

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

探究精神獎

030303

「與磁振共舞」--探討磁場與聲波頻率對酵母菌
發酵速率的影響

學校名稱：臺南市立安順國民中學

作者： 國二 陳宥綸 國二 楊博強 國二 林佳緯	指導老師： 孫培明 林玉珍
---	-----------------------------

關鍵詞：磁場、共振頻率、酵母菌

摘 要

回想當初看到一項公開發明提到：「在葡萄酒的釀造過程中，通過『同時』設定特定頻段的中頻電磁波(900±50Hz)和聲波設備，對酵母菌群細胞進行『共振刺激』，使其細胞膜紊亂的振動頻率回歸正常的振動頻率，從而達到提高酵母菌生物量和代謝產物量的目的。」這引起我們的好奇，也讓我們產生質疑，經過不斷實驗探究的結果：1、在固定方向的磁場下，高出吹風機 5.67 倍磁場強度，對酵母菌發酵速率沒有影響。2、在磁場變化與聲波「同時」或「單獨」進行下，其頻率對酵母菌沒有「共振刺激」作用，對活性也沒有影響。

做完這次科展實驗，我們對此項公開發明內容的正確性更有質疑的依據，也對未來獲取的資料保留一分存疑與求證的態度。

壹、研究動機

生物課時學到了溫度、酸鹼值等因素會影響酵素的活性，想說除了這些因素之外，還有什麼因素會影響酵素的活性？而我們在尋找影響因素時，查到一項公開發明「一種提高酵母菌活性的調控方法」(華子昂，2017，申請公佈號：CN107446917A)，研究報告中提到：「在葡萄酒的釀造過程中，通過『同時』設定特定頻段的中頻電磁波(900±50Hz)和聲波設備，對酵母菌群細胞進行『共振刺激』，使其細胞膜紊亂的振動頻率回歸正常的振動頻率，從而達到提高酵母菌生物量和代謝產物量的目的。」這份內容引起我們的好奇，但也讓我們產生質疑，第一點質疑：內容描述『同時』進行兩個變因——中頻電磁波和聲波，能提高酵母菌活性。但是我們學到的科學方法，每一次只能探究一個操縱變因，而發明內容中並沒有單獨對兩個變因進行探究其影響及數據佐證；而且電磁波和聲波是獨立不相干擾的波，不應該單獨沒影響，同時進行後就會產生影響。第二點質疑：他利用中高音揚聲器播放 1000Hz 的女生歌曲、圓舞曲或者小夜曲，可是歌曲、樂曲的頻率應該有變動，怎麼可能是單一頻率的聲音，既然頻率是變動的，怎能說 1000Hz 有影響。第三點質疑：電磁波和聲波頻率真的會對酵母菌產生共振刺激嗎？如果是，那會正增強，還是負增強，我們必須釐清這個問題，於是我們查閱了許多論文及研究報告整理成表格一的文獻資料。

一、文獻資料

作者	研究題目	研究的重要論點
楊曜彰，第 52 屆全國科展	酵母國度的產氣之道	電腦 CRT 螢幕與強力磁鐵磁場，使酵母菌產氣量高峰提前出現，但整體影響不大。
曾建穎，第 48 屆全國科展	不同磁極磁場對酵母菌發酵作用的影響	在不同磁極與不同強度的磁場下，酵母菌液的重量和溫度變化不大，各組間幾乎沒有差別。
張維翰，2020，碩士論文	磁場對於以粗甘油作為碳源之紅酵母製程影響	1.在相同濃度的粗甘油培養下，適量的磁場添加有利於菌體之生長，無論是菌量，脂質含量或 β -carotene 濃度的增加皆有增加的效果，但過量之磁場則對菌體的生長有害。 2.以葡萄糖為碳源時，磁場的添加有利於菌體的生長，且有讓最高菌量提早出現的效果。而對 β -carotene 濃度更是有在初期即有高濃度的效果，且在後續的培養會微量提升。
傅冠豪，第 42 屆全國科展	高頻電磁波對基本生命單元的影響及探討	1.受電磁場作用的潮濕活化酵母菌比沒有受電磁場作用的酵母菌，對葡萄糖溶液的發酵能力明顯減弱。 2.電磁場作用在乾酵母菌粉，對葡萄糖溶液的發酵能力有點變弱，但是並沒有明顯衰竭。
張永承，2009，碩士論文	超音波聲場照射下對酵母菌之生物效應	1.在經由超音波照射後，觀察到當照射頻率為 0.306 MHz 及 11.6625 MHz 時，若以高強度照射，對細胞生長造成的抑制時間為 1 小時；若以低強度照射時，則造成抑制的時間縮短為 0.5 小時。 2.以 2.4079 MHz 照射時，高強度與低強度照射所造成的效果相同，為一有效的共振頻率；若以 10 MHz 低強度照射，所造成抑制效果的時間為照射後 0.5 小時內；而當照射頻率為 16.124 MHz 時，無論在低強度與高強度照射下，所造成的抑制效果皆不明顯。

鄭泊浩，第 62 屆全國科展	音醇交響曲~探討音樂對酵母菌生長的影响	在低音組別中探討響度的變化，發現小聲對酵母菌生長最好；在小聲組別中探討音調的變化，發現 低音對酵母菌生長最好 ；在低音組別中探討音色的變化，發現木琴對酵母菌生長最好。故音色、響度、 音調確實可以影響酵母的發酵速率 。
----------------	---------------------	--

仔細研讀後發現，這些報告的結果差異很大，有說磁場和聲波頻率對酵母菌活性有正增強、也有說有負增強或沒有影響，這令我們感到很困惑，磁場是否會影響酵母菌的活性？磁場與聲波頻率是否會對酵母菌進行「共振刺激」，影響其活性？處於現今無線通訊與電器化的時代，到處是電磁輻射，如果電磁場會對酵母菌會產生「共振刺激」，對人類是否也會產生影響；如果聲波對酵母菌會產生「共振刺激」作用，這個影響將對一些產業的發展有很大的幫助。

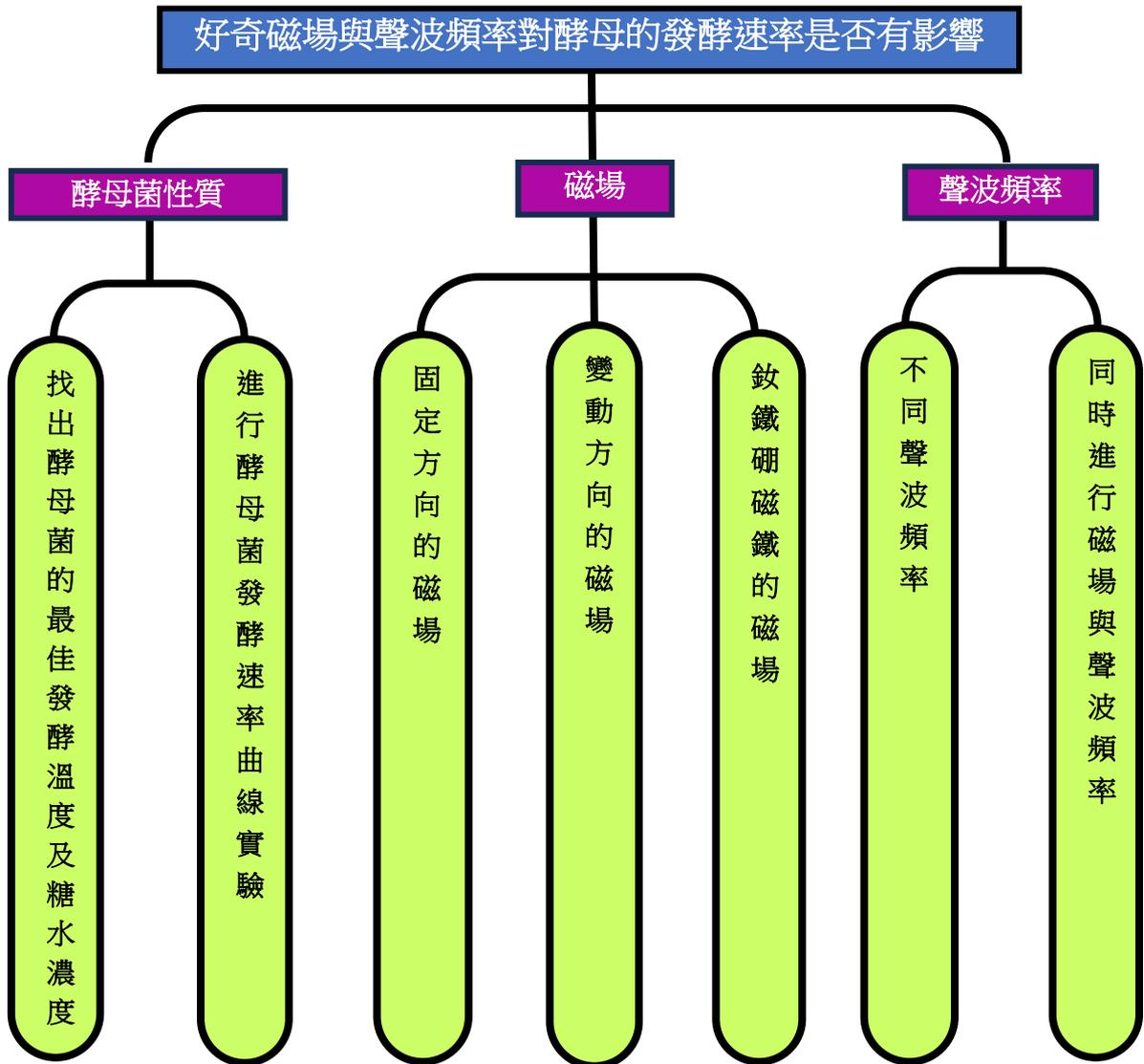
所以我們討論完後決定自己來驗證，於是我們就擬定實驗方向，動手設計一套用排水集氣法測量酵母菌發酵產生的氣體量，來探討磁場及聲波頻率是否會影響酵母菌的活性。

二、研究架構

參考文獻資料後，我們擬定研究的方向與前人相異之處，如下：

- (一)在磁場方面：前人都是以永久磁鐵產生固定磁場方向，探討磁場對酵母菌的影響，我們則增加以訊號產生器產生不同頻率的正弦波，輸入螺形線圈，來產生磁場方向的變動，去驗證實磁場變化頻率是否對酵母菌有「共振刺激」作用。
- (二)在聲波方面：有別於前人用非單一頻率音樂的研究方法，我們以訊號產生器輸出方波，讓壓電片產生單一頻率的聲波，並將壓電片放入酵母菌發酵液中去進行實驗，驗證聲波頻率是否會對酵母菌產生「共振刺激」作用。

根據這樣的想法擬定了研究架構：



貳、研究目的

- 一、尋找酵母菌發酵的最佳糖水濃度與溫度的組合。
- 二、進行酵母菌發酵速率曲線實驗
- 三、產生固定方向的磁場，探究磁場對酵母菌發酵速率的影響。
- 四、產生變動方向的磁場，探究磁場頻率變化對酵母菌發酵速率的影響。
- 五、探究釵鐵硼磁鐵的磁場對酵母菌發酵速率的影響。
- 六、探究聲波頻率對酵母菌發酵速率的影響。
- 七、探究磁場與聲波頻率「同時」進行對酵母菌發酵速率的影響。

說明：研究目的二、六、七採用第二版發酵排水集氣裝置進行。

參、研究設備及器材

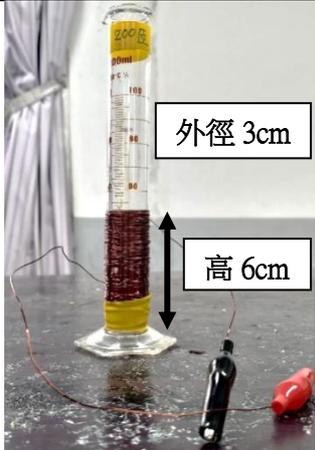
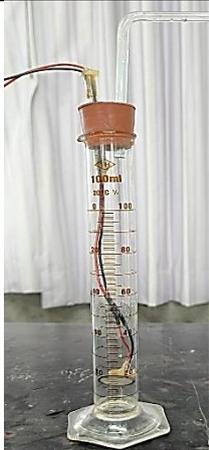
一、研究器材

新鮮酵母菌、砂糖、自製發酵排水集氣裝置(100ml 量筒、橡皮塞、三通、50ml 針筒 10ml 針筒、軟管、L 形玻璃管、鐵架、500ml 廣口瓶、500ml 燒杯)、漆包線(0.45mm)、恆溫水箱、計時器、三用電表(熱電偶測溫度)、直流電源供應器、穩流穩壓器、訊號產生器(0~10V, 0.01Hz~15MHz)、快速接頭、鱷魚夾、電子天平、鈹鐵硼磁鐵(直徑 12mm*厚度 2mm)、美國 FWBELL 5170 精密型高斯計、壓電片(20mm、25mm)

※特別說明：此篇作品說明書 26 頁內的所有照片皆由作者親自拍攝。

二、研究設備

(一) 訊號產生器：可輸出 0~10V 的直流電與交流電，交流電可輸出正弦波與方形波，頻率範圍：0.01~15MHz。

			
<p>訊號產生器</p>	<p>纏線圈的發酵量筒</p>	<p>含壓電片的發酵量筒</p>	<p>高斯計測磁感應強度</p>
			
<p>穩壓穩流器</p>			

(二) 纏線圈的發酵量筒：在 100ml 發酵量筒外，由底部往上 6cm 分別纏繞 100 匝、200 匝、300 匝的線圈，由直流電源供應器輸入直流電作為固定磁場方向的來源；訊號產生器輸入正弦波的交流電，作為變動磁場方向的來源。

