

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國中-化學科

科 別：化 學 科

組 別：國 中 組

作 品 名 稱：揭開催化劑的神秘面紗

-由過氧化氫分解製氧反應談起

關 鍵 詞：催化劑、可定量式排水集氣裝置、過氧化氫殘留

編 號：030220

學校名稱：

臺北市立介壽國民中學

作者姓名：

張兆綸、王鵬懿、王菁漢

指導老師：

吳美玲、周本華



摘要

在本研究，我們設計了一套「可定量式排水集氣法實驗裝置」，並以標準氣體流量計校正，證明其操作簡便、精確性佳。同時，藉由過氧化氫(H_2O_2)製氧的實驗，對催化劑影響反應速率進行定量探討，確認二氧化錳(MnO_2)和碘化鉀(KI)為過氧化氫分解反應之正催化劑，而苯甲酸($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$)則為負催化劑。其次，進一步探討食品中殘留 H_2O_2 的問題，並討論常用烹調配料對 H_2O_2 分解的影響，結果發現味精、醬油、食鹽無明顯催化作用、白醋為負催化劑；而老薑、芹菜、青蔥、大蒜、辣椒等五種蔬菜類配料均為正催化劑，其中尤以老薑和芹菜之催化效果最佳。此外，我們也發現蔬菜類配料的主要催化作用是「酵素」，而非文獻中所認為的鐵類礦物質。

壹、研究動機與文獻回顧

在理化實驗中發現，只要添加少許「二氧化錳(MnO_2)」當催化劑，即可使原來不易發生的反應迅速進行[1,4]。記得老師說，其實在生物體內也存在很多種催化劑，稱為「酵素」或「酶」[4, 5, 9(e), 9(f)]，它在人體內的消化和新陳代謝是不可或缺的角色；而在化學工業的原料生產和醫療藥品大量製造等，也都要用到催化劑呢！聽了老師的講解，心裡既覺得疑惑，同時也感到好奇，很想知道催化劑是何方神聖，竟有如此功力。為了解答這些疑惑，我們就進一步請教老師，並且蒐集和研讀歷屆科展、百科全書、網頁及其他參考書籍有關過氧化氫(H_2O_2)分解反應的資料[1-9]，同時藉此瞭解別人做過的相關研究，發現文獻所載以排水集氣法測量 H_2O_2 分解速率之實驗裝置，在操作方便性和量測精準度方面仍有改進的地方[3]。這是引發我們自行設計實驗裝置來探討「催化劑」分解反應的動機之一。

另一方面，關於 H_2O_2 殘留於食品中被衛生單位檢驗出的報導時有所聞，其中以豆類

及麵類加工食品最為嚴重，而 H_2O_2 雖為合法的食品添加劑，但若殘留會對健康造成不良的影響。李欣璇在民國 86 學年度全國中小學科展作品中[2]，曾探討蔬菜類等烹調配料對於消除豆類加工品所含過氧化氫的影響，其中關於礦物質(如鐵, Fe)和酵素之催化活性與烹煮(或加熱溫度)之關係，則仍有待更進一步釐清。因此在本研究中也選了諸如：醋、味精、青蔥、老薑、大蒜等烹調常用的配料，測量加熱溫度和加熱時間對 H_2O_2 分解速率的影響，此為研究動機之二。

貳、研究目的

- 1.藉由簡便的實驗設計、實驗過程的觀察和經驗的累積，以及參考文獻資料改進實驗裝置，從中學習自己設計、製作實驗裝置，及解決實驗困難。
- 2.配合教材的基本精神，探討 H_2O_2 分解反應和不同催化劑或抑制劑的影響；並與文獻資料比較和討論。
- 3.探討催化劑種類和和添加量等不同變因對 H_2O_2 分解反應的影響；並由 H_2O_2 分解反應原理延伸，融入日常生活中食品殘留 H_2O_2 的探討，使科學活動與日常生活結合。

參、研究設備與器材

- 一、儀器設備：個人電腦、磁攪拌器、恆溫水槽($\pm 1^\circ\text{C}$ 以內)、果菜打汁機、定量吸管($\pm 1\%$ 以內)、精密電子天平(精度 0.001g)、RS232 介面。
- 二、實驗裝置：在本研究中，我們利用保特平等材料，自己設計了一套實驗裝置如圖 1

所示之實驗裝置，可連續性精密地量測並紀錄排水集氣所排出的水量，然後換算成氣體體積，進行氣體產生速率之定量量測。本研究所使用的器材還包括：水槽、滴管、薊頭漏斗、軟木塞、集氣瓶、玻璃片、錐形抽氣瓶、橡皮管、試藥匙以及蒸餾水。

三、藥品與材料：過氧化氫(30% H_2O_2)、二氧化錳(MnO_2)、碘化鉀(KI)、苯甲酸($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$)、氯化亞鐵(FeCl_2)。食鹽、醋、味精、醬油；大蒜、芹菜、蔥、辣椒及老薑。



圖 1、本研究設計之實驗裝置圖

肆、研究方法與過程

一、集氣體積與所排出水重的校正曲線

利用圖 1 裝置配合氣體流量計控制 O_2 的流量，使其分別維持在每分鐘 5、10、30、50 及 100 毫升的情況下，量測由集氣瓶排出的水重與時間的關係，以便確認實驗裝置的精確性。

二、 H_2O_2 分解速率的實驗變因探討

(一)正、負催化劑對 H_2O_2 分解速率的影響

- (1)依照圖 1 組合實驗裝置，並啟動電子天平開關和個人電腦記錄系統程式備用。
- (2)在錐形瓶注入 100ml 的蒸餾水，然後加入 0.2g 的 MnO_2 ，以磁攪拌器攪拌 1 分鐘，再從薊形漏斗注入 2ml 的 30% H_2O_2 ，同時開始執行電腦程式連續記錄集氣瓶排出的水重。
- (3)實驗完成後，停止電腦程式、數據存檔；停止磁攪拌並拆解裝置，洗淨後重組備用。
- (4)分別改用 0.2g 之 KI 或 0.2g 之 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 做實驗，重複上述(1)~(3)的步驟，分別量測記錄集氣瓶排出的水重和時間的數據。
- (5)將蒐集的數據以電腦繪出集氣瓶排出的水重和時間的關係圖。

(二)催化劑用量的影響

- (1)分別秤取 0.4g, 1.0g 和 2.0g 的 MnO_2 ，依上節(1)~(3)步驟，量測記錄集氣瓶排出的水重，並將蒐集的數據和前節使用 0.2g 催化劑的量測結果，綜合整理後以電腦繪圖。
- (2)改用同量(亦分別為 0.4g, 1.0g 和 2.0g)的 KI 和 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ ，也依上節(1)~(3)步驟，量測記錄集氣瓶排出的水重，如同上述處理方式將蒐集的數據以電腦繪圖。

三、烹調配料對 H_2O_2 分解的影響

- (1)分別秤取 1.0g 的食鹽、醋、味精和醬油，依照前節(1)~(3)步驟，量測記錄集氣瓶

排出的水重和時間的關係，並將蒐集的數據綜合整理後，使用電腦繪製圖表。

- (2)改用 5.0g 的大蒜、芹菜、蔥、辣椒及老薑，也依照前節(1)~(3)步驟，量測記錄集氣瓶排出的水重和時間的關係，並將蒐集的數據以電腦繪圖。

四、溫度對酵素催化 H_2O_2 分解反應的影響

- (1) 將芹菜以果菜打汁機打成汁液，每次實驗使用 10 毫升，實驗條件包括新鮮的芹菜汁和在恆溫水槽之加熱過的芹菜汁。恆溫水槽加熱溫度分別控制在 35°C 、 40°C 、 45°C 、 50°C 、 55°C 和 60°C ，加熱時間均為 5 分鐘，加熱完成時迅速沖水冷卻。而本項實驗除了在量測酵素活性與時間關係之外，芹菜汁液都是「即打即用」。
- (2)在抽氣錐形瓶注入 88 毫升的蒸餾水，另將 10 毫升的芹菜汁加入錐形瓶中，以磁攪拌器攪拌 1 分鐘，再從薊形漏斗注入 2ml 的 $30\%\text{H}_2\text{O}_2$ ，同時開始執行電腦程式連續記錄集氣瓶排出的水重和時間數據。
- (3)實驗完成後，停止電腦程式並將數據存檔；然後關掉磁攪拌器電源並拆解集氣裝置，洗淨後重新組裝備用。
- (4)改用 10ml 的老薑汁，也依以上(1)~(3)步驟量測記錄集氣瓶排出的水重，並將蒐集的數據以電腦繪製成圖表。

