

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 化學科

第三名

080209

有「酵」？無「酵」？驗了就知道！

學校名稱：國立東華大學附設實驗國民小學

作者： 小六 羅奕涵 小六 李育綸	指導老師： 李偲華 游時銘
-------------------------	---------------------

關鍵詞：發酵、浸泡米水、褐變程度檢測儀

摘要

本研究從文獻探討及實驗測試中毅然捨棄傳統的「碘滴定法」改以測量不同米種之米水的「PH值」及「氧化還原電位值」來分析其抗氧化能力。

研究中發現米的種類、米水製作方式、浸泡時間、接觸空氣與否、環境溫度、米的重複利用次數都會影響米水的發酵效果。且利用「自製褐變程度檢測儀」，成功以精準的量化數值來呈現蘋果汁的褐變程度，並藉由「蘋果汁的褐變實驗」驗證發酵佳的米浸泡水種類其抗氧化力也很好。我們用一整年的假日、週三下午等時間完成此研究，發現化學世界與生活息息相關，付出再多的辛苦也值得！

壹、研究動機

以前煮飯時，人們都會把淘米水倒掉，認為它沒什麼用，但近年來環保意識抬頭，許多人將淘米水再次利用來去污、掃除、澆灌植物等生活用途，我姊姊還說：「發酵的淘米水具有抗氧化力，用它來洗臉，可以防止皮膚的老化！」好奇的我對姊姊的說法心存懷疑，發酵的米水真的具有抗氧化力嗎？可以如何設計實驗印證此說法呢？又怎麼做可以提高米水的抗氧化效果呢？因此我和同學討論之後，決定以「米水」為主題，揭開「米水」的神祕面紗。

貳、研究目的

- 一、探究影響米水發酵的可能因素
- 二、探究米水的發酵與其抗氧化力的關係

參、研究設備及器材

- 一、材料：白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米、碘液、蘋果、澱粉、醋、小蘇打粉
- 二、器材：照度計、LED燈、攪拌杯、滴定管、榨汁機、極細濾網、塑膠針筒、塑膠管、三通閥、PH計、氧化還原電位計、冰箱、鋼杯、長尾夾、水族箱、吸濾瓶、矽膠管、燒杯、電磁爐、玻棒、電子秤、量杯。

肆、研究架構及流程

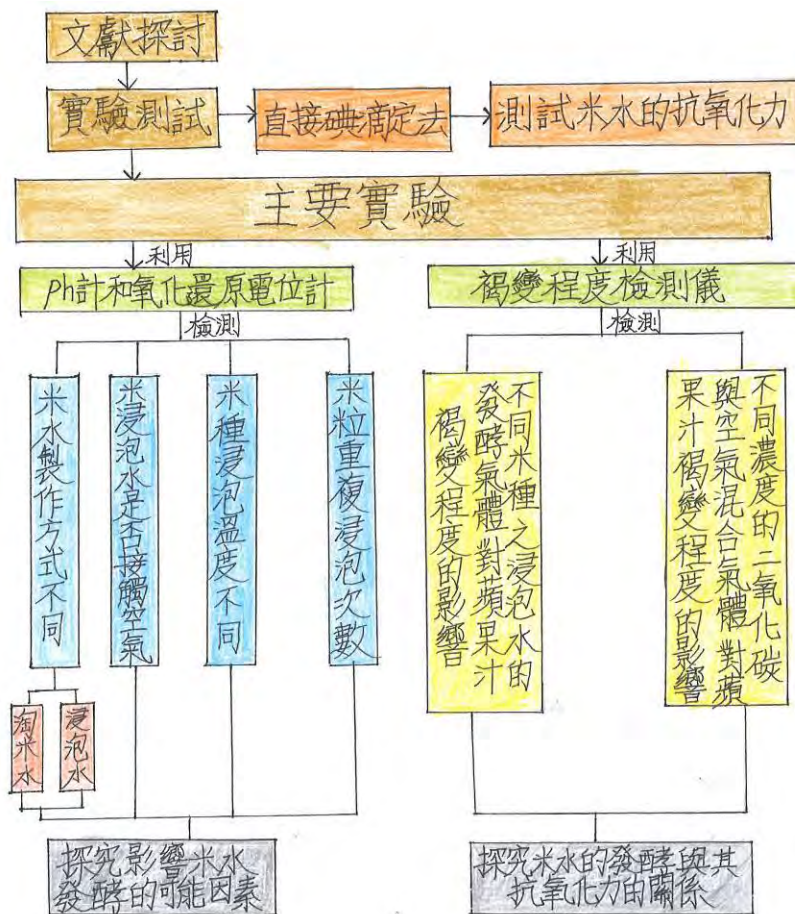


圖 1-1：研究架構

伍、研究過程及結果

實驗一：文獻探討及實驗測試

(一)文獻探討

1. 發酵淘米水的功效及製作方式

八木宏典認為大米中含有可溶於水的水溶性維生素和礦物質，這些營養在淘米的時候殘留在淘米水中，而其中所包含的維生素B和維生素E具有保濕、抗衰老的作用，還能提高皮膚對紫外線的抵抗能力，預防黑色素生成，使皮膚白皙細膩。

栗生隆子在「超萬能的淘米水」一書中提到，將 $\frac{1}{2}$ 米杯的白米（約50g）加上500ml的水，用兩手合掌輕柔淘米後的淘米水在常溫中放置一天，發酵便會進行，藉由將淘米水發酵可幫助水中酵母菌增多，提高其抗氧化能力。

為因應本研究所設計的密閉針筒微量實驗，我們按粟生隆子所建議的米和水的份量等比例縮減為 1.5g 的米加上 15g 水，且將加入其它常見米種及從未有人研究過的「米的浸泡水」一併進行比較與分析。

2. 關於測定抗氧化力的文獻探討：

人體的老化與氧化有密切關係，因此抗氧化食物備受矚目。「氧化反應」本身是一種正常的生理機制，一呼一吸間就完成了一系列的氧化反應。每次的氧化反應，會產生身體所需的能量，也會產生一些有害副產物；當氧化反應所產生的副產物過多，沒有及時清理而堆積時，就發生「過度氧化」，導致細胞和組織的功能退化，人逐漸衰老。從保養的角度來說，「抗氧化」主要指抵禦清除外界環境和人體自身產生的、可能傷害皮膚、導致過快老化的某些物質，儘可能減慢皮膚的老化速度。

在歷屆全國小學科展關於**抗氧化力的測定方法**有兩種，一為**間接碘滴定法**，這種方法須在中性或弱酸性溶液中進行，並以澱粉作為指示劑，達終點時溶液由藍色變為無色。如：我是[地]一名-地瓜葉抗氧化力之探討（全國科展第 50 屆）、[石蓮食美]-抗氧化很夠力（全國科展第 52 屆）、年輕要[留白]-天然抗氧化食材探討與研發（全國科展第 54 屆）；另一種為**直接碘滴定法**，這種方法應用在弱鹼性、中性或弱酸性溶液中進行，並以澱粉作為指示劑，滴定過程中溶液裡呈現無色，終點時溶液則由無色變為藍色。如：你[蒜]哪根[蔥]-蔥蒜抗氧化力之探討（全國科展第 51 屆）、大家來找[茶]-茶抗氧化力之探討（全國科展第 52 屆）。**考量不同米種米水之待測液顏色不同，所以我們選擇以直接碘滴定法進行米水實驗的先前測試。**

(二)實驗測試：使用「碘滴定法」來檢驗不同米種的淘米水與浸泡水其抗氧化力有何差異？

1. 實驗步驟：

(1) 準備 1% 澱粉指示劑：秤 1g 澱粉，將其倒入鋼杯中並加 100g 水，用電磁爐加熱攪拌至沸騰，自然冷卻至常溫。

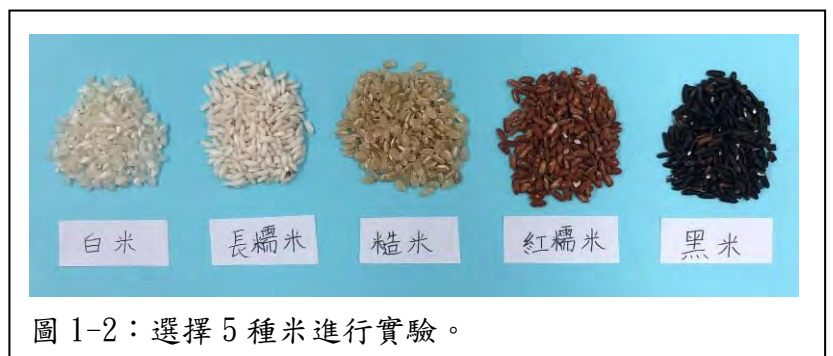
(2) 米水待測液調製：

① 選擇**米種**：白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米。（圖 1-2）

② 製作**淘米水**（如圖 1-3）：將 1.5g 米加水 150g，用攪拌杯攪拌米和水 1 分鐘（圖 1-5），以取代用手洗米可能造成人為誤差，取其中淘米水 10cc 置入密閉塑膠針筒中（如圖 1-6），靜置 24 小時後取此待測液進行滴定實驗。

③ 製作**浸泡水**（如圖 1-4）：在攪拌杯中倒入 1.5g 米和 150g 水，攪拌 1 分鐘後，取出攪拌杯中的米置入內含 10cc 的密閉塑膠針筒中，靜置 24 小時後取此待測液進行滴定實驗。

(3) 在待測液中各加入 10 滴 1% 澱粉指示劑。



(4)將 0.01M 碘液置入滴定管中，再藉由橡膠滴管帽將碘液一滴一滴的滴入待測液中，測量待測液由無色變為藍色，即達滴定終點，此時記錄滴定至終點時 0.01M 的碘液用量。(圖 1-7)



圖 1-5：用攪拌杯攪拌米和水，取代用手洗米可能造成的人為誤差。



圖 1-6：在塑膠針筒前端套上塑膠軟管，將軟管反折以長尾夾固定，使塑膠針筒形成一個密閉的實驗空間。

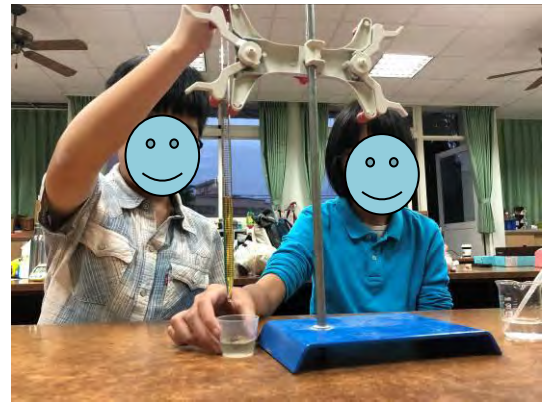


圖 1-7：以「碘滴定法」檢驗不同米種之淘米水及米水之抗氧化力。

2. 實驗結果

表 1-1：不同米種的淘米水以「碘滴定法」滴定之碘液用量一覽表

米種 碘液用量 實驗次數 (ml)	白米 淘米水	長糯米 淘米水	糙米 淘米水	紅糯米 淘米水	黑米 淘米水
	第一次	2.0	2.1	2.1	2.1
第二次	1.9	1.8	2.0	2.2	2.2
第三次	2.0	2.2	2.2	2.1	2.4
平均	2.0	2.0	2.1	2.1	2.3

表 1-2：不同米種的浸泡水以「碘滴定法」滴定之碘液用量一覽表

米種 碘液用量 實驗次數 (ml)	白米 浸泡水	長糯米 浸泡水	糙米 浸泡水	紅糯米 浸泡水	黑米 浸泡水
	第一次	3.1	3.2	4.4	6.3
第二次	3.3	3.5	3.9	6.4	7.2
第三次	3.7	3	3.8	6.8	7.4
平均	3.4	3.2	4.0	6.5	7.5

3. 實驗發現

將表 1-1~1-2 彙整成圖 1-8 發現：

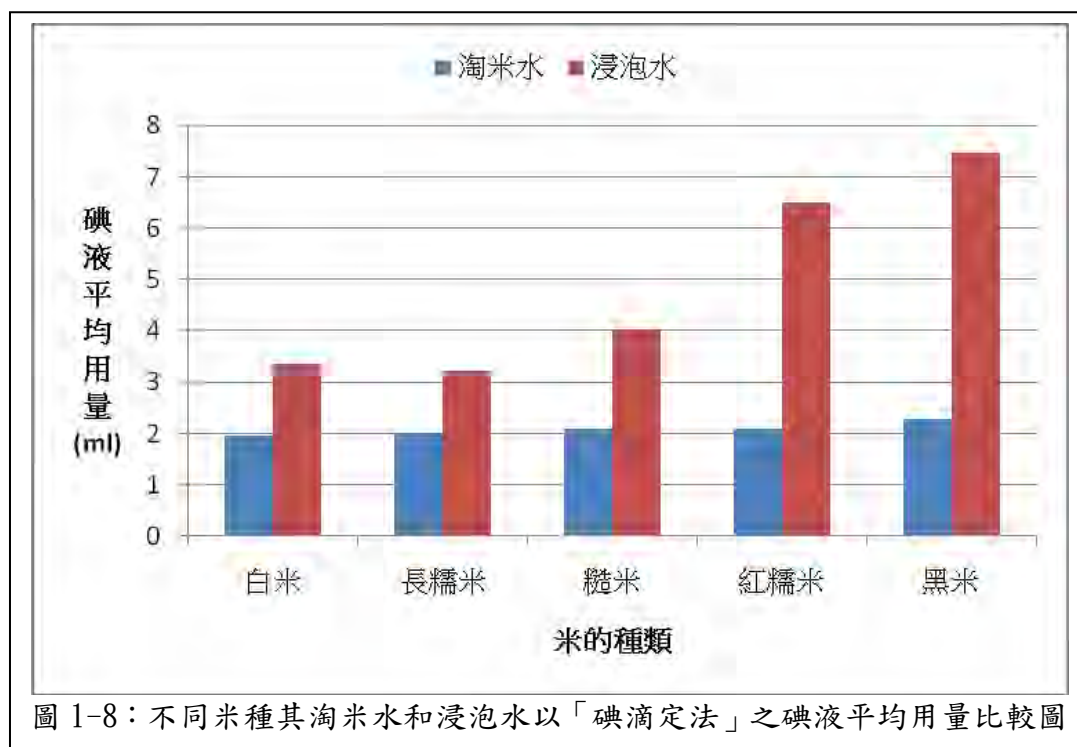


圖 1-8：不同米種其淘米水和浸泡水以「碘滴定法」之碘液平均用量比較圖

- (1) 從文獻閱讀中我們知道以「碘直接滴定法」檢驗某溶液，達到滴定終點所需的碘液用量越多，代表其抗氧化能力越好。所以從圖 1-8 長條圖中可得知：
- ① 淘米水的抗氧化力由優至劣：黑米 > 糙米 = 紅糯米 > 白米 = 長糯米，但達滴定終點所需碘液用量介於 2.0~2.3ml，差距不大。
 - ② 浸泡水的抗氧化力由優至劣：黑米 > 紅糯米 > 糙米 > 白米 > 長糯米，其中黑米浸泡水達滴定終點所需碘液用量最多，為 7.5 ml；紅糯米浸泡水次之，為 6.5 ml。
 - ③ 任一相同米種，其淘米水與浸泡水之抗氧化力比較：浸泡水 >> 淘米水
- (2) 因本實驗中各米種的待測液含有澱粉成份，碘液對澱粉本就會產生藍黑或紫黑色反應，再加上黑米、紅糯米容易在水中釋放出的天然色素，導致使用碘直接滴定法對於滴定是否達到終點，有判斷上的困難，且每個人目視顏色標準不同，對於判斷是否達到滴定終點難免有歧異，因此就本研究而言，「碘滴定法」不是一個理想檢驗不同米種之米水其抗氧化力強弱的好方法。

四、發酵米水的性質檢測：

氧化還原電位 (ORP) 一直是被用來監測水質狀況及生物反應趨向的指標。所謂的氧化還原電位用以反應發酵液中所有物質整體表現出來的氧化還原性。氧化還原電位 正數值越大，氧化性越強，氧化能力越高；氧化還原電位負數值越大，則還原性越強，抗氧化能力越高。一般而言微生物代謝會朝向穩定的氧化狀態進行，系統中的氧快速被消耗掉，若 ORP 很快就

到達負電位，此時微生物達到氧化還原狀態之速率則可以作為生物活性之指標，即若 ORP 快速變化則代表微生物代謝活動旺盛（徐啟銘，2003）。因此我們捨棄「碘滴定法」改以測量「酸鹼性」及「氧化還原電位值」來判斷不同米種的米水發酵程度，並藉由蘋果汁褐變實驗以檢測米水是否具有抗氧化能力。



實驗針筒前端改以「三通閥」裝置以改良管口密封方式

實驗針筒前端原以塑膠短管、長尾夾來封閉管口(如圖 1-9)，但每次為了要確實使針筒隔絕外界空氣，都必須要一再重複套上塑膠管→彎折塑膠管→調整長尾夾的夾住角度……而花費許多時間，因此在經過多次嘗試與試驗之後，發現醫療用三通閥(如圖 1-10)管徑與實驗用針筒管口能密合，不僅有助於提升實驗效率，且其閥口的開與關設計將有助於後續之實驗進行，能發現「三通閥」這優質零件，讓我們好開心！



圖 1-9：以長尾夾封閉管口。

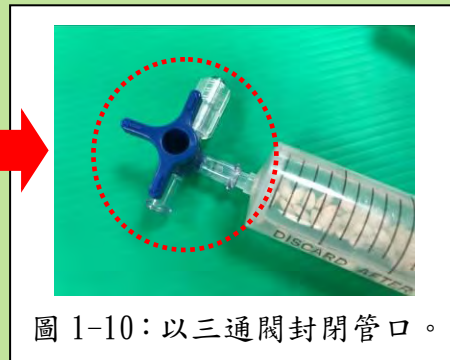


圖 1-10：以三通閥封閉管口。

實驗二：不同米種的淘米水，浸泡時間如何影響其發酵情形？

(一)實驗步驟

1. 對淘米水的外觀、顏色、氣泡量等進行觀察
 - (1)備妥 5 支觀察用密閉針筒以進行微量實驗：在塑膠針筒前端套入三通閥來密封管口。
 - (2)米種：白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米
 - (3)備妥不同米種的淘米水：在攪拌杯中倒入 1.5g 的米和 150g 水，攪拌 1 分鐘，攪拌杯中的溶液即為淘米水。
 - (4)取 15g 不同米種的淘米水分別置入實驗觀察針筒中，套上針筒活塞，並貼上識別標籤紙。如圖 2-1~2-2。



圖 2-1：將不同米種的淘米水分別置入實驗觀察針筒中，並貼上識別標籤紙。



圖 2-2：實驗觀察針筒中白米淘米水

(5)每隔 1、2、3、4、5、6、12、18、24 小時記錄每支實驗觀察針筒中的淘米水外觀、顏色、氣泡量等。

2. 將每種淘米水各置入 5 支觀察用密閉針筒，5 種米共需 25 支觀察用密閉針筒，浸泡至 0、6、12、18、24 小時，分別打開不同密閉針筒測量其 PH 值、氧化還原電位值(圖 2-3)。

◎註：①將 PH 計放入校正液中輕搖兩到三下後靜置，校正至 PH 值出現 7.0，若 Ph 值沒出現 7.0 則用螺絲起子旋轉來校正，一天校正一次。

②將氧化還原電位計放入校正液中輕搖兩到三下後靜置，校正至氧化還原電位值穩定，且氧化還原電位值在固定範圍內跳動，一天校正一次。

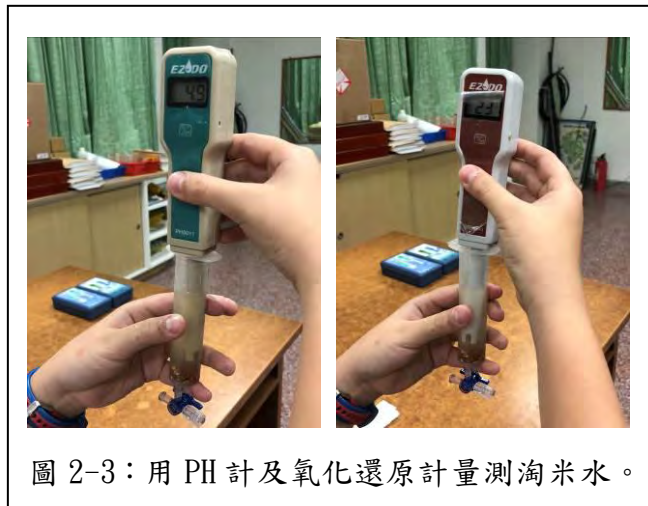


圖 2-3：用 PH 計及氧化還原計量測淘米水。

表 2-1：不同米種之淘米水其外觀、顏色、氣泡量等觀察項目一覽表

觀察時間	米種 觀察項目	白米淘米水	長糯米淘米水	糙米淘米水	紅糯米淘米水	黑米淘米水
		顏色	米白色	淡米白色	透明無色	透明淡淡灰色
1 小時	混濁度	混濁	清澈	清澈	清澈	清澈
	懸浮物	×	×	×	×	×
	沉澱物	×	×	×	×	×
	氣泡數	×	×	×	×	×
	顏色	米白色	淡米白色	透明無色	透明淡淡灰色	極淡酒紅色
2 小時	混濁度	混濁	清澈	清澈	清澈	清澈
	懸浮物	×	×	×	×	×
	沉澱物	×	×	×	×	×
	氣泡數	×	×	×	×	×
	顏色	米白色	淡米白色	透明無色	透明淡淡灰色	極淡酒紅色
3 小時	混濁度	混濁	清澈	清澈	清澈	清澈
	懸浮物	×	×	×	×	×
	沉澱物	×	×	×	×	×
	氣泡數	×	×	×	×	×
	顏色	米白色	淡米白色	透明無色	透明淡淡灰色	極淡酒紅色
4 小時	混濁度	混濁	清澈	清澈	清澈	清澈
	懸浮物	×	×	×	×	×
	沉澱物	×	×	×	×	×
	氣泡數	×	×	×	×	×
	顏色	米白色	淡米白色	透明無色	透明淡淡灰色	極淡酒紅色

