

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

佳作

031630

致命的水

學校名稱：屏東縣立車城國民中學

作者： 國二 林育任 國二 劉慧君 國二 許乾坤	指導老師： 謝享卷
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：硝酸鹽 亞硝酸鹽 太陽能電池

致命的水

壹、摘要

從網路新聞中得知，如果長期喝重覆煮沸的水，對身體健康恐會造成不良影響(參考資料一)。主要的原因是自來水裡面的硝酸鹽會因為重覆煮沸而轉變成對身體有害的亞硝酸鹽。為了證明硝酸鹽在煮沸的水中是否容易轉變成亞硝酸鹽，我們自行設計實驗證明之，並利用所學自然科學知識解決生活中所遇到的問題。在研究的方法上，我們利用普通的材料，組裝簡單儀器來測量亞硝酸鹽的生成速率，過程容易操作、且富趣味性。從本研究的結果中，我們瞭解到硝酸鉀在沸騰的水中要轉變成亞硝酸鹽其實沒有想像中容易；另一方面，硝酸鉀溶液照射太陽光反而有助於亞硝酸鉀的生成，推測太陽光中的紫外光可能有助於硝酸鹽轉變成亞硝酸鹽。

貳、研究動機

從網路新聞及國家網路醫院報導得知，如果長期喝重覆煮沸的水，對身體健康恐會造成不良影響。我們對這個聳動的新聞非常有興趣，希望以此作為我們的研究主題。我們以生活週遭的材料組裝太陽能電池光度計，並使用它來驗證硝酸鹽在煮沸之後，是否在溶液中容易轉變成亞硝酸鹽？同時，我們也進行硝酸鹽的光照反應。進一步，我們將光照結果與煮沸後的硝酸鹽水溶液結果進行比較。在過程中，我們將二年級自然課所學的概念應用在研究中，其中包含：影響化學反應因素、濃度、反應速率等概念。

參、研究目的

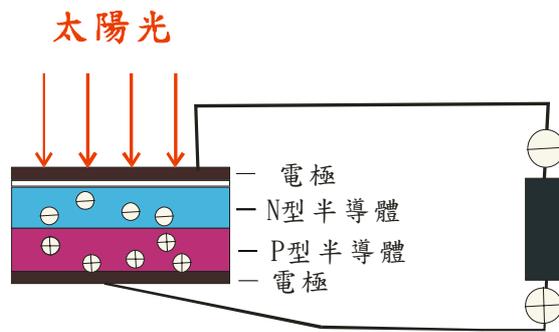
利用自製太陽能電池光度計測量硝酸鹽在沸水中是否容易轉變成亞硝酸鹽。同時，硝酸鉀溶液也進行照光反應，我們將其結果與在沸水實驗進行比較。

肆、研究原理

- 一、自然老師曾經在課堂上有做過一個有趣的實驗，用毛筆沾硝酸鉀水溶液在濾紙上寫字，用火點燃時，形成的火燄會沿著字的痕跡燒出一條火路。實驗的原理如以下的化學反應式，其中，硝酸鉀在加熱後會形成亞硝酸鉀及氧氣。然而，產生的氧氣會幫助燃燒，所以火焰會沿著硝酸鉀的筆跡燃燒(參考資料二)。化學反應式如下：



- 二、太陽能電池為一種固態半導體元件，太陽能電池能將光能轉變成電能，但本身不能儲存能量。在綠色能源的時代，太陽能電池是常見環保的材料。太陽能電池的發電量會隨著光度變化而有所改變。我們利用太陽能的這種特性，將計算機的太陽能電池取出來當作儀器的偵測元件(參考資料三)。



三、穿透度公式

$$\text{穿透度} = \frac{\text{光源通過樣品光線強度}}{\text{光源通過純水光線強度}}$$

伍、研究設備及器材

太陽能電池(圖 1)

黑箱一個

家用燈泡座一個

延長線一條

海綿

試管 30 支

數位三用電錶一組 (圖 2)

硝酸鉀

亞硝酸鈉

逆滲透水

酒精燈

錐形瓶

亞硝酸鹽 NO_2 測試組 (圖 3)

硝酸鹽 NO_3 測試組 (圖 4)