在本研究的系列實驗過程中，為了證明所收集的氣體為 H_2O_2 分解所產生的 O_2 ，我們也都在收集氣體終了時，以點燃的線香放入錐形瓶觀察是否有助燃的現象來加以確認，圖 2 為試驗時所拍攝的照片之一。

在本研究的系列實驗過程中，爲了證明所收集的氣體爲 H_2O_2 分解所產生的 O_2 ，我們也都在收集氣體終了時，以點燃的線香放入錐形瓶觀察是否有助燃的現象來加以確認，圖 2 爲試驗時所拍攝的照片之一。

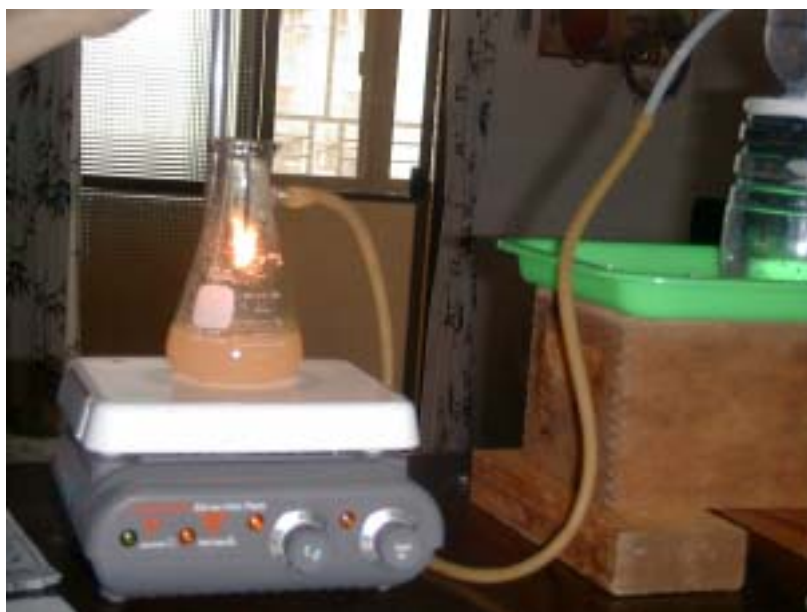


圖 2、線香助燃現象證明 O_2 存在的照片之一

伍、研究結果

一、實驗裝置的設計

我們利用排水集氣法收集氣體的基本原理，並參考文獻資料，成功地設計完成本研究所使用的裝置，並命名爲「可定量式排水集氣法實驗裝置」，如圖 3 所示。在此實驗裝置共使用兩個保特瓶，其中較大的一個相當於水槽，較小的一個當集氣瓶；排水口管徑只有 2.25 公分的，靈敏度很高，在實驗過程中配合電子天平及 RS232 介面與個人電腦連線自動記錄，藉秤量集氣瓶排出的水重換算成氣體的體積，可獲得精確的計量。實驗裝置組各組件如圖 4 所示，其詳細設計及改進過程請參閱附件一。



圖 3、可定量式排水集氣法實驗裝置完整組合圖



組件名稱：

- 1- 集氣瓶
- 2- 水槽
- 3- 水槽蓋
- 4- T 型排水孔
- 5- 水管
- 6- 導氣管

圖 4、可定量式排水集氣法實驗裝置組件

我們首先利用本集氣裝置配合氣體流量計的使用，將 O_2 流量分別控制在 5 毫升/分、10 毫升/分、30 毫升/分、50 毫升/分及 100 毫升/分的條件下量測，為方便換算，本研究所計量均假設集氣瓶所收集的 O_2 體積(毫升)等於水重(g)，所測得的集氣體積與時間的關係如圖 5 所示，此即為本研究所設計的「可定量式排水集氣法實驗裝置」校正曲線，由圖中可清楚看出集氣與時間具有很好的線性關係。

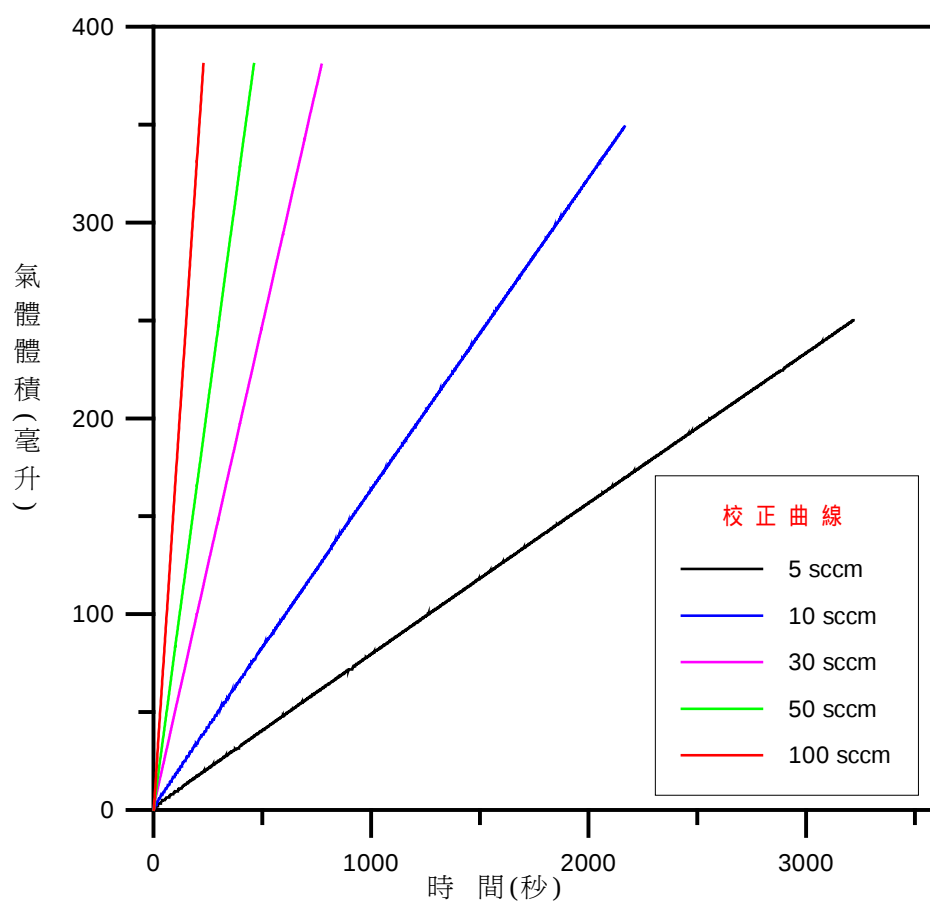


圖 5、本實驗所設計的可定量式排水集氣法實驗裝置的校正曲線

二、催化劑對 H_2O_2 分解反應的影響

1. 正催化劑與負催化劑對 H_2O_2 分解反應速率的影響

在實驗中我們觀察到 2% H_2O_2 (體積百分比，本文以下亦同)水溶液需加熱到 45°C 時才開始分解產生氣泡，而再加熱到 55°C 時，則會有連續氣泡冒出。當 H_2O_2 水溶液中添加 0.2 克的 MnO_2 時，室溫下即可觀察到氧氣迅速冒出。此外，在同條件下實驗，添加 0.2 克的 KI 當催化劑，也觀察到類似的現象；可是添加 0.2 克的 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 當催化劑時，等了 25 分鐘之後，仍然沒有發現任何反應發生。由可知 MnO_2 和 KI 均為 H_2O_2 分解反應的「催化劑」，也稱為「正催化劑」，如圖 6 所示。

