

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

第三名

030218

搞什麼？多酚亂變色！

學校名稱：新竹市立建華國民中學

作者： 國一 陳歆妍 國一 許程硯 國一 鄭閔中	指導老師： 張維真 蔡芳珮
---	-----------------------------

關鍵詞：多酚、雙氧水、自身還原氧化

搞什麼？多酚亂變色！

摘要

我們用廢棄顯微鏡改造的「終極耗氧測定儀」能更簡單、精準地偵測肉眼觀察不到的氧化反應，因此發現了蔬果中「多酚」及「維他命 C」兩者間的相對含量微妙地牽動了蔬果是否「變色」及「氧化」的特性。

我們也在「多酚變色」的一連串反應中發現了似乎違背「反應物濃度越高反應速率越快」的詭異現象，開啟了奇異變色探索之旅，驚訝地發現：「多酚」之所以能與「雙氧水」發生神秘的變色反應，竟然是因「多酚」的氧化電位剛好卡在「雙氧水自身氧化還原」的電位之間，巧妙地啟動了雙氧水在「不同濃度」下「不對等速率」的「自身還原」和「自身氧化」！我們也意外發現了蔬果中竟藏有從不氧化現身的「隱形多酚」，被我們無意間以「強鹼」給「逼」了出來，好奇嗎？一起來玩玩吧！

壹、研究動機

由之前的專題研究得知「維他命 C」是一種天然抗氧化劑，可以抑制蘋果汁中的「多酚」褐變氧化為深褐色的「醜」聚合物，使蘋果汁「美白」不變色；但是常聽新聞報導關於黑心商人為了漂白水果、食品乾貨、免洗筷等而添加過量「雙氧水」，致危害人體，令我們好奇的是：是什麼道理讓「雙氧水」會和「維他命 C」一樣能漂白水果？我們動手改造出能更精準測量「耗氧速率」的新裝置，希望能探討蔬果中「多酚」與「維他命 C」的相對含量，與蔬果間氧化變色的關聯性；進一步找出造成「多酚」奇異變色反應的關鍵大秘密。

說明：

1. 「多酚類的化合物」普遍存在許多植物中，是造成植物變色的重要物質，以下實驗探討蔬果汁的「褐變反應」，主要就是由「多酚」的氧化所造成。
2. 二下自然與生活科技：氧化還原、常見的酸與鹼、催化劑對反應速率的影響、可逆反應與平衡、大氣壓力

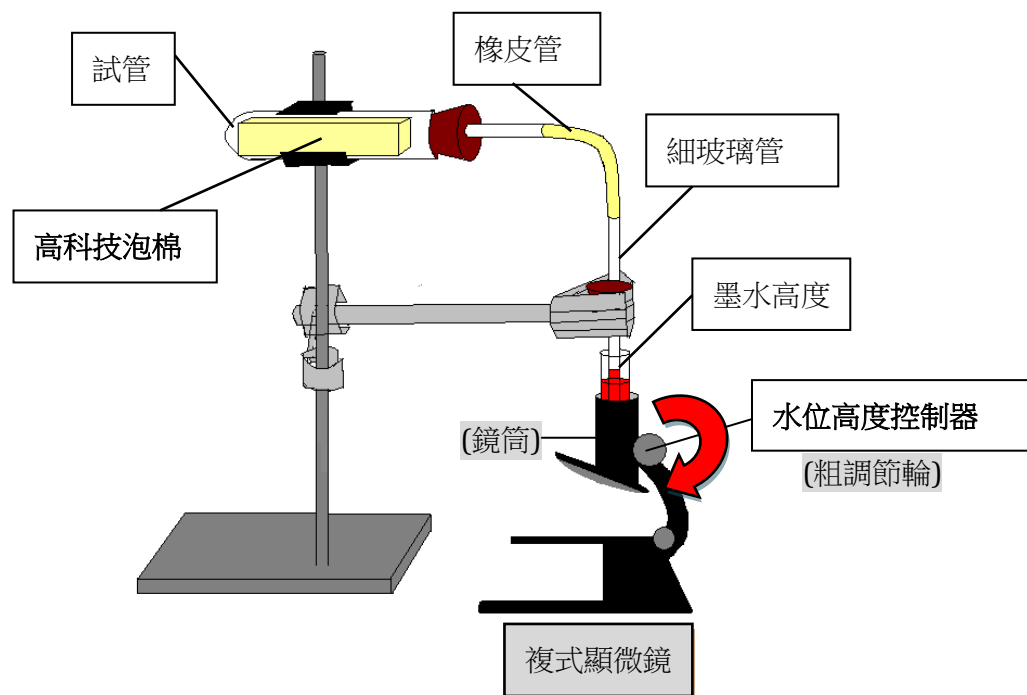
貳、研究目的

- 一、找出維他命 C 含量不同的蔬果汁在空氣中「顏色變化」及「氧化速率」間的關係。
- 二、探討加入不同濃度的維他命 C（強還原劑）對蘋果中多酚的「顏色變化」及「氧化速率」影響。
- 三、探討加入不同濃度的雙氧水（強氧化劑），對果汁中多酚的「顏色變化」影響。
- 四、探討在不同的「酸」、「鹼」環境下，果汁中多酚的「顏色變化」、「氧化速率」及「反應機制」影響。
- 五、探討加入亞鐵離子，對不同濃度的雙氧水自身氧化還原反應速率的影響，並進一步推論多酚與雙氧水奇異的反應機制。

參、研究設備及器材

一、自製終極耗氧測定儀裝置說明

- 1、我們以廢棄的「**複式顯微鏡**」改良測定耗氧程度的裝置，使得每次測量的墨水起始位置都與「水平面」等高，大大提升了實驗的精準度和便利性。
- 2、拔掉顯微鏡的目鏡，將墨水試管插入鏡筒中，當轉動「粗調節輪」時即可快速精準地升降墨水高度。
- 3、「**以高科技泡綿**」吸取待測汁液塞入試管中，用軟木塞塞緊，如下圖。
- 4、當塞緊軟木塞時，內部壓力增大會壓迫細玻璃管內墨水下降，造成細玻璃管內外墨水液面有高度差，此時立刻旋轉「水位高度控制器」（即粗調節輪）降下墨水試管，使與細玻璃管內液面對齊等高，作為起始測量點。
- 5、當水果汁液氧化消耗掉試管中的氧氣時，試管及玻璃管內的壓力變小，而墨水試管內的壓力並沒有變（仍是一大氣壓）。在墨水試管內的壓力大於玻璃管內的壓力時，墨水就會被大氣壓力擠入玻璃管中，進而使玻璃管中的水位上升，我們就以「**水位上升的幅度**」來做「**氧化速率快慢**」的依據。



自製終極耗氧測定儀：探測耗氧速率的快慢
(註：參考「空氣中氧氣組成」的定量實驗改良而成)

*說明：「高科技泡綿」：主要成分是 melamine (美耐皿)，發泡製成海綿。奈米級的結構使它擁有「高表面積、高彈性」的特性，可使待測汁液充分和空氣接觸而增加氧化速率。

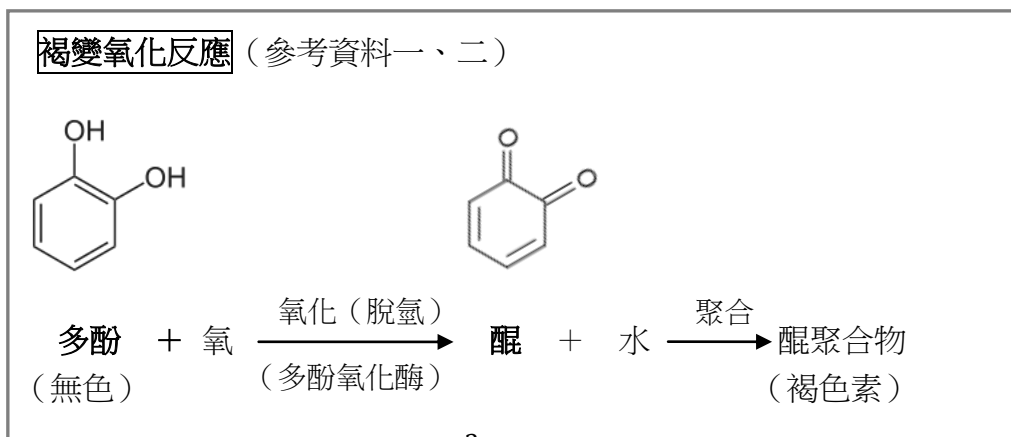
二、藥品器材

藥品、器材		
鹽酸 氫氧化鈉 硫酸亞鐵 雙氧水 維他命 C 水果刀 高科技泡綿 刨刀		緩衝液 pH4 緩衝液 pH7 緩衝液 pH10 pH 測量筆 芭樂 蘋果 西洋梨
臭氧機 大小燒杯 電子天平 粗細試管 量筒 刮杓 滴管		蔬果榨汁機 終極耗氧測定儀 試管架

三、原理說明

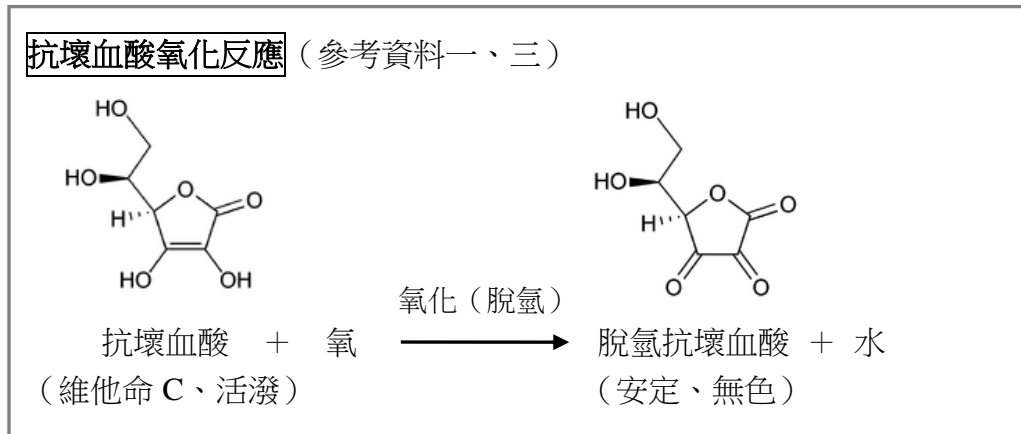
(一) 多酚的氧化：

切開後的蘋果和西洋梨放在空氣中一會兒就會變成褐色。這種變色反應是氧化的結果沒錯，但不是鐵的氧化，而是一群叫「多酚」的有機物質在酵素催化下氧化成「醌」後，再聚合成「醌聚合物」（褐色素）的結果。這就是水果發生「褐變」的主要因素。

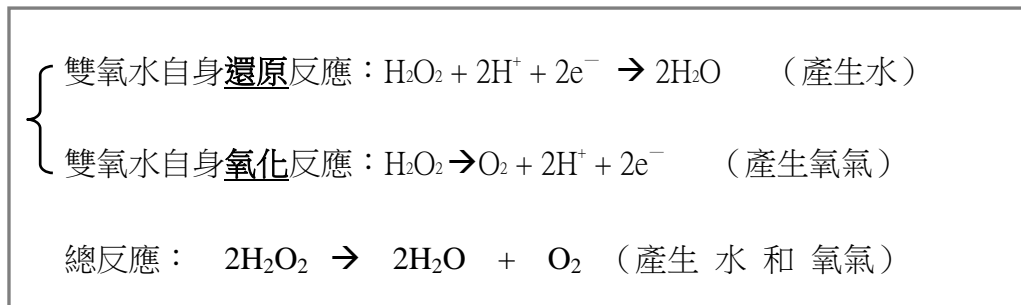


(二) 抗壞血酸氧化

維他命 C (抗壞血酸) 是蔬果中常有的天然抗氧化劑，本身很活潑，容易氧化成為脫氫抗壞血酸，是一種天然的「抗氧化劑」或「還原劑」



(三) 雙氧水的自身氧化還原反應 (參考資料十)



