

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030204

搞什麼？多酚不再變色！

—探討草酸對抑制水果多酚變色的研究

學校名稱：新竹市立建華國民中學

作者： 國一 王瑋綾 國一 許祐瑜	指導老師： 蔡芳珮 張維真
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：草酸、多酚、多酚氧化酶 (PPO)

摘要

本研究探討草酸抑制多酚變色的效果，我們將各類易氧化褐變水果，浸泡於不同濃度的草酸水溶液中，觀察水果變色程度，並將變色結果與水果在空氣、水、食鹽水等條件下進行比較。

由實驗**發現一**：草酸在低濃度溶液中，便有抑制延緩水果變色的效果，其中尤以香蕉皮、香蕉肉最有效抑制。**發現二**：草酸的近強酸性，使浸泡在草酸水溶液(約 pH=1.5)中的水果不會發霉，而在空氣、水、食鹽水等條件下的水果則發霉。我們歸納重大實驗**發現三**：草酸可以替代雙氧水使用於水果抑制變色，保鮮、保存上值得推廣應用，其中香蕉皮、香蕉肉最有效，很值得優先推薦於產業界與商家。在研究草酸食用安全性時，**發現四**水果浸泡於低濃度 0.1 克草酸水溶液(約 1%)時，適量食用是安全的。

壹、研究動機

我們參考學長姐的專題研究得知：高濃度 35% “雙氧水” 可以利用自身還原性抑制水果氧化褐變，使水果「美白」不變色；媒體常報導有些不法黑心商販，常為了利益與方便，在水果中添加了人體不可食用的高濃度雙氧水，雙氧水係過氧化氫水溶液，常作消毒劑、殺菌劑、漂白劑，若食用會傷害喉嚨及胃，可能導致食道及胃出血，對身體造成腐蝕性傷害極大，所以我們提出利用具有還原性且普遍存在許多植物中，又可適量食用的 1% 低濃度草酸水溶液來取代雙氧水，抑制水果氧化褐變，作為我們實驗研究的主題。

說明：

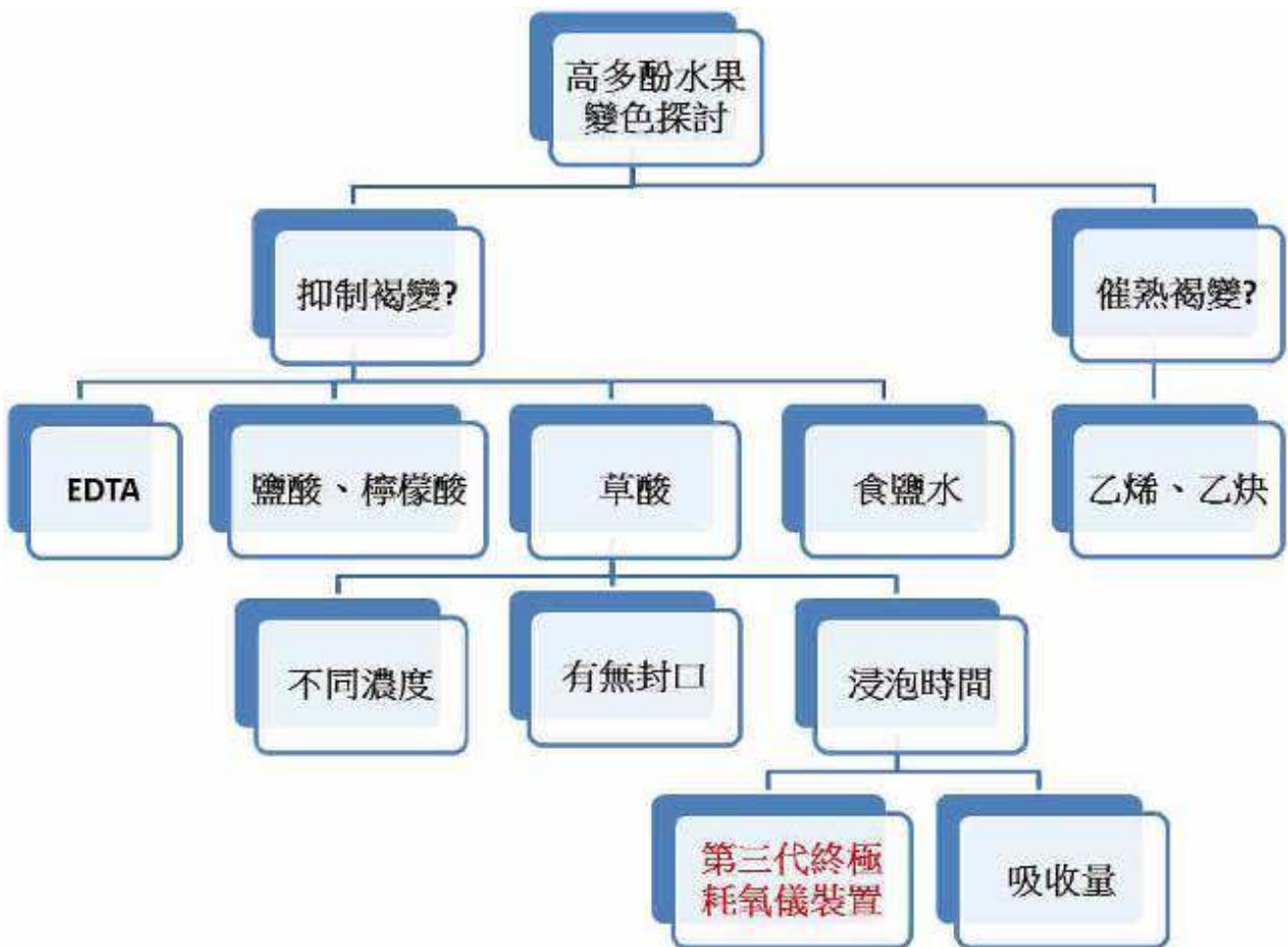
1. 草酸是自然界常見的羧酸，化學式 $H_2C_2O_4$ ，二質子酸，普遍存在許多植物中，如菠菜、番茄等。
2. 二下自然與生活科技：氧化還原反應、常見的酸與鹼、大氣壓力。

貳、研究目的

選擇四種高多酚、低維生素 C，易氧化褐變的水果：香蕉、蘋果、西洋梨、楊桃進行下列實驗觀測及反應研究。

- 一、探討草酸與高濃度雙氧水對高多酚水果變色的影響。
- 二、探討草酸濃度對高多酚水果變色的影響。
- 三、探討有無保鮮膜封口對浸泡於不同草酸濃度中高多酚水果變色的影響。
- 四、探討不同浸泡時間草酸對高多酚水果耗氧速率的影響。
- 五、探討草酸、檸檬酸、鹽酸對高多酚水果變色的影響。
- 六、探討食鹽水對浸泡過氯化鉀水溶液的高多酚水果變色的影響。
- 七、探討 EDTA 水溶液對高多酚水果變色的影響。
- 八、探討高多酚水果在浸泡過草酸水溶液後吸收量的多寡。
- 九、探討乙炔、乙烯對高多酚水果變色熟成的影響。

