

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

040209

親「氫」我的寶貝－光觸媒於混合溶液中照射
日光產成氫氣

國立臺中文華高級中學

作者姓名：

高二 林霓苗 高二 陳凱渝 高二 蔡宛庭
高二 黃書瑋

指導老師：

謝健輝 梁玉龍

第四十五屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：化學科

組 別：高中組

作品名稱：親「氫」我的寶貝 - 光觸媒於混合溶液中
照射日光產成氫氣

關 鍵 詞：氫氣、光觸媒、可見光

編 號：

壹、 摘要

我們發現當 CdS 與 ZnS 重量比以 2:1 時，能在 Na₂SO₃ 及 Na₂S 的混合溶液中，照射日光產生氫氣，並能有最佳的產率 38.18(ml/hr*g)，比一般直接照紫外光的效果更好。不只善用自然界的太陽能，還可以生成最乾淨"綠色"的能源 - 氫氣。我們以 CdCO₃ 和 ZnCO₃ 做為產氫觸媒的原料，其為黃色的粉末，並以 AA 原子吸收光譜儀求得樣品溶液中測得 CdS 與 ZnS 重量比為 2 : 1。

把產生的觸媒放入以 Na₂S 和 Na₂SO₃ 混合而成的溶液中，以鋁薄紙包覆以防受光實驗提早進行。把實驗裝置放在日光下照射，以一端管口所接的細量管得失產生氫氣的體積，進而換算產率

我們的實驗裝置為密閉式的，並無循環裝置，故產氫量有限。未來的發展將是朝著大型開放式的循環系統，使氫氣能源源不絕的產生。

The production of molecular hydrogen upon sunlight illumination of the mixture of CdS and ZnS suspensions in the weight ratio 2:1 in Na₂SO₃ / Na₂S solution have been observed. The best rate of evolution of hydrogen is 38.18(ml/hr*g), which has a higher efficiency than upon UV illumination. It not only make a great use of the solar energy, but also produce the cleanest "green" energy resource hydrogen.

貳、 研究動機

目前並無可以經濟實惠用水來產生大量氫氣的方法。因此光觸媒分解水產生氫氣的方式，在近年來不斷地受到矚目。由於光觸媒在反應中僅扮演催化劑角色，本身並不會消耗，且沒有不良副作用，因此成為防治空氣及水河川污染的綠色尖兵。偶然的機會下，我們看到這篇有關照射太陽光的光觸媒報導，裡頭所使用的光觸媒為硫化鎘及硫化鋅，由於其能隙較低，所以一般的可見光便可引起催化反應。這種將光能轉換為化學能的反應類似植物的光合作用，因而在石油危機時曾被用來生產乾淨又環保的能源 - 氫，但因效率不高，目前仍停留在研究階段。

參、 實驗目的

尋找出照射日光時，能使 Na_2SO_3 及 Na_2S 水溶液產生最大量氫氣的光觸媒 - CdS-ZnS 的最佳重量比例。

肆、 實驗器材

一、 製備觸媒

- | | |
|--|----------------------------|
| (一) 碳酸鋅($2\text{ZnCO}_3 \cdot 3\text{Zn(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}=566.98$) | (九) 滴量管 5ml 一支 |
| (二) 碳酸鎘($\text{CdCO}_3=172.42$) | (十) 吸量球一個 |
| (三) 醋酸($\text{CH}_3\text{COOH}=60.05$) | (十一) 螺絲鉗兩支 |
| (四) 硫化鈉
($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}=240.18$) | (十二) 鐵架兩座 |
| (五) 電子秤 (BL 210S 型
Max=210g d=0.1mg)一台 | (十三) 量筒 100ml 一個 |
| (六) 恆溫水槽(601A 型)一個 | (十四) 燒杯 250 ml 兩個 |
| (七) 吸氣過濾器(WP-15 型)一
台 | (十五) 溫度計一支 |
| (八) 真空烘箱(1400 型) | (十六) 玻棒兩支 |
| | (十七) 磁石攪拌器(HMS-102
型)兩台 |
| | (十八) 排煙櫃一組 |

二、AA 檢測

- (一) 原子吸收光譜儀 (Hitachi Z-6100 型)一套
- (二) CdS-ZnS(2 : 1)
- (三) CdS-ZnS(2 : 2)
- (四) CdS-ZnS(2 : 2.26)
- (五) 37%的鹽酸 (HCl)

- (六) 硝酸 (HNO₃)
- (七) Cd 標準液 100ppm
- (八) Zn 標準液 100ppm
- (九) 定量瓶 100ml 四個
- (十) Parafilm 一捲

三、觸媒反應

- (一) 硫化鈉 (Na₂S · 9H₂O=240.18)
- (二) 無水亞硫酸鈉 (Na₂SO₃=126.05)
- (三) CdS-ZnS(2 : 1)
- (四) CdS-ZnS(2 : 2)
- (五) CdS-ZnS(2 : 2.26)
- (六) 反應瓶三個
- (七) 橡皮管六條
- (八) 橡皮塞三個
- (九) 橡皮管夾三個
- (十) UV 燈座(波長 365nm)一台
- (十一) 暗箱一個

- (十二) 滴量管 5ml 三支
- (十三) 蝴蝶架兩支
- (十四) 鐵架兩座
- (十五) 電子秤 (BL 210S 型 Max=210g d=0.1mg)一台
- (十六) 量筒 100ml 一個
- (十七) 燒杯 250 ml 兩個
- (十八) 溫度計一支
- (十九) 玻棒兩支
- (二十) 鋁箔一捲
- (二十一) 磁石攪拌器(HMS-102 型)兩台

四、GC 檢測

- (一) 氣相層析系統(GC SHIMADZU GC-148)一套
- (二) 氣體注射針一支
- (三) 集氣袋一只

伍、 研究過程與方法

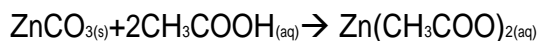
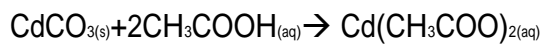
一、 製作光觸媒

(一) 分別取 CdCO_3 和 ZnCO_3 2g 以 75ml 去離子水溶解 (皆為白色混濁且不易溶於水中), 之後將這兩杯溶液混合並置入恆溫水槽中 (60 ~ 70°C)。

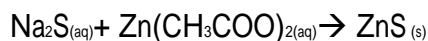
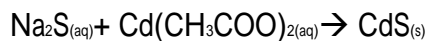
(二) 取適量的 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$, 置入恆溫水槽中 (60 ~ 70°C)。

(三) 取 Na_2S 1.56g (S^{2-} 用來將 $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 及 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 中的 CH_3COO 置換掉), 溶於去離子水 20ml 並置入恆溫水槽中 (60 ~ 70°C)。

(四) 溫度維持在 60 ~ 70 , 將 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$ 倒入 CdCO_3 和 ZnCO_3 的混合溶液中, 產生 $_{(\text{aq})}$ 及 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_{2(\text{aq})}$ 。



(五) 以滴量管緩慢將 $\text{Na}_2\text{S}_{(\text{aq})}$ 滴入 $\text{Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_{2(\text{aq})}$ 及 $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_{2(\text{aq})}$ 混合溶液中, 產生 $\text{CdS}_{(\text{s})}$ 及 $\text{ZnS}_{(\text{s})}$ 黃色沉澱(共同析出)。此 CdS-ZnS 為共沉澱法所製造之觸媒。



(六) 將溶液倒入過濾器中過濾得到黃色的 CdS-ZnS 沉澱物, 將此沉澱物放入真空烘箱中 3 小時(真空、70), 去除多於水分, 得到所求光觸媒 CdS-ZnS 的黃色粉末。

二、 Atomic Absorption Spectrophotometer (AA 原子吸收光譜儀) 使用原理

(一) 樣品溶液係由霧化器霧化後, 再由攜帶氣體送入火焰中進行原子化。來自中空陰極燈管或無電極放電燈管之特性光, 在穿過火焰後, 經由單光器分光處理後, 再偵測器測量特性光的強度變化量。

(二) 特性光強度的變化量主要是取決於火焰中自由且未激發之基態原子數量的多寡, 由於入射之特性光只會被待測金屬吸收, 所以入射之特性光強度的變化量換算求得樣品溶液中待測元素之濃度, 此原理為原子吸收光譜法的基礎。