肆、研究過程或方法

一、找出維他命 C 含量不同的蔬果汁在空氣中「顏色變化」及「氧化速率」間的關係。

(一) **實驗一 A**：觀察 Vit C 含量不同的蔬果汁，靜置一段時間後的顏色的變化。

1、取下列蔬果汁 10g，靜置於試管內一日，觀察前後顏色變化

1.小黃瓜	2.椰菜	3.西洋芹	4.芭樂	5.棗子
6.蘋果	7.青椒	8.柳丁	9.紅蘿蔔	

(二) **實驗一 B**：將實驗一 A 的新鮮蔬果汁利用「終極耗氧測定儀」測量氧化速率 (即水位上升快慢)。

- 1、將高科技泡綿切成 $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 11\text{cm}$ 長條。
- 2、在電子秤上的試管架放入細試管、插上漏斗後歸零。
- 3、用蔬果榨汁機榨出 10g 的蔬果汁於試管中，迅速塞入高科技泡綿吸取汁液。
- 4、將試管裝回「終極耗氧測定儀」上，將橡皮塞鎖緊 (細玻璃管內水面下降)。
- 5、轉動「水位高度控制器」(粗調節輪) 降下藍墨水試管，使細玻璃管內外「水平面」高度對齊。
6. 每 3 分鐘紀錄一次水面高度及顏色變化，持續 18 分鐘。

二、探討加入不同濃度的**維他命 C**（強還原劑）對蘋果中多酚的「顏色變化」及「氧化速率」影響。

(一) **實驗二 A**：觀察不同濃度的維他命 C 在試管內以不同比例混合新鮮蘋果汁，靜置一天後的顏色變化。

- 1、調配重量百分濃度 1/10000、1/1000、1/100 的維他命 C 溶液。
- 2、三種濃度的維他命 C 溶液各取 0g、1g、2g、3g、4g 加入試管中。
- 3、榨取新鮮蘋果汁以 60ml 粗針筒吸滿後，在電子天平上各試管內各注入蘋果汁至總重 10g，並快速混勻。
- 4、靜置觀察顏色變化。
- 5、改以西洋梨汁 10g 加入各 1g 各濃度的維他命 C 看看是否有與蘋果類似的結果（抑制變色）【對照實驗】

注意：(1)蘋果汁、西洋梨汁必須「後」加，且要「立刻」搖勻，否則來不及阻止褐變發生。

(2)Vat C 溶液本身為黃色（含有食用色素），加多了會偏黃色。

(二) **實驗二 B**：用已褐變後的蘋果汁（深褐色）加入不同比例的 1 / 1 0 0 維他命 C，觀測是否能逆轉（淡化）顏色。

- 1、在試管架上放五支試管，分別加入 0g、1g、2g、3g、4g 的 1 / 1 0 0 維他命 C。
- 2、用已褐變的蘋果汁在試管內各注入至總重 10g，並快速混勻。
- 3、靜置觀察其顏色變化。

(三) **實驗二 C**：將不同比例 1 % 的維他命 C 與蘋果汁混和，測量氧化速率（水位上升快慢）及顏色變化

- 1、使用「終極耗氧測定儀」觀測。（步驟同**實驗一 B**）
- 2、混合不同比例的維他命和蘋果汁。
- 3、紀錄水位上升高度及顏色變化。

三、探討加入不同濃度的**雙氧水**（強氧化劑），對果汁中多酚「顏色變化」。

(一) **實驗三 A**：觀察不同濃度的雙氧水，對蘋果汁顏色的影響。

- 1、調配 0.035%、0.35%、3.5% 和 35% 的雙氧水，各取 1g 加入試管中。
- 2、各倒入 10g 的蘋果汁，觀察其顏色變化。
- 3、再以西洋梨汁觀察是否有與蘋果汁類似的結果【對照實驗】

(二) **實驗三 B**：觀察 35% 雙氧水加入 **芭樂汁/ 蘋果汁/ 西洋梨汁** 後的顏色變化

- 1.榨取 20g 的新鮮芭樂汁/蘋果汁/西洋梨汁。
- 2.倒入燒杯，滴入 2g 35% 的雙氧水。
- 3.觀察其顏色變化及冒泡情形。

- (三) **實驗三 C**：【對照實驗】將靜置一天的蘋果汁（已褐變）、西洋梨汁（已褐變）和芭樂汁（不會褐變）打入**臭氧**（ O_3 ），觀察顏色變化。
1. 已褐變的蘋果汁、西洋梨汁和芭樂汁，用臭氧機每次 30 分鐘打入臭氧，打 4 次（2 小時）觀察顏色變化。
 2. 靜置到隔天觀察顏色變化。

四、探討在不同的「**酸**」、「**鹼**」環境下，果汁中多酚的「**顏色變化**」、「**氧化速率**」及「**反應機制**」。

- (一) **實驗四 A**：蘋果汁/西洋梨/芭樂汁 加 **酸** or **鹼**，觀察「**顏色變化**」與測定「**氧化速率**」。
- 1、調配 pH2、pH4 的**鹽酸**水溶液及 pH11、pH13 的**氫氧化鈉**水溶液。
 - 2、各取 1ml 上述酸、鹼加入試管中，再加入 5g 的液體(蘋果汁、西洋梨汁、芭樂汁)至試管中，觀察顏色變化。
 - 3、再用「**終極號氧測定儀**」分別測定上述**純果汁**、果汁**加強酸**、果汁**加強鹼**的氧化速率（註：強酸即 pH2 的 HCl；強鹼即 pH13 的 NaOH）。
- (二) **實驗四 B**：蘋果汁/西洋梨/芭樂汁 加酸 or 鹼（**實驗四、A**）反應完成後，再度改變環境酸鹼度（原加**酸**果汁反滴 **2 倍**的**鹼**、原加**鹼**果汁反滴 **2 倍**的**酸**），觀察 pH 值及顏色變化。
- 1、將**實驗四 A** 靜置一天後，原有加 1ml pH2 及 pH4 鹽酸溶液的試管反加入 2ml pH13 及 pH11 的氫氧化鈉。
 - 2、承上，原有加 1ml pH13 及 pH11 氫氧化鈉溶液的試管反加入 2ml pH1 及 pH3 的鹽酸。
 - 3、靜置一天，觀察其顏色的變化。

五、探討加入不同濃度的**亞鐵離子**，對**雙氧水**自身氧化還原反應的影響，並進一步推論**多酚**與**雙氧水**奇異的反應機制。

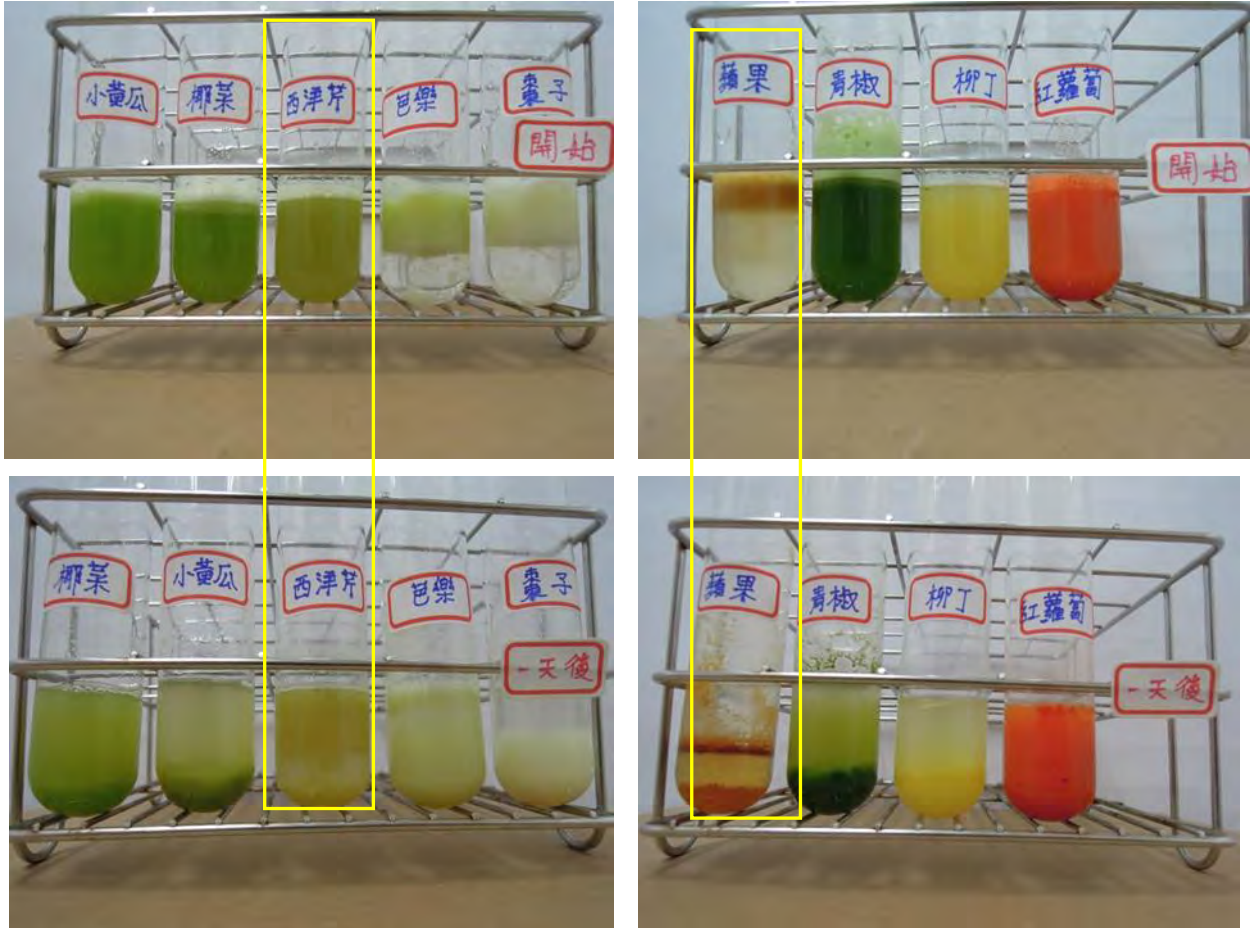
- (一) **實驗五**：
- 1、調配 0.5M 的硫酸亞鐵溶液（接近透明），取 5g 加入最左邊試管當對照。
 - 2、調配 0.035%、0.35%、3.5%和 35%的雙氧水，各取 5g 加入空試管中。
 - 3、在雙氧水的試管中各加入 2g 上述的硫酸亞鐵溶液，觀察其顏色變化及冒泡情形。

(說明)：上述所有實驗加入試劑時的「**電子天平秤重裝置**」如右：（能精準顯示重量又可隨時歸零，很好用）



伍、研究結果

- 一、找出維他命 C 含量不同的蔬果汁在空氣中「顏色變化」及「氧化速率」間的關係。
 (一) 實驗一 A：觀察 Vat C 含量不同的蔬果汁，靜置一段時間後的顏色的變化。



1	蔬果汁	1.小黃瓜	2.椰菜	3.西洋芹	4.芭樂	5.棗子
	維他命 C 含量(mg/100g)	3	90	3.1	100	500
	開始顏色	綠	綠	墨綠	綠白色	綠白色
	一天後顏色	綠(沉澱)	綠(沉澱)	黃綠(沉澱)	白色	白色
	蔬果汁	6.蘋果	7.青椒	8.柳丁	9.紅蘿蔔	
	維他命 C 含量(mg/100g)	6	80	38	9	
	開始顏色	黃褐	深綠	黃色	橘紅色	
	一天後顏色	深褐(沉澱)	深綠	黃色	橘紅色	

(Vat C 含量來源：參考資料七、八、九、十)