5 小 時	顏 色	米白色	淡米白色	透明無色	透明淡淡灰色	極淡酒紅色
	混濁度	混濁	清澈	清澈	清澈	清澈
	懸浮物	×	×	×	×	×
	沉澱物	×	×	×	×	×
	氣泡數	×	×	×	×	×
6 小 時	顏 色	米白色	米白色	透明無色	半透明淺灰色	淡酒紅色
	混濁度	混濁	清澈	清澈	清澈	清澈
	懸浮物	×	×	×	×	×
	沉澱物	×	×	×	×	×
	氣泡數	×	×	×	×	×
12 小 時	顏 色	米白色	米白色	透明無色	半透明淺灰色	淡酒紅色
	混濁度	混濁	清澈	清澈	清澈	混濁
	懸浮物	×	×	×	×	×
	沉澱物	×	×	×	×	×
	氣泡數	×	×	×	×	×
18 小 時	顏 色	米白色	米白色	透明淺灰色	淺灰黃色	淡酒紅色
	混濁度	混濁	混濁	清澈	混濁	混濁
	懸浮物	×	×	×	×	×
	沉澱物	×	×	×	×	×
	氣泡數	×	×	×	×	×
24 小 時	顏 色	米白色	米白色	透明淺灰色	淺灰黃色	淡酒紅色
	混濁度	混濁	混濁	清澈	混濁	混濁
	懸浮物	×	×	×	×	×
	沉澱物	×	×	×	×	×
	氣泡數	×	×	×	×	×

表 2-2：，白米淘米水在不同觀察時間之 PH 值及氧化還原電位值一覽表

實驗時間		0 小時		6 小時		12 小時		18 小時		24 小時	
測量項目		PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
實 驗 次 數	1	6.8	253	6.7	241	6.6	256	6.7	244	6.6	224
	2	6.7	269	6.7	267	6.5	251	6.8	236	6.5	191
	3	6.5	263	6.7	271	6.7	242	6.5	247	6.3	260
平 均		6.7	262	6.7	260	6.6	250	6.7	242	6.5	225

表 2-3：長糯米淘米水在不同觀察時間之 PH 值及氧化還原電位值一覽表

實驗時間		0 小時		6 小時		12 小時		18 小時		24 小時	
測量項目		PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
實 驗 次 數	1	6.7	259	6.5	262	6.5	223	6.7	213	6.7	218
	2	6.6	277	6.8	276	6.7	257	6.7	239	6.7	210
	3	6.9	270	6.5	258	6.8	237	6.8	221	6.7	236
平 均		6.7	269	6.6	265	6.7	239	6.7	224	6.7	221

表 2-4：糙米淘米水在不同觀察時間之 PH 值及氧化還原電位值一覽表

實驗時間		0 小時		6 小時		12 小時		18 小時		24 小時	
測量項目		PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
實 驗 次 數	1	6.6	252	6.8	245	6.6	219	6.7	233	6.6	221
	2	6.6	268	6.7	259	6.6	214	6.6	206	6.5	193
	3	6.6	252	6.8	245	6.6	219	6.7	233	6.6	221
平 均		6.7	265	6.7	258	6.6	213	6.6	213	6.6	192

表 2-5：紅糯米淘米水在不同觀察時間之 PH 值及氧化還原電位值一覽表

實驗時間		0 小時		6 小時		12 小時		18 小時		24 小時	
測量項目		PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
實 驗 次 數	1	6.8	264	6.7	249	6.6	258	6.6	250	6.6	182
	2	6.7	269	6.6	267	6.6	233	6.6	212	6.4	222
	3	6.7	270	6.6	264	6.6	186	6.6	188	6.4	194
平 均		6.7	268	6.6	260	6.6	226	6.6	217	6.5	199

表 2-6：黑米淘米水在不同觀察時間之 PH 值及氧化還原電位值一覽表

實驗時間		0 小時		6 小時		12 小時		18 小時		24 小時	
測量項目		PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
實 驗 次 數	1	6.8	266	6.5	261	6.7	191	6.3	199	6.7	170
	2	6.6	269	6.6	266	6.7	200	6.7	199	6.3	193
	3	6.6	278	6.7	257	6.7	218	6.5	204	6.4	188
平 均		6.7	271	6.6	261	6.7	203	6.5	201	6.5	184

(三)實驗發現

1. 不論任何米種淘米水放置 24 小時後都沒有產生氣泡，表示發酵效果不顯著，推測是因為觀察用密閉針筒中米的含量濃度較低，因此米無法和空氣起反應。
2. 白米淘米水放置 1 小時後、黑米淘米水放置 12 小時後、長糯米、紅糯米淘米水放置 18 小時後，水質才變混濁；但糙米淘米水放置 24 小時後，水質仍然清澈。
3. 淘米水放置一段時間後，都會帶些米本身的顏色，其中黑米淘米水呈明顯的淡紅色。
4. 將表 2-2~2-6 彙整成圖 2-4~2-5 發現：

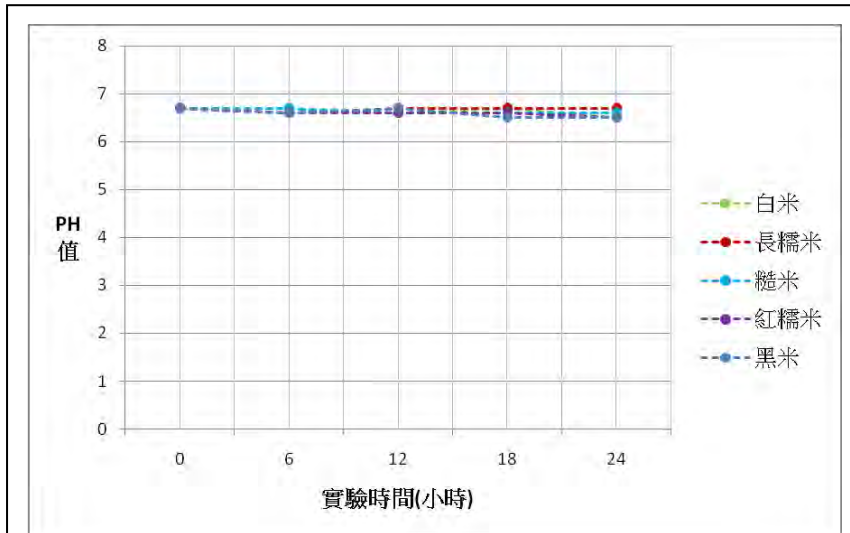


圖 2-4：不同米種淘米水在不同實驗時間之 PH 值關係圖

- ①任一米種淘米水在 24 小時內的 PH 值變化不大，仍接近中性。
- ②任一米種淘米水放置 24 小時後，在 24 小時內的氧化還原電位值會稍微下降，但仍是正值。

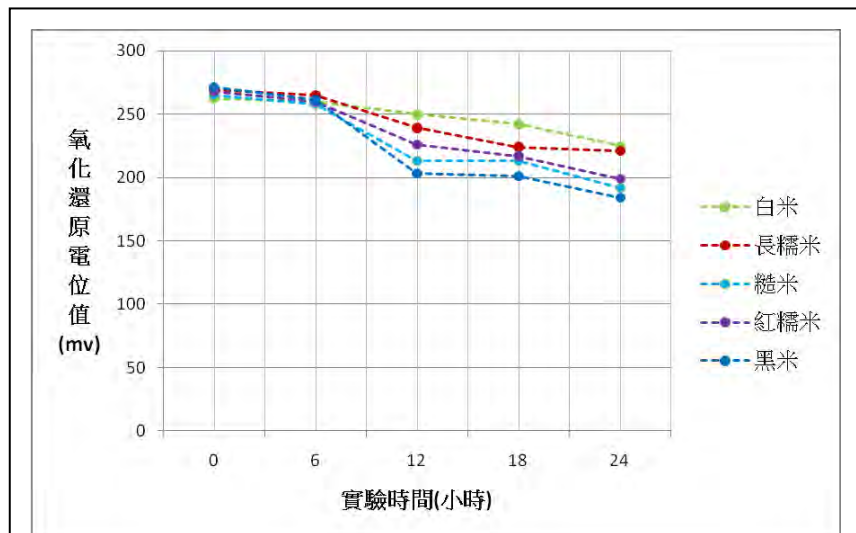


圖 2-5：不同米種淘米水在不同實驗時間之氧化還原電位值

實驗三：不同米種的浸泡水，浸泡時間如何影響其發酵情形？

(一) 實驗步驟

1. 對浸泡水的外觀、顏色、氣泡量等進行觀察

(1) 備妥 5 支觀察用密閉針筒以進行微量實驗：

在塑膠針筒前端套入三通閥來密封管口，在針筒中倒入 15g 的水待用。

(2) 米種：白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米

(3) 備妥不同米種的浸泡水：在攪拌杯中倒入 1.5g 米和 150g 水，攪拌 1 分鐘後，取出攪拌杯中的米置入內含 15g 水的觀察用針筒中，套上針筒活塞。(圖 3-1)

(4) 貼上識別標籤紙，進行觀察。

(5) 每隔 1、2、3、4、5、6、12、18、24 小時記錄每支實驗觀察針筒中的浸泡水外觀、顏色、氣泡量等。

2. 將每種浸泡水各置入 5 支觀察用密閉針筒，5 種米共需 25 支觀察用密閉針筒，浸泡至 0、6、12、18、24 小時，分別打開不同密閉針筒測量其 PH 值、氧化還原電位值。



圖 3-1：將不同米種的浸泡水分別置入實驗觀察針筒中，並貼上識別標籤紙。

(二) 實驗結果

表 3-1：不同米種之浸泡水其外觀、顏色、氣泡量等觀察項目一覽表

觀察時間	米種	白米	長糯米	糙米	紅糯米	黑米
	觀察項目	浸泡水	浸泡水	浸泡水	浸泡水	浸泡水
1 小時	顏色	淡米白色	透明無色	透明無色	透明無色	淡粉色
	混濁度	✓(有些混濁)	✗	✗	✓(有些混濁)	✗
	懸浮物	✓	✓	✗	✗	✗
	沉澱物	✗	✗	✗	✗	✗
	氣泡數	✗	✗	✗	✗	✗
2 小時	顏色	淡米白色	淡米白色	透明無色	透明無色	淡粉色
	混濁度	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✗	✓(有些混濁)	✗
	懸浮物	✓	✓	✗	✓	✗
	沉澱物	✗	✗	✗	✗	✓(色素沉澱)
	氣泡數	✗	✗	✗	✗	✗

3 小 時	顏 色	淡米白色	淡米白色	透明淡米色	透明淡黃色	淡粉色
	混濁度	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✗
	懸浮物	✓	✓	✗	✓	✗
	沉澱物	✗	✗	✗	✗	✓(色素沉澱)
	氣泡數	✗	✗	✗	✗	✗
4 小 時	顏 色	淡米白色	淡米白色	淡乳白色	透明淡黃色	淡酒紅色
	混濁度	✓(較混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)
	懸浮物	✓	✓	✗	✓	✗
	沉澱物	✗	✗	✗	✗	✓(色素沉澱)
	氣泡數	✗	✗	✗	✗	✗
5 小 時	顏 色	淡米白色	淡米白色	淡乳白色	透明淡黃色	淡酒紅色
	混濁度	✓(較混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)
	懸浮物	✓	✓	✗	✓	✗
	沉澱物	✗	✗	✗	✗	✓(色素沉澱)
	氣泡數	✗	✗	✗	✗	✗
6 小 時	顏 色	淡米白色	淡米白色	淡乳白色	透明淡黃色	淡酒紅色
	混濁度	✓(較混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)
	懸浮物	✓	✓	✗	✓	✗
	沉澱物	✗	✗	✗	✗	✓(色素沉澱)
	氣泡數	✗	✗	✗	✗	✗
12 小 時	顏 色	淡米白色	淡米白色	淡乳白色	淡土灰色	淡酒紅色
	混濁度	✓(較混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)	✓(有些混濁)
	懸浮物	✓	✓	✗	✓	✗
	沉澱物	✗	✗	✗	✗	✓(色素沉澱)
	氣泡數	✗	✗	✗	✗	✗
18 小 時	顏 色	乳白色	乳白色	淡黃乳白色	淺土灰色	酒紅色
	混濁度	✓(較混濁)	✓(較混濁)	✓(較混濁)	✓(超混濁)	✓(較混濁)
	懸浮物	✓	✓	✗	✓	✗
	沉澱物	✗	✗	✗	✗	✓(色素沉澱)
	氣泡數	✗	✗	✓(5顆)	✓(40-50顆)	✓(35-40顆)
24 小 時	顏 色	深米白色	深米白色	淡黃乳白色	土灰色	暗酒紅色
	混濁度	✓(超混濁)	✓(超混濁)	✓(較混濁)	✓(超混濁)	✓(超混濁)
	懸浮物	✓	✓	✗	✓	✗
	沉澱物	✗	✗	✗	✗	✗
	氣泡數	✓(5顆)	✓(1顆)	✓(10顆)	✓(80-90顆)	✓(70-80顆)

表 3-2：，白米浸泡水在不同觀察時間之 PH 值及氧化還原電位值一覽表

實驗時間		0 小時		6 小時		12 小時		18 小時		24 小時	
測量項目		PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
實驗 次 數	1	6.5	228	6.5	222	6.4	120	5.9	-274	-5.7	-292
	2	6.7	240	6.6	223	6.4	118	5.8	-272	5.8	-295
	3	6.5	225	6.5	221	6.3	116	5.9	-269	5.7	-290
平均		6.6	231	6.5	222	6.4	118	5.9	-272	5.7	-292

表 3-3：長糯米浸泡水在不同觀察時間之 PH 值及氧化還原電位值一覽表

實驗時間		0 小時		6 小時		12 小時		18 小時		24 小時	
測量項目		PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
實驗 次 數	1	6.7	235	6.5	228	6.4	100	5.8	-282	5.6	-303
	2	6.6	223	6.5	225	6.3	101	5.6	-292	5.5	-311
	3	6.6	229	6.4	229	6.4	105	5.9	-290	5.8	-300
平均		6.6	229	6.5	227.	6.4	102	5.8	-288	5.6	-305

表 3-4：糙米浸泡水在不同觀察時間之 PH 值及氧化還原電位值一覽表

實驗時間		0 小時		6 小時		12 小時		18 小時		24 小時	
測量項目		PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
實驗 次 數	1	7.0	233	6.5	195	6.1	105	5.5	-287	5.3	-301
	2	6.6	232	6.5	207	6.2	110	5.4	-275	5.3	-309
	3	6.6	237	6.3	200	6.0	102	5.4	-292	5.4	-302
平均		6.7	234	6.4	201	6.1	106	5.4	-285	5.3	-304

表 3-5：紅糯米浸泡水在不同觀察時間之 PH 值及氧化還原電位值一覽表

實驗時間		0 小時		6 小時		12 小時		18 小時		24 小時	
測量項目		PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
實驗 次 數	1	6.6	235	6.4	218	6.0	95	5.2	-320	4.9	-325
	2	6.7	236	6.0	207	6.1	90	5.3	-315	5.1	-320
	3	6.6	229	5.8	211	6.0	92	5.4	-325	4.9	-329
平均		6.6	233	6.1	212	6.0	92	5.3	-320	4.9	-325

表 3-6：黑米浸泡水在不同觀察時間之 PH 值及氧化還原電位值一覽表

實驗時間		0 小時		6 小時		12 小時		18 小時		24 小時	
測量項目		PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
實驗 次 數	1	6.8	229	6.1	190	6.0	84	5.4	-309	4.9	-319
	2	6.7	229	6.1	202	6.0	102	5.0	-323	5.0	-327
	3	6.6	237	6.2	187	6.1	89	5.4	-315	4.9	-322
平均		6.7	232	6.1	193	6.1	92	5.3	-316	4.9	-323

(三)實驗發現

1. 任一米種的浸泡水在 12 小時後，水質都變得很混濁，會有一些懸浮物漂浮在浸泡水中。
2. 浸泡水中在 18~24 小時之間會開始產生氣泡，其中紅糯米產生的氣泡最多，黑米次之(圖 3-2)。
3. 浸泡水放置一段時間後，會有些米本身的色素沉澱，其中黑米浸泡水的色素沉澱較明顯，呈酒紅色。
4. 將表 3-2~3-6 彙整成圖 3-3~3-4 發現：

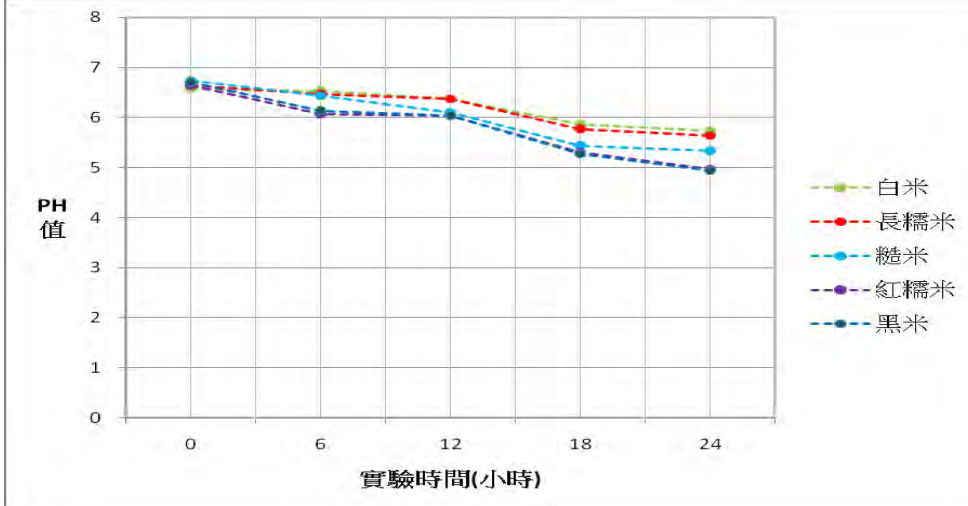


圖 3-3：不同米種浸泡水在不同實驗時間之 PH 值關係圖

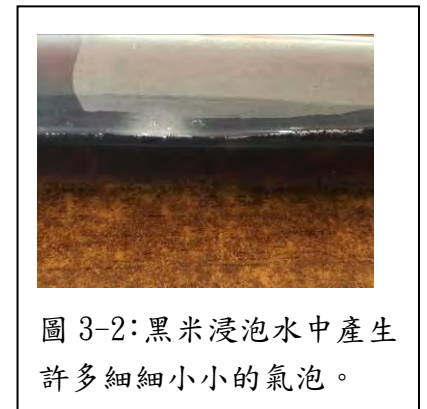


圖 3-2：黑米浸泡水中產生許多細細小小的氣泡。

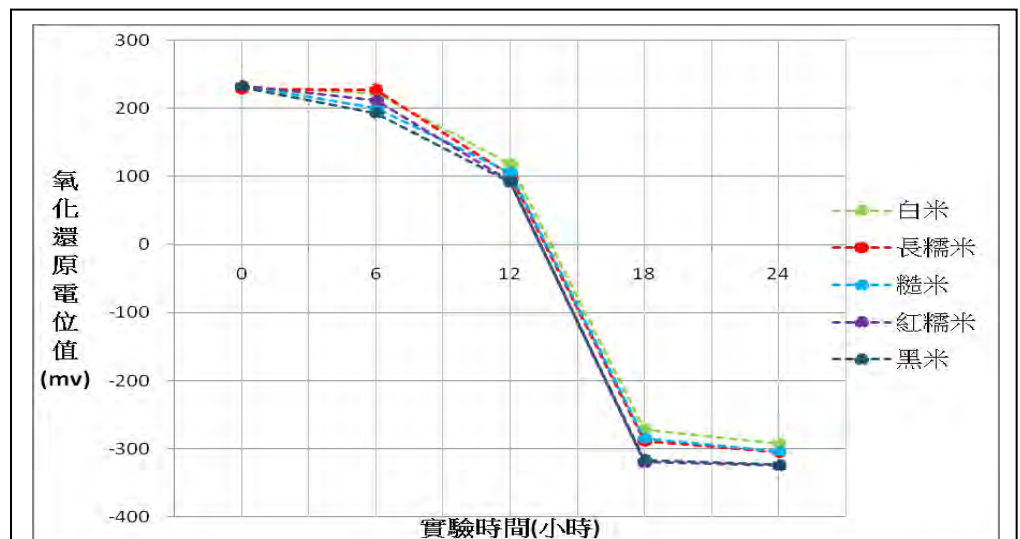


圖 3-4：不同米種浸泡水在不同實驗時間之氧化還原電位值關係圖

- ①任一米種浸泡水，PH 值會隨著時間而減少，0 小時 PH 值皆介於 6.6~6.7，接近中性，但在 12~18 小時間，PH 值大幅降低，皆降至 6 以下，呈弱酸性。
- ②任一米種浸泡水在 12~18 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值，表示 12~18 小時過程中，浸泡水的發酵變化較為顯著。
- ③任一米種浸泡水的 ph 值變為 6 以下時，氧化還原電位值也會變為負數，是因**發酵時，PH 值會呈酸性**。
- ④所有米種中，紅糯米、黑米浸泡水的 ph 值和氧化還原電位值都比其他米種的數值小，表示**紅糯米、黑米的發酵效果比其它米種來得好**。



浸泡水比淘米水的發酵效果顯著

從子題二、三中得知，任一米種之浸泡水放置 24 小時後，其【PH 值】及【氧化還原電位值】都明顯下降，浸泡水在 12~18 小時間氧化還原電位值從正值驟降為負值，且在 12 小時之後的實驗針筒內有許多氣泡產生，在在顯示浸泡水的發酵效果比淘米水顯著，因此我們將以不同米種之浸泡水進行後續研究。

實驗四：不同米種浸泡水，接觸空氣與否如何影響其發酵情形？

(一) 實驗步驟

1. 準備五種米(白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米)之浸泡水各兩組，每組各需 25 支觀察用針筒。
2. 兩組浸泡水都分別置入觀察用實驗針筒中，在塑膠針筒前端套入三通閥來密封管口，一組用針筒活塞塞住，使其成密閉空間；一組不用針筒活塞塞住，使其接觸空氣。(如圖 4-1)
3. 分別將兩組浸泡水在放置 0、6、12、18、24 小時等時間點時，測量兩組浸泡水的 PH 值和氧化還原電位值。
4. 以上實驗各進行三次，求其平均數值。



圖 4-1：一組為密閉空間，另一組可接觸空氣。

(二) 實驗結果

表 4-1：密閉空間下，不同米種浸泡水在不同觀測時間其 PH 值及氧化還原電位值一覽表(受限於頁數，僅在此呈現三次實驗的平均數值)

測量項目 觀測時間	白米		長糯米		糙米		紅糯米		黑米	
	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
0 小時	6.6	231	6.6	229	6.7	234	6.6	233	6.7	232
6 小時	6.5	222	6.5	227	6.4	201	6.1	212	6.1	193
12 小時	6.4	118	6.4	102	6.1	106	6.0	92	6.0	92
18 小時	5.9	-272	5.8	-288	5.4	-285	5.3	-320	5.3	-316
24 小時	5.7	-292	5.6	-305	5.3	-304	5.0	-325	4.9	-323

