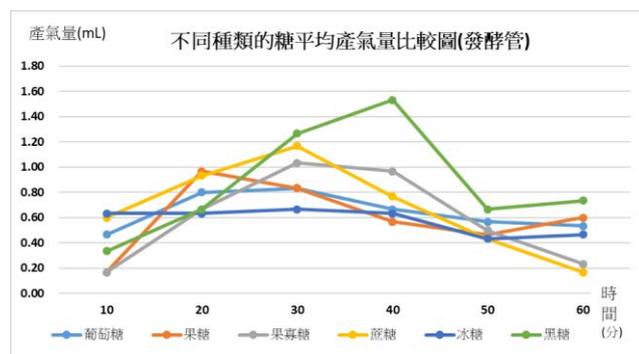


圖 13：不同種類的糖平均氣體量變化圖

## 【實驗結果與討論】

根據文獻，以蔗糖為主要成分的食糖中，冰糖純度為 99.9%，黑糖為 89%，發酵產氣量中，黑糖較冰糖多，查閱購買黑糖的成分表含有蔗糖和糖蜜，成分有混雜的情形，推測糖蜜對發酵產氣情形有影響。

## 研究 3-2: 不同種類的食糖, 對自製 U 型與 G 型發酵管產生的氣體量有何影響?

### 【實驗步驟】:

1. 準備研究 2-1 的 U 型發酵管與 G 型發酵管實驗裝置。
2. 取 20mL, 水溫 28 ° C 的水。
3. 利用電子秤出 1.5g 的蔗糖, 加入裝有 20mL 水的燒杯中, 攪拌至溶解。
4. 利用電子秤出 0.5g 的酵母菌, 加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
5. 將燒杯中的液體注入 U 型透明塑膠軟管內。
6. 重複步驟 4-6, 將燒杯中的液體注入 G 型透明塑膠軟管內。
7. 記錄匯集在兩側刻度管頂部氣體的液面, 計算出氣體體積。
8. 實驗重複 5 次, 利用表格記錄平均結果, 並畫成統計圖。

### 【研究發現】:

1. 在 60 分鐘內, U 型發酵管總產氣量依序為果寡糖 > 黑糖 > 蔗糖 > 冰糖 > 葡萄糖 > 果糖。
2. 在 60 分鐘內, G 型發酵管總產氣量依序為黑糖 > 蔗糖 > 果寡糖 > 冰糖 > 果糖 > 葡萄糖。
3. 果寡糖屬於 3-10 個分子的多醣, 有甜味但熱量沒那麼高, 在發酵產氣量屬於較多的。
4. 酵母菌在發酵的糖解作用過程中, 會將雙醣轉變成葡萄糖和果糖, 產氣量居中。
5. 單醣類的葡萄糖和果糖在 10-15 分鐘就有發酵情形, 但總產氣量較少。
6. 結果如表 12.13.14、圖 14。

表 12: 不同種類的糖對自製 U 型管發酵產氣量的比較表

種類/時間(分)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	總計
葡萄糖	有封口	0.00	0.00	0.53	1.20	1.88	2.37	2.78	2.90	3.18	3.45	3.45	3.49	6.86
	無封口	0.00	0.00	0.43	1.37	1.92	2.37	2.71	3.00	3.08	3.18	3.37	3.37	
果糖	有封口	0.00	0.29	2.17	2.91	3.37	3.09	3.26	3.49	2.91	2.86	2.97	2.86	5.77
	無封口	0.00	0.34	2.29	3.71	4.17	3.14	3.03	3.20	2.97	2.91	2.91	2.91	
果寡糖	有封口	0.00	0.00	0.80	1.35	1.88	2.67	3.08	3.96	4.31	4.53	3.84	4.98	10.27
	無封口	0.00	0.00	0.82	1.67	2.41	3.04	3.57	4.10	4.63	4.92	5.08	5.29	
蔗糖	有封口	0.00	0.20	0.82	1.33	2.04	2.65	3.06	3.22	3.33	3.43	3.55	3.55	7.59
	無封口	0.00	0.24	0.96	1.63	2.14	2.71	3.25	3.41	3.63	3.78	3.96	4.04	
冰糖	有封口	0.00	0.02	0.20	0.84	1.20	1.88	1.65	2.41	2.94	3.14	3.43	3.39	7.41
	無封口	0.00	0.00	0.20	0.88	1.49	2.12	2.37	2.86	3.02	3.57	4.02	4.02	
黑糖	有封口	0.00	0.16	0.94	1.78	2.73	2.67	3.57	4.14	4.51	4.71	4.71	4.78	9.78
	無封口	0.00	0.24	0.90	1.80	2.69	3.35	3.65	3.98	4.55	4.92	4.92	5.00	

表 13: 不同種類的糖對自製 G 型管發酵產氣量的比較表

種類/時間(分)		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	總計
葡萄糖	有封口	0.00	0.20	0.49	0.92	1.39	1.82	1.76	1.94	2.69	3.04	2.84	3.31	6.88
	無封口	0.00	0.10	0.45	0.98	1.49	1.88	2.29	2.71	3.02	3.22	3.63	3.57	
果糖	有封口	0.00	0.29	1.60	3.43	3.31	3.43	3.43	3.43	3.43	3.31	3.31	3.31	6.97
	無封口	0.00	0.23	1.77	3.60	3.71	3.71	3.71	3.54	3.77	3.66	3.66	3.66	
果寡糖	有封口	0.00	0.00	0.43	1.16	1.93	2.66	2.57	3.25	3.52	4.04	3.89	4.35	8.33
	無封口	0.00	0.00	0.46	1.19	2.02	2.63	3.06	3.37	3.58	3.58	3.58	3.98	
蔗糖	有封口	0.00	0.12	1.04	1.96	2.73	3.27	3.67	3.90	3.90	4.20	4.27	4.27	8.96
	無封口	0.00	0.12	1.00	1.94	2.67	3.53	4.08	4.14	4.14	4.49	4.69	4.69	
冰糖	有封口	0.00	0.00	0.34	0.80	1.41	2.11	2.48	2.20	2.72	3.15	3.46	3.77	7.35
	無封口	0.00	0.00	0.31	0.83	1.53	1.93	2.45	2.79	2.79	3.31	3.58	3.58	
黑糖	有封口	0.00	0.12	0.78	1.20	1.65	2.27	2.65	3.20	3.88	4.18	4.76	4.98	10.45
	無封口	0.00	0.22	0.92	1.63	2.16	2.55	3.29	3.92	4.59	4.78	5.18	5.47	

表 14: 不同種類的糖對自製發酵管與市售發酵管產氣量的比較表

種類/類型	G型發酵管	U型發酵管	發酵管
葡萄糖	6.88	6.97	6.86
果糖	6.97	6.87	5.77
果寡糖	8.33	8.6	10.27
蔗糖	8.96	8.2	7.59
冰糖	7.35	7.13	7.41
黑糖	10.45	9.83	9.78

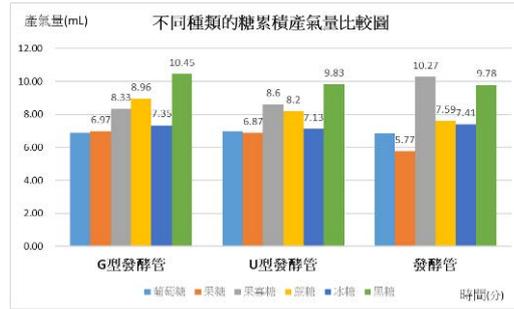


圖 14: 不同種類的糖對自製發酵管與市售發酵管產氣量的比較圖

### 【實驗結果與討論】

1. 不同種類的糖，在自製發酵管與市售發酵管的產氣量趨勢大致相似。
2. 果寡糖在市售發酵管的產氣量明顯增加。

### 研究 3-3：不同種類的食糖，對自製排水集氣發酵瓶產生的氣體量有何影響？

#### 【實驗步驟】：

1. 準備研究 2-4 的排水集氣發酵實驗裝置。
2. 取 20mL，水溫 28 ° C 的水。
3. 利用電子秤出 1.5g 的蔗糖，加入裝有 20mL 水的燒杯中，攪拌至溶解。
4. 利用電子秤出 0.5g 的酵母菌，加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
5. 將燒杯中的液體注入小空瓶內，扣上可彎軟管，另一端放入裝滿水的量筒中，
6. 每 5 分鐘記錄量筒的刻度。
7. 重複步驟 2-6，依序將冰糖、黑糖、葡萄糖進行實驗。
8. 每個實驗重複 5 次，利用表格記錄結果、算出平均數，並畫成統計圖。

#### 【研究發現】：

1. 各種食糖在 15 分鐘內開始發酵。黑糖產氣量上升快，在 50 分鐘開始下降。
2. 排水集氣發酵瓶產氣量依序為黑糖 > 果寡糖 > 蔗糖 > 冰糖 = 葡萄糖，與研究 1-2 發酵管的產氣量：黑糖 > 蔗糖 > 冰糖 > 葡萄糖，結果相近。
3. 結果如表 15.16、圖 15.16。

表 15：不同種類的糖-排水集氣發酵瓶累積氣體量比較表

種類時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
葡萄糖	0.00	0.47	0.87	1.67	2.43	3.27	4.10	4.77	5.27	5.83	6.43	6.97
果糖	0.00	0.17	0.77	1.73	2.57	3.40	4.27	4.83	5.40	5.87	6.27	6.87
果寡糖	0.00	0.17	1.13	1.80	2.60	3.63	4.77	5.73	6.93	7.43	8.37	8.60
蔗糖	0.00	0.60	1.27	2.20	2.97	4.13	5.30	6.07	7.13	7.57	8.03	8.20
冰糖	0.00	0.63	1.63	2.27	2.90	3.57	4.23	4.87	5.63	6.07	6.67	7.13
黑糖	0.00	0.33	1.10	1.77	2.90	4.17	5.13	6.67	7.83	8.50	9.10	9.83