實驗架構圖



參、研究設備及器材

一、藥品：

名稱	製造公司	名稱	製造公司
草酸	島田化學研究所	雙氧水	KOJIMA CHEMICAL CO.,LTD.
氯化鉀	島田化學研究所	檸檬酸	KOJIMA CHEMICAL CO.,LTD.
過錳酸鉀	島久藥品株式會社	鹽酸	KOJIMA CHEMICAL CO.,LTD.
氯化鈉 (食鹽)	島田化學研究所	乙二胺四乙酸 (EDTA)	CHONEYE PURE CHEMICALS
二氧化錳	島久藥品株式會社	酚酞	HERNG JANG
硫酸	島久藥品株式會社	電石	台南楠西鄉店鋪
水果	香蕉、蘋果、西洋梨、楊桃		



照片一 實驗藥品



照片二 實驗水果

二、器材：

pH 儀、緩衝液 pH7	BRAUN 蔬果榨汁機	電子天平(d=0.1g)
粗試管、試管架	量筒、燒杯	刮杓、滴管、玻璃棒
酒精溫度計	水果刀、刨刀	薊頭漏斗、錐形瓶、軟管
高科技泡綿	塑膠紗網	酸滴定管、磁石攪拌器、磁石



照片三 實驗器材



照片四 電子天平



照片五 pH 儀




(一)、**自製高科技泡綿切割器** 裝置說明

- 1.取 2cm×6cm×13cm 塑膠盒，兩端每間隔 1 公分製作凹槽，將刀片嵌入凹槽中。
- 2.將「高科技泡綿」平放於「切割器」上，並施力切割成 1cm×1cm×11cm 長條狀。



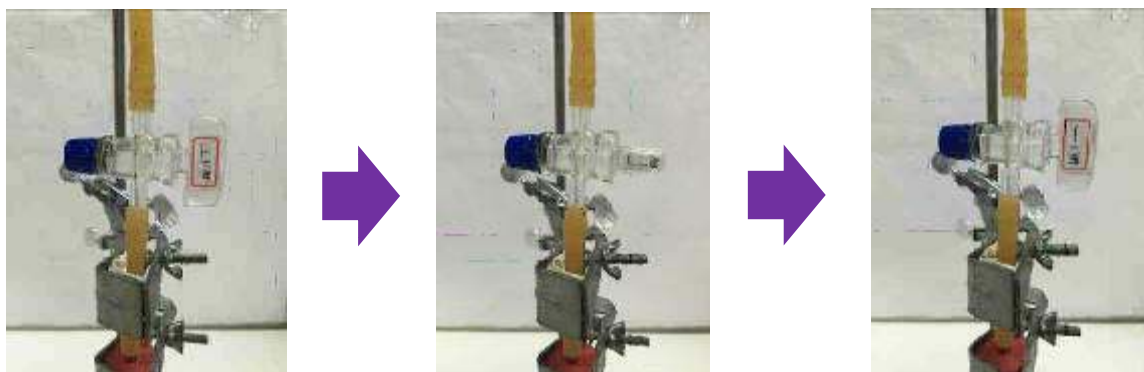
照片六 使用自製高科技泡綿切割器切割「高科技泡綿」流程

(二)、**三通管** 裝置說明

- 1.我們以「三通管」改良二代終極耗氧測定儀的裝置，使得每次測量的直立細玻璃管內墨水起始位置穩定，不因內部壓力改變過大而被推擠出細玻璃管外。
- 2.在兩直管間，加裝三路活塞，以平衡調控氣壓：有三通()、垂直二通()、直線二通()三種操作模式，如照片七。

操作順序

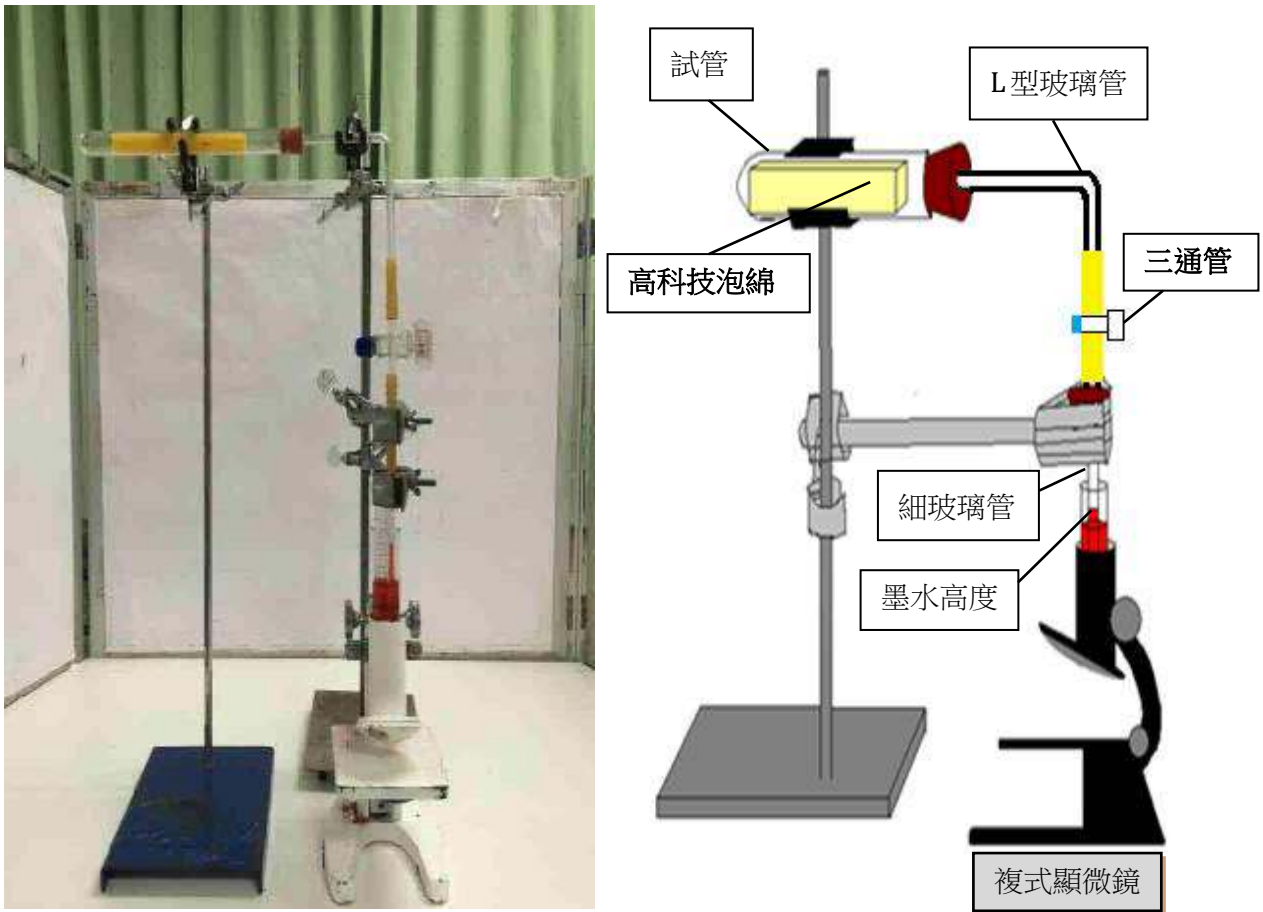
- (1)打開三通：讓橫管與直管管內氣壓與外界平衡，此時直管管內紅色水柱，因毛細現象高度稍微上升 (7mm)。
- (2)打開垂直二通：當試驗樣品置入橫管後，橡皮塞塞入橫管時，會使管內氣壓增大，降低直管紅色水柱高度；若打開垂直二通，則可將管內增大的壓力排到外界，維持壓力不變，紅色水柱高度維持一定。
- (3)打開直線二通：準備好進行樣品耗氧測試時，打開直線二通後，橫管、直管接通，即可進行耗氧實驗，因管內氧氣減少壓力變小，致管外大氣壓力 > 管內壓力，則可觀測到紅色水柱上升高度，加以紀錄。