表 4-2：接觸空氣下，不同米種浸泡水在不同觀測時間其 PH 值及氧化還原電位值一覽表(受限於頁數，僅在此呈現三次實驗的平均數值)

測量項目 觀測時間	白米		長糯米		糙米		紅糯米		黑米	
	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)	PH 值	氧化還原電位(mv)
0 小時	6.6	231	6.6	229	6.7	234	6.6	233	6.7	232
6 小時	6.6	169	6.6	181	6.6	181	6.5	186	6.5	189
12 小時	6.4	134	6.4	156	6.3	167	6.4	166	6.2	169
18 小時	6.3	116	6.4	109	6.2	121	6.3	90	6.1	104
24 小時	6.2	-131	6.2	-202	6.0	-249	5.9	-270	5.9	-275

(二)實驗發現

1. 將表 4-1~4-2 以實驗起訖時間 (0~24 小時)【PH 下降情形】及【氧化還原電位下降值】進行製圖 4-2~4-3，發現：

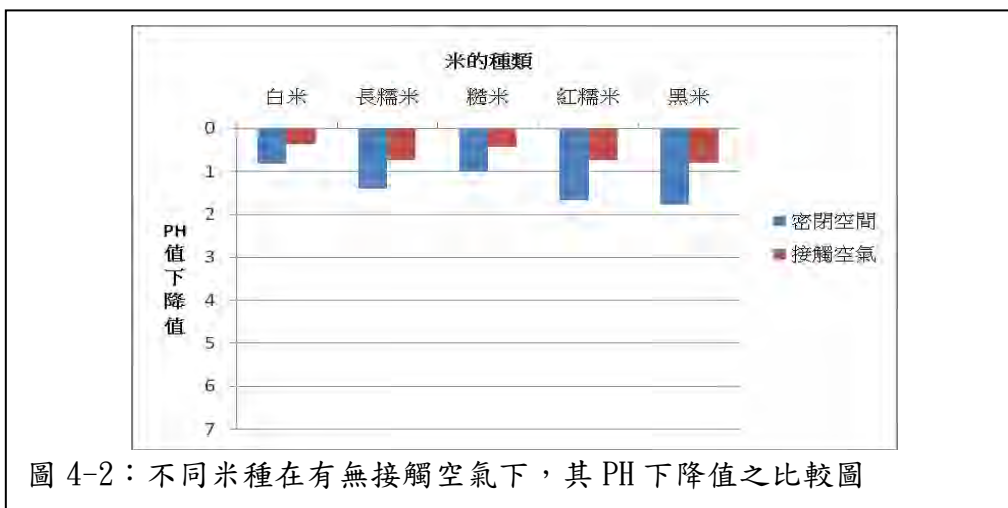


圖 4-2：不同米種在有無接觸空氣下，其 PH 下降值之比較圖

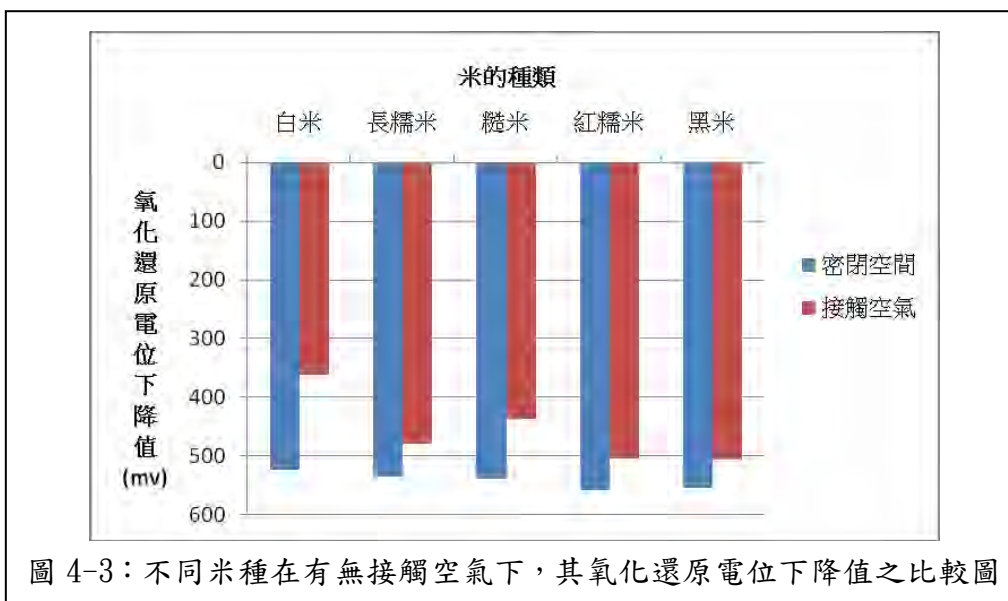


圖 4-3：不同米種在有無接觸空氣下，其氧化還原電位下降值之比較圖

- ①任一米種浸泡水以量測時間 0~24 小時來看，**無接觸空氣的 PH 下降值比接觸空氣的大。**
 - ②任一米種浸泡水以量測時間 0~24 小時來看，**無接觸空氣的氧化還原電位下降幅度比有接觸空氣的多，表示密閉空間的環境有助於發酵。**
 - ③不論有無接觸空氣，**紅糯米、黑米浸泡水在 24 小時內的「氧化還原電位下降幅度」都比其它米種大，顯示紅糯米、黑米不論有無接觸空氣，都比其它米種的發酵情形好。**
2. 將表 4-1~4-2 以實驗起訖時間 (0~24 小時)的【氧化還原電位值】進行製圖 4-4，發現任一米種浸泡水**無接觸空氣時，在 12~18 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值；有接觸空氣時，在 18~24 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值，顯示接觸空氣會延緩米浸泡水的發酵時間。**

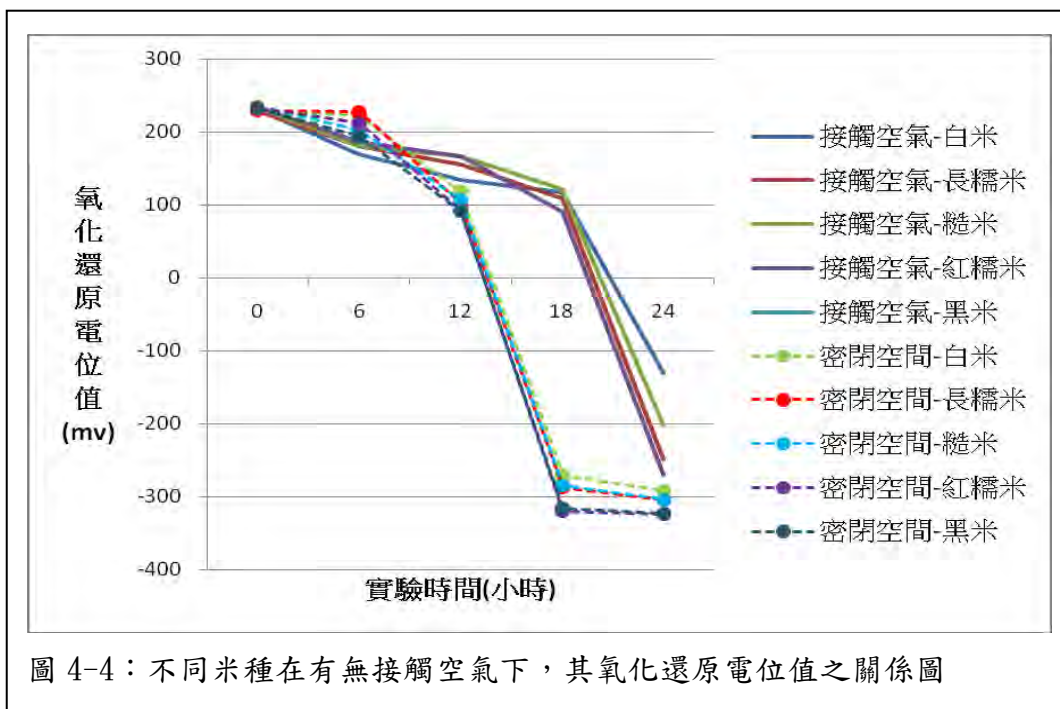


圖 4-4：不同米種在有無接觸空氣下，其氧化還原電位值之關係圖

實驗五：米種的浸泡溫度不同如何影響其發酵情形？

(一) 實驗步驟

1. 準備五種米(白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米)之浸泡水各三組，命名為 A、B、C 組，每組各需 25 支觀察用針筒。
2. 三組浸泡水都置入觀察用實驗針筒中，在塑膠針筒前端套入三通閥來密封管口。
3. A 組浸泡水放在 7°C 冰箱冷藏室中，B 組放在 18~25°C 室溫中(冬~春季)，C 組放在 26~33°C 室溫中(春~夏季)。
4. 分別將三組浸泡水在放置 0、6、12、18、24 小時等時間點，測量其 PH 值和氧化還原電位值。



圖 5-1：A 組浸泡水置於實驗室 7°C 冰箱冷藏室中。

(二)實驗結果

表 5-1：7°C 冰箱冷藏室中，不同米種浸泡水在不同觀測時間其 PH 值及氧化還原電位值一覽表(受限於頁數，僅在此呈現三次實驗的平均數值)

米種	白米		長糯米		糙米		紅糯米		黑米	
測量項目 觀測時間	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)
0 小時	6.8	231	6.7	229	6.7	234	6.7	233	6.7	232
6 小時	6.5	227	6.6	225	6.6	222	6.6	212	6.4	207
12 小時	6.4	208	6.5	196	6.5	198	6.4	204	6.4	190
18 小時	6.3	168	6.5	190	6.5	168	6.4	189	6.3	159
24 小時	6.3	157	6.4	186	6.3	149	6.3	141	6.0	132

表 5-2：18~25°C 室溫中，不同米種浸泡水在不同觀測時間其 PH 值及氧化還原電位值一覽表(受限於頁數，僅在此呈現三次實驗的平均數值)

米種	白米		長糯米		糙米		紅糯米		黑米	
測量項目 觀測時間	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)
0 小時	6.6	231	6.6	229	6.7	234	6.6	233	6.7	232
6 小時	6.5	222	6.5	227	6.4	201	6.1	212	6.1	193
12 小時	6.4	118	6.4	102	6.1	106	6.0	92	6.0	92
18 小時	5.9	-272	5.8	-288	5.4	-285	5.3	-320	5.3	-316
24 小時	5.7	-292	5.6	-305	5.3	-304	5.0	-325	4.9	-323

表 5-3：26~33°C 室溫中，不同米種浸泡水在不同觀測時間其 PH 值及氧化還原電位值一覽表(受限於頁數，僅在此呈現三次實驗的平均數值)

米種	白米		長糯米		糙米		紅糯米		黑米	
測量項目 觀測時間	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)	PH 值	氧化還原 電位(mv)
0 小時	6.6	231	6.6	229	6.7	234	6.6	233	6.7	232
6 小時	5.9	-211	5.8	-219	5.6	-245	5.5	-219	5.4	-224
12 小時	5.7	-223	5.8	-284	5.4	-327	5.4	-328	5.3	-353
18 小時	5.6	-227	5.5	-288	5.2	-366	5.1	-416	5.2	-383
24 小時	5.6	-382	5.5	-355	5.1	-363	5	-415	4.9	-396

(三)實驗發現

1. 將表 5-1~5-3 以實驗起訖時間 (0~24 小時)【PH 下降值】及【氧化還原電位下降值】進行製圖 5-2~5-3，發現：



圖 5-2：不同米種在不同的浸泡溫度下，其 PH 下降值之比較圖

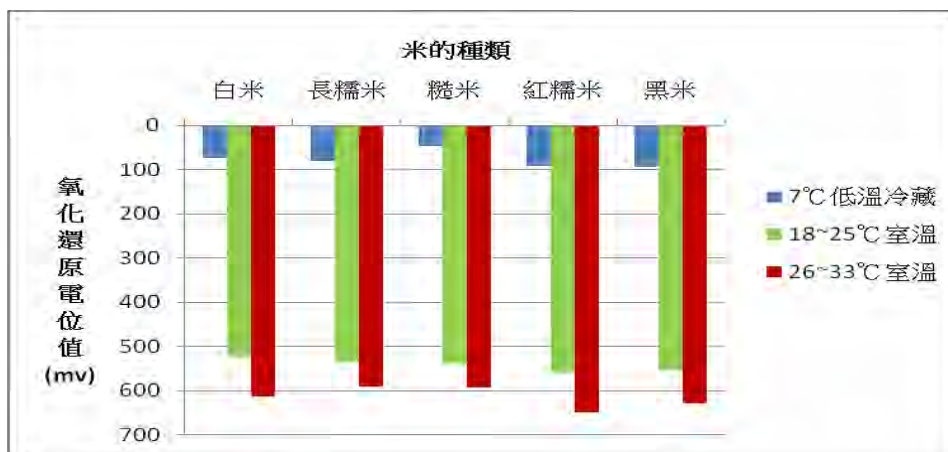
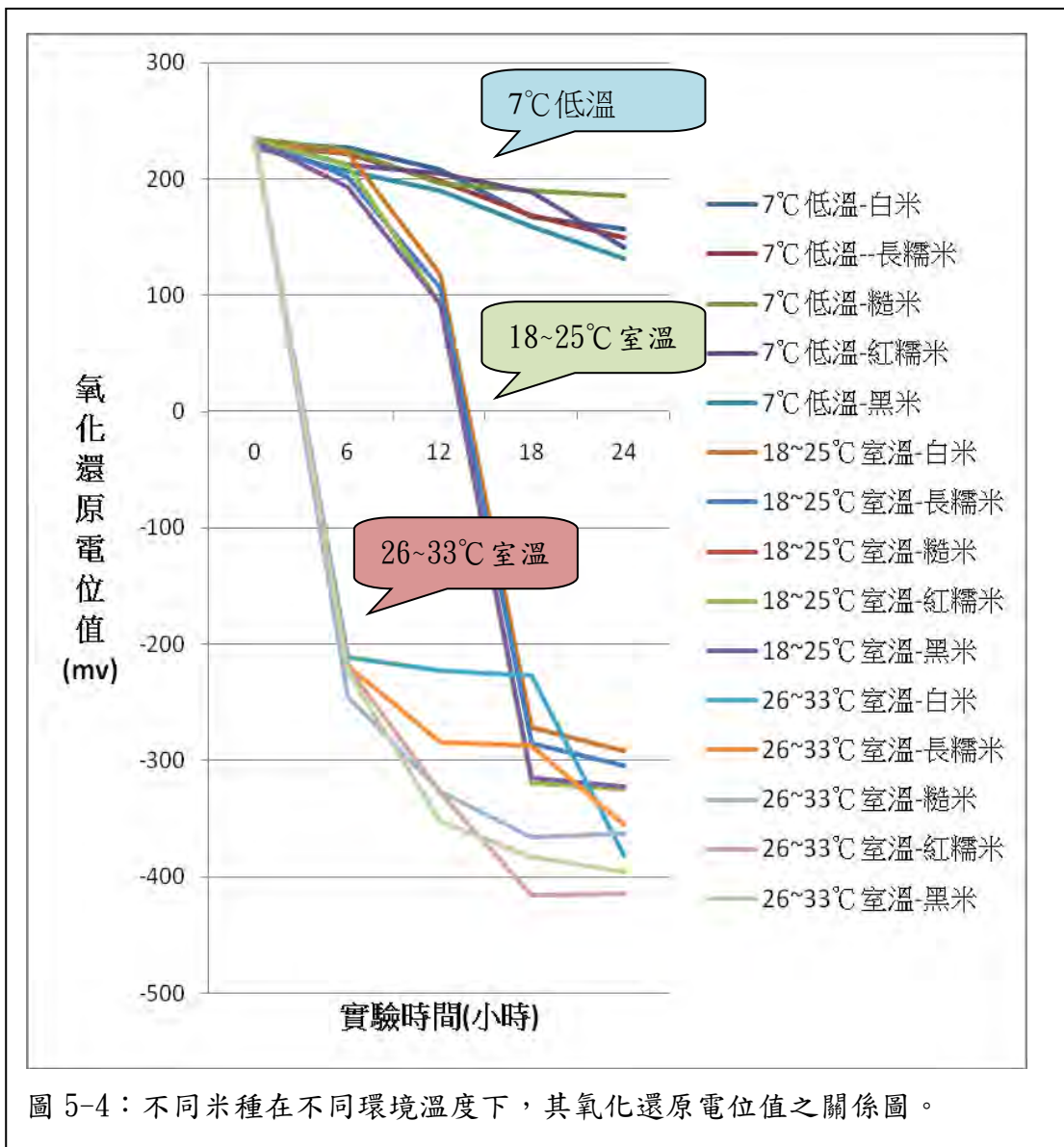


圖 5-3：不同米種在不同的浸泡溫度下，其氧化還原電位下降值之比較圖

- ①任一米種其環境溫度越高，【PH 值】及【氧化還原電位值】下降幅度越大。
- ②同樣置放 24 小時之後，環境溫度較高的米浸泡水已散發出腐敗的味道。

2. 將表 5-1~5-3 以實驗起訖時間 (0~24 小時)的【氧化還原電位值】進行製圖 5-4，發現任一米種浸泡水在 7°C 低溫中時，在 0~24 小時間，氧化還原電位值都維持在正數；在 18~25°C 室溫中時，在 12~18 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值；在 26~33°C 室溫中時，在 0~6 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值，顯示低溫環境不適合浸泡水發酵，而環境溫度越高，可加速米浸泡水的發酵速度。



實驗六：米粒重複浸泡將如何影響其發酵情形？

(一) 實驗步驟

1. 攪拌杯中倒入 1.5g 白米和 150g 水，攪拌 1 分鐘後，取出攪拌杯中的白米置入內含 15g 水的觀察用針筒 A 中，套上針筒活塞，貼上識別標籤紙，此為白米的第 1 次浸泡。
2. 將觀察用針筒 A 置於常溫(18~25°C)下 18 小時後，測量其 PH 值和氧化還原電位值。
3. 接著，取出觀察用針筒 A 中的水，重新置入乾淨的水 15g，此為白米的第二次浸泡，置於常溫(18~25°C)下 18 小時後，測量其 PH 值和氧化還原電位值。
4. 重複步驟 3，將白米重複浸泡 8 次，每次在浸泡 18 小時後測量其 PH 值和氧化還原電位值，重新換水再浸泡 18 小時後測量。
5. 更換米種為長糯米、糙米、紅糯米、黑米，重複步驟 1~4。
6. 每個實驗皆重複 3 次，取其平均值進行比較與分析。

(二)實驗步驟

表 6-1：不同米種浸泡次數之 PH 值一覽表

(受限於頁數，僅在此呈現三次實驗的平均數值)

浸泡次數	第 0 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次
米種總浸泡時間	0 小時	18 小時	36 小時	54 小時	72 小時	90 小時	108 小時	126 小時	144 小時
白 米	6.6	5.6	5.5	5.3	4.9	4.7	4.6	4.5	4.3
長糯米	6.6	5.5	5.4	5.3	4.9	4.5	4.5	4.3	4.2
糙 米	6.7	5.5	5.4	5.7	5.2	4.1	4.1	4.0	3.9
紅糯米	6.6	5.6	5.5	5.5	5.0	4.5	4.4	4.2	3.9
黑 米	6.7	5.5	5.4	5.3	5.3	4.8	4.5	4.3	4.0

◎米種總浸泡時間：是指該米種被重複使用的總時間，但每一次換了乾淨的水後只浸泡了 18 小時。

表 6-2：不同米種浸泡次數之氧化還原電位值一覽表

(受限於頁數，僅在此呈現三次實驗的平均數值)

浸泡次數	第 0 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次
米種總浸泡時間	0 小時	18 小時	36 小時	54 小時	72 小時	90 小時	108 小時	126 小時	144 小時
白 米	231	-321	-313	-262	-253	-246	-240	-224	-208
長糯米	229	-306	-286	-274	-267	-262	-254	-239	-219
糙 米	234	-327	-313	-288	-278	-264	-282	-312	-323
紅糯米	233	-348	-343	-309	-280	-263	-252	-239	-224
黑 米	232	-319	-269	-252	-241	-232	-228	-281	-299

◎米種總浸泡時間：是指該米種被重複使用的總時間，但每一次換了乾淨的水後只浸泡了 18 小時。

(三)實驗發現

1. **糙米在第 96 小時**(第 5 次浸泡後)，**黑米在第 114 小時**(第 6 次浸泡後)**竟然發芽了**，發芽時會有許多氣泡聚集在芽上方，非常有趣！
2. 黑米重複浸泡多次後，其溶在水中的天然色素越來越少，所以觀察用實驗針筒內水的顏色越來越淡。