迴流管

水管

鐵架

試管架

橡皮塞

三腳架



圖 1、太陽能電池



圖 2、數位三用電錶



圖 3、亞硝酸鹽 NO_2 測試組



圖 4、硝酸鹽 NO_3 測試組

陸、研究過程或方法

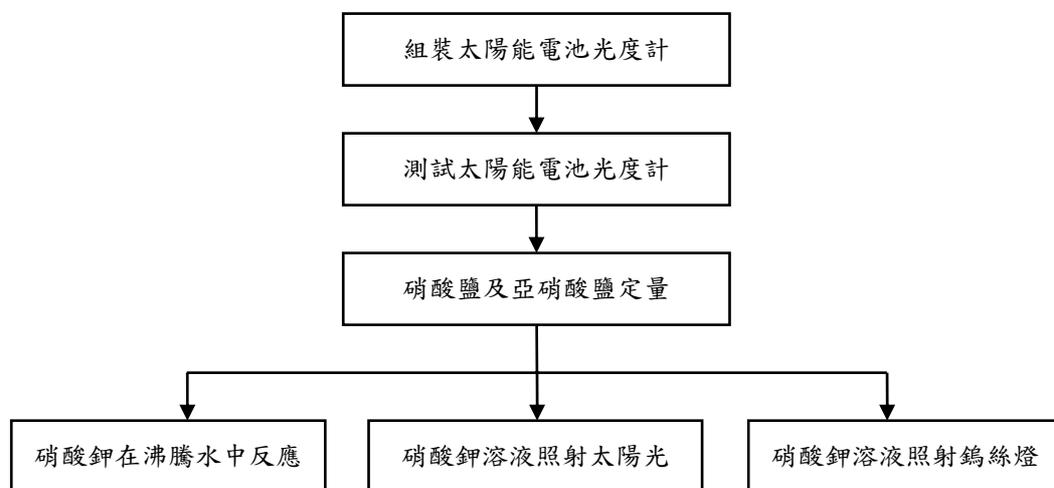


圖 5、實驗流程圖

一、組裝簡易太陽能電池光度計:

- (一)拆下太陽能計算機的太陽能電池當作儀器的偵測器，計算機太陽能電池構造如圖 1。
- (二)然後，我們在實驗室中找到一個黑色的鐵盒子，利用隔板及保麗龍板阻隔外面的陽光。
- (三)以家用的鎢絲燈泡作為我們的燈源。
- (四)利用泡棉作成試管固定架來固定試管。
- (五)最後，我們將太陽能電池直接串接數位三用電錶(圖 2)，讀取電錶顯示的短路電流值(圖 6、圖 7)。

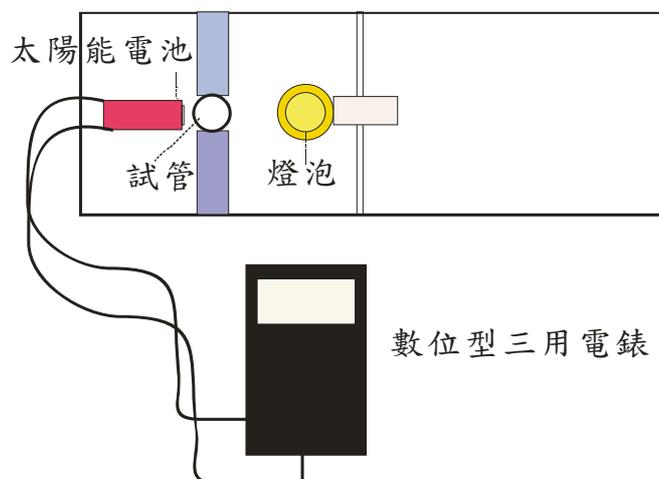


圖 6、太陽能電池光度計各部分說明

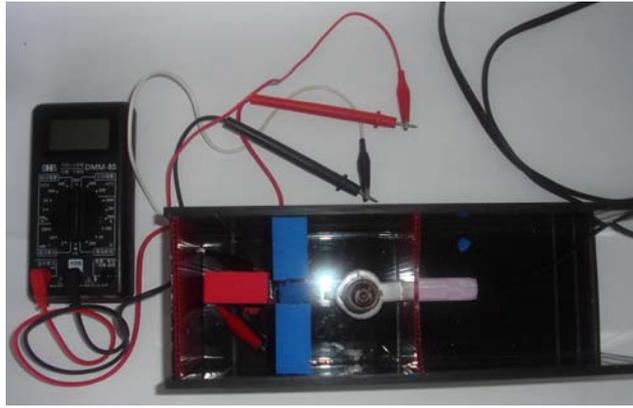


圖 7、自製太陽能電池光度計

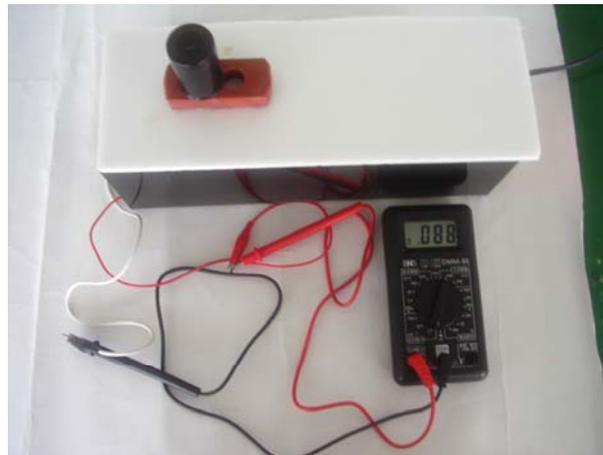


圖 8 太陽能電池光度計測量過程

二、測試光源及訊號穩定性:

- (一)將裝有純水的試管放入太陽能電池光度計中，如圖 8。然後，讀取太陽能電池的短路電流值。
- (二)連續記錄隨不同時間電流值變化情形，以檢驗太陽能電池訊號及光源的穩定性。