三、以 AA (原子吸收光譜儀) 檢測觸媒

(一) 取樣品重量比 Cd : Zn = 2 : 1 , 2 : 2 , 2 : 2.26 各 0.05 克。

(二) 以 37% 的鹽酸 (HCl) 溶解後發現有些許粉末不溶解 , 於是加了少許硝酸 (HNO₃) , 但還有些微的粉末漂浮。

(三) 配標準液 (0.05、 0.10、 0.15ppm) 準備 A、 B、 C、 D 四個 100ml 的定量瓶。
Cd 標準液 100ppm、 Zn 標準液 100ppm。

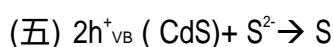
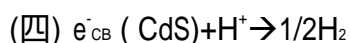
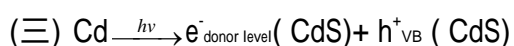
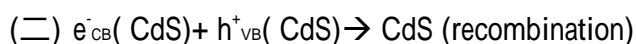
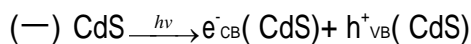
(四) 先加入去離子水。

1. 加入些許硝酸 (以便再使用 AA 時可清除管壁上的雜質)
2. 以去離子水清洗管壁
3. 以滴量管分別吸取 0.05ml 的 Zn 標準液 0.10 ml 的 Zn 標準液與 0.15 ml 的 Zn 標準液
4. 再以去離子水沖洗管壁
5. 加入去離子水定量到 100ml 的刻度
6. 把定量瓶蓋上蓋子搖 , 使溶液均勻混合 , 並倒到小燒杯中
7. 用 parafilm 封住小燒杯杯口以防溶液溢出或有雜質進入
8. 以相同方法分別取 0.05ml 的 Cd 標準液 0.15 ml 的 Cd 標準液與 0.25 ml 的 Cd 標準液

(五) 將樣品重量比 CdS : ZnS(g) = 2 : 1 , 2 : 2 , 2 : 2.26 稀釋成 100ml。

(六) 再將已稀釋過的樣品稀釋 100 倍 (取已稀釋過的樣品 1ml , 加入去離子水到 100ml)。

四、反應機制



五、實驗步驟

- (一) 調配 0.24M 的 $\text{Na}_2\text{S}_{(\text{aq})}$ 150ml 和 0.35M 的 $\text{Na}_2\text{SO}_{3(\text{aq})}$ 150ml 並置入以鋁箔包裹住不透光的玻璃反應器中。
- (二) 量取觸媒 0.1g 並置入反應器中，此時鋁箔尚未拆除。
- (三) 將反應器蓋上後，從長管通入 N_2 將瓶內空氣置換，當通入 N_2 的體積約為反應器體積的 3 倍時，便可將原有空氣通通置換。通完氣體後靜置約 1 小時，將反應器裝設好，並接上橡皮管及量管以測量液面上升刻度。此時再將 N_2 從短管通入，將液面壓上量管以便觀察其刻度變化。
- (四) 準備去除包裹的鋁箔，並且照光進行實驗。
 1. 使用 UV 燈(波長 365nm)作為光源：將反應器置於自製的暗箱中，並以 UV 燈照射，量管固定於暗箱外觀察刻度變化，
 2. 使用太陽光作為光源：選定晴朗的好天氣，於 10:00 14:00 的時段，將反應器置於大太陽底下進行，

六、Gas Chromatograph(G.C.氣相層析系統)使用原理

- (一) 氣象層析儀乃利用分析物在氣態移動相與附著於惰性固體表面液態不移動相之間的分配來進行混和物的分離。當 sample 溶於一動相中(mobile phase)，此動相可以是氣體、液體、或超臨界流體，此動相接著被通入一個與動相互不相容的靜相中(stationary phase)移動，若成分只是微弱被靜相拖著，則移動的速度便會相當快，因此樣品成分分離成若干不連續的層帶，利用此方法便可以來進行混和物的定量與定性分析

七、以 G.C.檢測產出氣體

- (一) 使用 GC 前需確定氣體鋼瓶有足夠壓力
- (二) 開啟載氣 Ar (移動相)鋼瓶釋壓約 40PSI(固定相:Molecular sieve 13x column)
- (三) 開啟氣相層析儀電源
- (四) 設定儀器參數
- (五) 起始溫度: 50°C 、梯度: $30^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 、最終溫度: 200°C 、
注射口溫度: 230°C 、偵測氣體溫度: 230°C
- (六) 開啟熱傳導度檢測器電源，電流值 70mA，穩定 30~60 分鐘

(七) 抽氣針抽取 1cc 氣體注入注射孔中，起動分析鍵，開始分析

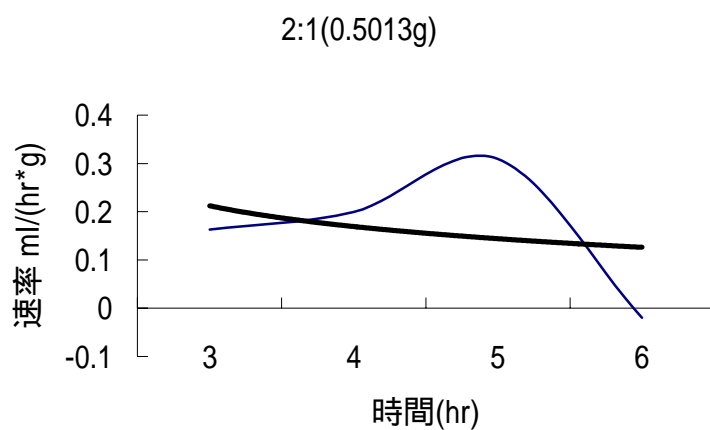
(八) 積分儀擷取訊號

陸、 研究結果

一、紫外光

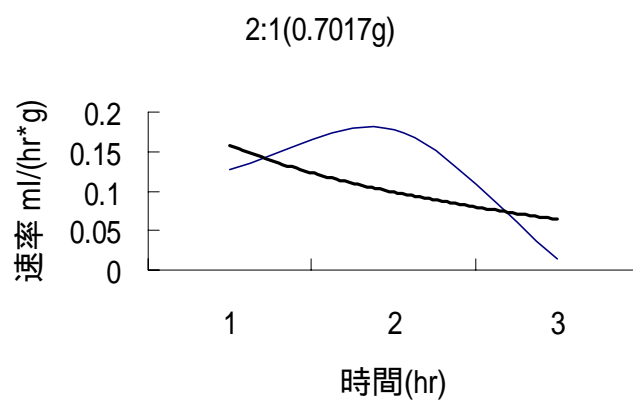
圖表 1 紫外光第 1 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (點鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:1(0.5013g)	0	0.78	0
	3	0.535	0.162909768
	4	0.435	0.199481348
	5	0.28	0.309196090
	6	0.29	-0.019948135
平均值	5	0.5	0.199481348



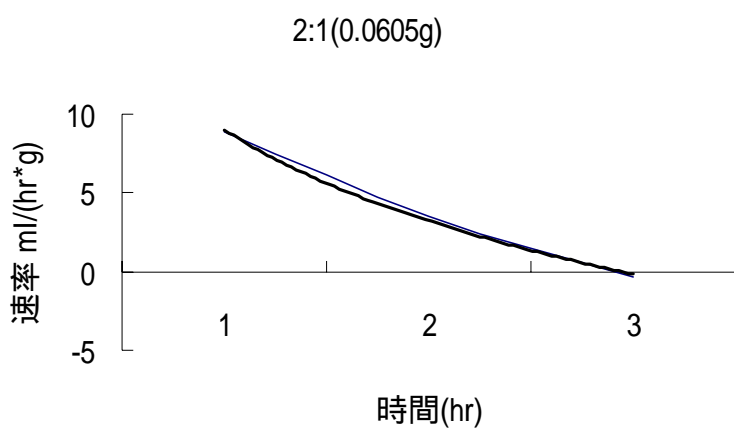
圖表 2 紫外光第 2 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (點鐘)	刻度 (ml)	速率(ml/hr*g)
2:1(0.7017g)	0	0.38	0
	1	0.29	0.12825994
	2	0.165	0.178138806
	3	0.155	0.014251104
平均值	3	0.225	0.106883283