照片七 使用「三通管」控制細玻璃管內外氣壓平衡的操作順序

(三)、**自製第三代終極耗氧測定儀** 裝置說明(參考資料一)

1. 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。
2. 「以高科技泡綿」吸取待測汁液塞入試管中，用軟木塞塞緊，如照片八。
3. 轉動三路活塞，使與細玻璃管內液面對齊等高，作為起始測量點。
4. 當水果汁液氧化消耗掉試管中的氧氣時，試管及細玻璃管內的壓力變小，而墨水試管內的壓力並沒有變（固定氣壓）。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，進而使細玻璃管中的水位上升，我們就以「水位上升的高度」做為「氧化速率快慢」的依據。

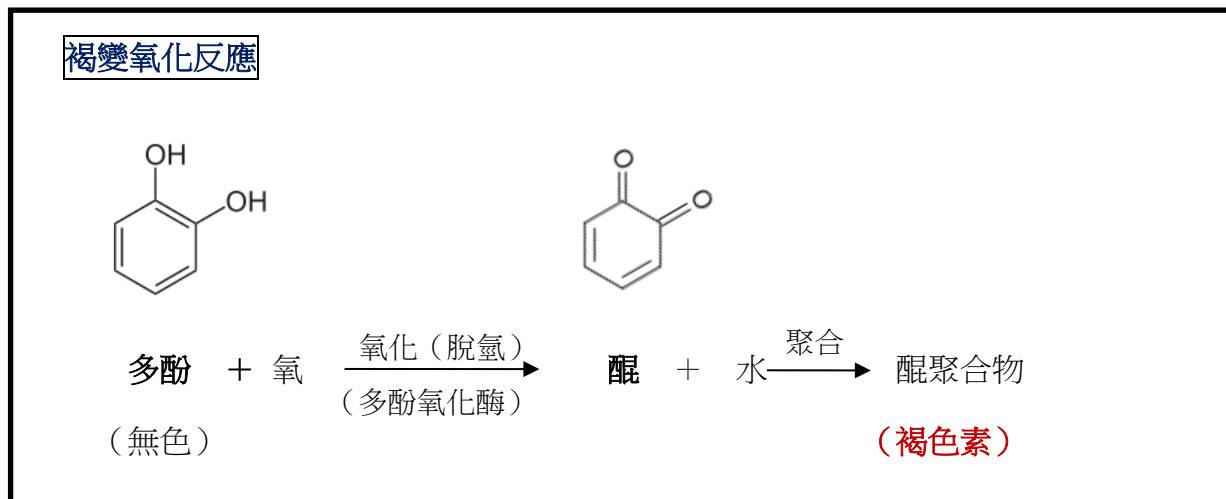


照片八 **自製第三代終極耗氧測定儀**

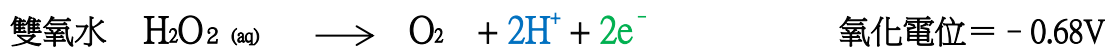
三、原理說明：

(一)多酚的氧化：

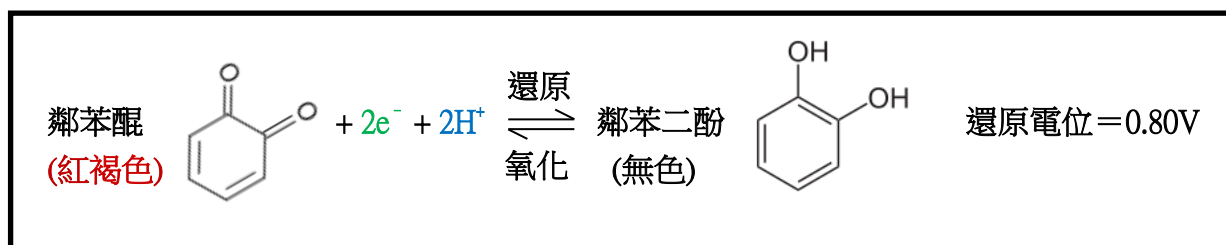
切開後的水果如蘋果、西洋梨放在空氣中一會兒就會變成褐色。這種變色反應是因為水果內的「多酚」在多酚氧化酶酵素催化下氧化成「醌」後，再聚合成「醌聚合物」(褐色素)的結果，這就是水果發生「褐變」的主要因素。



(二)物質還原性：參考文獻—高中化學物質半反應還原電位 (25°C 水中)



(三)醌還原電位：參考文獻—維基自由百科英文網頁 http://zh.wikipedia.org/organic_chemistry

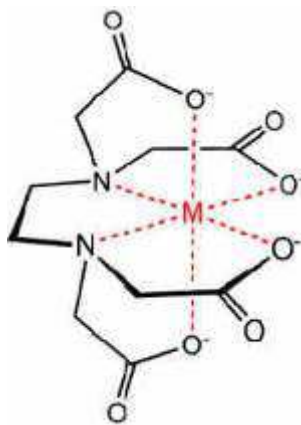


(四)草酸安全性：參考文獻—物質安全資料表

草酸是一種存在於多種植物內的酸，化學式 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ，二質子酸 $\text{pH}=1.5$ 亦是一種腎毒性和腐蝕性的酸，故有安全食用量規定，純草酸的半致死劑量 (LD50)，以對大鼠的影響作計量，大約每公斤體重 0.375 克，換算至一個 65 公斤重的成人，大約需要 25 克的份量；一個 30 公斤重的小孩，大約需要 11.25 克的份量。