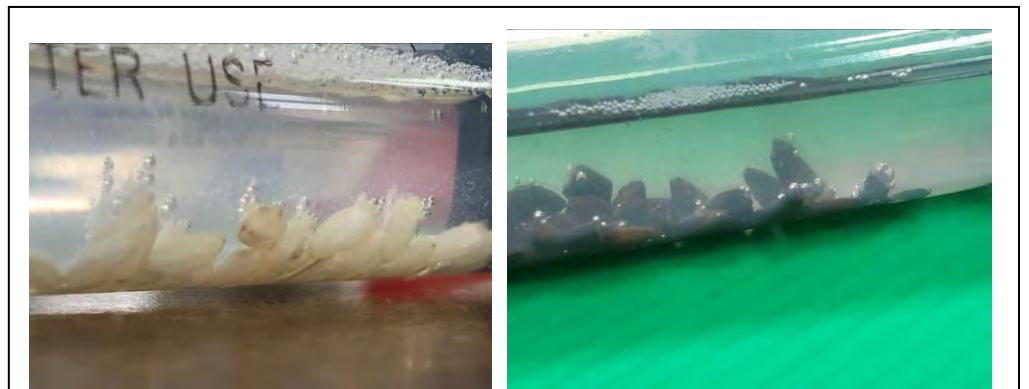


圖 6-1：糙米(左圖)、黑米(右圖)分別在第 96、114 小時發芽了，發芽的米粒會站起來，且有許多氣泡聚集在芽上方，。

3. 將表 6-1~6-2 彙整成圖 6-2~6-3，發現：

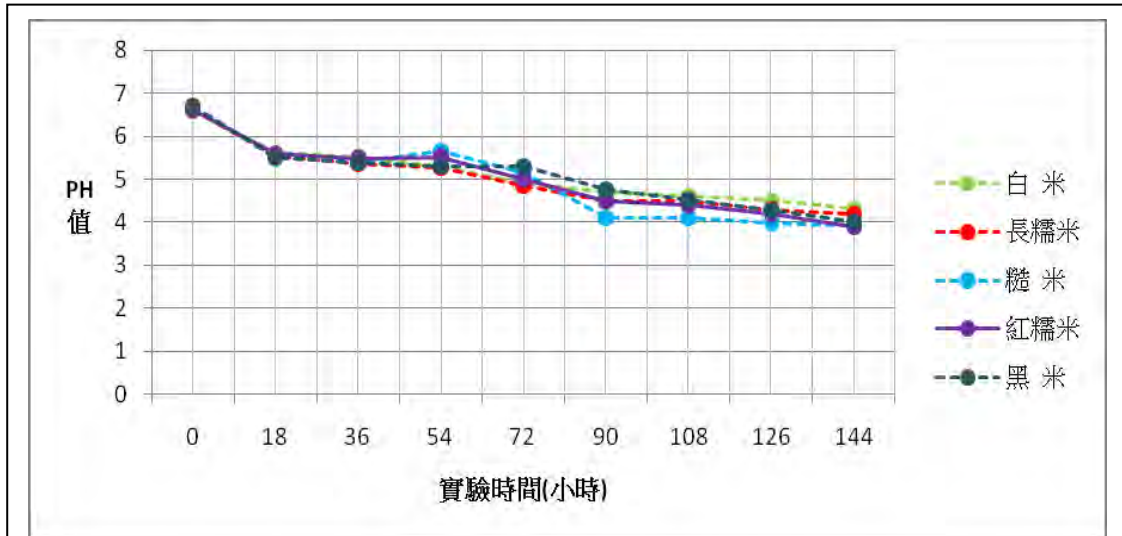


圖 6-2：不同米種重複浸泡後，其總浸泡時間與 PH 值之關係圖。

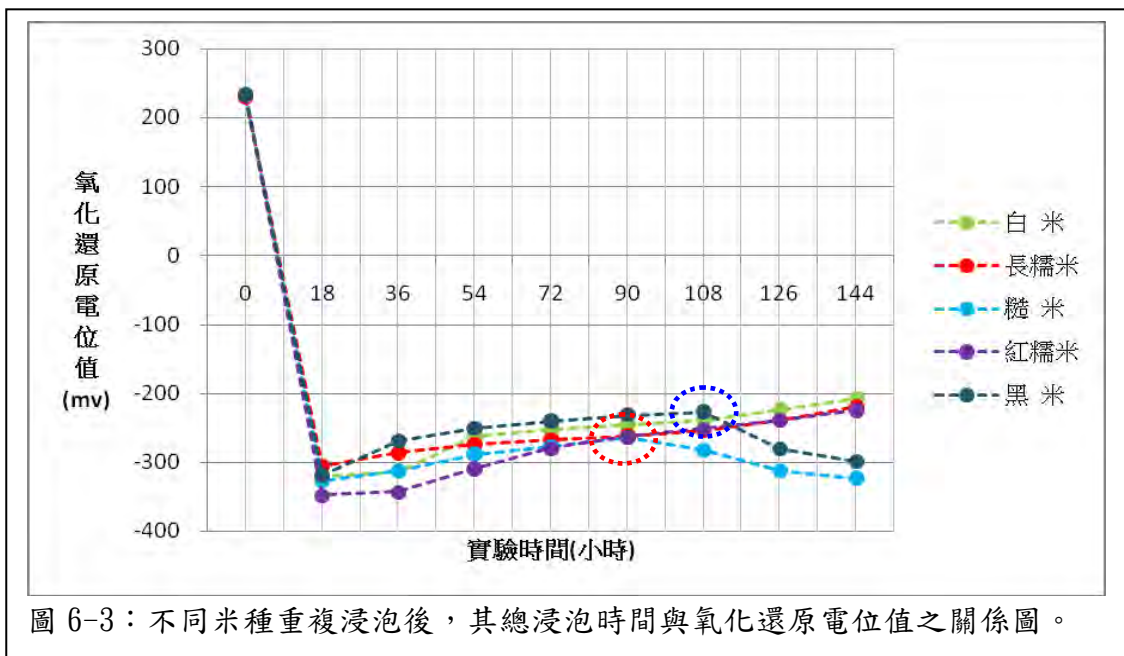


圖 6-3：不同米種重複浸泡後，其總浸泡時間與氧化還原電位值之關係圖。

- ①任一米種每重複浸泡一次，所測得的 PH 值會下降，重複浸泡至第 8 次，總浸泡時間 144 小時後，PH 值都介於 3.9~4.3 間。
- ②任一米種第一次浸泡 18 小時後，其氧化還原電位值會從正值驟降為負值，但之後的每一次重複浸泡，氧化還原電位值會慢慢回升，表示浸泡水的抗氧化力逐漸降低。
- ③重複浸泡的前 5 次，紅糯米的氧化還原電位值是所有米種中最低的。
- ④重複浸泡第 6 次起，糙米的氧化還原電位值在所有米種中獨樹一幟的開始下降了(如圖 6-3 中 ⊙ 處)；重複浸泡第 7 次起，黑米的氧化還原電位值也開始下降(如圖 6-3 中 ⊙ 處)。有趣的是，這些時間點也是糙米、黑米開始發芽的時候，表示發芽的糙米、黑米有助於提升其發酵效果！

實驗七：使用「蘋果汁褐變反應」來檢驗不同米種的浸泡水其抗氧化力有何差異？

(一) 實驗步驟

1. 取出浸泡水中的發酵氣體(圖 7-1)

(1) 準備白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米的浸泡水，每一米種浸泡水皆置入 4 支實驗觀察針筒，分別放置 6、12、18、24 小時。

(2) 待達指定時間後，調整三通閥方向將不同米種浸泡水 A 筒內的發酵氣體打入另一空實驗觀察 B 針筒，立即封閉 B 針筒管口。

2. 取蘋果汁(圖 7-2)

(1) 將蘋果去掉果皮和果核後，放入榨汁機內榨汁。

(2) 在榨汁機出汁口用極細篩網濾掉泡沫和渣，只取蘋果汁。

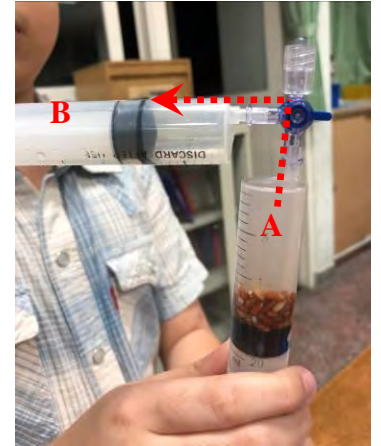


圖 7-1：調整三通閥方向將紅糯米浸泡水針筒內發酵氣體打入另一空針筒 A。
(紅色箭頭 ← 為氣體注入方向)



圖 7-2：去掉果皮和果核後，放入榨汁機內榨汁，用極細篩網過濾掉泡沫和渣，只取蘋果汁。

3. 在三通閥上套入一塑膠管，調整三通閥方向，拉動 A 針筒活塞，使塑膠管排除空氣，充滿新鮮蘋果汁(圖 7-3)。

4. 關閉 A 針筒管口，開啟 B 針筒，拉動 B 針筒活塞，使 10 c.c. 新鮮蘋果汁注入 B 針筒內(圖 7-4)。

5. 自製「褐變程度檢測儀」

利用三個紙盒、LED 燈泡、魔鬼氈、照度計來製作可用來精準檢驗蘋果褐變程度的檢測儀器，「褐變程度檢測儀」分為三層，設計如圖 7-5~7-9：

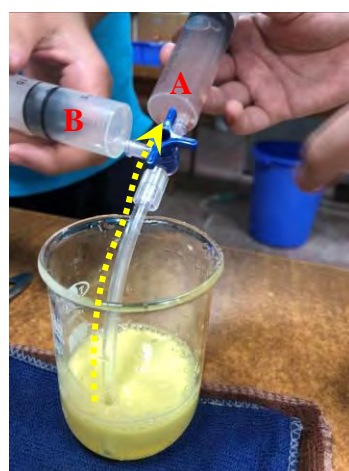


圖 7-3：調整三通閥方向，使塑膠管排除空氣，充滿新鮮蘋果汁。

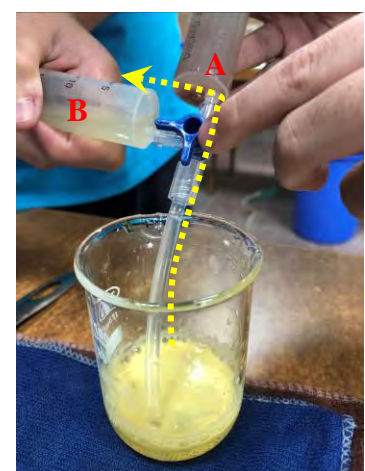


圖 7-4：調整三通閥方向，拉動 B 針筒活塞，使新鮮蘋果汁注入 B 針筒內。

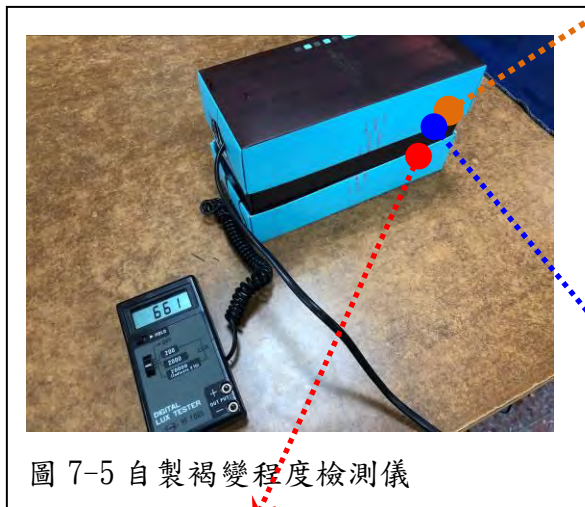


圖 7-5 自製褐變程度檢測儀

最上層-LED 燈泡照射區



←圖 7-6：
最上層嵌入 LED
燈泡。

中間層-待測液置放區



←圖 7-7：
中間層紙盒挖
一方型孔洞，
讓 LED 光線穿
透裝有待測液
的針筒。



←圖 7-8：
黏貼魔鬼氈以
用來固定待測
針筒。

最下層-照度感應器接收區



圖 7-9: 固定照度感應器接收區。

◎ 「自製褐變程度檢測儀」使用方法及所得照度值之代表意涵：

實驗觀察針筒中的蘋果汁若產生褐變，褐變顏色越深，則透過「自製褐變程度檢測儀」檢測，實驗觀察針筒中的蘋果汁透光度變差，所測得的照度值就越低，表示打入該蘋果汁觀察針筒的米種酵素氣體之抗氧化力較差。

5. 將實驗觀察針筒 B(含有浸泡水發酵氣體的蘋果汁)置入「自製褐變程度檢測儀」中，利用照度計取得照度值，每一分鐘記錄一次照度值，連續記錄 10 分鐘。

(二)實驗結果

表 7-1：利用「自製褐變程度檢測儀」檢測不同米種之發酵氣體對於蘋果汁褐變所得照度值
一覽表-1

發酵氣體種類 照度值 時間	空氣	白 米				長 糯 米			
	對照組	6 小時	12 小時	18 小時	24 小時	6 小時	12 小時	18 小時	24 小時
0 分鐘	245	254	250	247	251	284	262	255	253
1 分鐘	231	234	239	234	235	272	247	245	241
2 分鐘	207	219	227	222	229	261	233	237	231
3 分鐘	189	209	218	214	226	251	221	231	225
4 分鐘	181	199	211	208	222	240	211	226	220
5 分鐘	173	192	206	203	220	233	206	220	215
6 分鐘	168	186	200	200	217	224	201	214	213
7 分鐘	166	182	193	199	214	217	198	210	212
8 分鐘	165	180	188	197	212	212	196	207	211
9 分鐘	164	179	184	196	209	209	194	203	210
10 分鐘	163	178	183	195	208	208	194	202	209
差 距	82	76	67	52	43	76	68	53	44

表 7-2：利用「自製褐變程度檢測儀」檢測不同米種之發酵氣體對於蘋果汁褐變所得照度值
一覽表-2

發酵氣體種類 照度值 時間	空氣	糙 米				紅 糯 米			
	對照組	6 小時	12 小時	18 小時	24 小時	6 小時	12 小時	18 小時	24 小時
0 分鐘	245	245	238	250	243	239	255	237	250
1 分鐘	231	232	228	235	235	224	238	238	268
2 分鐘	207	221	212	222	228	212	226	232	224
3 分鐘	189	210	190	217	223	200	218	129	220
4 分鐘	181	200	179	215	219	190	208	223	219
5 分鐘	173	192	171	211	215	182	202	218	219
6 分鐘	168	185	172	209	208	176	197	213	218
7 分鐘	166	179	171	204	206	170	194	206	217
8 分鐘	165	174	172	201	205	166	193	200	217
9 分鐘	164	171	172	200	202	164	192	194	216
10 分鐘	163	169	171	197	202	163	191	192	216
差 距	82	76	67	53	41	76	63	45	34

表 7-3：利用「自製褐變程度檢測儀」檢測不同米種之發酵氣體對於蘋果汁褐變所得照度值一覽表-3

時間 \ 照度值	發酵氣體種類	空氣	黑米			
		對照組	6 小時	12 小時	18 小時	24 小時
0 分鐘		245	243	252	248	247
1 分鐘		231	228	242	232	238
2 分鐘		207	211	229	223	233
3 分鐘		189	201	217	216	229
4 分鐘		181	193	207	211	225
5 分鐘		173	184	199	208	222
6 分鐘		168	179	195	205	222
7 分鐘		166	175	191	203	221
8 分鐘		165	171	189	201	220
9 分鐘		164	167	188	201	215
10 分鐘		163	167	187	200	213
差距		82	77	64	47	33

(三)實驗發現

1. 在「自製褐變程度檢測儀」檢測下，若蘋果汁透光度減少的數值越低，表示蘋果汁的褐變反應慢，可以說明打入蘋果汁內的該米種發酵氣體可延緩蘋果氧化。
2. 將表 7-1~7-3 彙整成圖 7-10~7-13，發現：

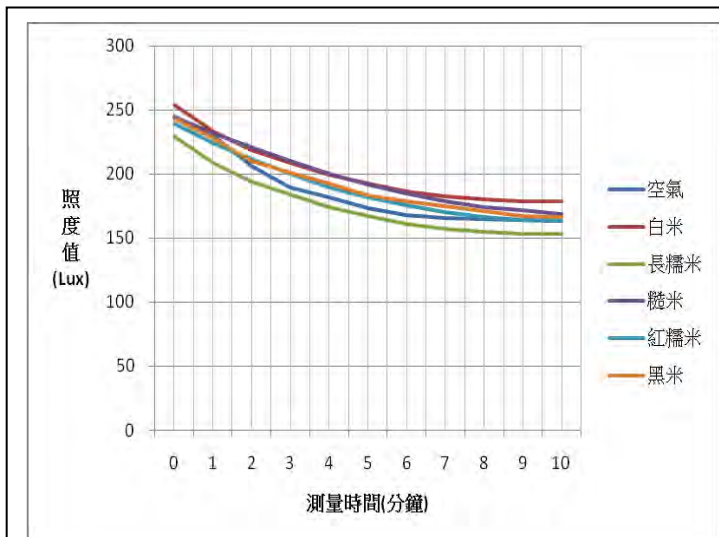


圖 7-10：達 6 小時，不同米種發酵氣體所得照度差異比較圖

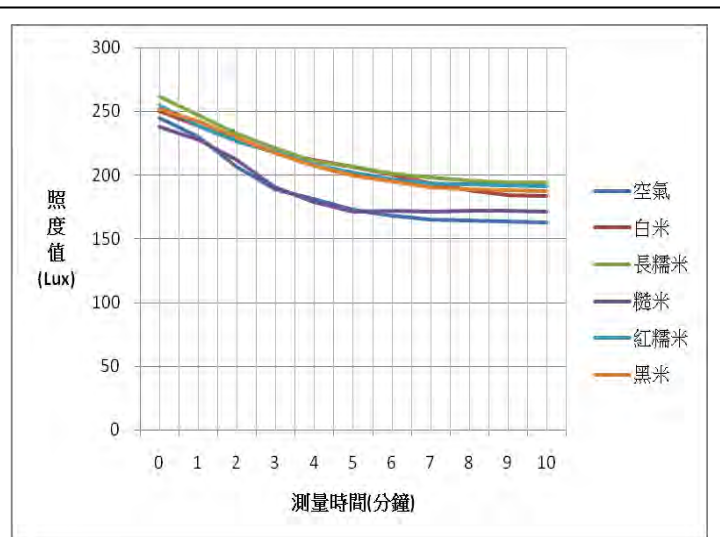


圖 7-11：達 12 小時，不同米種發酵氣體所得照度差異比較圖

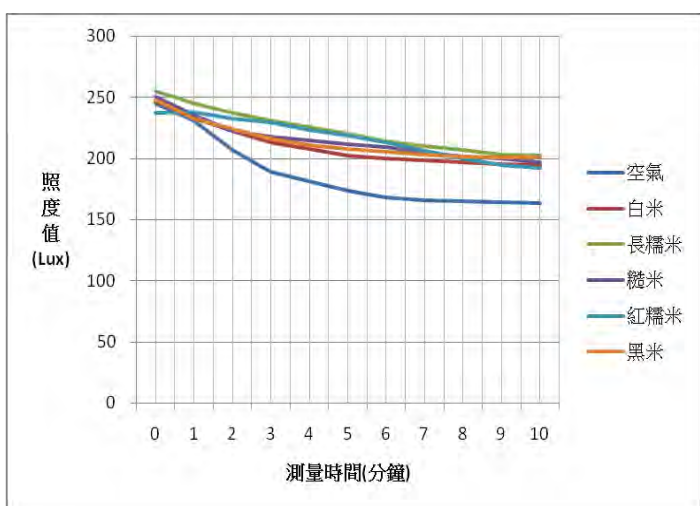


圖 7-12：達 18 小時，不同米種發酵氣體所得照度差異比較圖

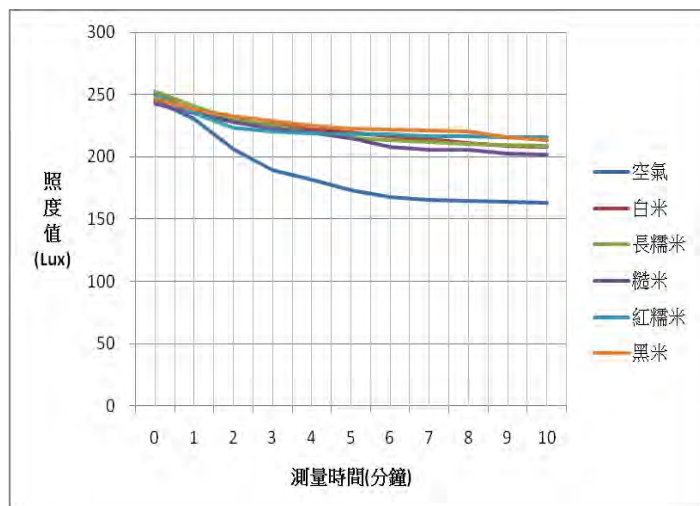


圖 7-13：達 24 小時，不同米種發酵氣體所得照度差異比較圖

- ① 不論何種米種，浸泡時間越長的發酵氣體注入裝有蘋果汁的針筒後，蘋果汁透光度的下降速度越慢，**說明任一米種浸泡、發酵時間越久，其發酵氣體抗氧化力越強。**
- ② 取放置 18 小時、24 小時的任一米種浸泡水之發酵氣體注入裝有蘋果汁的針筒後，蘋果汁透光的下降速度遠遠小於只注入空氣的照度值下降幅度，**說明米種浸泡水之發酵氣體確實有延緩蘋果氧化的功效。**
- ③ 所有米種中，紅糯米、黑米浸泡水之發酵氣體使蘋果汁透光度的下降速度最慢，**說明紅糯米、黑米浸泡水之發酵氣體的抗氧化力最強。**



不同二氧化碳濃度對蘋果汁褐變程度的影響

從子題七中得知，將浸泡時間越長的米水所產生的發酵氣體注入裝有蘋果汁的針筒後，蘋果汁透光的下降幅度越小。已知發酵時會產生二氧化碳，米水因不同的浸泡時間而有不同程度的發酵反應，但其所產生的二氧化碳濃度又是如何呢？為了解答這小小的疑惑，我們設計了一個實驗加以對照：

(一) 實驗步驟：

1. 把醋與小蘇打粉混合，利用排水集氣法將二氧化碳蒐集在實驗用針筒中(如圖 7-14)。
2. 藉由實驗用針筒前端的三通閥之開關設計，製備出 0%、20%、40%、60%、80%、100% 不同濃度的二氧化碳實驗用針筒。(如圖 7-15)
3. 將上述不同濃度的二氧化碳氣體注入蘋果汁的針筒內，再利用「自製褐變程度檢測儀」每一分鐘記錄一次照度值，連續記錄 10 分鐘。

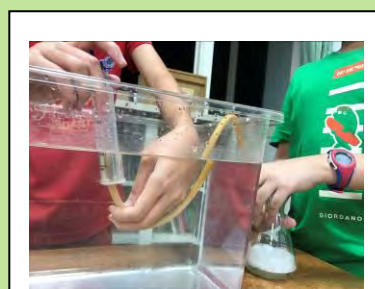


圖 7-14：利用排水集氣法蒐集二氧化碳於針筒中。

(二) 實驗結果與發現 (如圖 7-16)：空氣中二氧化碳濃度越高，蘋果汁透光度減少的數值越低，表示**高濃度二氧化碳能有效延緩蘋果汁的氧化反應。**

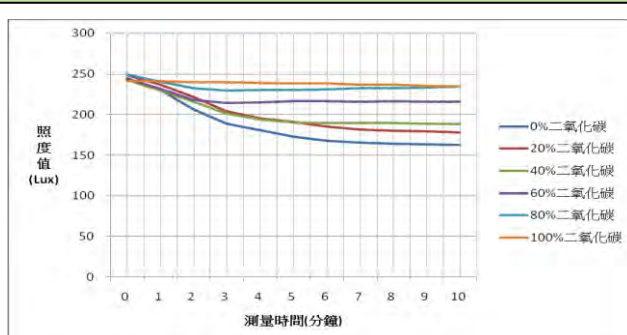


圖 7-16：不同濃度二氧化碳所得照度差異比較圖。

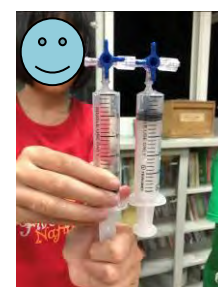


圖 7-15：製備出不同濃度的二氧化碳實驗用針筒。

陸、結論

一、捨棄傳統的「碘滴定法」改以測量不同米種之米水的「酸鹼性」及「氧化還原電位值」來分析其抗氧化能力。

文獻透討中得知，以往習慣以「碘滴定法」來測定某溶液的抗氧化能力，但本實驗中各米種的待測液含澱粉成份，碘液對澱粉本就會產生藍黑或紫黑色反應，再加上黑米、紅糯米容易在水中釋放出天然色素，導致使用碘直接滴定法對於滴定是否達到終點，有目視判斷上的困難，是故對本研究而言，「碘滴定法」不是一個理想檢驗不同米種之米水其抗氧化力強弱的好方法，透過更深入的閱讀發現可藉由量測液體中的氧化還原電位(ORP)來判定其抗氧化能力。

