

# 食在好重要-重金屬離子和保健食品的簡易分析

## (利用雙氧水反應及自製簡易重金屬離子色層分析)

作者學生 葉亭毅 侯家程 劉耀隆

指導老師 李御萍

### 摘要：

嘉義布袋發生過的砷污染事件中，最著名的應該就屬 1950 年代的烏腳病事件了！。我們想找出簡易的方式來檢驗一些重金屬物質的含量。在康軒版的自然第 3 冊 2-3 氧氣製備及 6-4 化學性質的相似性，這 2 個小節的實驗方法，我們想加以改良並找出可行的檢測方式，對日常生活的糖果及養生食品，進行研究。在研究過後可以將研究方法加以運用。

### 壹、研究動機：

日常生活常聽到自由基對人體的害處，又有很多廣告強調某些食品有特殊療效，我們想找出其中的真實性。近年來工業相當發達，政府甚至提高排放標準，讓我們聯想到這些重金屬對人體的危害。國二自然課本提到雙氧水分解有產生氫氧自由基，還有簡易的金屬分析沉澱實驗。我們想利用既有的知識來探討食品自由基和重金屬含量的簡易測定方法。並嘗試去找出其中原因。

### 貳、研究目的：

- 一、探討重金屬的氧化物與雙氧水反應是否產生氧氣？是否均為催化反應？
- 二、探討雙氧水與何種重金屬離子反應有直接關聯？
- 三、常見重金屬離子的簡易分析測定。以鉻酸鉀、硫化鈉、硫氰化鉀三種顯色劑製作簡易色層變色分析試紙。
- 四、對日常生活中常用養生食品及水果加入二氧化錳，藉由測量氧氣產生速率，來探討是否具有抑制自由基產生的效果。

### 文獻探討：

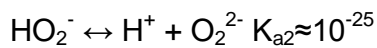
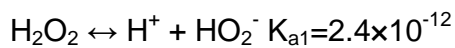
在進行實驗前，除了課本提過雙氧水的反應和催化劑種類和溫度有關，也上網查閱歷屆科展資料及雙氧水性質，整理如下：

### (一) 雙氧水的性質

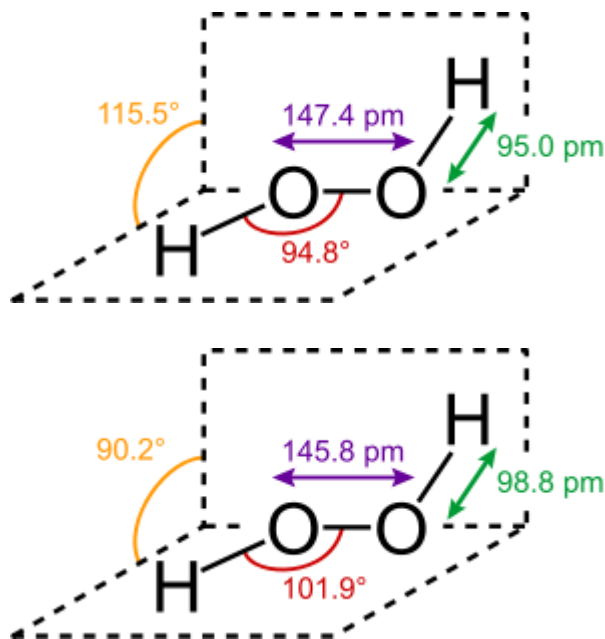
1. 雙氧水是一個非平面的分子，它的 O—O 鍵相當的弱，很容易被其他因素破壞成兩個 OH 自由基，所以雙氧水是一個活性頗大的物質，無色，沸點 150.2°C，愈熱易產生氧氣，在化學反應中可作為氧化劑，亦可作為還原劑。

純過氧化氫是淡藍色的粘稠液體，熔點 -0.43 °C，沸點 150.2 °C。凝固點時固體密度為 1.71g/cm<sup>3</sup>，密度隨溫度升高而減小。它的締合程度比 H<sub>2</sub>O 大，所以它的介電常數和沸點比水高。純過氧化氫比較穩定，若加熱到 153 °C 便猛烈的分解為水和氧氣。

過氧化氫可與水以任意比互溶，因其可以發生微弱電離，所以溶液呈弱酸性。

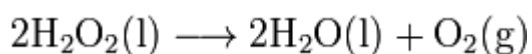


過氧化氫分子為椅型結構，見下圖。左圖為氣態時的結構，右圖為固態晶體時的結構：



過氧化氫可溶於乙醇、乙醚，不溶於苯。對有機物有很強的氧化作用，一般作為氧化劑使用。

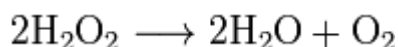
2. 內的過氧化氫酶 (Catalase) 可以催化雙氧水的分解反應，使其釋放出氧氣，轉化為對機體無毒的水：