(五)乙二胺四乙酸 (EDTA)：參考文獻—高中化學第三冊 12-5 金屬錯合物 國立編譯館

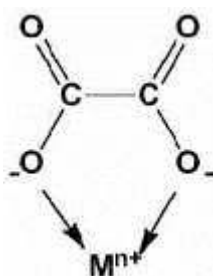
EDTA 化學式 $(\text{HOOCCH}_2)_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{N}(\text{CH}_2\text{COOH})_2$ 為常見的六牙配位基，它能提供 2 個氮原子和 4 個羧基氧原子與金屬配位，可以用 1 個分子把需要六配位的銅離子緊緊包裹起來，六齒螯合生成極穩定的 EDTA 銅金屬錯合物。銅離子存在於高多酚水果，如蘋果、西洋梨、楊桃內的銅離子多酚氧化酶內，其與 EDTA 螯合成 EDTA 銅金屬錯合物，化學立體結構表示如下：



EDTA 銅金屬錯合物 ($\text{M} : \text{Cu}^{2+}$)

六、草酸 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ：參考文獻—科學 Online 科技部高瞻自然科學教學資源平台

草酸 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 解離的草酸根 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}(\text{aq})$ 為常見的雙牙配位基，它能提供 2 個連接在羧基氧原子與金屬配位，可以用 1 個分子把需要二配位的銅離子緊緊夾住包裹起來，二齒螯合生成極穩定的錯合物。銅離子存在於高多酚水果，如蘋果、西洋梨、楊桃內的銅離子多酚氧化酶 (PPO)，其與 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}(\text{aq})$ 螯合成草酸銅金屬錯合物，化學結構表示如下：



草酸銅金屬錯合物 ($\text{M}^{n+} : \text{Cu}^{2+}$)

七、多酚氧化酶(PPO)：參考文獻—維基自由百科網頁/Yahoo 奇摩知識/香蕉皮為什麼變黑
維基大陸百科網頁/多酚氧化酶 polyphenoloxidase(PPO)

多酚氧化酶是植物組織內廣泛存在的氧化酶，專門負責水果熟化褐變的功能，將水果中無色的多酚轉化為紅褐色的醌聚合物，存在蘋果、西洋梨、楊桃稱為銅離子多酚氧化酶；而存在香蕉中稱為聚苯多酚氧化酶，兩者名稱、結構、性質不同，對氯化鈉的反應亦大不相同。

肆、研究過程或方法

前置準備

一、草酸水溶液的配製

- 1.取 10g 水置於試管中，加入 0.1 g 草酸，攪拌均勻，0.1 g 草酸水溶液(約 1%)即配製完成。
- 2.重複步驟 1，將草酸質量改以 0.3 g、0.5 g、0.7 g、0.9 g 加入，依序配製成 0.3 g 草酸水溶液、0.5 g 草酸水溶液、0.7 g 草酸水溶液、0.9 g 草酸水溶液。

二、5%食鹽水溶液的配製

取 95g 水置於試管中，加入 5 g 食鹽，攪拌均勻，5%食鹽水溶液即配製完成。

三、0.1g EDTA 水溶液的配製

取 10g 水置於試管中，加入 0.1 g EDTA，攪拌均勻，0.1 g EDTA 水溶液(約 1%)即配製完成。

四、氯化鉀水溶液的配製

- 1.取 1g 氯化鉀置於燒杯中，加水至 100mL，1%氯化鉀水溶液即配製完成。
- 2.重複步驟 1，將氯化鉀質量改以 3 g、5 g、10 g、20 g 加入，依序配製成 3%、5%、10%、20%氯化鉀溶液。
- 3.取 100mL 水置於燒杯中，加入過量氯化鉀至有沉澱產生，飽和氯化鉀水溶液即配製完成。