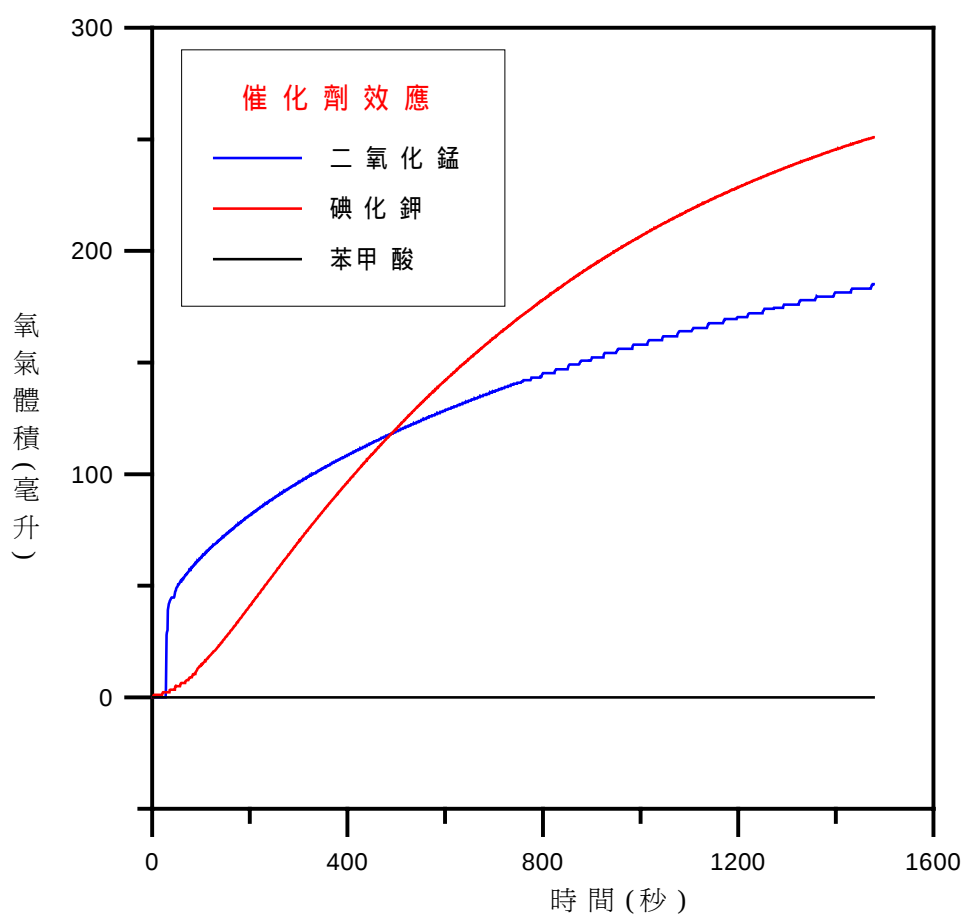


圖 6、催化劑與 H_2O_2 作用產生氣體之速率與時間的關係

另一方面，我們將只加 KI 和同時加 KI、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 的情況作比較，結果發現後者曲線斜率變小，即反應速率明顯變慢，證明 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 是一種所謂的「負催化劑」，如圖 7。

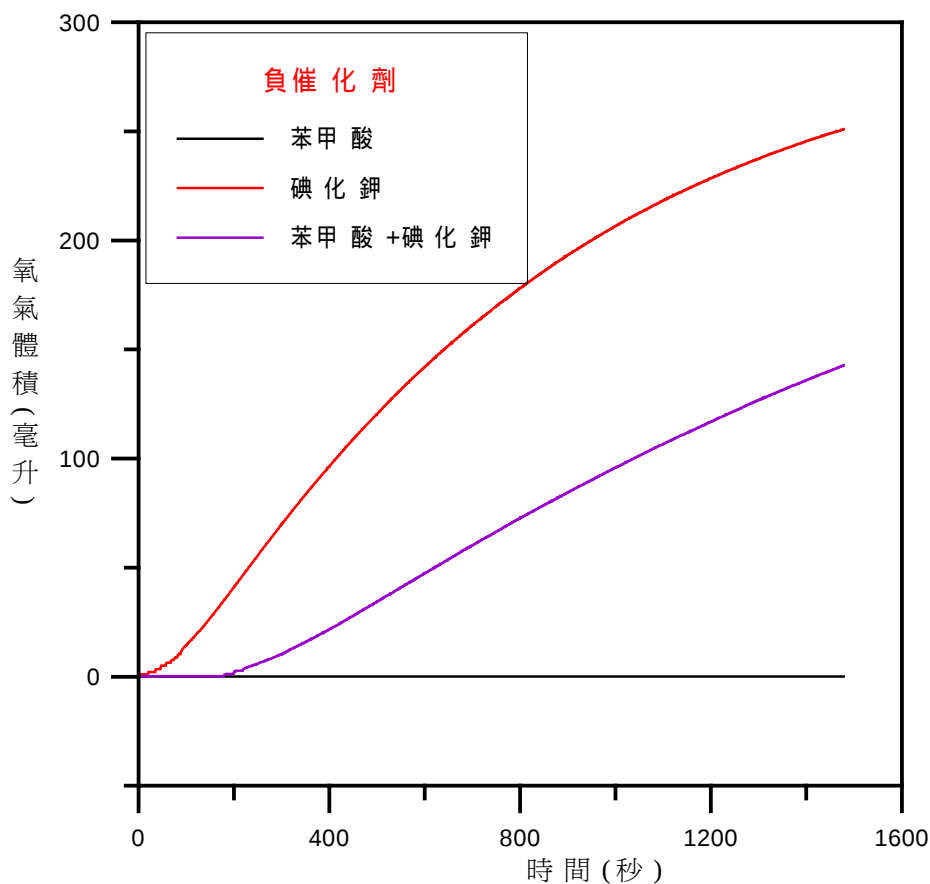


圖 7、負催化劑($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$)對 H_2O_2 分解反應速率的影響

2. 催化劑用量的影響

由圖 8 曲線斜率變化隨 MnO_2 添加量增加而增加，證明 H_2O_2 分解反應速亦受 MnO_2 添加量之影響。因為 MnO_2 為固體粉末，添加的量愈多，粉末總表面積愈大，因此可使 H_2O_2 發生催化反應的位置也越多，反應速率隨之升高。圖 9 曲線斜率變化隨 KI 添加量增加而增加，證明 H_2O_2 分解反應速亦受 KI 添加量之影響。因為 KI 溶解在水中成為溶液狀態，KI 濃度越高與 H_2O_2 碰撞的機率也愈高，所以反應速率會增快。