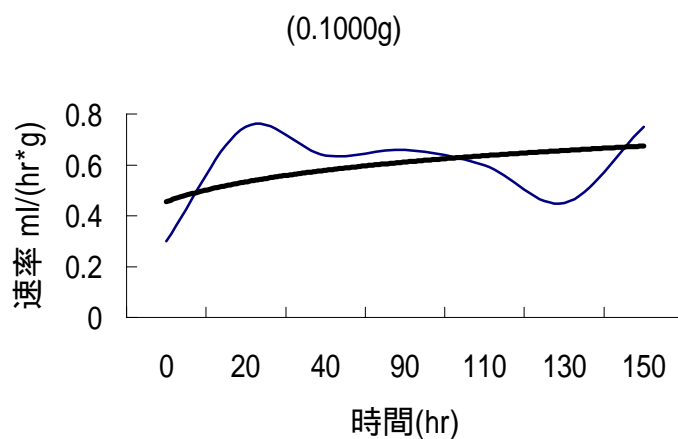
圖表 3 紫外光第 3 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (點鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:1(0.0605g)	0	0.84	0
	1	0.3	8.925619835
	2	0.09	3.47107438
	3	0.11	-0.330578512
平均值	2	0.75	6.198347107



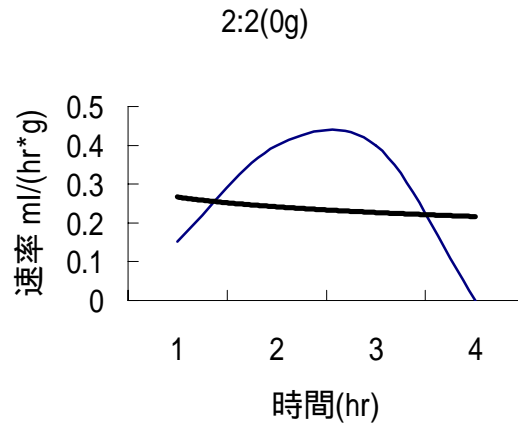
圖表 4 紫外光第 4 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr)
2:2(0.1000g)	0	0.5	0
	20	0.6	0.3
	40	0.85	0.75
	90	1.38	0.636
	110	1.6	0.66
	130	1.8	0.6
	150	1.95	0.45
	170	2.2	0.75
	190	2.18	-0.06
	210	2.1	-0.24
平均值	170	1.7	0.6



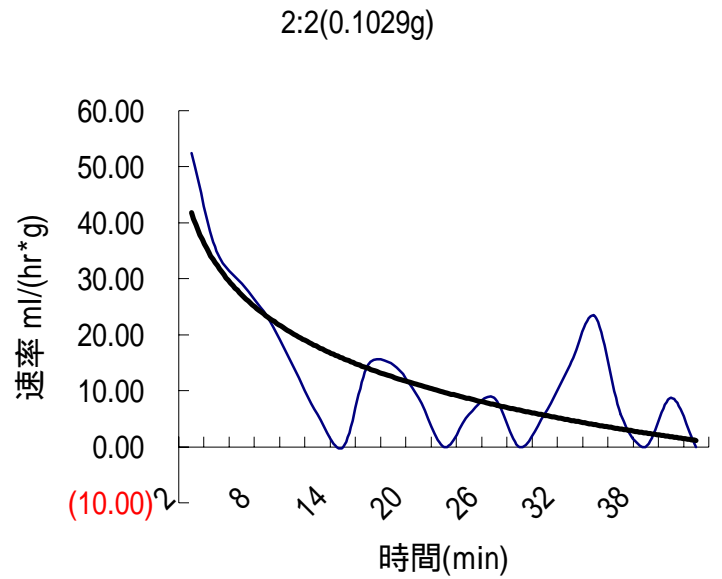
圖表 5 紫外光第 4 組對照組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (點鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
空床反應(0g)	13.17	0.95	0
	13.83	0.94	0.151515152
	14.33	0.92	0.4
	14.83	0.90	0.4
	15.33	0.90	0
平均值	1.16	0.03	0.25862069

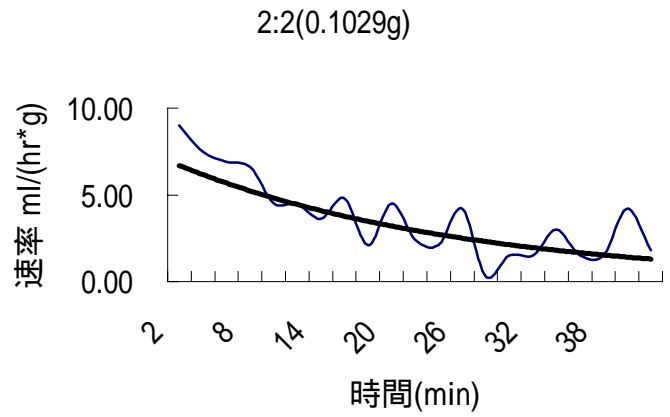


圖表 6 紫外光第 5 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:2(0.1029g)	0	0.5	0.00
10月27日	2	0.68	52.48
	4	0.8	34.99
	6	0.9	29.15
	8	0.98	23.32
	10	1.03	14.58
	12	1.05	5.83
	14	1.05	0.00
	16	1.1	14.58
	18	1.15	14.58
	20	1.18	8.75
	22	1.18	0.00
	24	1.2	5.83
	26	1.23	8.75
	28	1.23	0.00
	30	1.25	5.83
	32	1.3	14.58
	34	1.38	23.32
	36	1.4	5.83
	38	1.4	0.00
	40	1.43	8.75
	42	1.43	0.00
平均值	42	0.93	12.91



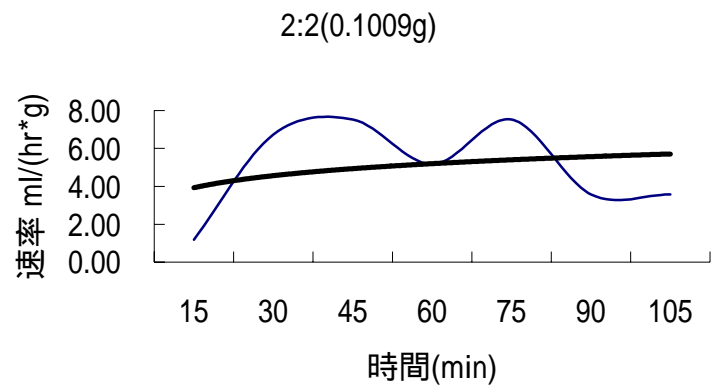
重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	
空床反應(0g)	0	1.3	0.00
10月27日	2	1.6	9.00
	4	1.85	7.50
	6	2.08	6.90
	8	2.30	6.60
	10	2.45	4.50
	12	2.60	4.50
	14	2.72	3.60
	16	2.88	4.80
	18	2.95	2.10
	20	3.10	4.50
	22	3.18	2.40
	24	3.25	2.10
	26	3.39	4.20
	28	3.40	0.30
	30	3.45	1.50
	32	3.50	1.50
	34	3.60	3.00
	36	3.65	1.50
	38	3.70	1.50
	40	3.84	4.20
	42	3.90	1.80
平均值	42	2.6	3.71



圖表 7

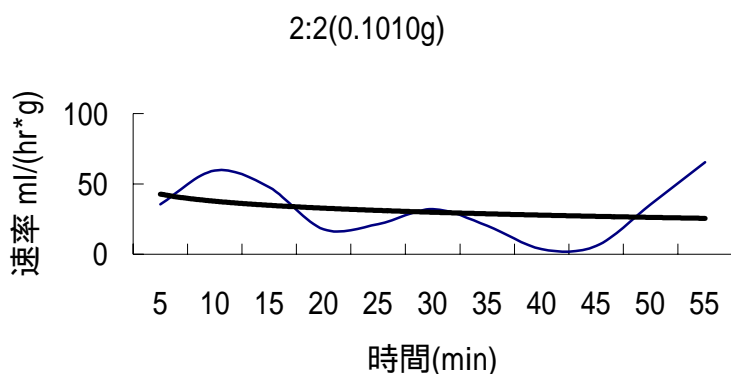
紫外光第 6 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:2(0.1009g)	0	1.11	0.00
11月30日	15	1.08	1.19
	30	0.91	6.74
	45	0.72	7.53
	60	0.59	5.15
	75	0.4	7.53
	90	0.31	3.57
	105	0.22	3.57
平均值	105	0.89	5.04