過氧化氫是非常強的氧化劑，它和其他氧化劑的標準電極電勢值列在右面，值越高代表氧化性越強：

## 分解反應

過氧化氫可自發分解歧化生成水和氧氣：



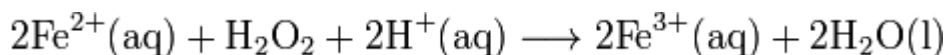
該反應在熱力學上自發進行： $\Delta H^\circ$ 為 $-98.2 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ， $\Delta G^\circ$ 為 $-119.2 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ， $\Delta S$ 為 $70.5 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 。重金屬離子 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mn}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 等對過氧化氫的分解有催化作用。它們在酸性溶液中的電勢介於過氧化氫的電勢(0.694~1.76V)之間。例如 $\text{Fe}^{3+}$ ，認為過氧化氫把 $\text{Fe}^{3+}$ 還原為 $\text{Fe}^{2+}$ ，而本身被氧化成氧氣，產生的 $\text{Fe}^{2+}$ 又被過氧化氫氧化為 $\text{Fe}^{3+}$ ，過氧化氫被還原成水。過氧化氫在酸性和中性介質中較穩定，在鹼性介質中易分解。用波長為320~380nm的光照射會使過氧化氫分解速度加快，故過氧化氫應盛於棕色瓶中並放在陰涼處。在處理無水或濃縮過氧化氫時，必須在無塵、無金屬雜質等條件下進行，以防止發生爆炸。

$\text{H}_2\text{O}_2$ 與 $\text{Fe}^{2+}$ 的混合溶液稱為芬頓試劑(Fenton)。某些離子如 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Ti}^{3+}$ 催化下，過氧化氫分解反應會生成自由基中間體 $\text{HO}\cdot$ (羥基自由基)和 $\text{HOO}\cdot$ 。

一般使用的雙氧水中都會含有一定量的穩定劑，以減少過氧化氫的分解。常用的穩定劑包括：錫酸鈉、焦磷酸鈉、8-羥基喹啉和有機亞磷酸酯。

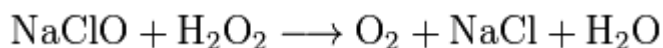
## 氧化還原反應

過氧化氫可在水溶液中氧化或還原很多無機離子。用作還原劑時產物為氧氣；用作氧化劑時產物為水，其優點是氧化性強，還原產物為水，不引入雜質且不污染環境，因此過氧化氫是一種用途十分廣泛的氧化劑。例如酸性溶液中，過氧化氫可將 $\text{Fe}^{2+}$ 氧化為 $\text{Fe}^{3+}$ ：

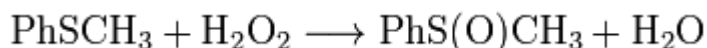


與過氧化氫作用，亞硫酸根( $\text{SO}_3^{2-}$ )可被氧化為硫酸根( $\text{SO}_4^{2-}$ )，高錳酸鉀在酸性溶液中會被還原為 $\text{Mn}^{2+}$ 。由於標準電極電勢的緣故，反應在不同pH環境下進行的方向可能不同，如鹼性溶液中，過氧化氫會將 $\text{Mn}^{2+}$ 氧化為 $\text{Mn}^{\text{IV}}$ ，以 $\text{MnO}_2$ 形式生成。

過氧化氫還原次氯酸鈉的反應可用於在實驗室中製備氧氣：



有機化學中，過氧化氫常用作氧化劑，可將硫醚氧化為亞砜。甲基苯基硫醚與其反應時，會被氧化為甲基苯基亞砜，以甲醇作溶劑或三氯化鈦催化，產率為99%：

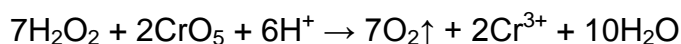
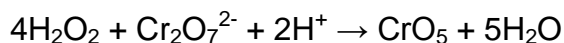


過氧化氫的鹼性溶液可用於富電子烯烴(如丙烯酸)的環氧化反應，以及在硼氫化-氧化反應第二步中氧化烷基硼至醇。

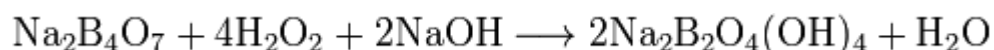
## 生成過氧化物

過氧化氫與很多無機或有機化合物反應時，過氧鏈保留並轉移到另一分子上，生成新的過氧化物：

過氧化氫在低溫下與鉻酸或重鉻酸鹽酸性溶液反應時，會生成不穩定的藍色過氧化鉻  $\text{CrO}(\text{O}_2)_2$ ，可用乙醚或戊醇萃取。這個反應可以用來檢驗過氧化氫和鉻酸根或重鉻酸根。而在水溶液中過氧化鉻會與過氧化氫進一步反應，藍色迅速消失，得到氧氣和鉻離子。