三、以不同濃度硫酸銅溶液測試太陽能電池光度計

- (一)測量透明的純水的短路電流，以測得的值當作最大穿透度
- (二)取 20 克硫酸銅溶解於 100 克水中，配得重量百分比濃度 16.7 %的硫酸銅溶液
- (三)測量不同濃度的硫酸銅水溶液的短路電流，將之電流除以純水的電流值。經計算後，得到不同濃度硫酸銅的穿透度。
- (四)以硫酸銅濃度為橫座標及穿透度為縱座標作圖

四、硝酸鹽測試劑定量硝酸鉀

- (一)配不同濃度的硝酸鉀(KNO_3 分子量 = 101)
- (二)取 3 克硝酸鹽測試劑加入 30 毫升的水中
- (三)每種濃度的硝酸鉀水溶液各取出 5 毫升裝入試管中，並加入 2 毫升的硝酸鹽測試劑，靜置十分鐘
- (四)測量不同濃度硝酸鉀加上試劑後的穿透度

(五)最後，以硝酸根的濃度為橫座標及測量的穿透度為縱座標作圖

五、亞硝酸鹽測試劑定量亞硝酸鈉

(一)配不同濃度的亞硝酸鈉 (NaNO_2 分子量 = 69)

(二)取 3 克亞硝酸鹽測試劑加入 30 毫升的水中

(三)每種濃度的亞硝酸鈉水溶液各取出 5 毫升裝入試管中，並加入 2 毫升的亞硝酸鹽測試劑，靜置十分鐘

(四)測量不同濃度亞硝酸鈉加上試劑後的穿透度

(五)最後，以亞硝酸根濃度為橫座標及測量的穿透度為縱座標作圖

六、硝酸鉀加熱至沸騰，測得硝酸鉀及亞硝酸鉀濃度的變化

(一)取一錐形瓶，裝入 200 毫升水，在錐形瓶口加上冷凝管，下方用酒精燈加熱至沸騰 (圖 9)

(二)將硝酸鉀約 100 毫克加入 200 毫升沸騰的水中

(三)每隔 1 小時取沸騰水溶液 5 毫升各兩管

(四)冷卻後，其中一組各加入 2 毫升的硝酸鹽測試劑，靜置十分鐘

(五)另一組各加入 2 毫升的亞硝酸鹽測試劑，靜置十分鐘

(六)分別測量加入硝酸鹽測試劑及亞硝酸鹽測試劑的穿透度



圖 9、硝酸鉀溶液加熱的裝置圖

七、高濃度硝酸鉀加熱至沸騰，求得亞硝酸鉀的濃度變化

(一)取一錐形瓶，裝入 200 毫升水，在錐形瓶口加上冷凝管。下方用酒精燈加熱至沸騰 (圖 9)

(二)取硝酸鉀約 10 克(圖 10)加入沸騰的 200 毫升水中

(三)每隔 1 小時取沸騰水溶液 5 毫升，裝入試管

(四)冷卻後，每支試管加入 2 毫升的亞硝酸鹽測試劑，靜置十分鐘

(五)測量加入亞硝酸鹽測試劑的穿透度



圖 10、硝酸鉀

八、低濃度硝酸鉀照陽光反應

- (一)取 100 毫克硝酸鉀，加入 200 毫升水，攪拌至完全溶解
- (二)取 12 支試管加入已溶解硝酸鉀溶液各 5 毫升
- (三)將試管放在試管架上，在陽光下曝曬(圖 11)，每隔 1 小時取兩支試管，得到不同照光時間的試管兩組
- (四)其中一組各加入 2 毫升的硝酸鹽測試劑，靜置十分鐘
- (五)以照光時間為橫座標，加入硝酸鹽測試劑的穿透度為縱座標作圖
- (六)另一組各加入 2 毫升的亞硝酸鹽測試劑，靜置十分鐘
- (七)以照光時間為橫座標，加入亞硝酸鹽測試劑的穿透度為縱座標作圖



圖 11、硝酸鉀照光實驗

九、高濃度硝酸鉀照陽光反應

- (一)取 10 克硝酸鉀，加入 200 毫升水，攪拌至完全溶解
- (二)取八支試管加入已溶解硝酸鉀溶液各 5 毫升
- (三)將試管放在試管架上，在陽光下曝曬(圖 11)，每隔約一小時取一支試管
- (四)將每支樣品各加入 2 毫升的亞硝酸鹽測試劑，靜置十分鐘
- (五)測量加入亞硝酸鹽測試劑的穿透度
- (六)以照光時間為橫座標，加入測試劑後的亞硝酸鉀穿透度為縱座標作圖

十、硝酸鉀照鎢絲燈反應

- (一)取 10 克硝酸鉀，加入 200 毫升水，攪拌至完全溶解
- (二)取六支試管加入已溶解硝酸鉀溶液各 5 毫升
- (三)取一支試管放在光度計內照射鎢絲燈，照射一個小時後取出試管
(圖 8)。其餘各照射 2、3、4、5 及 6 小時。
- (四)將每支樣品各加入 2 毫升的亞硝酸鹽測試劑，靜置十分鐘
- (五)測量加入亞硝酸鹽測試劑的穿透度