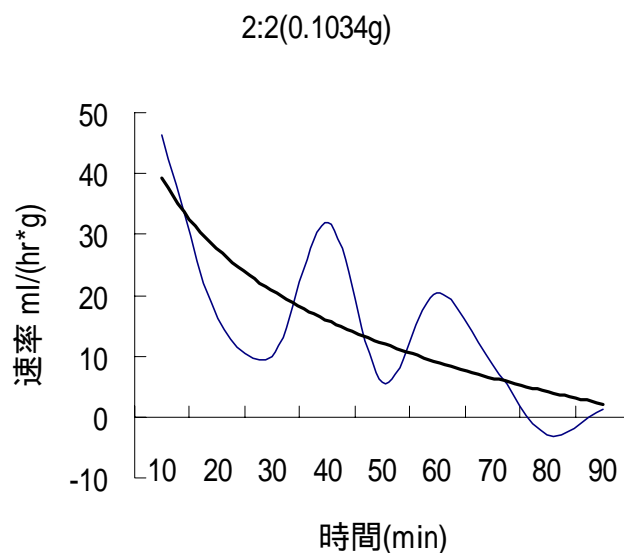
圖表 8 紫外光第 7 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:2(0.1010g)	0	4.15	0
12月7日	5	3.85	35.64356
	10	3.35	59.40594
	15	2.95	47.52475
	20	2.8	17.82178
	25	2.62	21.38614
	30	2.35	32.07921
	35	2.18	20.19802
	40	2.15	3.564356
	45	2.1	5.940594
	50	1.8	35.64356
	55	1.25	65.34653
平均值	55	2.9	31.35418



圖表 9 紫外光第 8 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:2(0.1034g)	0	3.7	0
12月14日	10	2.9	46.42166344
	20	2.62	16.24758221
	30	2.45	9.864603482
	40	1.9	31.91489362
	50	1.8	5.80270793
	60	1.45	20.30947776
	70	1.3	8.704061896
	80	1.35	-2.901353965
	90	1.33	1.160541586
平均值	90	2.37	15.28046422

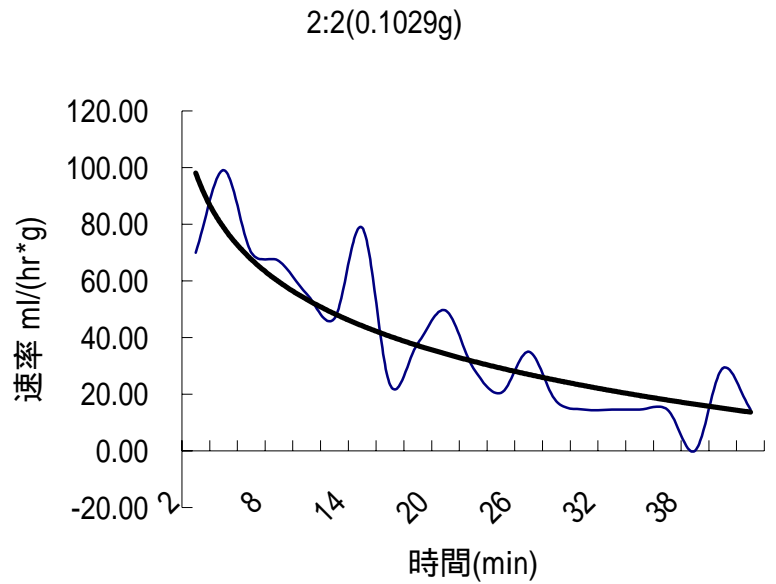


二、可見光

圖表 10

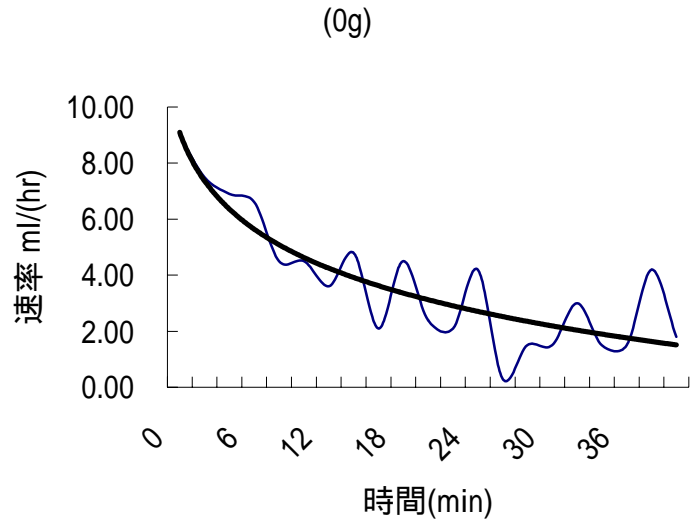
可見光第 1 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:2(0.1029g)	0	1.3	0.00
10月30日	2	1.54	69.97
	4	1.88	99.13
	6	2.12	69.97
	8	2.35	67.06
	10	2.54	55.39
	12	2.7	46.65
	14	2.97	78.72
	16	3.05	23.32
	18	3.18	37.90
	20	3.35	49.56
	22	3.45	29.15
	24	3.52	20.41
	26	3.64	34.99
	28	3.7	17.49
	30	3.75	14.58
	32	3.8	14.58
	34	3.85	14.58
	36	3.9	14.58
	38	3.9	0.00
	40	4	29.15
	42	4.05	14.58
平均值	42	2.75	38.18



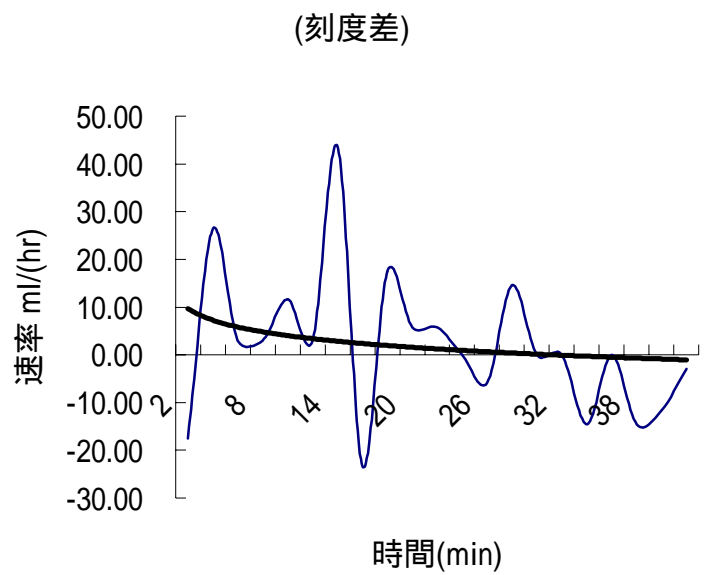
圖表 11 可見光第 1 組對照組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr)
空床反應(0g)	0	1.3	0.00
10月30日	2	1.6	9.00
	4	1.85	7.50
	6	2.08	6.90
	8	2.3	6.60
	10	2.45	4.50
	12	2.6	4.50
	14	2.72	3.60
	16	2.88	4.80
	18	2.95	2.10
	20	3.1	4.50
	22	3.18	2.40
	24	3.25	2.10
	26	3.39	4.20
	28	3.4	0.30
	30	3.45	1.50
	32	3.5	1.50
	34	3.6	3.00
	36	3.65	1.50
	38	3.7	1.50
	40	3.84	4.20
	42	3.9	1.80
平均值	42	2.6	3.71



圖表 12 可見光第 1 組實驗對照差

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
兩瓶的刻度差	0	0.00	0.00
10月30日	2	-0.06	-17.49
	4	0.03	26.24
	6	0.04	2.92
	8	0.05	2.92
	10	0.09	11.66
	12	0.10	2.92
	14	0.25	43.73
	16	0.17	-23.32
	18	0.23	17.49
	20	0.25	5.83
	22	0.27	5.83
	24	0.27	0.00
	26	0.25	-5.83
	28	0.30	14.58
	30	0.30	0.00
	32	0.30	0.00
	34	0.25	-14.58
	36	0.25	0.00
	38	0.20	-14.58
	40	0.16	-11.66
	42	0.15	-2.92
平均值	42	0.15	2.09