過氧化氫與硼砂反應會生成過硼酸鈉，可用作消毒劑：



過氧化氫可生成很多含有  $\text{O}_2^{2-}$  過氧根離子的無機鹽類，其中比較重要的如過氧化鈣、過氧化鈉和過氧化鎂。

與羧酸 ( $\text{RC}^{\text{=O}}\text{-OH}$ ) 反應，生成具氧化性的過氧酸 ( $\text{RC}^{\text{=O}}\text{-O-OH}$ )，可用於烯烴環氧化反應等用途。與丙酮反應生成炸藥三過氧化三丙酮 (TATP)，與臭氧反應生成三氧化二氫，與尿素反應生成過氧化尿素。

過氧化氫與三苯基氧化膦生成酸鹼加合物，有些反應中用作過氧化氫的等同試劑。

## 鹼性

與水相比，過氧化氫的鹼性要弱得多，只有與很強的酸反應才會生成加合物。超強酸  $\text{HF/SbF}_5$  可將過氧化氫質子化，生成含  $[\text{H}_3\text{O}_2]^+$  離子的產物。

## 應用

一般低濃度（如 3%）的過氧化氫，主要用於殺菌及外用的醫療用途，例如作為傷口消毒。檢驗血液的最佳比率：6%的雙氧水加上 0.005%的亞甲藍。至於較高濃度者（大於 10%），則用於紡織品、皮革、紙張、木材製造工業，作為漂白及去味劑。過氧化氫也是染髮劑的成份之一，還用作合成有機原料（鄰苯二酚）的材料，醫藥、金屬表面處理劑，聚合引發劑等。還可用作火箭推進劑。很多顏料、塗料中含有鉛白。使用鉛白的油畫、壁畫等藝術品長時間暴露在空氣中，與硫化氫作用生成硫化鉛而變暗發黑，用過氧化氫塗刷後，會生成白色的硫酸鉛從而使其復原。 $\text{PbS} + 4\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{PbSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$

## 參、研究設備及器材：

器材：

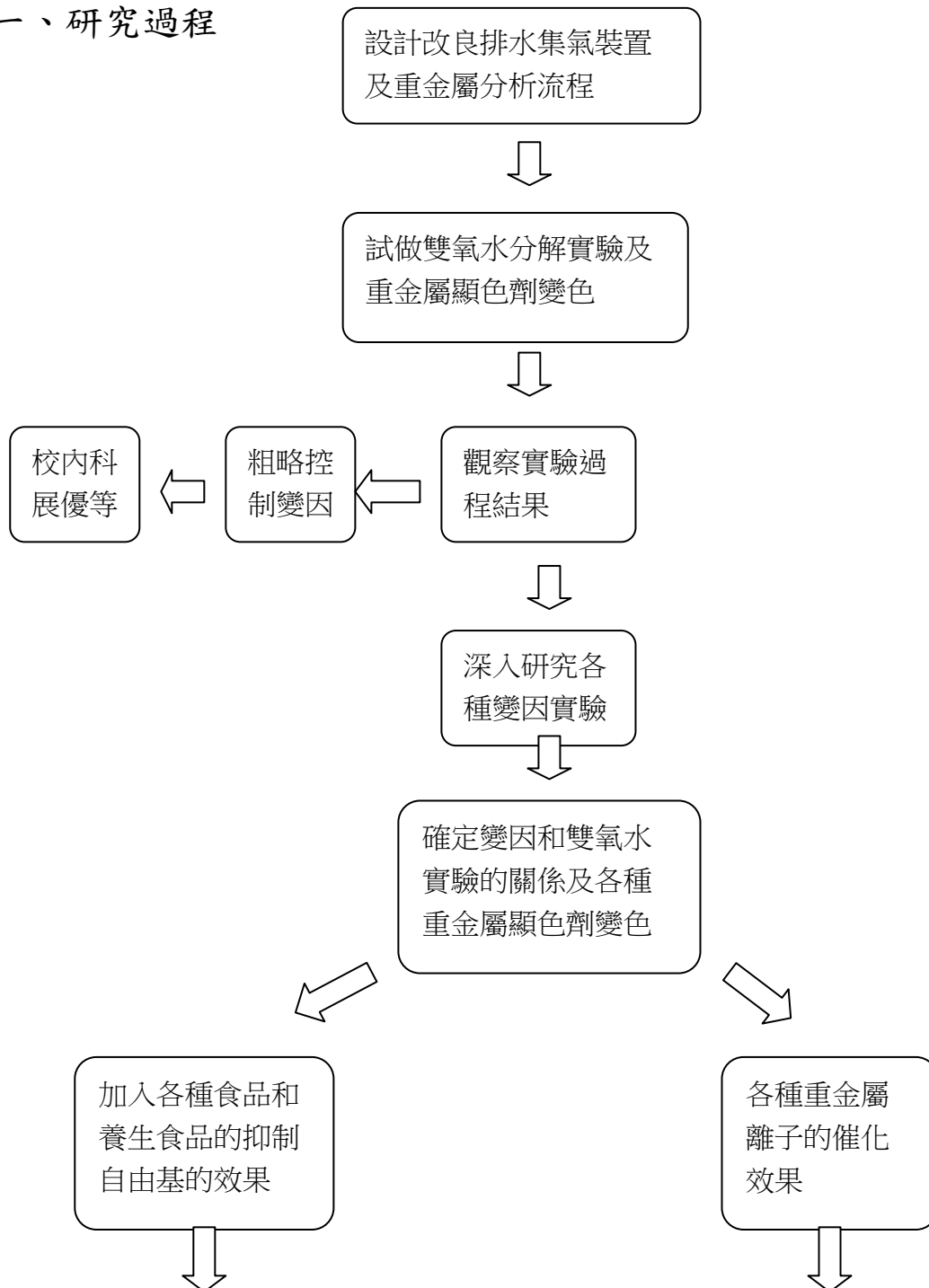
寶特瓶、電子天平、刮杓、稱量紙、量筒、玻棒、滴管、3cc 注射針筒、塑膠軟管、燒杯、試紙、橡皮管、漏斗、鐵架、計時器、量瓶