(三) 穩壓穩流器：使輸入線圈的直流電之電流維持定值，固定磁場的大小。

(四) 含壓電片的發酵量筒：將壓電片與橡皮塞結合，塞入發酵量筒，連接訊號產生器，由訊號產生器輸入方波的交流電，作為聲波的來源。

(五)高斯計測量纏繞線圈量筒內部磁感應強度

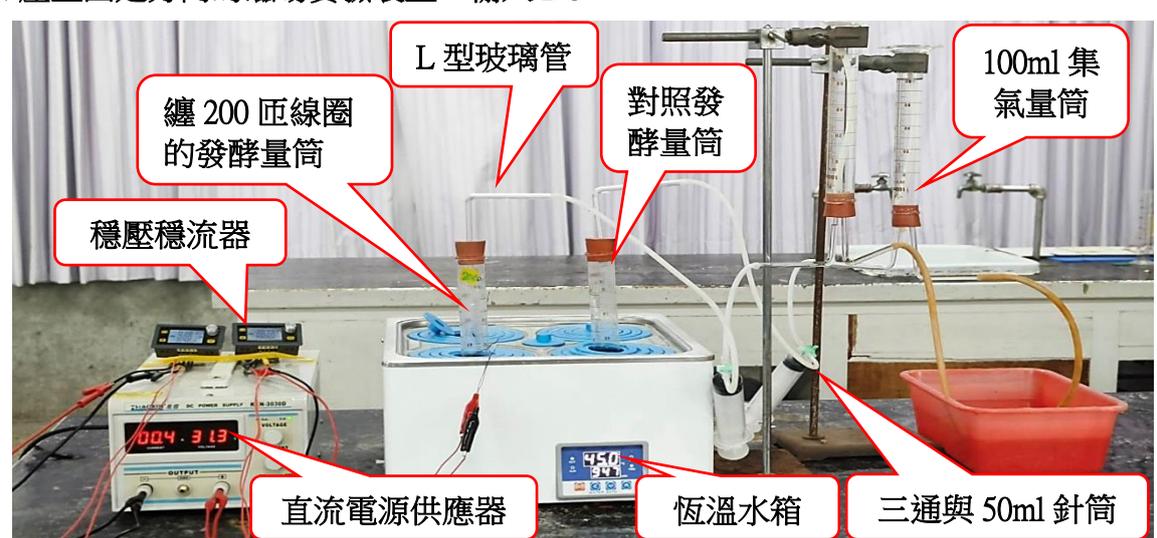
電流(A)	0.06	0.08	0.1	0.2	0.4	1	2	3	4	5
磁場 (μ T)	100 匝			50	120	190	510	810	1520	2080
	200 匝	80	80	90	190	400	710	1360	1630	3560
	300 匝			200	370	1010	2520	3980	5100	6280

(六)第一版發酵排水集氣裝置

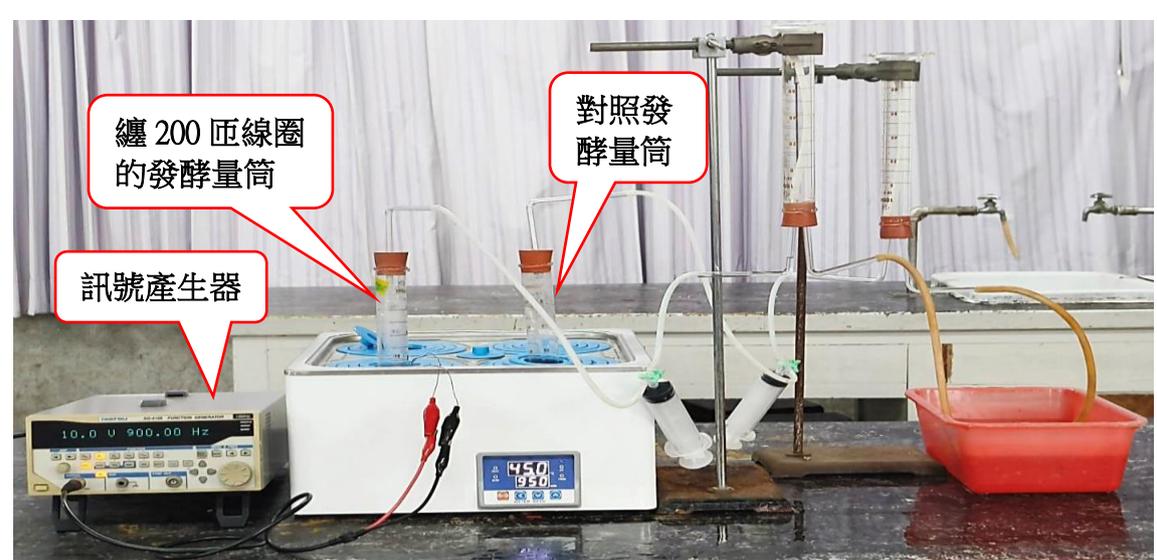
■實驗方法說明：

- 1.利用排水集氣法，將發酵所產生的氣體收集至裝滿水的 100ml 量筒中，排完第一管 100ml 水量後，間隔 4 分鐘期間，將量筒重新裝滿水，再排第二管，又間隔 4 分鐘排最後第三管，共排 3 次 100ml 量筒。
2. 對照發酵量筒只有糖水、酵母菌，無外加磁場、聲波。

1. 產生固定方向的磁場實驗裝置：輸入 DC



2. 產生變動磁場方向的實驗裝置：輸入正弦波 AC



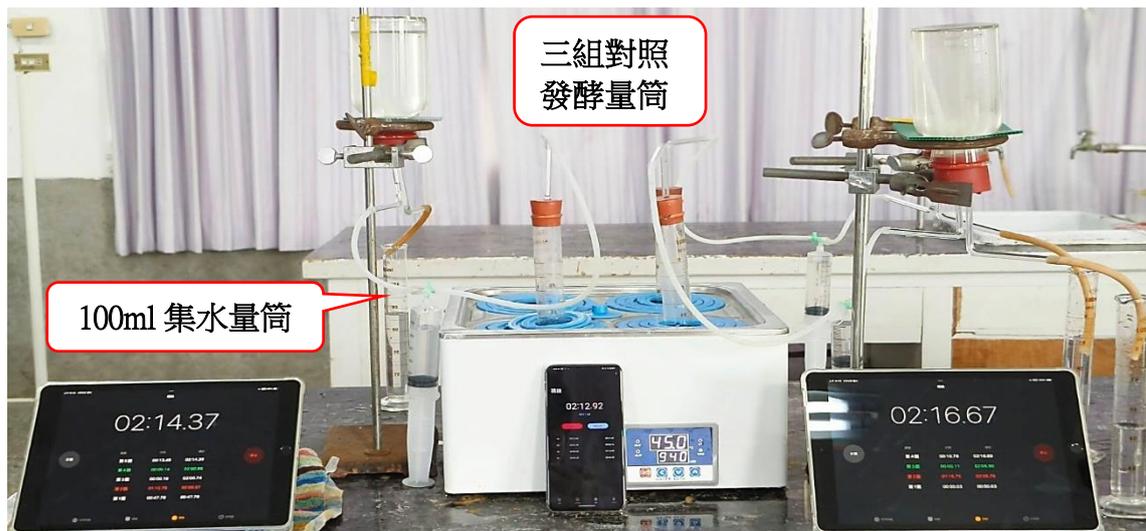
(七)第二版發酵排水集氣裝置

實驗方法說明：

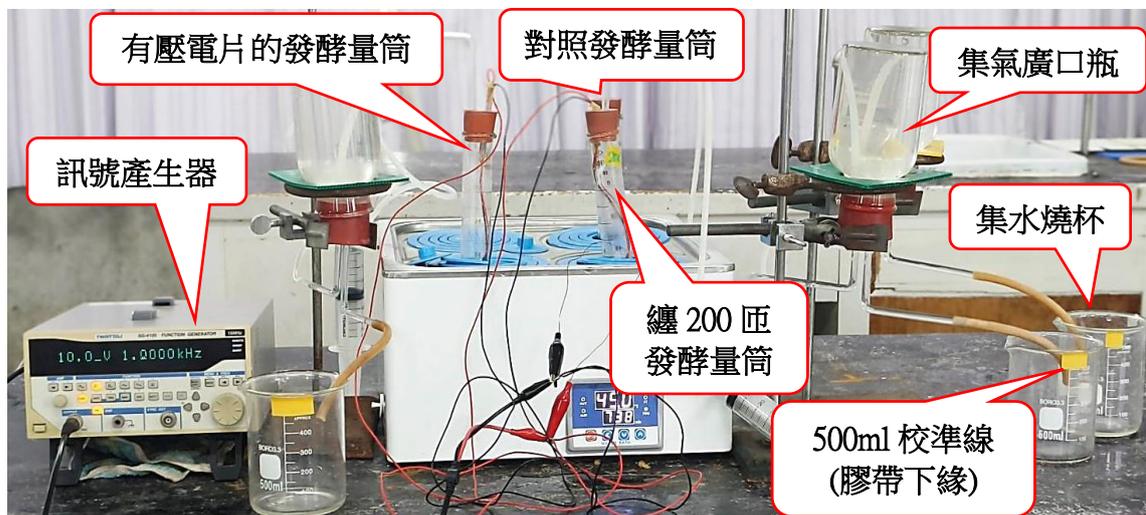
1. 我們發現第一版實驗裝置中，間隔四分鐘期間，酵母菌是繼續在發酵產生氣體，這部分的氣體量並沒有記錄到，市賽後，我們進行實驗裝置改良，經實驗數據估算兩次間隔 4 分鐘期間約排氣 200ml，所以第二版實驗裝置在排水部分做了調整，將 100ml 量筒換成 500ml 廣口瓶，就可以不間斷的排水 500ml。
2. 不間斷的排水 500ml，測量排水量有兩種方式：(1) 放在桌上的 100ml 量筒測量排 10ml 水的體積，並記錄時間。(2) 放在桌上經校準過的 500ml 燒杯（註 1）測量排 500ml 的體積，並記錄時間。

註 1：以 100ml 量筒量取 500ml 的水倒入 500ml 燒杯中，以膠帶標示準確的 500ml 的標線位置。

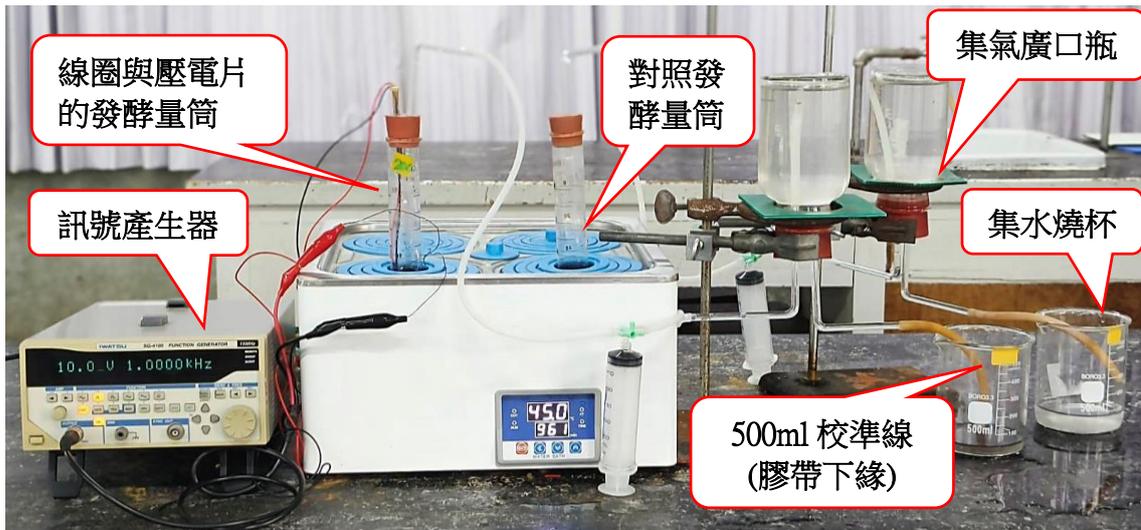
1、酵母菌發酵速率曲線實驗裝置



2、產生磁場與聲波的實驗裝置：輸入方波 AC



3、同時產生磁場與聲波的實驗裝置：輸入方波 AC

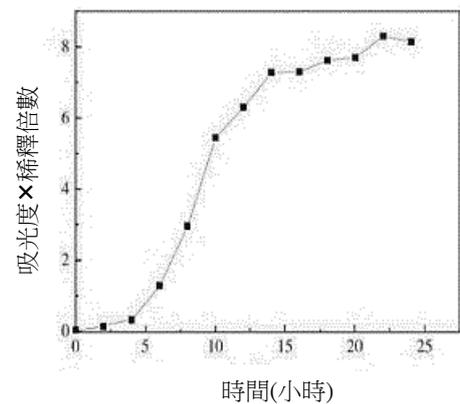


肆、研究過程或方法

一、參考資料

(一) 酵母菌生長週期及生長曲線

由右圖可知，酵母菌的生長曲線清晰地反映了酵母菌的 4 個生長階段，初始階段 0~5 小時為酵母菌生長的遲滯期；5~14 小時的生長曲線呈大幅上升趨勢，酵母菌經過短暫的適應期後快速生長，開始大量繁殖，發酵速度明顯加快，菌種數量增多，說明酵母菌進入了生長對數期；14~22 小時產生大量的次生代謝產物使得 pH 值下降，酵母菌生長環境惡劣，此時生長速度下降，酵母細胞的對數生長階段結束進入穩定生長階段，活菌數目變化不大，培養 22 小時後酵母菌的數量達到峰值。22 小時以後，酵母菌的生長呈緩慢的下降趨勢，是酵母菌生長的衰亡期。



酵母菌的生長曲線
來源：Biosense

(二) 新鮮酵母取自酵母菌哪一個階段的生長期？(Chatgpt 3.5)

新鮮酵母菌一般取自酵母菌的對數生長期（也稱為指數生長期）。在這個階段，酵母菌細胞快速分裂，生長速度最快，活性最高。這是提取和使用酵母菌的最佳階段，因為它們最具活力和繁殖能力。

(三)在德國進行的測量的電器磁感應強度，都是工作在 50Hz 的交流電下測量的。

電器	3 釐米距離 (μT)	30 釐米距離 (μT)	1 米距離 (μT)
吹風機	6 - 2000	0.01 - 7	0.01 - 0.03
電動剃鬚刀	15 - 1500	0.08 - 9	0.01 - 0.03
吸塵器	200 - 800	2 - 20	0.13 - 2
日光燈	40 - 400	0.5 - 2	0.02 - 0.25
微波爐	73 - 200	4 - 8	0.25 - 0.6
洗衣機	0.8 - 50	0.15 - 3	0.01 - 0.15
電熨斗	8 - 30	0.12 - 0.3	0.01 - 0.03
電腦	0.5 - 30	< 0.01	
冰箱	0.5 - 1.7	0.01 - 0.25	<0.01
彩色電視	2.5 - 50	0.04 - 2	0.01 - 0.15