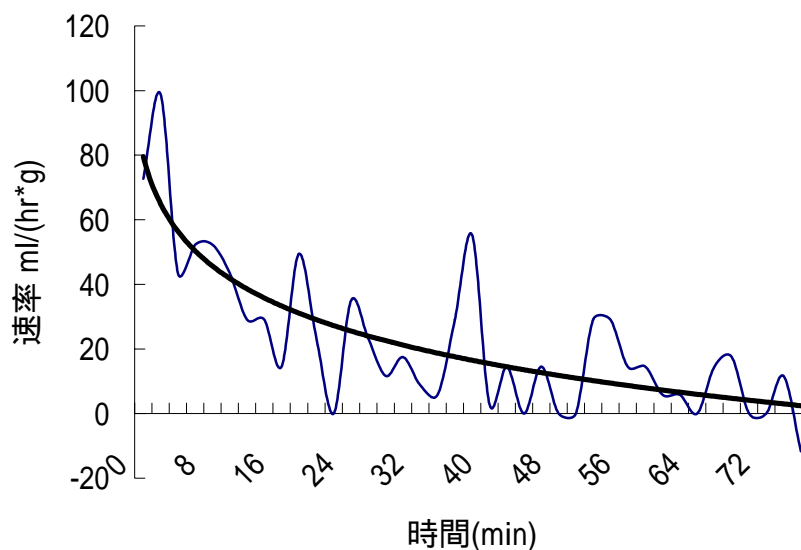


圖表 13 可見光第 2 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:2(0.1032g)	0	0.3	0
11月1日	2	0.55	72.6744186
	4	0.89	98.8372093
	6	1.04	43.60465116
	8	1.22	52.3255814
	10	1.4	52.3255814
	12	1.55	43.60465116
	14	1.65	29.06976744
	16	1.75	29.06976744
	18	1.8	14.53488372
	20	1.97	49.41860465
	22	2.05	23.25581395
	24	2.05	0
	26	2.17	34.88372093
	28	2.25	23.25581395
	30	2.29	11.62790698
	32	2.35	17.44186047
	34	2.38	8.720930233
	36	2.4	5.813953488
	38	2.5	29.06976744
	40	2.69	55.23255814
	42	2.7	2.906976744
	44	2.75	14.53488372

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
	46	2.75	0
	48	2.8	14.53488372
	50	2.8	0
	52	2.8	0
	54	2.9	29.06976744
	56	3	29.06976744
	58	3.05	14.53488372
	60	3.1	14.53488372
	62	3.12	5.813953488
	64	3.14	5.813953488
	66	3.14	0
	68	3.19	14.53488372
	70	3.25	17.44186047
	72	3.25	0
	74	3.25	0
	76	3.29	11.62790698
	78	3.25	-11.62790698
平均值	78	2.95	21.98867024

2:2(0.1032g)

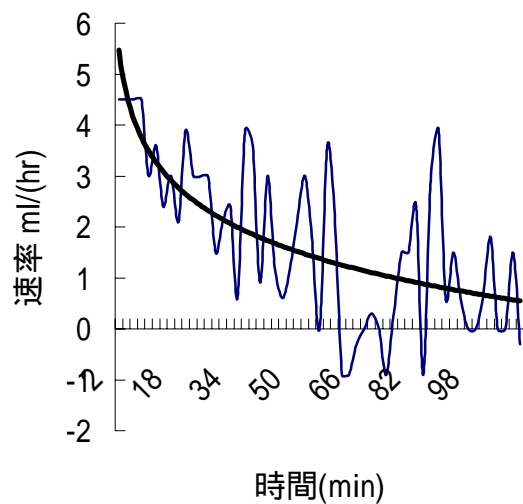


圖表 14 可見光第 2 組對照組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr)
純水	0	0.55	0
11月1日	2	0.7	4.5
	4	0.85	4.5
	6	1	4.5
	8	1.15	4.5
	10	1.25	3
	12	1.37	3.6
	14	1.45	2.4
	16	1.55	3
	18	1.62	2.1
	20	1.75	3.9
	22	1.85	3
	24	1.95	3
	26	2.05	3
	28	2.1	1.5
	30	2.17	2.1
	32	2.25	2.4
	34	2.27	0.6
	36	2.4	3.9
	38	2.52	3.6
	40	2.55	0.9
	42	2.65	3
	44	2.69	1.2
	46	2.71	0.6
	48	2.75	1.2
	50	2.82	2.1
	52	2.92	3
	54	2.98	1.8
	56	2.98	0
	58	3.1	3.6
	60	3.18	2.4
	62	3.15	-0.9

	64	3.12	-0.9
	66	3.11	-0.3
	68	3.11	0
	70	3.12	0.3
	72	3.12	0
	74	3.09	-0.9
	76	3.1	0.3
	78	3.15	1.5
	80	3.2	1.5
	82	3.28	2.4
	84	3.25	-0.9
	86	3.35	3
	88	3.48	3.9
	90	3.5	0.6
	92	3.55	1.5
	94	3.57	0.6
	96	3.57	0
	98	3.57	0
	100	3.59	0.6
	102	3.65	1.8
	104	3.65	0
	106	3.65	0
	108	3.7	1.5
	100	3.69	-0.3
平均值	100	3.1	1.86

(純水)

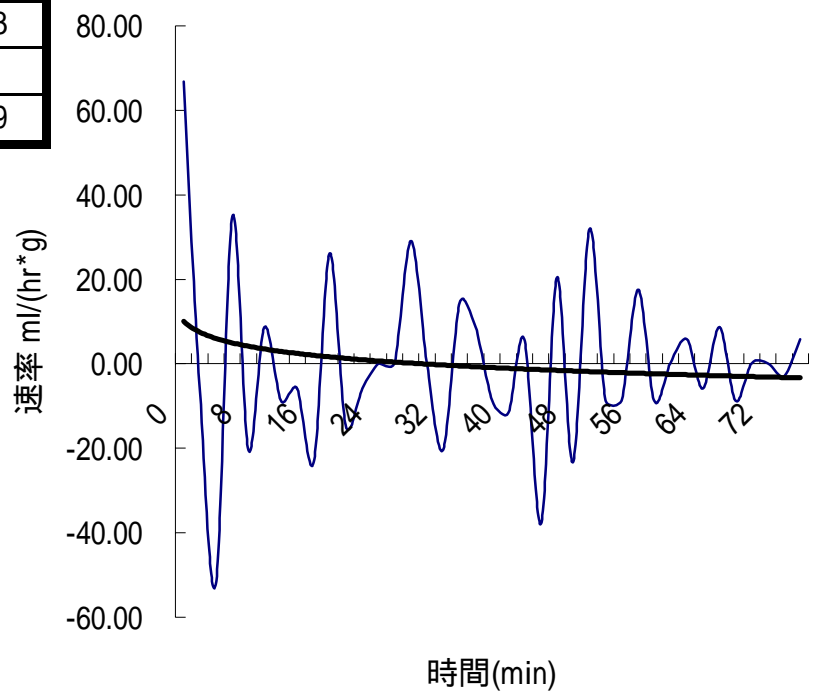


圖表 15 可見光第 2 組實驗對照差

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
兩瓶的刻度差	0	0	0.00
11月1日	2	0.23	66.86
	4	0.21	-5.81
	6	0.03	-52.33
	8	0.15	34.88
	10	0.08	-20.35
	12	0.11	8.72
	14	0.08	-8.72
	16	0.06	-5.81
	18	-0.02	-23.26
	20	0.07	26.16
	22	0.02	-14.53
	24	0	-5.81
	26	0	0.00
	28	0	0.00
	30	0.1	29.07
	32	0.1	0.00
	34	0.03	-20.35
	36	0.08	14.53
	38	0.11	8.72
	40	0.08	-8.72
	42	0.04	-11.63
	44	0.06	5.81
	46	-0.07	-37.79