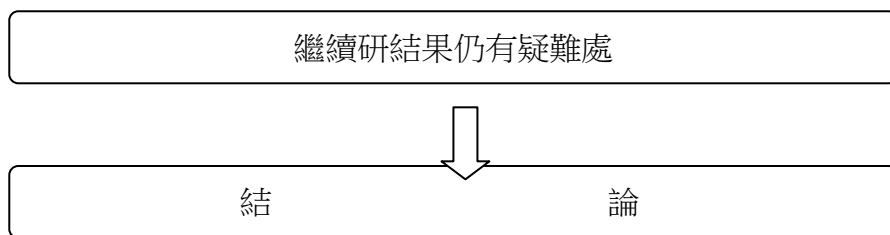
藥品：

雙氧水 (30%)、二氧化錳  $MnO_2$ 、蒸餾水、硫化鈉、硫氰化鉀、鉻酸鉀。硝酸銀、硝酸鉻、硝酸銅、硝酸鐵、硝酸鉛、硝酸鋅、硝酸亞鎳、硫化鈉、硫氰化鉀

## 肆、研究過程或方法

### 一、研究過程





## 二、研究方法：

### (一) 改良排水集氣法，如下圖：



1. 反應前後保持密閉：以注射針筒取代漏斗，以針筒注入雙氧水。
2. 測量氧氣體積變化：將集氣瓶改成 10 毫升滴定管。
3. 保持管內外氣壓相同：利用分液漏斗來調整水位等高，已達到內外氣壓相同。
4. 保持均勻攪拌：以避免反應不均勻。