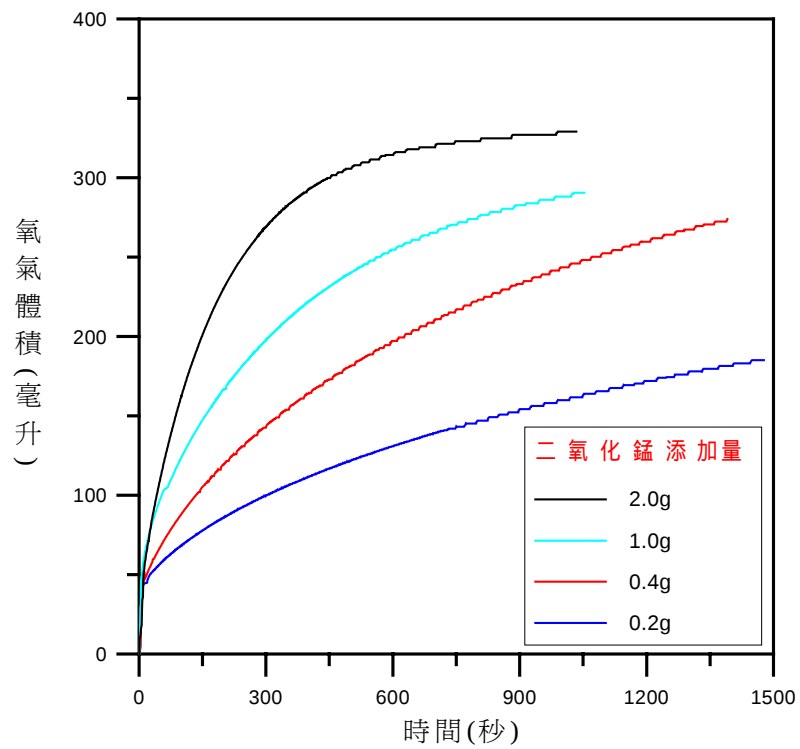


圖 8、 MnO_2 添加量對 H_2O_2 分解反應速率的影響

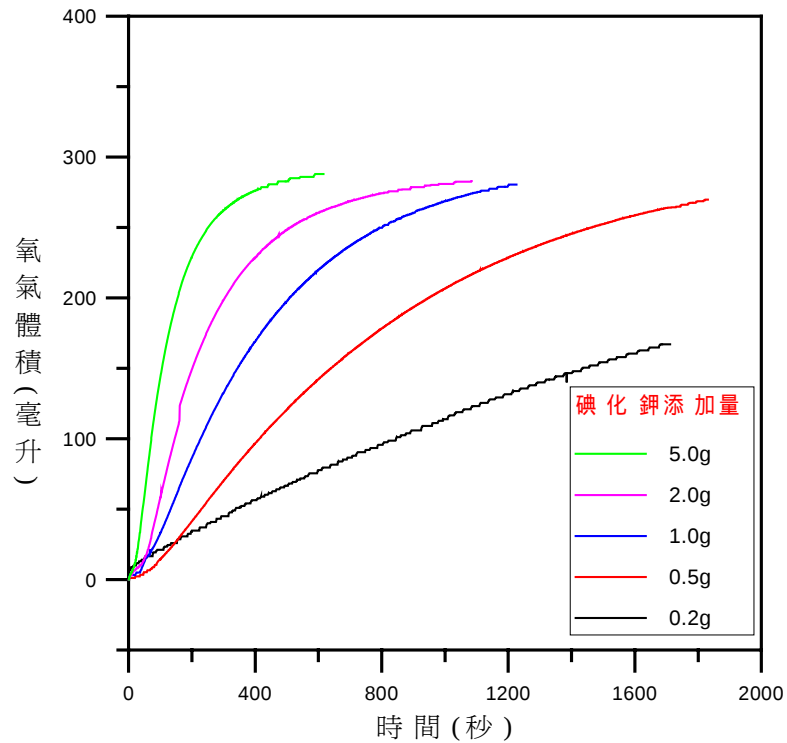


圖 9、KI 添加量對 H_2O_2 分解反應速率的影響

此外，圖 10 顯示只要添加非常微量(0.025g)的 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ ，曲線的斜率即明顯的變小，而且曲線斜率隨 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 添加量增加而變得更小，證明 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 為負催化劑，而且 H_2O_2 分解反應速很明顯地受 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 添加量的影響。

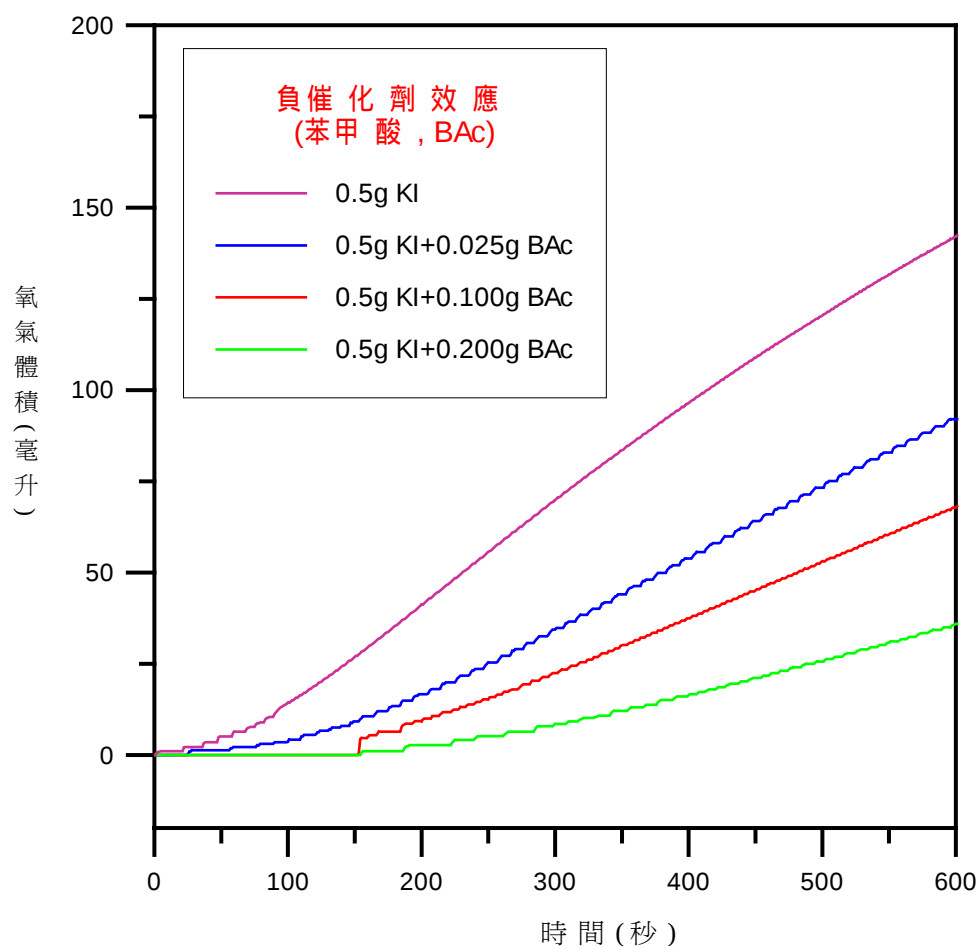


圖 10、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ (負催化劑)添加量對 KI 催化 H_2O_2 分解反應速率的影響

三、烹調配料對 H_2O_2 分解反應速率的影響

在本項實驗中，我們總共選了 4 種調味料：味精、醬油、食鹽、白醋；另外也試了 5 種蔬菜類配料：老薑、芹菜、青蔥、大蒜及辣椒，觀察每種配料對 H_2O_2 分解速率的影響。

首先，我們觀察 H_2O_2 水溶液分別添加上述烹飪調味料是否會有分解現象，結果發現加

白醋、味精、醬油之後約 5 分鐘，仍然沒有產生氣泡的現象。爲了更進一步瞭解這些調味料對 H_2O_2 分解的速率影響，我們再在這些試驗中，分別加入 2 毫升的 KI 水溶液，結果發現每種調味料溶液又可冒出氣泡，經由量測產生氧氣的速率，比較不同的烹飪調味料對 H_2O_2 分解速率的影響，結果如圖 11 所示。由圖中可以很清楚看出，添加味精、食鹽和醬油的曲線斜率與只含 KI 的溶液相近，只是發生反應時間略爲延後，表示這幾種調味料均未明顯改變 KI 對 H_2O_2 分解之催化劑作用；但是加了白醋的曲線斜率卻明顯變小了，表示白醋會使 H_2O_2 分解速率變慢。經查文獻發現，醋酸可做爲 H_2O_2 的安定劑，也就是說白醋具有抑制 H_2O_2 分解的作用。由上述結果可知，白醋對 H_2O_2 的分解反應而言，也是一種「負催化劑」，也就是說，在食品中有殘留 H_2O_2 的情況下，若烹煮時使用白醋調味，則會使殘留的 H_2O_2 分解速率變得更慢。

其次，就蔬菜類配料對 H_2O_2 分解反應速率的影響來說，當 H_2O_2 水溶液中分別加了切碎的大蒜、芹菜、蔥、辣椒及老薑等配料之後，錐瓶內很快的冒出氣泡，表示這些配料對 H_2O_2 分解反應具有催化作用，結果如圖 12 所示。圖中顯示催化效果以芹菜和老薑最佳，兩者曲線斜率相似而且都比 KI 溶液的曲線斜率大；蔥和大蒜的催化效果次之，而辣椒的催化效果最差，而且加大蒜和辣椒曲線顯示其起始反應有遲滯的現象。另一方面，當上述配料加水先煮沸 5 分鐘之後，再注入過氧化氫時，這些配料原有的催化作用都完全喪失掉，顯示加熱會破壞其催化活性。而依據文獻報告指出，有很多植物或動物肝臟含有 H_2O_2 分解酵素，但加熱很溶液破壞這些酵素。由本實驗中大蒜等配料被煮沸而失去催化作用的現象推論，也應該是其中所含的酵素在加熱時遭到破壞所致。