柒、研究結果與討論

一、我們使用太陽能電池光度計測量裝有純水試管的穿透度，結果如下：

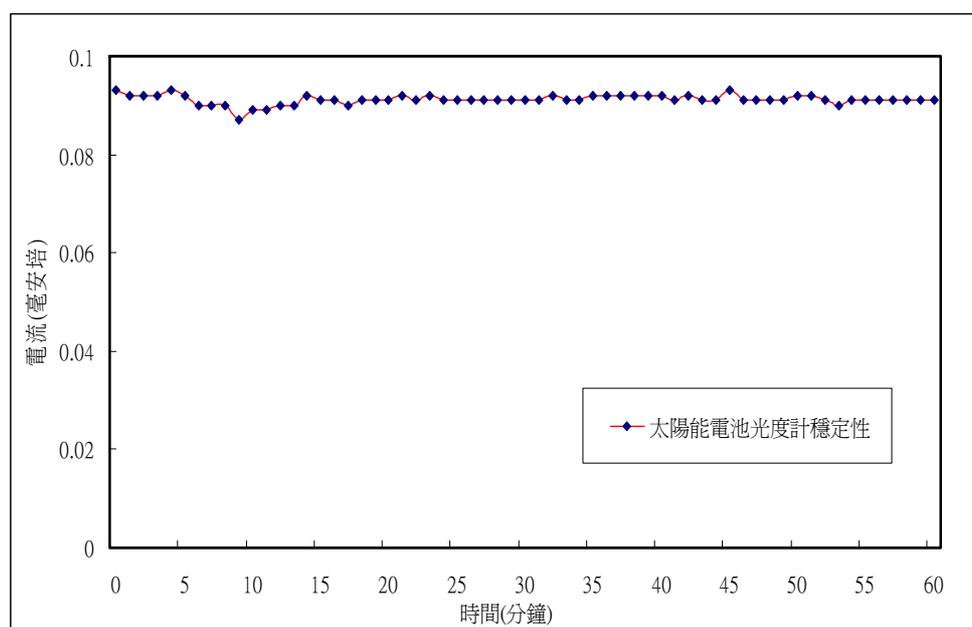


圖 12、純水的短路電流

從光源及太陽能電池光度計穩定性結果來看(圖 12)，開機大約 15 分後訊號趨於穩定。因此，我們在每次使用太陽能電池光度計前，讓機器熱機大約 15 分鐘。

二、拿硫酸銅當作標準品，使用太陽能電池光度計測量不同濃度的硫酸銅的短路電流值。我們每個濃度測量三次，取平均值。將實驗結果記錄如下表 1：

編號	濃度 (%)	電流(毫安培)	穿透度
1	0	0.088	1.00
2	0.01	0.088	1.00
3	0.02	0.087	0.99
4	0.03	0.088	1.00
5	0.07	0.088	1.00
6	0.13	0.083	0.95
7	0.26	0.080	0.90
8	0.52	0.076	0.86
9	1.04	0.070	0.79
10	2.08	0.061	0.68
11	4.17	0.051	0.58
12	8.33	0.039	0.44
13	16.67	0.027	0.30

表 1、不同濃度硫酸銅溶液的穿透度

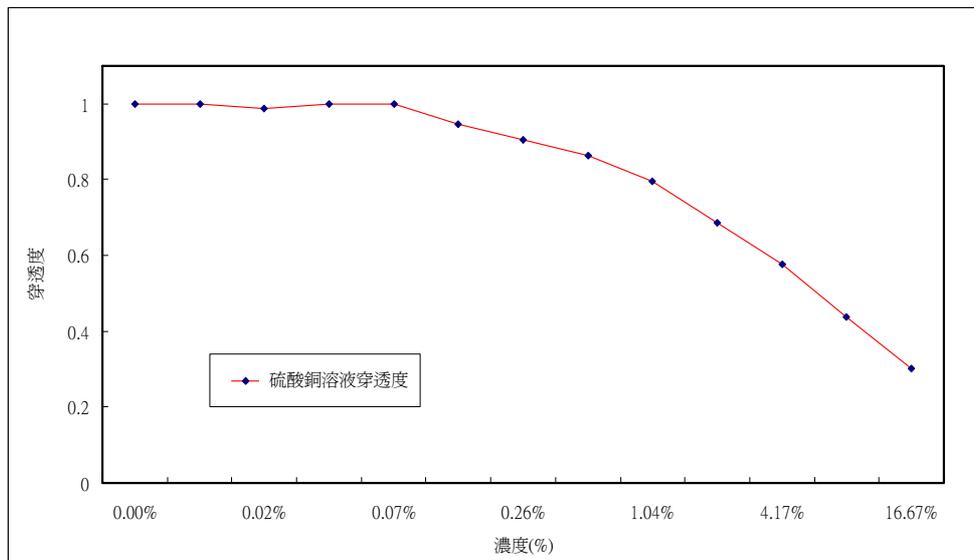


圖 13、不同濃度硫酸銅溶液的穿透度



圖 14、不同濃度的硫酸銅溶液

我們發現隨著濃度增加，穿透度明顯的減少(表 1、圖 14)。造成此現象的主要原因為溶液裡面的溶質越濃，造成光線穿透越少。同時，我們也證實短路電流會明顯隨著光線強度變弱而減少。