### (二) 鐵、銅、鎳、鉛、鋅、銀的離子與雙氧水的反應探討

實驗（一）探討鐵、銅、鎳、鉛、鋅、銀的離子與雙氧水反應是否產生氧氣？是否均為催化反應？

步驟 1：配置雙氧水。

步驟 2：取催化劑 2 克放置錐形瓶內。加入 20ml 蒸餾水。

步驟 3：恆溫保持 25 度。檢查漏斗和滴定管內水面是否等高。

步驟4：取5毫升雙氧水，以針筒注入錐形瓶。並開始計時。每隔1毫升記錄一次時間。

步驟5：量取刻度時，必須注意使漏斗和滴定管的水面等高，以使內外壓力相同，才能測出真正氧的體積。

### （三）簡易重金屬顯色劑測定

利用重金屬陽離子和無機鹽陰離子生成有色沉澱反應。因為沉澱物水中溶解度很小，可以析出沉澱。利用沉澱物顏色來分辨中金屬離子種類。

實驗二：利用硫化鈉、硫氰化鉀、鉻酸鉀三種藥品與各種不同的重金屬離子的變色反應製作出不同的離子的變色圖表。

步驟1：將配置重金屬離子的容器置於烘箱內，烘乾。溫度60°C，乾燥6小時。配製重金屬離子標準溶液。（0.1M）

步驟2：配製顯色劑：硫化鈉、硫氰化鉀、鉻酸鉀（1M）將各種重金屬離子分別滴入3種不同顯色劑，並紀錄變色結果。

步驟3：將染有顯色劑的色層分析紙置於烘箱50°C烘乾。將不同濃度的重金屬離子滴入簡易顯色劑分析紙，紀錄結果。

### （四）日常生活食品及養生食品的簡易檢測

步驟1：取不同樣本的食品磨粉加水溶解先進行酸鹼性測定。

步驟2：按照實驗（一）步驟取樣本的水與雙氧水進行反應並測量其反應速率。

步驟3：取不同的樣本與自製的重金屬離子顯色劑進行測試，並將結果記錄。

## 伍、研究結果

### 一、重金屬離子與雙氧水的反應

由實驗（一），我們發現雙氧水與不同的過渡金屬物質反應後，所產生的氣體，可以使線香燃燒更旺，與二氧化錳生成的氣體性質相同，故為氧氣。進行過程中，我們發現不同的過渡元素金屬物質與雙氧水反應時，以二氧化錳反應最為劇烈，其次硝酸鐵，其餘的速度非常緩慢，需要一段很長的時間才能和雙氧水反應完全產生氧氣。而反應前後，注射針筒內含物雖為非勻相，但顏色均幾乎無明顯變化。根據實驗結果，發現除了二氧化錳與硝酸鐵之外，其他重金屬物質與雙氧水反應不易觀察。

紀錄者：葉亭毅、侯家程、劉耀隆

1.各種重金屬離子氧氣產生時間紀錄表（5%雙氧水 20 毫升和 0.5 克藥品）

項目 氧氣	硝酸鐵	硝酸鎳	硝酸銅	硝酸鋅	硝酸鉛	硝酸銀
體積（毫升）	時間（秒）	時間（秒）	時間（秒）	時間（秒）	時間（秒）	
1	1.26	無	無	無	無	無
2	58.04					
3	140.53					
4	179.62					
5	217.03					
6	262.41					
7	300.66					
8	341.55					
9	384.24					



紀錄者：葉亭毅、侯家程、劉耀隆

2. 二氧化錳反應速度測定

項目 氧氣	0.5 克二氧 化錳+2ml 5% 雙氧水					
體積 (毫升)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)	
1	1.00	1.87	1.24	1.20	1.28	
2	5.00	5.54	3.14	3.56	2.63	
3	20.21	18.69	10.00	16.48	11.06	
4	30.44	26.27	18.86	25.91	21.80	
5	39.26	32.87	26.67	33.70	30.65	
6	47.06	41.08	33.16	41.07	37.13	
7	54.76	52.09	39.52	48.27	43.82	
8	63.63	74.22	45.91	55.52	50.93	
9	73.93	81.42	52.37	63.52	58.44	

紀錄者：葉亭毅、侯家程、劉耀隆

3.食品與 0.5 克二氧化錳+2ml 雙氧水 5%的反應

項目	Kid-O Butter	Kid-O Choco	波蜜果菜 汁	摩卡咖啡	甘菊茶	HAITAI
PH	8	6	4	5	6	7
氧氣體積 (毫升)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)
1	0.67	0.63	0.46	1.08	0.47	1.26
2	2.23	4.10	3.13	3.70	2.56	58.04
3	14.68	10.58	12.68	11.21	7.01	140.53
4	25.55	21.09	27.19	20.59	13.76	179.62
5	35.31	30.34	44.13	30.75	21.04	217.03
6	45.06	39.61	65.44	41.49	28.65	262.41
7	55.71	50.09	90.58	53.68	37.26	300.66
8	68.63	63.13	121.28	67.33	46.46	341.55
9						

紀錄者：葉亭毅、侯家程、劉耀隆

4.各種保健食品與 0.5 克二氧化錳+2ml 雙氧水 5%的反應

項目	美康 C+Ca	山桑子 +葉黃素	綜合維 他命丸	蜆精	冬蟲夏草 膠囊	
PH	4	4	5	6	6	
氧氣體積 (毫升)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)	
1	0.3	0.4	1.23	0.44	0.4	
2	1.10	1.13	2.23	1.46	4.1	
3	8.30	10.38	27.12	7.78	15.34	
4	12.00	18.74	41.74	15.62	29.57	
5	20.60	29.73	55.56	25.68	42.15	
6	30.42	40.69	69.63	36.21	53.58	
7	38.62	52.51	85.64	48.24	67.17	
8	50.65	64.44	105.48	60.65	82.28	
9						

