

觸媒對過氧化氫分解反應之影響

趙益祥、余瑞琳*

國立臺灣大學化學系

*shirlin@ntu.edu.tw

■ 前言

觸媒 (Catalyst) 又稱為催化劑，是一種加到反應系統中，可以參與反應以加快反應速率，而本身不被消耗或轉化的物質。觸媒的加入，降低反應的活化能，讓反應在較低的溫度下可快速反應，達到節能的目的，因此在工業製程上有許多的應用，如食用油氫化和重要化工藥品氨的製程等，均需要借助觸媒。觸媒一般分為均相觸媒、異相觸媒及生物觸媒 (酶或酵素) 三大類，各有作用機制。其中酵素，在生物體內扮演重要角色，所有的生長代謝過程，如醣類代謝、蛋白質合成和分解、遺傳訊息傳遞等，都需要酵素的參與。酵素的催化反應具有高的專一性且好的催化效率，但因酵素一般是由具有特殊立體結構的蛋白質組成，因此受環境酸鹼度和溫度等影響很大¹。

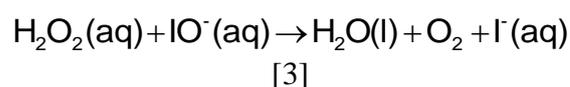
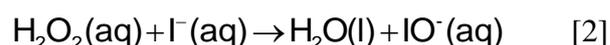
本研究利用高中化學和日常生活中常見的雙氧水分解反應，設計一項綜合實驗，讓學生觀察三類觸媒的催化效應與特性並測定分解速率。教師可以依此實驗為藍本，設計科學探究實驗。

■ 原理與概念

日常生活中用以消毒傷口的雙氧水，是含有 3% H_2O_2 的過氧化氫水溶液。在室溫下久置，過氧化氫會自然分解成水和氧氣，而失去效力，其分解反應如式[1]所示。

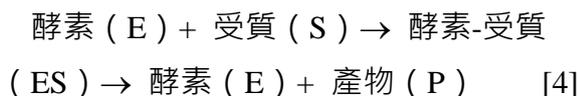


我們可以使用均相觸媒 KI 水溶液、異相觸媒 MnO_2 固體及生物觸媒催化此分解反應。均相觸媒 KI 參與分解反應的機制如式[2]和式[3]所示²。異相觸媒 MnO_2 則是讓反應物吸附在接觸面的活性位置，使反應活化能降低，而加快反應。



生化反應中的觸媒稱為酶或酵素，多由蛋白質和輔酶所組成，具有特殊的立體結構，對反應受質具有高的專一性，在一般體溫的溫度下就有很好的催化效率。酵素的催化機制，一般以鎖鑰模式來說明，如式[4]所示：酵素 (E) 的活化中心先與受質 (S) 結合，形成位能較低的活化複合體 (ES)，再將受質快速轉變成為產物 (P) 而脫離酵素。因此當環境的酸鹼度或溫度改變，酵素的立體結構發生變化時，它的催化效率會有極大的變化。

臺灣化學教育



本實驗使用過氧化氫水溶液的分解反應，來觀察比較不同相態觸媒的催化效果，並探討影響酵素活性的因素。由於分解反應所產生的氧氣不易透過肉眼觀察，因此在過氧化氫溶液中加入洗碗精以包覆所產生的氧氣，並將反應系統置於量筒中，隨著定量催化劑催化分解反應的進行，量筒中的清潔劑泡沫面也隨的升高，記錄泡沫面高度隨時間的變化，可定量分解反應速率³。

■ 藥品、器材與材料

一、藥品

每組用量：二氧化錳 0.1~0.3 g、3% 過氧化氫 35 mL、2.0 M 碘化鉀溶液 1~3 mL、50% 洗碗精 2 mL、液態氮 5 mL

二、器材與材料

每組用量：線香數支、豬肝 1 小片、剪刀 1 支、鑷子 1 支、錶玻璃 1 個、蒸發皿 1 個、燒杯 (100 mL) 1 個、量筒 (50 mL) 3 個、塑膠滴管 2 支、麻布手套 1 雙、塑膠盆 1 個、計時器 1 個，如相片一所示。