二、米的種類、米水製作方式、浸泡時間、接觸空氣與否、環境溫度、米的重複利用次數都會影響米水發酵的效果。

藉由觀測米水外觀、及量測不同米水 PH 值及氧化還原電位值來了解其發酵情形，PH 值越小、氧化還原電位值越低表示該待測液的發酵效果越好，抗氧化能力也較佳。

- (一)子題二、三中得知任一米種浸泡水的發酵效果比淘米水好。
- (二)子題三~五中得知任一米種浸泡水在 12~18 小時間，PH 值明顯下降，氧化還原電位值也從正值驟降為負值，表示 12~18 小時過程中，浸泡水的發酵變化較為顯著。
- (三)子題四中得知無接觸空氣時，在 12~18 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值；有接觸空氣時，在 18~24 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值，顯示接觸空氣會延緩米浸泡水的發酵時間(如圖 7-17)。

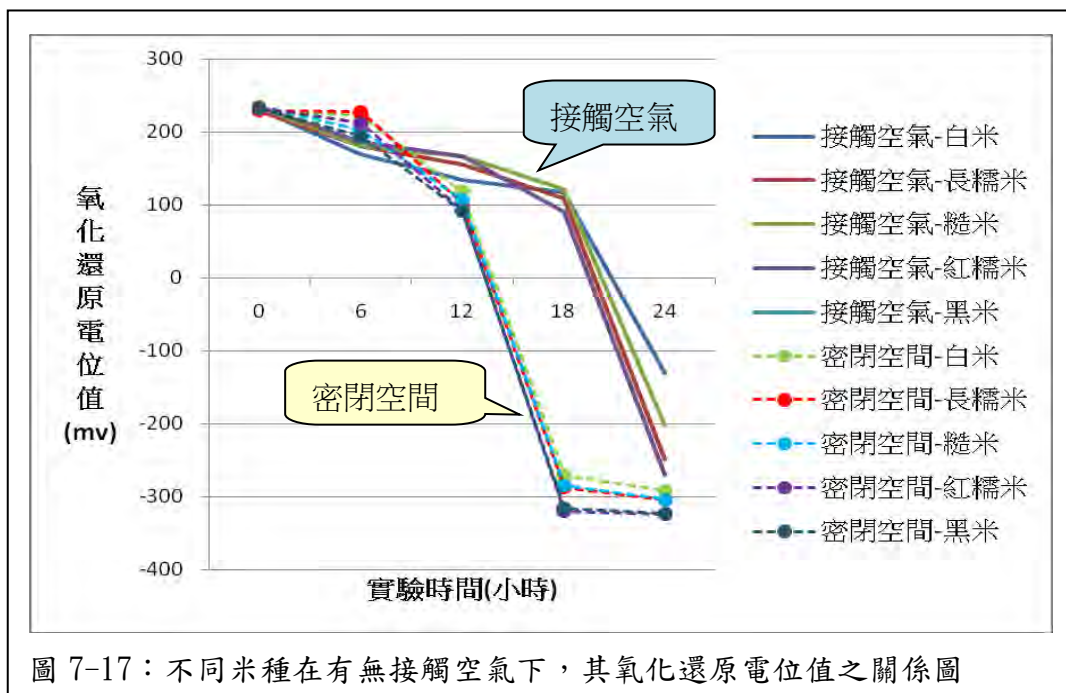


圖 7-17：不同米種在有無接觸空氣下，其氧化還原電位值之關係圖

- (四)子題五中得知在 7°C 低溫中時，0~24 小時間，氧化還原電位值都維持在正數；在 18~25 °C 室溫中時，12~18 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值；在 26~33°C 室溫中時，

0~6 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值，顯示低溫環境不適合浸泡水發酵，而環境溫度越高，可加速米浸泡水的發酵速度。(如圖 7-18)

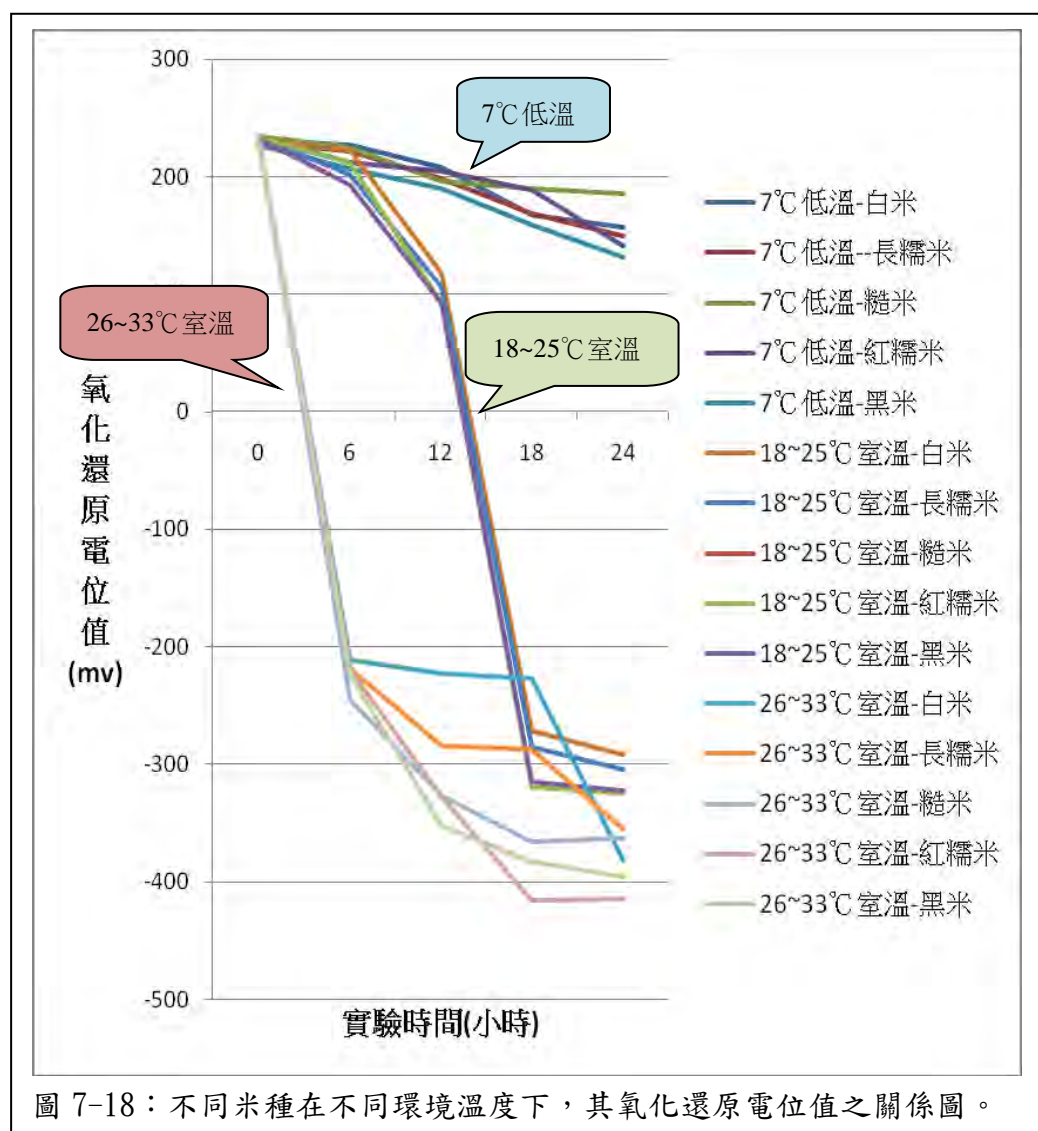


圖 7-18：不同米種在不同環境溫度下，其氧化還原電位值之關係圖。

(五)子題三~五中得知紅糯米、黑米浸泡水的發酵效果較好，抗氧化力也較佳。

(六)子題六中得知任一米種第一次浸泡 18 小時後，其氧化還原電位值會從正值驟降為負值，但之後的每一次重複浸泡，氧化還原電位值會慢慢回升，表示浸泡水的抗氧化力逐漸降低。但驚人的發現是，糙米、黑米分別在重複浸泡第 6 次、第 7 次起開始發芽了，而其氧化電位值竟開始下降，說明發芽的糙米、黑米有助於提升其抗氧化力！

三、利用「自製褐變程度檢測儀」，成功以精準的量化數值來呈現蘋果汁的褐變程度。

以往研究蘋果褐變反應，皆是採目視觀察蘋果顏色變化，非常地主觀。本研究自創「褐變程度檢測儀」，採用 LED 光線穿透含有發酵氣體的蘋果汁針筒，針筒中的蘋果汁若產生褐變，褐變顏色越深，針筒中的蘋果汁透光度變差，經由「自製褐變程度檢測儀」

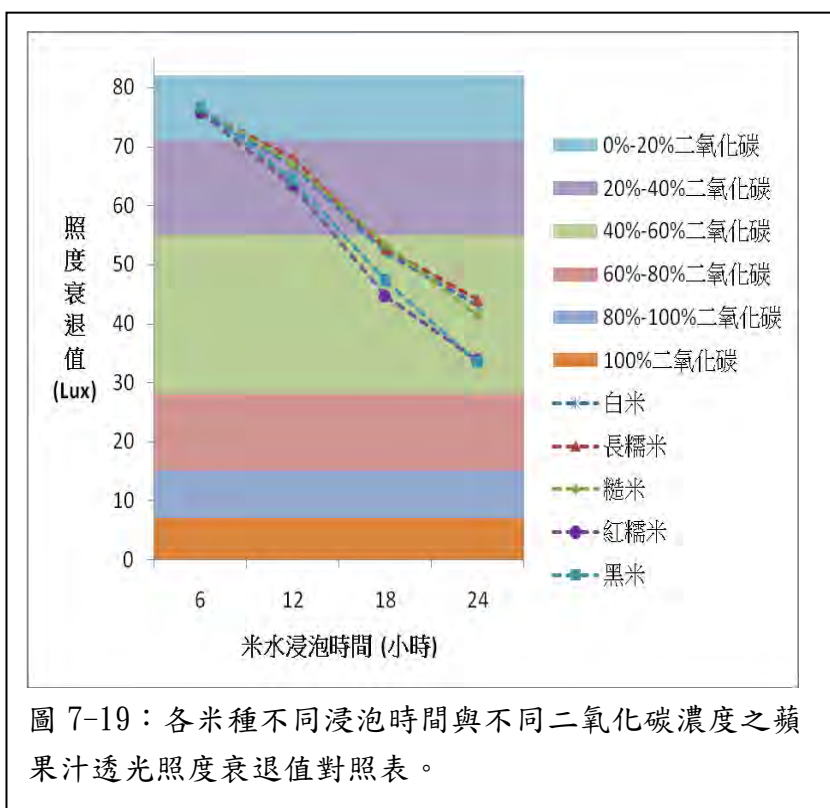
所測得的照度值就越低，表示打入該蘋果汁針筒的米種發酵程度較差，精準得知蘋果汁的褐變程度。

四、藉由「蘋果汁的褐變實驗」驗證發酵佳的米種浸泡水之發酵氣體其抗氧化力也很好。

子題七中得知任一米種浸泡、發酵時間越久，其發酵氣體的抗氧化力越強。其中紅糯米、黑米浸泡水之發酵氣體使蘋果汁透光度的下降速度最慢，說明紅糯米、黑米浸泡水的發酵氣體之抗氧化力最佳，其結果與子題二~子題五米種浸泡水發酵結果相符合。

五、藉由「不同二氧化碳濃度對蘋果汁褐變程度的影響」之實驗結果，可對應出米水的浸泡時間不同，而有不同程度的發酵，使其所生成之二氧化碳濃度也不同。

從子題七所增加的「不同二氧化碳濃度對蘋果汁褐變程度的影響」小實驗中得知空氣中二氧化碳濃度越高，蘋果汁透光度減少的數值越低，表示高濃度二氧化碳能有效延緩蘋果汁的氧化反應。將其與各米種不同浸泡時間的蘋果汁透光下降幅度值之實驗結果合製成圖 7-18，可得出不同米種浸泡水在各不同浸泡時間所生成的二氧化碳濃度。紅糯米、黑米在浸泡過程中因發酵所生成的二氧化碳濃度較高，且在浸泡 24 小時後，其所生成的二氧化碳濃度趨近 60%。(如圖 7-19)



柒、參考資料

- 一、八木宏典 (2015)。超圖解米的基礎知識：了解稻米的營養、飲食文化與產業經濟。晨星。
- 二、栗生隆子 (2017)。超萬能的淘米水：美容+健康+掃除，讓身體和住家都煥然一新！。健行文化。
- 三、徐啟銘 (2003)。氧化還原電位與 pH 值對於厭氧產氫菌利用有機固體廢棄物的影響。國立高雄第一科技大學碩士論文。

【評語】 080209

1. 本研究內容豐富，頗有創意。
2. 本研究探討影響米水發酵的可能因素及米水的發酵與其抗氧化力的關係，跟以往類似碘滴定實驗不同者，為改以測量不同米種之米水的 pH 值及氧化還原電位值來分析其抗氧化能力。研究中發現米的種類、米水製作方式、浸泡時間、接觸空氣與否、環境溫度、米的重複利用次數會影響米水的發酵效果。本研究也利用自製褐變程度檢測儀定量蘋果汁的褐變程度，並以褐變程度測試發酵佳的米水種類的抗氧化力。總體而言，本工作報告呈現之調理清晰、數據整理優、有別於一般碘澱粉檢測、還有對蘋果汁變色的討論。
3. 本工作亮點在自製實驗器材輔助與提升結果的準確性。本作品以氧化還原電位(ORP)測定方式來鑑定抗氧化的能力，並利用 ORP 儀追蹤發酵米水的變化但對於其中呈現的"負"值數據與"正"值數據的化學原理不甚了解。其中發酵引起 ORP 改變的概念，與米的抗氧化的概念在報告中應加以解析說明。
4. 建議：
 - (1)其中以定性方式發酵的描述，建議增加定量酸性測定。
 - (2)浸泡環境溫度，除影響電位差外，有無其餘的影響？

壹、研究動機

以前煮飯時，人們都會把淘米水倒掉，認為它沒什麼用，但近年來環保意識抬頭，許多人將淘米水再次利用來去污、掃除、澆灌植物等生活用途，我姊姊還說：「發酵的淘米水具有抗氧化力，用它來洗臉，可以防止皮膚的老化！」好奇的我對姊姊的說法心存懷疑，發酵的米水真的具有抗氧化力嗎？可以如何設計實驗印證此說法呢？又怎麼做可以提高米水的抗氧化效果呢？因此我和同學討論之後，決定以「米水」為主題，揭開「米水」的神祕面紗。

貳、研究目的

- 一、探究影響米水發酵的可能因素
- 二、探究米水的發酵與其抗氧化力的關係

參、研究方法、結果與發現

實驗一：文獻探討及實驗測試

(一)文獻探討：

1.發酵淘米水的功效及製作方式：

八木宏典認為大米中含有可溶於水的水溶性維生素和礦物質等營養在淘米時會殘留在淘米水中，具保濕、抗衰老作用。栗生隆子認為發酵淘米水可幫助水中酵母菌增多，提高其抗氧化能力。為因應本研究設計的密閉針筒微量實驗，按專家所建議米和水比例縮減為 1.5g 米加 15g 水，且將加入其它常見米種及從未有人研究過的「米浸泡水」一併進行比較與分析。

2.關於測定抗氧化力的文獻探討：

在歷屆全國小學科展關於**抗氧化力的測定方法探究**有兩種，都以澱粉作為指示劑，**一為間接碘滴定法**-在中性或弱酸性溶液中進行，達終點時溶液由藍色變為無色；**另一種為直接碘滴定法**-在弱鹼性、中性或弱酸性溶液中進行，終點時溶液由無色變為藍色。考量我們的各種米水待測液顏色不同，所以選擇「**直接碘滴定法**」進行先前測試。

(二)實驗測試：使用「碘滴定法」檢驗不同米種淘米水與浸泡水其抗氧化力有何差異？

1.實驗步驟：

(1)準備 1%澱粉指示劑：1g 澱粉加 100g 水，煮沸後自然冷卻至常溫。

(2)米水待測液調製：

①**選擇米種**：白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米。(圖 1-1)

②**製作淘米水**(圖 1-2)：將 1.5g 米加水 150g，用攪拌杯攪拌米和水，以取代用手洗米可能造成人為誤差(圖 1-4)，取其中淘米水 10cc 置入密閉塑膠針筒中，靜置 24 小時後取此待測液進行滴定實驗。

③**製作浸泡水**(圖 1-3)：用攪拌杯洗 1.5g 米和 150g 水，取出米置入內含 10cc 水的密閉塑膠針筒中，靜置 24 小時後取此待測液進行滴定實驗。

(3)在待測液中加入 10 滴 1%澱粉指示劑，將 0.01M 碘液滴入待測液中，待測液由無色變為藍色即達滴定終點，記錄滴定至終點時碘液用量。(圖 1-5)

2.實驗發現：

(1)從文獻中得知以「碘滴定法」檢驗某溶液，達到滴定終點所需碘液用量越多，代表其抗氧化能力越好。從圖 1-6 得知：

①不同米種淘米水達滴定終點所需碘液用量介於 2.0~2.3ml，差距不大。

②黑米浸泡水達滴定終點所需碘液用量最多，為 7.5 ml；紅糯米浸泡水次之，為 6.5 ml。

③任一相同米種，抗氧化力比較：浸泡水>> 淘米水。

(2)因待測液含澱粉，碘液對澱粉會產生藍黑或紫黑色反應，再加上黑米、紅糯米容易在水中釋放出天然色素，導致使用碘直接滴定法對於滴定是否達到終點，有判斷上困難。因此就本研究而言，「**碘滴定法**」不是一個理想檢驗不同米種之米水其**抗氧化力強弱的好方法**。

3.發酵米水的性質檢測：氧化還原電位 (ORP) 用以反應發酵液中所有物質整體表現出來的氧化還原性，氧化還原電位越高，氧化性越強，電位越低，則還原性越強。因此我們捨棄「**碘滴定法**」改以測量「**酸鹼性**」及「**氧化還原電位值**」來判斷不同米種的米水發酵程度，並藉由蘋果汁褐變實驗以檢測米水是否具有抗氧化能力。



圖 1-1：選擇 5 種米進行實驗。



圖 1-2：紅糯米淘米水



圖 1-3：紅糯米浸泡水



圖 1-4：用攪拌杯攪拌米和水，以取代用手洗米可能造成人為誤差。

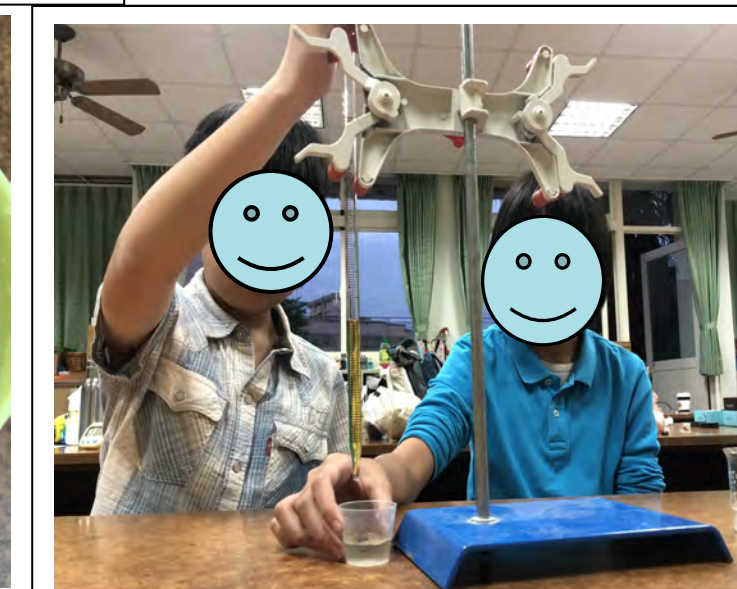


圖 1-5：以「碘滴定法」檢驗不同米種米水之抗氧化力。

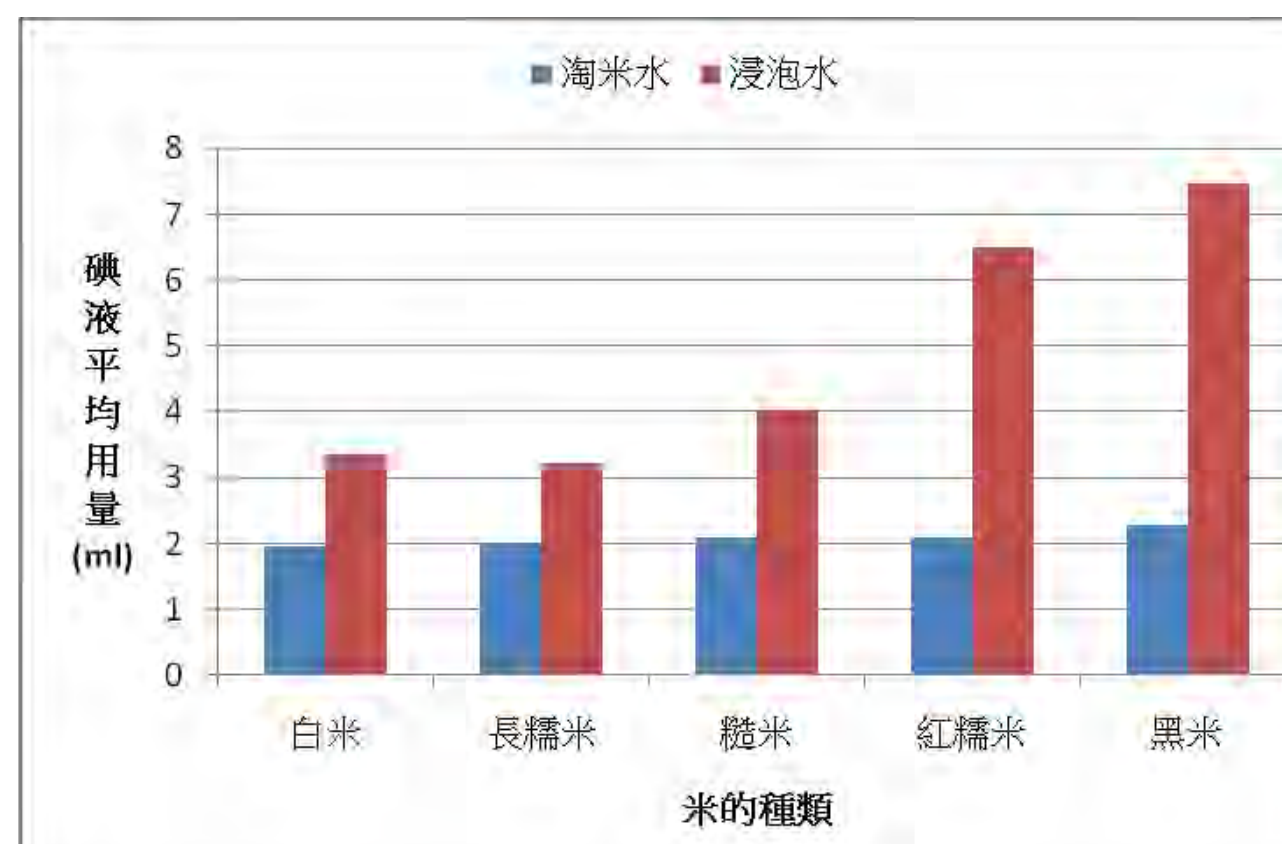


圖 1-6：不同米種其淘米水和浸泡水以「碘滴定法」之碘液平均用量比較圖

實驗針筒前端改以「三通閥」裝置以改良管口密封方式

實驗針筒前端原以塑膠短管、長尾夾封閉管口(圖 1-7)，但每次為了要確實使針筒隔絕外界空氣，必須要一再重複套上塑膠管→彎折塑膠管→調整長尾夾的夾住角度.....而花費許多時間，因此經過多次嘗試與試驗後，發現醫療用三通閥(圖 1-8)管徑與實驗用針筒管口能密合，不僅有助於提升實驗效率，且閥口的開關設計將有助於後續實驗進行，能發現「三通閥」這優質零件，真是開心！

