

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

030221

臺中縣立大雅國民中學

指導老師姓名

陳江堡

作者姓名

林鳴奕

童馨儀

陳祈安

蔡朋睿

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：綠茶的臉變紅了-應用光敏電阻探討綠茶的變色反應速率及成因

關 鍵 詞：電流值大小、變色反應、兒茶素（最多三個）

編 號：

製作說明：

- 1.說明書封面僅寫科別、組別、作品名稱及關鍵詞。
- 2.編號由國立臺灣科學教育館統一編列。
- 3.封面編排由參展作者自行設計。

壹、摘要

應用光敏電阻會隨照光強度而改變電阻大小的特性，設計一種經由測量電流值大小來比較茶色深淺的方法。進而探討曝氣、氧濃度、溫度、酸鹼度等變因對綠茶變色速率的影響，及變色成因為何？總結發現：1.綠茶在高溫、有氧、鹼性的環境下變色速率較快。2.綠茶中所含的兒茶素氧化是造成變色的主因。3.在酸鹼的影響下綠茶的變色是一種可逆反應。4.兒茶素是一種多酚類的化合物。

貳、研究動機：

我們發現：綠茶放置在空氣中一段時間後，顏色逐漸的加深變紅，這到底是為什麼呢？是否是一種氧化反應呢？有哪一些因素會影響它的變色快慢？爲了尋找這些答案，所以我們應用『光敏電阻』會隨照光強度而改變電阻大小的特性，製作一個簡易的測量裝置，以便作爲測量茶色深淺的工具，然後我們展開了一連串的探索之旅。

參、研究目的

1. 探討曝氣與否對綠茶變色反應速率的影響。
2. 探討氧氣濃度對綠茶變色反應速率的影響。
3. 驗證綠茶的變色是否與兒茶素的氧化有關。
4. 探討溫度高低對綠茶變色反應速率的影響。
5. 探討酸鹼度對綠茶變色反應速率的影響。
6. 探討電解對綠茶變色反應的影響。
7. 檢驗電解綠茶時正極產生的紫黑色物質是否爲亞鐵離子(Fe^{2+})與兒茶素的反應生成物。
8. 再驗證兒茶素是綠茶變色的主因。

肆、研究設備及器材

恆溫水槽、電磁爐、穩壓器、電源供應器、伏特計、安培計、光敏電阻（22mm）、PH筆、鎢絲燈、氣體開關閥組、開關閥、壓力表、橡皮管、迴紋針、石墨碳棒、壓克力罐（250c.c）、錐形瓶（250c.c）、小茶杯（40c.c）、錶玻璃、滴管、水槽、溫度計、氫氧化鈉、3M 鹽酸、硫酸亞鐵、赤血鹽、二氧化錳、雙氧水、兒茶素膠囊（Catechin EGCg）、黑松就是茶（龍井綠茶 兒茶素含量：70mg/100ml）、統一茶裏王（台灣綠茶 兒茶素含量：45mg/100ml）。



伍、研究過程：

實驗一

目的：探討曝氣與否對綠茶變色速率的影響。

步驟 1. 取 20 cc 的蒸餾水使用實驗裝置(一)，電壓調整成 20V 測其電流大小，作爲校對之用。

步驟 2. 將就是茶配成體積百分濃度 50% 取 20 cc 使用實驗裝置(一)，調整電壓成 20V 測其電流大小。

- 步驟 3. 準備 2 個小茶杯倒入 40c.c. 步驟 1. 中的就是茶，並將其一蓋上玻璃片，放置於室溫下。
- 步驟 4. 每隔 4 小時觀察顏色變化，並取出 20c.c 使用實驗裝置（一），調整電壓為 20V 測其電流大小，測量完畢後倒回小茶杯，共測 3 次，隔日再測一次。（曝氣的杯子測量前須加入少量蒸餾水使體積維持 40 c.c.）
- 步驟 5. 以電流大小為縱座標，時間為橫座標，畫出兩者的關係圖。
- 步驟 6. 改用茶裏王，重複步驟 1~5。

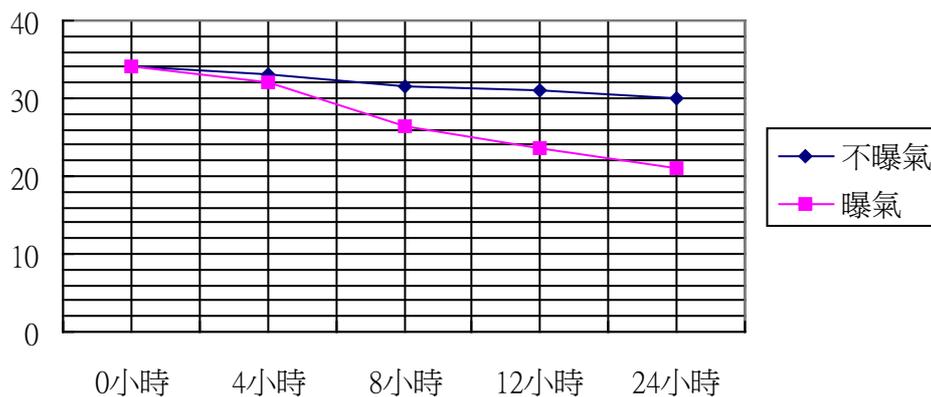
實驗裝置
〈一〉



結果：

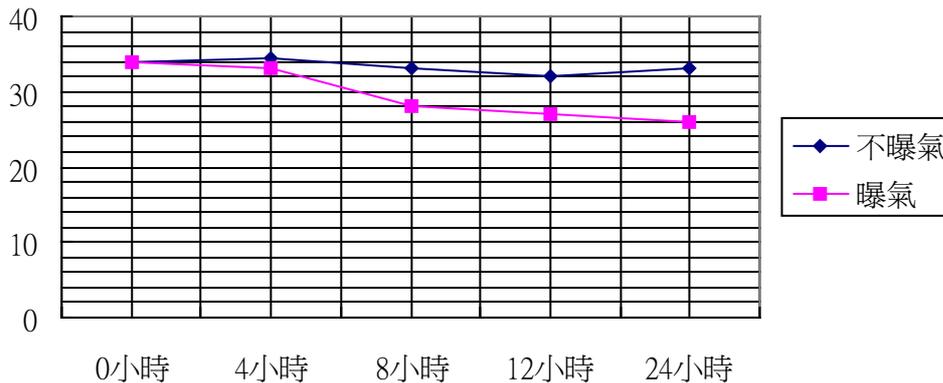
(1) 黑松就是茶 4/22 27°C 水 46mA

		0 小時	4 小時	8 小時	12 小時	24 小時
不曝氣 (加蓋)	電流大小	34mA	33mA	31.5mA	31mA	30mA
	相對透光率	0.74	0.72	0.68	0.67	0.65
	外觀顏色	金黃	金黃	金黃	金黃	銘黃
曝氣	電流大小	34mA	32mA	26.5mA	23.5mA	21mA
	相對透光率	0.74	0.70	0.58	0.51	0.46
	外觀顏色	金黃	金黃	紅棕	紅棕	紅棕