實驗方法

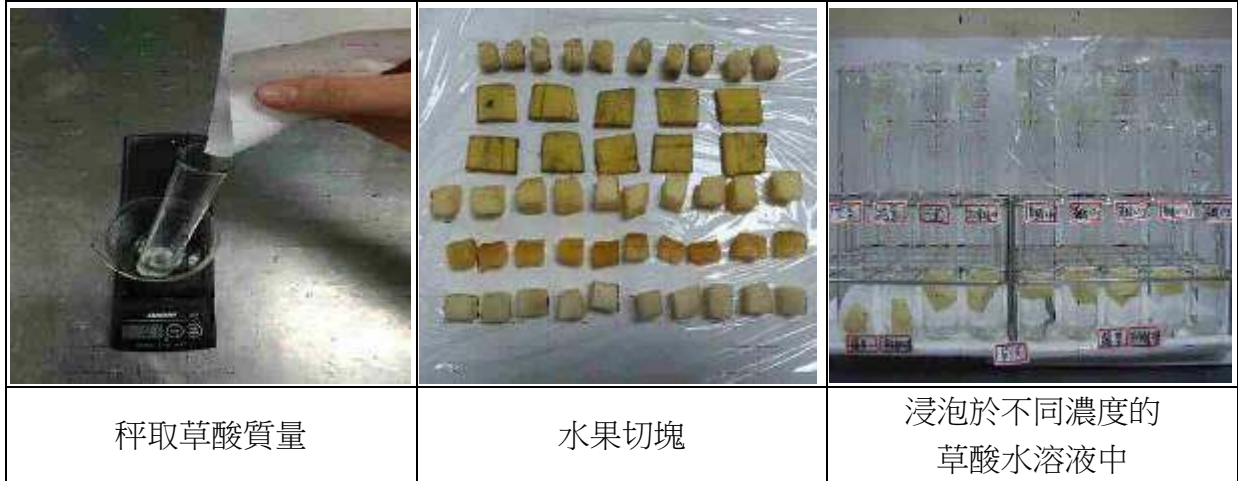
一、探討草酸與雙氧水對高多酚水果變色的影響

- 1.蘋果、香蕉皮、香蕉肉切塊，備用。
- 2.將上述水果分別浸泡於不同濃度的草酸和 35%雙氧水中。
- 3.觀察蘋果、香蕉皮、香蕉肉顏色變化，並記錄。



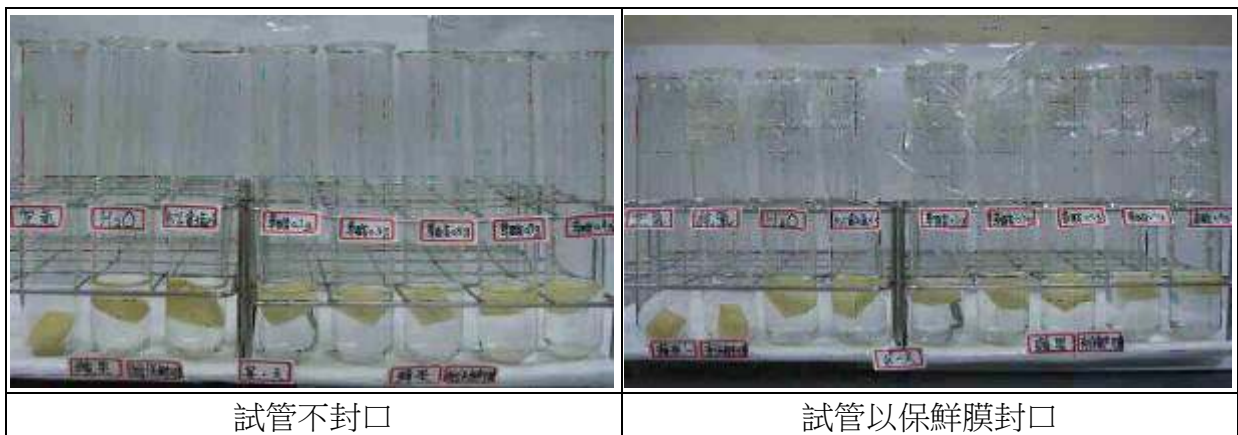
二、探討草酸濃度對高多酚水果變色的影響

- 1.分別取約 10g 的 0.1 g 草酸水溶液(約 1%)、0.3 g 草酸水溶液、0.5 g 草酸水溶液、0.7 g 草酸水溶液、0.9 g 草酸水溶液、水、5%食鹽水溶液置於七根試管中。
- 2.秤取質量 2g 的蘋果塊，依序放入上述五根草酸水溶液試管、水、5%食鹽水溶液、純氧試管和空氣試管中，將試管以保鮮膜封口。
- 3.觀察蘋果顏色變化，並記錄。
- 4.蘋果改取西洋梨、香蕉皮、香蕉肉、楊桃等，重複步驟 1~3，觀察水果顏色變化。



三、探討有無保鮮膜封口對浸泡於不同草酸濃度下高多酚水果變色的影響

- 1.分別取約 10g 的 0.1 g 草酸水溶液(約 1%)、0.3 g 草酸水溶液、0.5 g 草酸水溶液、0.7 g 草酸水溶液、0.9 g 草酸水溶液、水、5%食鹽水溶液置於七根試管中。
- 2.秤取質量 2g 的蘋果塊，依序放入上述五根草酸水溶液試管、水、5%食鹽水溶液和空氣試管中，此處試管不以保鮮膜封口。
- 3.以排水集氣法收集氧氣，製作一根純氧環境試管，備用。
- 4.重複步驟 1，再稱取質量 2g 的蘋果塊，依序放入五根草酸水溶液試管、水、5%食鹽水溶液、純氧試管和空氣試管中，將試管以保鮮膜封口。
- 5.蘋果改以西洋梨，重複步驟 1~4，觀察水果顏色變化。



四、探討不同浸泡時間草酸對高多酚水果耗氧速率的影響

(一)草酸對蘋果耗氧速率的影響

- 1.秤取五杯 140g 的 0.1g 草酸水溶液(約 1%)，備用。
- 2.蘋果切塊浸泡於上述草酸水溶液中，分別於 15、30、45、60、75 分鐘，取出榨汁。
- 3.以高科技泡綿吸取 10g 步驟 2 的蘋果汁，置於自製第三代終極耗氧儀中測量耗氧量，並記錄。

		
蘋果切塊	浸泡於草酸溶液中， 於不同時間取出榨汁。	置於自製第三代終極耗氧儀 中，測量耗氧量。

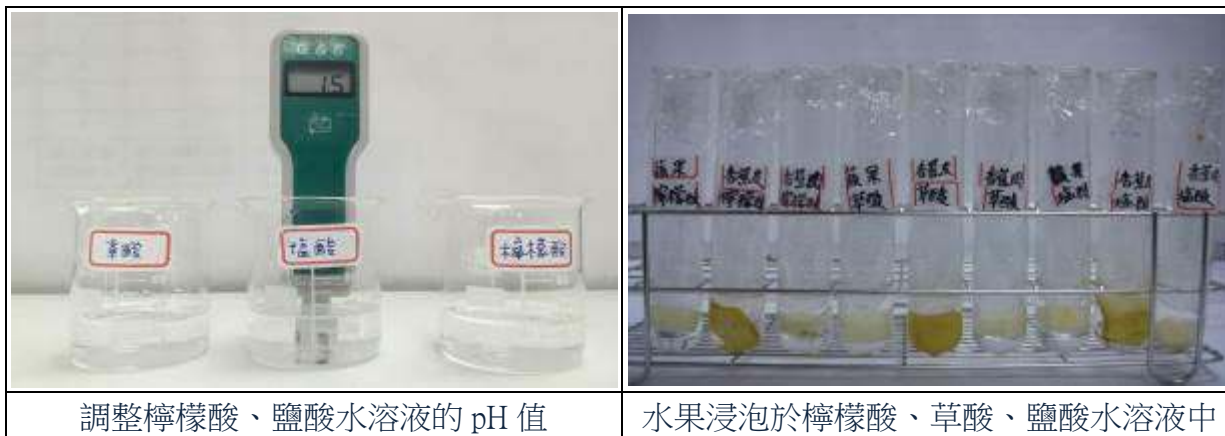
(二)草酸對香蕉皮耗氧速率的影響

- 1.秤取五杯 25g 的 0.1g 草酸水溶液(約 1%)，備用。
- 2.香蕉皮切成 1×11 公分長條狀，浸泡於上述草酸水溶液中，分別於 15、30、45、60、75 分鐘取出。
- 3.將已浸泡過草酸溶液的香蕉皮，置於自製第三代終極耗氧儀中測量耗氧量，並記錄。

		
香蕉切塊	浸泡於草酸溶液中， 於不同時間取出。	置於第三代耗氧儀中， 測量耗氧量。

五、探討草酸、檸檬酸、鹽酸對高多酚水果變色的影響

1. 以 pH 儀測定 0.1 g 草酸水溶液的 pH 值(pH=1.5)，作為對照組。
2. 調整檸檬酸、鹽酸水溶液的 pH 值與 0.1 g 草酸水溶液的 pH 值(pH=1.5)相同。
3. 秤取質量 2g 的蘋果塊，依序放入裝有檸檬酸、草酸、鹽酸水溶液試管中。
4. 觀察蘋果顏色變化，並記錄。
5. 蘋果改取香蕉皮、香蕉肉等，重複步驟 1~4，觀察水果顏色變化。