- 除了西洋芹、蘋果汁會變色（維他命 C 含量很低），其餘幾乎不變色。
- 小黃瓜維他命 C 含量也很低，但不變色。

(二) **實驗一 B**：將實驗一 A 的新鮮蔬果汁利用「終極耗氧測定儀」測量氧化速率（即水位上升快慢）。

1. 蔬果汁氧化速率（上升高度）：

時間 蔬果汁	維他命 C mg/100g	3min (mm)	6min (mm)	9min (mm)	12min (mm)	15min (mm)	18min (mm)
1.小黃瓜	3	3	3	4	4	4	4
2.椰 菜	90	12	16	20	22	22	22
3.西洋芹	3.1	4	5	5	6	8	8
4.芭 樂	100	7	7	7	7	7	7
5.棗 子	500	19	20	21	23	25	25
6.蘋 果	6	12	14	16	17	20	20
7.青 椒	80	5	8	14	17	23	23
8.柳 丁	38	3	4	5	5	6	7
9.紅蘿蔔	9	1	1	1	1	1	1
10.西洋梨	18	13	19	25	30	39	42

新鮮蔬果汁 維他命 C 含量 與 氧化速率 的關係



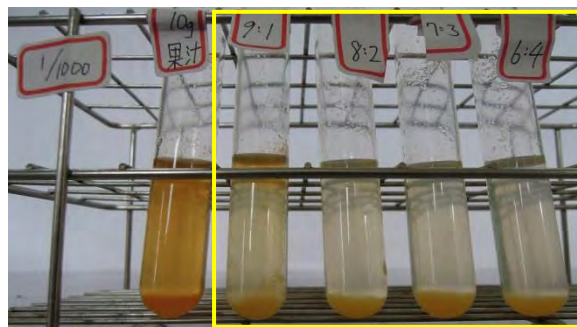
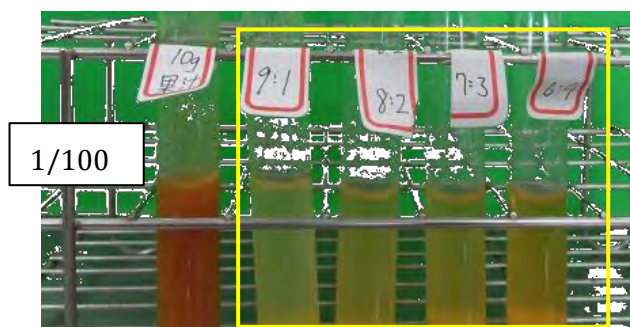
2. 發現：

- (1) 蔬果氧化不一定會變色，會變色的水果氧化通常很快（蘋果、西洋梨、西洋芹）；但不變色的蔬果有時氧化得更快（椰菜、青椒、棗子）。
- (2) 維他命 C 含量高的水果（椰菜、棗子、青椒、芭樂）氧化速率較快，且不會變色。
- (3) 發現蔬果「維他命 C 含量高」或「多酚含量高（褐變程度大）」似乎都會造成「氧化速率快」的結果。

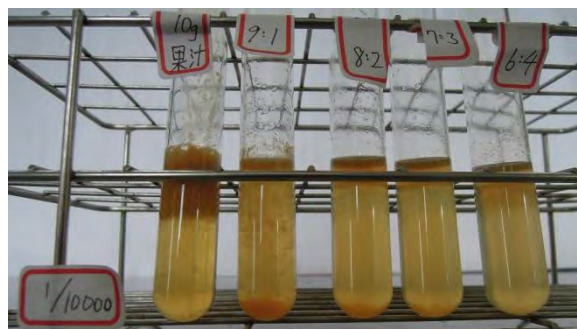
二、探討加入不同濃度的**維他命 C**（強還原劑）對蘋果中多酚的「顏色變化」及「氧化速率」影響。

(一) **實驗二、A**：觀察不同濃度的維他命 C 在試管內以不同比例混合新鮮蘋果汁，靜置一天後的顏色變化。

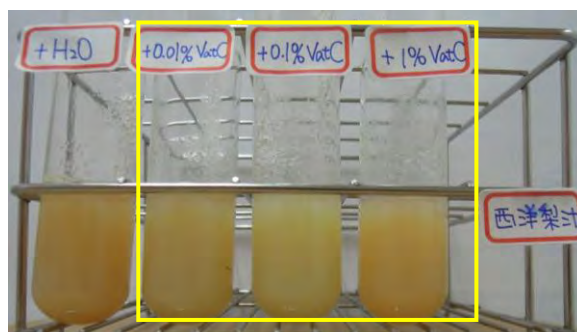
1、1/100 及 1/1000 的維他命 C 只需以少量（蘋果汁：維他命 C = 9 : 1）即能有效抑制蘋果汁褐變（維他命 C 比例增加溶液較黃是由本身添加的色素造成）



2、1/10000 維他命 C 抑制蘋果汁褐變效果較差（右圖）。



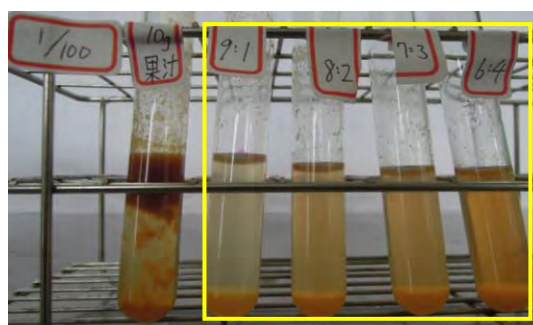
3、維他命 C 對西洋梨汁同樣有很好的抑制變色能力（右圖）【對照實驗】。



4、維他命 C 是很有效的天然「**抗氧化劑**」，可以有效阻止蘋果汁、西洋梨汁褐變。

(二) **實驗二、B**：用已褐變後的蘋果汁（深褐）加入不同比例的 1 / 1 0 0 維他命 C ，觀測是否能逆轉（淡化）顏色。

1、少量 1/100 維他命 C（蘋果汁：維他命 C = 9 : 1）即可有效使褐變的蘋果汁還原回淡黃色。

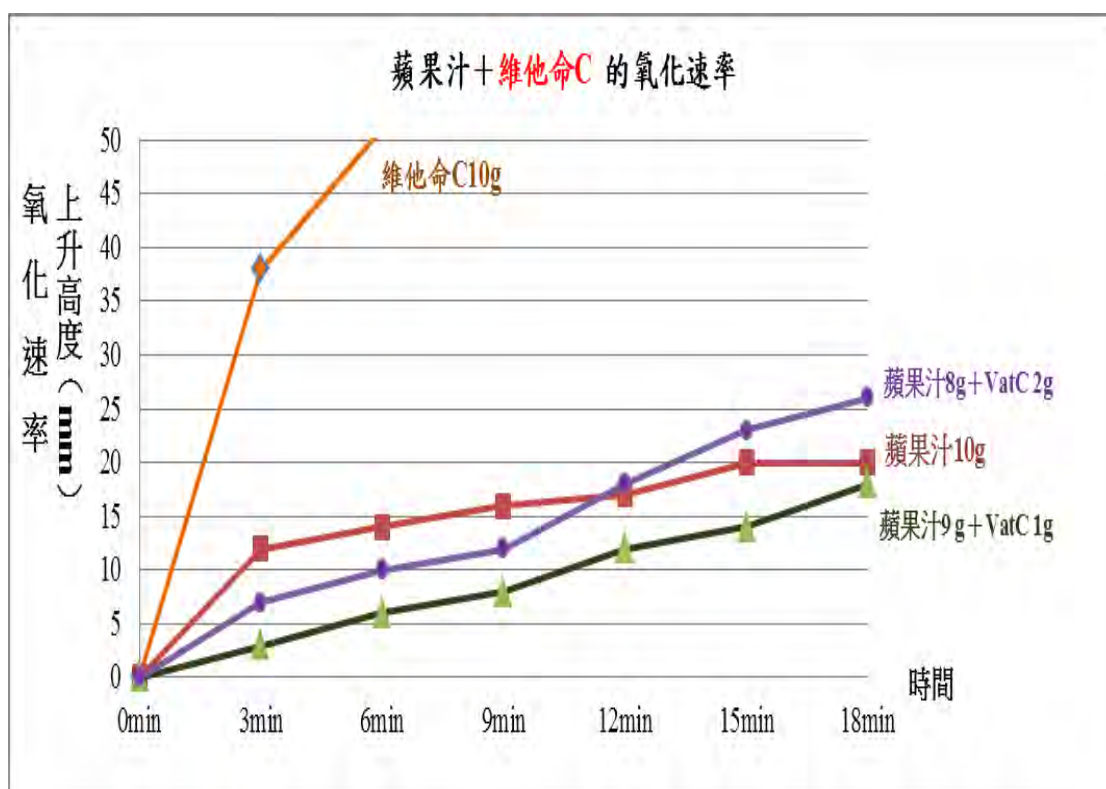


2、**發現**：維他命 C 不但能抑制蘋果氧化（當「**抗氧化劑**」；還能使已褐變的蘋果汁還原，所以也是很有效的「**還原劑**」。

(三) **實驗二 C**：將不同比例 1 % 的維他命 C 與蘋果汁混和，測量氧化速率（水位上升快慢）及顏色變化

1、氧化速率（上升高度）（表格內顏色表示果汁的顏色）

果汁 \ 靜置時間	3min (mm)	6min (mm)	9min (mm)	12min (mm)	15min (mm)	18min (mm)
1 % 維他命 C 10g	38	51	69	82	95	>100
顏色變化	橙色	橙色	橙色	橙色	橙色	橙色
蘋果汁 10g	12	14	16	17	20	20
顏色變化	淡黃	黃褐色	黃褐色	黃褐色	黃褐色	黃褐色
1 % 維他命 C 1g + 蘋果汁 9g	3	6	8	12	14	18
顏色變化	淡黃	淡黃色	淡黃色	淡黃色	淡黃色	淡黃色
1 % 維他命 C 2g + 蘋果汁 8g	7	10	12	18	23	26
顏色變化	淡黃	淡黃色	淡黃色	淡黃色	淡黃色	淡黃色



2、發現：

- (1) 少量維他命 C 即可有效阻止蘋果汁褐變，且氧化速率甚至超越純蘋果汁。
- (2) 維他命 C 濃度越高，氧化速率越快，且蘋果汁不變色。
- (3) 維他命 C 氧化速率 > 多酚（褐變的主角）氧化速率，所以維他命 C（抗氧化劑）本身能快速氧化並同時抑制多酚褐變氧化的進行。

三、探討加入不同濃度的雙氧水（強氧化劑），對果汁中多酚「顏色變化」。

（一）實驗三A：觀察不同濃度的雙氧水，對蘋果汁顏色的影響。

1、「#1」表示「第一組試管」（由上到下，依時間先後排列）；#2~#4 依此類推：

	#1 對照	#2 低濃度	#3 中濃度	#4 高濃度	
開始	對照+水	0.035%	0.35%	3.5%	H ₂ O 35%
開始八分鐘後	對照+水	0.035%	0.35%	3.5%	H ₂ O 35%
一天後	對照+水	0.035%	0.35%	3.5%	H ₂ O 35%

#2 低濃度
0.035% H₂O₂

濃度很低，但一開始就加速使蘋果汁褐變，顏色比起#1 對照組明顯深很多

#3 中濃度
0.35%、3.5% H₂O₂

一開始也加速了蘋果汁褐變，但褐變速度反而比#2 低濃度(0.035% H₂O₂)還要慢，一天後反過來稍微褪色到與#1 對照組差不多

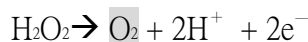
#4 高濃度 **35% H₂O₂**

濃度最高，但一開始只有稍微加速褐變而已（比#2、#3 中、低濃度還慢變色），一天後顏色整個明顯地褪色變淡了（有漂白效果）

2、「低濃度」的雙氧水能明顯加速蘋果汁褐變氧化；隨者濃度提高，褐變反而減慢；高濃度下甚至反過來有「漂白」的現象。似乎違反了「濃度越高反應速率越快」的原理。真是很奇怪！

3、雙氧水的濃度越高「氣泡」冒得越多，應該是雙氧水有進行「自身氧化反應」釋放出氧氣所致。

雙氧水的自身氧化反應：

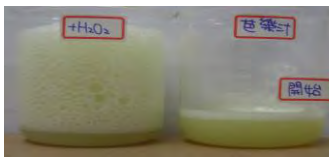
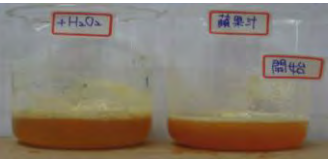