(2) 茶裏王 5/6 28°C 水 45mA

		0 小時	4 小時	8 小時	12 小時	24 小時
不曝氣 (加蓋)	電流大小	34mA	34.5mA	33mA	32mA	33mA
	透光率	0.76	0.77	0.73	0.71	0.73
	外觀顏色	金黃	金黃	金黃	金黃	銘黃
曝氣	電流大小	34mA	33mA	28mA	27mA	26mA
	透光率	0.76	0.73	0.62	0.60	0.58
	外觀顏色	金黃	金黃	紅棕	紅棕	紅棕



結論：綠茶在曝氣的環境下變色速率較快，8 個小時之後就可明顯看出兩者的差別，隨著時間增長，茶色逐漸加深，電流值也逐漸下降；不曝氣的即使經過 24 小時之後，茶色仍無明顯變化。

- 討論：**
- (1)在實驗裝置（一）中，測定 20 cc 的蒸餾水在 20V 之下的電流值，作為校準光敏電阻測量範圍之用。同時，我們定義： $\text{相對透光率} = \frac{20 \text{ cc 茶水的電流值}}{20 \text{ cc 蒸餾水的電流值}}$ ，作為比較茶色深淺的依據；在相同電壓下所測得電流值越小，表示茶色越深透光率也越低。
 - (2)光源由上方垂直照射，當光束透過茶液時部分被吸收；其餘通過的光量照射到光敏電阻。顏色越深，通過的光量越少，所測得的電流值越小。
 - (3)關於綠茶在曝氣的環境下較易變色的原因，我們推測可能是綠茶與空氣中的氧發生氧化。

實驗二

前言：從實驗一的結果中，我們推測綠茶的變色是一種氧化反應，為了驗證這個想法，我們進行下面的實驗加以探討。

目的：探討氧氣濃度對綠茶變色反應速率的影響。



步驟 1.使用實驗裝置(二-A)收集四瓶 250c.c 的純氧。

步驟 2.取 20 cc的蒸餾水使用實驗裝置(一)，電壓調整成 20V 測其電流大小，作為校對之用。

步驟 3.將就是茶配成體積百分濃度 50%取 20 cc使用實驗裝置(一)，電壓調整成 20V 測其電流大小。

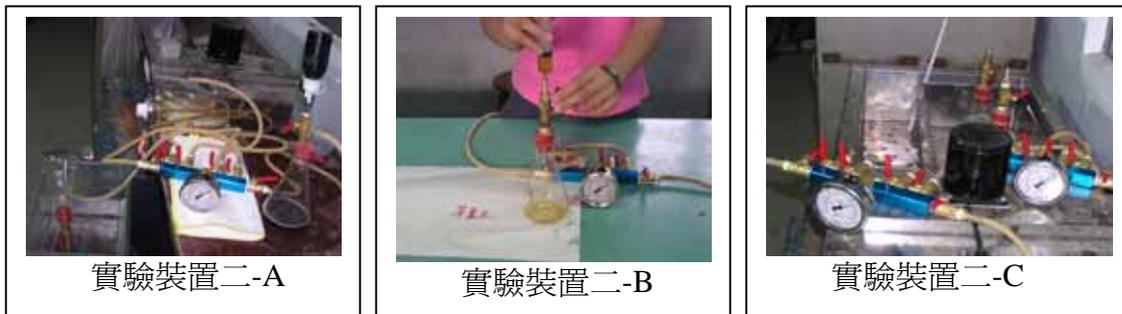
步驟 4.用注射針筒取步驟 3 中的就是茶 25c.c，打開開關閥並同時將茶液打入第 1 個氧氣瓶中（其餘三瓶留作後用），隨即關閉開關閥(如實驗裝置二-B)；另取 25c.c 的上述茶液倒入 250c.c 的錐形瓶中作為對照，塞緊橡皮塞後放入 50°C 的恆溫水槽中(如實驗裝置二-C)加熱。