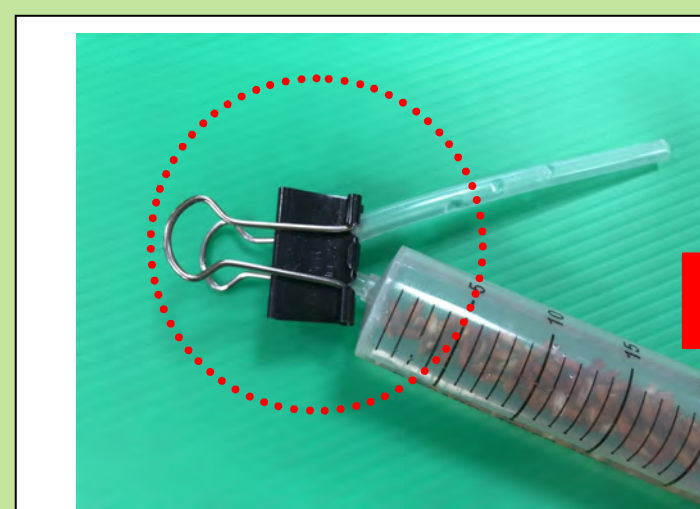


圖 1-7：以長尾夾封閉管口。

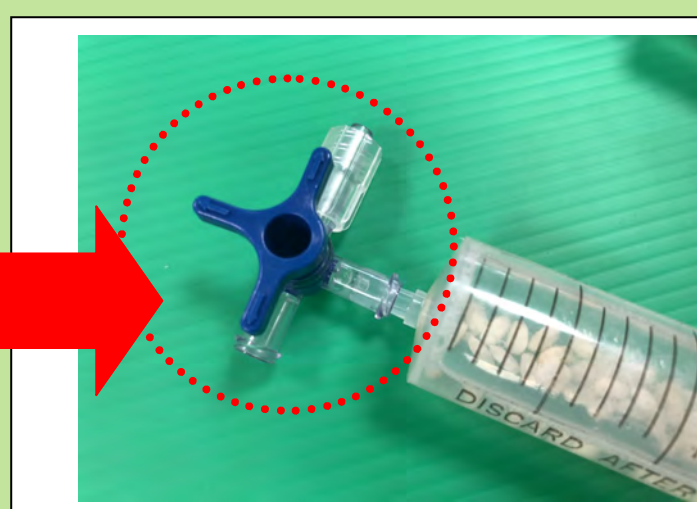


圖 1-8：以三通閥封閉管口。

實驗二：不同米種的淘米水，浸泡時間如何影響其發酵情形？

(一)實驗步驟：

1.將白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米淘米水 15g 分別置入實驗觀察針筒中，套上針筒活塞，並貼上識別標籤紙，每隔 1、2、3、4、5、6、12、18、24 小時記錄每支實驗觀察針筒中的淘米水外觀、顏色、氣泡量等。(圖 2-1)

2.將每種淘米水各置入 5 支實驗觀察針筒，5 種米共 25 支觀察針筒，浸泡至 0、6、12、18、24 小時，分別打開不同實驗觀察針筒以 PH 計及氧化還原電位計測量其數值(圖 2-2)。

(二)實驗發現：

1.任何米種淘米水放置 24 時後都沒產生氣泡，表示發酵效果不顯著，推測是因淘米水米含量濃度較低，無法和空氣起反應。

2.白米淘米水放置 1 小時後、黑米淘米水放置 12 小時後、長糯米、紅糯米淘米水放置 18 小時後，水質才變混濁；但糙米淘米水放置 24 小時後，水質仍然清澈。

3.任一米種淘米水在 24 小時內的 PH 值變化不大，仍接近中性(圖 2-3);氧化還原電位值會稍微下降，但仍是正值(圖 2-4)。



圖 2-1：將不同米種的淘米水分別置入實驗觀察針筒中，並貼上識別標籤紙。



圖 2-2：用 PH 計及氧化還原電位計測淘米水。

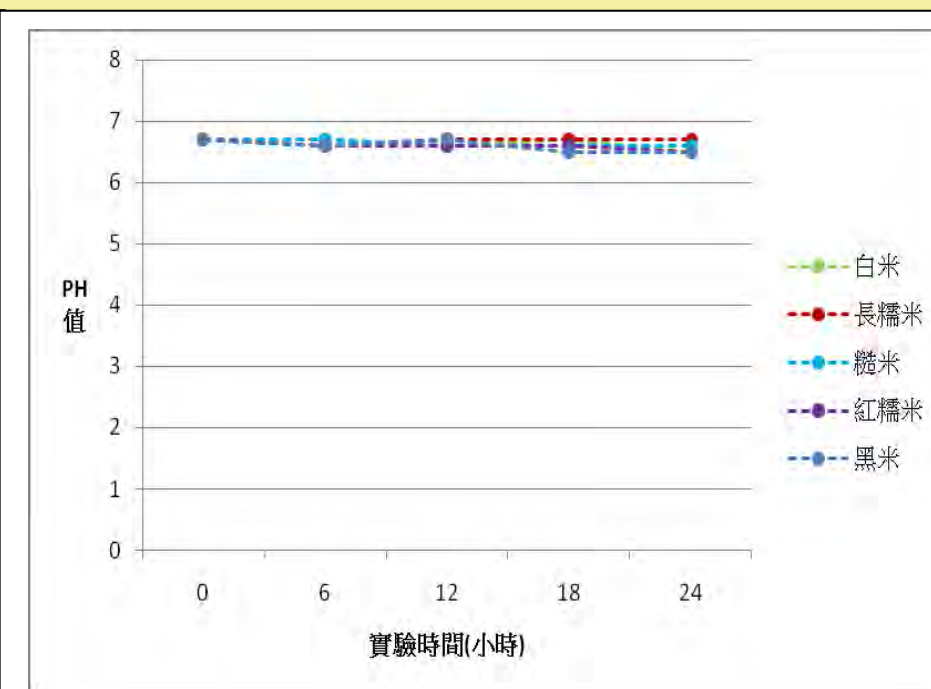


圖 2-3：不同米種淘米水在不同實驗時間之 PH 值關係圖

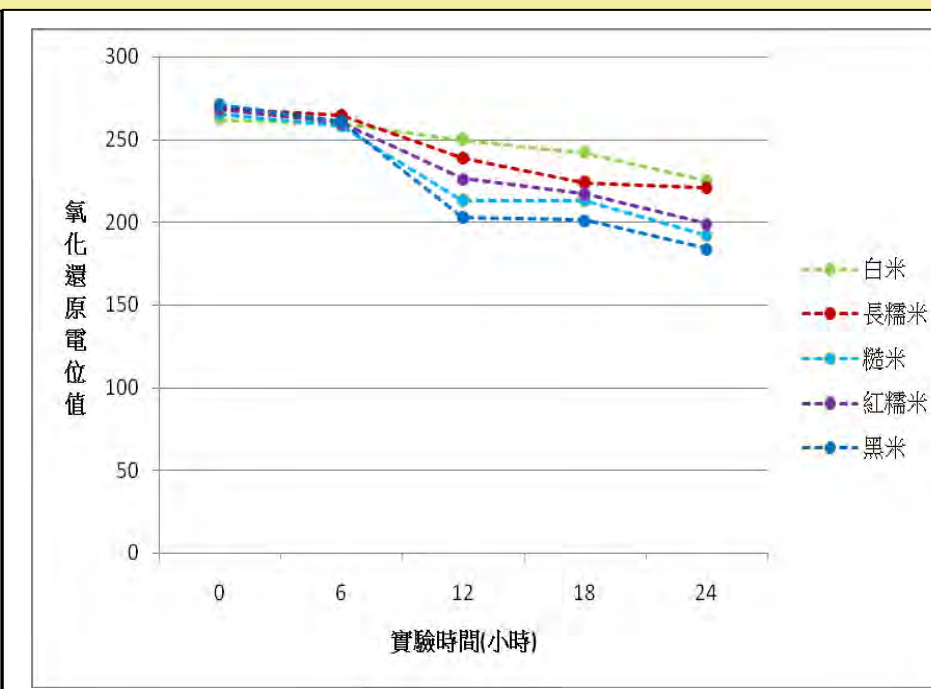


圖 2-4：不同米種淘米水在不同實驗時間之氧化還原電位值關係圖

實驗三：不同米種的浸泡水，浸泡時間如何影響其發酵情形？

(一)實驗步驟：

- 1.製備白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米等米種浸泡水 15g 於實驗觀察針筒中，套上針筒活塞，並貼上識別標籤紙，每隔 1、2、3、4、5、6、12、18、24 小時記錄每支實驗觀察針筒中的浸泡水外觀、顏色、氣泡量等。(圖 3-1)
- 2.將每種浸泡水各置入 5 支實驗觀察針筒，5 種米共 25 支觀察針筒，浸泡至 0、6、12、18、24 小時，分別打開不同實驗觀察針筒以 PH 計及氧化還原電位計測量其數值。

(二)實驗發現：

- 1.任一米種的浸泡水在 12 小時後，水質都變得很混濁，會有一些懸浮物漂浮在浸泡水中。
- 2.浸泡水中在 18~24 小時之間會開始產生氣泡，其中紅糯米產生的氣泡最多，黑米次之(圖 3-2)。
- 3.浸泡水放置一段時間後，會有些米本身的色素沉澱，其中黑米浸泡水的色素沉澱較明顯，呈酒紅色。
- 4.任一米種浸泡水，PH 值會隨著時間而減少，0 小時 PH 值皆介於 6.7~6.8，接近中性，但在 12-18 小時間，PH 值大幅降低，皆降至 6 以下，呈弱酸性。(圖 3-3)
- 5.任一米種浸泡水 12~18 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值，表示此時浸泡水的發酵變化較為顯著。(圖 3-4)
- 6.任一米種浸泡水的 pH 值變為 6 以下時，氧化還原電位值也會變為負數，是因**發酵時，PH 值會呈酸性**。
- 7.所有米種中，黑米、紅糯米浸泡水的 pH 值和氧化還原電位值都比其他米種的數值小，表示**黑米、紅糯米的發酵效果比其它米種來得好**。



圖 3-1：將不同米種的浸泡水分別置入實驗觀察針筒中，並貼上識別標籤紙。



圖 3-2：黑米浸泡水中產生許多細細小小的氣泡。

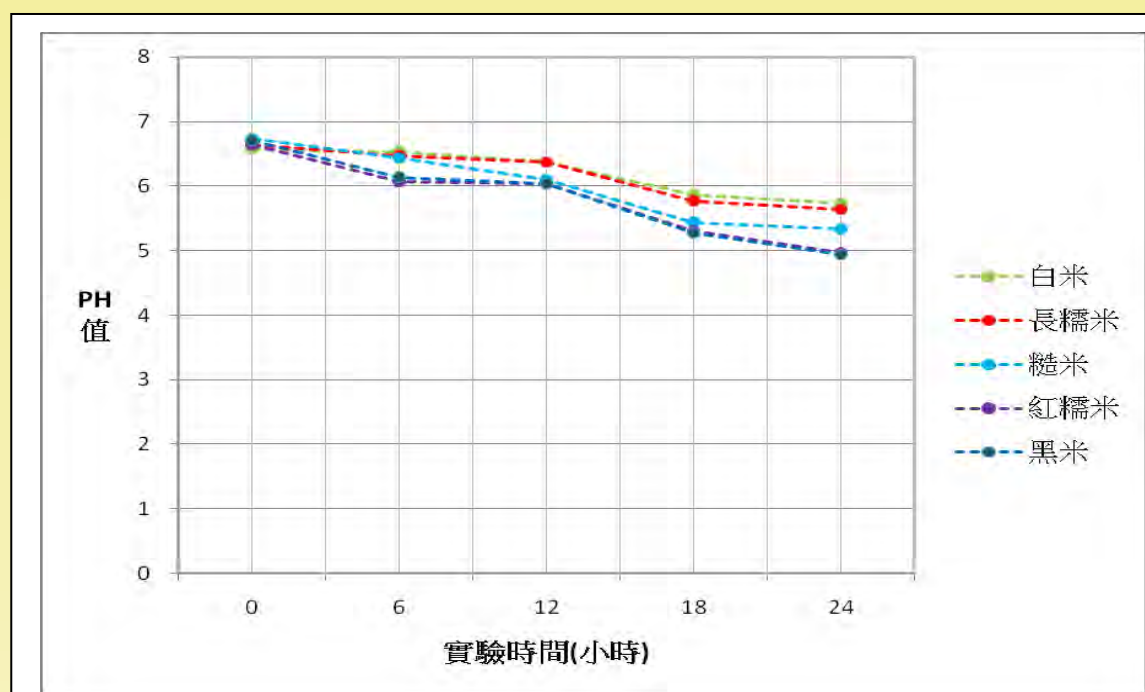


圖 3-3：不同米種浸泡水在不同實驗時間之 PH 值關係圖

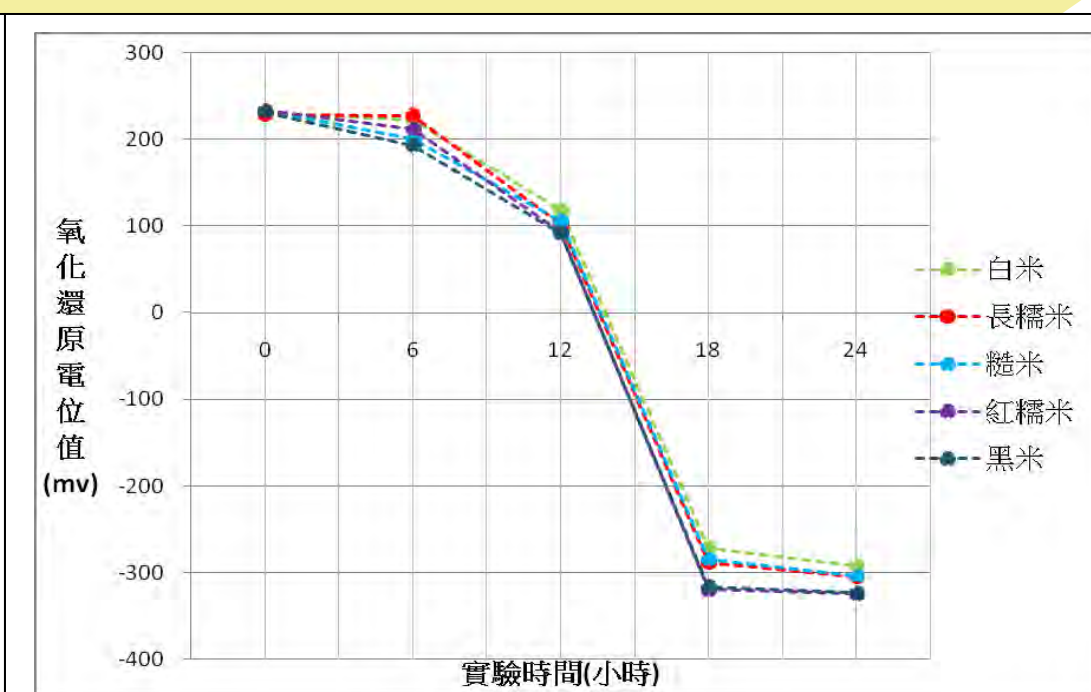


圖 3-4：不同米種浸泡水在不同實驗時間之氧化還原電位值關係圖

浸泡水比淘米水的發酵效果顯著

從子題二、三得知，任一米種之浸泡水放置 24 小時後，其【PH 值】及【氧化還原電位值】都明顯下降，浸泡水在 12~18 小時間氧化還原電位值從正值驟降為負值，且在 12 小時之後的實驗針筒內有許多氣泡產生，在在顯示浸泡水的發酵效果比淘米水顯著，因此我們將以不同米種之浸泡水進行後續研究。

實驗四：不同米種浸泡水，接觸空氣與否如何影響其發酵情形？

(一)實驗步驟：準備五種米(白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米)之浸泡水各兩組，兩組浸泡水都分別置入實驗觀察針筒中，在塑膠針筒前端套入三通閥來密封管口，一組用針筒活塞塞住，使其成密閉空間；一組不用針筒活塞塞住，使其接觸空氣(圖 4-1)。定時測量兩組浸泡水的 PH 值和氧化還原電位值。

(二)實驗發現：以實驗起訖時間(0~24 小時)【PH 下降情形】及【氧化還原電位下降值】製圖 4-2~4-3，可得知~

- 1.任一米種浸泡水以量測時間 0~24 小時來看，**有無接觸空氣對其 PH 值的影響差異不大**。
- 2.任一米種浸泡水以量測時間 0~24 小時來看，沒有接觸空氣的氧化還原電位下降幅度比有接觸空氣的多，表示**密閉空間的環境有助於發酵**。
- 3.不論有無接觸空氣，黑米、紅糯米浸泡水在 24 小時內的「PH 下降幅度」及「氧化還原電位下降幅度」都比其它米種大，顯示**紅糯米、黑米不論有無接觸空氣，都比其它米種的發酵情形好**。
- 4.任一米種浸泡水**無接觸空氣時，在 12~18 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值；有接觸空氣時，在 18~24 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值**，顯示**接觸空氣會延緩米浸泡水的發酵時間**。(圖 4-4)