表 16：不同種類的糖-排水集氣發酵瓶平均氣體量變化表

種類時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
葡萄糖	0.00	0.47	0.40	0.80	0.77	0.83	0.83	0.67	0.50	0.57	0.60	0.53
果糖	0.00	0.17	0.60	0.97	0.83	0.83	0.87	0.57	0.57	0.47	0.40	0.60
果寡糖	0.00	0.17	0.97	0.67	0.80	1.03	1.13	0.97	1.20	0.50	0.93	0.23
蔗糖	0.00	0.60	0.67	0.93	0.77	1.17	1.17	0.77	1.07	0.43	0.47	0.17
冰糖	0.00	0.63	1.00	0.63	0.63	0.67	0.67	0.63	0.77	0.43	0.60	0.47
黑糖	0.00	0.33	0.77	0.67	1.13	1.27	0.97	1.53	1.17	0.67	0.60	0.73

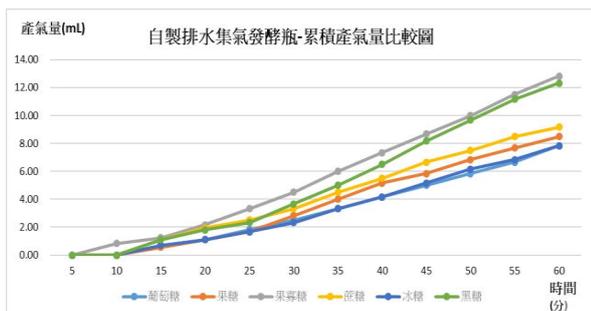


圖 15：不同種類的糖-排水集氣發酵瓶累積氣體量比較圖

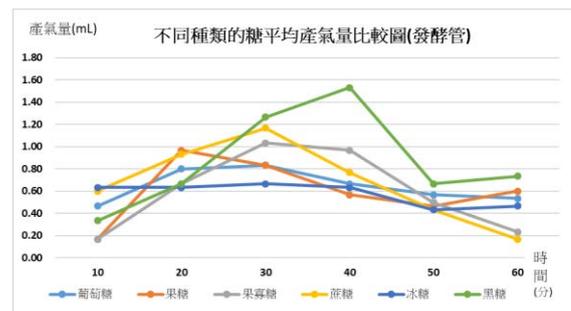


圖 16：不同種類的糖-排水集氣發酵瓶平均氣體量變化圖

## 目的四、不同濃度的食糖研究

### 研究 4-1：不同濃度的食糖，對發酵管產生的氣體量有何影響？

#### 【研究構想】：

在不同種類糖的產氣量實驗中，我們發現在 60 分鐘內蔗糖雖然產氣量不是最高的，但是在 20~60 分鐘之間，氣體的產出量很穩定，因此用蔗糖進行不同比例的實驗，希望能了解是不是糖愈多，酵母菌的產氣量會愈多。

#### 【實驗步驟】：

1. 取 20mL，水溫 28 ° C 的水。
2. 將燒杯放在電子秤上扣重，分別秤出 2g 的「中顆粒」冰糖、黑糖、葡萄糖、蔗糖，再將水加入燒杯至 20g，攪拌至溶解，為濃度 10% 的糖水溶液。
3. 利用電子秤出 0.5g 的酵母菌，加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
4. 將燒杯中的液體注入發酵管內，注入的容量為彎管處的 1/2，使直管內沒有氣泡，管口用棉花塞好。
5. 記錄匯集在直管刻度管頂部氣體的液面，計算出氣體體積。
6. 重複步驟 2-5，分別將糖改為 4g、6g、8g 進行實驗。
7. 每個實驗重複 5 次，利用表格記錄平均結果，並畫成統計圖。

#### 【研究發現】：

1. 60 分鐘內，在濃度 20%、30% 的時候，發酵產氣量較多。濃度 40% 發酵產氣量較少。
2. 各種濃度的蔗糖在 10 分鐘開始產氣量增加，在 45 分鐘開始產氣量減少。
3. 濃度 20%、30% 的糖，在第 30-40 分鐘開始，有二次發酵的情形。
4. 結果如表 17.18、圖 17.18。

表 17：不同濃度的糖-發酵管累積氣體量比較表

濃度時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
濃度10%	0.00	0.34	0.78	1.64	2.46	3.44	4.26	5.26	6.20	6.82	8.26	8.60
濃度20%	0.00	1.16	2.32	3.52	4.96	6.60	8.02	8.54	8.66	8.88	9.00	9.20
濃度30%	0.14	1.36	2.04	2.78	3.80	5.04	6.22	7.90	8.40	8.66	8.78	9.08
濃度40%	0.16	0.30	1.32	1.74	1.98	2.60	2.96	3.84	4.02	4.94	5.82	6.34

表 18：不同濃度的糖-發酵管平均氣體量變化表

濃度時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
濃度10%	0.00	0.34	0.44	0.86	0.82	0.98	0.82	1.00	0.94	0.62	1.44	0.34
濃度20%	0.00	1.16	1.16	1.20	1.44	1.64	1.42	0.52	0.12	0.22	0.12	0.20
濃度30%	0.14	1.22	0.68	0.74	1.02	1.24	1.18	1.68	0.50	0.26	0.12	0.30
濃度40%	0.16	0.14	1.02	0.42	0.24	0.62	0.36	0.88	0.18	0.92	0.88	0.52

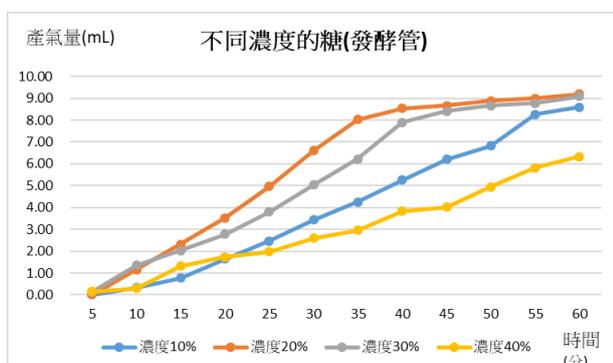


圖 17：不同濃度的糖-發酵管累積氣體量比較圖

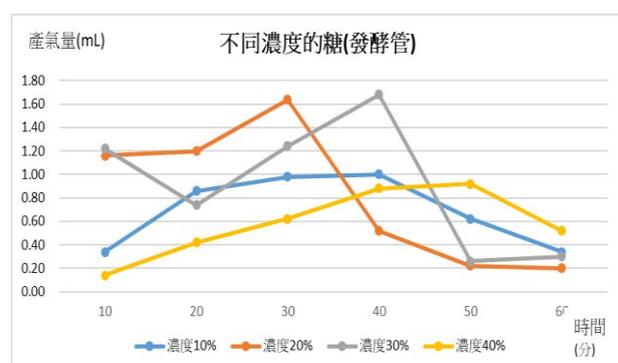


圖 18：不同濃度的糖-發酵管平均氣體量變化圖

## 【實驗結果與討論】

1. 蔗糖的濃度在 30%以下，在 60 分鐘內產氣量高於濃度 40% 的糖，因此可得知，並不是糖濃度愈高，發酵就會愈好。
2. 蔗糖的濃度在 40%以上，產氣量不多，一開始以為酵母菌是被「甜死」了，但從實驗得知持續產氣，直到 55 分鐘才開始有下降的趨勢，看起來還不是甜的盡頭。

## 研究 4-2: 不同濃度的食糖，對自製 U 型與 G 型發酵管產生的氣體量有何影響？

### 【實驗步驟】：

1. 準備研究 2-1 的 U 型發酵管與 G 型發酵管實驗裝置。
2. 取 20mL，水溫 28 ° C 的水。
3. 將燒杯放在電子秤上扣重，分別秤出 2g 的「中顆粒」冰糖、黑糖、葡萄糖、蔗糖，再將水加入燒杯至 20g，攪拌至溶解，為濃度 10% 的糖水溶液。
4. 利用電子秤出 0.5g 的酵母菌，加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
5. 將燒杯中的液體注入 U 型透明塑膠軟管內。
6. 重複步驟 2-5，分別將糖改為 4g、6g、8g 進行實驗。
7. 記錄匯集在兩側刻度管頂部氣體的液面，計算出氣體體積。
8. 重複步驟 4-6，將燒杯中的液體注入 G 型透明塑膠軟管內。
9. 實驗重複 5 次，利用表格記錄平均結果，並畫成統計圖。

### 【研究發現】：

1. 60 分鐘內，濃度低(10%)發酵產氣量較好，濃度高反而較低。
2. 自製發酵管，在濃度高(40%)的情況下，有封口的一端比無封口的一端產氣量多。
3. 濃度高產氣時間較慢，累積產氣量也較少。
4. G 型發酵管左右兩側的產氣量合起來，接近市售發酵管所測量的數據。
5. 結果如表 19.20。

表 19: 不同濃度的糖對自製 U 型管發酵產氣量的比較表

濃度/時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	總計
濃度10% 有封口	0.00	0.20	1.38	2.76	3.94	5.10	5.36	5.36	5.68	5.68	5.68	5.68	12.12
無封口	0.00	0.40	1.48	2.98	3.86	4.62	5.72	5.78	6.10	6.38	6.44	6.44	
濃度20% 有封口	0.00	0.32	1.06	2.76	3.48	3.92	4.32	4.32	4.56	5.00	5.00	4.56	9.94
無封口	0.00	0.34	1.62	3.32	4.52	4.80	5.08	5.14	5.38	5.66	5.66	5.38	
濃度30% 有封口	0.00	0.30	1.18	1.96	3.06	3.78	4.24	4.74	4.74	4.74	4.74	4.74	9.64
無封口	0.00	0.32	0.96	2.40	3.10	4.28	4.68	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90	
濃度40% 有封口	0.00	0.06	0.72	1.22	1.64	2.88	3.60	3.92	4.26	4.50	4.86	5.20	9.00
無封口	0.00	0.06	0.20	0.58	1.06	1.58	2.32	2.64	2.92	3.22	3.42	3.80	