步驟 5.每隔 1 小時取出茶水觀察顏色變化（並注意壓力有無變化），並取 20 cc使用實驗裝置（一），調整電壓 20V 測其電流大小。

步驟 6.測量完畢後再將茶水打入第 2 個純氧瓶中，重複步驟 4~5 共四次。

步驟 7.以電流大小為縱座標，時間為橫座標，畫出兩者的關係圖。

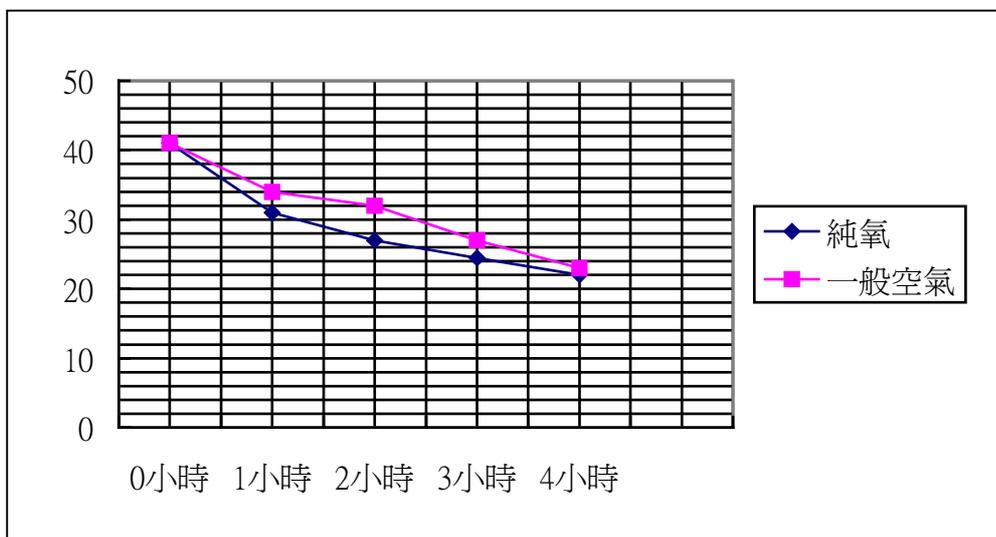
步驟 8.改以茶裏王，重複步驟 1~6。

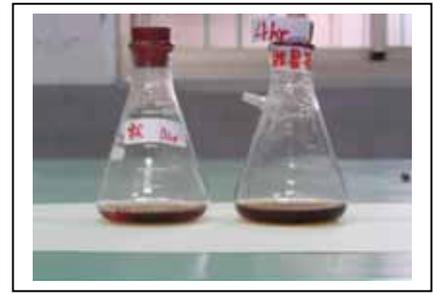


結果：

(1) 6/17 黑松就是茶 水 45mA

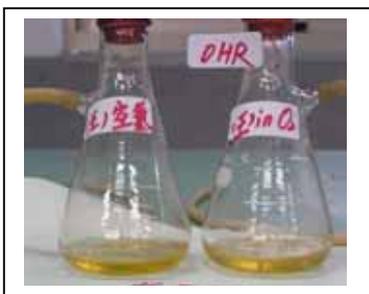
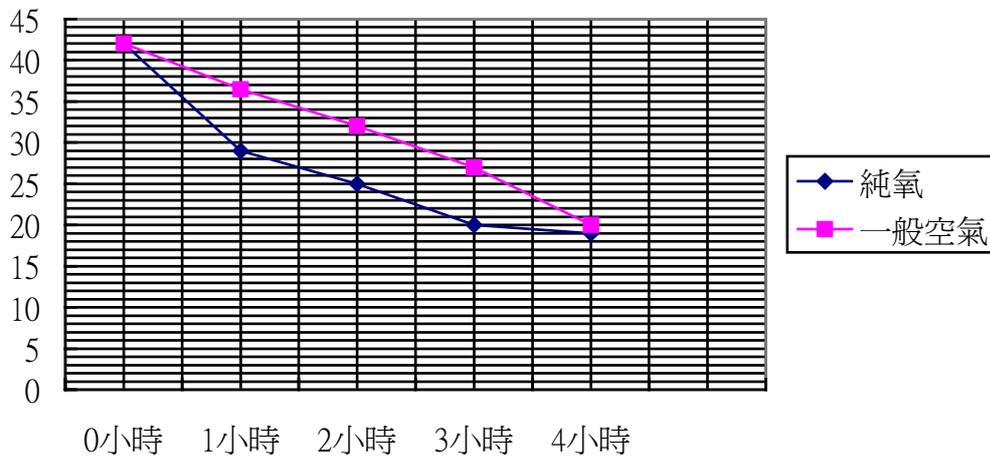
		0 小時	1 小時	2 小時	3 小時	4 小時
純氧	電流大小	41mA	31mA	27mA	24.5mA	22mA
	相對透光率	0.91	0.68	0.60	0.54	0.49
	外觀顏色	金黃	深橘黃	淺橘褐	紅棕	深紅棕
一般空氣	電流大小	41mA	34mA	32mA	27mA	23mA
	相對透光率	0.91	0.75	0.71	0.60	0.51
	外觀顏色	金黃	橘黃	淺橘	淺棕	紅棕





(2) 6/17 茶裏王 水 45mA

		0 小時	1 小時	2 小時	3 小時	4 小時
純氧	電流大小	42mA	29mA	25mA	20mA	19mA
	相對透光率	0.93	0.64	0.56	0.44	0.42
	外觀顏色	金黃	橘黃	深紅褐	咖啡	深紅棕
一般空氣	電流大小	42mA	36.5mA	32mA	27mA	20mA
	相對透光率	0.93	0.81	0.71	0.60	0.44
	外觀顏色	金黃	鎊黃	淺紅褐	玫瑰紅	紅棕



* 結論：綠茶在純氧中變色速率較快，經過一小時即有明顯的變色(空氣中需要二個小時)，電流值也顯著下降，隨著時間增長兩者的顏色都逐漸加深，電流值也繼續下降。

討論：(1)綠茶在純氧中的變色反應速率比在空氣中快速且明顯；由上述現象顯示：氧應該是參與此變色反應的反應物(氧濃度越高變色速率越快)，由此可以證明綠茶的變色反應是一種氧化反應。
 (2)氧在水中的溶解度很低(20°C飽和溶解度 9.2mg/l)，根據分壓定律：在純氧中，氧在水中的溶解度會增大；所以綠茶的氧化速率會較快。
 (3)反應前後壓力計的壓力變化不明顯(幾乎沒有變化)，在空氣中反應時維持在 1.0kgw/cm²，在純氧中則維持在 1.1kgw/cm²。表示：和綠茶反應所耗去氧氣的量很少。

實驗三

前言：究竟是綠茶中的哪一種成分發生氧化而使綠茶變色呢？在參考資料中查到：茶色的變化與兒茶素的發酵程度(氧化)有關，於是我們使用市售的綠茶素(Catechin, EGCg)來進行驗證。

目的：驗證綠茶的變色是否與兒茶素的氧化有關？

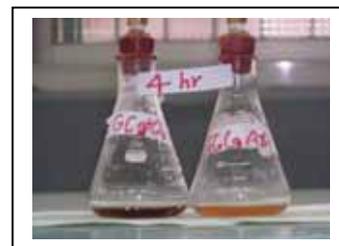
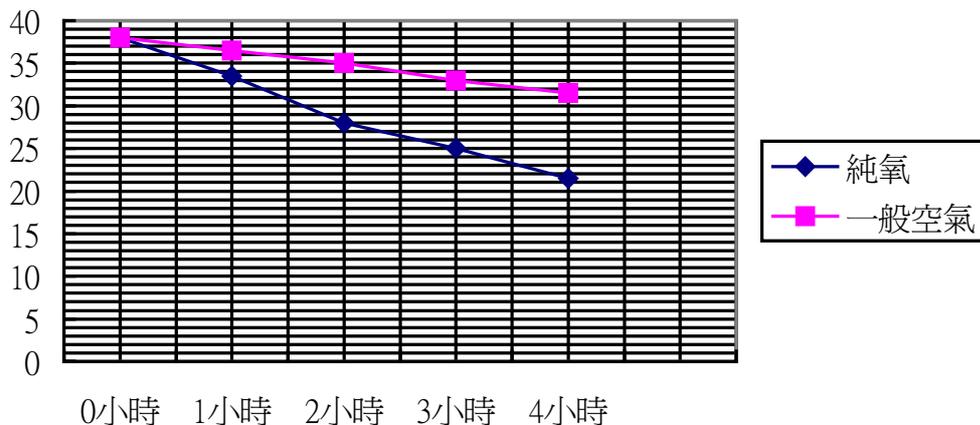
步驟 1. 在 300c.c. 的水中加入 3 顆綠茶素膠囊 (Catechin, EGCg)，配成 300mg/300c.c 的兒茶素溶液。

步驟 2. 進行實驗 (二) 步驟 1.2 及 4~7。

結果：

(1.) 6/19 兒茶素 (Catechin, EGCg)：300mg /300ml 水 45mA

		0 小時	1 小時	2 小時	3 小時	4 小時
純氧	電流大小	38mA	33.5mA	28mA	25mA	21.5mA
	相對透光率	0.84	0.74	0.62	0.56	0.48
	外觀顏色	橘紅	深橘紅	淺咖啡	咖啡	咖啡
一般空氣	電流大小	38mA	36.5mA	35mA	33mA	31.5mA
	相對透光率	0.84	0.81	0.78	0.73	0.70
	外觀顏色	橘紅	橘紅	深橘紅	淺咖啡	淺咖啡