註 2：大多數家用電器在距離 30 公分的磁感應強度，都在安全標準的限值 100μT 以下，正常的使用距離用粗體標示。(來源：德國輻射安全聯邦辦公室，1999 年)

二、研究過程

(一) 研究在相同糖水濃度下，最佳的發酵溫度。

1. 用**第一版發酵排水集氣裝置**，調配 15%糖水 30g 倒入量筒中，放入 25°C、30°C、35°C、40°C、45°C、50°C 恆溫水箱中，待達熱平衡後加入 10g 酵母菌，利用排水集氣法，測定第 1 次排出 100ml 氣體量所需時間；間隔 4 分鐘，測定第 2 次排出 100ml 氣體量所需時間；再間隔 4 分鐘，測定第 3 次排出 100ml 氣體量所需時間；又間隔 4 分鐘，測定第 4 次排出 100ml 氣體量所需時間。

(二) 研究在最佳的發酵溫度下，最佳的糖水濃度。

1. 用**第一版發酵排水集氣裝置**，分別調配 5%、10%、15%、20%、25%的 30g 糖水倒入量筒中，放入實驗(一)所得最佳的發酵溫度的恆溫水箱中，待熱平衡後加入 10g 酵母菌，利用排水集氣法，測定第 1 次排出 100ml 氣體量所需時間；間隔 4 分鐘，測定第 2 次排出 100ml 氣體量所需時間；再間隔 4 分鐘，測定第 3 次排出 100ml 氣體量所需時間。

我們實驗發現：在相同控制變因下，同時做實驗，發酵平均速率差異不大，但在不同時間做的實驗，雖然控制變因相同，彼此發酵平均速率較有明顯的差異。這個問題困擾我們很久，後來釐清這與新鮮酵母菌的來源、製造時間及開封後的使用時間有關，這些變因都是難以掌控的。所以，我們決定同時做三組無磁場、無聲波的發酵實驗，以三組發酵速率的平均值當作**對照組的「發酵速率的基準值」**。每一次進行操縱變因的探究實驗，我們都會同時做一組無磁場、無聲波的實驗當作對照組，再將此對照組的平均發酵速率的數值調整為「**發酵速率基準值**」，其他實驗發酵「**平均速率**」數據跟著等比例調整後稱為「**對照調整速率**」，以將不同時間實驗所得的數據做客觀比對分析。

(三) 進行酵母菌發酵速率曲線實驗

1. **用第二版發酵排水集氣裝置**，將最佳糖水濃度倒入發酵量筒中，將量筒放入最佳溫度的恆溫水箱中，待熱平衡後加入 10g 酵母菌，利用排水集氣法將發酵所產生的氣體收集至集氣廣口瓶內，並將其水排至 100ml 量筒中，每 10ml 紀錄一次時間，共 50 次。

(四) 產生固定方向的磁場，探究磁場對酵母菌發酵速率的影響。

1. **用第一版發酵排水集氣裝置**，進行對照組的「**發酵速率基準值**」實驗

將三份最佳糖水濃度，分別倒入三支未纏線圈的發酵量筒，將發酵量筒放入最佳溫度的恆溫水箱中，待熱平衡後加入 10g 酵母菌，利用排水集氣法測定 3 次排出 100ml 氣體量所需時間。

2. 將最佳糖水濃度倒入已纏線圈(100 匝、200 匝、300 匝)的發酵量筒，將發酵量筒放入最佳溫度的恆溫水箱中，待熱平衡後加入 10g 酵母菌，並將線圈連接直流電源供應器與穩流穩壓器，提供線圈不同大小的「**固定電流**」，利用排水集氣法測定 3 次排出 100ml 氣體量所需時間。

(五) 產生變動方向的磁場，探究磁場頻率變化對酵母菌發酵速率的影響。

1. **用第一版發酵排水集氣裝置**，將最佳糖水濃度倒入已纏線圈(100 匝、200 匝、300 匝)的發酵量筒，將發酵量筒放入最佳溫度的恆溫水箱中，待熱平衡後加入 10g 酵母菌，並將線圈連接訊號產生器，提供線圈不同頻率的正弦波，以產生變動方向的磁場，利用排水集氣法測定 3 次排出 100ml 氣體量所需時間。

(六)探究釵鐵硼磁鐵的磁場對酵母菌發酵速率的影響。

- 1.在量筒兩側貼上釵鐵硼磁鐵(直徑 12mm×厚度 2mm)，異名極相對，以高斯計測量發酵量筒內部磁感應強度的最大值。
- 2.用**第一版發酵排水集氣裝置**，將最佳糖水濃度倒入發酵量筒中，將發酵量筒放入最佳溫度的恆溫水箱中，待熱平衡後加入 10g 酵母菌，利用排水集氣法測定 3 次排出 100ml 氣體量所需時間。



(七)探究聲波頻率對酵母菌發酵速率的影響。

- 1.用**第二版發酵排水集氣裝置**，將最佳糖水濃度倒入發酵量筒中，將發酵量筒放入最佳溫度的恆溫水箱中，待熱平衡後加入 10g 酵母菌，將有連接壓電片的橡皮塞塞入發酵量筒中，由訊號產生器輸入 10V 方波的交流電，改變不同頻率的方波，利用排水集氣法將發酵所產生的氣體收集至廣口瓶內，排水至 500ml 的燒杯中，當收集水至 500ml 時記錄時間。

(八)探究磁場與聲波頻率「同時」進行對酵母菌發酵速率的影響。

- 1.用**第二版發酵排水集氣裝置**，將最佳糖水濃度倒入 200 匝線圈的發酵量筒，將發酵量筒放入最佳溫度的恆溫水箱中，待熱平衡後加入 10g 酵母菌，將發酵量筒塞入有連接壓電片的橡皮塞，由訊號產生器輸入 10V 方波的交流電，依次改變不同頻率的方波。利用排水集氣法將發酵所產生的氣體收集至廣口瓶內，排水至 500ml 的燒杯中，當收集水至 500ml 時記錄時間。

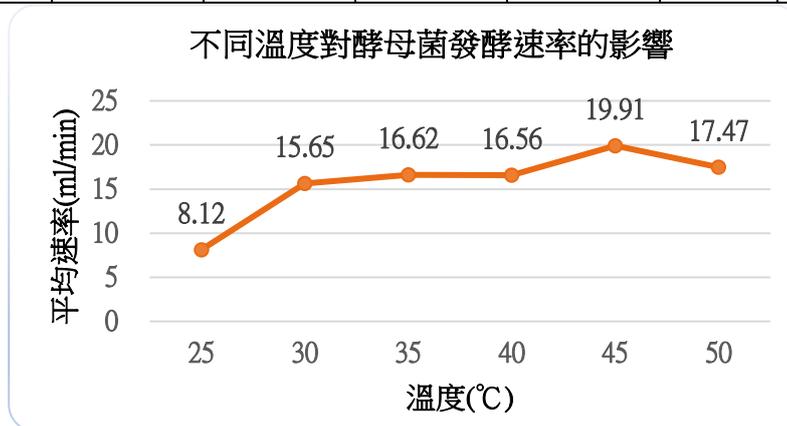
伍、研究結果

一、尋找酵母菌發酵的最佳糖水濃度與溫度的組合

(一) 研究在相同糖水濃度下，最佳的發酵溫度。

控制變因：15%糖水 30 克、10g 酵母菌、無磁場

時間 溫度	第一管 (min)	第二管 (min)	第三管 (min)	第四管 (min)	總時間 (min)	平均速率 (ml/min)
25	17.78	12.82	5.97	12.68	49.24	8.12
30	7.78	7.52	3.59	6.67	25.56	15.65
35	6.79	5.79	5.61	5.86	24.06	16.62
40	5.76	4.91	6.07	7.42	24.15	16.56
45	4.48	5.02	4.90	5.68	20.09	19.91
50	4.32	4.26	5.27	9.04	22.89	17.47



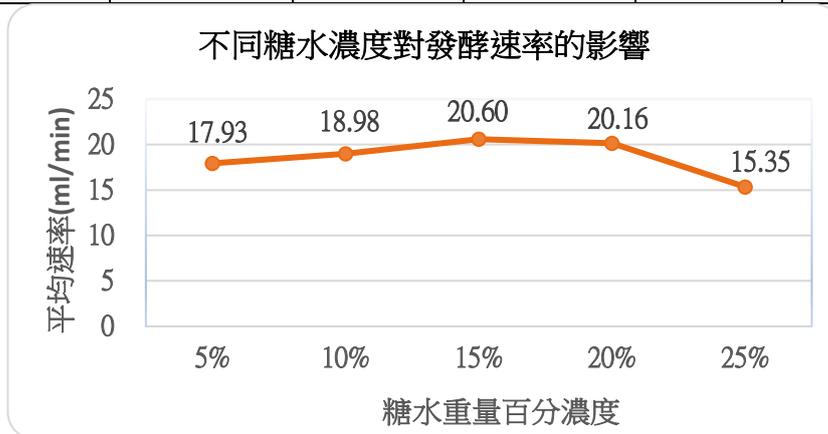
數據分析：

1. 依實驗結果顯示酵母菌從 25°C 到 45°C 的發酵率越來越快，但到 50°C 時卻又下降，因此我們可以判斷 45°C 為酵母最佳發酵溫度。
2. 不同溫度間比較：第一管發酵速率，以溫度較高 45°C、50°C 發酵速率最快，但是到了第四管時，50°C 發酵速率明顯低於 30°C ~ 45°C，顯示酵母菌長時間處在 50°C 的溫度下，酵素的活性會被破壞。
3. 同溫度間比較：25°C ~ 40°C 間剛開始發酵速率最慢，第二次之後速率增加，第四次會降低一些速率。

(二) 研究在最佳的發酵溫度下，最佳的糖水濃度。

我們在水溫 45°C 下測試酵母菌在 5%、10%、15%、20%、25% 的糖水中的發酵情形

時間 濃度	第 1 管(min)	第 2 管(min)	第 3 管(min)	總時間 (min)	平均速率 (ml/min)
5%	5.73	4.66	6.34	16.73	17.93
10%	6.59	4.42	4.79	15.80	18.98
15%	5.07	4.43	5.07	14.57	20.60
20%	5.88	4.35	4.65	14.88	20.16
25%	6.46	8.73	4.36	19.54	15.35



數據分析：

1. 實驗發現酵母菌在 15% 糖水濃度時發酵速率最快，所以我們選擇 15% 糖水、45°C 做為酵母菌發酵的最佳糖水濃度與溫度的組合，進行磁場對酵母菌發酵的影響。
2. 5%~20% 間剛開始發酵速率最慢，第二管之後速率增加，最後再降低一些速率。反倒是 25% 第二管發酵速率最慢。

二、進行酵母菌發酵速率曲線實驗

條件：水溫 45°C、15% 糖水 30g、10g 酵母菌、無磁場、連續排水 500ml

(一) 將每一組實驗的 50 組數據，每 10 組做數據統計分析。

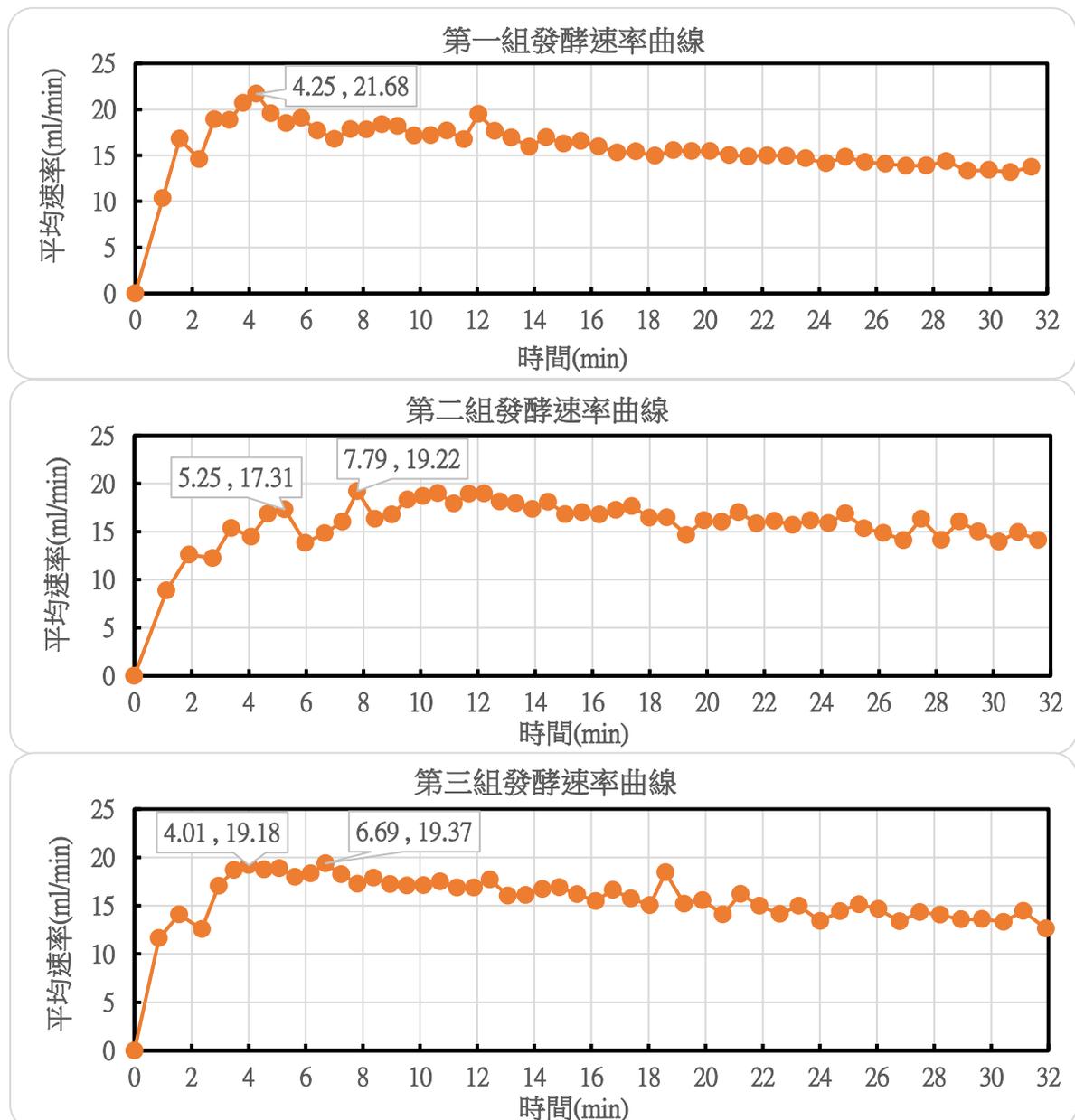
第二版發酵排水集氣裝置	第 1 組		第 2 組		第 3 組		平均時間 (min)	總平均速率 (ml/min)
	時間 (min)	平均 速率	時間 (min)	平均 速率	時間 (min)	平均 速率		
第 1 次 100ml	5.83	17.16	7.27	13.76	6.18	16.19	6.42	15.70
第 2 次 100ml	5.71	17.53	5.50	18.18	5.71	17.51	5.64	17.74
第 3 次 100ml	6.03	16.57	5.83	17.16	6.17	16.22	6.01	16.65
第 4 次 100ml	6.67	14.99	6.24	16.03	6.65	15.03	6.52	15.35
第 5 次 100ml	7.21	13.87	6.73	14.85	7.21	13.87	7.05	14.20
排氣 500ml	31.45	15.90	31.57	15.84	31.92	15.67	31.64	15.80