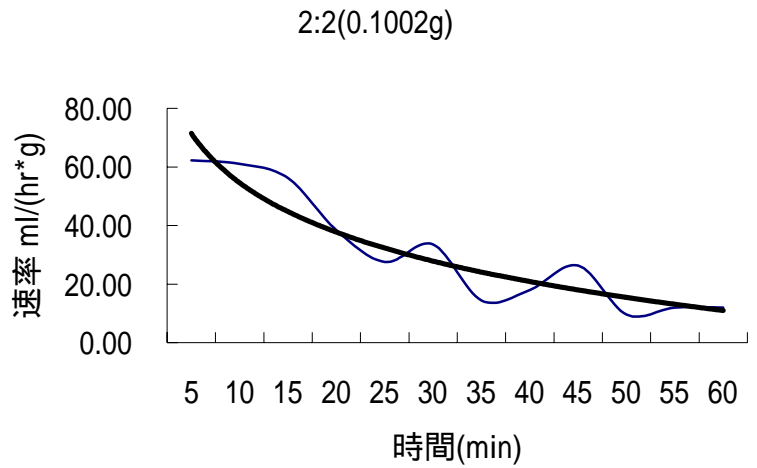
重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
	48	-0.04	20.35
	50	-0.08	-23.26
	52	0.03	31.98
	54	0	-8.72
	56	-0.03	-8.72
	58	0.03	17.44
	60	0	-8.72
	62	0	0.00
	64	0.02	5.81
	66	0	-5.81
	68	0.03	8.72
	70	0	-8.72
	72	0	0.00
	74	0	0.00
	76	-0.01	-2.91
	78	0.01	5.81
平均值	78	1.23	9.17

(刻度差)



重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:2(0.1002g)	0	1.15	0.00
11月9日	5	1.67	62.28
	10	2.18	61.08
	15	2.65	56.29
	20	2.97	38.32
	25	3.2	27.54
	30	3.48	33.53
	35	3.6	14.37
	40	3.75	17.96
	45	3.97	26.35
	50	4.05	9.58
	55	4.15	11.98
	60	4.25	11.98
平均值	60	3.1	30.94

圖表 16 可見光第 3 組



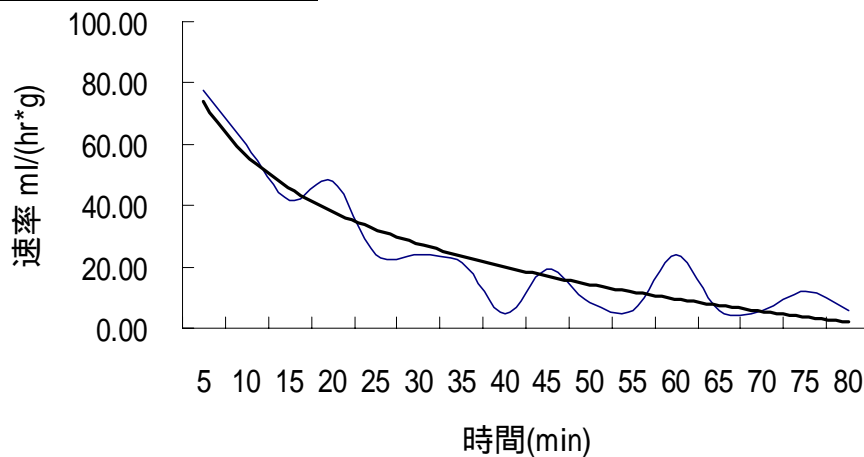
圖表 17

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:2(0.1004g)	0	0.7	0.00
11月9日	5	1.35	77.69
	10	1.85	59.76
	15	2.2	41.83
	20	2.6	47.81
	25	2.8	23.90
	30	3	23.90
	35	3.18	21.51
	40	3.22	4.78
	45	3.38	19.12

可見光第 4 組

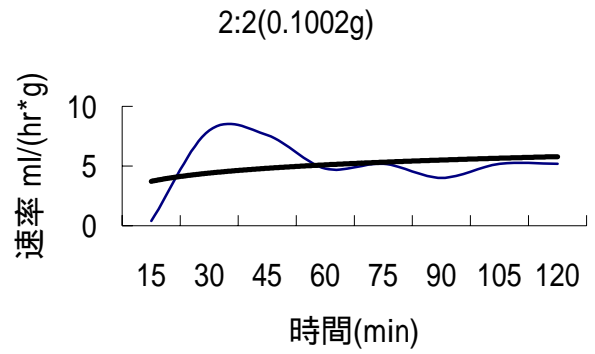
重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
	50	3.45	8.37
	55	3.5	5.98
	60	3.7	23.90
	65	3.75	5.98
	70	3.8	5.98
	75	3.9	11.95
	80	3.95	5.98
平均值	80	3.25	24.28

2:2(0.1004g)



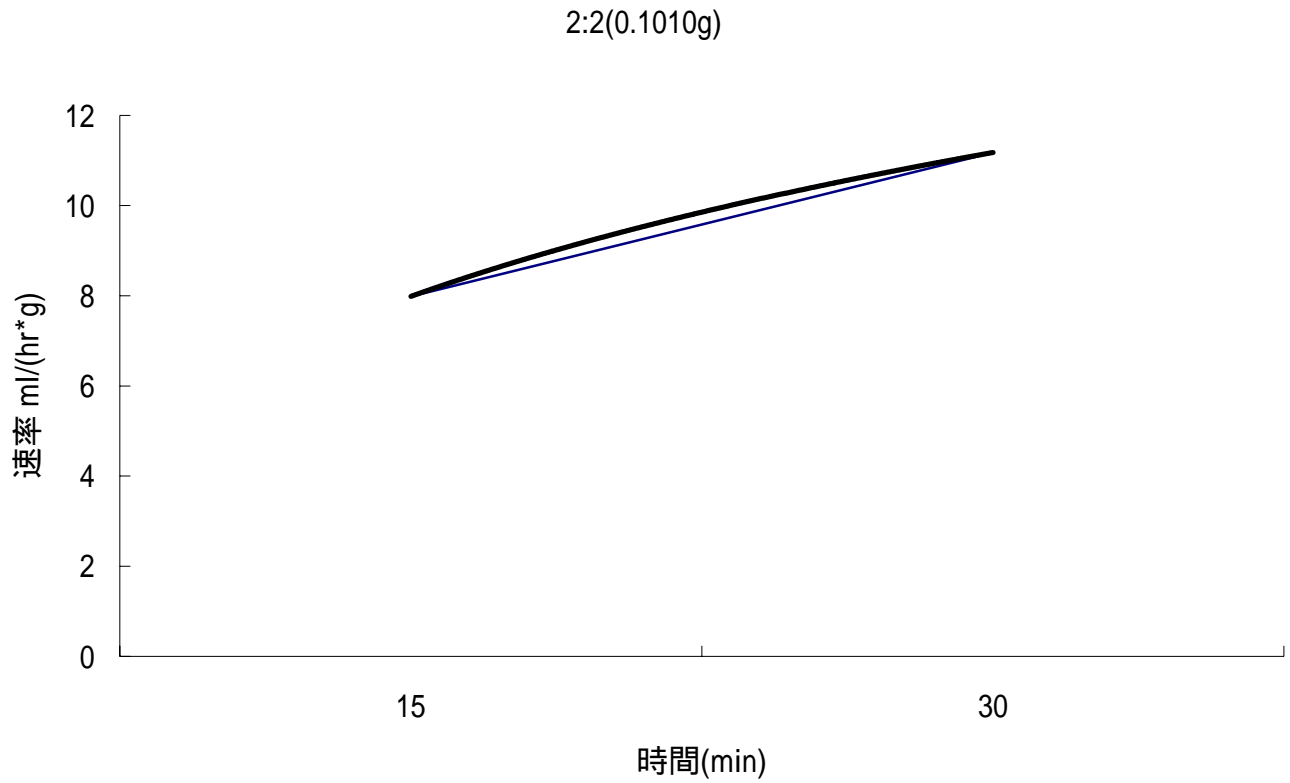
圖表 18 可見光第 5 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:2(0.1002g)	0	1.02	0
12月7日	15	1.01	0.399201597
	30	0.81	7.984031936
	45	0.62	7.584830339
	60	0.5	4.790419162
	75	0.37	5.189620758
	90	0.27	3.992015968
	105	0.14	5.189620758
	120	0.01	5.189620758
平均值	120	1.01	5.03992016