調整檸檬酸、鹽酸水溶液的 pH 值

水果浸泡於檸檬酸、草酸、鹽酸水溶液中

六、探討食鹽水對浸泡過氧化鉀水溶液的高多酚水果變色的影響

1. 秤取質量 2g 的蘋果塊，備用。
2. 將蘋果塊分別浸泡於不同濃度的 1%、3%、5%、10%、20% 及飽和氯化鉀水溶液中，浸泡時間為 1、5、10、20、30 分鐘。
3. 將步驟 2 浸泡過氯化鉀水溶液的蘋果塊取出，放入裝有 5% 食鹽水溶液的試管中。
4. 觀察蘋果顏色變化，並記錄。



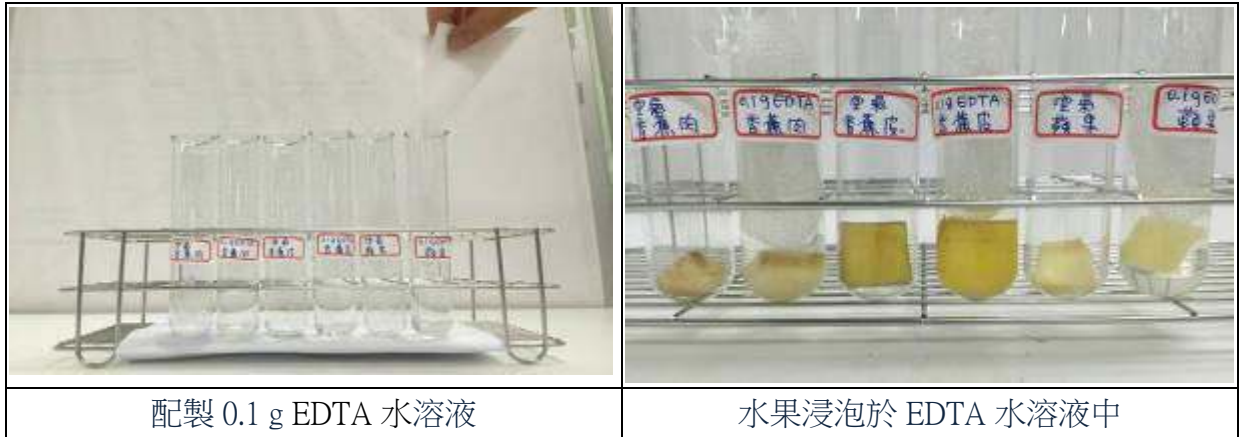
蘋果塊浸泡氯化鉀水溶液

將浸泡過氯化鉀水溶液的
蘋果塊置於食鹽水溶液中

觀察顏色變化

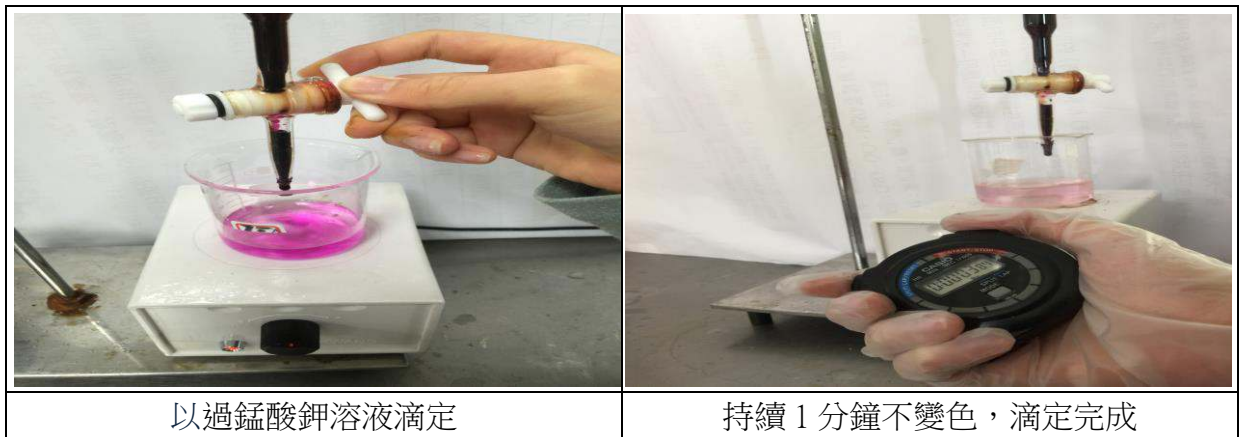
七、探討 EDTA 水溶液對高多酚水果變色的影響

1. 取 10g 的 0.1g EDTA 水溶液(約 1%)置於三根試管中，另取三根空試管備用。
2. 秤取質量 2g 的蘋果塊、香蕉肉及 1.5g 的香蕉皮，分別放入盛有 EDTA 水溶液試管和空試管中，空試管作為對照組。
3. 觀察蘋果、香蕉肉、香蕉皮的顏色變化，並記錄。



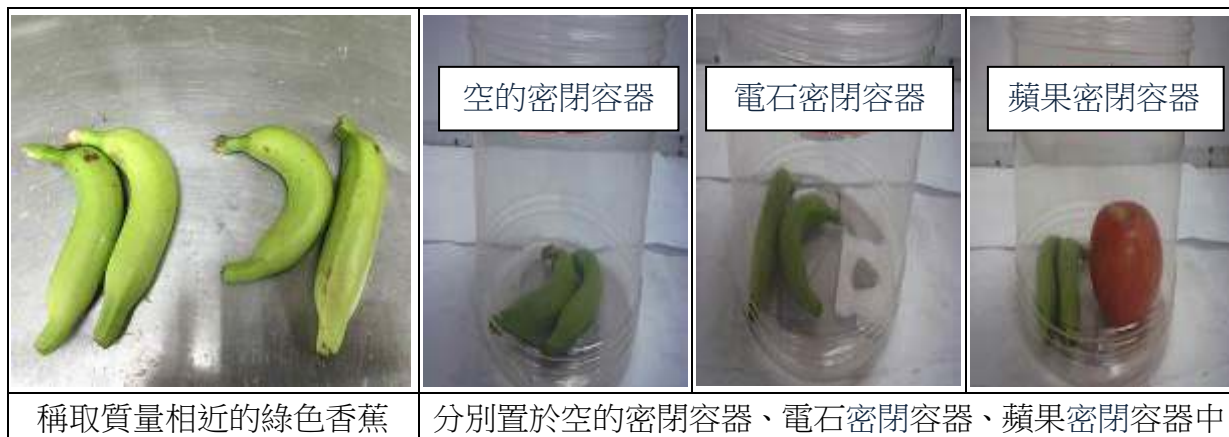
八、探討高多酚水果在浸泡過草酸水溶液後吸收量的多寡

1. 取 10g 浸泡過水果 15 分鐘的 0.1g 草酸水溶液，加上 10g 3.0M 硫酸溶液，混合攪拌均勻。
2. 以 0.05M 過錳酸鉀溶液滴定上述步驟 1 溶液，觀察溶液顏色變化，直到溶液由無色轉為淡紫色，且持續 1 分鐘，則滴定完成，記錄此時過錳酸鉀溶液使用的體積量。
3. 浸泡過水果 15 分鐘的 0.1g 草酸水溶液改以浸泡過水果 30、45、60、75 分鐘的 0.1g 草酸水溶液代替，重複步驟 1~2，記錄此時過錳酸鉀溶液使用的體積量。