三、表 2 為不同濃度的硝酸鉀加上硝酸鉀測試劑，之後，使用太陽能電池光度計測量的結果：

編號	濃度 NO ₃ ⁻ (ppm)	電流 (毫安培)	穿透率
1	0	0.087	1
2	0.7	0.086	0.99
3	1.5	0.086	0.99
4	3	0.085	0.98
5	6	0.085	0.98
6	12	0.084	0.97
7	24	0.082	0.94
8	48	0.076	0.87
9	96	0.071	0.82
10	192	0.063	0.72
11	384	0.056	0.64
12	767	0.048	0.55
13	1535	0.043	0.49
14	2302	0.04	0.46
15	4604	0.039	0.45
16	9208	0.038	0.44

表 2、不同濃度硝酸鉀溶液的穿透度

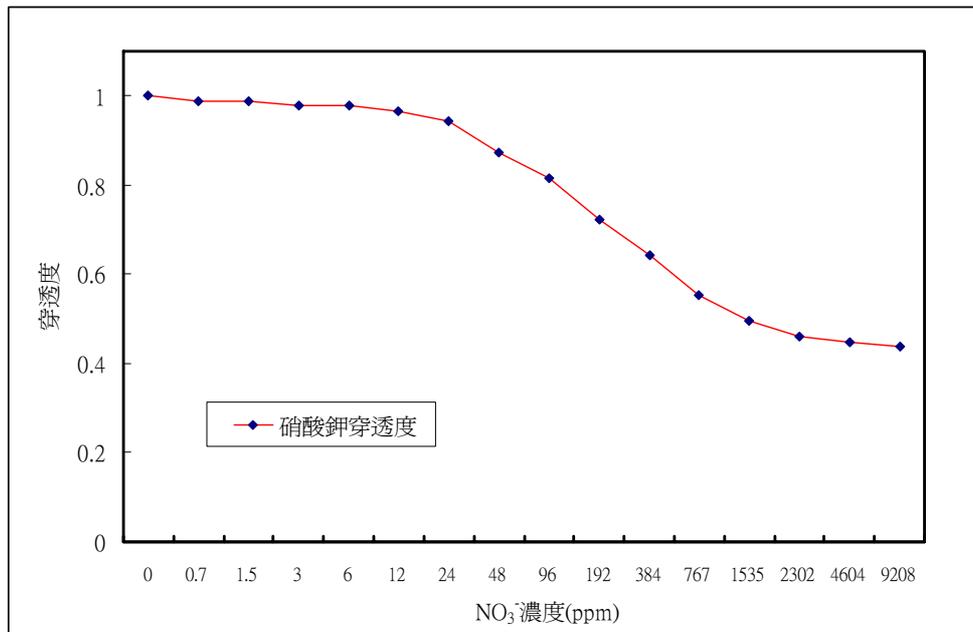


圖 15、不同濃度硝酸鉀溶液的穿透度



圖 16、不同濃度的硝酸鉀溶液加硝酸鹽測試劑

從結果我們發現如果硝酸鉀的濃度增加，與相同量的測試劑反應的顏色也會越深(圖 16)。同時，在光度計的測量下，會發現硝酸鉀的濃度越高，所測得的穿透度會越低(圖 15)。當硝酸鹽超過測試劑的劑量時，光度計所測量的穿透度便不再減少。

四、表 3 為不同濃度的亞硝酸鈉加上亞硝酸鹽測試劑後，使用太陽能電池光度計測量的結果：

編號	濃度 NO ₂ ⁻ (ppm)	電流(毫安培)	穿透率
1	0	0.087	1.00
2	0.007	0.087	1.00
3	0.01	0.086	0.99
4	0.03	0.086	0.99
5	0.05	0.086	0.99
6	0.10	0.084	0.96
7	0.21	0.078	0.90
8	0.42	0.073	0.83
9	0.83	0.063	0.72
10	1.67	0.053	0.60
11	3.33	0.045	0.51
12	6.67	0.037	0.43
13	13.33	0.037	0.43