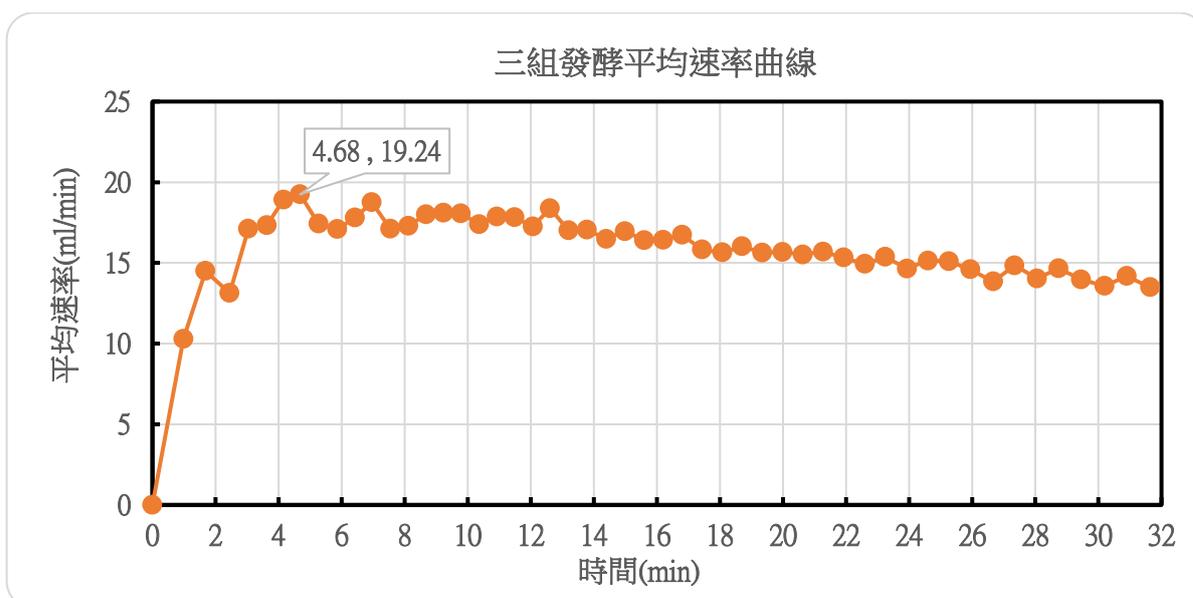
組 別	第 1 組	第 2 組	第 3 組	平均值	標準差
排氣 500ml 平均速率 (ml/min)	15.90	15.84	15.67	15.80	0.1193
誤差百分比	0.61%	0.23%	-0.84%		

數據分析：

1. 在相同控制變因下，3 組同時做實驗，發酵平均速率誤差小於 1%，標準差也很小，表明數據點相對接近平均值，可知同時實驗時數據的一致性佳。
2. 實驗得到 3 組平均發酵速率 = 15.80 ml/min，所以「**發酵速率基準值**」 = 15.80 ml/min，我們在以**第二版發酵排水集氣裝置**所做的實驗，都將無磁場對照組的發酵平均速率的數值調整為 15.80 ml/min，其他實驗的發酵「平均速率」數據跟著等比例調整後稱為「**對照調整速率**」，以將不同時間實驗所得的數據做客觀比對分析。

(二) 發酵速率曲線





數據分析：

1. 由曲線可知，酵母菌剛加入糖水中，發酵速率較慢。可能因為酵母菌才開始將糖分解獲得能量，以及剛接觸 45°C 水溫，活性才剛提升；隨著獲得能量及在水溫 45°C 水溫中，活性快速提升，發酵速率呈對數上升。
2. 三組發酵平均速率曲線大約 5 分鐘發酵速率達到最大值，之後發酵速度呈緩慢的下降趨勢，這與酵母菌在糖水中的反應主要代謝產物二氧化碳及一些其他次生代謝產物有機酸，導致糖水的 pH 值下降，抑制酵母菌的活性有關。
3. 排氣到 500ml 發酵速率並未有明顯的下降，顯示糖水並未消耗殆盡，實際觀察也是如此，廣口瓶剩下的水仍持續穩定的排出。

三、產生固定方向的磁場，探究磁場對酵母菌發酵速率的影響

(一) 用第一版發酵排水集氣裝置，進行對照組的「發酵速率基準值」實驗

條件：水溫 45°C、15%糖水 30g、10g 酵母菌、無磁場、間隔 4min 排水 300ml

	第 1 管 (min)	第 2 管 (min)	第 3 管 (min)	總時間 (min)	平均速率 (ml/min)	誤差百 分比
第 1 組	5.59	4.63	4.63	15.11	19.85	-1.44 %
第 2 組	5.59	4.31	4.61	14.50	20.69	2.73 %
第 3 組	5.89	4.50	4.71	15.10	19.87	-1.34%
				平均速率 = 20.14		

數據分析：

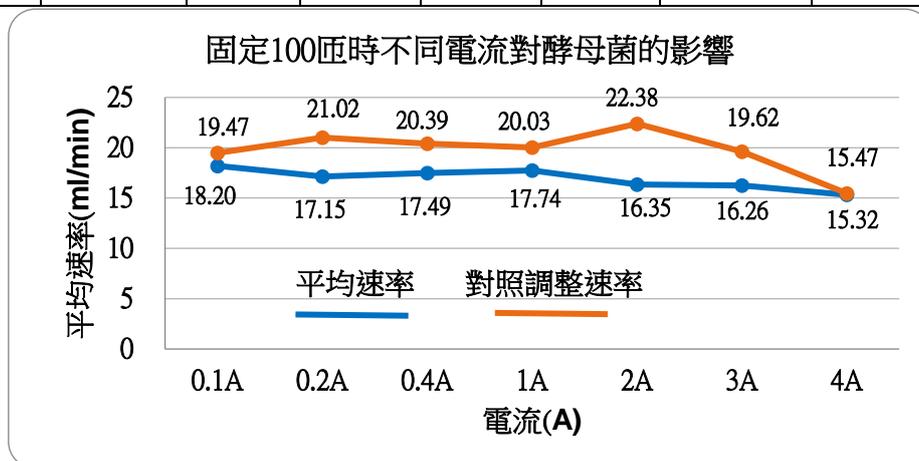
- 1.在相同控制變因下，3 組同時做實驗，發酵平均速率誤差百分比小於 3%。
- 2.實驗得到 3 組平均發酵速率=20.14 ml/min，所以「**發酵速率基準值**」=20.14 ml/min，我們在以**第一版發酵排水集氣裝置**所做的實驗，都將無磁場對照組的發酵平均速率的數值調整為 20.14ml/min，其他實驗的發酵「平均速率」數據跟著等比例調整後稱為「**對照調整速率**」，以將不同時間實驗所得的數據做客觀比對分析。

(二)固定線圈圈數

操縱變因：電流大小，控制變因：水溫 45°C、15%糖水 30 克、10g 酵母菌

1.100 匝線圈

時間 電流	磁場強度 (μ T)	第 1 管 (min)	第 2 管 (min)	第 3 管 (min)	總時間 (min)	平均速率 (ml/min)	對照調整速率 (ml/min)
0.1A	50	5.80	5.19	5.52	16.50	18.20	19.69
0.2A	120	6.76	5.41	5.35	17.52	17.15	21.02
0.4A	190	5.81	4.80	5.27	15.88	18.89	21.21
1A	510	6.78	4.91	5.21	16.91	17.74	20.03
2A	810	6.35	5.73	6.27	18.35	16.35	22.39
3A	1520	7.22	5.35	5.88	18.45	16.26	19.62
4A	2080	6.94	6.04	6.60	19.58	15.32	15.47

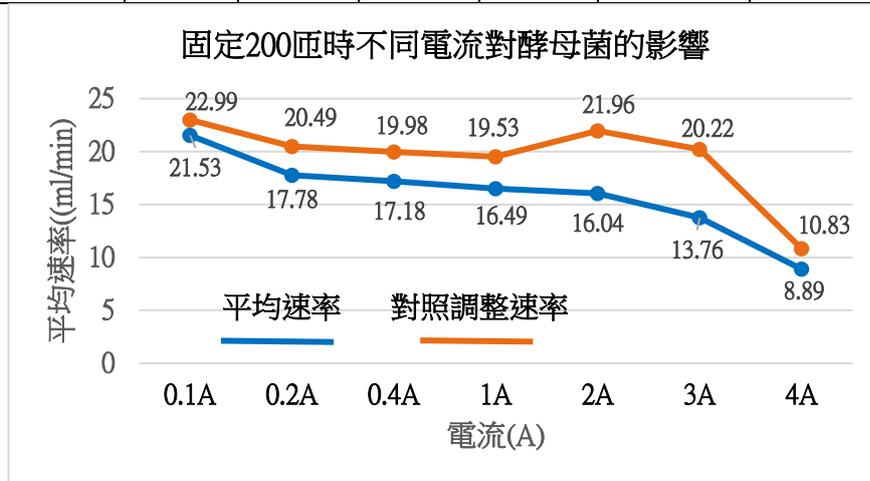


數據分析：

- 1.平均速率最快是 0.4A，對照調整速率最快反而是 2A，所以從數據看不出哪一個電流大小產生的磁場，有明顯抑制或提高酵母菌活性的關聯。
- 2.平均速率曲線與對照調整速率曲線，在 0.1A~1A 間隔相近，1A~3A 間隔變寬，3A 到 4A 間隔又變窄，在 4A 間隔幾近於 0。

2.200 匝線圈

時間 電流	磁場強度 (μT)	第 1 管 (min)	第 2 管 (min)	第 3 管 (min)	總時間 (min)	平均速率 (ml/min)	對照調整速率 (ml/min)
0.1A	90	4.10	4.72	5.12	13.94	21.53	22.99
0.2A	190	6.90	4.90	5.07	16.87	17.78	20.49
0.4A	400	6.77	5.11	5.58	17.46	17.18	19.98
1A	710	6.72	5.41	6.06	18.19	16.49	19.53
2A	1360	5.89	5.85	6.96	18.70	16.04	21.96
3A	1630	9.29	7.38	5.96	22.64	13.76	20.22
4A	3560	7.19	7.16	19.08	33.43	8.89	10.83



數據分析：

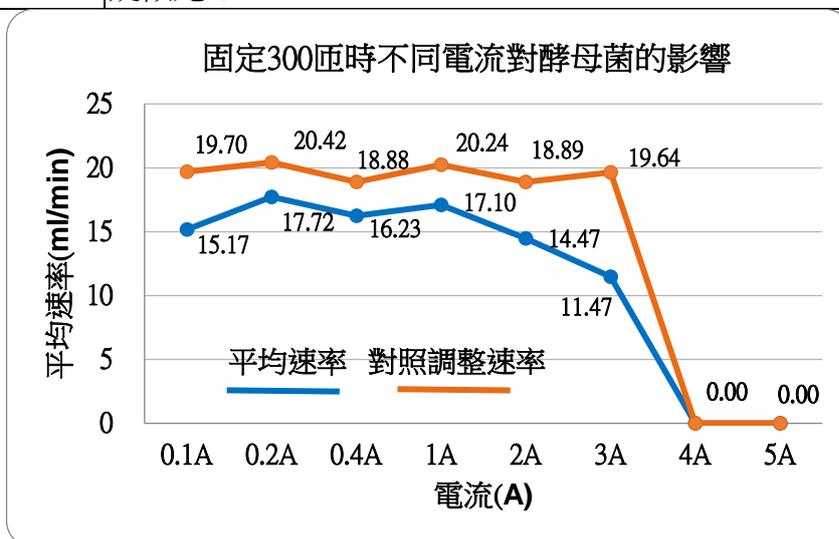
1. 平均速率與對照調整速率最快都是在 0.1A，平均速率在 2A 是下降趨勢，但對照調整速率反而升高，所以從數據看不出哪一個電流大小產生的磁場，有明顯抑制或提高酵母菌活性的關聯。
2. 平均速率曲線與對照調整速率曲線，在 0.1A~1A 間隔相近，1A~3A 間隔變寬，3A 到 4A 間隔又變窄。

綜合分析：

當電流大於 2A，線圈在 100 匝、200 匝時，可以發現發酵速率明顯下降，我們覺得較強的磁場可能對酵母菌的活性有抑制的作用，但同時也發現線圈周圍的水溫也因為電流的熱效應有升高，為了更進一步證實心中的疑惑，我們決定在 300 匝線圈實驗時，將電流增加到 5A，並更加注意線圈是否有過熱的問題及量筒內的水溫。

3. 300 匝線圈

時間 電流	磁場強度 (μT)	第 1 管 (min)	第 2 管 (min)	第 3 管 (min)	總時間 (min)	平均速率 (ml/min)	對照調整速率 (ml/min)	
0.1A	200	7.35	5.06	6.22	18.63	15.17	19.70	
0.2A	370	7.12	4.79	5.02	16.93	17.72	20.42	
0.4A	1010	8.30	5.00	5.18	18.48	16.23	18.88	
1A	2520	6.56	5.24	5.75	17.55	17.10	20.24	
2A	3980	6.88	6.55	7.30	20.73	14.47	18.89	
3A	5100	11.74	7.63	6.78	26.15	11.47	19.64	
4A	6280	11 分 47.10 秒排 107.15ml 就停止了，量筒內溫度 58°C，酵母菌疑似死亡。						
5A	7110	8 分 13.27 秒排 43ml 就停止了，量筒內溫度 67°C，酵母菌疑似死亡。						