表 20: 不同濃度的糖對自製 G 型管發酵產氣量的比較表

濃度/時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	總計
濃度10% 有封口	0.00	0.56	2.16	3.86	4.90	5.40	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	11.80
無封口	0.00	0.56	2.38	4.24	4.80	5.70	6.00	6.20	6.20	6.20	6.20	6.20	
濃度20% 有封口	0.00	0.46	1.52	2.86	3.16	3.50	4.08	4.24	4.28	4.28	4.24	4.24	8.58
無封口	0.00	0.46	1.44	3.36	3.72	3.84	3.86	3.98	4.24	4.24	4.34	4.34	
濃度30% 有封口	0.00	0.42	1.26	2.52	3.60	4.36	4.62	4.62	4.70	4.70	4.70	4.70	9.00
無封口	0.00	0.36	0.90	2.12	3.22	3.68	4.20	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	
濃度40% 有封口	0.00	0.02	0.22	0.86	1.56	2.24	2.90	3.70	3.88	4.34	4.62	4.66	7.34
無封口	0.00	0.02	0.18	0.40	0.86	1.30	1.54	2.32	2.24	2.52	2.68	2.68	

## 研究 4-3：不同濃度的食糖，對自製排水集氣發酵瓶產生的氣體量有何影響？

### 【實驗步驟】：

1. 準備研究 2-4 的排水集氣發酵實驗裝置。
2. 取 20mL，水溫 28 ° C 的水。
3. 將燒杯放在電子秤上扣重，分別秤出 2g 的「中顆粒」冰糖、黑糖、葡萄糖、蔗糖，再將水加入燒杯至 20g，攪拌至溶解，為濃度 10% 的糖水溶液。
4. 利用電子秤出 0.5g 的酵母菌，加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
5. 將燒杯中的液體注入小空瓶內，扣上可彎軟管，另一端放入裝滿水的量筒中，每 5 分鐘記錄量筒的刻度。
6. 重複步驟 2-5，分別將糖改為 4g、6g、8g 進行實驗。
7. 每個實驗重複 5 次，利用表格記錄結果、算出平均數，並畫成統計圖。

### 【研究發現】：

1. 60 分鐘內，在濃度低(10% .20% )，發酵情形較好。濃度 40% 發酵產氣量較差。
2. 低濃度的蔗糖在 10 分鐘開始產氣量增加，高濃度(30% .40% )則在 15 分鐘開始有產氣量。
3. 濃度 20% 、40% 的糖，在第 30 分鐘開始，有二次發酵的情形。
4. 結果如表 21.22、圖 19.20。

表 21：不同種類的糖-排水集氣發酵瓶累積氣體量比較表

濃度時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
濃度10%	0.00	0.58	1.10	2.10	3.35	4.50	5.80	7.00	8.15	9.35	10.15	11.09
濃度20%	0.00	0.21	0.93	1.85	2.70	3.55	4.65	5.70	6.75	7.95	9.63	10.95
濃度30%	0.00	0.00	0.50	0.88	1.35	1.90	2.65	3.35	4.05	4.80	5.65	6.20
濃度40%	0.00	0.00	0.16	0.54	1.00	1.30	1.75	2.30	2.75	3.25	3.75	4.30

表 22：不同種類的糖-排水集氣發酵瓶平均氣體量變化表

濃度時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
濃度10%	0.00	0.58	0.52	1.00	1.25	1.15	1.30	1.20	1.15	1.20	0.80	0.94
濃度20%	0.00	0.21	0.72	0.92	0.85	0.85	1.10	1.05	1.05	1.20	1.68	1.32
濃度30%	0.00	0.00	0.50	0.38	0.47	0.55	0.75	0.70	0.70	0.75	0.85	0.55
濃度40%	0.00	0.00	0.16	0.38	0.46	0.30	0.45	0.55	0.45	0.50	0.50	0.55

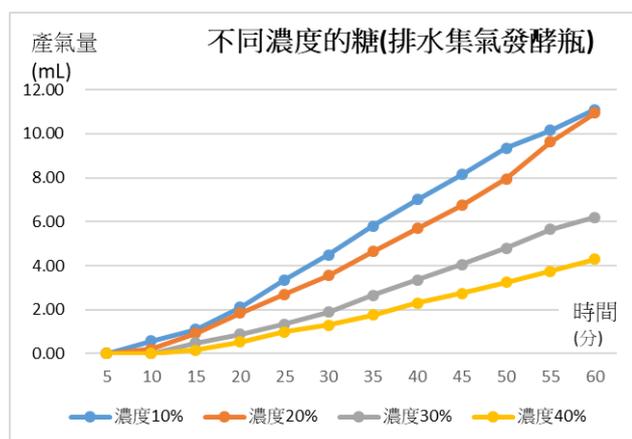


圖 19：不同種類的糖-排水集氣發酵瓶累積氣體量比較圖

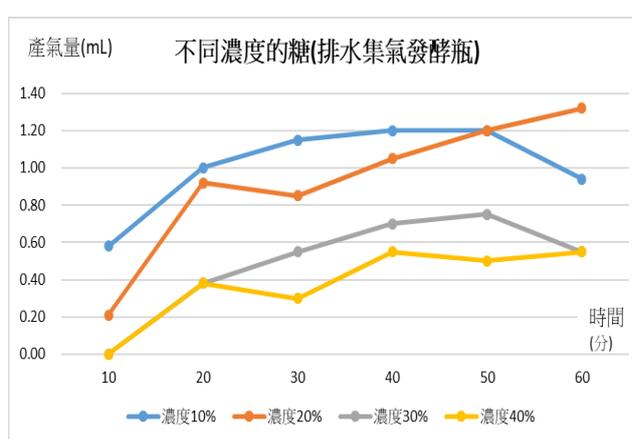


圖 20：不同種類的糖-排水集氣發酵瓶平均氣體量變化圖

### 【實驗結果與討論】

根據以上三種不同發酵裝置的驗證，濃度較低的糖，發酵產氣量較多、發酵時間較早；濃度較高的糖，發酵產氣量較少、發酵時間較慢。

## 目的五、不同濃度的麵粉研究

### 研究 5-1：不同比例的糖、鹽、麵粉，對發酵產生的氣體量有何影響？

#### 【研究構想】：

在《烹飪的科學》(斯圖亞特·法里蒙，2020)一書中，我們了解到製作糕餅的基本原料，主要是糖、鹽、麵粉，因此想了解這些原料是否都會與酵母菌發生反應。

#### 【實驗步驟】：

1. 準備 20ml 塑膠點滴瓶、可彎吸管、錐形瓶。
2. 取 5ml，水溫 28°C 的水。
3. 利用電子秤分別秤出 0.375g、0.75g、1.5g 的蔗糖，分別加入 3 個裝有 5ml 水的燒杯中，攪拌至溶解。
4. 利用電子秤秤出 0.5g 的酵母菌三份，分別加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
5. 將燒杯中的液體注入塑膠點滴瓶內，管口接上可彎吸管，另一端放入裝水的錐形瓶中。
6. 紀錄從錐形瓶一端吸管口冒出的氣泡數量。
7. 分別秤出 0.375g、0.75g、1.5g 的麵粉、0.375g、0.75g、1.5g 的鹽，重複步驟 3-5。
8. 利用表格記錄結果，並畫成統計圖。



#### 【研究發現】：

1. 在 30 分鐘內，蔗糖 0.75g 產氣量最佳。
2. 在 30 分鐘內，鹽、麵粉沒有氣泡產生。
3. 結果如表 23、圖 21。

表 23:不同比例的糖、鹽及麵粉，對發酵氣泡數的比較表

類別	時間(分)	5	10	15	20	25	30	總計
糖0.375g		0	14	16	14	5	8	57
糖0.75g		0	4	16	16	17	17	70
糖1.5g		0	3	14	14	13	12	56
鹽0.375g		0	0	0	0	0	0	0
鹽0.75g		0	0	0	0	0	0	0
鹽1.5g		0	0	0	0	0	0	0
麵粉0.375g		0	0	0	0	0	0	0
麵粉0.75g		0	0	0	0	0	0	0
麵粉1.5g		0	0	0	0	0	0	0

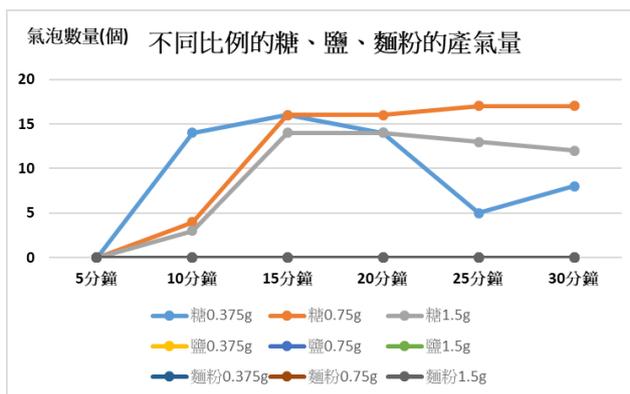


圖 21: 不同比例的糖、鹽及麵粉，對發酵氣泡數的比較圖

#### 【實驗結果與討論】

麵粉是由硬質小麥研磨製成，小麥粒含有澱粉質，屬於多醣，可作為儲存養分的物質。但在實驗中卻沒有氣泡產生，讓我們感到疑惑，於是我們採取二個方式：

1. 拉長發酵時間：靜置18小時，查看水中是否有氣泡，或是變混濁，結果沒有反應。

- 提高澱粉的比例：增加麵粉比例為2.25g、3g、3.75g，結果在30分鐘後出現氣泡，這讓我們很興奮，於是展開另一個實驗。

## 研究 5-2：不同濃度的麵粉，對發酵產生的氣體量有何影響？

### 【研究構想】：

我們先測試鹽與酵母菌，結果發現不管濃度多少，都沒有產氣量，但鹽的濃度過高，尚未加入酵母菌之前，鹽水溶液中就有微量氣泡產生，可見並非酵母菌作用而有產氣量。麵粉屬於多醣，推測應該會有產氣量，因此我們進行以下實驗。