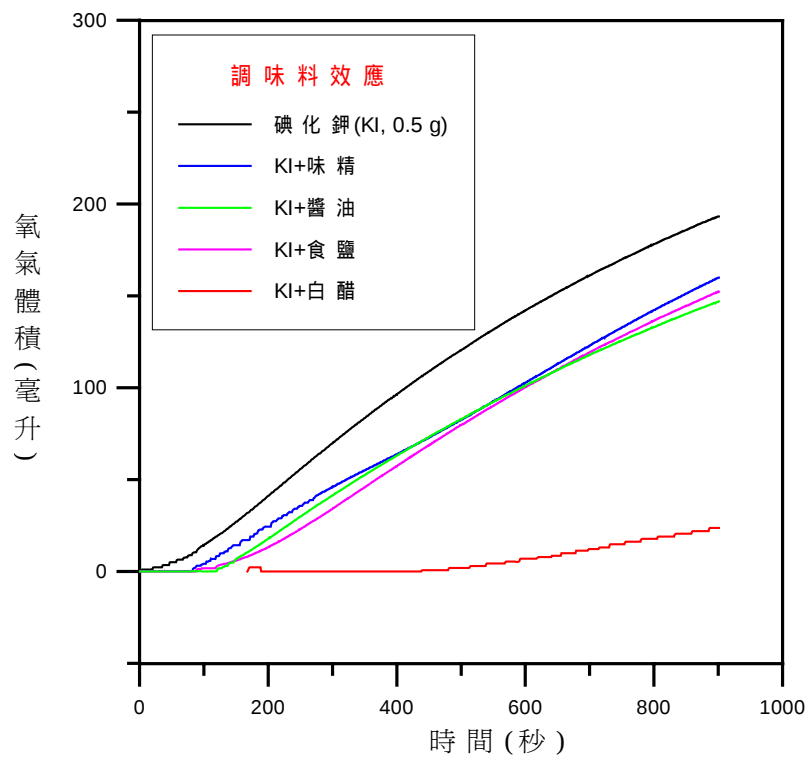


圖 11、味精、醋、食鹽及醬油對 H_2O_2 分解速率的影響

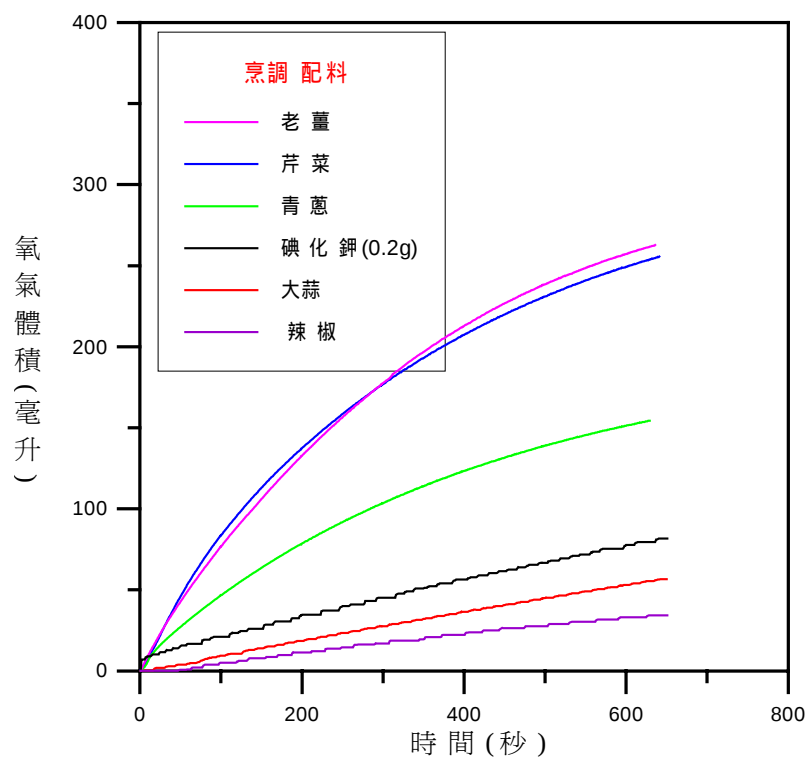


圖 12、大蒜、芹菜、蔥、辣椒及老薑對 H_2O_2 分解速率的影響

四、溫度對酵素催化 H_2O_2 分解反應的影響

我們在前節證明大蒜、芹菜、青蔥辣椒及老薑等蔬菜類，經過煮沸 5 分鐘後，其催化效能均告喪失，但若加熱到不同的溫度時，或是在一定溫度下加熱不同的時間時，究竟會有什麼影響呢？爲了探究這個疑問，我們選擇催化效果較好的芹菜和老薑進行試驗。**圖 13(a)** 爲芹菜汁在 $35\sim 60^\circ\text{C}$ 條件下各加熱 5 分鐘後（迅速沖水冷卻至室溫）對 H_2O_2 分解反應速率的影響。圖中顯示芹菜汁被加熱的溫度越高，對催化 H_2O_2 分解反應所能產生的氧氣越少，而在 60°C 下加熱 5 分鐘後，其催化作用已完全喪失。另以老薑汁在相同條件下做實驗，也得到類似的結果，只是當它在 55°C 被加熱 5 分鐘後，就幾乎完全失去催化作用，如**圖 13(b)**所示。

另一方面，我們也在 55°C 定溫條件下加熱不同的時間，來探討芹菜汁和老薑汁對 H_2O_2 分解催化作用的影響。由**圖 14(a)**可清楚看出在定溫下芹菜汁的催化作用隨著被加熱時間之增長而明顯降低的情形。值得注意的是，在這個溫度下芹菜汁被加熱 1 分鐘後，它的催化作用就失去了一大半，而當加熱的時間再增長時，其催化效果又繼續下降；以老薑汁在相同條件下進行實驗，也得到類似的結果，如**圖 14(b)**所示。

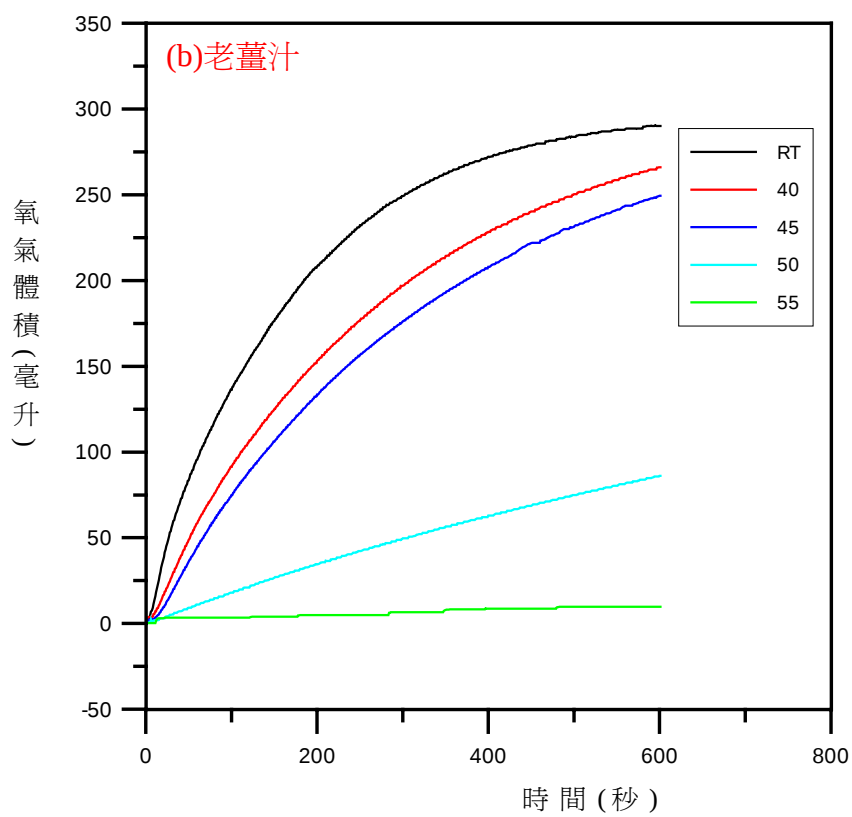
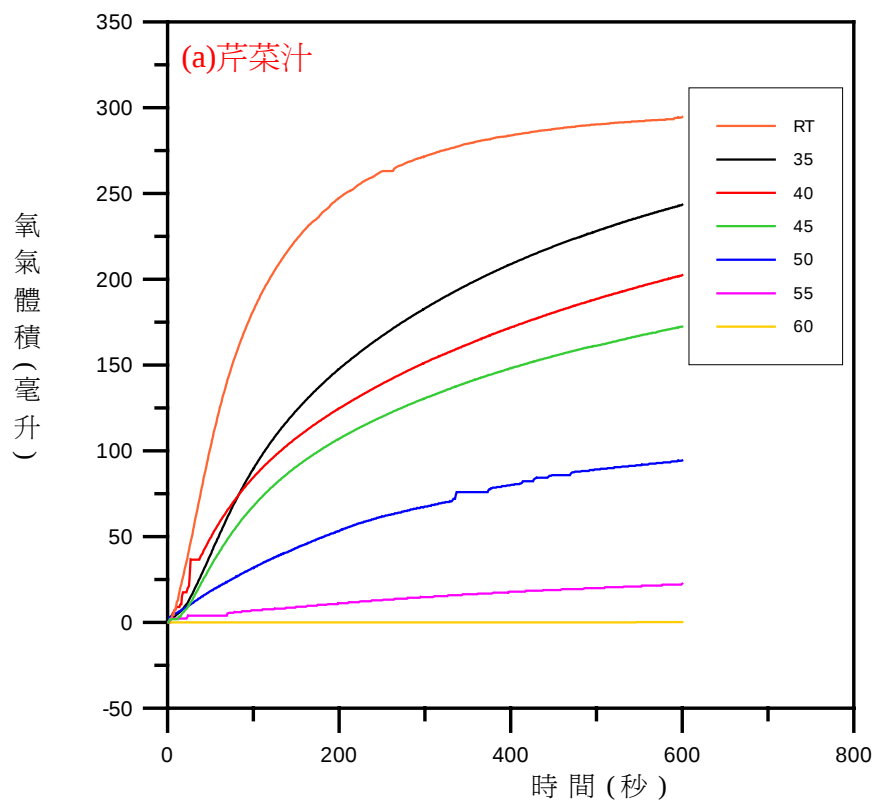