相片一：剪刀和豬肝（上左）、量筒和塑膠盆（上右）、蒸發皿和錶玻璃（下左）、麻布手套和塑膠滴管（下右）

三、藥品配製

- 3% 過氧化氫溶液：量取 100 mL 的 30% H_2O_2 加水稀釋到 1 L。
- 2.0 M 碘化鉀 KI：秤 33.2 g 碘化鉀 (KI) 溶解稀釋至 100 mL。
- 50% 洗碗精：量取 50 mL 的洗碗精加水稀釋到 100 mL。

■ 實驗步驟

臺灣化學教育

一、過氧化氫分解反應—異相與均相觸媒

1. 秤量約 0.1 g 的 MnO_2 ，加至 50 mL 量筒中。再加入 3 滴洗碗精，並放置量筒於塑膠盛接盆，如相片二所示。



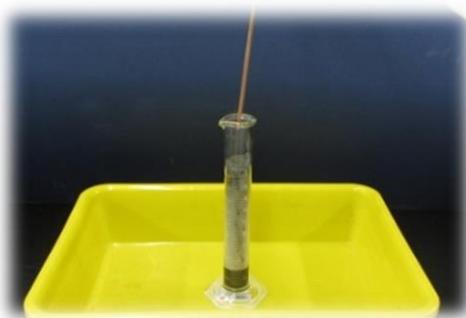
相片二：量筒中加入 0.1 g 的 MnO_2 和 3 滴的洗碗精

2. 於量筒中加入 5 mL 的 3% 過氧化氫溶液，迅速搖動量筒以混合溶液，計時並每隔 5 或 10 秒觀察記錄所產生清潔劑泡沫的體積，以測定 H_2O_2 的平均分解速率 (mL/s)，如相片三所示。



相片三：觀察記錄所產生清潔劑泡沫的體積

3. 待反應完全、清潔劑泡沫較為消泡後，以點著的線香，快速地垂直插入量筒中的氣泡內，觀察記錄線香燃燒情形，並判斷分解反應所產生氣體的性質，如相片四所示。



相片四：線香垂直插入量筒泡沫內

4. 以毛刷刷洗量筒，改為加入 1 mL 的 2.0 M 碘化鉀，並重新取 3 滴洗碗精，再加入 5 mL 過氧化氫溶液後，迅速搖動量筒以混合，計時並觀察記錄 H_2O_2 分解速率，如相片五所示。待泡沫鬆散時再插入線香，觀察記錄線香燃燒情形。



相片五：1 mL 的 KI 催化過氧化氫分解

5. 刷洗量筒，改變觸媒用量 (如改用 2 mL 的 KI 或 0.2 g 的 MnO_2)，比較 H_2O_2 分解速率。

二、過氧化氫分解反應—生物觸媒

1. 以剪刀，剪裁豬肝為大小面積約相等的三小片，如相片六所示。於 50 mL 量筒中加入一小薄片新鮮豬肝，再依序加入 3 滴洗碗精和 5 mL 過氧化氫溶液。觀察記錄 H_2O_2 分解使清潔劑泡沫產生的速率。

臺灣化學教育



相片六：新鮮豬肝裁剪為大小面積約相等的三小片

2. 於蒸發皿中倒入適量液態氮，再取一小薄片新鮮豬肝置於其中，讓豬肝急速冷凍，如相片七所示。以鑷子夾取豬肝置於 50 mL 量筒中，再依序加入 3 滴洗碗精和 5 mL 過氧化氫溶液，觀察記錄 H_2O_2 分解速率。



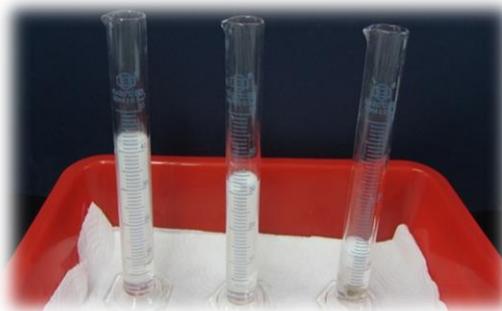
相片七：液態氮急速冷凍新鮮豬肝

3. 取一小薄片豬肝，放置於 100 mL 燒杯的沸水中，加熱至豬肝變色完全煮熟，如相片八所示。以鑷子夾取豬肝，放置於 50 mL 量筒中，再依序加入 3 滴洗碗精和 5 mL 過氧化氫溶液，觀察記錄 H_2O_2 分解速率。