### 【實驗步驟】：

- 取 20mL，水溫 28 ° C 的水。
- 將燒杯放在電子秤上扣重，分別秤出 2g 的中筋麵粉，再將水加入燒杯至 20g，攪拌至溶解，為濃度 10% 的糖水溶液。
- 利用電子秤出 0.5g 的酵母菌，加入步驟 2 的燒杯中攪拌。
- 將燒杯中的液體注入發酵管內，注入的容量為彎管處的 1/2，使直管內沒有氣泡，管口用棉花塞好。
- 記錄匯集在直管刻度管頂部氣體的液面，計算出氣體體積。
- 重複步驟 2-5，分別將麵粉改為 4g、6g、8g 進行實驗。
- 每個實驗重複 5 次，利用表格記錄平均結果，並畫成統計圖。

### 【研究發現】：

- 60 分鐘內，在濃度 30%、40% 的時候，發酵產氣量較多。濃度 10% 發酵產氣量較少。
- 高濃度的麵粉在 25 分鐘開始產生氣體，低濃度在 30-35 分鐘開始有產氣量。
- 濃度 30%、40% 的麵粉，在第 30-50 分鐘開始，有二次發酵的情形。
- 結果如表 24.25、圖 22.23。

表 24：不同濃度的麵粉-發酵管累積氣體量比較表

濃度\時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
濃度10%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.12	0.12	0.14	0.18	0.20
濃度20%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.16	0.20	0.28	0.30	0.36	0.42
濃度30%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.84	0.88	0.96	1.00	1.06	1.12	1.18
濃度40%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.40	0.66	0.76	0.76

表 25：不同濃度的麵粉-發酵管平均氣體量變化表

濃度\時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
濃度10%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.08	0.00	0.02	0.04	0.02
濃度20%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.10	0.04	0.08	0.02	0.06	0.06
濃度30%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.20	0.04	0.08	0.04	0.06	0.06	0.06
濃度40%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.38	0.26	0.10	0.00

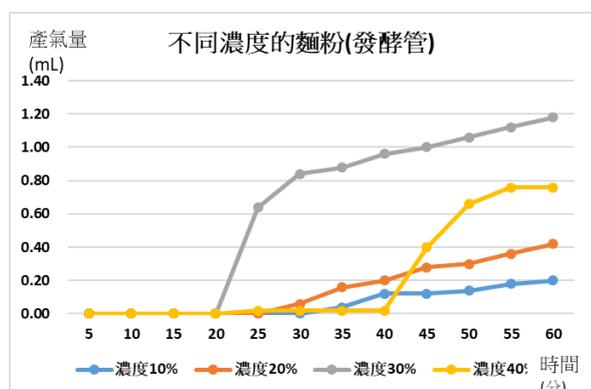


圖 22：不同濃度的麵粉-發酵管累積氣體量比較圖

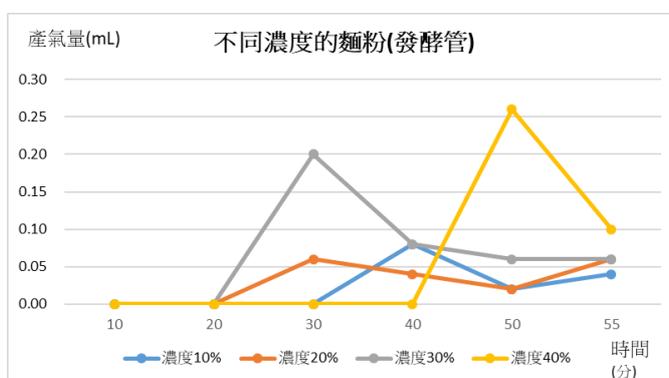
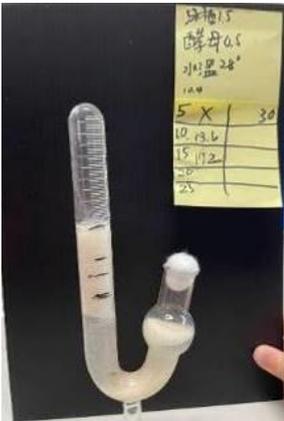


圖 23：不同濃度的麵粉-發酵管平均氣體量變化圖

## 肆、討論

### 一、 自製 U 型與 G 型發酵管，發酵產氣量與市售發酵管有何差異？

市售發酵管	自製 G 型發酵管	自製 U 型發酵管
		
<p>左側直管上方密封，刻度為 0 mL，下方為 20mL。將液體注入發酵管內，注入容量為彎管處的 1/2，使直管內沒有氣泡。</p>	<p>準備另一組支架，將軟管總長標記三等份，左側為 60cm、右側 30cm，最低點距離桌面 2.5cm，以絕緣膠帶固定塑膠軟管於支架上，一端塞上棉花並用絕緣膠帶纏繞以保持密閉。</p>	<p>準備一組支架，中心點對齊支架中央，左右兩側分別為 45cm 的軟管，中央距離桌面 2.5cm，以絕緣膠帶固定塑膠軟管於支架上，一端塞上棉花並用絕緣膠帶纏繞以保持密閉。</p>
<p>在下方形成「水封」的情況下，左側可以形成真空的管狀空間，隨著發酵而將氣體<b>往下推擠</b>。</p>	<p>在下方形成「水封」的情況下，左側可以形成真空的管狀空間，隨著發酵而將氣體<b>往上堆疊</b>。</p>	<p>在下方形成「水封」的情況下，左側可以形成真空的管狀空間，隨著發酵而將氣體<b>往上堆疊</b>。</p>

市面上的玻璃製發酵管的設計，單純測量左側的氣體量。自製的 G 型發酵管，將兩側的產氣量加總，所計算的產氣量與發酵管出口未塞棉花的數據相似，這些器材方便取得，可以讓老師作為課堂上探究教學使用。U 型發酵管會有 3ml 的誤差，推測是右側的空間較大，實驗一開始的空氣排出量較少。

### 二、 不同比例的糖，對發酵產生的氣體量有何影響？

#### (一) 糖的顆粒大小

在實驗中發現，黑糖與葡萄糖的顆粒大小均勻、看起來分子較小，酵母菌非常微小，因此些微糖粒的大小，都會影響分子接觸的表面積，為求實驗精準，我們準備了

研鉢，再用 30 目、60 目的篩網，將糖粒區分為細.中.粗，讓糖粒分子一致，以減少誤差。過篩後才發現看似均勻的葡萄糖、黑糖，依然可以區分出細.中.粗，黑糖接觸空氣後，容易受潮產生黏性，黏在篩網上。

## (二) 糖的濃度差異

在不同濃度的糖實驗中，經過三種不同發酵裝置的驗證：濃度較低的糖，發酵產氣量較多、發酵時間較早；濃度較高的糖，發酵產氣量較少、發酵時間較慢。

低濃度的蔗糖在 10 分鐘開始產氣量增加，但在 40 分鐘後產氣量開始減少，推論是糖粒的能量快要消耗完畢。高濃度(30% .40% )則在 15 分鐘開始有產氣量。濃度高的糖，30 分鐘內的產氣量較低，但在 50 分鐘開始，有二次發酵的情形，可推知當濃度太高時，一開始是在將糖分子進行分解，之後才會進行發酵。這個也可能是造成課堂上，與同學實驗結果有誤差的原因之一，些許濃度不同，就會與同學的實驗有不同的結果。



濃度10% 的糖



濃度20% 的糖



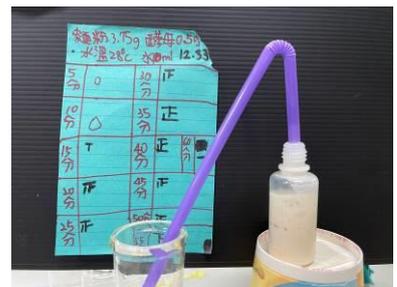
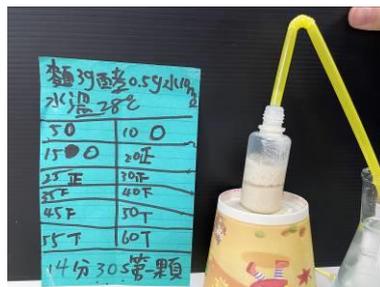
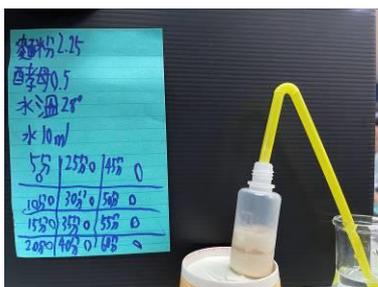
濃度30% 的糖



濃度40% 的糖

### 三、不同比例的麵粉，對發酵產生的氣體量有何影響？

在【研究 5-1】中，麵粉 3g 的比例中，20 分鐘開始產生氣體，30 分鐘後產氣量開始下降；濃度較高的麵粉，則是 15 分鐘開始產生氣體，45 分鐘後產氣量開始下降。麵粉的量 3g，在蔗糖 0.3g 的比例差異大約是 10 倍，就可以在 15 分鐘都開始產生氣體；麵粉發酵時，上方產生氣泡，下方有混濁的沉澱物。