圖 13、在不同溫度加熱 5 分鐘後芹菜汁和老薑汁對 H_2O_2 分解速率的影響

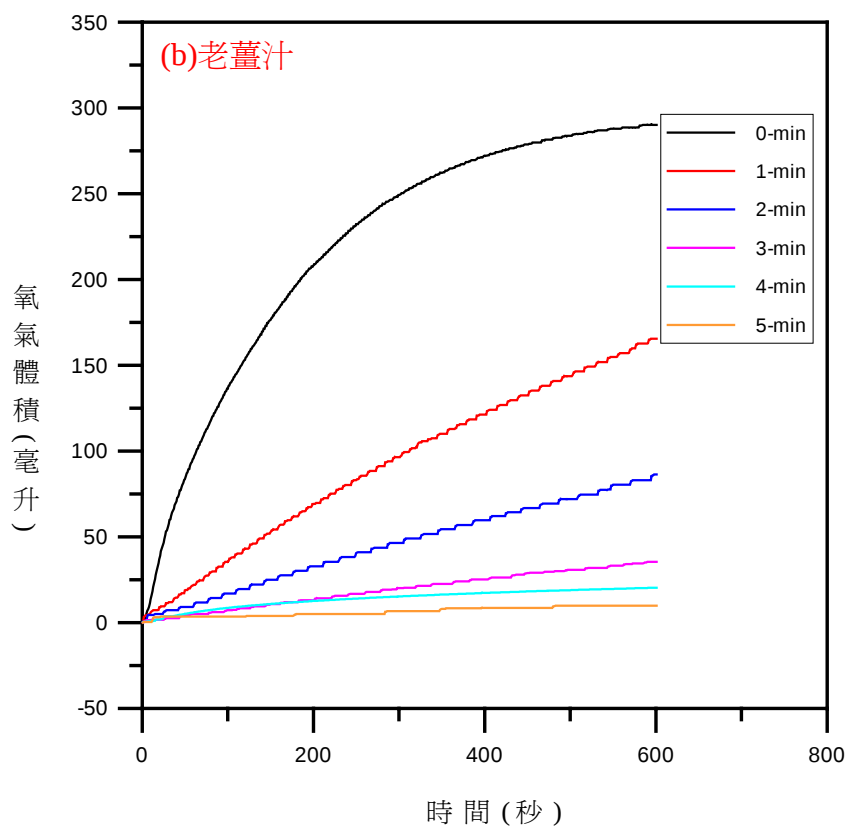
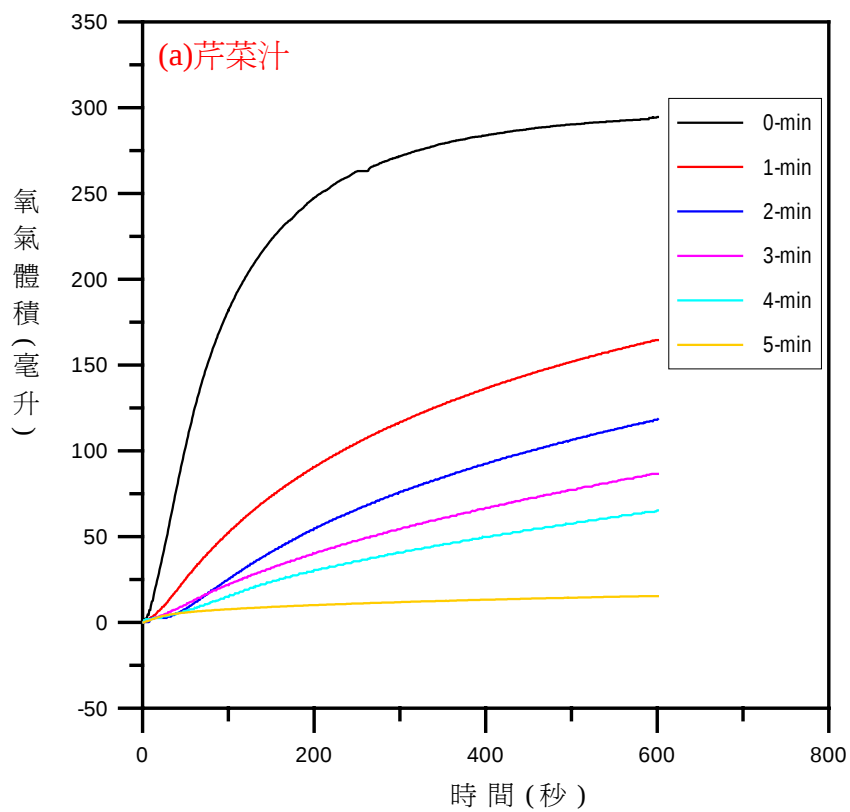


圖 14、在 55°C 加熱不同時間後芹菜汁和老薑汁對 H_2O_2 分解速率的影響

陸、討論

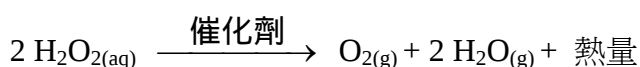
一、可定量式之排水集氣實驗裝置

從圖 5 的標準校正曲線得知，在不同的流量條件下，所排出氣體體積與時間成直線關係，用最小平方法迴歸計算分析數據，其相關係數值(r)都達 0.99 以上，證明本裝置可精確量測排水集氣時所排出的水量。陳美名曾在 89 學年度科展作品中[3]，利用彈簧、滑尺感應器（光遮斷器）及 A/D 電路等，組成測量反應速率的裝置。但該裝置構造較複雜，而且因在量測過程中由滑尺之機械運動來控制光遮斷感應器，故操作較不方便，又因其取樣頻率亦受限制，所以靈敏度較低，尤其是反應速率較快的情況會造成明顯的數據不連續性。

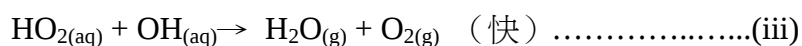
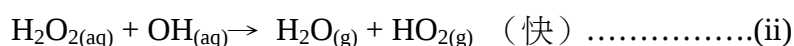
此外，值得一提的是，本實驗裝置不但可以精確測量排水集氣的體積，而且其組裝簡便；更有意義的是它主要是利用保特瓶空瓶為材料，把廢棄物變成有用的資源。

二、H₂O₂ 的分解反應與催化劑

H₂O₂ 水溶液的分解反應，產生氧氣和水蒸氣，在催化劑的作用下其總反應式為：



這個分解反應實際上包含下列 3 個步驟，即



反應(i)的速率最慢，稱為速率決定步驟。而 H₂O₂ 在室溫、常壓下分解速率很慢，

以肉眼觀察並無明顯反應，但加入 MnO_2 或 KI 之後，瓶內立即發生劇烈反應，產生大量氧氣與煙霧般的水氣，顯示 MnO_2 或 KI 在 H_2O_2 分解反應中發揮了「催化作用」，如圖 6 所示。另一方面，醋和 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 則由同時添加 KI 的實驗結果證明它們會降低 H_2O_2 的分解速率，如圖 7 所示，因此醋和 $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ 應為 H_2O_2 分解反應的「負催化劑」。