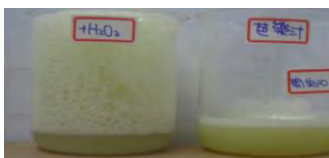

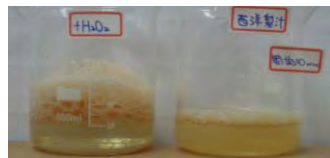

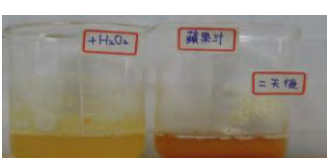



4、再以西洋梨汁做同樣測試，果然與蘋果汁有同樣奇異的變色反應（如右）【對照實驗】



(二) 實驗三 B：觀察 35% 雙氧水加入 芭樂汁/蘋果汁/西洋梨汁 後的顏色變化

1、(表格內顏色表示果汁的顏色，如照片所示)

	芭樂汁		蘋果汁		西洋梨汁	
開始						
情形	綠 (冒泡)	淺綠	褐色 (冒泡)	淺褐色	淡墨綠 (冒泡)	淡黃
10分鐘後						
情形	綠 (冒泡)	淺綠	淺褐色 (冒泡)	褐色	淡墨綠 (冒泡)	黃
二天後						
情形	淡墨綠 (冒泡)	淺綠	黃色	褐色	淡黃	淺褐

2、果汁加入 35% 雙氧水會冒泡出很多泡泡，泡泡量：芭樂汁 > 蘋果汁 > 西洋梨汁。

3、加入 35% 雙氧水剛開始果汁顏色會稍微變深，一天後果汁顏色會再淡化變淺。

4、因想瞭解果汁變深後隨即漂白，是否因 35% 雙氧水 (強氧化劑) 濃度太高而將氧化出來的「醜」再次「過氧化」成其它淺色物質？所以找來氧化力比雙氧水更強的「臭氧」(參考資料：氧化力排名表)，看看是否會將果汁漂白(實驗三 C)。

5、也有懷疑因高濃度雙氧水和維他命 C「酸性」都很強(用 pH 筆測得： H_2O_2 pH2.1；維他命 C pH3.1)，會不會因為它們的「酸」才是造成蘋果汁漂白的主因呢？(實驗四)

(三) 實驗三 C：【對照實驗】將靜置一天的蘋果汁 (已褐變)、西洋梨汁 (已褐變) 和芭樂汁 (不會褐變) 打入臭氧，觀察顏色變化。

(各圖左杯為對照組皆不打臭氧，右杯皆為打入臭氧的果汁)

1、蘋果汁和西洋梨汁一開始打臭氧就立刻褐變成深棕色，氧化很快。但隔一天後就沒那麼深了，加上對照組也氧化了，顏色沒有太大差異。



2、芭樂汁卻沒有太明顯變色。

3、發現：

(1) 蘋果汁和西洋梨汁打入 O_3 氧化的確較快，但放到第二天對照組 (未打 O_3) 也氧化到差不多的顏色了，並不會產生的「漂白」的現象。

(2) 強氧化劑 (臭氧) 只會加速使果汁的顏色變深、但不能漂白果汁。

四、探討在不同的「酸」、「鹼」環境下，果汁中多酚的「顏色變化」、「氧化速率」及「反應機制」。

(一) **實驗四 A**：蘋果汁/西洋梨/芭樂汁 5g 加 酸 or 鹼各 1ml，觀察「顏色變化」與測定「氧化速率」。

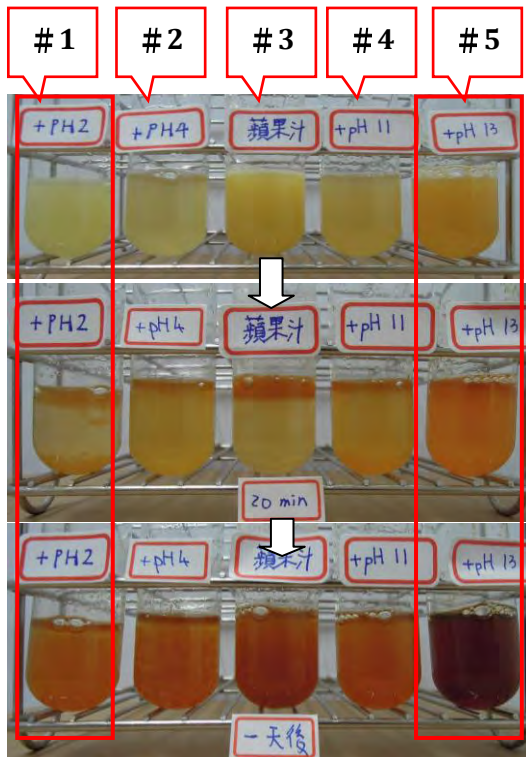
1、蘋果汁在「酸」、「鹼」下的「顏色變化」及「氧化速率」：

顏色變化：（酸、鹼各加 1ml，表格內顏色表示果汁的顏色，如照片所示）

蘋果汁	+ pH2 的 HCl	+ pH4 的 HCl	純蘋果汁	+ pH11 的 NaOH	+ pH13 的 NaOH
剛開始	淡黃色	淺黃色	淺黃色	淺黃色	淺黃褐
十分鐘後	淺黃褐	黃褐色	黃褐色	黃褐色	褐色
一天後	深褐	深褐	深褐	深褐	深棕

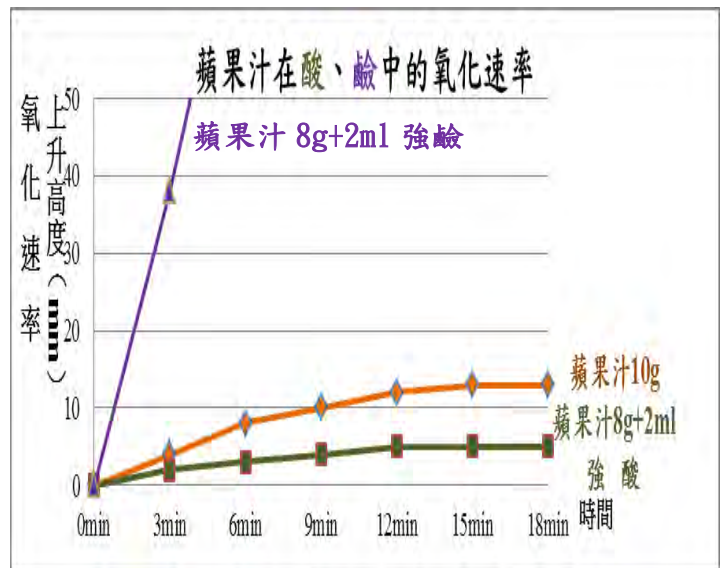
氧化速率（上升高度）（註：強酸即 pH2 的 HCl；強鹼即 pH13 的 NaOH）

果汁	靜置時間	3 min (mm)	6 min (mm)	9 min (mm)	12 min (mm)	15 min (mm)	18 min (mm)
蘋果汁 10g		4	8	10	12	13	13
蘋果汁 8g + 2ml 強酸		2	3	4	5	5	5
蘋果汁 8g + 2ml 強鹼		38	82	97	>> 100		



#1 即：第一組試管（由上而下，依時間先後呈現）其餘 #2~ #5 依此類推

（註：強酸即 pH2 的 HCl；強鹼即 pH13 的 NaOH）



- (1)（由 #1、#2）蘋果汁加入 pH2 及 pH4 的酸後一開始減慢了褐變（上圖），且越酸褐變越慢，可是一天後其實與對照組無太大差異（下圖）。
- (2)（由氧化速率表）蘋果汁在「強酸」（pH 2）中會明顯地減慢褐變氧化（終極耗氧測定儀上升<5mm）、但無法如 35% 雙氧水般將褐變的色素「漂白」。
- (3)（由 #5）蘋果汁加入 pH13 的強鹼顏色變深，慢慢地變成很黑的「深棕色」，且此深棕色物質相當穩定，不會因靜置一天後而退去。
- (4)（由氧化速率表）蘋果汁在「強鹼」（pH13）中會強烈地加速褐變氧化（耗氧測定儀在 10 分鐘內>100mm 破表）、且氧化後產生「深棕色」安定的物質。

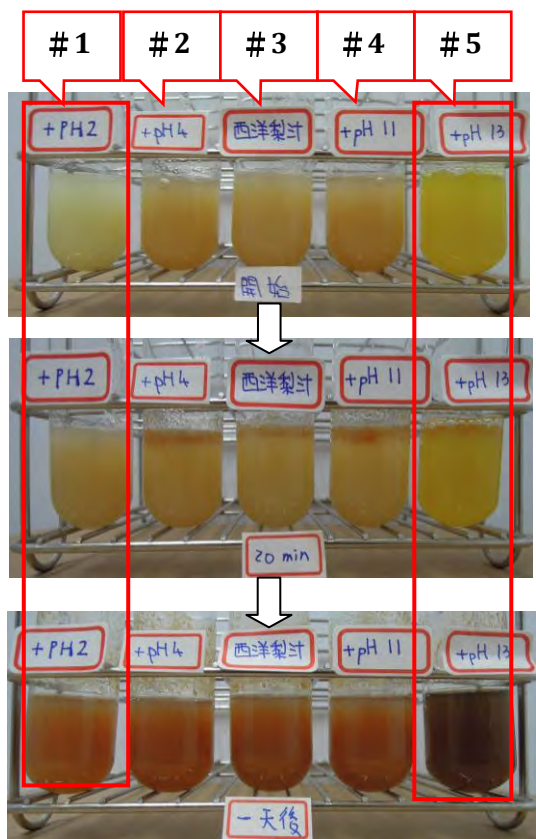
2、西洋梨汁在「酸」、「鹼」下的「顏色變化」及「氧化速率」：

顏色變化：（酸、鹼各加 1ml，表格內顏色表示果汁的顏色，如照片所示）

西洋梨	+ pH2 的 HCl	+ pH4 的 HCl	純西洋梨汁	+ pH11 的 NaOH	+ pH13 的 NaOH
剛開始	白色	白色	白色	白色	黃色
十分鐘後	白色	淡褐色	淡褐色	淡褐色	黃色
一天後	褐色	深褐色	深褐色	深褐色	深棕

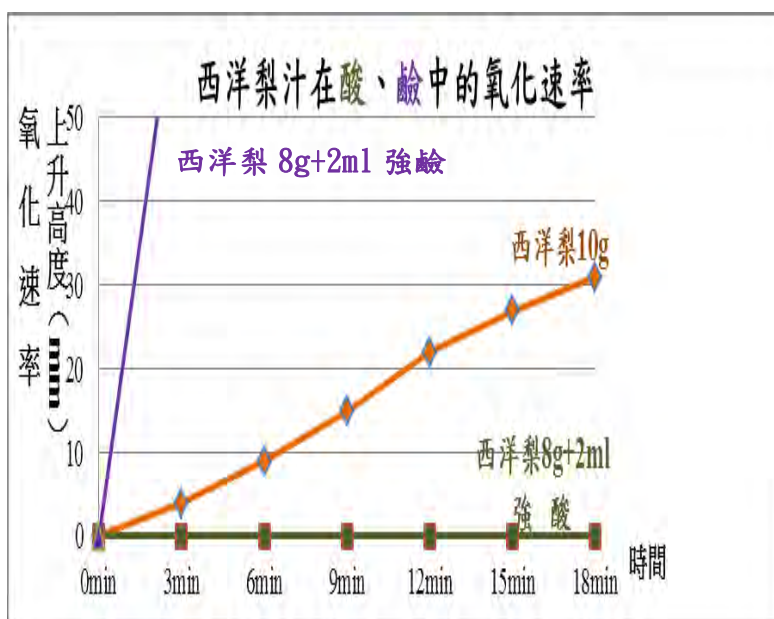
氧化速率（上升高度）

果汁	靜置時間 (mm)	3 min (mm)	6 min (mm)	9 min (mm)	12 min (mm)	15 min (mm)	18 min (mm)
西洋梨汁 10g		4	9	15	22	27	31
西洋梨汁 8g + 2ml 強酸		0	0	0	0	0	0
西洋梨汁 8g + 2ml 強鹼		71	>> 100				