結論：兒茶素氧化之後顏色會加深變紅，同時在純氧中變色速率比在空氣中來得快，這個結果與實驗二一致，由此可以確定綠茶中的兒茶素是造成綠茶變色的主因。

討論：1. 兒茶素的氧化會造成顏色的加深變紅，這種現象與綠茶的變色現象一致。所以，我們用下面的式子來表示兒茶素的變色反應：

兒茶素+氧→兒茶素的氧化物

(黃色) (紅色)

2.我們所調配兒茶素 (Catechin EGCG) 溶液，外觀上呈現出粉紅色而非黃色可能是在製造過程中被部分氧化所致 (加酸後顏色變回淡黃可說明)。

實驗四

目的：探討溫度高低對綠茶變色反應速率的影響。

步驟 1.取 20 cc的蒸餾水使用實驗裝置(一)，電壓調整成 20V 測其電流大小，作為校對之用。

步驟 2.將就是茶配成體積百分濃度 50%，取 20 cc使用實驗裝置一，調整電壓為 20V 測其電流大小並記錄。

步驟 3.取 3 個壓克力罐中各分別倒入步驟 1.的茶液 30c.c.並貼上標籤標示溫度為：室溫、50℃、70℃。

步驟 4.將 50℃及 70℃的壓克力罐分別置入 50℃及 70℃的恆溫水浴中 (如實驗裝置四-A 及四 B)。

步驟 5.每隔 30 分鐘各從壓克力罐中取 20 cc茶水，使用實驗裝置 (一)，電壓調整成 20V，測其電流大小並記錄顏色，測量完畢後再將茶水倒回原來的壓克力罐中，放回恆溫水浴中加熱，重複步驟 4 共四次。

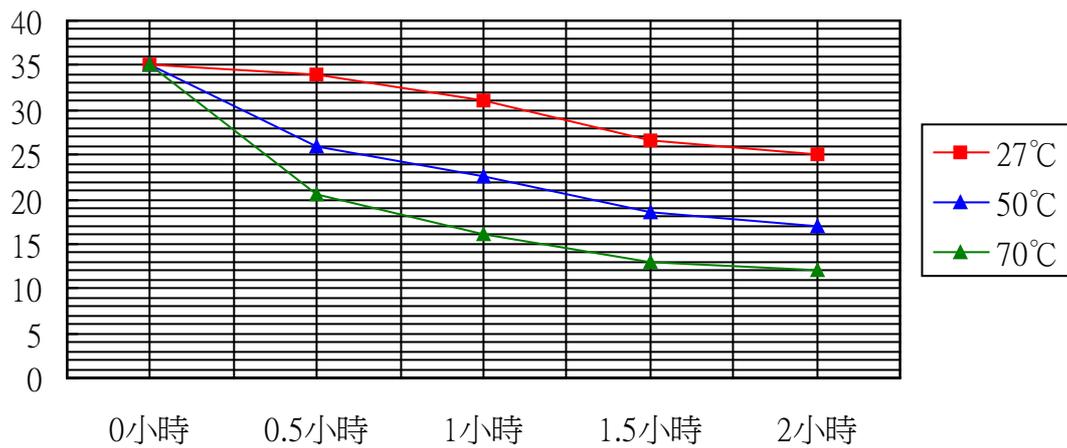
步驟 6.改以茶裏王重複步驟 1~5。



結果：

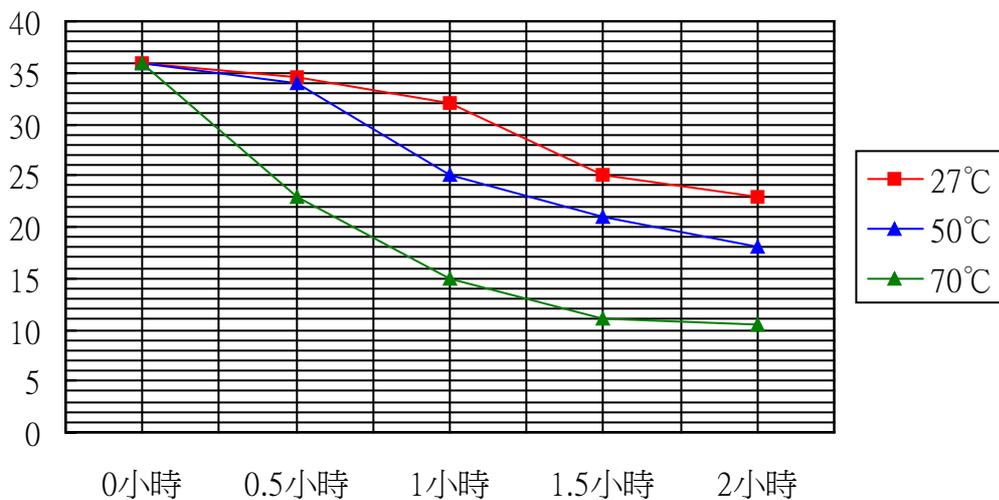
(1) 5/2 50% 就是茶 水 44mA

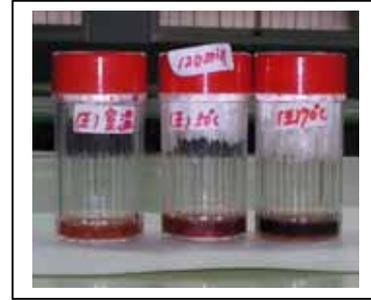
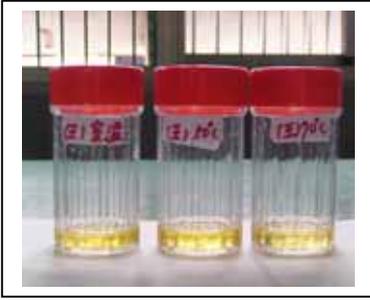
		0 小時	0.5 小時	1 小時	1.5 小時	2 小時
27℃ (室溫)	電流大小	35mA	34mA	31mA	26.5mA	25mA
	相對透光率	0.80	0.77	0.70	0.60	0.57
	外觀顏色	金黃	金黃	金黃	金黃	紅棕
50℃	電流大小	35mA	26mA	22.5mA	18.5mA	17mA
	相對透光率	0.80	0.59	0.51	0.42	0.39
	外觀顏色	金黃	橘黃	橘紅	紅棕	咖啡
70℃	電流大小	35mA	20.5mA	16mA	13mA	12mA
	相對透光率	0.80	0.47	0.36	0.30	0.27
	外觀顏色	金黃	紅棕	棕	咖啡	深咖啡