紀錄者：葉亭毅、侯家程、劉耀隆

6.水果、食品

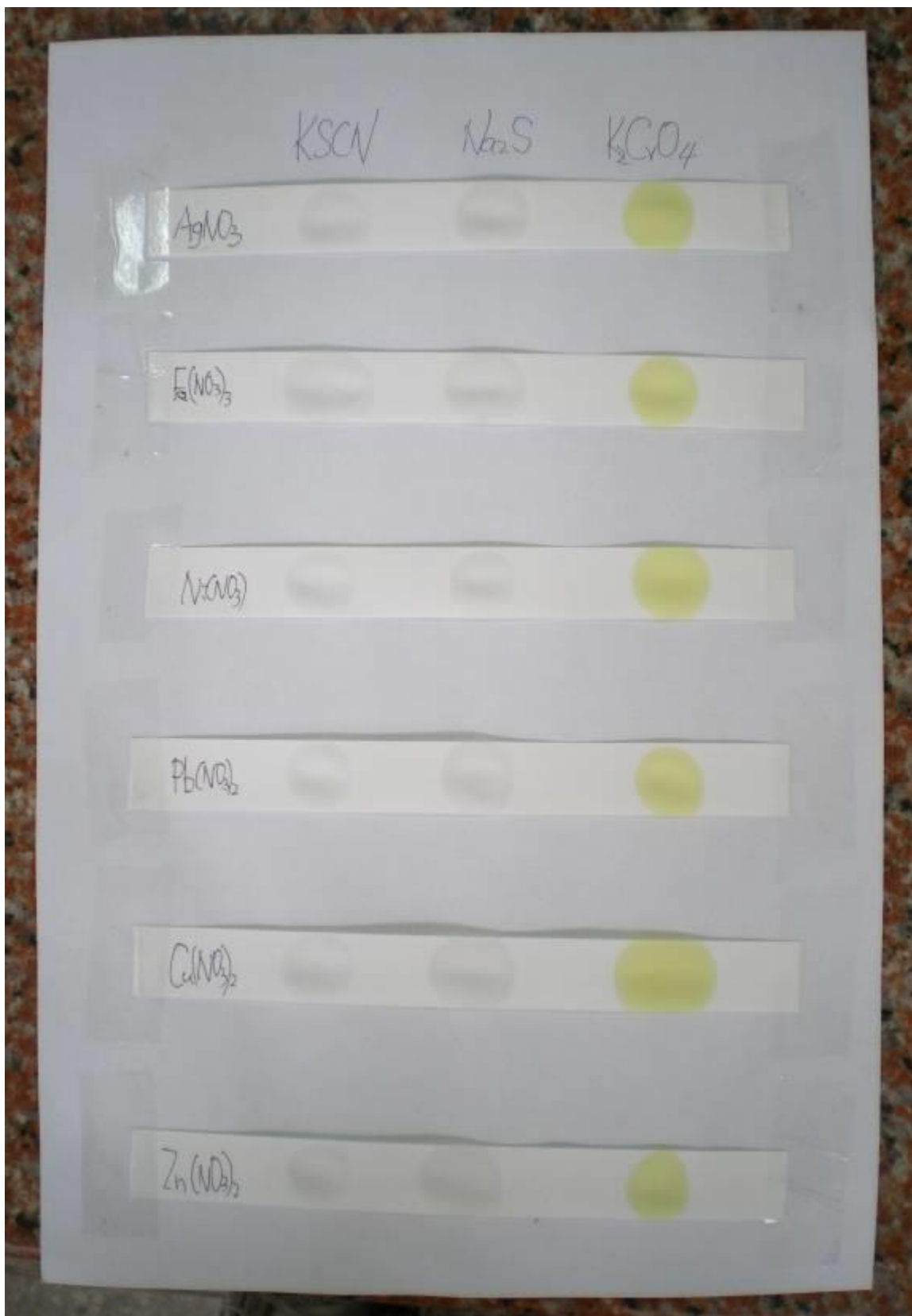
項目	蕃茄	金桔	葡萄汁 糖果	科學麵	
PH	4	4	4	6	
氧氣體積 (毫升)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)	時間 (秒)	
1	0.6	0.6	2.6	1.05	
2	1.54	4.21	4.61	2.76	
3	5.59	13.35	11.66	11.49	
4	9.74	24.22	23.14	20.21	
5	15.17	35.25	36.31	27.65	
6	21.45	47.39	53.07	34.76	
7	28.48	61.16	66.52	41.47	
8	30.39	78.09	81.45	48.31	
9					