數據分析：

1. 平均速率與對照調整速率最快都是在 0.2A，平均速率在 3A 是下降趨勢，但對照調整速率反而升高，所以從 0.1A~3A 的數據看不出哪一個電流大小產生的磁場，有明顯抑制或提高酵母菌活性的關聯，到了 4A、5A 速率都為 0。
2. 平均速率曲線與對照調整速率曲線，在 0.1A~1A 間隔相近，1A~3A 間隔變寬，3A 到 5A 間隔又變窄，在 4A~5A 間隔等於 0。
3. 我們發現電流 4A、5A 時，發酵很快就停止了，量筒內的水溫分別為 58°C、67°C，我們關閉磁場，在經過 35 分鐘後也毫無發酵的跡象，顯然不是磁場的抑制作用，實際上是酵母菌已經死亡。我們認為可能高溫造成酵母菌的死亡，而不是磁場殺死酵母菌，也不可能是糖水發酵殆盡，因為在實驗二、由酵母菌發酵速率曲線可知，在排完 500ml 後，還會持續發酵，於是我們決定降低水溫來驗證推論。

(三)求證 300 匝的線圈輸入 4A、5A 是磁場抑制酵母發酵或殺死酵母，還是水溫過高造成酵母菌死亡。

控制變因：水溫 30°C、15%糖水 30g、10g 酵母菌

時間 電流	量筒 水溫	第 1 管 (min)	量筒 水溫	第 2 管 (min)	量筒 水溫	第 3 管 (min)	量筒 水溫	總時間 (min)	平均速率 (ml/min)
無	30°C	8.57	30°C	7.12	30°C	6.32	30°C	22.01	13.63
4A	30°C	8.36	43°C	4.90	44°C	6.01	45°C	19.27	15.56
5A	30°C	8.34	46°C	6.13	52°C	在 13 分 31.06 秒前排水至 23ml 就停止了，量筒內的溫度 56°C，確定酵母已經死亡。			

數據分析：

- 1.實驗發現，電流 4A 時，因為電流的熱效應使量筒內的水溫升高至 40 幾度，這是酵母菌活性較佳的溫度，所以，發酵的時間比 30°C 無磁場的縮短了 2.74 分鐘。
- 2.電流 5A 時，因為電流的熱效應影響，在第 2 管排完後量筒內測到 52°C 水溫，所以到第 3 管時，只排了 23ml 就停止了，表示酵母菌長時間處於 52°C 以上的水溫就會死亡。驗證了前面的推論，是高溫造成酵母菌死亡，而不是較強的磁場。

四、產生變動方向的磁場，探究磁場頻率變化對酵母菌發酵速率的影響。

(一)訊號產生器輸出 AC 峰值電壓 10V：0.1A、正弦波頻率 900Hz

控制變因：水溫 45°C、15%糖水 30g、10g 酵母菌、線圈 300 匝

時間 次數	磁場強度 (μ T)	第 1 管 (min)	第 2 管 (min)	第 3 管 (min)	總時間 (min)	平均速率 (ml/min)	對照調整速率 (ml/min)
第 1 次	無	7.00	5.46	5.65	18.12	16.56	20.14
	200	7.30	5.18	5.54	18.02	16.64	20.24
第 2 次	無	6.54	5.28	5.61	17.44	17.20	20.14
	200	7.68	5.52	6.09	19.29	15.56	18.22
第 3 次	無	5.50	5.06	5.59	16.16	18.57	20.14
	200	5.35	5.08	5.71	16.14	18.59	20.17

數據分析：

- 1.由三次實驗數據發現，有一次較低於對照組的「發酵速率基準值」=20.14 ml/min，有兩次略高於 20.14 ml/min。
- 2.三組對照調整速率平均=19.54 ml/min，與對照組的「發酵速率基準值」=20.14 ml/min 相差 \approx 3%，所以看不出頻率 900Hz 的變動磁場有什麼「共振刺激」作用。

(二)訊號產生器輸出 AC 峰值電壓 10V：

操縱變因：訊號產生器輸出正弦波的頻率

控制變因：水溫 45°C、15%糖水 30g、10g 酵母菌、線圈 200 匝

時間 電流	磁場強度 (μT)	第 1 管 (min)	第 2 管 (min)	第 3 管 (min)	總時間 (min)	平均速率 (ml/min)	對照調整速率 (ml/min)
0.1A、700Hz	90	7.93	4.82	5.10	17.85	16.81	19.14
0.1A、900Hz	90	8.39	5.34	5.59	19.32	15.53	18.02
0.08A、1300Hz	80	5.72	4.86	5.24	15.82	18.97	18.48
0.06A、2100Hz	70	7.53	5.09	5.52	18.14	16.54	20.70

數據分析：

1. 對照調整速率只有 2100Hz 的 20.70 ml/min 略大於對照組的「發酵速率基準值」20.14ml/min，從實驗數據來看，無法得知那一種頻率會與酵母菌發生「共振刺激」作用。
2. 因為交流電對線圈有阻抗的問題，所以我們將線圈改為 200 匝，但是提高頻率造成阻抗增加，使電流無法固定；又訊號產生器輸出 AC 峰值電壓最大為 10V，當頻率太高時，輸出的電流幾乎為零，也無足夠能量能引起共振刺激，故頻率最高調到 2100Hz。

五、探究釹鐵硼磁鐵的磁場對酵母菌發酵速率的影響。

控制變因：水溫 45°C、15%糖水 30g、10g 酵母菌

(一)發酵量筒內部磁感應強度的最大值：11340 μT

(二)

時間 次數	第 1 管 (min)	第 2 管 (min)	第 3 管 (min)	總時間 (min)	平均速率 (ml/min)	對照調整速率 (ml/min)
第一次	6.79	4.92	5.16	16.87	17.78	20.47
第二次	6.79	4.95	5.28	17.02	17.62	19.90
			對照調整速率平均值 =			20.19

數據分析：

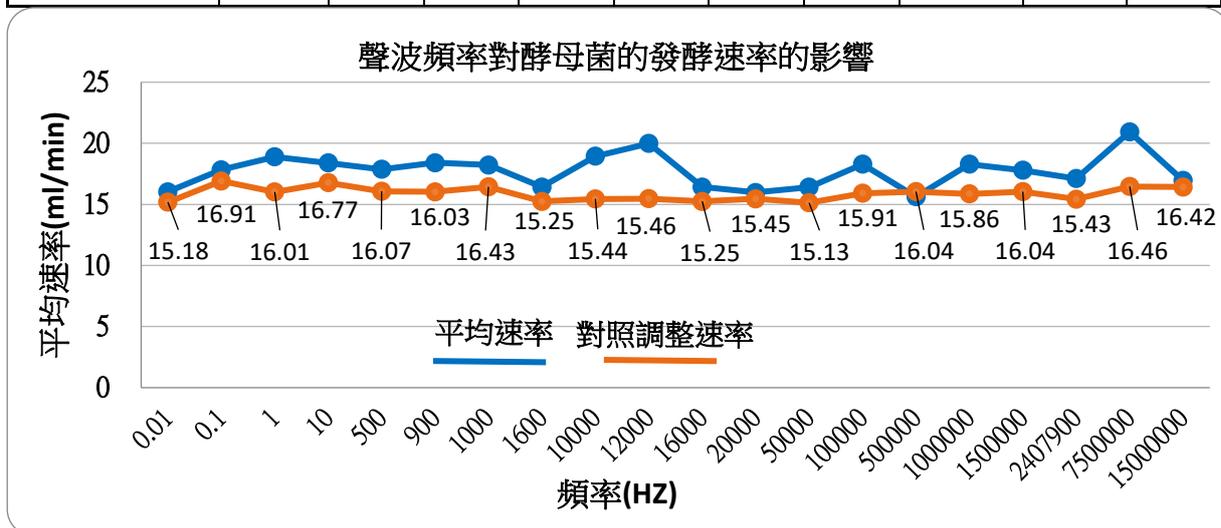
由數據發現，對照調整速率平均值 = 20.19ml/min，與對照組的發酵速率基準值 = 20.14 ml/min 幾乎相等，證明釹鐵硼磁鐵的強力磁場對酵母菌的發酵速率毫無影響。

六、探究聲波頻率對酵母菌發酵速率的影響。

操縱變因：方波頻率

控制變因：20mm 壓電片、水溫 45°C、15%糖水 30 克、10g 酵母菌

頻率(Hz)	0.01	0.1	1	10	500	900	1000	1600	10K	12K
平均速率 (ml/min)	16.03	17.83	18.89	18.39	17.88	18.41	18.22	16.42	18.95	19.99
對照調整速率 (ml/min)	15.18	16.91	16.01	16.77	16.07	16.03	16.43	15.25	15.44	15.46
頻率(Hz)	16K	20K	50K	100K	500K	1M	1.5M	2.4079M	7.5M	15M
平均速率 (ml/min)	16.42	15.98	16.40	18.28	15.62	18.28	17.79	17.11	20.93	16.96
對照調整速率 (ml/min)	15.25	15.45	15.13	15.91	16.04	15.86	16.04	15.43	16.46	16.42



數據分析：

平均速率 7500000Hz 最快，對照調整速率卻是 0.1Hz 最快，但是整體來看，各頻率對照調整速率關係圖幾乎接近一條水平線，故可知聲波頻率大小與酵母菌並無「共振刺激」作用。

七、探究磁場與聲波頻率「同時」進行對酵母菌發酵速率的影響。

排氣 500ml	方波頻率	磁場 (線圈 200 匝)	聲波 (壓電片 20mm)	磁場(線圈 200 匝)+ 聲波(壓電片 20mm)	標準差
對照調整速率 (ml/min)	900Hz	15.94	16.03	15.70	0.17
	1000Hz	16.16	16.43	16.34	0.14

數據分析：

對照調整速率間的標準差很小，表明數據點相對接近平均值。這意味著磁場與聲波頻率「同時」進行，對酵母菌發酵速率也沒有影響。

陸、討 論

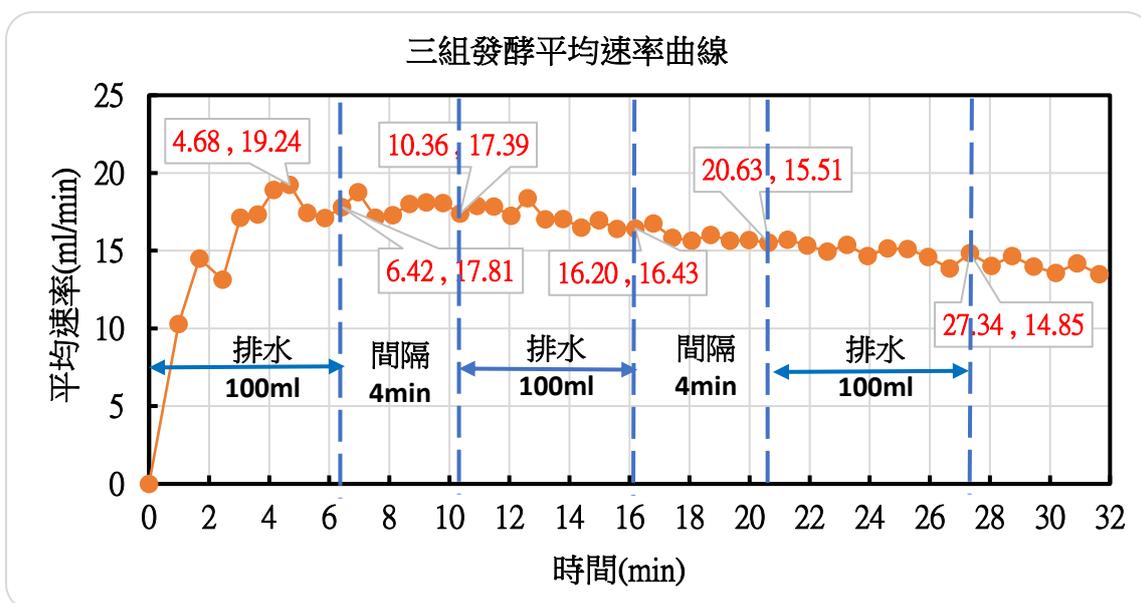
一、尋找酵母菌發酵的最佳糖水濃度與溫度的組合

- (一)依實驗結果顯示酵母菌從 25°C 到 45°C 的發酵率越來越快，但到 50°C 時卻又下降，因此我們可以判斷 45°C 為酵母最佳發酵溫度。
- (二)不同溫度間比較：第一管發酵速率，以溫度較高 45°C、50°C 發酵速率最快，但是到了第四管時，50°C 發酵速率明顯低於 30°C ~ 45°C，顯示酵母菌長時間處在 50°C 的溫度下，酵素的活性會被破壞。
- (三) 酵母菌第一管發酵速率剛開始較慢，第二次發酵速率都會增加，推測酵母菌進行代謝作用剛開始獲得能量較少，一段時間後獲得能量較多，使得活性增加，發酵速率也增加。
- (四)我們發現酵母菌在 15%糖水濃度時發酵速率最快，所以我們選擇 45°C、15%糖水 30g、10g 酵母菌做為酵母菌發酵的最佳糖水濃度與溫度的組合，進行磁場對酵母菌發酵的影響。

二、進行酵母菌發酵速率曲線實驗

- (一)由發酵速率曲線可知，酵母菌剛加入糖水中，發酵速率較慢。可能因為酵母菌才開始將糖分解獲得能量，以及剛接觸 45°C 水溫，活性才剛提升；隨著獲得能量及在 45°C 水溫中，活性快速提升，發酵速率呈對數上升。
- (二)三組發酵平均速率曲線大約 5 分鐘發酵速率達到最大值，之後發酵速度呈緩慢的下降趨勢，推測這與酵母菌在糖水中的反應主要代謝產物二氧化碳及一些其他次生代謝產物有機酸，導致糖水的 pH 值下降，抑制酵母菌的活性有關。
- (三)發酵速率達到最大值之後，發酵速度呈緩慢的下降趨勢，由「酵母菌的生長曲線」可知，與「新鮮酵母菌一般取自酵母菌的對數生長期」相符合。