(2) 5/2 50%茶裏王 水 44mA

		0 小時	0.5 小時	1 小時	1.5 小時	2 小時
27°C (室溫)	電流大小	36mA	34.5mA	32mA	25mA	23mA
	相對透光率	0.82	0.78	0.73	0.57	0.52
	外觀顏色	金黃	金黃	金黃	橘黃	紅棕
50°C	電流大小	36mA	34mA	25mA	21mA	18mA
	相對透光率	0.82	0.77	0.57	0.48	0.41
	外觀顏色	金黃	橘黃	橘紅	紅棕	咖啡
70°C	電流大小	36mA	23mA	15mA	11mA	10.5mA
	相對透光率	0.82	0.52	0.34	0.25	0.24
	外觀顏色	金黃	紅棕	棕	咖啡	深咖啡





結論：在溫度越高的環境下，綠茶的顏色變化速率越快顏色也越深。

實驗五

目的：探討酸鹼度對綠茶變色反應速率的影響。

步驟 1. 拿五個壓克力罐個別加入 30c.c 的就是茶，編號甲~戊。

步驟 2. 甲杯滴入 3 滴的醋；乙杯滴入 3 滴的 HCl (3M)；丁杯滴入 1 滴 NaOH (4M)、戊杯入 3 滴的 NaOH (4M)；丙杯作為對照之用。

步驟 3. 用廣用試紙和 PH 筆分別測試上述五杯溶液的酸鹼值。(如實驗五-A)

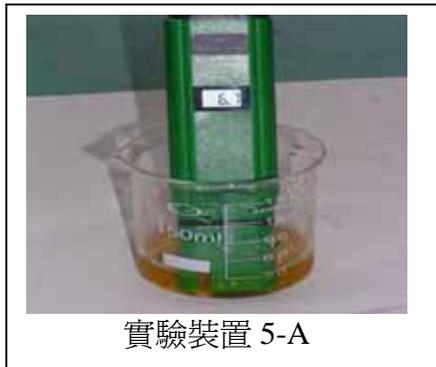
步驟 4 取 20 cc 的蒸餾水使用實驗裝置(一)，電壓調整成 20V 測其電流大小，作為校對之用。

步驟 5. 將這五種溶液分別取出 20c.c 用實驗裝置(一)，調整電壓為 20V，測量其電流大小，並記錄外觀顏色，隨後將其放至於 50°C 的恆溫水槽中加熱。(如實驗五-B)

步驟 6. 每隔 1 小時各取出 20c.c，調整電壓為 20V 測量其電流大小，並記錄外觀顏色。測量完畢後將茶水倒回原來的壓克力罐中，並放回恆溫水浴中加熱，重複步驟 4.~5. 共四次(最後一次測量之後再使用 PH 筆測其 PH 值)。

步驟 7. 以電流大小為縱座標，時間為橫座標，畫出兩者的關係圖。

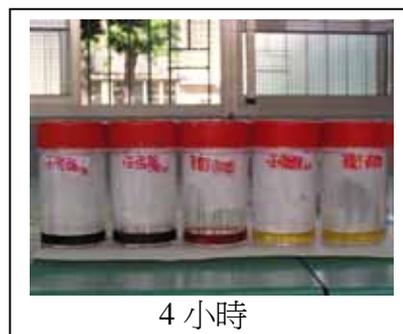
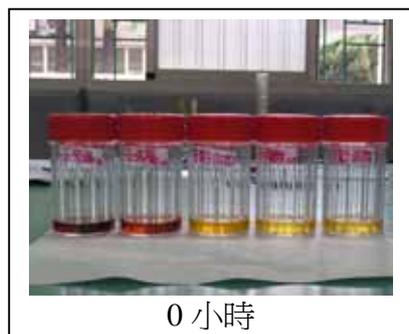
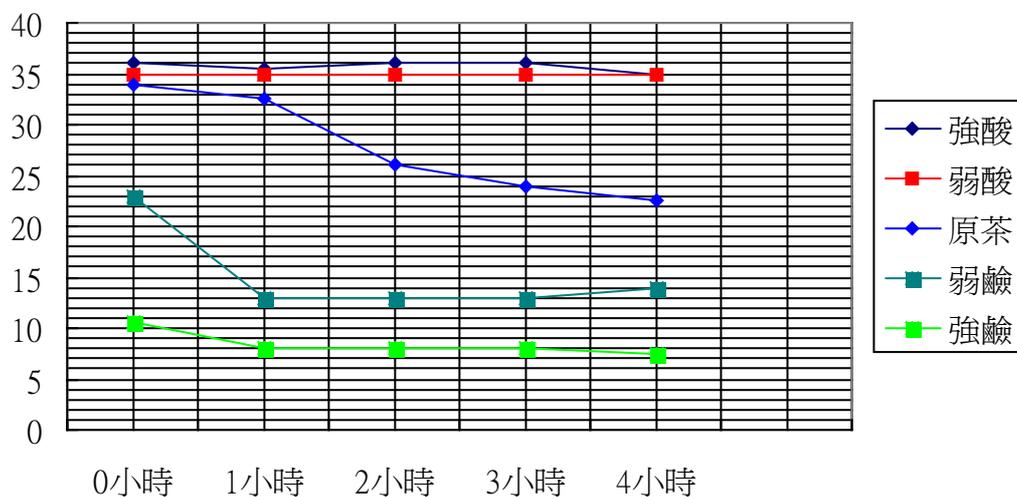
步驟 8. 改以茶裏王重複步驟 1~7。



結果：

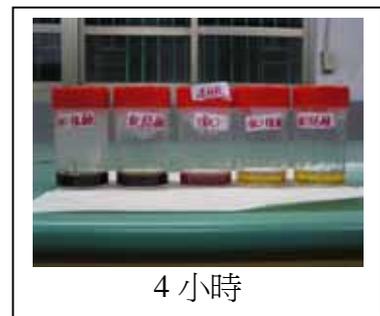
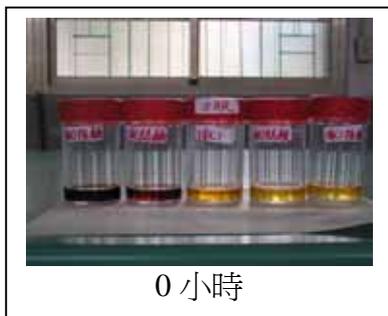
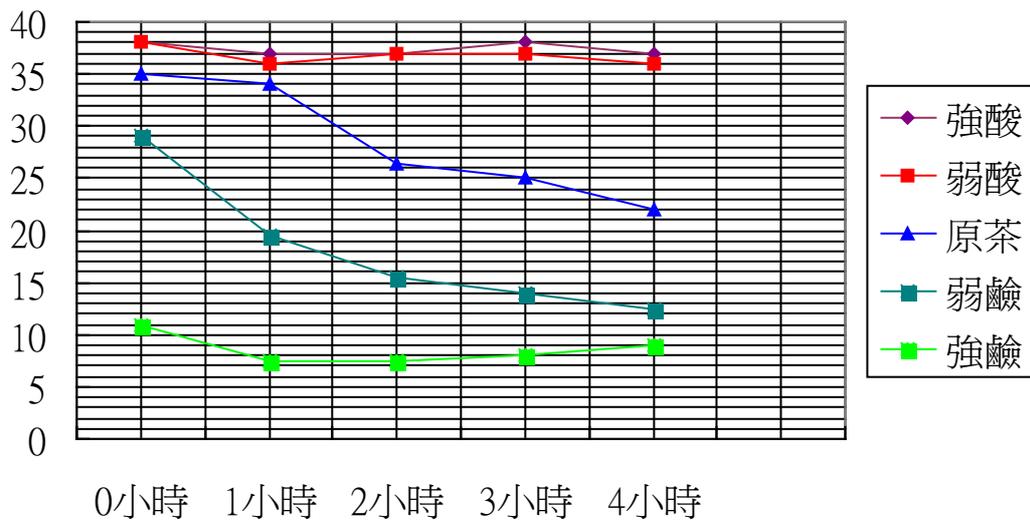
(1) 黑松就是茶 6/22 水 45mA