## 二、簡易重金屬顯色劑測定與試紙製作

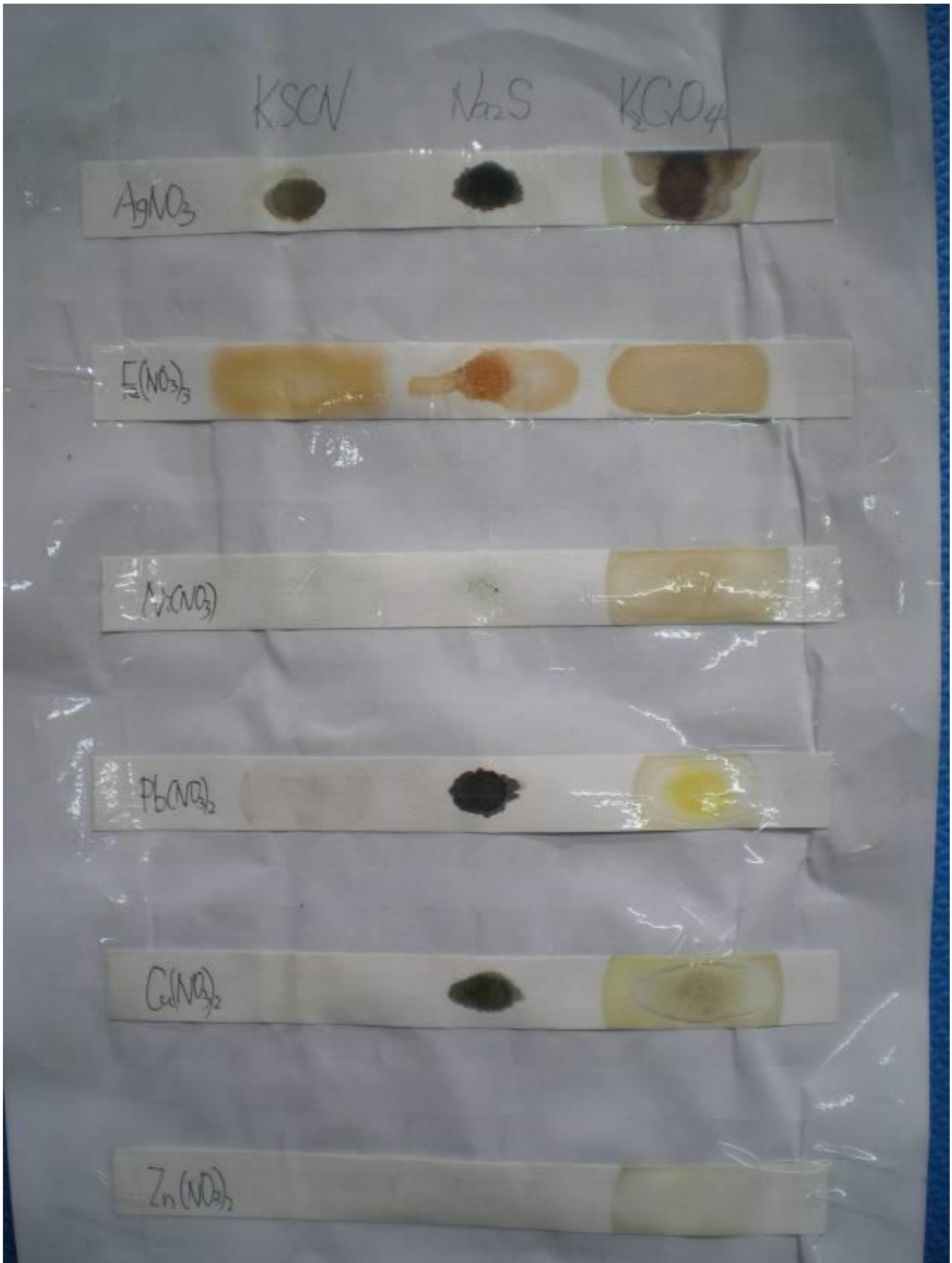
1. 利用硫化鈉、硫氰化鉀、鉻酸鉀三種藥品與各種不同的重金屬離子的變色反應製作出不同的離子的變色圖表

顯色劑 離子種類	硫化鈉	硫氰化鉀	鉻酸鉀
鐵離子	黑	血紅	橙
鎳離子	黑	綠	褐
銅離子	黑	綠	褐
鋅離子	白	無	黃
銀離子	黑	無	黃
鉛離子	黑	無	黃

顯色劑的空白實驗(不加金屬離子)



單一種金屬離子與顯色劑的變色反應



金屬離子混合與顯色劑的變色反應(一)











金屬離子混合與顯色劑的變色反應(二)