#1 即：第一組試管（由上而下，依時間先後呈現）其餘 #2~ #5 依此類推

（註：強酸即 pH2 的 HCl；強鹼即 pH13 的 NaOH）



- (1) 西洋梨汁的反應和蘋果汁非常類似，只是「色調」偏乳白。
- (2) （由 #1）西洋梨汁加入 pH2 的酸後一開始明顯減慢了褐變（#1 上圖），可是一天後其實與對照組無太大差異（#1 下圖）。
- (3) （由氧化速率表）西洋梨汁在「強酸」（pH 2）中會明顯地減慢褐變氧化（終極耗氧測定儀沒有上升）。
- (4) （由 #5）西洋梨汁加入 pH13 的強鹼顏色變得特別亮黃，慢慢地顏色變成很黑的「深棕色」，且此深棕色物質相當穩定，不會因靜置一天後而退去
- (5) （由氧化速率表）西洋梨汁在「強鹼」（pH13）中會強烈地加速褐變氧化（耗氧測定儀在 6 分鐘內>100mm 破表）、且氧化後產生「深棕色」安定的物質。

3. 芭樂汁在「酸」、「鹼」下的「顏色變化」及「氧化速率」：

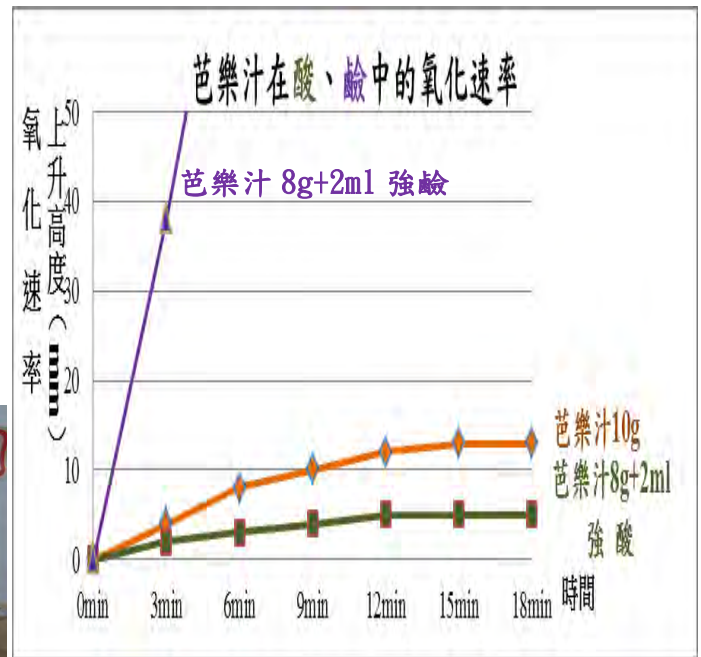
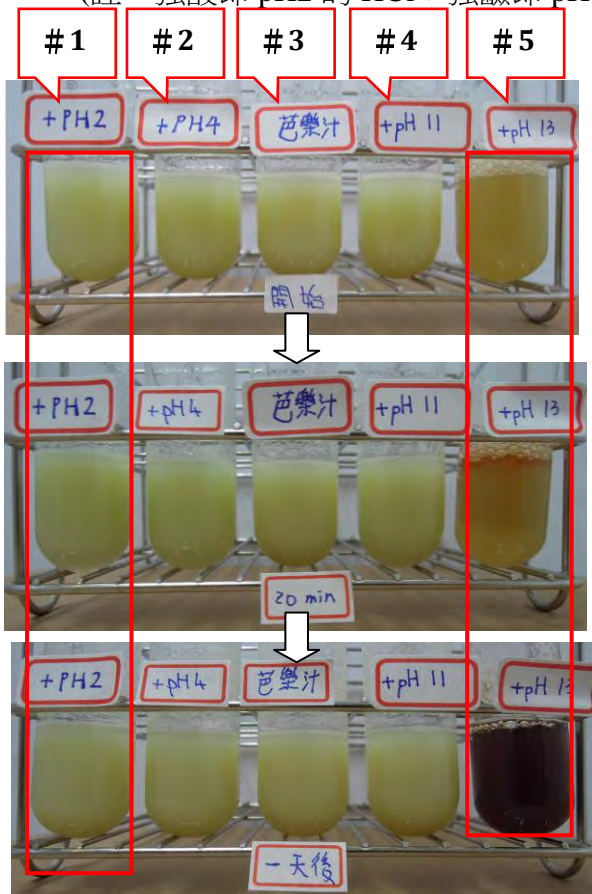
顏色變化：（酸、鹼各加 1ml，表格內顏色表示果汁的顏色，如照片所示）

芭樂汁	+ pH2 的 HCl	+ pH4 的 HCl	純芭樂汁	+ pH11 的 NaOH	+ pH13 的 NaOH
剛開始	綠白	綠白	綠白	綠白	暗黃綠
20 分鐘後	綠白	綠白	綠白	綠白	黃褐
一天後	綠白	綠白	綠白	綠白	深棕

氧化速率（上升高度）

果汁	靜置時間	3 min (mm)	6 min (mm)	9 min (mm)	12 min (mm)	15 min (mm)	18 min (mm)
芭樂汁 10g		6	7	7	7	8	8
芭樂汁 8g + 2ml 強酸		3	3	3	3	3	3
芭樂汁 8g + 2ml 強鹼		75	>> 100				

（註：強酸即 pH2 的 HCl；強鹼即 pH13 的 NaOH）

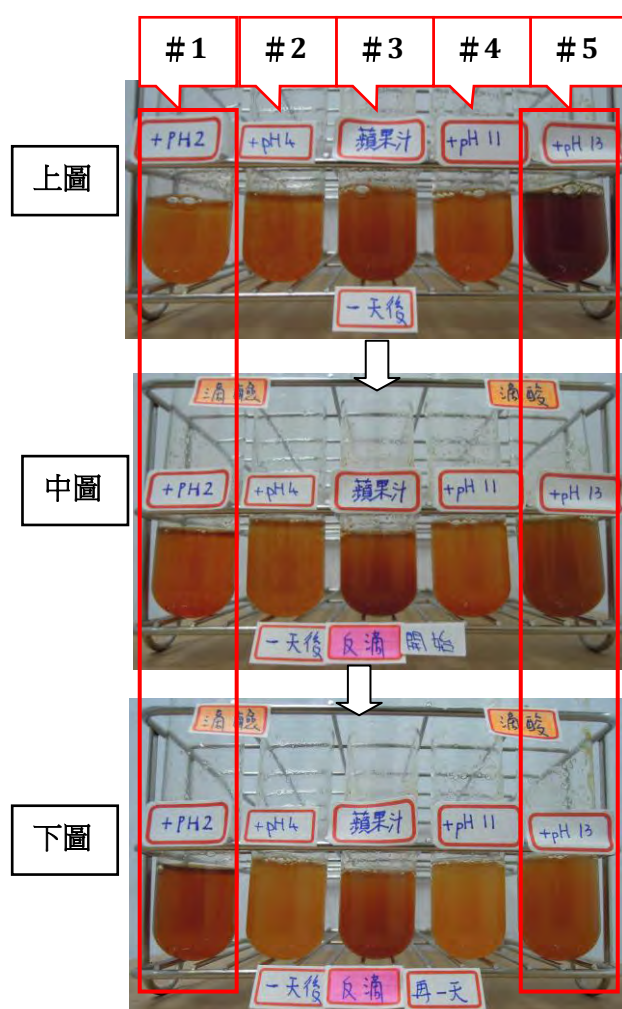


- (1) (由 #5) 芭樂汁在「空氣中」、「雙氧水」及「臭氧中」都不會褐變，但在加入 pH13 的強鹼後顏色竟然明顯變深（與蘋果汁、西洋梨汁有同樣的反應！），隔天變成同樣的「深棕色」，其餘試管仍維持綠白色。
- (2) (由氧化速率表) 芭樂汁在「強鹼」（pH13）中與蘋果汁、西洋梨汁同樣會強烈地加速褐變氧化（6 分鐘內 >100mm 爆表）、且氧化後產生「深棕色」安定的物質。
- (3) (由氧化速率表) 芭樂汁在「強酸」（pH 2）中會明顯地減慢褐變氧化（終極耗氧測定儀上升 <5mm）、但顏色完全沒有變化（#1）。
- (4) 推測：芭樂汁其實也含有不少「隱藏的多酚」，只是空氣中的變色反應受到了高維他命 C（還原劑）的抑制，而這些「隱藏的多酚」可藉「強鹼」逼使氧化成穩定的深棕色化合物而現身。

(二) 實驗四 B：蘋果汁/西洋梨/芭樂汁 加酸 or 鹼 (實驗四 A) 反應完成後，再度改變環境酸鹼度 (原滴酸果汁反滴 2 倍的鹼、原滴鹼果汁反滴 2 倍的酸)，觀察 pH 值及顏色是否有逆轉變化。(註：「酸」即 HCl；「鹼」即 NaOH)

1、蘋果汁

	已+ pH2 酸 +2ml pH13 鹼	已+ pH4 酸 +2 ml pH11 鹼	純蘋果汁	已+ pH11 鹼 +2 ml pH3 酸	已+pH13 鹼 +2 ml pH1 酸
反滴前 (上圖)	深褐	深褐	深褐	深褐	深棕
反滴開始 (中圖)	深褐	深褐	深褐	深褐	深褐
pH	11.8	4.7	3.9	3.4	3.1
一天後 (下圖)	更深褐	黃褐	深褐	黃褐	深褐

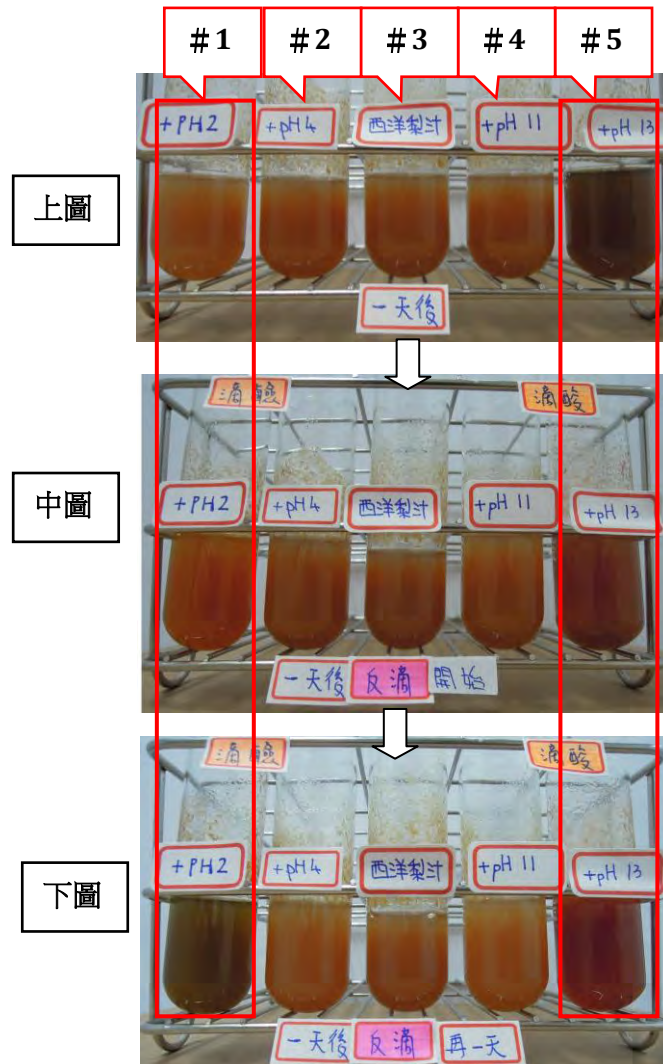


2、發現：

- (1) (由 #1) 原加強酸果汁反滴「強鹼」後顏色果然加深。
- (2) (由 #2) 原加酸果汁反滴 pH11 的「鹼」後，蘋果汁、西洋梨並沒有因鹼而加深褐變，用 pH 筆測了才發現仍然是「酸性」的，原來因為這些純果汁原本就是酸性的所致。
- (3) (由 #5) 原加強鹼果汁反滴「強酸」後果汁的深棕色顏色雖然變淡，但仍是相當深的紅褐色。