相片八：沸水加熱煮熟新鮮豬肝

4. 於 50 mL 量筒中加入 2 滴自豬肝流出的血水，再依序加入 3 滴洗碗精和 5 mL 過氧化氫溶液，觀察記錄 H_2O_2 分解速率。比較豬血水與豬肝的催化效應，如相片九所示。



相片九：比較豬血水與豬肝的催化效應

■ 結果與討論

雙氧水的催化分解反應是一般化學教師會運用以進行「大象牙膏示範實驗」的化學反應，所使用的雙氧水濃度高，催化分解速率快，以達到吸引學生注意的效果。於本研究中，我們調降雙氧水的濃度與用量，稀釋洗碗精的濃度，再選擇適合的觸媒，在量筒中進行催化分解反應，讓學生使用簡單的量測清潔劑泡沫產生的體積，以測定分解反應速率。實驗過程中，以線香燃燒測試產物氧氣的性質，增加實驗的趣味性。

臺灣化學教育

本實驗曾經於臺灣大學普通化學實驗由大一學生實作，蒐集 25 組學生實驗結果，以 0~30 秒間所產生清潔劑泡沫的體積計算過氧化氫分解反應的平均速率，如表一所示。學生測量所得的平均速率會隨「是否持續混合量筒中溶液的方式」及「計算平均速率的時間」而略有差異。然而整體實驗數據均顯示，以均相觸媒 (KI) 催化效果較異相觸媒 (MnO_2) 為佳；觸媒用量增加，則催化效率提升。

表一：過氧化氫分解反應—異相與均相觸媒催化速率

觸媒	0.1 g MnO_2	0.2 g MnO_2	1 mL 2 M KI	2 mL 2 M KI
速率 (mL/s)	0.28	0.40	0.38	0.75

本實驗另以購自市場的生鮮豬肝作為生物觸媒來源，催化過氧化氫分解反應。實驗中比較新鮮豬肝、煮熟的豬肝及流自豬肝的血水的催化效應。學生所測得 0~30 秒間的平均速率結果如表二所示。發現以 2 滴豬肝血水催化分解的速率最快，其後依序為新鮮豬肝和冷凍豬肝。由於豬肝血水可與溶液充分混合，因此催化效果佳；由於新鮮豬肝只有表層與反應液接觸，因此催化效果次之。冷凍豬肝在液態氮 (-195°C 以下) 的極低溫度下，催化活性降低許多，但一旦回復至室溫後，活性即可恢復，繼續催化過氧化氫分解。煮熟豬肝則由於高溫破壞過氧化氫分解酵素的結構，使其失去催化活性，縱使回復到室溫，依然無法催化過氧化氫的分解。在

學生的實驗數據中，煮熟豬肝仍有少許活性 (0.04 mL/s)，主要是因煮熟豬肝沾到少許豬血水而催化分解反應，或沒有完全煮熟所致。

表二：過氧化氫分解反應—生物觸媒催化速率

觸媒	新鮮豬肝	新鮮豬肝	煮熟豬肝	2 滴豬肝血水
速率 (mL/s)	0.75	0.31	0.04	> 50 mL

在學生的實驗過程中，我們亦發現觸媒的加入順序對實驗結果影響甚大，例如：先加入洗碗精和 5 mL 過氧化氫溶液，最後加入觸媒時， MnO_2 和豬肝皆易浮於清潔劑泡沫面上，甚至被泡沫包覆，無法在溶液中發揮催化效果，因此改變加入順序為：先取觸媒與洗碗精，再加入過氧化氫溶液，混合可以較為均勻，反應較為完全。

以燃燒線香測試清潔劑泡沫中的氧氣時，可觀察到線香遇到清潔劑泡沫中的氧氣而燃燒更旺。但線香極易因觸碰到清潔劑泡沫而熄滅，若能等反應完全後，清潔劑泡沫稍微消泡後，線香較不易熄滅，且當線香往量筒下方移動時，可觀察到線香持續燃燒的更旺盛，如相片十所示。