在【研究 5-2】中，麵粉屬於多醣，酵母菌會先進行醣解作用，將其分解為葡萄糖和果糖，因此 20 分鐘內尚無反應。60 分鐘內，在濃度 30%、40% 的時候，發酵產氣量較多，在第 30-50 分鐘開始，有二次發酵的情形。

在產氣過程中，所產生的澱粉液具有黏稠性，因此產生的氣體會被包在膜裡面，形成大型的泡泡。因此，在製作麵包所產生的孔洞，除了糖為主要原因之外，麵粉也具有影響力。

## 伍、結論

### 一、使用市售發酵管測量酵母菌的產氣量

1. 在 60 分鐘的實驗過程中，設定在冷氣房中控制溫度，環境溫度對水和發酵液溫度差異在 2° C，變化不大。
2. 冰糖、黑糖、葡萄糖中顆粒的產氣量都比細顆粒的產氣量大，蔗糖中顆粒和細顆粒的發酵總產氣量最接近。
3. 在 60 分鐘內，無封口發酵管的產氣量比有封口發酵多。有封口發酵的產氣量在前 25 分鐘不穩定。

### 二、自製發酵管測量酵母菌的產氣量。

1. 自製 U 型與 G 型發酵管，U 型發酵管左右兩側數值較為平均，但總產量比發酵管少 3mL。G 型發酵管左側(密封.較高的一端)，產氣量較右側(有氧.較低)的一端多，兩側的產氣量加總，接近市售發酵管所測量的數據。
2. 無論有無封口，所測量的發酵產氣量穩定度為：G 型發酵管 > U 型發酵管 > 市售發酵管。
3. 自製排水集氣發酵瓶與市售發酵瓶累積氣體量，在 30 分鐘內大致相同。在 60 分鐘內，排水集氣發酵瓶較市售發酵瓶多了 1mL 產氣量。

### 三、不同種類的食糖研究

1. 在 60 分鐘內，發酵管總產氣量依序為黑糖 > 果寡糖 > 蔗糖 > 冰糖 > 果糖 > 葡萄糖。
2. 在 60 分鐘內，U 型發酵管總產氣量依序為果寡糖 > 黑糖 > 蔗糖 > 冰糖 > 葡萄糖 > 果糖。
3. 在 60 分鐘內，G 型發酵管總產氣量依序為黑糖 > 蔗糖 > 果寡糖 > 冰糖 > 果糖 > 葡萄糖。
4. 在 60 分鐘內，排水集氣發酵瓶產氣量依序為黑糖 > 果寡糖 > 蔗糖 > 冰糖 = 葡萄糖
5. 果寡糖屬於 3-10 個分子的多糖，有甜味但熱量沒那麼高，在發酵產氣量屬於較多的。酵母菌在發酵的糖解作用過程中，會將雙糖轉變為葡萄糖和果糖，產氣量居中。單糖類的葡萄糖和果糖在 10-15 分鐘就有發酵情形，但總產氣量較少。

#### 四、不同濃度的食糖研究

1. 不同濃度的食糖在發酵管中，濃度 20%、30% > 濃度 40% 的產氣量，濃度 20%、30% 的糖，在第 30-40 分鐘開始，有二次發酵的情形。
2. 自製 U 型與 G 型發酵管中，濃度 10% > 濃度 40% 的產氣量，濃度高產氣時間較慢，累積產氣量也較少。
3. 自製排水集氣發酵瓶，濃度 10%、20% > 濃度 40% 的產氣量，低濃度的蔗糖在 10 分鐘開始產氣量增加，高濃度(30%、40%)則在 15 分鐘開始有產氣量。
4. 經過三種不同發酵裝置的驗證，濃度較低的糖，發酵產氣量較多、發酵時間較早；濃度較高的糖，發酵產氣量較少、發酵時間較慢。

#### 五、不同濃度的麵粉研究

1. 60 分鐘內，不同濃度的麵粉在發酵管中，濃度 30%、40% > 濃度 10% 的產氣量。
2. 高濃度的麵粉在 25 分鐘開始產生氣體，低濃度在 30-35 分鐘開始有產氣量。
3. 濃度 30%、40% 的麵粉，在第 30-50 分鐘開始，有二次發酵的情形。

### 陸、相關參考資料

1. 吳聲華(2011-2012 年)。生物技術的尖兵-酵母菌簡介。國立自然科學博物館/ 數位典藏國家型科技計畫。取自 <http://digimuse.nmns.edu.tw/da/collections/bf/mt/ex/0b00000181e47967/>
2. fluff 烘焙志(201)。酵母無氧發酵與有氧發酵作用的解析。2022.01.19.取自 <https://kknews.cc/zh-tw/health/a4objjn.html>
3. 維基百科-食糖。2022.1.19 取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A3%9F%E7%B3%96>
4. 謝宜君(無日期)。如何進行引導式探究-以酵母菌的酵素與呼吸作用為例。科學探究 MIT 第 3 期\_生物科。取自 [https://www.ltedu.com.tw/Web/Upload/Upload\\_File/Source13/%e7%a7%91%e5%ad%b8%e6%8e%a2%e7%a9%b6MIT%e7%ac%ac3%e6%9c%9f\\_%e7%94%9f%e7%89%a9%e7%a7%91.pdf](https://www.ltedu.com.tw/Web/Upload/Upload_File/Source13/%e7%a7%91%e5%ad%b8%e6%8e%a2%e7%a9%b6MIT%e7%ac%ac3%e6%9c%9f_%e7%94%9f%e7%89%a9%e7%a7%91.pdf)
5. 斯圖亞特·法里蒙(2020)。烹飪的科學。新北市：楓葉社文化事業有限公司。

## 柒、研究心得

- 黃 00：經過這幾次有關於發酵的實驗，有時候會有一些失誤，那個實驗就要重新做，就會浪費很多時間，有了這一次的比賽，讓我和大家有不一樣的回憶。
- 何 00：經過這次科展活動，不僅學到了許多知識，也發生了許多有趣的事情，經過每次的實驗，發現酵母、糖、麵粉等…都非常細小，所以常常失誤灑出來，但如果實驗不準確就必須重做，雖然時常發生一些磕磕撞撞，也常常浪費時間，但大家開心的心情都是相同的。過程中，我們一起笑過，一起玩過，一起被罵過，一起失敗，但我們撐過了！那些挫折早已拋諸腦後，雖然有許多挫折，但也非常的有成就感，而且也非常有趣，再過不久，是個既緊張又興奮的日子了！科展比賽了，希望可以得到良好的成績，這段回憶也非常難以忘懷，也增進了成員的感情，我覺得這次的實驗好玩、值得！
- 邱 00：這次的探究教學活動，讓我了解到關於發酵的事情，幾個過程中有一些失誤，例如：在攪拌的時候，有些許的水灑出來，或是在進行實驗時，動到桌子，讓實驗結果很奇怪，所以我們就把實驗整個重做，但是只要我們每個人都團結力量的話，就一定可以把實驗做到最好、最棒。我非常喜歡參加這個活動，在這過程中有非常好笑、好玩的事情，再過一兩個禮拜就要比賽了，希望我們能贏得勝利，為校爭光。
- 邱 00：經過這次發酵的研究，讓我學到了很多。例如：如何製作發酵的實驗，有時會食物，就要重做，重做還要花費許多時間，例如：準備糖、鹽許多材料、量水溫等。
- 卓 00：透過酵母的發酵實驗，我發現實驗過程裡有些好玩，有些無聊，還有些爭議，但我們都努力去解決。我們發現，如果濃度太高，發酵的越慢，而且只要碰到正在實驗的東西，就要重新做過，所以每次都會很累，如果在測量公克的時候，沒有量精準的話，實驗結果就會不準，如果在倒的時候倒出來，實驗也不會精準，雖然經歷很多的時間，我們依然玩得很開心！
- 曾 00：在這裡我學到實驗要重複多次，取得平均數，才會比較有信度。實驗過程，大家都分工合作，我要謝謝老師。我在攪拌的過程中，了解到溶解的相關知識，如果過程中有失誤，就要重做，會浪費很多時間，所以為了避免失誤，大家都很謹慎且認真的關注每一個細節。

## 【評語】 080212

本作品在探討各式醣類分子對於酵母菌發酵的影響，嘗試了六種糖還有麵粉，對於觀察到的產氣速度不同也有提出可能的原因。實驗設計簡易測量產氣量的裝置，可以跟使用市售發酵管測量酵母菌的產氣量差不多，是一個很特別的裝置。實驗得到許多的數據，但是沒有解釋其原理。自製實驗裝置較為大，是否考慮縮小。應說明為何要探討實驗的變因，研究 1-2：不同粗細的食糖，最後不是都溶解於水中，那粗細的實驗目的為何？

## 作品簡報

# 美的冒泡~

## 酵母菌 與 糖 的邂逅

組 別：國小組

科 別：化學科

作品編號：080212



# 研究動機與目的

作品說明書p.1-2

- 探究課程，認識微生物及品嚐各種發酵食物，用發酵管探討發酵產氣量的實驗，在**糖比例的實驗**中，竟然與隔壁組**產生相反的實驗結果**，為何會有**這樣的差異**，引起我們的興趣。
- 我們**用生活中常見的食醣**，並選用經常加入麵包製作的單醣-葡萄糖.果糖、雙醣-蔗糖.冰糖.黑糖、多醣-果寡糖.澱粉，分別**以不同種類、濃度進行實驗**。