2.西洋梨汁

	已+ pH2 酸 +2ml pH13 鹼	已+ pH4 酸 +2 ml pH11 鹼	純蘋果汁	已+ pH11 鹼 +2 ml pH3 酸	已+pH13 鹼 +2 ml pH1 酸
反滴前 (上圖)	褐色	深褐色	深褐	深褐色	深棕
反滴開始 (中圖)	褐色	深褐色	深褐	深褐色	深褐色
pH	12.0	4.6	4.3	3.9	4.1
一天後 (下圖)	深棕	深褐色	深褐	深褐色	紅褐

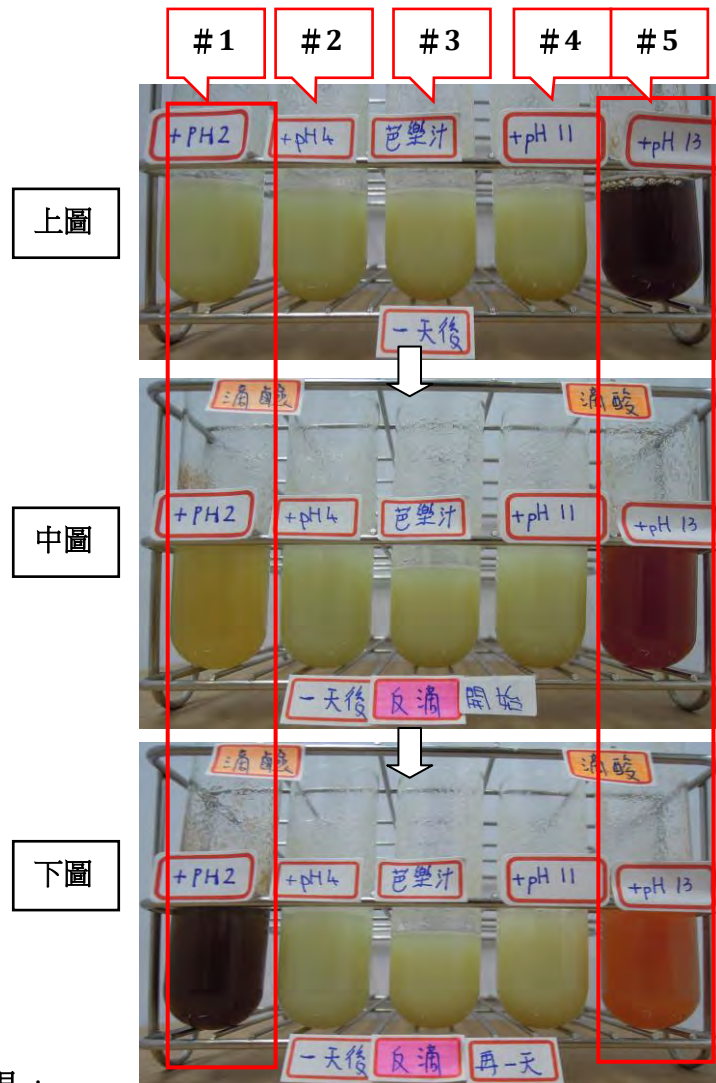


2、發現：

- (1) (由 #1) 原加強酸果汁反滴「強鹼」後顏色果然加深，且一天後可逼出原本就滴強鹼下那種安定的「深棕色」。
- (2) (由 #2) 原加酸果汁反滴 pH11 的「鹼」後，西洋梨並沒有因鹼而加深褐變，用 pH 筆測了才發現仍然是「酸性」的，原來因為這些果汁原本就是酸性的所致。
- (3) 反滴過量「強酸」後果汁顏色雖然變淡，但仍是相當深的紅褐，無法退回到其它試管的顏色。

3. 芭樂汁

	已+ pH2 酸 +2ml pH13 鹼	已+ pH4 酸 +2 ml pH11 鹼	純蘋 果汁	已+ pH11 鹼 +2 ml pH3 酸	已+pH13 鹼 +2 ml pH1 酸
反滴前 (上圖)	綠白	綠白	綠白	綠白	深棕
反滴開始	黃綠	綠白	綠白	綠白	深褐
pH	12	4.6	4.4	4.0	3.4
一天後 (下圖)	深棕	綠白	綠白	綠白	橘紅



2、發現：

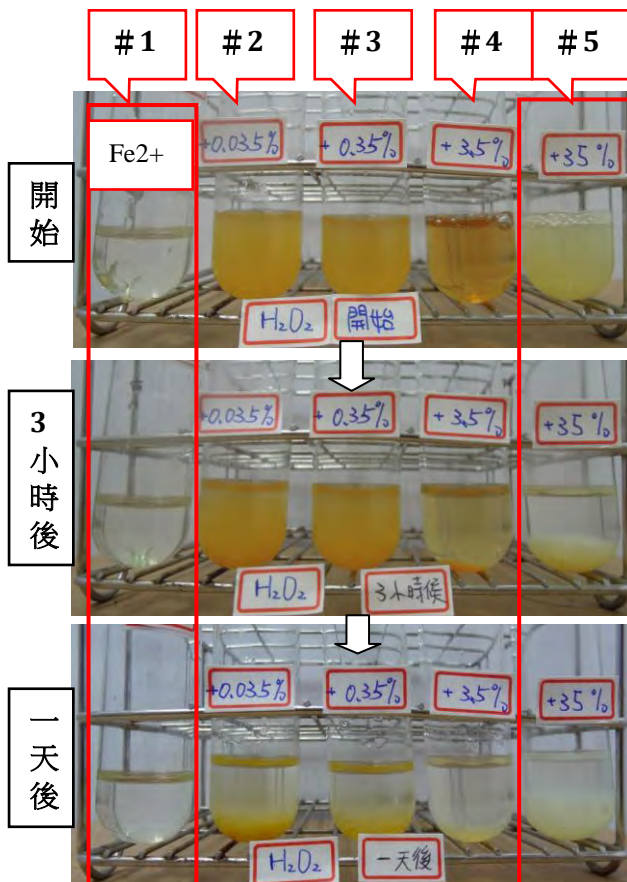
- (1) (由#1) 原加強酸果汁反滴「強鹼」後，芭樂汁顏色果然加深，且一天後可逼出原本就滴強鹼下的「深棕色」。
- (2) (由#5) 原加強鹼芭樂汁反滴「強酸」後深棕色果然變淡，但只能退到「橘紅」，與原本芭樂汁顏色（不會褐變的「綠白色」）差異最大。可見強鹼中逼出的深棕色化合物很安定，不是一般果汁在空氣中褐變的產物（因一般的褐變可逆轉褪色）
- (3) 原本不褐變的芭樂汁在反滴強鹼中很快地變色了，且隔天又逼出了「深棕色」化合物（與西洋梨、蘋果汁有很類似的反應）。
- (4) 推測：「很強的氧化劑」（雙氧水、臭氧）也不容易逼芭樂汁中的「隱形多酚」現形，但「強鹼」卻可以將其逼成深棕色化合物，可用此法檢測蔬果中的多酚。

五、探討加入亞鐵離子，對不同濃度的雙氧水自身氧化還原反應的影響，並進一步推論多酚與雙氧水奇異的反應機制。

(一) 實驗五：

各加 2g 的硫酸亞鐵溶液

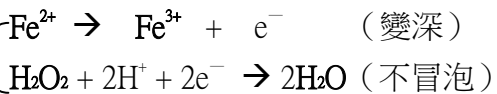
	Fe ²⁺ (對照)	0.035 % 雙氧水 5g	0.35 % 雙氧水 5g	3.5% 雙氧水 5g	35% 雙氧水 5g
開始	透明	淺褐	淺褐	透明褐 (有點泡)	淡黃 (不斷冒泡)
3 小時後	透明	淺褐	淺褐	透明淺褐	透明 (底部淡黃)
一天後	透明	淡黃透明	淡黃透明	透明	透明 (底部白色)



1、(# 1) 亞鐵離子溶液的顏色近乎透明，已知亞鐵離子 Fe²⁺ 為很淡的綠色、鐵離子 Fe³⁺ 為黃褐色。

2、(由 # 2 ~ # 5) 滴入亞鐵離子後的雙氧水顏色立刻轉為褐色 (鐵離子出現)，但是高濃度 (35%) 的雙氧水中顏色反而變淡 (與蘋果汁的反應一致)，且不斷冒出泡泡。

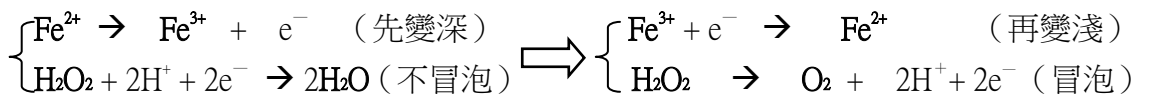
3、(由 # 2、# 3) 「低濃度雙氧水」下亞鐵離子顏色立刻轉深色。(Fe²⁺ 氧化產生 Fe³⁺、但不冒泡表示雙氧水本身進行的是「自身還原反應」，產物是「水」)



4、取另一試管加入 35% 雙氧水後滴入更多亞鐵 (使冒泡反應劇烈)，以點燃的線香插入試管發現立即起火燃燒，證明冒出來的泡泡是「氧氣」 (右圖)。



5、(由 # 4、# 5) 高濃度 H₂O₂ (3.5%、35%) 不斷冒氧氣，一天後幾乎完全退為無色透明。(Fe³⁺ 還原成 Fe²⁺、雙氧水進行「自身氧化反應」)



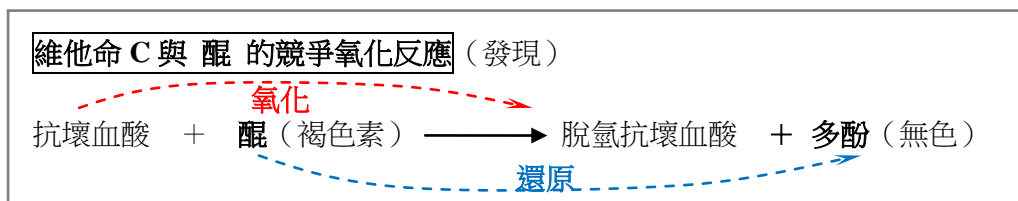
陸、討論

一、實驗一：找出維他命 C 含量不同的蔬果汁在空氣中「顏色變化」及「氧化速率」間關係。

- (一) 我們改良的新一代「**終極耗氧測定儀**」：利用複式顯微鏡的「粗調節輪」能夠精準快速升降鏡筒的原理，讓我們能在 3 秒內將藍墨水液面高度調整到細玻璃管內外等高，非常靈敏好用。
- (二) 許多天然會變色的水果（褐變）氧化很快是「多酚」類化合物在酵素的催化下氧化成為「醌」（西洋梨、蘋果）所致，而這是肉眼可見的氧化。
- (三) 自製「**終極耗氧測定儀**」幫我們觀測到了肉眼看不見的氧化，發現：天然不變色的水果不代表不氧化，有的甚至氧化得非常快（椰菜、青椒、棗子、芭樂），而他們恰巧都含有高量的維他命 C。
- (四) 發現維他命 C 含量高低與蔬果變不變色雖然沒有直接關係，但可以確定：維他命 C 含量高的蔬果不會變色、但氧化很快。