表 3、不同濃度亞硝酸鈉溶液的穿透度

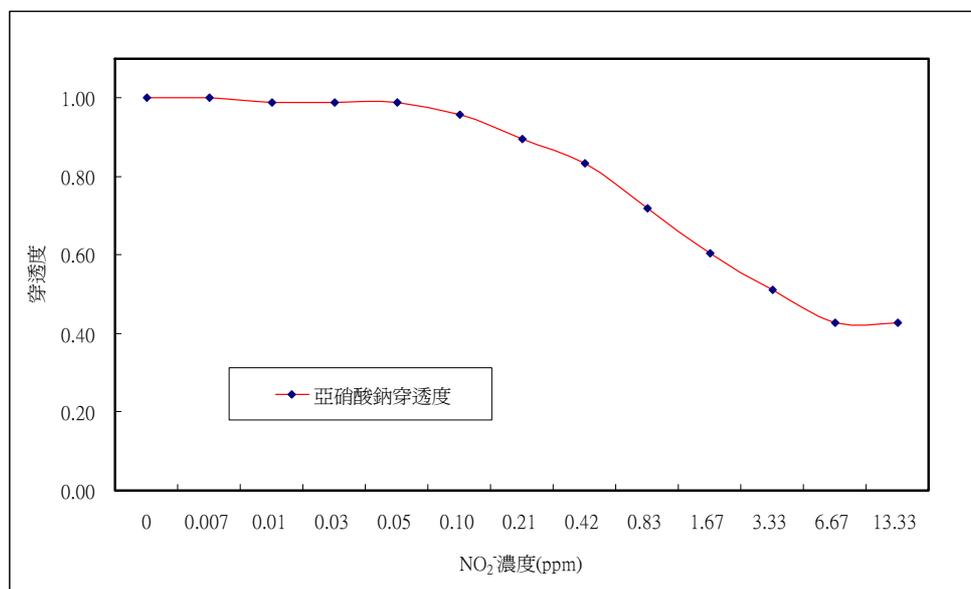


圖 17、不同濃度亞硝酸鈉溶液的穿透度

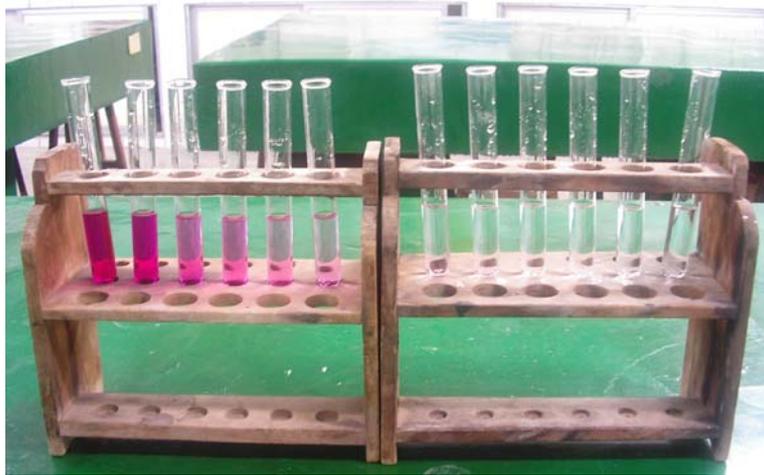


圖 18、不同濃度亞硝酸鈉溶液加亞硝酸鹽測試劑

同樣的情形，我們發現如果亞硝酸鈉的濃度增加，與相同量的測試劑反應的顏色也會越深(圖 18)。同時，在光度計的測量下，會發現亞硝酸鈉的濃度越高，所測得的穿透度會越低(圖 17)。當亞硝酸鈉超過測試劑的劑量時，光度計所測量的穿透度不再減少。

五、每隔一小時取出 5 毫升樣品，冷卻後加入硝酸鹽測試劑，放入光度計測量，將電流值記錄在下表中(表 4)：

編號	時間(小時)	電流 (毫安培)	穿透度
1	0	0.056	0.63
2	1	0.055	0.62
3	2	0.056	0.63
4	3	0.055	0.62
5	4	0.057	0.64
6	5	0.053	0.60
7	6	0.055	0.62

表 4、加入硝酸鹽測試劑的結果



圖 19、加入硝酸鹽測試劑的結果

每隔一小時取出 5 毫升樣品，冷卻後加入亞硝酸鹽測試劑，放入光度計測量，將電流值記錄在表 5：

編號	時間(小時)	電流(毫安培)	穿透度
1	0	0.088	0.98
2	1	0.089	0.99
3	2	0.088	0.98
4	3	0.087	0.97
5	4	0.089	0.99
6	5	0.087	0.97
7	6	0.088	0.98

表 5、加入亞硝酸鹽測試記得結果



圖 20、加入亞硝酸鹽測試劑的結果

從結果發現，硝酸鉀的濃度並沒有明顯的減少(表 4)。另外，亞硝酸鉀也沒明顯生成(表 5)。

六、同樣我們加熱高濃度的硝酸鉀溶液，每隔一小時取出 5 毫升樣品，冷卻後加入亞硝酸鹽測試劑，使用光度計測量，將電流值記錄在下表中

編號	時間(小時)	電流(毫安培)	穿透度
1	0	0.089	0.99
2	1	0.089	0.99
3	2	0.09	1.00
4	3	0.089	0.99
5	4	0.089	0.99
6	5	0.09	1.00
7	6	0.089	0.99

表 6、加入亞硝酸鹽測試劑的結果



圖 21、加入亞硝酸鹽測試劑的結果

從結果發現，沸騰過程幾乎沒有明顯亞硝酸鉀產生(表 6、圖 21)。

七、下表為低濃度硝酸鉀溶液照射陽光不同時間後，加入亞硝酸鹽測試劑的透光度：

編號	時間(小時)	電流(毫安培)	穿透度
1	0	0.084	1.00
2	1	0.083	0.98
3	2	0.083	0.98
4	3	0.081	0.96
5	4	0.079	0.94
6	5	0.076	0.90
7	6	0.073	0.87