		0 小時	1 小時	2 小時	3 小時	4 小時	
甲 強酸 (2.1) 廣用試紙 (黃)	電流大小	36mA	35.5mA	36mA	36mA	35mA	PH 值 2.1
	相對透光率	0.80	0.79	0.80	0.80	0.77	
	外觀顏色	金黃	金黃	金黃	金黃	金黃	
乙 弱酸 (4.2) 廣用試紙 (紅)	電流大小	35mA	35mA	35mA	35mA	35mA	PH 值 4.1
	相對透光率	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	
	外觀顏色	金黃	金黃	金黃	金黃	金黃	
丙 原茶 (7) 廣用試紙 (綠)	電流大小	34mA	32.5mA	26mA	24mA	22.5mA	PH 值 6.9
	相對透光率	0.75	0.72	0.57	0.53	0.50	
	外觀顏色	金黃	金黃	紅棕	紅棕	紅棕	
丁 弱鹼 (10.1) 廣用試紙 (藍)	電流大小	23mA	13mA	13mA	13mA	14mA	PH 值 8.7
	相對透光率	0.51	0.29	0.29	0.29	0.31	
	外觀顏色	淺咖啡	淺咖啡	咖啡	咖啡	咖啡	
戊 強鹼 (12.0) 廣用試紙 (紫)	電流大小	10.5mA	8mA	8mA	8mA	7.5mA	PH 值 10.6
	相對透光率	0.23	0.18	0.18	0.18	0.17	
	外觀顏色	深咖啡	深咖啡	咖啡	咖啡	咖啡	



(2) 茶裏王 6/22 水 45mA

		0 小時	1 小時	2 小時	3 小時	4 小時	
甲 強酸 (2) 廣用試紙(黃)	電流大小	38mA	37mA	37mA	37mA	38mA	PH 值 1.9
	相對透光率	0.85	0.82	0.82	0.82	0.85	
	外觀顏色	金黃	金黃	金黃	金黃	金黃	
乙 弱酸 (4.5) 廣用試紙(紅)	電流大小	38mA	36mA	37mA	36mA	37mA	PH 值 4.7
	相對透光率	0.85	0.80	0.82	0.80	0.82	
	外觀顏色	金黃	金黃	金黃	金黃	金黃	
丙 原茶 (6.7) 廣用試紙(綠)	電流大小	35mA	34mA	26.5mA	25mA	22mA	PH 值 6.8
	相對透光率	0.77	0.76	0.59	0.56	0.49	
	外觀顏色	金黃	金黃	橘紅	紅	橘紅	
丁 弱鹼 (9.2) 廣用試紙(藍)	電流大小	29mA	19.5mA	15.5mA	12.5mA	14mA	PH 值 8.2
	相對透光率	0.64	0.43	0.34	0.27	0.31	
	外觀顏色	淡棕	深黑紅	淺黑紅	黑紅	黑紅	
戊 強鹼 (11.9) 廣用試紙(紫)	電流大小	11mA	7.5mA	7.5mA	9mA	8mA	PH 值 11.1
	相對透光率	0.24	0.17	0.17	0.20	0.18	
	外觀顏色	紅棕	暗紅	黑紅	黑紅	黑紅	



結論：綠茶（兒茶素）在 $\text{PH} < 4.5$ 以下很穩定，不會氧化成紅色，顯示酸會抑制兒茶素的變色反應；反之，在 $\text{PH} > 10$ 以上綠茶（兒茶素）會立即氧化變紅，顯示出鹼對兒茶素的變色反應有加速作用，鹼性越強，反應速率越快，變色程度也越明顯。

實驗六

目的：探討電解對綠茶變色反應的影響。

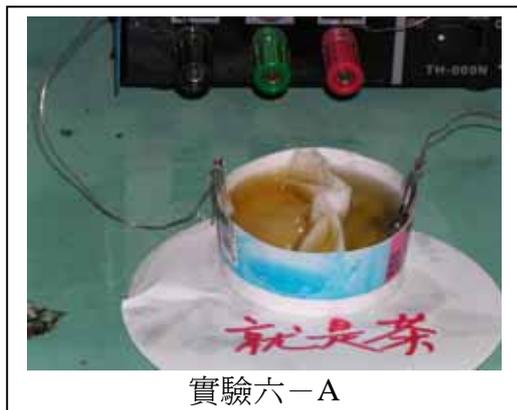
步驟 1. 在塑膠杯中倒入就是茶 20c.c。

步驟 2. 用濾紙對折將電解槽隔成兩半，並以迴紋針當電極分別連結電源供應器之正負極，調整電壓為 40V，電解 5 分鐘，如實驗裝置（六-A）。

步驟 3. 觀察正負極周圍的茶色變化及有無氣體產生，並用廣用試紙測試其酸鹼度。

步驟 4. 將電極改為石墨碳棒如實驗裝置（六-B），並進行步驟 1~3。

步驟 5. 改用茶裏王並進行步驟 1~4。



實驗六-A

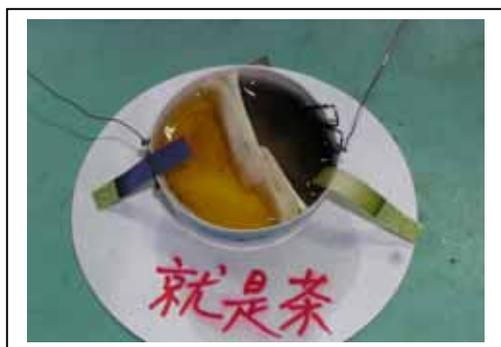


實驗六-B

結果：

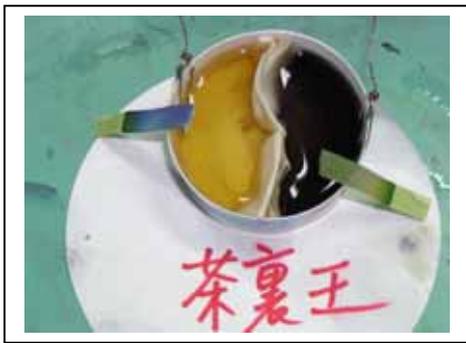
(1) 就是茶

正負極 電極材料	正極			負極		
	廣用試紙呈色	茶色變化	有無氣體產生	廣用試紙呈色	茶色變化	有無氣體產生
迴紋針	綠	變黑	無	紫	變深	有
石墨碳棒	橘紅	稍微變淡	有（較慢）	紫	變深	有（較快）