二、實驗二：探討加入不同濃度的維他命 C（強還原劑）對蘋果中多酚的「顏色變化」及「氧化速率」影響。

- (一) 添加維他命 C 能阻止蔬果汁褐變，但卻使蔬果混合汁氧化速率更快。
- (二) 只需極微量 1/1000 的維他命 C 便能抑制蔬果汁變色（蘋果汁：維他命 C=9:1 即可）。
- (三) 維他命 C 不但能阻止蔬果變色，甚至能「還原」已褐變的蘋果汁（將醌還原成多酚），證明「多酚」與「醌」之間的氧化還原是「可逆反應」。
- (四) 「**終極耗氧測定儀**」幫我們發現：在蔬果中「維他命 C」和「多酚」這兩種物質都會氧化、且會互相競爭氧。維他命 C 不但能有效阻止蘋果汁褐變、更能使褐變後的蘋果汁還原，所以：維他命 C 自身的氧化能力>>多酚（亦即：天然食材中，維他命 C 是比多酚更優的「抗氧化」營養素）
- (五) 維他命 C 是很強的「抗氧化劑」也是「還原劑」。



三、實驗三：探討加入不同濃度的雙氧水（強氧化劑），對果汁中多酚的「顏色變化」。

- (一) 我們意外地測得 35% 雙氧水 pH 只有 2.1 (好酸!) 原來因為雙氧水的水溶液中若有「酸」存在，液體會甚為穩定不易分解，故商品中常加硫酸或磷酸，使其穩定不變（參考資料十、十二），而 1% 維他命 C pH 也只有 3.1，都是酸性。
- (二) 雙氧水（強氧化劑）在低濃度（0.035%）下就能快速使蘋果汁（或西洋梨汁）褐變氧化；隨濃度提高，果汁褐變反而趨緩；而高濃度（35%）的雙氧水最後竟然跟維他命 C（強還原劑）一樣把蘋果汁（或西洋梨汁）「漂白」了，真奇妙！

(三) 添加的雙氧水「濃度越高，試管頂端的氣泡越多」，且「氣泡越多，果汁就越美白」，應該是蘋果汁（或西洋梨汁）促進雙氧水發生「自身氧化」： $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ 釋放出氧氣所致（但為何「濃度」會造成如此奇異的變色反應呢？於實驗五討論）

(四) 1%維他命 C（強還原劑，pH3.1）和高濃度 35%雙氧水（強氧化劑，pH2.1）均能將已褐變的蘋果汁還原回淺色。（是因為「強酸」還是別有原因呢？令人好奇）

(五) 35%雙氧水能使蘋果汁、西洋梨汁、芭樂汁都美白褪色（冒泡量：芭樂>西洋梨>蘋果）；但臭氧（更強的氧化劑）卻只是加速蘋果和西洋梨的褐變氧化，芭樂則仍維持一貫的綠白色→所以高濃度雙氧水的美白效果，不是因為「過氧化」造成的。（於實驗五推論反應機制）

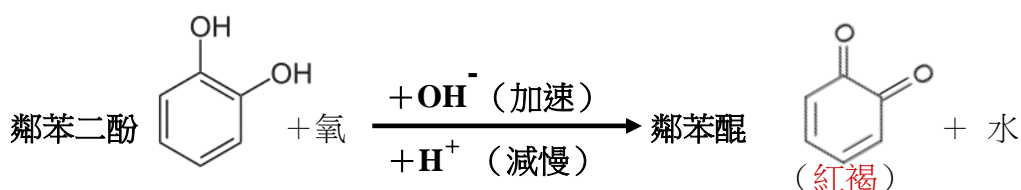
四、實驗四：探討在不同的「酸」、「鹼」環境下，果汁中多酚的「顏色變化」、「氧化速率」及「反應機制」。

(一) 「終極耗氧測定儀」幫我們發現：「強鹼」不但會明顯加速果汁的「褐變氧化」，還把氧化反應推向一個極端的境界→在蘋果汁、西洋梨汁或芭樂汁中添加強「強鹼」都會在 10 分鐘內讓「水位上升」「破表」（超過 100mm 的話，墨水上升到軟木塞裡面會被遮蔽而無法測量）！！而添加「強酸」則在 18 分鐘內觀察不太到水位上升的現象。（氧化速率都接近 0）

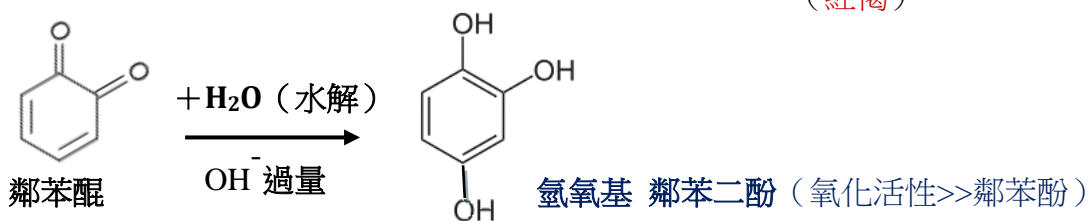
(二) 「強鹼」會明顯加速果汁的「褐變氧化」，且隔天顏色會變成奇異的「深棕色」；連高維他命 C 含量、原本不變色的的芭樂汁都會逼出深棕色！且此深色化合物較穩定、不會消失，不似一般「多酚」與「醌」之間的可逆反應。綜合研究了很多「多酚類化合物」的反應及性質，推測因為過量的 OH^- 導致生成了「**氫氧基 對苯醌**」，它會縮合成黑色的安定物質，反應機制為：（參考資料二、三、十三、十四）

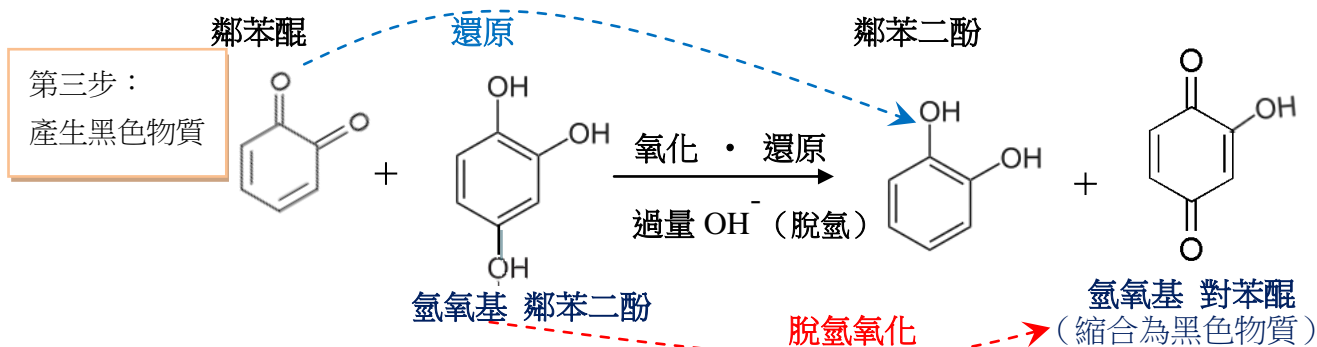
- (說明)
- 1、鹼中的 OH^- 會抓走 H^+ 結合成水，推測有利於氧化正反應（氧化脫氫）進行，形成紅褐色的**鄰苯醌**（褐變，顏色變深）。（第一步）
 - 2、而過多的鹼（ OH^- ）更會進一步使多酚類化合物（**氫氧基鄰苯二酚**）氧化並縮合為安定的黑色化合物（**氫氧基對苯醌**）。（第二、三步）
 - 3、而酸中的 H^+ 則有利於逆反應（氫化）將**醌**還原為**多酚**（顏色變淺），但是對於在強鹼中已縮合的**氫氧基對苯醌**（黑色）則回不去了，只能把溶液中易還原的**鄰苯醌**還原為**鄰苯二酚**（使部分褐變逆轉，深棕→紅棕）

第一步：
鄰苯酚氧化



第二步：
鄰苯醌水解





(三) 過量的「酸」雖然可以在一開始會抑制果汁的「褐變氧化」，但可能由於果汁中仍存在著酵素(多酚氧化酶)促進多酚氧化，到了第二天加酸的顏色與對照組無異。所以，雖然高濃度的雙氧水呈強酸性(pH2.1)，但⇒「酸」並不是雙氧水讓果汁褪色美白的原因。(於實驗五推論反應機制)

五、實驗五：探討加入不同濃度的亞鐵離子，對雙氧水自身氧化還原反應速率的影響，並進一步推論多酚與雙氧水奇異的反應機制。

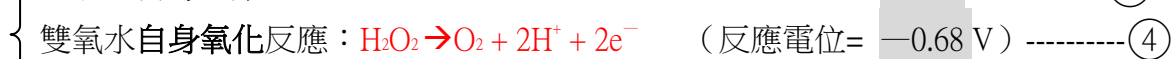
(一) 亞鐵離子(Fe²⁺)可以是雙氧水自身氧化還原反應的「催化劑」(參考資料十一)。我們在不同濃度的雙氧水中滴加亞鐵離子發現：「低濃度雙氧水使溶液顏色加深、高濃度雙氧水底下反而變淡」！！這與蘋果汁、西洋梨汁的奇異變色反應很雷同！！

(二) 查詢參考資料十五：(必須利用氧化還原的「反應電位」來說明反應推動的機制)：

鐵離子與亞鐵離子間的氧化與還原反應(反應電位)如下：



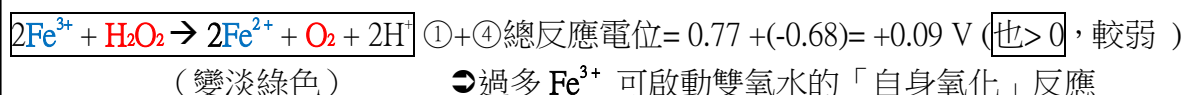
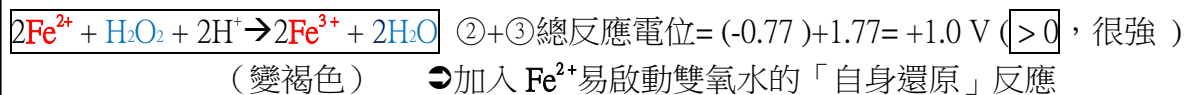
雙氧水的「自身氧化還原」反應機構(反應電位)如下：



總反應電位= 1.77+(-0.68)= +1.09 V (>0, 可以自發性啟動自身氧化還原)

● 推測只要物質的「氧化電位」介於 -1.77 ~ -0.68V 之間、且反應物夠濃，都可以與雙氧水作用引起雙氧水的自身氧化還原(扮演「催化劑」的角色)

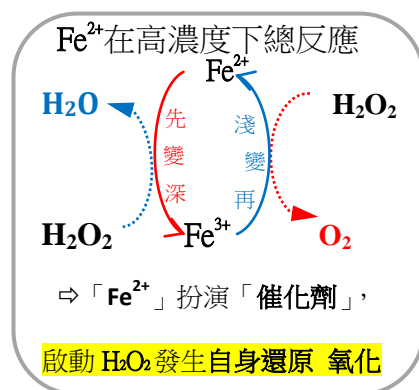
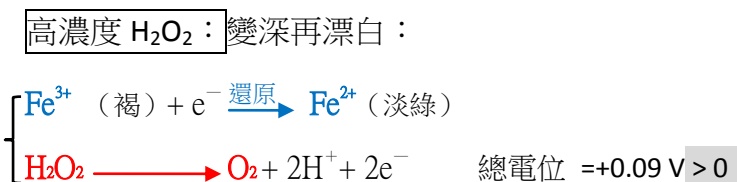
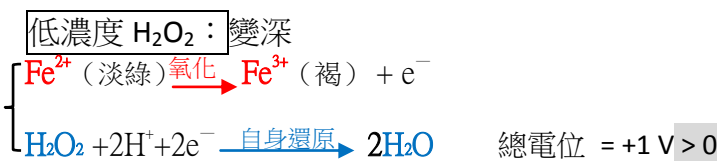
例如：



(綜合實驗五結果推論)

1、「低濃度的雙氧水」滴入 Fe²⁺ ⇒ 立刻啟動雙氧水「自身還原反應」，產生「Fe³⁺」和水(實驗五觀察到：不冒泡、變深後停留在褐色)