九、探討乙炔、乙烯對高多酚水果變色熟成的影響

1. 秤取質量相近的六根綠色香蕉，每兩根為一組，分別置於(1)空的密閉容器(2)已放置電石的密閉容器(3)已放置蘋果的密閉容器。
2. 觀察香蕉顏色變化情形，並記錄。
3. 改取楊桃重複步驟 1，觀察楊桃顏色變化。



伍、研究結果


一、探討草酸與高濃度雙氧水對高多酚水果變色的影響

說明：不變色(完全阻止氧化) ⇨ - 淡褐色(部分阻止氧化) ⇨ + 稍變色

深褐色(完全不阻止氧化，氧化程度最大) ⇨ ++ 嚴重變色

浸泡高濃度雙氧水(35%)	第一天			
	第一週			
	水果	香蕉肉	香蕉皮	蘋果
	顏色變化	黃白色	黃色	白色

照片九 高濃度雙氧水(35%)對香蕉肉、香蕉皮、蘋果變色的影響

蘋果 浸泡 草酸 水 溶液	第一天	空氣	純氧	水	5%食鹽水	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	
		空氣	純氧	水	5%食鹽水	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	
	試管環境	空氣	純氧	水	5%食鹽水	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	
	顏色變化	++	++	+	—	—	—	—	—	—	
香蕉皮 浸泡 草酸 水 溶液	第一天	0.9g 草酸	0.7g 草酸	0.5g 草酸	0.3g 草酸	0.1g 草酸	5%食鹽水	水	空氣	純氧	
		0.9g 草酸	0.7g 草酸	0.5g 草酸	0.3g 草酸	0.1g 草酸	5%食鹽水	水	空氣	純氧	
	試管環境	0.9g 草酸	0.7g 草酸	0.5g 草酸	0.3g 草酸	0.1g 草酸	5%食鹽水	水	空氣	純氧	
	顏色變化	—	—	—	—	—	+	+	++	++	
香蕉肉 浸泡 草酸 水 溶液	第一天	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	水	5%食鹽水	純氧	空氣	
		0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	水	5%食鹽水	純氧	空氣	
	試管環境	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	水	5%食鹽水	純氧	空氣	
	顏色變化	—	—	—	—	—	+	+	+	+	

照片十 草酸溶液對蘋果、香蕉皮、香蕉肉變色的影響

結果發現：

1. 浸泡於高濃度雙氧水、草酸水溶液的蘋果、香蕉皮、香蕉肉不變色，表示兩者皆具有完全抑制水果內多酚氧化褐變的效果。本項實驗發現草酸水溶液抑制褐變的效果相當於高濃度雙氧水，進而推論草酸可以取代高濃度雙氧水應用於抑制水果氧化褐變上，讓水果美白增加價值，增進果農收益。(照片九)
2. 蘋果、香蕉皮、香蕉肉的顏色在空氣、純氧環境中皆呈現嚴重氧化褐變。(照片十)
3. 蘋果、香蕉皮、香蕉肉的顏色在水中皆呈現稍氧化褐變。(照片十)
4. 蘋果在 5% 食鹽水不變色，完全阻止氧化；而香蕉皮、香蕉肉則呈現淡褐色稍氧化褐變，表示食鹽水無法阻止香蕉皮、香蕉肉氧化褐變，此為兩者重大的差異。(照片十)(詳細說明在討論六)

二、探討草酸濃度對高多酚水果變色的影響

蘋果	第一天	空氣	純氧	水	5%食鹽水	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸
	第五週	0.9g 草酸	0.7g 草酸	0.5g 草酸	0.3g 草酸	0.1g 草酸	5%食鹽水	水	純氧	空氣
	試管環境	0.9g 草酸	0.7g 草酸	5g 草酸	0.3g 草酸	0.1g 草酸	5%食鹽水	水	純氧	空氣
	顏色變化	+	+	+	+	-	-	+	++	++
西洋梨	第一天	空氣	純氧	水	5%食鹽水	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸
	第五週	空氣	純氧	水	5%食鹽水	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸
	試管環境	空氣	純氧	水	5%食鹽水	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸
	顏色變化	++	++	+	-	-	+	+	+	+

照片十一 不同草酸濃度對蘋果、西洋梨變色的影響

楊桃	第一天	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	5%食鹽水	水	純氧	空氣
										
	第五週	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	5%食鹽水	水	空氣	純氧
										
試管環境	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	5%食鹽水	水	空氣	純氧	
顏色變化	—	+	+	+	+	—	+	++	++	
香蕉皮	第一天	0.9g 草酸	0.7g 草酸	0.5g 草酸	0.3g 草酸	0.1g 草酸	5%食鹽水	水	空氣	
										
	第五週	0.9g 草酸	0.7g 草酸	0.5g 草酸	0.3g 草酸	0.1g 草酸	5%食鹽水	水	空氣	
										
試管環境	0.9g 草酸	0.7g 草酸	0.5g 草酸	0.3g 草酸	0.1g 草酸	5%食鹽水	水	空氣		
顏色變化	—	—	—	—	—	+	+	++		
香蕉肉	第一天	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	水	5%食鹽水	純氧	空氣
										
	第五週	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	水	5%食鹽水	純氧	空氣
										
試管環境	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	水	5%食鹽水	純氧	空氣	
顏色變化	—	—	—	—	—	+	+	++	++	

照片十二 不同草酸濃度對楊桃、香蕉皮、香蕉肉變色的影響

說明： 不變色(完全阻止氧化) ⇨ — 淡褐色(部分阻止氧化) ⇨ + 稍變色

深褐色(完全不阻止氧化，氧化程度最大) ⇨ ++ 嚴重變色

	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	5% 食鹽水	水	空氣	純氧
蘋果	—	+	+	+	+	—	+	++	++
西洋梨	—	+	+	+	+	—	+	++	++
楊桃	—	+	+	+	+	—	+	++	++
香蕉皮	—	—	—	—	—	+	+	++	++
香蕉肉	—	—	—	—	—	+	+	++	++