圖表 19 可見光第 6 組

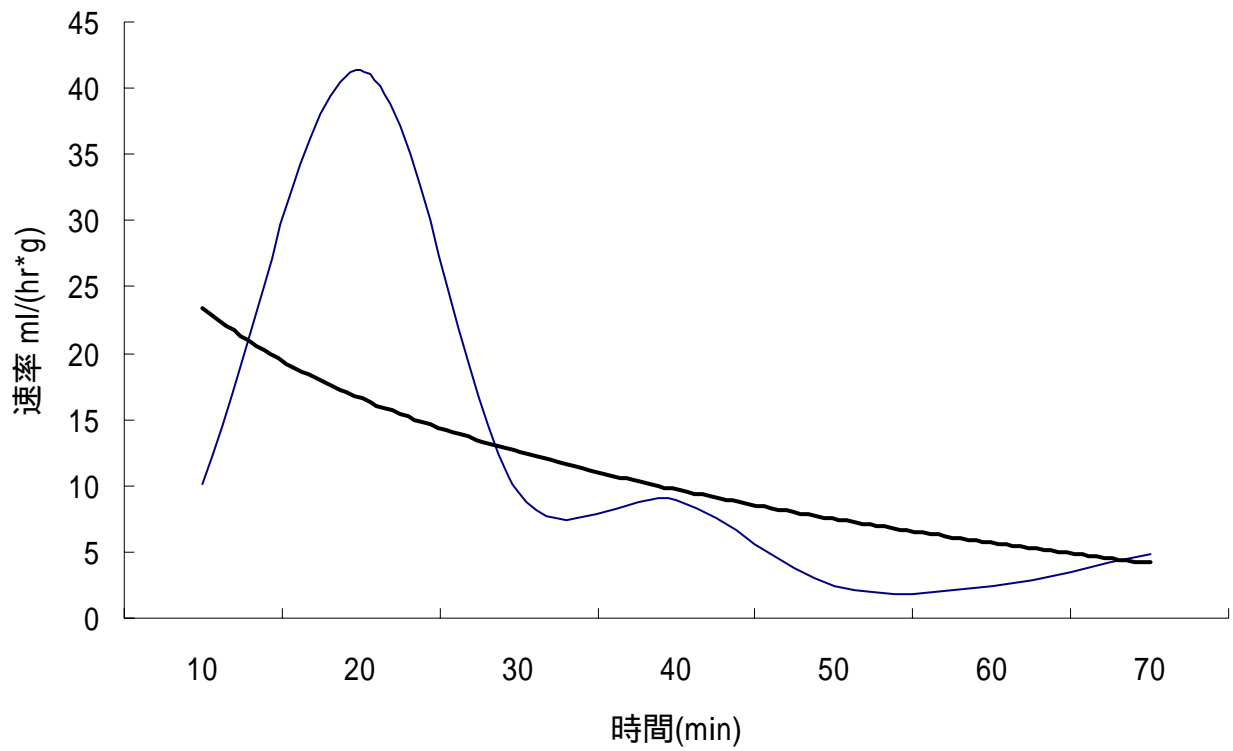
重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:2(0.1002g)	0	3.95	0
12月14日	15	3.75	7.984032
	30	3.47	11.17764
平均值	30	0.48	9.580838



圖表 20 可見光第 7 組

重量比 (CdCO ₃ :ZnCO ₃)	時間 (分鐘)	刻度 (ml)	速率 (ml/hr*g)
2:2(0.1008g)	0	2.08	0
1月4日	10	1.91	10.17964072
	20	1.22	41.31736527
	30	1.06	9.580838323
	40	0.91	8.982035928
	50	0.87	2.395209581
	60	0.83	2.395209581
	70	0.75	4.790419162
平均值	70	1.33	11.30952381

2:2(0.1008g)



柒、 討論

- 一、根據文獻記載，最佳的 CdS-ZnS 混成比例為 $\text{CdS} : \text{ZnS} = 2 : 1$ 。而又因為原文內容並未指明 CdCO_3 與 ZnCO_3 的比例，因此我們製備觸媒時嘗試了 $\text{CdCO}_3 : \text{ZnCO}_3$ 為 2 : 1、2 : 2、2.26 : 1、3 : 2 等四組比例。分別使用原子吸收光譜儀分析檢測了上述 4 組的不同比例所製成的光觸媒，發現以 $\text{CdCO}_3 : \text{ZnCO}_3$ 重量比 2 : 2 合成的觸媒沉澱出的 $\text{CdS} : \text{ZnS}$ 最接近最佳重量比 2 : 1。
- 二、文獻中提到當 $\text{CdS} : \text{ZnS} = 2 : 1$ 的觸媒，在 60 - 70 之間使用共沉澱法產生之觸媒品質最佳，且沉澱物呈「橘色」。但對此，我們抱著相當大的懷疑態度。因為：純粹的 CdS 呈深色，而 ZnS 呈白色。當使用 $\text{CdCO}_3 : \text{ZnCO}_3 = 2 : 2$ 所製成的觸媒 $\text{CdS} : \text{ZnS}$ 最接近 2 : 1，其所呈現出的顏色為亮黃色，與文獻中的敘述實在相差甚遠。
- 三、在原始的文獻中在反應瓶裡充的是 N_2 ，而內文並沒有說明原因，我們感到相當的好奇，又由於我們所使用的 GC 是使用 Ar 當作載氣，而 H_2 及 N_2 其分析出的訊號會相當接近，不易分辨。固在某次機會下考慮到 Ar 是惰性氣體，覺得應該不會影響實驗的進行，且物質安全資料表也顯示 Ar 難溶解於水，我們因而以 Ar 代替 N_2 ，也省去了和 H_2 訊號重疊的問題。
- 四、以 Ar 代替 N_2 後，我們觀察到量管上的刻度不增反減，發現 Ar 其實會略溶於反應的液體，加上當時又有攪拌的機制，增大了 Ar 的溶解量，使得實驗無法順利進行。後來又嘗試用二氧化碳代替氮氣，結果也跟氫氣發生了一樣的問題，原因是二氧化碳略溶。其實驗數據紙作為參考，並未作為有效記錄。所以我們最後又改回了使用氮氣將空氣置換，其不與溶液發生反應，也難溶於水，但為了使氫氣的分析圖能看的明顯，於是我們將 GC 的載氣改為氮氣。
- 五、在文獻上並沒有提及觸媒在多少量的時候會產生最好的速率，於是我們先嘗試了將 0.5g 的觸媒放入，發現效果並沒有很好（最好速率為圖表 1 - 0.30919609 ml/hr*g），又嘗試將 0.7g 的觸媒放入，結果依然不理想（最好速率為圖表 2 - 0.178138806 ml/hr*g），但相較之下，放入 0.5g 的較放入 0.7g 的速率更好，於是我們探討出：因為光觸媒必須要照光才能夠產生氫氣，加了太多的觸媒導致大部分的觸媒會堆積在底下而無法照到光，但是在計算產氫的速率的時候，卻還

是必須將多餘的觸媒量除掉，導致速率變得很慢，所以後來我們將觸媒量改為 0.1g 放入，使觸媒都能夠照到光，產氫的速率就增快了。

六、圖表數據的各個時段的速率大小，可由趨勢線看出有下降的趨勢，其原因可能有：(1) 觸媒的老化。這是所有實驗實際上會遇到的問題。由於實驗所使用的光觸媒是自己製作的，品質要求上終究無法達到完美。我們的實驗通常在 2.5 4 個小時後，反應速率變趨近於 0 了。(2) 隨著反應時間的增長，酸性溶液的濃度也隨之降低，這也將會使的反應速率逐漸下降。(3) 由於實驗需照光來激發光觸媒，在溫度上便是一大問題。由於反應過程中溫度會升高，再將反應瓶中至好到實驗開始不久的這段期間，溫度變化將會是最大，這也可能造成初期速率的大幅上升。

七、於圖表 8、圖表 1 9 及圖表 2 0 中，趨勢線有上揚的趨勢，推測應為所實驗的時間太短（接在 2 小時內），其速率變化趨勢尚未達到穩定所致。

八、於圖表 1、圖表 2 及圖表 3 的實驗中，所使用的光觸媒為 $\text{CdCO}_3 : \text{ZnCO}_3 = 2 : 1$ 所製成的 CdS / ZnS ，與其他使用 $\text{CdCO}_3 : \text{ZnCO}_3 = 2 : 2$ 的實驗比較，在產氫速率上確實低了許多。

九、圖表 4 及圖表 5 為紫外光實驗對照組，圖表 5 為純酸性溶液，並未加入觸媒。我們想探討沒有置入光觸媒的溶液是否也會產生氫氣？於實驗後將圖表 5 裝置中的氣體打入 GC 分析，幾乎沒有訊號。至於刻度為何上升，因為其刻度變化很小，推測應為實驗誤差。純粹的酸性溶液應該是無法產氫的。