(2) 茶裏王

正負極 電極材料	正極			負極		
	廣用試紙呈色	茶色變化	有無氣體產生	廣用試紙呈色	茶色變化	有無氣體產生
迴紋針	綠	變黑	無	紫	變深	有
石墨碳棒	橘紅	稍微變淡	有（較慢）	紫	變深	有（較快）



討論：★綠茶中所含的電解質濃度極低，所以不易導電。電解時，主要是水被電解。

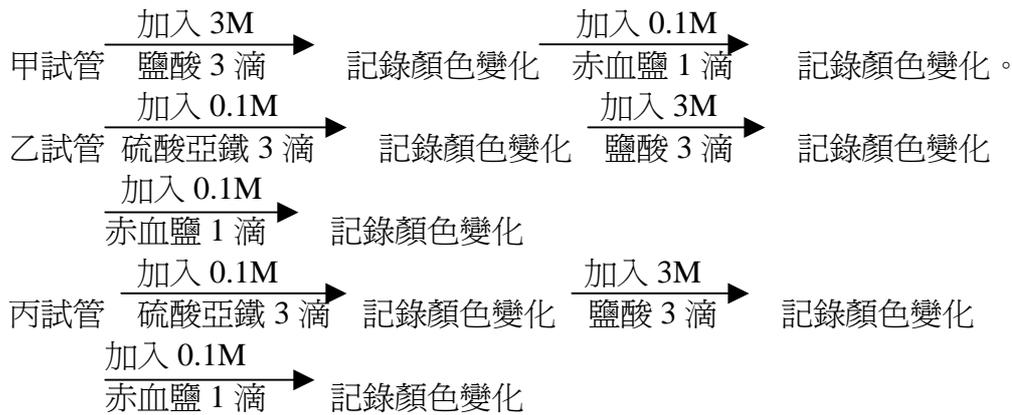
若以石墨為電極，正極的反應為： $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + 1/2\text{O}_2 + 2\text{e}^-$ ，所以呈酸性，茶色稍微變淡；負極的反應為： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ ，所以呈鹼性，茶色明顯變深；因此，出現明顯的陰陽海現象。當以迴紋針當電極時，負極的反應不變（ $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ ），而正極呈現紫黑色，我們推測可能是鐵被電解產生亞鐵離子（ $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ ），與綠茶中的兒茶素反應生成一種錯化合物，我們將在實驗（七）進行檢驗。

實驗七

目的：檢驗電解綠茶時正極產生的紫黑色物質是否為亞鐵離子與兒茶素的反應生成物。

步驟 1. 取三支試管依序倒入 3 cc 的實驗(六)紫黑色物質、就是茶、兒茶素(EGCg)，並編號為(甲)、(乙)、(丙)。

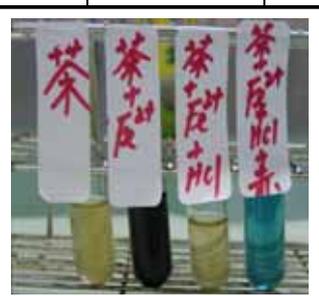
步驟 2. 將甲、乙、丙三試管依下述流程進行操作：



步驟 3. 比較 (甲)、(乙)、(丙) 試管最後的顏色是否相同。

結果：

試管編號	顏色	加入 3 滴 0.1M FeSO_4	再加入 3 滴 3M HCl	最後加入 1 滴 0.1M $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$
甲(紫黑)			淡黃	深藍
乙(金黃)		紫黑	淡黃	深藍
丙(橘紅)		紫黑	淡黃	深藍



結論：比對(甲)、(乙)、(丙)三隻試管變色過程，及最後加入赤血鹽都成深藍色，可以證明：紫黑色物質為亞鐵離子與兒茶素所生成的錯化合物無誤。

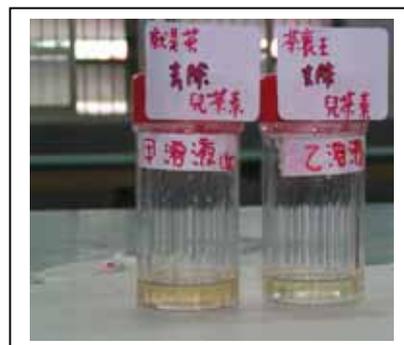
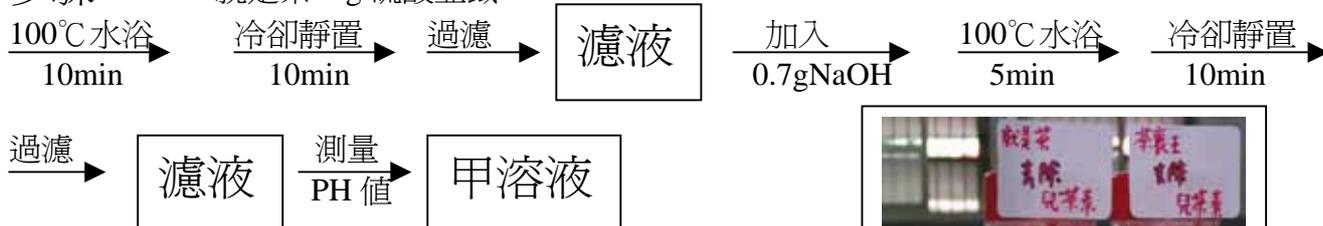
討論：綠茶中的兒茶素是一種多酚類化合物，遇到正極迴紋針被電解時所產生的亞鐵離子 ($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$)，會形成一種紫黑色的錯化合物(這是一種檢驗多酚類的方法)，加入酸之後這種錯化合物會被破壞，所以顏色會變回淡黃色(原來的茶色)，當再加入赤血鹽之後亞鐵離子會與赤血鹽形成另一種新的深藍色化合物 ($2\text{Fe}(\text{CN})_6 + 3\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$)。