研究目的	研究問題	
1.市售發酵管測量產氣量	1-1環境溫度	1-2不同粗細食糖
2.自製發酵管測量產氣量	2-1自製發酵管	2-2比較有無封口
	2-3自製發酵瓶	2-4自製排水集氣
3.不同 <b>種類</b> 的食糖	3-1發酵管	3-2自製U型與G型發酵管
	3-3自製排水集氣	
4.不同 <b>濃度</b> 的食糖	4-1發酵管	4-2自製U型與G型發酵管
	4-3自製排水集氣	
5.不同濃度的麵粉	5-1不同比例的糖、鹽、麵粉	5-2不同濃度麵粉

# 文獻探討

作品說明書p.4

- **酵母菌的議題一直受到關注**，從11篇相關研究中，6篇提及糖的研究分析：多數是點數酵母菌數量，或測量高度進行產氣量的研究，**對食糖的著墨較少**。
- **聚焦在「醱類的發酵情形」、「實驗裝置的設計」**，並嘗試**設計生活中易取得，並能夠迅速測量產氣量的裝置**，讓食品製造者能進行應用。

名稱	研究目的	實驗裝置
第 42 屆農業科高職	酵母菌與碳水化合物的反應與研究	錐形瓶中培養、顯微鏡下觀察
第 45 屆國小自然科	酵母菌特性的研究	發酵管，觀察氣泡高度
第 48 屆國小生物及地球科學科	不同磁極磁場對酵母菌發酵作用的影響	錐型瓶、橡皮塞、空心玻璃管，觀察氣泡高度
第 54 屆國小化學	探討麵糰發酵與做出美味饅頭	針筒、麵團放置於量筒中，觀察麵團膨脹情形
第 57 屆國小化學	花酵母培養時的產氣量、氣泡數、花香味、淡酒味及沉澱物	密封罐培養，測量發酵後的氣泡高度
第 60 屆國中應科(二)	天然水果酵母與麵包黴菌的關聯性	密封罐中培養、顯微鏡下觀察

# 研究方法與結果

作品說明書p.7-8

## 環境溫度的控制

- 冷氣設定溫度 $25^{\circ}\text{C}$ 。
- 45分鐘與室溫達到平衡。
- 整個實驗過程，溫度差異在 $2^{\circ}\text{C}$ ，變化不大。



時間(分)	室溫( $^{\circ}\text{C}$ )	水溫( $^{\circ}\text{C}$ )	發酵液溫度( $^{\circ}\text{C}$ )
0	26.0	28.0	27.5
5	25.8	27.0	27.0
10	25.8	27.0	27.0
15	25.8	27.0	26.8
20	26.0	26.5	26.9
25	26.0	26.5	26.9
30	26.0	26.5	26.8
35	26.0	26.5	26.8
40	26.0	26.5	26.8
45	26.0	26.0	26.0
50	25.8	26.0	26.0
55	25.8	26.0	26.0
60	25.8	26.0	26.0
65	25.8	26.0	26.0

## 食糖顆粒大小一致性

- 以研鉢研磨。
- 分別以30目、60目篩網過濾。
- 將糖粒分為粗、中、細顆粒。



以研鉢研磨



分別以30目、60目篩網過濾



將糖粒分為粗、中、細顆粒

# 一、「市售發酵管」測量產氣量效果如何？

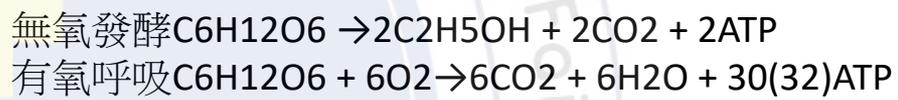
## 不同粗細食糖

- 冰糖、黑糖、葡萄糖中顆粒的產氣量都比細顆粒的產氣量大。
- 在60分鐘內，蔗糖中顆粒和細顆粒的發酵總產氣量最接近。

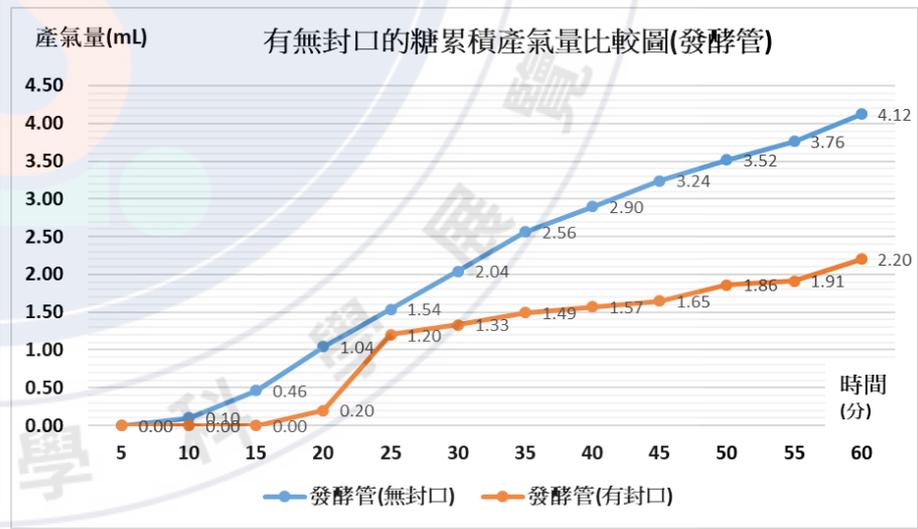
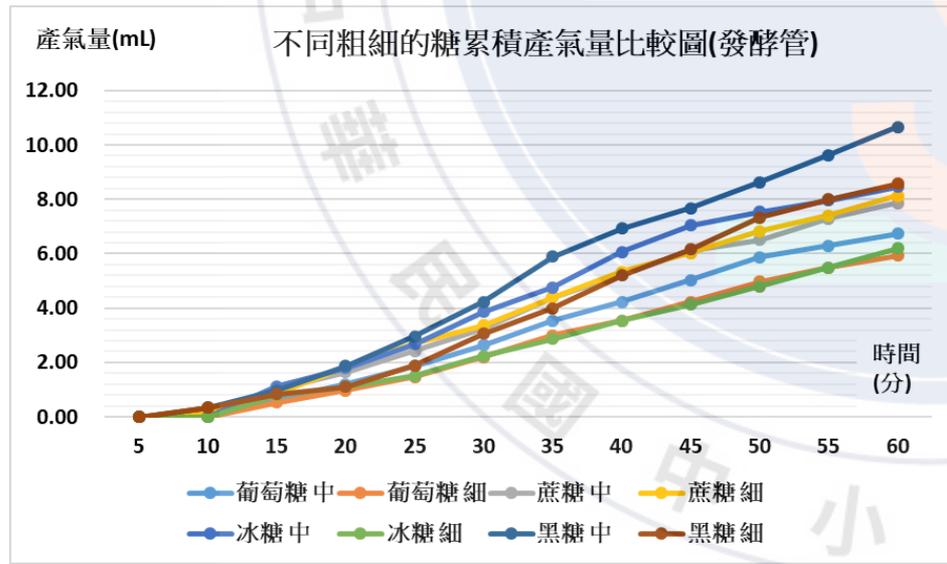


## 有無封口

- 發酵產氣量：無封口 > 有封口。
- 有封口發酵產氣量前25分鐘不穩定。



- 根據文獻無氧：有氧的產氣量約為 2 : 6 = 1 : 3，實驗結果為 2.2 : 4.12，約為 1 : 2。



## 二、「自製發酵管」測量產氣量效果如何？



市售發酵管

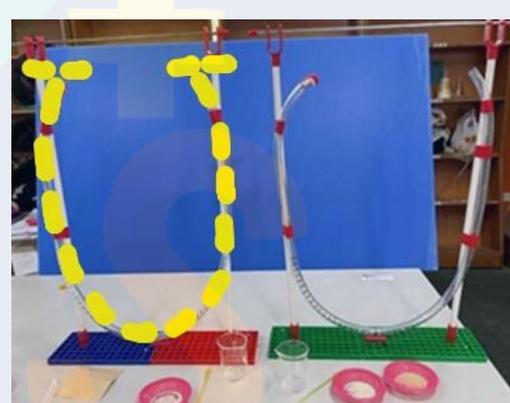
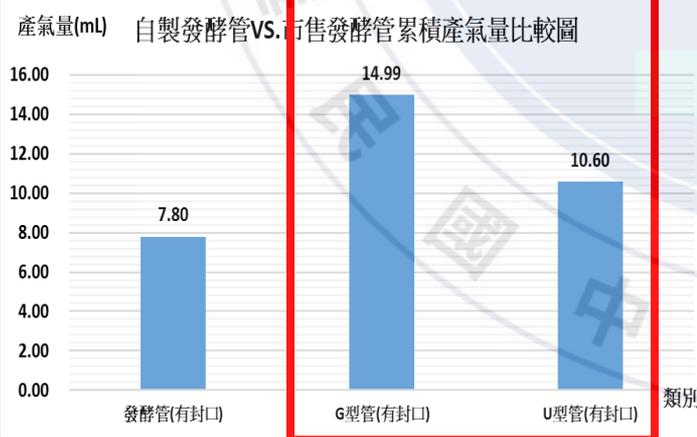
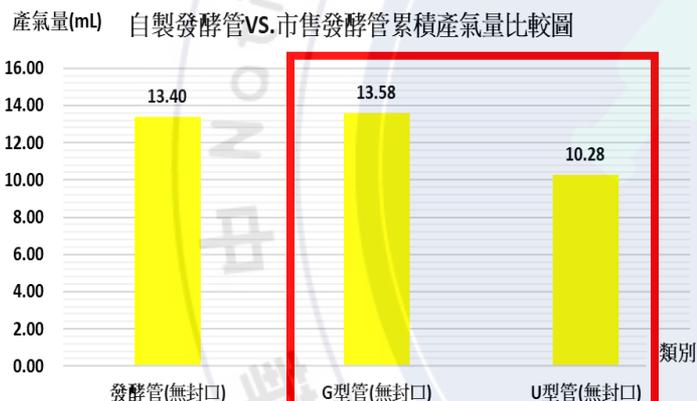
**困難** 發酵管容量20毫升，容量小、容易溢出。