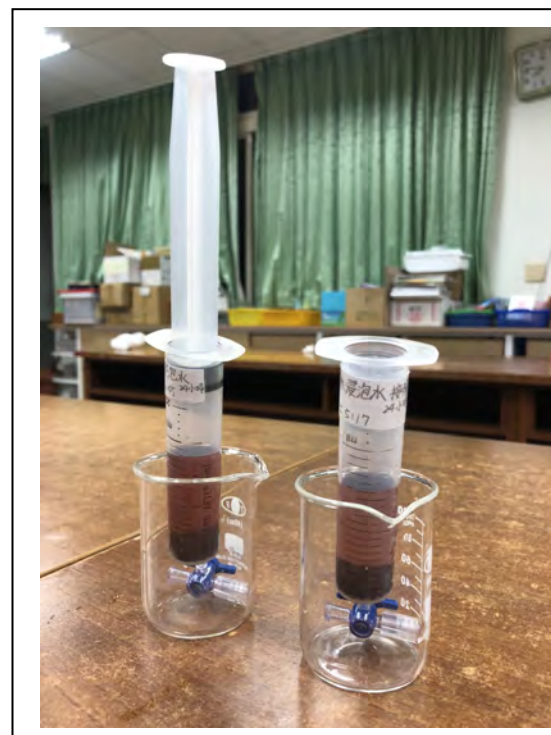


圖 4-1：一組為密閉空間，另一組可接觸空氣。

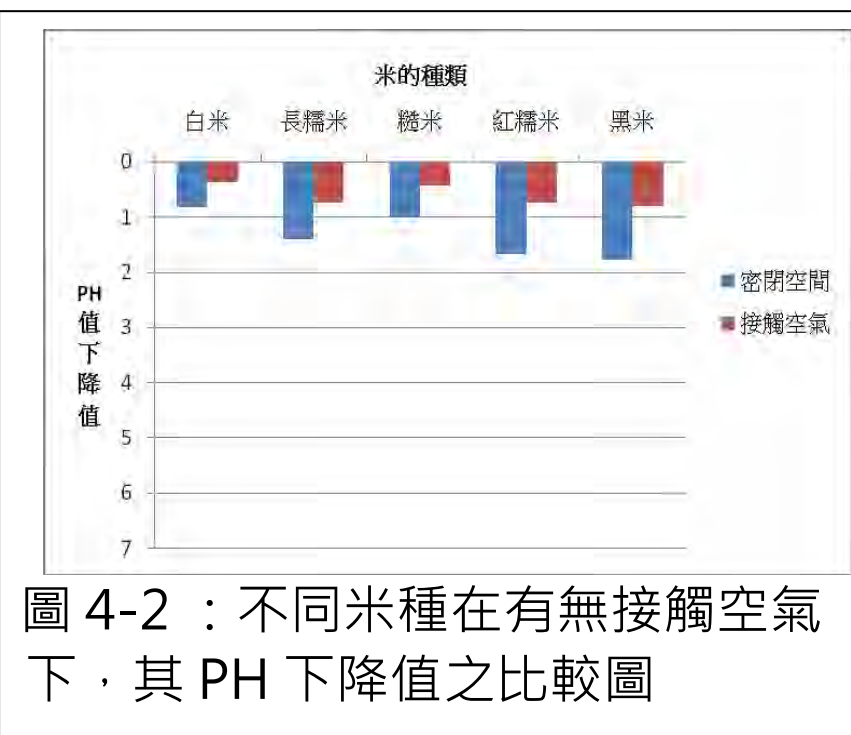


圖 4-2：不同米種在有無接觸空氣下，其 PH 下降值之比較圖

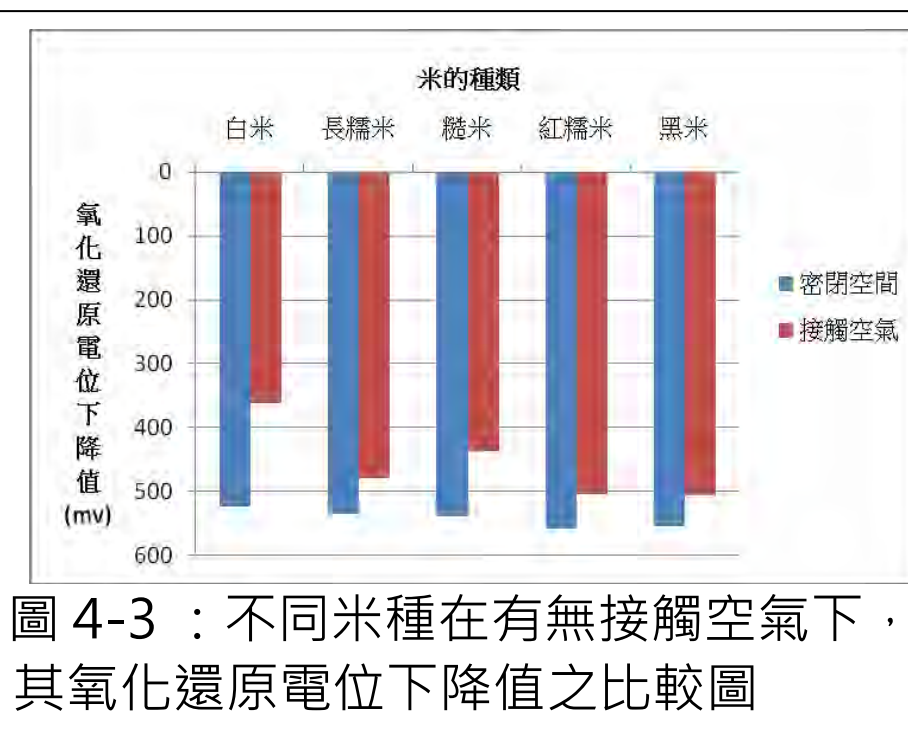


圖 4-3：不同米種在有無接觸空氣下，其氧化還原電位下降值之比較圖

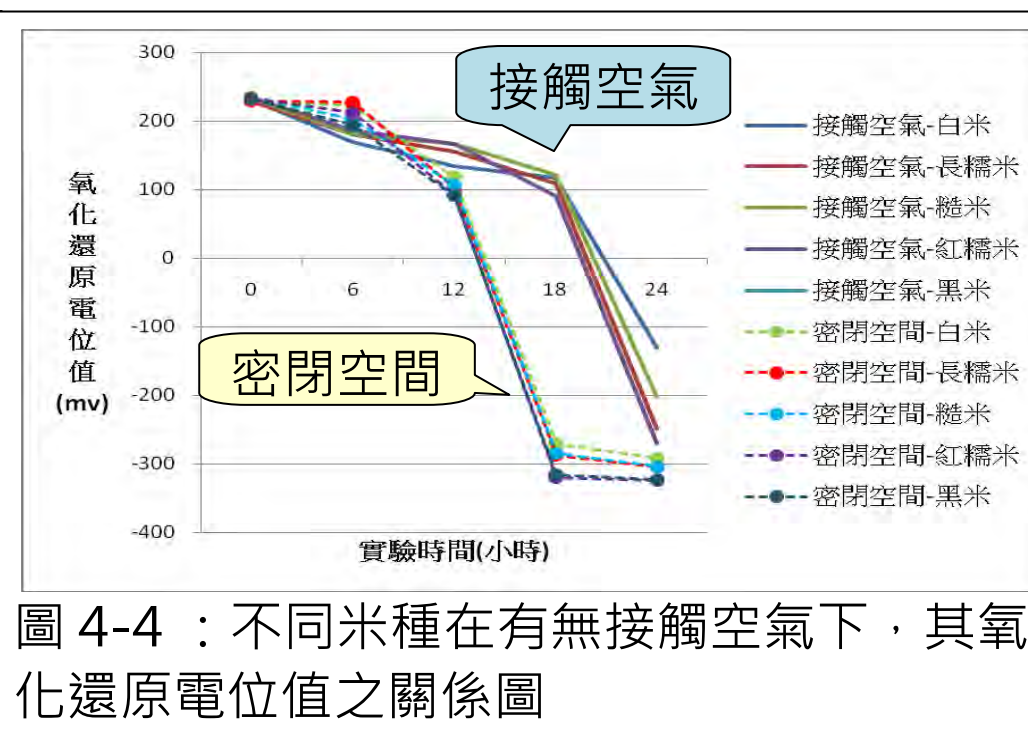


圖 4-4：不同米種在有無接觸空氣下，其氧化還原電位值之關係圖

實驗五：不同米種浸泡水，保存溫度如何影響其發酵情形？

(一)實驗步驟：準備五種米(白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米)之浸泡水 A、B、C 組，A 組浸泡水放在 7°C 冰箱冷藏室中(圖 5-1)，B 組放在 18~25°C 室溫中(冬~春季)，C 組放在 26~33°C 室溫中(春~夏季)，定時測量兩組浸泡水的 PH 值和氧化還原電位值。

(二)實驗發現：

- 1.以實驗起訖時間(0~24 小時)【PH 值下降情形】及【氧化還原電位下降值】進行製圖 5-2~5-3，發現任一米種其環境溫度越高，【PH 值】及【氧化還原電位值】下降幅度越大。
- 2.將表 5-1~5-3 以實驗起訖時間(0~24 小時)的【氧化還原電位值】進行製圖 5-4，發現任一米種浸泡水在**7°C 低溫中時，在 0~24 小時間，氧化還原電位值都維持在正數**；在**18~25°C 室溫中時，在 12~18 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值**；在**26~33°C 室溫中時，在 0~6 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值**，顯示**低溫環境不適合浸泡水發酵，而環境溫度越高，可加速米浸泡水的發酵速度**。



圖 5-1：將浸泡水置於實驗室冷藏庫



圖 5-2：不同米種在不同的浸泡溫度下，其 PH 下降值之比較圖

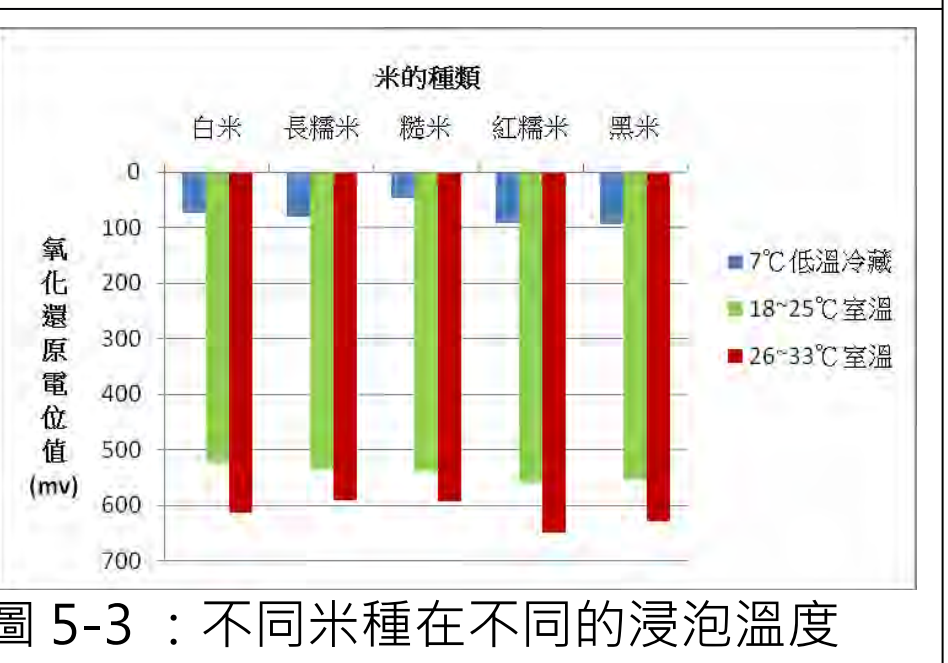


圖 5-3：不同米種在不同的浸泡溫度下，其氧化還原電位下降值之比較圖

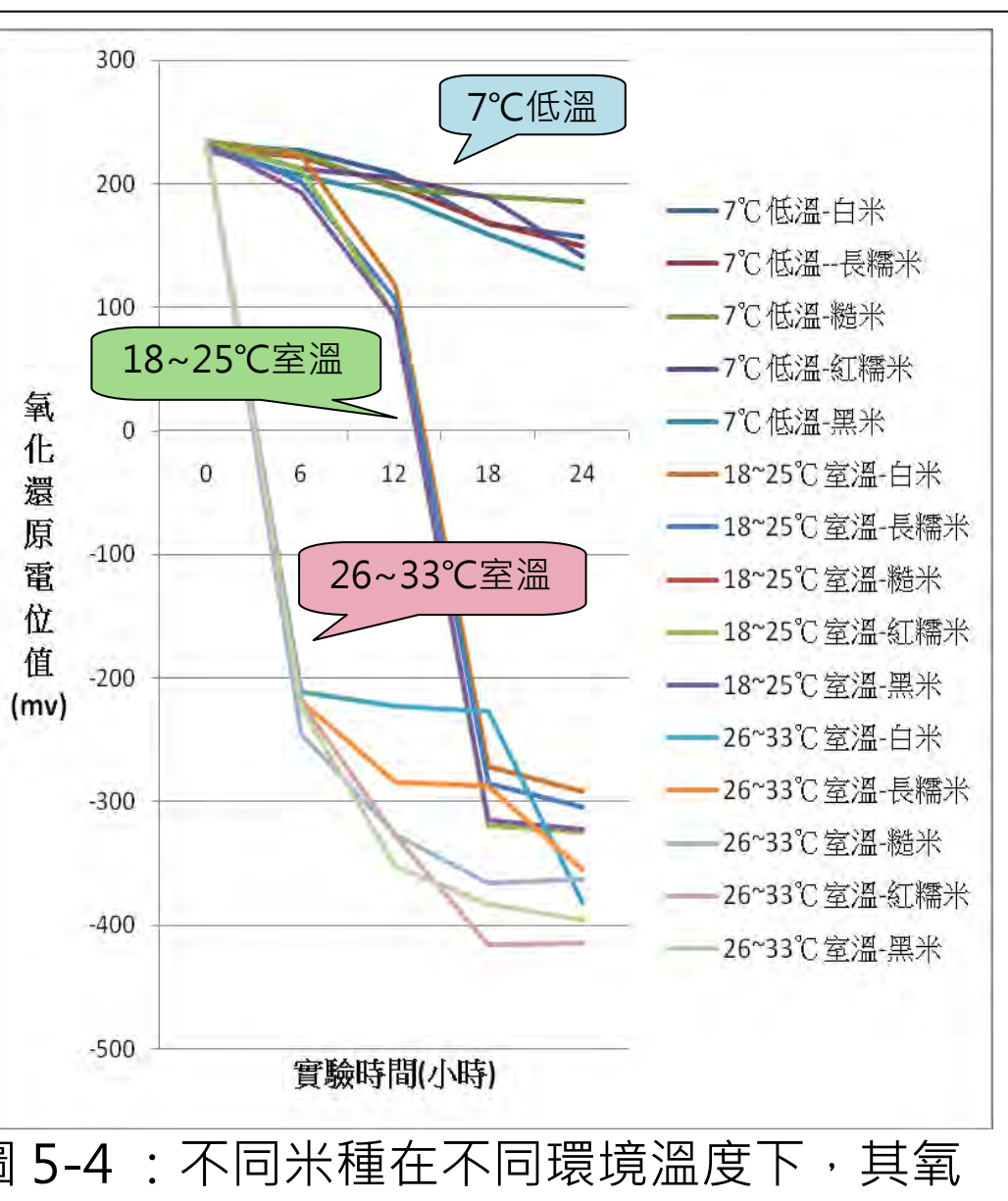


圖 5-4：不同米種在不同環境溫度下，其氧化還原電位值之關係圖

實驗六：米粒重複浸泡將如何影響其發酵情形？

(一)實驗步驟：

- 1.製備白米浸泡水 15g 於實驗觀察用針筒 A 中，此為白米的第一次浸泡，置於常溫(18~25°C)下 18 小時後，測量其 PH 值和氧化還原電位值。
- 2.接著，取出觀察用針筒 A 中的水，重新置入乾淨的水 15g，此為白米的第二次浸泡，置於常溫(18~25°C)下 18 小時後，測量其 PH 值和氧化還原電位值。
- 3.重複步驟 2，將白米重複浸泡 8 次，每次在浸泡 18 小時後測量其 PH 值和氧化還原電位值，重新換水再浸泡 18 小時後測量數值。
- 4.更換米種為長糯米、糙米、紅糯米、黑米，重複步驟 1~3。每個實驗皆重複 3 次，取其平均值進行比較與分析。

(二)實驗發現：

- 1.糙米在第 96 小時(第 5 次浸泡後)，黑米在第 114 小時(第 6 次浸泡後)竟然發芽了，發芽時會有許多氣泡聚集在芽上方，非常有趣！
- 2.將表 6-1~6-2 彙整成圖 6-2~6-3，發現：
 - ①任一米種每重複浸泡一次，所測得的 PH 值會下降，重複浸泡至第 8 次，總浸泡時間 144 小時後，PH 值都介於 3.9~4.3 間。
 - ②任一米種第一次浸泡 18 小時後，氧化還原電位值會從正值驟降為負值，但之後每次重複浸泡，氧化還原電位值會慢慢回升，表示其抗氧化力逐漸降低。
 - ③重複浸泡第 6 次起，糙米的氧化還原電位值在所有米種中獨樹一幟的開始下降了(如圖 6-3 中 ○ 處)；重複浸泡第 7 次起，黑米的氧化還原電位值也開始下降(如圖 6-3 中 ○ 處)。有趣的是，這些時間點也是糙米、黑米開始發芽的時候，表示發芽的糙米、黑米有助於提升其發酵效果！

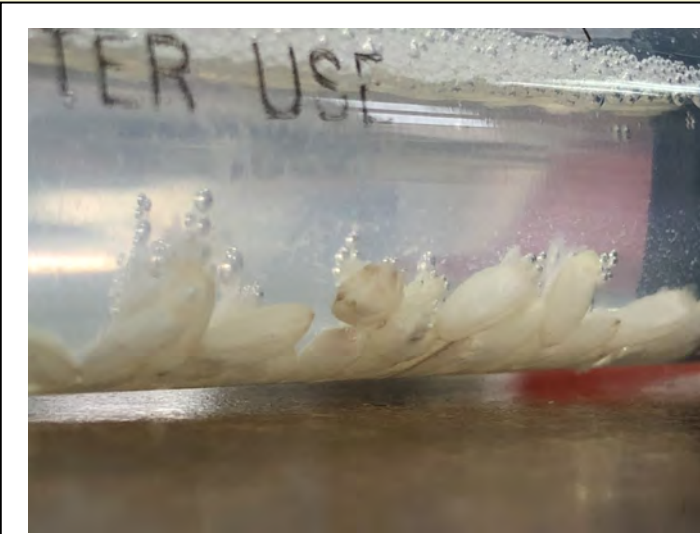


圖 6-1：糙米(左圖)、黑米(右圖)分別在第 96、114 小時發芽了，發芽的米粒會站起來，且有許多氣泡聚集在芽上方。



圖 6-2：不同米種重複浸泡後，其總浸泡時間與 PH 值之關係圖

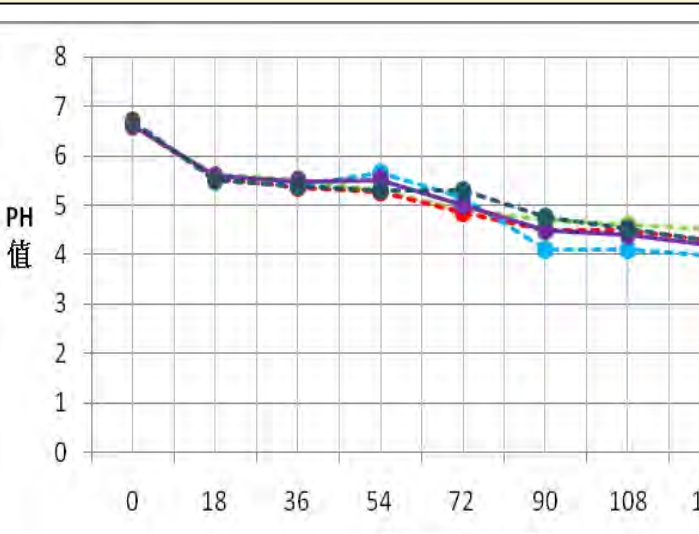


圖 6-3：不同米種重複浸泡後，其總浸泡時間與氧化還原電位值之關係圖

實驗七：使用「蘋果汁褐變反應」來檢驗不同米種的浸泡水其抗氧化力有何差異？

(一)實驗步驟：

- 1.取出浸泡水中的發酵氣體(圖 7-1)
 - (1)準備白米、長糯米、糙米、紅糯米、黑米浸泡水，每一米種浸泡水皆置入 4 支觀察針筒，分別放置 6、12、18、24 小時。
 - (2)待達指定時間後，調整三通閥方向將不同米種浸泡水 A 針筒內發酵氣體打入另一空實驗 B 針筒，立即封閉 B 針筒管口。
- 2.取蘋果汁(圖 7-2)

將蘋果丟掉果皮和果核後，放入榨汁機內榨汁，在榨汁機出汁口用極細篩網濾掉泡沫和渣，只取蘋果汁。
- 3.在三通閥上套入一塑膠管，調整三通閥方向，拉動 A 針筒活塞，使塑膠管排除空氣，充滿新鮮蘋果汁(圖 7-3)。
- 4.關閉 A 針筒管口，開啟 B 針筒，拉動 B 針筒活塞，使 10 c.c.新鮮蘋果汁注入 B 針筒內(圖 7-4)。

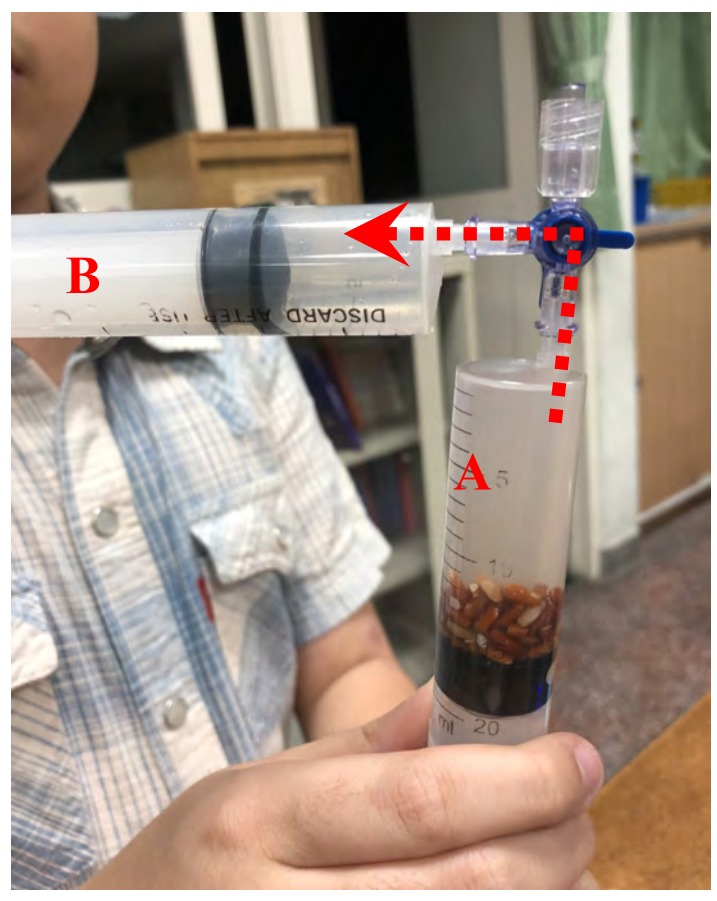


圖 7-1：調整三通閥方向將紅糯米浸泡水針筒內發酵氣體打入空針筒 A(←為注入方向)