(四)由發酵速率曲線分析圖可得知，以第一版發酵排水集氣裝置做實驗，為什麼第 2 次平均速率大都高於第 1、3 次的原因。



三、產生固定方向的磁場，探究磁場對酵母菌發酵速率的影響。

(一) 在相同控制變因下，3 組同時做實驗，第一版發酵排水集氣裝置的發酵平均速率誤差小於 3%，第二版誤差小於 1%，可知同時實驗時數據的一致性佳。以此平均速率作為「發酵速率基準值」，再將不同時間實驗之對照組的發酵平均速率調整為「發酵速率基準值」，其他實驗的發酵「平均速率」等比例調整為「對照調整速率」，得以將不同時間實驗所得的數據做客觀比對分析，解決酵母菌的來源、製造時間及開封後的使用時間所造成的不可控制的變因。

(二)第一版實驗裝置「發酵速率基準值」=20.14ml/min，第二版實驗裝置「發酵速率基準值」=15.80ml/min，兩版有不少的差距，我們發現差距的來源：

- 1、第一版實驗裝置在換裝集氣量筒的水時，發酵量筒的橡皮塞是打開來的，再進行實驗時，橡皮塞塞入發酵量筒會造成量筒內氣壓上升，使得三通打開瞬間就有一些水排出，造成初始速率增加，使得第一版實驗裝置「發酵速率基準值」增加。
- 2、第一版實驗裝置總排氣 300ml 平均時間=3 次排氣平均時間 14.90min+2 次間隔時間 8min=22.90min，第二版實驗裝置總排氣 500ml 平均時間=31.64min，第二版比第一版多了 8.74min，由酵母菌的發酵速率曲線可知，隨著時間增加，發酵速度呈緩慢的下降趨勢，使得第二版實驗裝置「發酵速率基準值」下降。

(三) 當電流大於 2A，線圈在 100 匝、200 匝時，可以發現發酵速率明顯下降，本來以為較強的磁場可能對酵母菌的活性有抑制的作用。又線圈在 300 匝電流 4A、5A 時，發酵很快就停止了，量筒內的水溫分別為 58°C、67°C，我們關閉磁場，在經過 35 分鐘後也毫無發酵的跡象，顯然不是磁場的抑制作用，實際上是酵母菌已經死亡。

我們認為可能高溫造成酵母菌的死亡，而不是磁場殺死酵母菌，也不可能是糖水發酵殆盡。為了驗證假設，我們將水溫降至 30°C，以 300 匝的線圈輸入 4A、5A 磁場進行實驗。實驗發現，電流 4A 時，因為電流的熱效應使量筒內的水溫升高至 43~45°C，這是酵母菌活性較佳的溫度，所以，發酵的時間比 30°C 無磁場的快將近 1 分鐘。電流 5A 時，因為電流的熱效應影響，在第 2 管排完後量筒內測到 52°C 水溫，所以到第 3 管時，只排了 23ml 就停止了，到 56°C 水溫，表示酵母菌長時間處於 52°C 以上的水溫就會死亡。驗證了前面的推論，是高溫造成酵母菌死亡，而不是較強的磁場。

(四) 平均速率曲線與對照調整速率曲線，在 0.1A~1A 間隔相近，1A~3A 間隔變寬，3A 到 5A 間隔又變窄，300 匝時在 4A~5A 間隔等於 0。推測是電流的熱效應造成影響，使得量筒內的水溫高於恆溫水箱的水溫。

(五) 針對電流的熱效應造成影響未來改進的方法：線圈直接纏繞在量筒外，電流通過線圈產生的熱直接加熱發酵量筒，造成量筒水溫升高，造成酵母菌死亡與發酵速率的誤差，這部份未來若再進行實驗，將改採纏繞在 PVC 管，再套入量筒外，以減少熱效應對實驗的影響。

(六) 根據 1999 年德國輻射安全聯邦辦公室資料，吹風機在距離 3mm 時的磁場強度是 2000 μ T，我們測得 300 匝通入 3A 時的磁場強度是 5100 μ T，比吹風機高出 2.55 倍。在此強大磁場下，從數據看不出線圈匝數與電流大小，對抑制或提高酵母菌活性有明顯的關聯。

四、產生變動方向的磁場，探究磁場頻率變化對酵母菌發酵速率的影響。

(一) 產生頻率 900Hz 的變動磁場，3 組對照調整速率平均 = 19.54 ml/min，與對照組的「發酵速率基準值」= 20.14 ml/min 相差 \approx 3%，看不出公開發明提到「900 \pm 50Hz 電磁波對酵母菌群細胞能進行『共振刺激』」的作用。

(二) 產生不同頻率的變動磁場實驗，平均速率 0.08A、1300Hz 最快，對照調整速率 0.06A、2100Hz 最快，整體來看，也無法斷定那一種頻率與酵母菌發生「共振刺激」作用。

五、探究釵鐵硼磁鐵的磁場對酵母菌發酵速率的影響。

由數據發現，對照調整速率的平均值 = 20.19 ml/min，與對照組的「發酵速率基準值」 = 20.14 ml/min 幾乎相等，而釵鐵硼磁鐵對量筒內部磁場強度 11340 μ T，是吹風機的 5.67 倍，此實驗證明在釵鐵硼磁鐵的強力磁場下，對酵母菌的發酵速率毫無影響。

六、探究聲波頻率對酵母菌發酵速率的影響。

我們做了 20 組不同頻率，包含公開發明的 1000Hz 聲波及論文提到有效的共振頻率 2.4079 MHz，都未發生「共振刺激」，使酵母菌活化提高發酵產生的氣體量，也未造成抑制效果。

七、探究磁場與聲波頻率「同時」進行對酵母菌發酵速率的影響。

磁場與聲波「同時」進行與單獨有磁場或聲波，其對照調整速率間的標準差很小，可以證明磁場與聲波頻率「同時」進行，對酵母菌發酵速率沒有影響。

柒、結論

- 一、在固定方向的磁場下，高出吹風機 2.55 倍的磁場強度對酵母菌發酵速率沒有影響，反倒是線圈通入 1A 以上的電流，因為電流的熱效應使得量筒內的水溫升高，造成發酵速率的實驗誤差。若在 50°C 以上會造成酵素被破壞，使得活性下降，甚至酵母菌死亡。這部份未來若再進行實驗，將改採纏繞在 PVC 管，再套入量筒外，以減少熱效應對實驗的影響。
- 二、在變動方向的磁場下，磁場頻率變化無法證實對酵母菌有什麼「共振刺激」作用，對酵母菌的發酵速率也毫無影響。
- 三、在釵鐵硼磁鐵的磁場強度高出吹風機 5.67 倍，對酵母菌的發酵速率毫無影響。
- 四、在磁場與聲波「同時」或「單獨」進行，其頻率對酵母菌沒有「共振刺激」作用，對酵母菌發酵速率都沒有影響。

回想當初看到該項公開發明的內容，除了引起我們的好奇，但也讓我們產生質疑，經過不斷實驗探究，我們終於解開疑惑了，做完這次科展實驗，我們對此項公開發明內容的正確性更有質疑的依據，也對未來獲取的資料保留一分存疑與求證的態度。

捌、參考資料

- 一、國中自然第一冊第五章生物的恆定性、第二冊第一章生殖及地球上的生物、第六冊第二章電與磁。
- 二、一種提高酵母菌活性的調控方法
<https://patentimages.storage.googleapis.com/1d/55/1f/d30b35f50ce5c0/CN107446917A.pdf>
- 三、泛科學--家用電器的電磁輻射有多強 <https://pansci.asia/archives/48534>
- 四、微生物生長動態監測系統-- 酵母菌生長週期及生長曲線測定操作步驟
http://www.vizai.net/news/details_49.html
- 五、超音波聲場照射下對酵母菌之生物效應(張永承，2009，碩士論文)
<https://ndltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/g32/gswweb.cgi/login?o=dnclcdr&s=id=%22097NSYS5490015%22.&searchmode=basic>
- 六、酵母國度的產氣之道(楊曜彰，2006，第 52 屆全國科展)
- 七、磁場對於以粗甘油作為碳源之紅酵母製程影響(張維翰，2020，碩士論文)
- 八、不同磁極磁場對酵母菌發酵作用的影響(曾建穎，2008，第 48 屆全國科展)
- 九、高頻電磁波對基本生命單元的影響及探討(傅冠豪，2002，第 42 屆全國科展)
- 十、音酵交響曲~探討音樂對酵母菌生長的影響(鄭泊浩，2022，第 62 屆全國科展)

【評語】 030303

本研究探討磁場與聲波對酵母菌發酵速率的影響，為重複驗證前人研究，創意欠佳但具產業價值。研究設計尚稱完整，包含固定及變動磁場，並進行多重重複試驗，數據校正後應有一定可信度，顯示 0.4 到 2A 磁場強度區間對酵母菌發酵有促進效果，過高磁場可能抑制酵母菌。

正面評價方面，研究設計和方法多樣，展示酵母菌發酵速率曲線和相關裝置，報告結構清晰且數據紀錄清楚。不足處包括重複前人研究而致創意欠佳，結果未顯示顯著影響，缺乏背景介紹和理論支持，數據分析缺少顯著性檢驗，且未與其他文獻比較。

建議未來進行更深入的比較分析，特別是磁場和聲波對酵母菌代謝物產量的影響，增加樣本數量，提高數據代表性和可靠性，並強化與現有文獻的比較分析。

一般建議：

1. 研究設計完整，涵蓋固定及變動磁場對酵母菌發酵速率的影響，但應盡量進行獨立的三重複試驗以減少誤差。

2. 結果顯示在 0.4 到 2A 磁場強度下酵母菌發酵速率高於對照組，建議進行統計顯著性檢驗以確認差異。
3. 圖表應包含電流為 0 的對照組數據，以便更清晰地比較結果。
4. 高磁場可能對酵母菌有抑制效果，未來研究中可考慮加入溫控措施以排除溫度影響。
5. 先前研究結果可能是加成效果的反應，建議進行加成實驗以進一步驗證。
6. 酵母菌發酵速率曲線實驗裝置及產生磁場與聲波的裝置是研究的關鍵，建議詳細記錄其研發或組合過程，並參考相關文獻。
7. 測量磁場和聲波是否改變酵母菌代謝物產量，這將有助於全面理解其影響。

研究發展建議：

1. 探索磁場和聲波對酵母菌代謝產物量的影響，這將進一步揭示其對發酵過程的影響。

2. 增加實驗數據的顯著性檢驗（如 p 值），以增強研究結果的可信度和科學性。
3. 擴展研究樣本量，增加對照組數據，以提高數據的代表性和可靠性。
4. 研究過程中若發現磁場或聲波對酵母菌有潛在影響，建議進一步探討其機制，這將有助於發現更多的應用潛力。
5. 在工業應用中，研究磁場和聲波對酵母菌生長的具體影響，探索如何優化生產工藝，提高產量和質量。
6. 探討磁場和聲波對其他微生物的影響，擴展研究範圍，以尋找更多的應用場景和產業價值。

總結來說，本研究在探討磁場和聲波對酵母菌發酵影響方面有一定學術價值，但需改進實驗設計和數據分析，以進一步驗證其效果和應用潛力。

作品簡報



與磁振共舞

探討磁場與聲波頻率對酵母菌發酵速率的影響

摘要

回想當初看到一項公開發明提到：「在葡萄酒的釀造過程中，通過『同時』設定特定頻段的中頻電磁波(900±50Hz)和聲波設備，對酵母菌細胞進行『共振刺激』，使其細胞膜紊亂的振動頻率回歸正常的振動頻率，從而達到提高酵母菌生物量和代謝產物量的目的。」這引起我們的好奇，也讓我們產生質疑，經過不斷實驗探究，我們所得到的結果是

- 1、在固定方向的磁場下，高出吹風機2.55~5.67倍磁場，對酵母菌發酵速率沒有影響。
- 2、在磁場變化與聲波「同時」或「單獨」進行下，其頻率對酵母菌沒有「共振刺激」作用，對酵母菌的活性都沒有影響。

壹、動機

生物課時學到了溫度、酸鹼值等因素會影響酵素的活性，想說除了這些因素之外，還有什麼因素會影響酵素的活性？而我們在尋找影響因素時，查到一項公開發明「一種提高酵母菌活性的調控方法」(華子昂，2017，申請公佈號：CN107446917A)，研究報告中提到：「在葡萄酒的釀造過程中，通過『同時』設定特定頻段的中頻電磁波(900±50Hz)和聲波設備，對酵母菌細胞進行『共振刺激』，使其細胞膜紊亂的振動頻率回歸正常的振動頻率，從而達到提高酵母菌生物量和代謝產物量的目的。」這份內容引起我們的好奇，但也讓我們產生質疑，**第一點質疑**：內容描述『同時』進行兩個變因--中頻電磁波和聲波，能提高酵母菌活性。但是我們學到的科學方法，每一次只能探究一個操縱變因，而發明內容中並沒有單獨對兩個變因進行探究其影響及數據佐證；而且電磁波和聲波是獨立不相干擾的波，不應該單獨沒影響，同時進行後就會產生影響。**第二點質疑**：他利用中高音揚聲器播放1000Hz的女生歌曲、圓舞曲或者小夜曲，可是歌曲、樂曲的頻率應該有變動，怎麼可能是單一頻率的聲音，既然頻率是變動的，怎能說1000Hz有影響。**第三點質疑**：電磁波和聲波頻率真的會對酵母菌產生共振刺激嗎？參考文獻資料後發現，前人研究結果不一，統計如右表。