表 6、加入亞硝酸鹽測試劑的結果

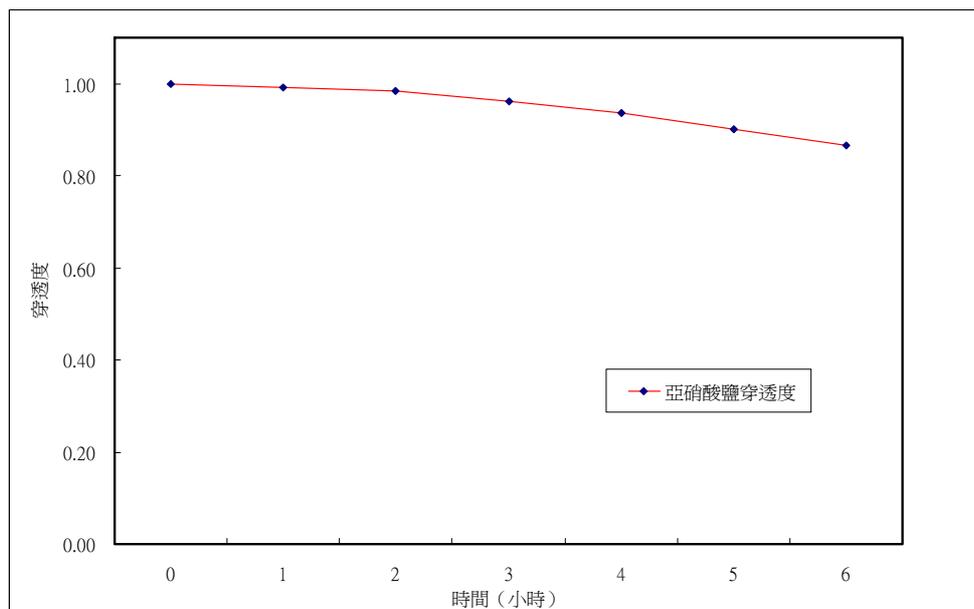


圖 22、加入亞硝酸鹽測試劑的結果



圖 23、加入亞硝酸鹽測試劑的結果

隨著照射陽光時間越長，加入亞硝酸鹽測試劑後，我們可以發現紫紅色顏色會越來越深(圖 23)，透光度因而減少(圖 22)。推測亞硝酸鉀隨著照光時間加長，產生的量會增加。我們參考之前亞硝酸根的定量數據(表 3)，經由內插法估計產生的亞硝酸根的濃度，當穿透度為 0.87，亞硝酸根的濃度約為 0.3 ppm。進一步推算亞硝酸根在 6 小時內產生的平均速率約為 0.05 ppm/小時。

八、表 6 為低濃度硝酸鉀在不同照光時間後，加入硝酸鹽測試劑的透光度：

編號	時間 (小時)	電流 (毫安培)	穿透度
1	0	0.056	0.64
2	1	0.055	0.63
3	2	0.056	0.64
4	3	0.057	0.65
5	4	0.055	0.63
6	5	0.057	0.65
7	6	0.057	0.65

表 6、加入硝酸鹽測試劑的結果



圖 24、加入硝酸鹽測試劑的結果

隨著照射陽光時間越長，加入硝酸鹽測試劑後，我們發現紫紅色顏色幾乎沒有變，透光度也沒有減少(表 6)。雖然有亞硝酸鉀的產生，但在第 6 小時產量只有約 0.54 ppm。然而，硝酸鉀照射陽光前的濃度大約在 200 ppm，減少 0.54 ppm 對硝酸鉀濃度不會造成明顯的影響。

九、下表為高濃度硝酸鉀在不同照光時間後，加入亞硝酸鹽測試劑的透光度：

編號	時間 (小時)	電流 (毫安培)	穿透度
1	0	0.088	1.00
2	1	0.075	0.86
3	2	0.065	0.75
4	3	0.058	0.66
5	4	0.054	0.61
6	5	0.050	0.57
7	6	0.051	0.58