圖 7-2：去掉果皮和果核後，放入榨汁機內榨汁，用極細篩網過濾掉泡沫和渣，只取蘋果汁。



圖 7-3：調整三通閥方向，使塑膠管排除空氣充滿蘋果汁。

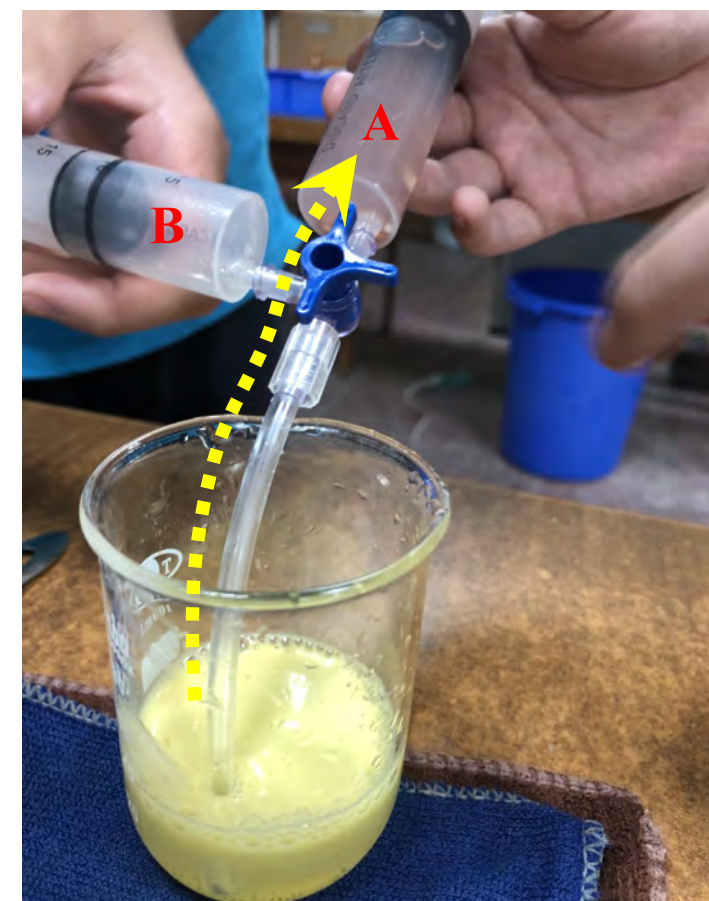


圖 7-4：調整三通閥，拉動 B 針筒活塞使蘋果汁注入針筒內。

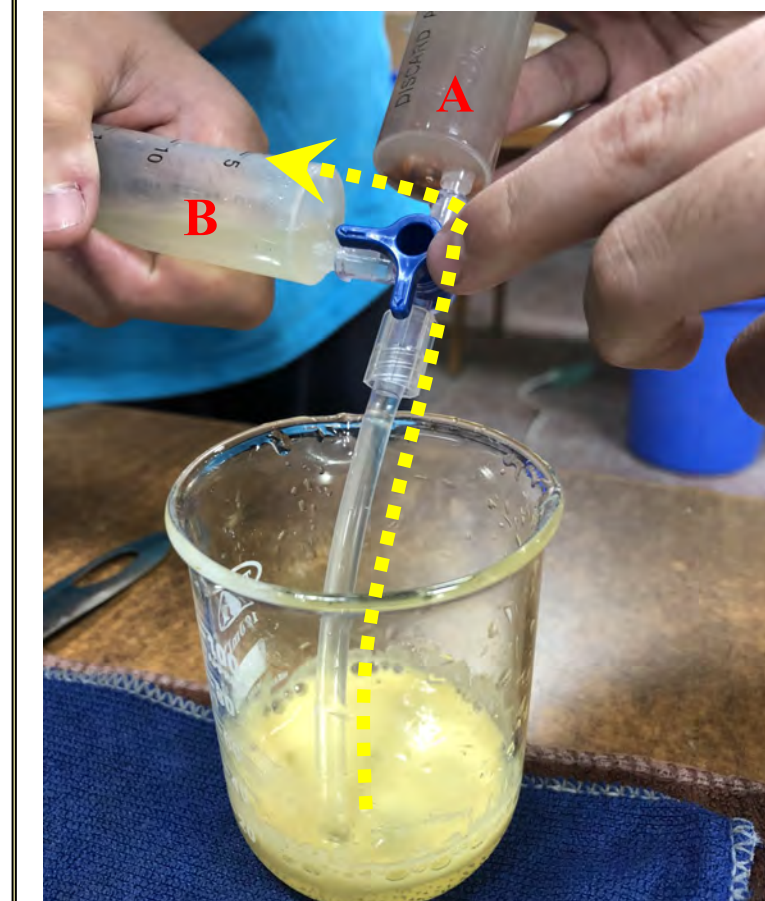


圖 7-5 自製褐變程度檢測儀

5.自製「褐變程度檢測儀」：利用紙盒、LED 燈泡、魔鬼氈、照度計製作可精準檢驗蘋果褐變程度的檢測儀器，圖 7-5~7-8。



圖 7-5 自製褐變程度檢測儀



圖 7-6：最上層嵌入 LED 燈泡。



圖 7-7：中間層紙盒挖一方形孔洞，讓 LED 光線穿透裝有待測液針筒，黏貼魔鬼氈用來固定待測針



圖 7-8：固定照度感應器接收區。

◎「自製褐變程度檢測儀」使用方法及所得照度值之代表意涵：

實驗針筒中蘋果汁若產生褐變，褐變顏色越深，則透過「自製褐變程度檢測儀」檢測，實驗針筒中蘋果汁透光度變差，所測得照度值就越低，表示打入該蘋果汁觀察針筒的米種發酵氣體之抗氧化力較差。

6.將實驗針筒 B(含浸泡水發酵氣體的蘋果汁)置入「自製褐變程度檢測儀」，每一分鐘記錄一次照度值，連續記錄 10 分鐘。

(二)實驗發現(圖 7-9~7-12)

- 任一米種，浸泡時間越長的發酵氣體注入裝有蘋果汁的針筒後，蘋果汁透光度的下降速度越慢，說明任一米種浸泡、發酵時間越久，其發酵氣體抗氧化力越強。
- 取放置 18 小時、24 小時的任一米種浸泡水之發酵氣體注入裝有蘋果汁的針筒後，蘋果汁透光的下降速度遠遠小於只注入空氣的照度值下降幅度，說明米種浸泡水之發酵氣體確實有延緩蘋果氧化的功效。
- 紅糯米、黑米浸泡水之發酵氣體使蘋果汁透光度的下降速度最慢，說明紅糯米、黑米浸泡水之發酵氣體的抗氧化力最強。

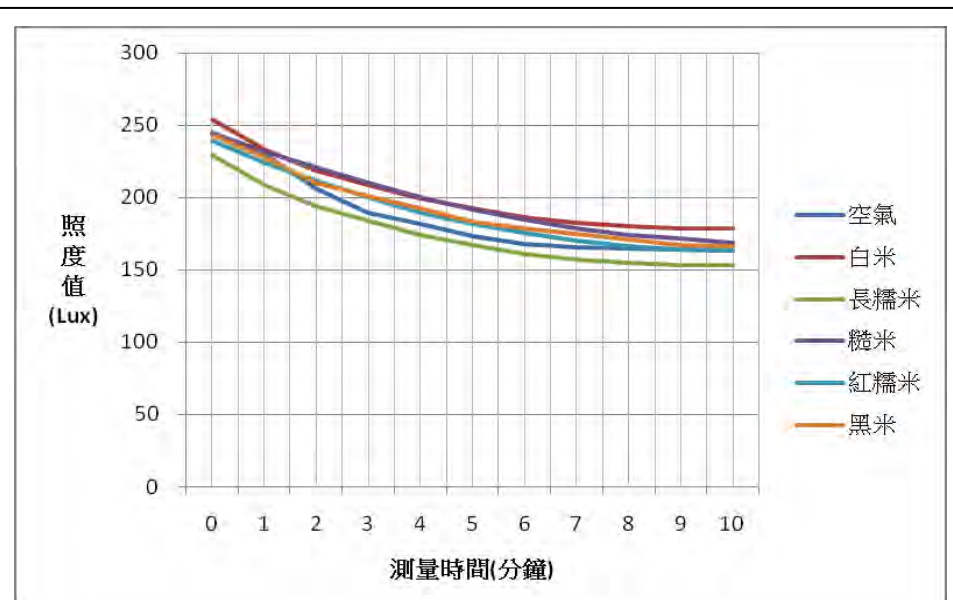


圖 7-9：達 6 小時，不同米種發酵氣體所得照度差異比較圖

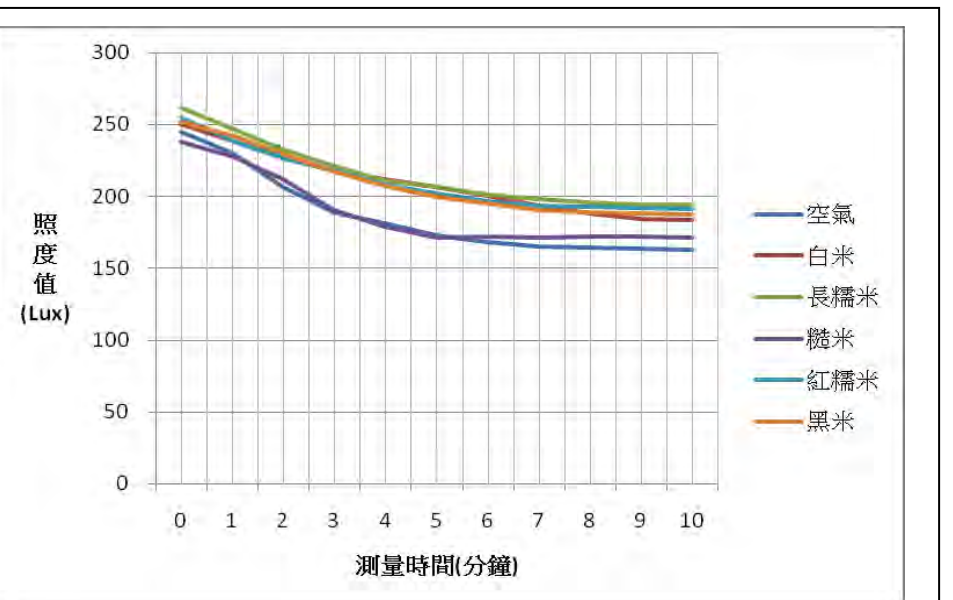


圖 7-10：達 12 小時，不同米種發酵氣體所得照度差異比較圖

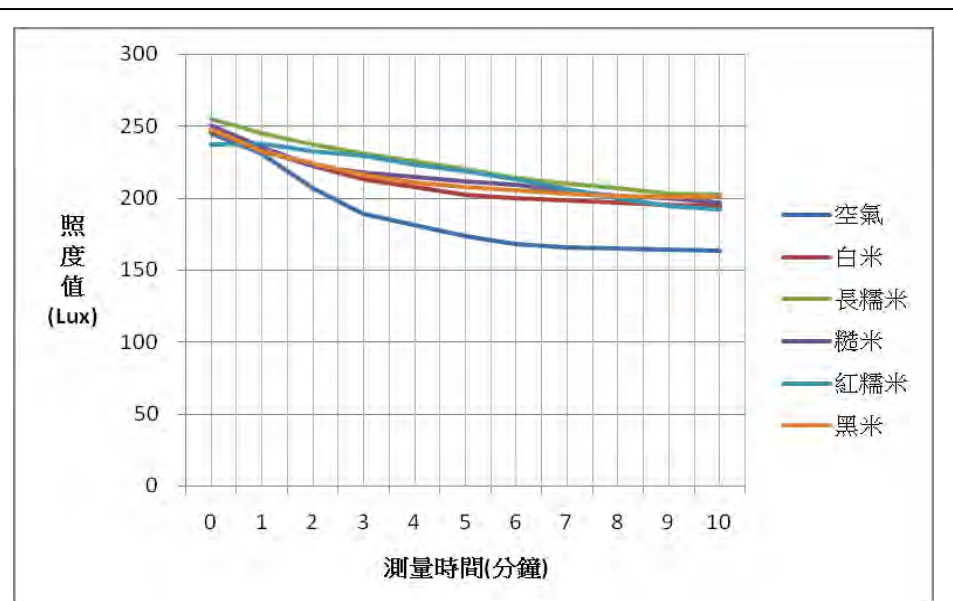


圖 7-11：達 18 小時，不同米種發酵氣體所得照度差異比較圖

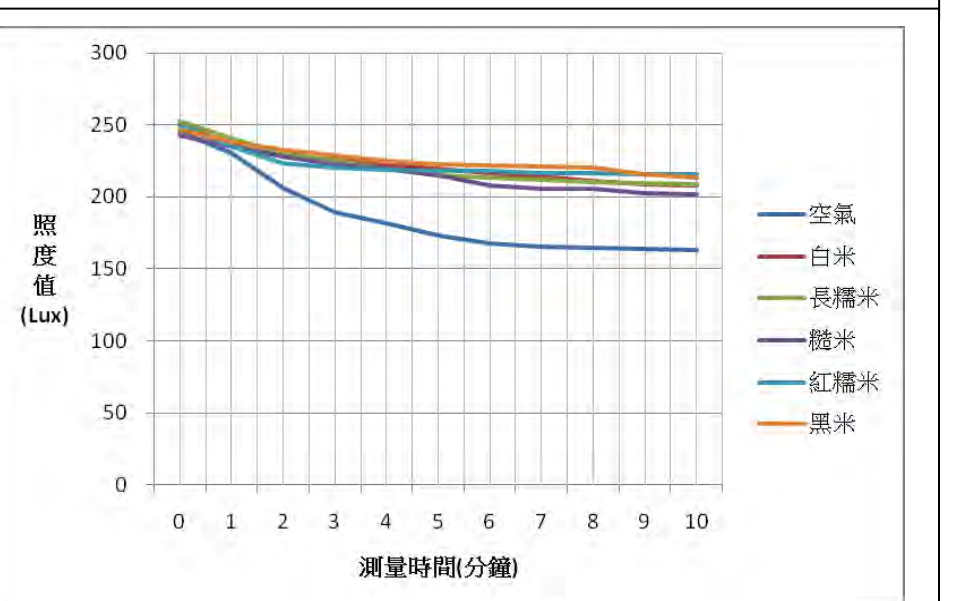


圖 7-12：達 24 小時，不同米種發酵氣體所得照度差異比較圖

不同二氧化碳濃度對蘋果汁褐變程度的影響

從子題七中得知，將浸泡時間越長的米水所產生的發酵氣體注入裝有蘋果汁的針筒後，蘋果汁透光的下降幅度越小。已知發酵時會產生 CO₂，米水因不同的浸泡時間而有不同程度的發酵反應，但其所產生的二氧化碳濃度又是如何呢？為了解答這小小的疑惑，我們設計了一個實驗加以對照：

(一)實驗步驟：混合醋與小蘇打粉，利用排水集氣法蒐集 CO₂ 於實驗針筒中(圖 7-13)。藉由實驗筒前端三通閥之開關設計，製備出 0~100%不同濃度的 CO₂ 實驗用針筒(圖 7-14)。

將上述不同濃度的二氧化碳氣體注入蘋果汁的針筒內，再利用「自製褐變程度檢測儀」每一分鐘記錄一次照度值，連續記錄 10 分鐘。

(二)實驗結果與發現(圖 7-15)：空氣中二氧化碳濃度越高，蘋果汁透光度減少的數值越低，表示高濃度二氧化碳能有效延緩蘋果汁的氧化反應。

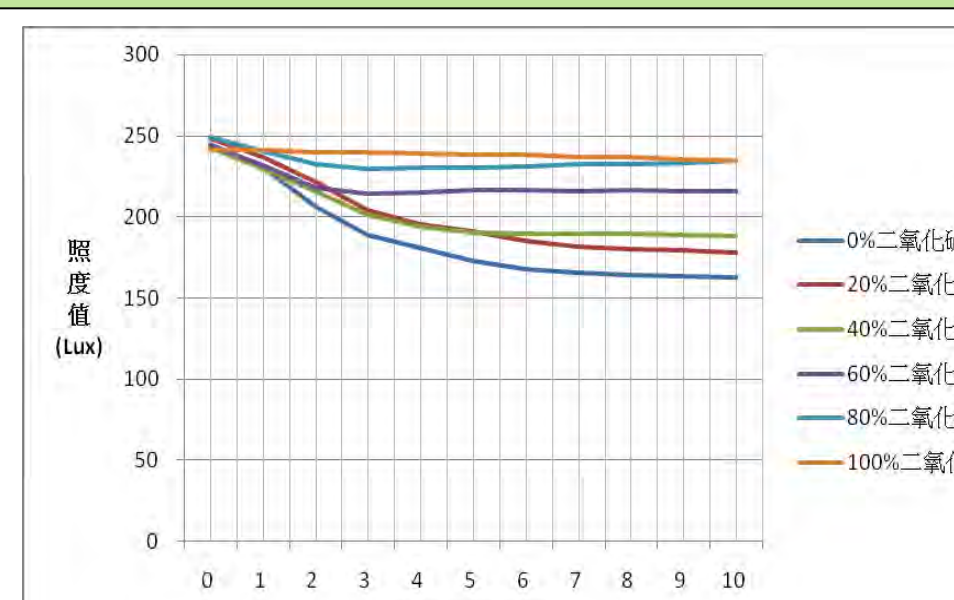


圖 7-15：不同濃度二氧化碳所得照度差異比較圖。



圖 7-13：利用排水集氣法蒐集二氧化碳於針筒中。



圖 7-14：製備出不同濃度的二氧化碳實驗用針筒。

肆、結 論

一、捨棄傳統的「碘滴定法」改以測量不同米種之米水的「酸鹼性」及「氧化還原電位值」來分析其抗氧化能力。

對本研究而言，「碘滴定法」不是一個理想檢驗不同米種之米水其抗氧化力強弱的好方法，透過更深入的閱讀發現可藉由量測液體中的氧化還原電位(ORP)來判定其抗氧化能力。

二、米的種類、米水製作方式、浸泡時間、接觸空氣與否、環境溫度、米的重複利用次數都會影響米水發酵的效果。

- 子題二、三得知任一米種浸泡水的發酵效果比淘米水好。
- 子題三~五得知任一米種浸泡水在 12~18 小時間，PH 值明顯下降，氧化還原電位值也從正值驟降為負值，表示 12-18 小時過程中，浸泡水的發酵變化較為顯著。
- 子題四得知無接觸空氣時，在 12~18 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值；有接觸空氣時，在 18~24 小時間，氧化還原電位值從正值驟降為負值，顯示接觸空氣會延緩米浸泡水的發酵時間(圖 4-4)。
- 子題五得知 7°C 低溫時，0-24 小時間氧化還原電位值維持在正數；18-25°C、26-33°C 室溫分別於 12~18 小時、0~6 小時間，氧化還原電位值從正值降為負值，顯示低溫環境不適合浸泡水發酵，環境溫度越高可加速米浸泡水發酵速度(圖 5-4)。
- 子題三~五中得知紅糯米、黑米浸泡水的發酵效果較好，抗氧化力也較佳。
- 子題六中得知米粒重複浸泡，氧化還原電位值會慢慢回升，表示浸泡水抗氧化力逐漸降低。但驚人的發現是，糙米、黑米分別在重複浸泡第 6 次、第 7 次起開始發芽，其氧化電位值竟開始下降，說明發芽的糙米、黑米有助於提升其抗氧化力！

三、利用「自製褐變程度檢測儀」，成功以精準的量化數值來呈現蘋果汁的褐變程度。

以往研究蘋果褐變反應，採目視觀察蘋果顏色變化，非常主觀。本研究自創「褐變程度檢測儀」，採用 LED 光線穿透含有發酵氣體的蘋果汁針筒，針筒中的蘋果汁若產生褐變，褐變顏色越深，針筒中的蘋果汁透光度變差，精準得知蘋果汁的褐變程度。

四、藉由「蘋果汁的褐變實驗」驗證發酵佳的米種浸泡水之發酵氣體其抗氧化力也很好。

子題七中得知任一米種浸泡、發酵時間越久，其發酵氣體的抗氧化力越強。其中紅糯米、黑米浸泡水之發酵氣體使蘋果汁透光度的下降速度最慢，說明紅糯米、黑米浸泡水的發酵氣體之抗氧化力最佳，其結果與子題二~子題五米種浸泡水發酵結果相符合。

五、藉由「不同二氧化碳濃度對蘋果汁褐變程度的影響」之實驗結果，可對應出米水的浸泡時間不同，而有不同程度的發酵，使其所生成之二氧化碳濃度也不同。

從子題七「不同二氧化碳濃度對蘋果汁褐變程度的影響」小實驗中得知空氣中 CO₂ 濃度越高，蘋果汁透光度減少數值越低，表示高濃度 CO₂ 能有效延緩蘋果汁的氧化反應。將其與各米種不同浸泡時間的蘋果汁透光下降幅度值之實驗結果合製成圖 7-16，可得出不同米種浸泡水在各不同浸泡時間所生成的二氧化碳濃度。紅糯米、黑米在浸泡過程中因發酵所生成的二氧化碳濃度較高，且在浸泡 24 小時後，其所生成的 CO₂ 濃度趨近 60%。

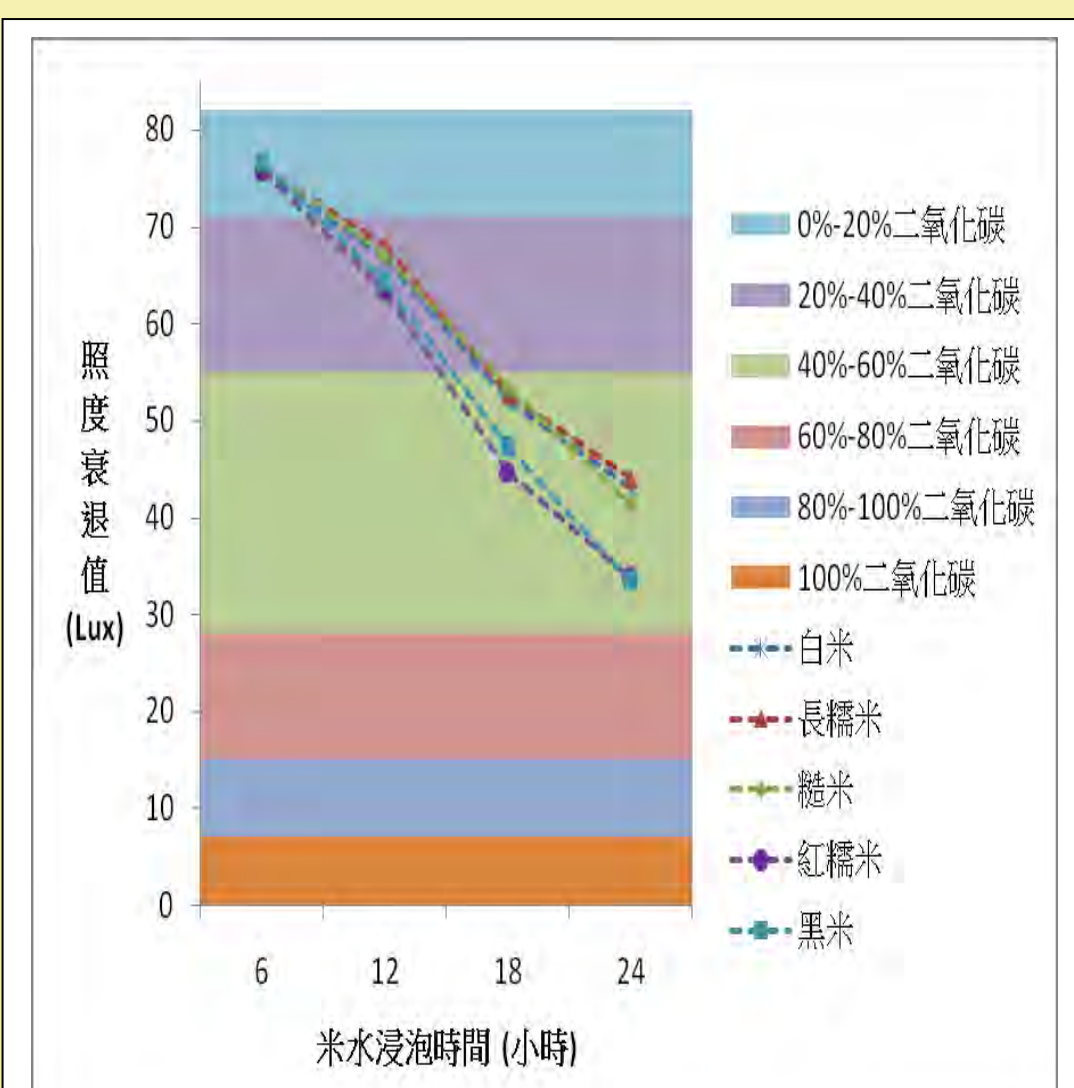


圖 7-16：各米種不同浸泡時間與不同二氧化碳濃度之蘋果汁透光照度衰退值對照表。