十、圖表 6 及圖表 7 為紫外光實驗對照組，與圖表 4 及圖表 5 的實驗探討一樣。至於其速率為何會異常大於其他組實驗，推測為其實驗時間不夠久，初期反應速率偏高所造成的。又圖表 7 的空床實驗也有些許的刻度上升，推測應為溫度變化及使用量管的粗細有關。

十一、圖表 1 1 及圖表 1 2 為可見光實驗對照組。狀況同於第 (十一) (十二) 的討論。並且觀察可見光的實驗紀錄，我們可以發現可見光實驗的產氫速率確實明顯大於紫外光實驗！

十二、在文獻中有提到加入適當的半導體可以誘導光觸媒的活性。例如在此加入「n-Si」可以增加產氫的速率約有 2 倍之多，但因為材料來源無法確定是否為純

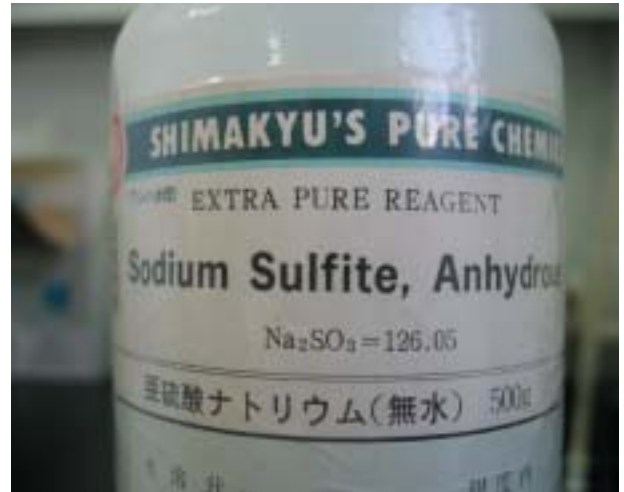
的「n-Si」，所以一直沒有將這個變因列入我們的實驗中，相當的可惜。

捌、 結論與應用

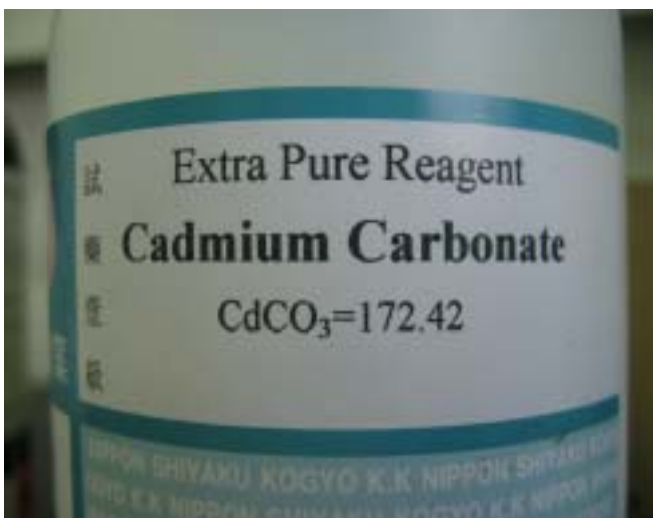
- 一、從以上的實驗結果我們可以得知，此 CdS / ZnS 光觸媒在太陽光下的產氫效果比在紫外光照射下要來得好，速率上約在 3 ~ 8 倍之間。
- 二、我們的實驗裝置為密閉式的，並無循環裝置，當瓶內反應物消耗完後便無法產氫，固產氫量有限。未來的發展將是朝著大型開放式的循環系統，使氫氣能源源不絕的產生。
- 三、實驗顯示出此裝置光觸媒的實用性，也有這極大的發展潛力，更為能源新世紀開創一個光明的道路。



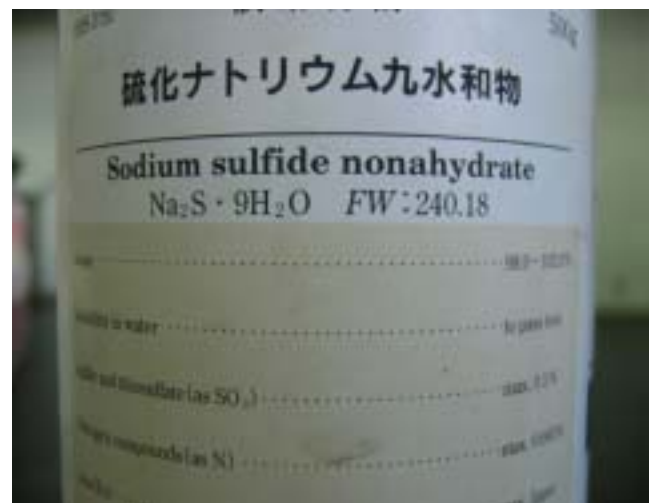
< 圖一 > ZnCO_3



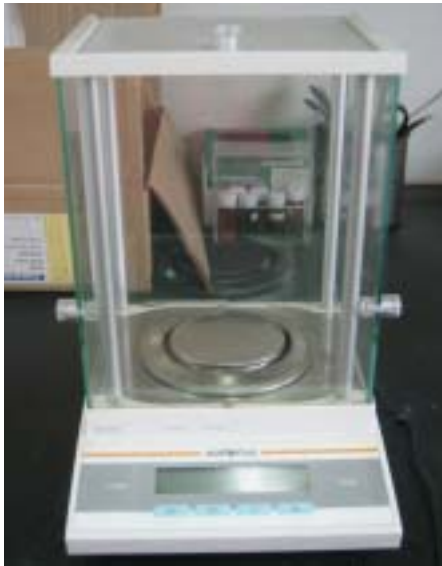
< 圖二 > Na_2SO_3



< 圖三 > CdCO_3



< 圖四 > $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$



<圖五> 電子秤



<圖六> 恆溫水槽(601A 型)
(BL 210S 型 Max=210g d=0.1mg)



<圖七> 觸媒產生



<圖八> 吸氣過濾器(WP-15 型)



<圖九> 觸媒過濾



<圖十> 真空烘箱(1400 型)



<圖十一> 觸媒烘乾完畢



<圖十二> 以不同比例之 CdCO_3 和 ZnCO_3 製作而成的觸媒有些微的顏色差異



<圖十三> 反應瓶 300ml



<圖十四> 氫氣鋼瓶和氫氣鋼瓶



<圖十五> 在反應器連接管處塗上工業用凡士林以防漏氣



<圖十六> UV 光 (Blakray model B 100 ap 115V 60Hz 2.5A) 實驗組



< 圖十七 > 太陽光實驗組



< 圖十八 > 原子吸收光譜儀(AA Z-6100 型)



< 圖十九 > 將欲檢測氣體打入氣相層析系統



< 圖二十 > 氣相層析系統(GC SHIMADZU GC-148)

玖、 參考資料

- 一、Gobinda Chandra De, Anadi Mohan Roy, Sutansu Sekhar Bhattacharya, 1996, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 21, NO. 1, pp. 19-23
- 二、Supriya V. Tambwekar, M. Subrahmanyam, 1998, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 23, NO. 9, pp. 741-744
- 三、Atif Koca, Musa Sahin, 2002, International Journal of Hydrogen Energy 27, pp. 363-367
- 四、Supriya V. T., M. Subrahmanyam, 1996, Proceedings of Eleventh International Symposium on Photochemical Conversion and Storage of Solar Energy (IPS-11), PC-20, 161
- 五、Tryk DA. Fujishima A. Honda K. Electrochim Acta 2000:45:2363-76
- 六、A. W. H. Mau, C.B. Huang, N. Kakuta, A.J. Bard, A. Campion, M. A. Fox, J. M. White, S. E. Webber, 1984, J. Am. Chem. Soc 106,6537
- 七、魏明通 化學與人生（第二版）五南圖書出版公司 P.138
- 八、科學教育期刊網站
- 九、奈米科學網網站
- 十、奈米科技研發中心網站
- 十一、 奈米國家型科技計畫網站

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會
評 語

高中組 化學科

040209

親「氫」我的寶貝－光觸媒於混合溶液中照射
日光產成氫氣

國立臺中文華高級中學

評語：

應用性高，唯創造性不足，數據解釋亦不清。