表 6、加入亞硝酸鹽測試劑的結果

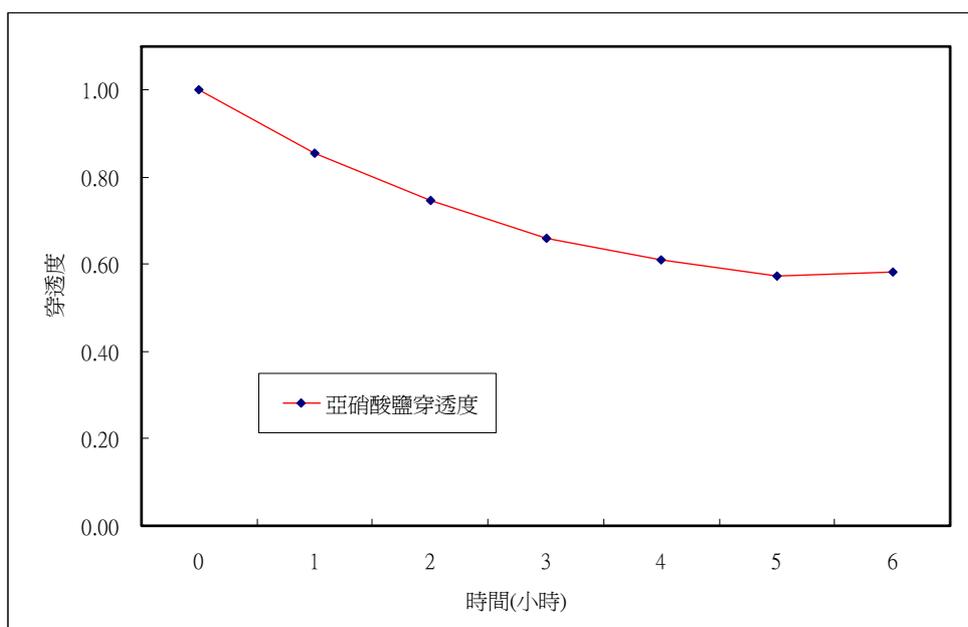


圖 25、加入亞硝酸鹽測試劑的結果



圖 26、加入亞硝酸鹽測試劑的結果

隨著照射陽光時間越長，加入亞硝酸鹽測試劑後，我們可以發現紫紅色顏色會越來越深(圖 26)，透光度因而減少(圖 25)。然而，我們也發現顏色的加深比之前低濃度的硝酸鉀溶液照射陽光更明顯(圖 23)。主要的原因是因為濃度較大造成反應速率加快。我們發現大約在 4 小時，穿透度達到大約 0.6，而反應有達到平衡的現象，對於這一點我們還在進行研究中。我們參考之前亞硝酸根的定量數據(表 3)，經由內插法估計產生的亞硝酸根的濃度。當穿透度為 0.61，亞硝酸根的濃度約為 1.6 ppm。進一步推算亞硝酸根在四小時內產生的平均速率約為 0.4 ppm/小時。

十、表 7 為硝酸鉀溶液照射鎢絲燈的結果：

編號	時間(小時)	電流(毫安培)	穿透度
1	0	0.092	1.00
2	1	0.09	0.98
3	2	0.091	0.99
4	3	0.092	1.00
5	4	0.092	1.00
6	5	0.09	0.98
7	6	0.089	0.97

表 7、加入亞硝酸鹽測試劑的結果



圖 27、加入亞硝酸鹽測試劑的結果

從結果發現：在鎢絲燈的照射下，高濃度的硝酸鉀溶液並沒有明顯產生亞硝酸鉀。所以我們推測硝酸鉀在太陽光下轉變成亞硝酸鉀的原因可能是太陽光中的紫外線所造成。

捌、結論

- 一、我們利用生活的一些素材及從壞掉的計算機拆下來的零件成功製造出太陽能電池光度計。
- 二、並以光度計測量不同濃度的硫酸銅溶液的穿透度，證實短路電流會隨著光線強弱而有不同。
- 三、取硝酸鉀溶液加入硝酸鹽測試劑後，以光度計進行測量，求得相對應的濃度的曲線，以便作為定量參考。從結果來看，隨著硝酸鹽的濃度提高，與試劑產生反應的量也提高，造成紫紅色的顏色會越深，穿透度因而減少。
- 四、取亞硝酸鈉溶液加入亞硝酸鹽測試劑後，也會變成紫紅色。亞硝酸鈉濃度越高，紫紅色也越深。測試結果與硝酸鹽加測試劑比較不一樣的地方是市售的亞硝酸測試劑的敏感度比硝酸鹽高。
- 五、從我們的實驗結果來看，硝酸鉀在沸騰水中並沒有轉變成亞硝酸鉀。進一步，我們提高硝酸鉀濃度來加速反應進行，但也沒有明顯亞硝酸鉀產生。所以我們推測硝酸鉀在沸騰的水中其實並不容易轉變成亞硝酸鉀。
- 六、在太陽光照射的實驗中，我們發現硝酸鉀會因為光照的原因而容易轉變成亞硝酸鉀。並且，我們發現硝酸鉀的濃度提高，反應速率也會變快。
- 七、從我們的實驗得知，相同濃度的硝酸鉀在太陽光照射下，轉變成亞硝酸鉀的速率是明顯大於在沸水中反應的速率。
- 八、從鎢絲燈照射的結果推論：造成硝酸鉀在太陽光下轉變成亞硝酸鉀的原因可能是太

陽光中的紫外線所造成。

玖、延伸實驗

- 一、使用紫外光進行光照反應
- 二、使用不同硝酸鹽類進行反應
- 三、延長沸騰時間

拾、參考資料

- 一、國家網路醫院，喝下重覆煮沸的開水會致癌？
<http://hospital.kingnet.com.tw/essay/essay.html?pid=13&category=%B9D%C5%A5%A4%A3%B6%EE%BB%A1>
- 二、科學實驗，紙上火龍。化學作用(Chemism)化學雜誌/第二期
- 三、陳璟騏、陳宗澤、林威辰。太陽能攜帶式充電器。中華民國第四十六屆中小學科學展覽高職組

【評語】 031630 致命的水

本作品以自製太陽能電池光度計檢測硝酸鹽於煮沸或太陽光照射轉成亞硝酸鹽之可能性結果合於研究目的，且得到硝酸鹽不因煮沸而變成亞硝酸鹽之有趣結論，該題目建議可繼續延伸實驗，如以紫外光照射，或以實際自來水以不同鍋具煮沸，探討硝酸鹽之變化，則較具實用價值。