三、烹調配料 H_2O_2 分解的影響

H_2O_2 有漂白、殺菌作用，但長期食用對身體有害。依食品衛生管理法規定，食品中可添加 H_2O_2 ，但不能殘留。李欣璇在 86 學年度科展作品中指出[2]，大蒜等加在豆類食品中烹煮，有助於去除殘留的 H_2O_2 ，作者認為是大蒜等所含的鐵(Fe)可催化 H_2O_2 分解。但在本研究中發現大蒜煮沸 5 分鐘後即失去催化作用。為了更進一步探討上述配料煮沸後失去催化作用的原因，故分別以新鮮氯化亞鐵(FeCl_2)溶液和煮沸 5 分鐘之 FeCl_2 水溶液，測試其對 H_2O_2 分解反應速率的影響，結果證明加熱並未使 FeCl_2 喪失催化能力，如圖 15 所示。另一方面，從文獻資料得知，很多植物含有過氧化氫分解酵素，而且在常溫常壓下酵素比一般催化劑的催化效率高出 $10^7 \sim 10^{13}$ 倍[9(f)]，但因酵素通常不耐高溫，故煮沸易遭到破壞，而本實驗結果也證明新鮮的大蒜等配料均具有極佳催化作用，但煮沸 5 分鐘之後催化功能即告喪失，顯然此等蔬菜類所含的酵素對 H_2O_2 在常溫下分解的催化作用扮演著主要的角色。

此外，由衛生單位抽驗結果顯示，目前市售食品中，有 H_2O_2 殘留者為普遍性存在的問題，尤其是豆類和麵類加工食品最為嚴重[9(a), 9(b)]。由本研究得知，一些烹調配料所含酵素對 H_2O_2 分解有明顯的加速作用，但煮沸之後即告失效，這使我們聯想起歐美人士生食蔬果較為普遍，而東方國家則以熟食較多，這種飲食習慣的差異，對於人體內的過氧化物分解必然有所關連，這極可能是造成東西方人士體質和健康情況差異的重要原因之一。

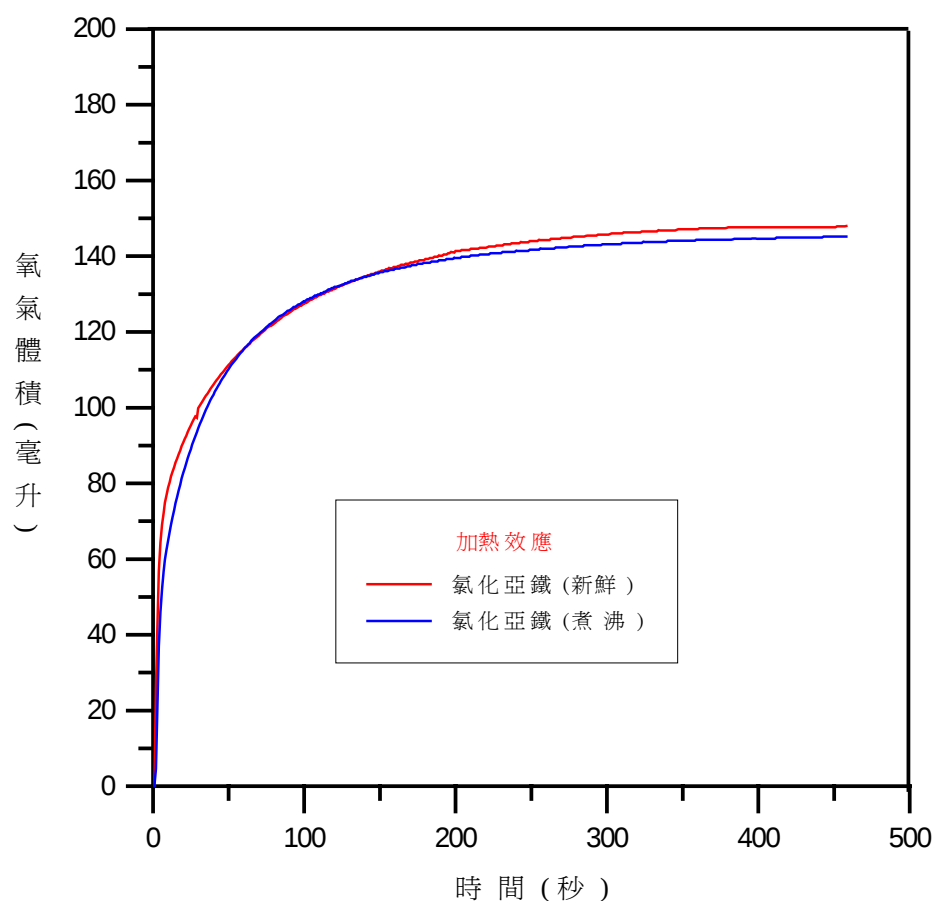


圖 15、新鮮及煮沸過的氯化亞鐵對 H_2O_2 分解反應的影響

四、溫度對酵素催化 H_2O_2 分解反應的探討

實驗結果顯示酵素（如芹菜和老薑）對溫度的敏感性高，而無機化合物（如 Fe^{+2} ）對溫度的敏感性則很小，這是兩種催化劑明顯的差異之一。在 $35\sim 60^\circ\text{C}$ 的溫度範圍，分別以不同溫度加熱過的芹菜汁和老薑汁與 H_2O_2 反應，累計 10 分鐘所產生的氧氣量，用來計算各加熱溫度對酵素的破壞情況，並假設未被加熱的菜汁酵素活性為 100%，結果如表 1 所示。由表中資料可清楚看出，芹菜和老薑所含酵素的活性均隨差熱溫溫升高而遞減，尤其在 55°C 加熱 5 分鐘後其活性分別降至 5.3% 和 3.4%。

表 1、在不同溫度加熱 5 分鐘後芹菜汁和老薑汁催化 H_2O_2 分解的活性

		室溫(RT)	35°C	40°C	45°C	50°C	55°C	60°C
芹 菜	O ₂ 產量(ml)	294.7	243.4	202.4	172.5	94.5	15.5	0
	活性(%)	100	82.6	68.7	58.5	32.1	5.3	0
老 薑	O ₂ 產量(ml)	290.2	-----	266.2	219.4	86.0	9.8	0
	活性(%)	100	-----	91.7	75.5	29.6	3.4	0

另一方面，在 55°C 定溫條件下，分別將芹菜汁和老薑汁加熱 1~5 分鐘後，再分別測其對 H_2O_2 分解反應的影響，同樣以累計 10 分鐘收集的氧氣體積來做比較。由表 2 數據得知加熱時間越長，其催化 H_2O_2 分解反應所產生的 O₂ 越少。若與未加熱的活性(以 100%計)比較，則只要加熱 1 分鐘，兩種汁液中所含酵素均已被破壞了將近一半；加熱 5 分鐘時，兩種汁液中所含酵素的活性也都降至 10%以下。

表 2、在 55°C 加熱不同時間後芹菜汁和老薑汁催化 H_2O_2 分解的活性

		未加熱	1 分鐘	2 分鐘	3 分鐘	4 分鐘	5 分鐘
芹 菜	O ₂ 產量(ml)	294.7	164.6	118.4	86.6	65.4	15.5
	活性(%)	100	55.8	40.2	29.4	22.2	5.3
老 薑	O ₂ 產量(ml)	290.2	165.5	86.3	35.4	20.3	9.8
	活性(%)	100	57.0	29.7	2.2	7.0	3.4

最後，我們探討芹菜和老薑打汁後置於室溫環境下，酵素的活性究竟會有什麼變化呢？由圖 16 得知，這兩種菜汁的催化作用都會隨放置時間增長而逐漸降低。此外我們也可由圖中數據估算其活性改變的程度，其中芹菜汁在放置 8 小時之後，對 H_2O_2 分解反應之催化效果降至原來的 8.7%；而老薑汁在放置 6 小時之後，對 H_2O_2 分解反應之催化效果則僅為原來的 3.9%。