	正增強	負增強	無影響
磁場方面	20%	40%	40%
聲波方面	50%	25%	25%

不一，統計如右表。

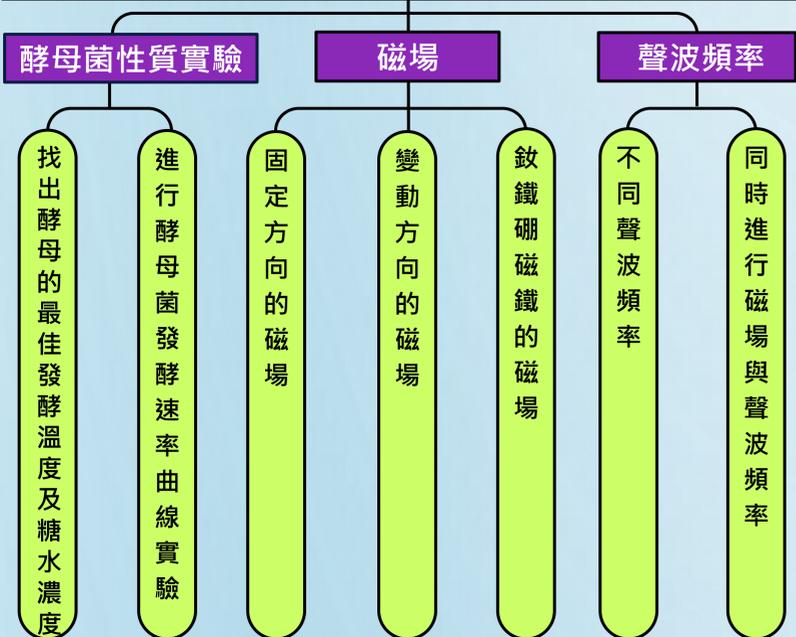
一、研究架構

為了釐清磁場與聲波的影響，我們擬定研究的方向與前人相異之處，如下：

- 1、在磁場方面：前人都是以永久磁鐵產生固定磁場方向，探討磁場對酵母菌的影響，我們則增加以訊號產生器產生不同頻率的正弦波，輸入螺形線圈，來產生磁場方向的變動，去驗證實磁場變化頻率是否對酵母菌有「共振刺激」作用。
- 2、在聲波方面：有別於前人用非單一頻率音樂的研究方法我們以訊號產生器輸出方波，讓壓電片產生單一頻率的聲波，並將壓電片放入酵母菌發酵液中去進行實驗，驗證聲波頻率是否會對酵母菌產生「共振刺激」作用。

根據這樣的想法擬定了研究架構：

好奇磁場與壓電材料對酵母的發酵速率是否有影響



貳、研究目的

- 一、尋找酵母菌發酵的最佳糖水濃度與溫度的組合。
- 二、進行酵母菌發酵速率曲線實驗
- 三、產生固定方向的磁場，探究磁場對酵母菌發酵速率的影響。
- 四、產生變動方向的磁場，探究磁場頻率變化對酵母菌發酵速率的影響。
- 五、探究鈹鐵硼磁鐵的磁場對酵母菌發酵速率的影響
- 六、探究聲波頻率對酵母菌發酵速率的影響。
- 七、探究磁場與聲波頻率「同時」進行對酵母菌發酵速率的影響。

說明：一、三、四、五採用第一版發酵裝置進行實驗

二、六、七是採用第二版發酵裝置進行實驗

參、研究設備及器材

一、研究設備：海報內所有照片皆由作者親自拍攝

(一) 訊號產生器：可輸出0~10V的直流電與交流電，交流電可輸出正弦波與方形波，頻率範圍：0.01~15MHz。



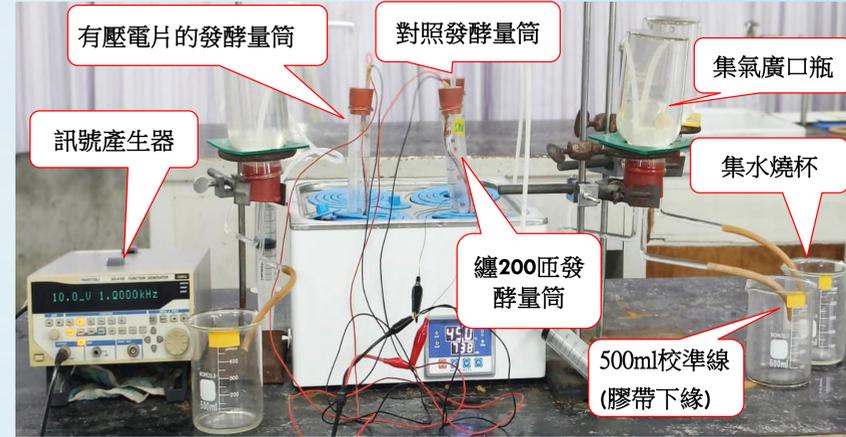
(二)高斯計測量纏繞線圈量筒內部磁感應強度

電流(A)	0.06	0.08	0.1	0.2	0.4	1	2	3	4	5
100匝			50	120	190	510	810	1520	2080	
200匝	80	80	90	190	400	710	1360	1630	3560	
300匝			200	370	1010	2520	3980	5100	6280	7110

(三)第一版發酵排水集氣裝置：產生的磁場實驗裝置



(四)第二版發酵排水集氣裝置：產生聲波頻率的實驗裝置

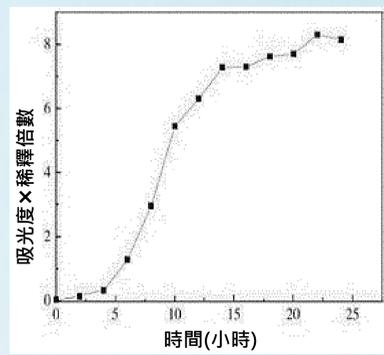


肆、研究過程或方法

一、參考資料

(一) 酵母菌生長週期及生長曲線

由右圖可知，酵母菌的生長曲線清晰地反映了酵母菌的4個生長階段，初始階段0~5小時為酵母菌生長的遲滯期；5~14小時的生長曲線呈大幅上升趨勢，酵母菌經過短暫的適應期後快速生長，開始大量繁殖，發酵速度明顯加快，菌種數量增多，說明酵母菌進入了生長對數期；14~22小時產生大量的次生代謝產物使得pH值下降，酵母菌生長環境惡劣，此時生長速度下降，酵母細胞的對數生長階段結束進入穩定生長階段，活菌數目變化不大，培養22小時後酵母菌的數量達到峰值。22小時以後，酵母菌的生長呈緩慢的下降趨勢，是酵母菌生長的衰亡期。



酵母菌的生長曲線
來源：Biosense Solutions

二、研究方法

實驗發現，在相同控制變因下，同時做實驗，發酵平均速率差異不大，但在不同時間做的實驗，雖然控制變因相同，彼此發酵平均速率較有明顯的差異。這個問題困擾我們很久，後來釐清這與新鮮酵母菌的來源、製造時間及開封後的使用時間有關，這些變因都是難以掌控的。

所以，我們決定同時做三組無磁場、無聲波的發酵實驗，以三組發酵速率的平均值當作對照組的「發酵速率基準值」。每一次進行操縱變因的探究實驗，我們都會同時做一組無磁場、無聲波的實驗當作對照組，再將此對照組的平均發酵速率的數值調整為「發酵速率基準值」，其他實驗發酵「平均速率」數據跟著等比例調整後稱為「對照調整速率」，以將不同時間實驗所得的數據做客觀比對分析。

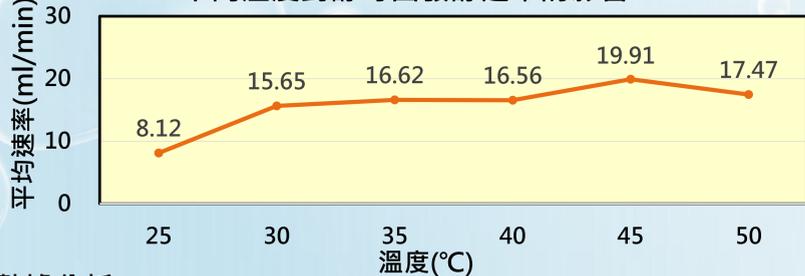
伍、研究過程與結果

一、尋找酵母菌發酵的最佳糖水濃度與溫度的組合

(一) 研究在相同糖水濃度下，最佳的發酵溫度。

控制變因：15%糖水30克、10g酵母菌

不同溫度對酵母菌發酵速率的影響



數據分析：

依實驗結果顯示酵母菌從25°C到45°C的發酵率越來越快，但到50°C時卻又下降，因此我們可以判斷45°C為酵母菌最佳發酵溫度。

(二) 研究在最佳的發酵溫度下，最佳的糖水濃度。

控制變因：45°C糖水30克、10g酵母菌

不同糖水濃度對發酵速率的影響



數據分析：

實驗發現酵母菌在15%糖水濃度時發酵速率最快，所以我們選擇15%糖水、45°C做為酵母菌發酵的最佳糖水濃度與溫度的組合，進行磁場對酵母菌發酵的影響。

二、進行酵母菌發酵速率曲線實驗

(一) 三組排氣500ml平均速率數據

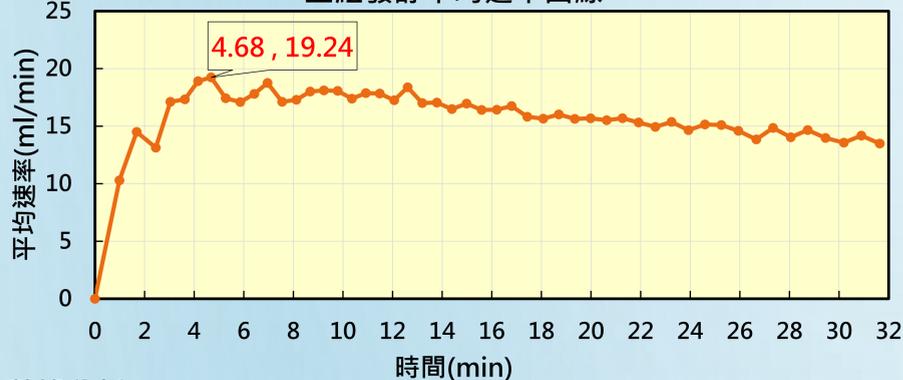
組別	第1組	第2組	第3組	平均值	標準差
排氣500ml平均速率(ml/min)	15.90	15.84	15.67	15.80	0.1193
誤差百分比	0.61%	0.23%	-0.84%		

數據分析：

- 在相同控制變因下，3組同時做實驗，發酵平均速率誤差小於1%，標準差也很小，表明數據點相對接近平均值，可知同時實驗時數據的一致性佳。
- 「發酵速率基準值」= 15.80 ml/min，在以第二版發酵排水集氣裝置所做的實驗，都將無磁場對照組的發酵平均速率的數值調整為15.80 ml/min，其他實驗的發酵「平均速率」數據跟著等比例調整後稱為「對照調整速率」，以將不同時間實驗所得的數據做客觀比對分析。

(二) 發酵速率曲線

三組發酵平均速率曲線



數據分析：

- 由曲線可知，酵母菌剛加入糖水中，發酵速率較慢。可能因為酵母菌才開始將糖分解獲得能量，以及剛接觸45°C水溫，活性才剛提升；隨著獲得能量及在水溫45°C水溫中，活性快速提升，發酵速率急遽上升。
- 三組發酵平均速率曲線大約5分鐘發酵速率達到最大值，之後發酵速度呈緩慢的下降趨勢，根據參考資料可知，這與酵母菌在糖水中的反應主要代謝產物二氧化碳及一些其他次生代謝產物有機酸，導致糖水的pH值下降，抑制酵母菌的活性有關。
- 排氣到500 ml發酵速率並未有明顯的下降，顯示糖水並未消耗殆盡，實際觀察也是如此，廣口瓶剩下的水仍持續穩定的排出。

三、產生固定方向的磁場，探究磁場對酵母菌發酵速率的影響

(一) 用第一版排水集氣裝置，進行對照組的「發酵速率基準值」實驗

條件：水溫45°C、無磁場、間隔4min排水300 ml

時間組別	第1管(min)	第2管(min)	第3管(min)	總時間(min)	平均速率(ml/min)	誤差百分比
第1組	5.59	4.63	4.63	15.11	19.85	-1.44%
第2組	5.59	4.31	4.61	14.50	20.69	2.73%
第3組	5.89	4.50	4.71	15.10	19.87	-1.34%
					平均速率 =	20.14

數據分析：

- 三組同時做實驗，發酵平均速率誤差百分比小於3%。
- 第一版排水集氣裝置對照組的「發酵速率基準值」= 20.14 ml/min

(二) 固定線圈圈數

1. 100匝線圈

100匝時不同電流對酵母菌的影響



2. 200匝線圈

200匝時不同電流對酵母菌的影響



數據分析：

- 從數據看不出哪一個電流大小產生的磁場，有抑制或提高酵母菌活性的關聯。
- 平均速率曲線與對照調整速率曲線，在0.1 A ~ 1 A間隔相近，1 A ~ 3 A間隔變寬，3 A到4 A間隔又變窄。

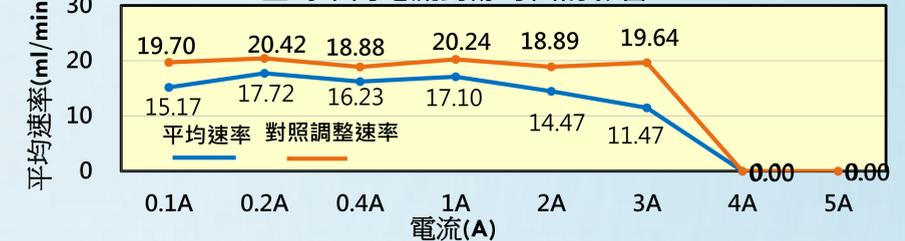
綜合分析：

當電流大於2 A，線圈在100匝、200匝時，可以發現發酵速率明顯下降，我們覺得較強的磁場可能對酵母菌的活性有抑制的作用，但同時也發現線圈周圍的水溫因為電流的熱效應有升高，心中疑惑到底是磁場還是溫度造成影響，為了驗證，我們決定在300匝線圈實驗時，將電流增加到5 A，並更加注意量筒內的水溫。

3. 300匝線圈

時間	磁場強度(μT)	第1管	第2管	第3管	總時間	平均速率	對照調整速率	
電流	(μT)	(min)	(min)	(min)	(min)	(ml/min)	(ml/min)	
4A	6280	11分47.10秒排107.15ml就停止了，量筒內溫度58°C，酵母菌疑似死亡。						
5A	7110	8分13.27秒排43ml就停止了，量筒內溫度67°C，酵母菌疑似死亡。						