- 2、 「高濃度的雙氧水」滴入 Fe^{2+} → 先啟動雙氧水「自身還原反應」、到了產物「 Fe^{3+} 」變多時，足量的雙氧水又啟動「自身氧化反應」，產生「 Fe^{2+} 」和「氧氣」（實驗五觀察到：猛冒泡、褐色變淡）



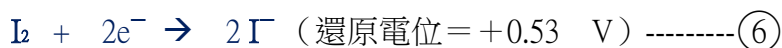
3、 所以會觀察到：

- (1) 低濃度雙氧水下，顏色變深（能氧化產生鐵離子的「雙氧水自身還原」反應較快）、隨著雙氧水濃度增加，因為又啟動了「雙氧水的自身氧化」反應（還原了鐵離子、雙氧水自身氧化產生氧氣），所以反而看到顏色變淡、猛冒泡的情形。
- (2) 泡泡越多（「雙氧水的自身氧化反應」越劇烈、 Fe^{3+} 還原成 Fe^{2+} 越快），顏色越淡！
- (3) 推測多酚與雙氧水的反應和亞鐵離子與雙氧水的反應頗為類似。
- (4) 推論「多酚 → 醌」也是同樣的道理在催化不同濃度的雙氧水「速率不對等」的自身還原氧化反應，且此氧化電位必須介於 $-1.77\text{V} \sim -0.68\text{V}$ 之間。

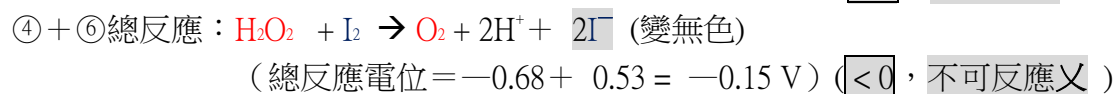
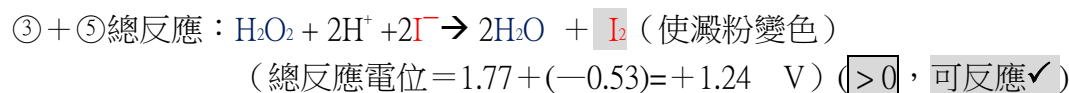
(三) 再用另一實驗反向驗證我們的推論：

根據之前社團實驗做過的實驗「雙氧水的檢測」：雙氧水能與碘離子 (I^-) 作用產生碘分子 (I_2) 使澱粉溶液指示劑變成「深藍色」；但不論濃度高低雙氧水都不會把 I_2 還原成 I^- 而逆轉褪色。

果然查證參考資料後計算發現：（參考資料十五：半反應之標準還原電位）



結果：

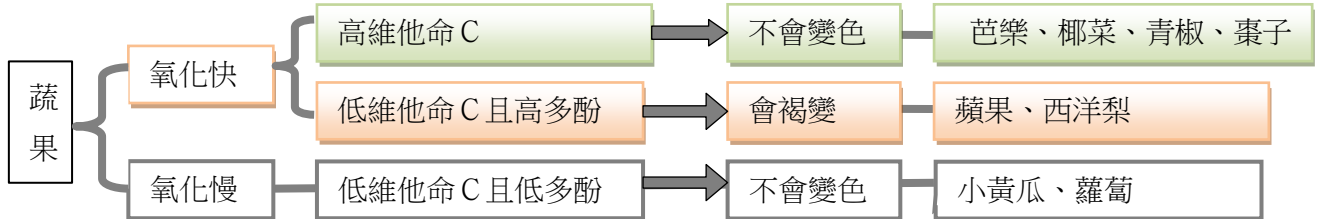


所以 I^- 只能「還原雙氧水」並將自己氧化為 I_2 ，使澱粉溶液指示劑變深藍；但卻不能被任何濃度的雙氧水還原為 I^- 而褪色！！這真是太棒的證明了！！

柒、結論

一、水果氧化不一定會變色、不變色的水果有的甚至氧化得更快，而他們恰巧都含高量的維他命 C；而會褐變的蔬果維他命 C 含量必定很低，因維他命 C 能逆轉褐變。

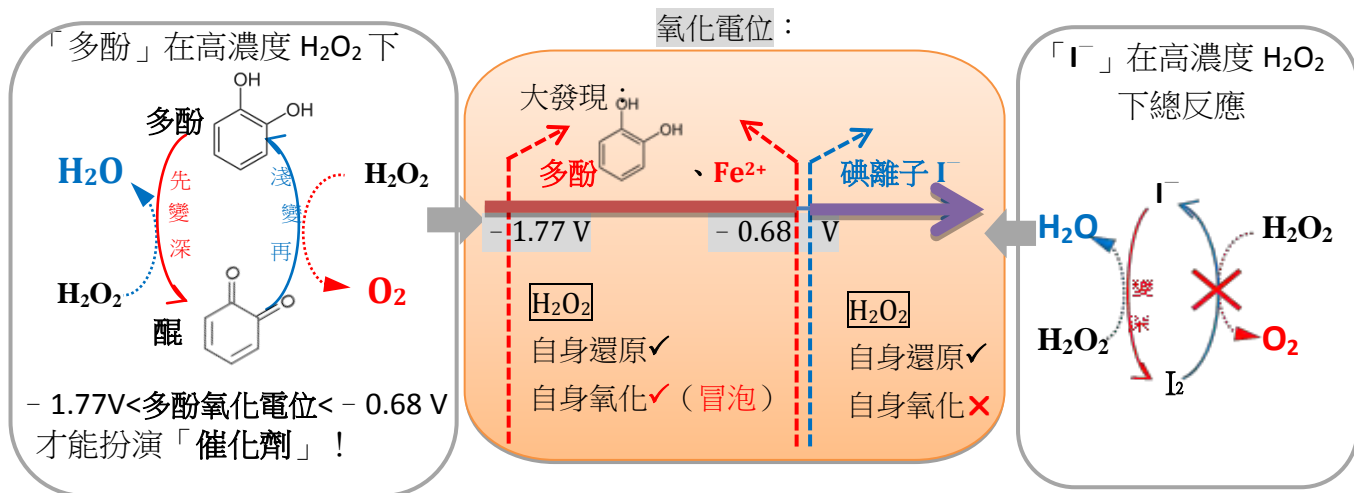
二、原來蔬果「氧化速率快」與「高維他命 C」或「高多酚」都有正相關：



三、蔬果不變色不代表不含多酚類的化合物（可能因本身維他命 C 含量很高而抑制了褐變氧化），可以「添加強鹼」的方式來檢測「隱形多酚」的存在，因強鹼會迫使多酚類化合物氧化變色甚至成為深色安定的「氫氧基對苯醌」（推測）；未來可研發作為檢測蔬果中「多酚含量」的指示劑。

四、多酚的奇異變色之旅：





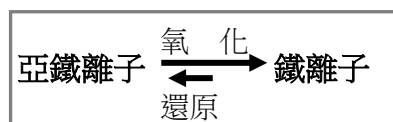
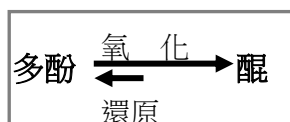
五、 多 酚、亞鐵離子 的變色及漂白方式分析總結如下：

☉ 加維他命 C：(抗氧化劑、還原劑)

→ 可以漂白！

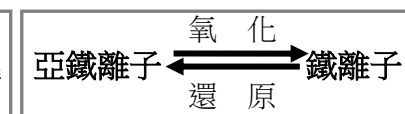
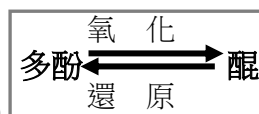
☉ 加低濃度雙氧水：(氧化劑)

→ 顏色變深！



☉ 加高濃度雙氧水：(先氧化劑)
(再還原劑)

→ 先變深再漂白！



【造成奇異的變色條件是：色素(醜、鐵離子)的還原電位需介於 $0.68\text{V} \sim 1.77\text{V}$ 之間】

【造成奇異的變色現象是：冒泡越多(氧氣)、顏色越淡】

六、不同濃度的雙氧水為何會造成「多酚」的奇異變色反應??

☉ 是因為雙氧水「氧化能力」太強?? **No!!**

☉ 是因為雙氧水本身「酸性」太強?? **No!!**

☉ 是因為 **多酚** 開啟了雙氧水「速率不對等」的 **自身還原氧化反應!**

Yes! 我們終於解密啦!

搞什麼? 多酚亂變色! 變得有理!

捌、參考資料

- 一.「蘋果不變色-抗氧化？騙很大！」取自：新竹市 100 年專題研究競賽
- 二.酚，取自：<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%85%9A>
- 三.多酚健康美麗哈燒貨，長春雜誌，取自 <http://blog.yam.com/zoe6162/article/3073864>
- 四.醌，取自：<http://zh.wikipedia.org/zh-hk/%E9%86%8C>
- 五.取自：南一版，自然與生活科技，第四冊
 - 2-2 氧化還原 P40~47
 - 3-2 常見的酸與鹼 P60~70
 - 4-3 催化劑對反應速率的影響 P102~104
 - 4-4 可逆反應與平衡 P105~112
 - 6-3 大氣壓力 P171~175
- 六.抗壞血酸，取自：
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%BB%B4%E7%94%9F%E7%B4%A0C>
- 七.Vitamin C Rich Food Lists Health.Alicious.Ness.com，取自：
<http://www.healthaliciousness.com/articles/vitamin-C.php>
- 八.台灣常見的水果營養表，取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B6%AD%E4%BB%96%E5%91%BDC>
- 九.劉慧瑛 黃淵輝(1991) 台灣水果維他命 C 含量之測定。
取自 中華農業研究 1991 年 第三期 第 40 卷
- 十.雙氧水的性質 http://www.360doc.com/content/10/1002/01/937580_57861858.shtml
- 十一.雙氧水的催化劑。高中化學教學諮詢網。取自：
<http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/questions/answer66.htm>
- 十二.雙氧水的成分(添加物)：硫酸 0.05%、磷酸 0.05%、鹽酸 0.001%。取自：標籤說明
- 十三.茶葉的發酵作用-多酚類化合物的變化。五條茶棧。取自：
<http://tw.myblog.yahoo.com/jw!OQrxZBmdBB.GqJHn4BpAtq6R4uc-/article?mid=81>
- 十四.本醌。A+ 醫學百科。取自：<http://cht.a-hospital.com/w/%E8%8B%AF%E9%86%8C>
- 十五.物質半反應之標準還原電位。取自：部編版高中化學第二冊第 8 章。

蔬果的維他命 C 含量 (參考資料六~九彙整)

植物	含量 (mg/100g)	植物	含量 (mg/100g)	植物	含量 (mg/100g)
卡卡杜李	3100	橙	50	杏	10
卡姆嘉賓果	2800	檸檬	40	李子	10
枸杞	73(千)	哈密瓜	40	西瓜	10
薔薇果	2000	花椰菜	40	香蕉	9
西印度櫻桃	1600	葡萄柚	30	胡蘿蔔	9
棗	500	覆盆子	30	鱈梨	8
猴麵包果	400	柑橘	30	小蘋果	8
黑醋栗	200	西番蓮果	30	桃子	7
青椒	120	菠菜	30	蘋果	6
番石榴	100	甘藍	30	黑莓	6
奇異果	90	萊檬果	20	甜菜根	5
椰菜	90	芒果	20	梨	4
羅甘莓	80	蜜瓜	20	萵苣	4
紅茶藨子	80	懸鉤子	20	黃瓜	3
抱子甘藍	80	西洋梨	18	西洋芹	3
荔枝	70	藍莓	10	茄子	2
柿子	60	菠蘿	10	無花果	2
番木瓜	60	巴婆	10	越桔	1
草莓	50	葡萄	10		

【評語】 030218

探討 H_2O_2 對蔬果保持色澤原因乃在於內涵多酚的電位落在 H_2O_2 自身氧化還原的電位範圍，頗有創意，但可再深入探討不同的多酚的還原電位為何，可以查一下資料，以及 H_2O_2 濃度、體積等應用在不同蔬果是否有異。