實驗八

前言:在實驗三中證實兒茶素是造成綠茶變色的主因，所以我們想要探討去除兒茶素之後綠茶是否變色。

目的:再驗證兒茶素是綠茶變色的主因。

步驟 1.50c.c 就是茶+1g 硫酸亞鐵→



2.改以茶裏王依上述流程製取乙溶液。

3.分別取 30 cc 的甲、乙兩溶液各倒入 250 cc 的壓克力罐中。

4.取 20 cc 的蒸餾水使用實驗裝置(一)，電壓調整成 20V 測其電流大小，作為校對之用。

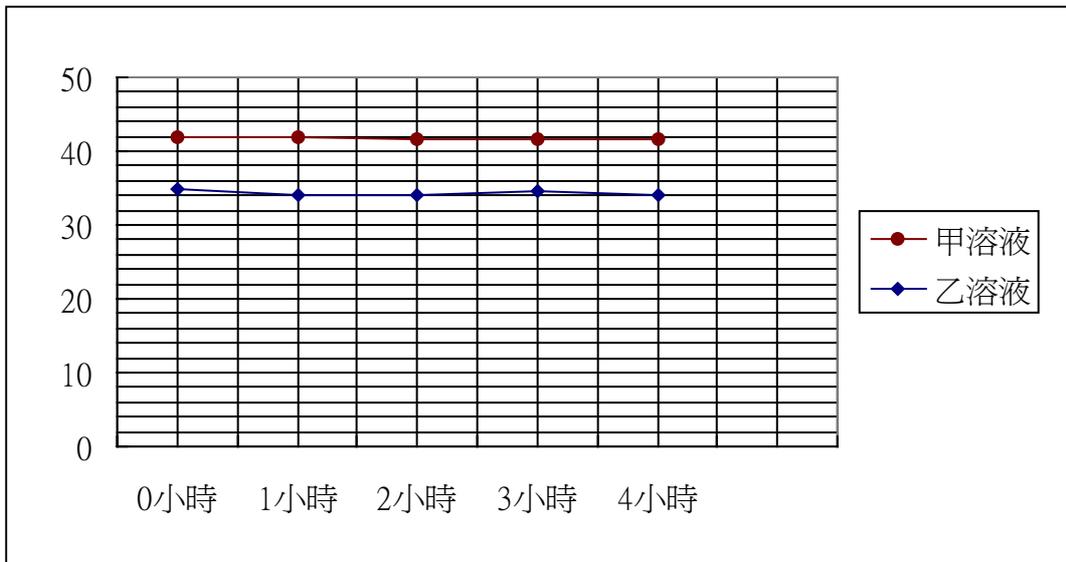
5.將兩種溶液分別取出 20c.c 用實驗裝置(一)，調整電壓為 20V，測量其電流大小，並記錄外觀顏色，隨後將其放至於 50°C 的恆溫水槽中。

6.每隔 1 小時各取出 20c.c 甲、乙溶液，調整電壓為 20V 測量其電流大小，並記錄外觀顏色。測量完畢後將茶水倒回原來的壓克力罐中，並放回恆溫水浴中加熱，重複步驟 4~6 共四次(最後一次測量之後再使用 PH 筆測其 PH 值)。

7.以電流大小為縱座標，時間為橫座標，畫出兩者的關係圖。

結果： 6/30 水 45mA

	0 小時	1 小時	2 小時	3 小時	4 小時	
甲溶液 (PH = 12.4)	42mA	42mA	41.5mA	41.5mA	41.5mA	PH 值
外觀顏色	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃	12.2
乙溶液 (PH = 11.4)	35mA	34mA	34mA	34.5mA	34mA	PH 值
外觀顏色	淡黃綠	淡黃綠	淡黃綠	淡黃綠	淡黃綠	11.3



結論：當綠茶中的兒茶素被脫去後，即使在強鹼、高溫的環境下也不會發生變色（電流值維持不變）。由此結果可以再次證明：綠茶的變色是由兒茶素的氧化所造成的。

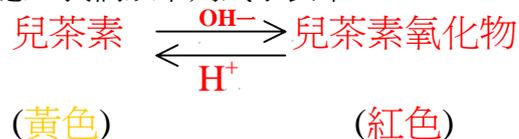
討論：在步驟 1 中加入氫氧化鈉可將茶液中殘留的亞鐵離子反應生成氫氧化亞鐵（墨綠色）沉澱，以免亞鐵離子氧化干擾實驗結果。

陸、研究總結：

1. 我們應用光敏電阻所設計的實驗裝置（一），能夠準確的測出綠茶（兒茶素）在變色過程中的色度深淺，可以作為測定綠茶（兒茶素）變色反應速率的有效方法。
2. 由實驗（二）、（三）、（四）結果可以得知：綠茶在有氧、高溫條件下變色較快，而在鹼性條件下則會立即變色。
3. 由實驗（二）中，我們得知氧的濃度愈高綠茶的變色速率愈快，可知氧是參與該反應的反應物，並經由實驗（三）兒茶素（Catechin, EGCg）的驗證及實驗（八）的再驗證，證實兒茶素的氧化是造成綠茶變色的主因，我們以下列式子來表示上述變色反應：



4. 在實驗（五）中，我們得知綠茶（兒茶素）在 $\text{PH} < 4.5$ 以下很穩定，不會氧化成紅色，顯示酸會抑制兒茶素的變色反應；反之，在 $\text{PH} > 10$ 以上綠茶（兒茶素）會立即氧化變紅，顯示出鹼對兒茶素的變色反應有加速作用。由此可知綠茶（兒茶素）的變色在酸鹼的影響下是一種可逆反應，我們以下列式子表示：



5. 從實驗（二）與實驗（五）結果比較，綠茶（兒茶素）在鹼性條件下會立即氧化變紅的原因，我們推測：可能是在 OH^- 條件下，可以進行一種分子間縮合氧化反應，才會如此快速（見補充資料）。不過，這個論點仍有待進一步探討。
6. 經由實驗（七）的驗證，可以證實實驗（六）中正極附近產生紫黑色物質的原因，是因為綠茶中的兒茶素是一種多酚類的化合物，與正極所電解產生的亞鐵離子（ Fe^{2+} ）生成錯化合物而顯色，這是多酚類化合物的特徵反應。

柒、參考資料：

- 1.鄧美貴主編 自然與生活科技 國中 2 下 康軒文教事業 93 年版
- 2.「茶顏」觀色妙趣多 中華民國 43 屆中小學科學展覽專輯 國立科學教育館
- 3.作者：狄瑩石碧 化學通報 1999 年第 3 期(植物單寧化學研究進展)
網址：<http://www.dfm.com.tw/liture/china/化學通報/new/990301.htm>
- 4.兒茶素和茶 網址：<http://wangtea.com.tw/html/teacate.htm>
- 5 作者:吳敬塘等編著 基礎化學第 3 冊總複習 成龍圖書公司出版
- 6.李佳熹 探討茶液成分受光貯存時間之影響 台灣 2003 年國際科學展覽會

評語

030221 國中組化學科 第三名

綠茶的臉變紅了—應用光敏電阻探討綠茶的變色反應速率
及成因

探討綠茶隨時間變色之原因，數據豐富且完整，唯沒有充分的數據支持測試化合物之純度。