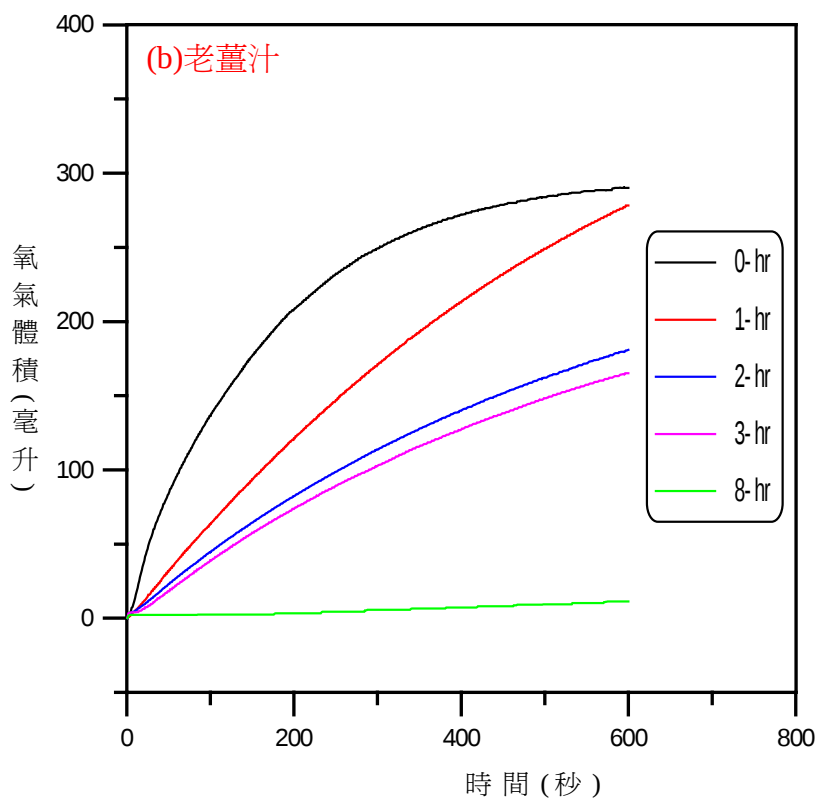
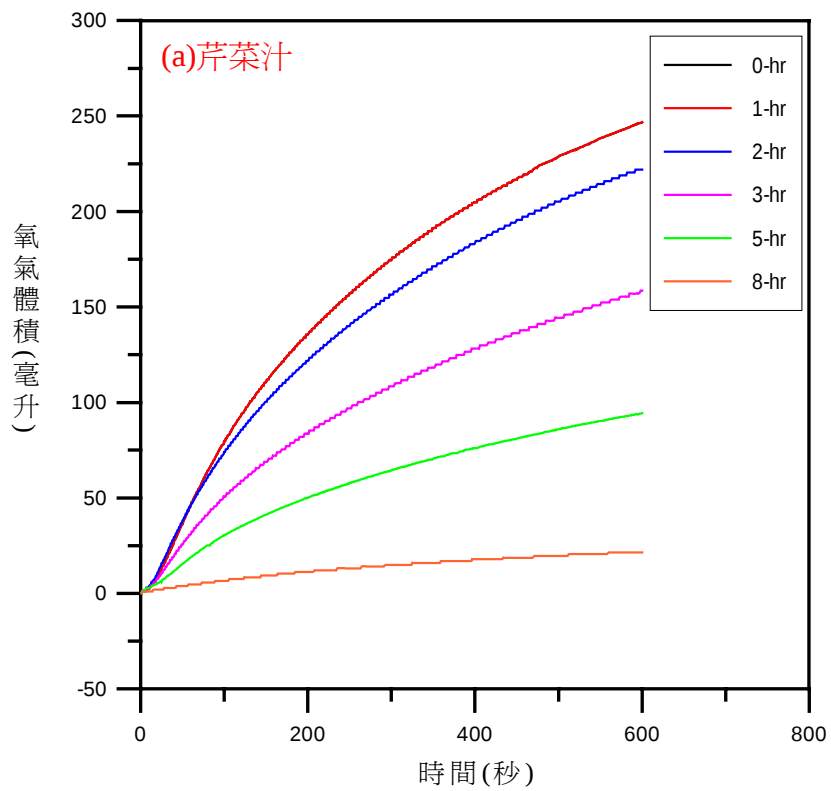


圖 16、芹菜汁和老薑汁在室溫下放置不同時間後對 H_2O_2 分解速率的影響

柒、結論

1. 本實驗所設計的「可定量式排水集氣法實驗裝置」，製作容易、操作簡便，實驗結果證明其功能優異、準確性高，具有實用價值。而且主要利用空保特瓶等價廉而且市面上很容易買到的材料製作而成，尙具廢物利用的意義。
2. 芹菜和老薑打汁後其催化作用會隨放置時間增長而逐漸降低，放置 8 小時後對 H_2O_2 分解反應之催化效果均降至原來的 15% 以下；在 60°C 下加熱溫度 5 分鐘後，其催化作用已完全喪失，而在 $35\sim 55^\circ\text{C}$ 下各加熱 5 分鐘後，對催化 H_2O_2 分解反應之催化作用，均隨加熱溫度升高而遞減；在定溫 55°C 條件下加熱 1~5 分鐘時，芹菜汁和老薑汁對 H_2O_2 分解反應之催化作用，均隨加熱時間的增長而減少；加熱 5 分鐘時，兩種汁液中所含酵素的活性也都降至 10% 以下。
3. 本研究證明白醋和苯甲酸(食品防腐劑)會抑制 H_2O_2 分解反應；而大蒜、芹菜、蔥、辣椒及老薑等蔬菜類烹調配料，在常溫常壓下均具有催化作用，但煮沸 5 分鐘之後即失去催化作用，故研判它們在能夠催化 H_2O_2 分解的主要成份應為其中所含的過氧化氫酵素，而非礦物質類成份。

捌、參考資料

1. 吳大猷(編審主任委員)，國民中學理化，改編本 8 版，台北市，國立編譯館主編，第三冊、第十八章 化學反應速率和化學平衡，pp. 97-114，民國 87 年 8 月。
2. 李欣璇，1997，「簡易消除豆類加工品所含過氧化氫之探討」，第三十七屆中小學科展國中組(生活與應用科學科第一名)。

3. 陳美名，2000，「催化劑下的反應速率」，第四十屆全國中小學科展國中組(化學科第三名)。
4. 劉廣定(編審主任委員)，國民中學理化，再版 2 刷，台北市，國立編譯館主編，第一冊、第二章 空氣，pp. 44-65，民國 90 年 8 月。
5. 巒景國，「現代化學新視野」，初版，高雄市，高雄復文初版社，第 20 章 材料與催化，pp.491~545，2000。
6. 大美百科全書，「Hydrogen peroxide，過氧化氫」，初版，台北市，光復書局企業股份有限公司，第 14 冊，p371，1988。
7. 中國國家標準，食品中殺菌劑之檢驗法(過氧化氫之檢驗)，CNS 10893，民國 83 年 1 月 25 日。
8. 簡明大英百科全書，「過氧化氫，Hydrogen peroxide」，初版，台北市，臺灣中華書局印行，第 9 冊，458~459，1988。
9. 網頁及其他資料：
 - (a) 市售豆類製品之衛生安全(H_2O_2 、以硫酸、硼酸及其鹽類)調查，86 年 3 月 13 日。
行政院衛生署藥物食品檢驗局網站 <http://www.nlfd.gov.tw/compare/86/860313.htm>
 - (b) 豆乾、麵食、蓮子殘留有過氧化氫，民生報，90 年 9 月 11 日。
 - (c) 食品相關法規- 食品添加物使用範圍及用量標準(第一類 防腐劑)
行政院衛生署網站 http://www.food.doh.gov.tw/announce/laws/ingrdient_standard.htm
 - (d) 食品添加物- 硼砂、螢光增白劑、石棉、過氧化氫、味精
中正大學網站 <http://slow.ccu.edu.tw/8802/farm2/main.html>
 - (e) 過氧化氫酶 <http://milkpro.51.net/rphx-mei-gyhqm.htm>
 - (f) 酶 http://www.dazizai.net/text/zz_yixue_mingci/011110225204.htm
 - (g) 麵粉及冷凍麵糰中過氧化氫苯甲醯之含量調查
行政院衛生署藥物食品檢驗局網站 <http://www.nlfd.gov.tw/compare/91/0226.doc>