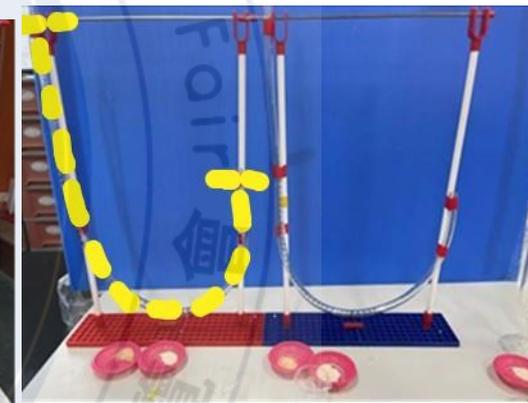
**解決方法**

- 仿發酵管
- 支架組+塑膠軟管

★軟管口徑大小：  
圓柱容積=底面積\*高  
=0.5\*0.5\*3.14\*高



自製U型發酵管



自製G型發酵管

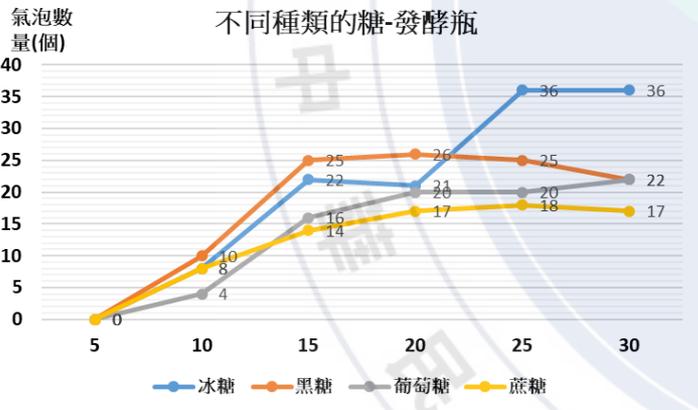
- U型發酵管左右兩側數值較為平均。
- G型發酵管左側(密封.較高的一端)，產氣量較右側(無封口.較低)的一端多。
- 有無封口：G型、U型發酵管，產氣量沒有明顯差異。

# 三、「自製發酵瓶」測量產氣量效果如何？

## 自製發酵瓶



種類	發酵管 (mL)	發酵瓶 (個)
冰糖	16.34	123
黑糖	16.5	108
葡萄糖	8	82
蔗糖	10.6	74



- 自製發酵瓶的數據：單位不同，產氣量的趨勢大致相符。



## 自製排水集氣法發酵瓶

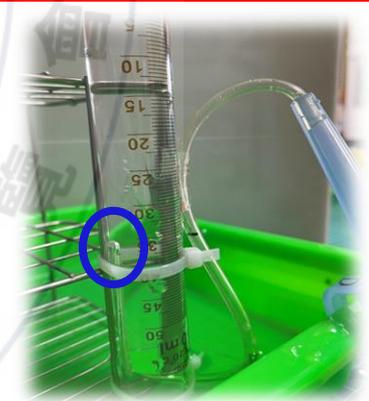
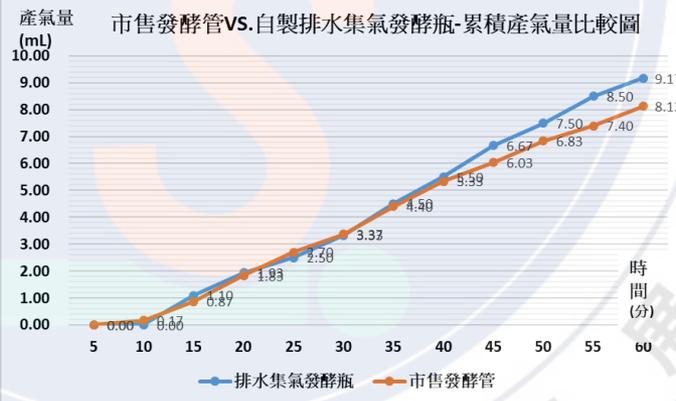
第一代排水集氣裝置



第二代排水集氣裝置



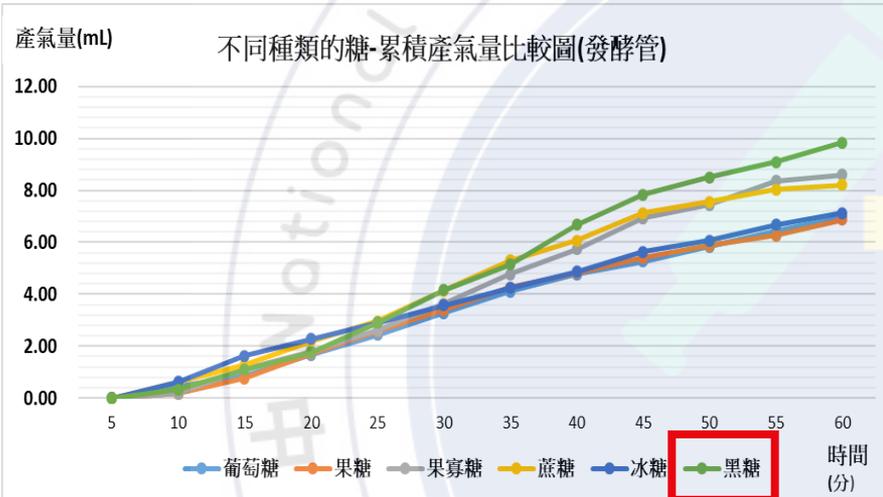
第三代排水集氣裝置



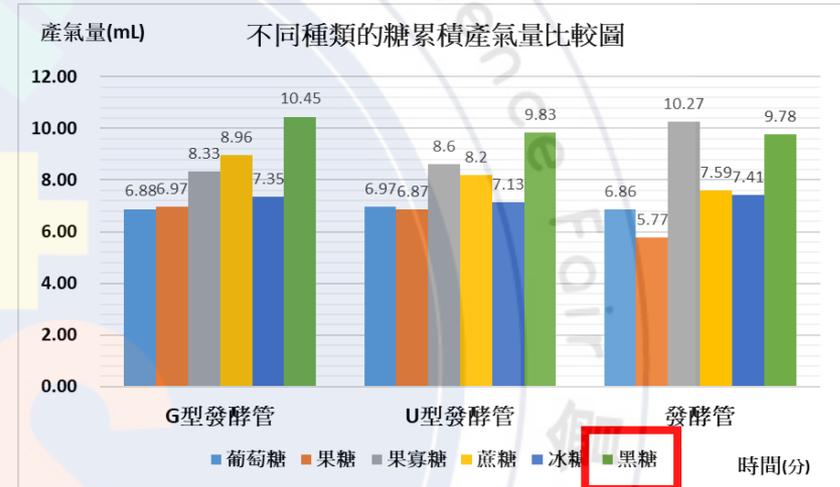
- 與市售發酵瓶累積氣體量，大致相同。
- 排水集氣發酵瓶較市售發酵瓶多了 1mL 產氣量。