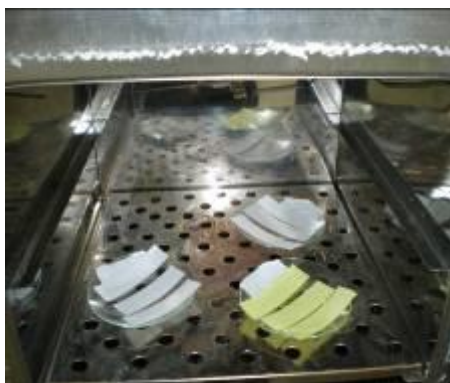
#### 四、實驗過程照片

<p>三種重金屬檢色劑</p>	<p>五種糖果溶液</p>
	
<p>鋅離子和鐵離子變色檢驗</p>	<p>銀離子和鉛離子變色檢驗</p>
	
<p>銅離子和鎳離子變色檢驗</p>	<p>銀鉛鋅三種離子原本顏色</p>
	

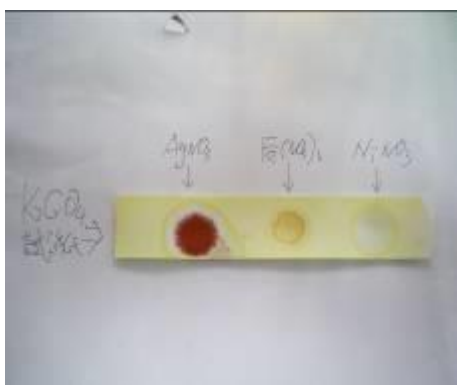
鐵鎳銅三種離子原本顏色



簡易重金屬檢測試紙烘乾



鉻酸鉀試紙和銀鐵鎳離子變色檢測



氧氣反應瓶



氧氣反應裝置



## 陸、討論

一、在與過渡金屬中，除了錳可以催化雙氧水外，鐵、鎳、銅、鋅、銀、鉛等重金屬離子，以鐵離子催化雙氧水放出氧氣最明顯。

我們的推測應該越靠近錳金屬的金屬離子反應速率應該要越快。

二、鐵、鎳、銅、鋅、銀、鉛等重金屬離子催化雙氧水的反應機構，與二氧化錳催化的反應機構類似，有些則否。至於詳細的反應機構過程、和反應速率的中間物及速率決定步驟的相關性，仍有待以後做更深入的探討。

三、氧氣的實驗中，以針筒打入雙氧水的過程，會因注入導致錐形瓶內氣壓變大。因此前幾秒產生的氣體體積，可能是因為注入雙氧水時，力道大小不一，而導致氣體體積有些微的差距。

四、0.5 克二氧化錳和 0.5 克硝酸鐵的催化效果以二氧化錳較快。

五、食品類中的氧氣產生反應快慢：

甘菊茶 > 巧克力餅乾 > 摩卡咖啡 > 奶油餅乾 > 波蜜果菜汁 > 蘇打餅乾。

六、養生保健食品的氧氣產生反應快慢：

維他命 C > 蜆精 > 葉黃素 > 冬蟲夏草膠囊 > 綜合維他命。

七、水果、葡萄汁糖果、科學麵反應快慢：蕃茄 > 科學麵 > 金桔 > 葡萄汁糖果。

八、養生保健食品的效果，以雙氧水反應來說。維他命 C 效果比較明顯。但是比起天然的水果番茄來講，效果沒有比較明顯。因此，多吃天然水果比起吃養生食品，應該更有保健的效果。果菜汁的成分比起天然的水果，有很大的差異。市售果汁的天然成分應該不多，所以效果和天然水果不同，建議多吃天然水果。

九、本實驗後結束後所使用的實驗廢棄物，裝入廢液瓶儲存，待累積一定的數量後，再依廢棄物處理法轉送處理場處理。

## 柒、結論

人類利用雙手和大腦創造文明，但是隨著科技的發展，卻也帶來後遺症。六輕的廠房起火及

日本的核電廠問題都是不良的後遺症。我們正開始學習人類的科學知識，希望可以藉由正確使用科技達成地球永續發展的遠景。

保健食品的檢測中，我們發現有些產品的功效不如廣告的效果。天然的水果，比起人工的保健食品確實比較有效果。食品的添加物，有些是有幫助雙氧水分解的效果。

養身的道理，除了營養均衡、持續運動外，也要注重自己及環境的維護。不要聽信廣告的效果，多食用天然的蔬果，這才是大家的養身之道。

## 捌、參考資料

1. 國中自然與生活科技二上，康軒文教事業。
2. 中華民國中小學科學展覽優勝作品，國立台灣科學教育館。