300匝時不同電流對酵母菌的影響



數據分析：

- 從0.1A~3A的數據看不出哪一個電流大小產生的磁場，有明顯抑制或提高酵母菌活性的關聯，到了4A、5A速率都為0。
- 我們發現電流4A、5A時，發酵很快就停止了，酵母菌疑似死亡。關閉磁場，在經過35分鐘後也毫無發酵的跡象，顯然不是磁場的抑制作用，實際上是酵母菌已經死亡。我們認為可能高溫造成酵母菌的死亡，而不是磁場殺死酵母菌，也不可能是糖水發酵殆盡，因為在實驗二、由酵母菌發酵速率曲線可知，在排完500ml後，還會持續發酵，於是我們決定降低水溫來驗證推論。

(三) 求證300匝的線圈輸入4A、5A是磁場抑制酵母發酵或殺死酵母，還是水溫過高造成酵母菌死亡。

時間	量筒	第1管	量筒	第2管	量筒	第3管	量筒	總時間	平均速率
電流	水溫	(min)	水溫	(min)	水溫	(min)	水溫	(min)	(ml/min)
無		8.57	30°C	7.12	30°C	6.32	30°C	22.01	13.63
4A	30°C	8.36	43°C	4.90	44°C	6.01	45°C	19.27	15.56
5A	30°C	8.34	46°C	6.13	52°C	在13分31.06秒前排水至23ml就停止了，量筒內的溫度56°C，確定酵母菌已經死亡。			

數據分析：

- 實驗發現，電流4 A時，因為電流的熱效應使量筒內的水溫升高至40幾度，這是酵母菌活性較佳的溫度，所以，發酵的時間比30°C無磁場的縮短了2.74分鐘。
- 電流5A時，因為電流的熱效應影響，在第2管排完後量筒內測到52°C水溫，所以到第3管時，只排了23ml就停止了，表示酵母菌長時間處於52°C以上的水溫就會死亡。驗證了前面的推論，是高溫造成酵母菌死亡，而不是較強的磁場。

四、產生變動方向的磁場，探究磁場頻率變化對酵母菌發酵速率的影響。

(一) 訊號產生器輸出AC峰值電壓10 V：0.1 A、正弦波頻率900 Hz

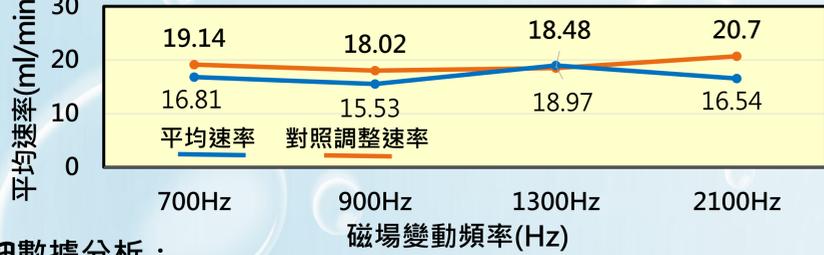
時間	磁場強度(μT)	第1管	第2管	第3管	總時間	平均速率	對照調整速率
次數	(μT)	(min)	(min)	(min)	(min)	(ml/min)	(ml/min)
第1次	200	7.30	5.18	5.54	18.02	16.64	20.24
第2次	200	7.68	5.52	6.09	19.29	15.56	18.22
第3次	200	5.35	5.08	5.71	16.14	18.59	20.17

數據分析：

三組對照調整速率平均 = 19.54 ml/min，與對照組的「發酵速率基準值」= 20.14 ml/min相差 = 3%，所以看不出頻率900 Hz的變動磁場有什麼「共振刺激」作用。

(二)訊號產生器輸出AC正弦波，峰值電壓10V

不同磁場變動頻率對酵母菌發酵速率的影響



數據分析：

- 對照調整速率只有2100Hz的20.70 ml/min略大於對照組的「發酵速率基準值」20.14ml/min，從實驗數據來看，無法得知那一種頻率會與酵母菌發生「共振刺激」作用。
- 因為線圈對交流電有阻抗的問題，所以我們將線圈改為200匝，但是提高頻率造成阻抗增加，使電流無法固定；又訊號產生器輸出AC峰值電壓最大為10V，當頻率太高時輸出的電流幾乎為零，也無足夠能量能引起共振刺激，故頻率最高調到2100Hz。

五、探究釹鐵硼磁鐵的磁場對酵母菌發酵速率的影響。

(一)發酵量筒內部磁感應強度的最大值：11340 μ T

時間次數	第1管 (min)	第2管 (min)	第3管 (min)	總時間 (min)	平均速率 (ml/min)	對照調整速率 (ml/min)
第一次	6.79	4.92	5.16	16.87	17.78	20.47
第二次	6.79	4.95	5.28	17.02	17.62	19.90
對照調整速率平均值 =						20.19

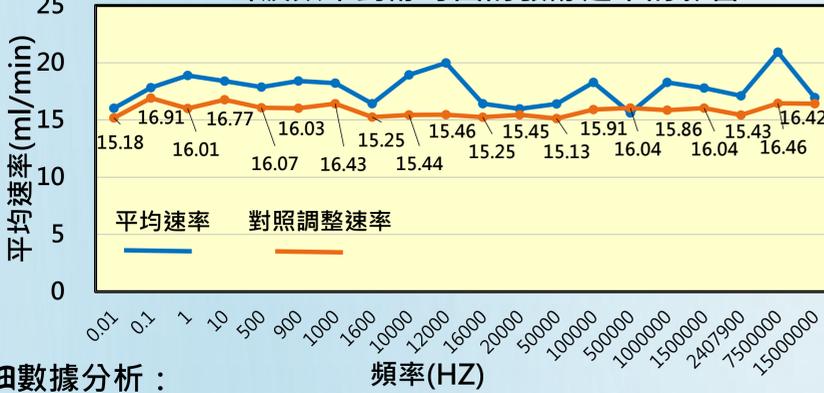
數據分析：

由數據發現，對照調整速率平均值 = 20.19ml/min，與對照組的發酵速率基準值 = 20.14 ml/min幾乎相等，證明釹鐵硼磁鐵的強力磁場對酵母菌的發酵速率毫無影響。

六、探究聲波頻率對酵母菌發酵速率的影響。

操縱變因：方波頻率 控制變因：20mm壓電片

聲波頻率對酵母菌的發酵速率的影響



數據分析：

平均速率7.5 MHz 最快，對照調整速率卻是0.1Hz最快，但是整體來看，各頻率對照調整速率關係圖幾乎接近一條水平線，故可知聲波頻率大小與酵母菌並無「共振刺激」作用。

七、探究磁場與聲波頻率「同時」進行對酵母菌發酵速率的影響。

排氣500ml	方波頻率	磁場 (線圈200匝)	聲波 (壓電片20mm)	磁場(線圈200匝) + 聲波(壓電片20mm)	標準差
對照調整速率 (ml/min)	900Hz	15.94	16.03	15.70	0.17
	1000Hz	16.16	16.43	16.34	0.14

數據分析：

對照調整速率間的標準差很小，表明數據點相對接近平均值。這意味著磁場與聲波頻率「同時」進行，對酵母菌發酵速率也沒有影響。

陸、討論

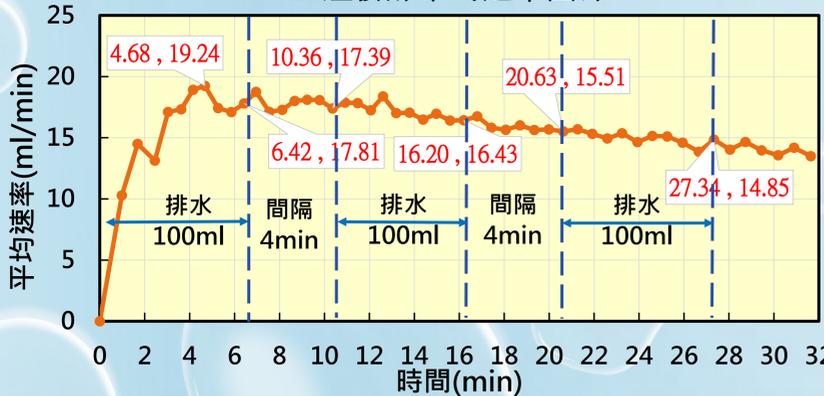
一、尋找酵母菌發酵的最佳糖水濃度與溫度的組合

- 酵母菌第一管發酵速率剛開始較慢，第二次發酵速率都會增加，推測酵母菌進行代謝作用剛開始獲得能量較少，一段時間後獲得能量較多，使得活性增加，發酵速率也增加。
- 我們發現酵母菌在15%糖水濃度時發酵速率最快，所以選擇45 $^{\circ}$ C、15%糖水30g、10g酵母菌做為酵母菌發酵的最佳糖水濃度與溫度的組合，進行磁場對酵母菌發酵的影響。

二、進行酵母菌發酵速率曲線實驗

- 發酵速率達到最大值之後，發酵速度呈緩慢的下降趨勢，由「酵母菌的生長曲線」可知，與「新鮮酵母菌一般取自酵母菌的對數生長期」相符合。
- 由發酵速率曲線分析圖可得知，以第一版裝置做實驗，為什麼第2次「平均速率」大都高於第1、3次的原因。

三組發酵平均速率曲線



三、產生固定方向的磁場，探究磁場對酵母菌發酵速率的影響。

- 在相同控制變因下，3組同時做實驗，第一版實驗裝置的發酵平均速率誤差小於3%，第二版誤差小於1%，可知同時實驗時數據的一致性佳。以此平均速率作為「發酵速率基準值」，其他實驗的發酵「平均速率」等比例調整為「對照調整速率」，得以將不同時間實驗所得的數據做客觀比對分析，解決酵母菌的來源、製造時間及開封後所造成不可控制的變因。
 - 第一版實驗裝置「發酵速率基準值」 = 20.14ml/min，第二版實驗裝置「發酵速率基準值」 = 15.80ml/min，兩版有不少的差距，差距的來源：
 - 第一版實驗裝置在換裝集氣量筒的水時，發酵量筒的橡皮塞是打開來的，再進行實驗時，橡皮塞塞入發酵量筒會造成量筒內氣壓上升，使得三通打開瞬間就有一些水排出，造成第一版實驗裝置「發酵速率基準值」增加。
 - 第一版實驗裝置總排氣300ml平均時間 = 三次排氣平均時間14.90min + 2次間隔時間8min = 22.90min，第二版實驗裝置總排氣500ml平均時間 = 31.64min，第二版比第一版多了8.74min，由酵母菌的發酵速率曲線可知，隨著時間增加，發酵速度呈緩慢的下降趨勢，造成第二版實驗裝置「發酵速率基準值」下降。
 - 當電流大於2A，線圈在100匝、200匝時，可以發現發酵速率明顯下降，本來以為較強的磁場可能對酵母菌的活性有抑制的作用。又線圈在300匝、電流4A、5A時，發酵很快就停止了，量筒內的水溫分別為58 $^{\circ}$ C、67 $^{\circ}$ C，我們關閉磁場，在經過35分鐘後也毫無發酵的跡象，經水溫降至30 $^{\circ}$ C驗證，不是磁場的抑制作用，實際上是酵母菌已經死亡。
 - 線圈直接纏繞在量筒外，電流通過線圈產生的熱直接加熱發酵量筒，使得量筒水溫升高，造成酵母菌死亡與發酵速率的誤差，這部份未來若再進行實驗，將改採纏繞在PVC管，再套入量筒外，以減少熱效應對實驗的影響。
 - 我們測得300匝通入3A時的磁場強度是比吹風機高出2.55倍。在此強大磁場下，從數據看不出線圈匝數與電流大小與酵母菌活性有明顯的關聯。
- ### 四、產生變動方向的磁場，看不出對酵母菌群細胞能進行「共振刺激」的作用。
- ### 五、釹鐵硼磁鐵的磁場強度是吹風機的5.67倍，實驗證明在釹鐵硼磁鐵的強力磁場下，對酵母菌的發酵速率毫無影響。
- ### 六、我們做了20組不同聲波頻率，包含公開發明的1000Hz聲波及論文提到有效的共振頻率2.4079 MHz，都未有發生「共振刺激」使酵母菌活化，提高發酵產生的氣體量，也未造成抑制效果。
- ### 七、磁場與聲波「同時」進行與單獨有磁場或聲波，其對照調整速率間的標準差很小，可以證明磁場與聲波頻率「同時」進行，對酵母菌發酵速率沒有影響。

柒、結論

- 在固定方向的磁場下，高出吹風機2.55倍的磁場強度對酵母菌發酵速率沒有影響，反倒是線圈通入1A以上的電流，因為電流的熱效應使得量筒內的水溫升高，造成發酵速率的實驗誤差。若在50 $^{\circ}$ C以上會造成酵素被破壞，使得活性下降，甚至酵母菌死亡。這部份未來若再進行實驗，將改採纏繞在PVC管，再套入量筒外，以減少熱效應對實驗的影響。
- 在變動方向的磁場下，磁場頻率變化無法證實對酵母菌有什麼「共振刺激」作用，對酵母菌的發酵速率也毫無影響。
- 在釹鐵硼磁鐵的磁場高出吹風機5.67倍，對酵母菌的發酵速率毫無影響。
- 在磁場與聲波「同時」或「單獨」進行，其頻率對酵母菌沒有「共振刺激」作用，對酵母菌發酵速率都沒有影響。

回想當初看到該項公開發明的內容，除了引起我們的好奇，但也讓我們產生質疑，經過不斷實驗探究，我們終於將疑惑解開了，做完這次科展實驗，我們對此項公開發明內容的正確性更有質疑的依據，也對未來獲取的資料保留一分存疑與求證的態度。

捌、參考資料及其他

- 國中自然第一冊第五章生物的恆定性、第二冊第一章生殖及地球上的生物、第六冊第二章電與磁。
- 一種提高酵母菌活性的調控方法
- 泛科學--家用電器的電磁輻射有多強
- 微生物生長動態監測系統-酵母菌生長週期及生長曲線測定操作步驟
- 超音波聲場照射下對酵母菌之生物效應(張永承，2009，碩士論文)
- 酵母國度的產氣之道(楊曜彰，2006，第52屆全國科展)
- 磁場對於以粗甘油作為碳源之紅酵母製程影響(張維翰，2020，碩士論文)
- 不同磁極磁場對酵母菌發酵作用的影響(曾建穎，2008，第48屆全國科展)
- 高頻電磁波對基本生命單元的影響及探討(傅冠豪，2002，第42屆全國科展)
- 音醇交響曲~探討音樂對酵母菌生長的影響(鄭泊浩，2022，第62屆全國科展)