# 四、不同種類的食糖發酵產氣量有何差異？

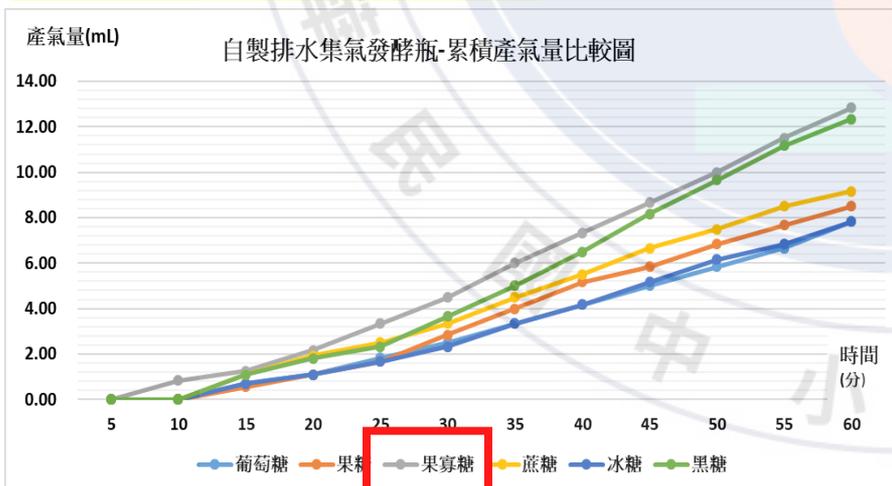
## 市售發酵管



## 自製發酵管



## 自製排水集氣發酵瓶

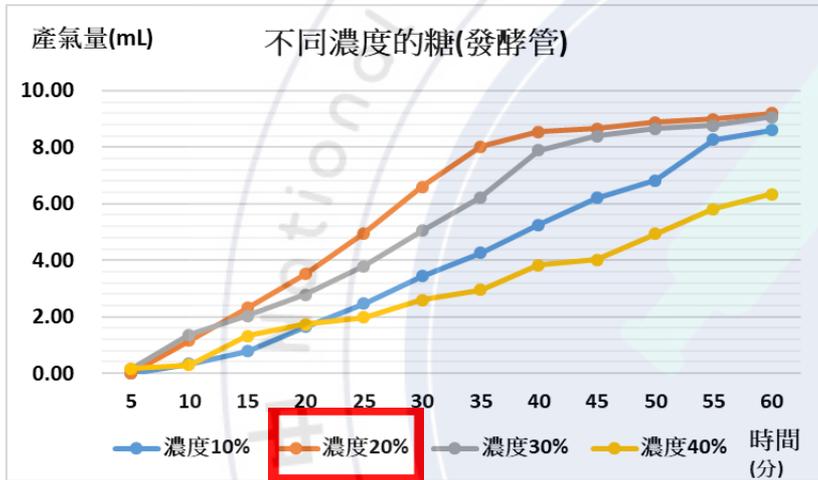


- 果寡糖產氣量較多，雙醣(黑糖)產氣量次之。
- 單醣(葡萄糖、果糖)產氣快(在10-15分鐘)，但總產氣量較少。

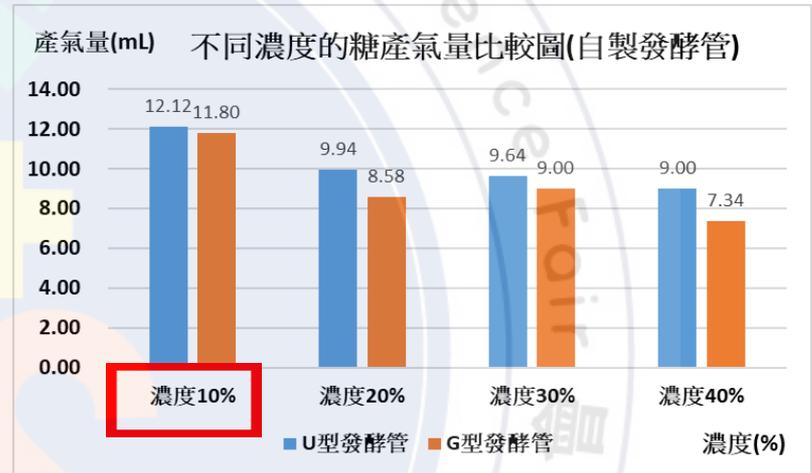


# 五、不同濃度的食糖發酵產氣量有何差異？

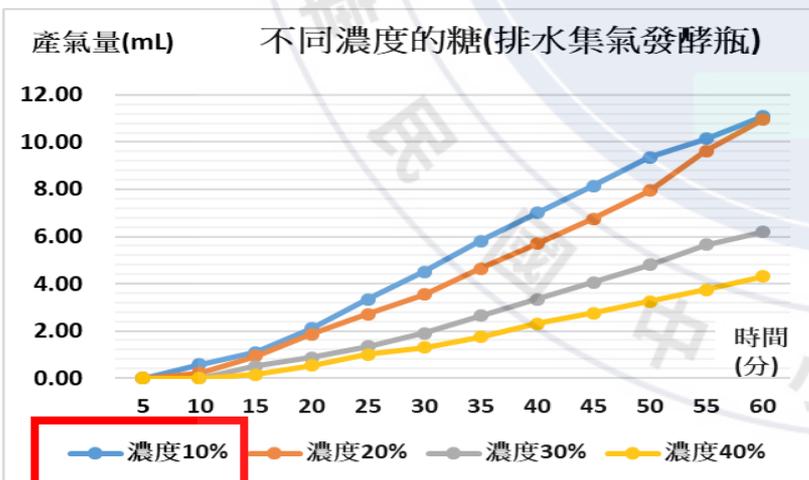
## 市售發酵管



## 自製發酵管



## 自製排水集氣發酵瓶



- 經過三種不同發酵裝置的驗證：**濃度較低的糖，發酵產氣量較多、發酵時間較早**；**濃度較高的糖，發酵產氣量較少、發酵時間較慢。**



# 六、不同濃度的麵粉發酵產氣量有何差異？

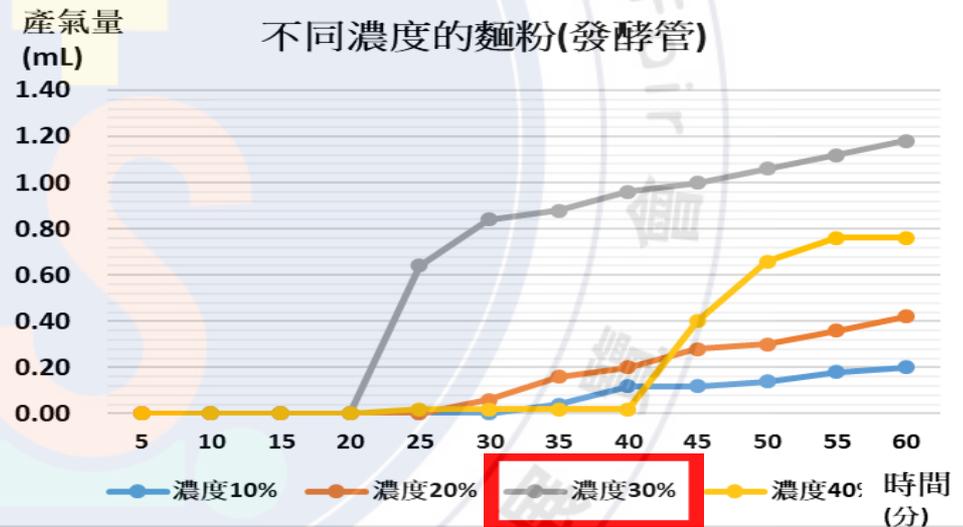
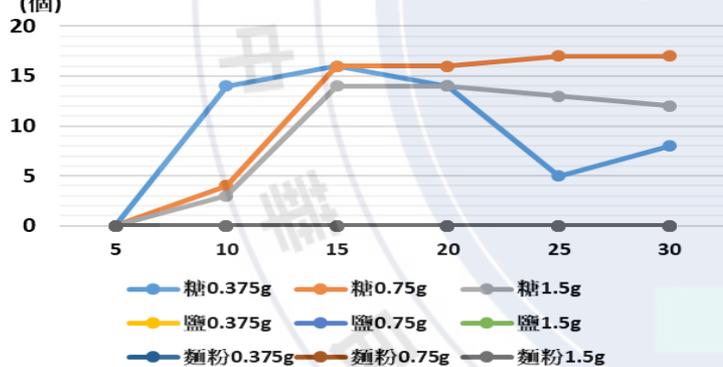
## 不同比例的糖.鹽.麵粉

類別/時間(分)	5	10	15	20	25	30	總計
糖0.375g	0	14	16	14	5	8	57
糖0.75g	0	4	16	16	17	17	70
糖1.5g	0	3	14	14	13	12	56
鹽0.375g	0	0	0	0	0	0	0
鹽0.75g	0	0	0	0	0	0	0
鹽1.5g	0	0	0	0	0	0	0
麵粉0.375g	0	0	0	0	0	0	0
麵粉0.75g	0	0	0	0	0	0	0
麵粉1.5g	0	0	0	0	0	0	0

## 不同濃度的麵粉

濃度/時間(分)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
濃度10%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.12	0.12	0.14	0.18	0.20
濃度20%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.16	0.20	0.28	0.30	0.36	0.42
濃度30%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.64	0.84	0.88	0.96	1.00	1.06	1.12	1.18
濃度40%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.40	0.66	0.76	0.76

氣泡數量 (個) 不同比例的糖、鹽、麵粉的產氣量



- 麵粉屬於多醣，卻沒有氣泡產生，於是採取：**1.拉長發酵時間** **2.提高麵粉的濃度**進行實驗。
- 不同濃度的麵粉在發酵管中，**濃度30% 產氣量大**。
- **高濃度產氣快**(25分鐘開始)，低濃度產氣慢(在30-35分鐘開始)。

# 研究討論

## 1. 實驗裝置設計：

作品說明書p.24-26

名稱	優勢	劣勢
市售發酵管	有刻度、一端完全密閉	玻璃易碎、彎曲處不易清洗
自製 U 型發酵管	器材易取得，左右兩側數值平均	總產量比發酵管少 3mL
自製 G 型發酵管	器材易取得，總產氣量接近市售發酵管	左側(密封.較高的一端)產氣量多
自製發酵瓶	器材簡便，產氣量趨勢大致相符	氣泡點數要很專注、大小不一
自製排水集氣發酵瓶	器材簡便，排出氣體量明確易量化	總產量比市售發酵管多 1mL

## 2. 糖的濃度差異



低濃度(10% .20%)  
醱解快、產氣多。



高濃度(30% .40%)  
產氣慢。

## 3. 麵粉的濃度差異



低濃度(10% .20%)  
產氣慢。



高濃度(30%、40%)  
先醱解，再產氣。



# 結論



作品說明書  
p.27-28

本研究關注**酵母菌與食糖的發酵情形**，並**設計簡易測量產氣量的裝置**。實驗結果發現：

可能影響的變因	研究結果	一小時內總產氣量多
溫度	環境溫度對水和發酵液溫度差異在 2° C，變化不大	X(本實驗為控制變因)
粗細	冰糖、黑糖、葡萄糖產氣量中顆粒 > 細顆粒，蔗糖無明顯差異	中顆粒
有無封口	無封口產氣量多，有封口前 20 分鐘不穩定 產氣量穩定度為：G 型發酵管 > U 型發酵管 > 市售發酵管	無封口
食糖種類	多醣(果寡糖)、雙醣(黑糖、蔗糖、冰糖)發酵速度比單醣(葡萄糖、果糖)快	多醣、雙醣類
食糖濃度	濃度低，產氣量多、時間快；濃度高，產氣量少、時間慢	濃度低
鹽濃度	鹽沒有氣泡產生	X
麵粉濃度	濃度高，產氣量多、時間快	濃度高
發酵時間微調	★糖、麵粉濃度高(30%、40%)，30 分鐘後有二次發酵的情形	

參考資料：詳見說明書