臺灣化學教育



相片十：以線香測試包覆於清潔劑泡沫中的
氧氣燃燒

■ 注意事項

- 為避免照光分解，2.0 M KI 必須存放於茶色瓶或於瓶身包覆鋁箔紙。
- 3%過氧化氫溶液必須新鮮配製，使用後冷藏，以避免自然分解而降低濃度，造成分解反應效果不佳。
- 各相態觸媒盡量保持垂直加入，避免碰觸量筒壁而導致未與反應物反應。
- 加入洗碗精後過氧化氫水溶液後，應盡快水平旋轉搖動量筒以均勻混合溶液。
- 線香插入量筒測試氣體性質的最佳時機是，等待過氧化氫分解反應完且等到清潔劑泡沫鬆散時，再垂直插入到清潔劑泡沫約 1/3 位置；避免插入太深或觸碰到液體導致線香熄滅。
- 線香點燃的時機是在要用時才點燃，避免空燒而使實驗室蓄積煙霧。
- 實驗過程中豬肝和豬血水宜放置於冰浴

中冷藏，避免天熱時發臭變質。

- 新鮮豬肝和豬肝血水加入後反應極快，應盡快觀察，否則易錯過體積記錄時間。
- 實驗使用過的豬肝應煮熟與其他相關耗材（如夾鏈袋）等盡速集中處理，避免棄置在實驗室中而發生惡臭。
- 液態氮溫度極低，操作時應穿戴麻布手套以避免凍傷。

■ 教學指引

- 本實驗可搭配高中基礎化學（三）的「化學反應速率」或大學普通化學的「化學動力學」課程內容，進行實驗印證。
- 在實驗操作之前，教師可先簡述各相態觸媒的分類、酵素的本質及其催化活性受酸鹼度與溫度等環境因素的影響，再說明實驗操作流程與注意事項（參考臺灣大學化學系普通化學實驗「觸媒與催化效應」實驗簡報：<http://goo.gl/HmjPH9>），之後讓學生進行分組操作，實驗約可於 1 小時內完成。
- 教師可隨實驗時間僅安排進行部分實驗，或者讓學生閱讀化學動力學與酵素動力學相關資料，思考其他可能影響酵素活性的因素，設計探究與實作的延伸實驗，例如：測試 MnO_2 用量、KI 濃度或用量或者測試其他動植物組織的催化活性的研究。

■ 結語

臺灣化學教育

觸媒與催化作用是高中化學、大學普通化學及生物化學的重要課題。其中酵素在生物體中是維持生命的重要推手，由於其所涉及的化學試劑和器材價格不菲，以致學生對觸媒的認識僅限於知識面的理解而缺乏實作的認識。於本實驗，學生使用簡單易取得的生活化物品，如豬肝、洗碗精及消毒用雙氧水等，可回收重複使用的器材進行實驗，反應過程不會產生大量的廢棄物，是一個對環境友善的實驗。學生經由動手做並實際觀察測量，學習測試氧氣的助燃特性，定量比較不同相態觸媒的催化效率，更因生活化的豬肝與豬肝血水的加入，提高學生體驗實作的樂趣，並增強對實驗原理的理解。

■ 參考資料

1. 酵素化學實驗，
<http://juang.bst.ntu.edu.tw/BCbasics/Enzyme12.htm>。
2. Chang, R. & Kenneth, K. A., *Chemistry*; 11th ed., McGraw Hill Co, New York, (2013), pp. 598.
3. 臺灣大學化學系，《普通化學實驗》初版，民國 104 年 9 月，臺大出版中心：臺北。

■ 謝誌

本實驗為臺灣大學化學系的暑期化學營實作實驗而開發，於本系普通化學教學組歷任教師和助教協助下進行編修與改進，而有各項多媒體教材，例如：中文和英文教學簡報和教材的教學資源，可參考臺灣大學化學系的網頁：
<http://www.ch.ntu.edu.tw/~genchem99/index.ht>

m。

■ 學生實驗手冊

下載本實驗的學生實驗手冊—「觸媒對過氧化氫分解反應之影響」。