表一 草酸濃度對高多酚水果變色的影響

結果發現：

1. 蘋果、西洋梨、楊桃放置到第五週時，(1)在純氧、空氣試管中，水果明顯完全氧化變色呈**深褐色**。(2)在草酸高濃度(約 3%、5%、7%、9%)溶液試管中與純水中，水果部分氧化呈**淡褐色**，原因為水、高濃度草酸溶液將水果與空氣阻隔，可部分阻止水果的氧化，但效果有限。(3)在草酸低濃度(約 1%)溶液試管中則幾乎不氧化、不變色。(照片十一、十二、表一)
2. 香蕉在裝有草酸水溶液試管中，無論濃度高低，香蕉均不變色，即草酸可完全抑制香蕉的氧化褐變，而蘋果、西洋梨、楊桃則稍變色，部分阻止氧化，**推論原因為兩者所含多酚氧化酶不同**，香蕉中為聚苯氧化酶而蘋果、西洋梨、楊桃為銅離子氧化酶。(照片十一、十二、表一)(詳細說明在討論二)
3. 比較草酸在不同高、低濃度時的抑制變色結果：發現草酸在低濃度時(約 1%)最能有效抑制高多酚水果變色，且草酸在低濃度時(約 1%)抑制香蕉的氧化變色效果較高濃度(約 3%、5%、7%、9%)為佳，**推論原因為與溶液滲透壓有關**。(照片十一、十二、表一)(詳細說明在討論二)
4. 水果浸泡在本實驗配製的草酸水溶液中，五週內皆無發霉情形，原因為草酸酸性強，溶液 pH 值為 1.1~1.5 間，接近強酸可抑制黴菌的生長。因此，**草酸可有效應用於水果的防霉**。(照片十一、十二、表一)
5. 氯化鈉水溶液對蘋果、西洋梨、楊桃可有效抑制變色，完全阻止氧化褐變，但對香蕉皮、香蕉肉卻無法阻止氧化褐變，**本項發現氯化鈉對兩者影響不同，導致變色的結果有重大明顯差異**。(詳細說明在討論六)

三、探討有無保鮮膜封口對浸泡於不同草酸濃度中高多酚水果變色的影響

蘋果 (第五週)	有保鮮膜 封口	0.9g 草酸	0.7g 草酸	0.5g 草酸	0.3g 草酸	0.1g 草酸	5%食鹽水	水	純氧	空氣
	無保鮮膜 封口	0.9g 草酸	0.7g 草酸	0.5g 草酸	0.3g 草酸	0.1g 草酸	5%食鹽水	水	純氧	空氣

照片十三 蘋果在有無保鮮膜封口中，不同草酸濃度對蘋果變色的影響

西洋梨 (第五週)	有保鮮膜 封口	空氣	純氧	水	5%食鹽水	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸
	無保鮮膜 封口	空氣	水	5%食鹽水	0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	

照片十四 西洋梨在有無保鮮膜封口中，不同草酸濃度對西洋梨變色的影響

說明：不變色(完全阻止氧化) ⇨ - 淡褐色(部分阻止氧化) ⇨ + 稍變色

深褐色(完全不阻止氧化，氧化程度最大) ⇨ ++ 嚴重變色

		0.1g 草酸	0.3g 草酸	0.5g 草酸	0.7g 草酸	0.9g 草酸	5% 食鹽水	水	空氣	純氧
蘋果	有保鮮膜	-	+	+	+	+	-	+	++	++
	無保鮮膜	-	+	+	+	+	-	+	++	++
西洋梨	有保鮮膜	-	+	+	+	+	-	+	++	++
	無保鮮膜	-	+	+	+	+	-	+	++	++

表二 有無保鮮膜封口對浸泡於不同草酸濃度下高多酚水果變色的影響

結果發現：

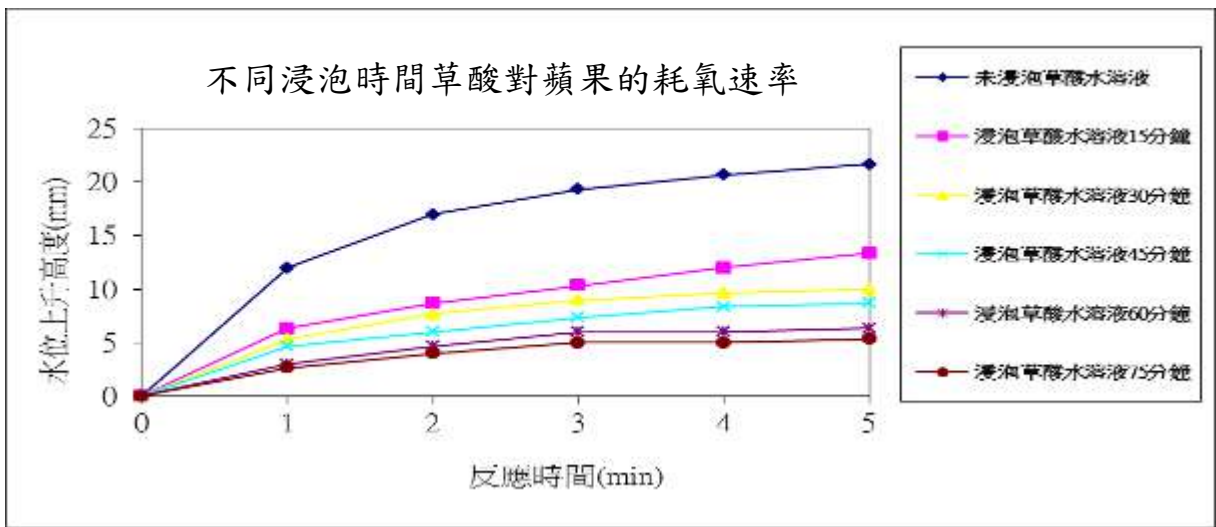
蘋果、西洋梨在有無保鮮膜封口情況下，浸泡於不同草酸濃度中，呈現的變色結果皆相近，故有無保鮮膜封口並不會影響水果的氧化變色。(照片十三、照片十四、表二)

四、探討不同浸泡時間草酸對高多酚水果耗氧速率的影響

(一)草酸對蘋果耗氧速率的影響：使用耗氧儀測量 (蘋果汁 10mL，草酸濃度 1%)

浸泡時間 (min)	測量時間 上升高度 (min)	1	2	3	4	5
		0	12.0	17.0	19.3	20.7
15		6.3	8.7	10.3	12.0	13.3
30		5.3	7.7	9.0	9.7	10.0
45		4.7	6.0	7.3	8.3	8.7
60		3.0	4.7	6.0	6.0	6.3
75		2.7	4.0	5.0	5.0	5.3

表三 草酸浸泡時間對蘋果的耗氧速率(上升高度)表

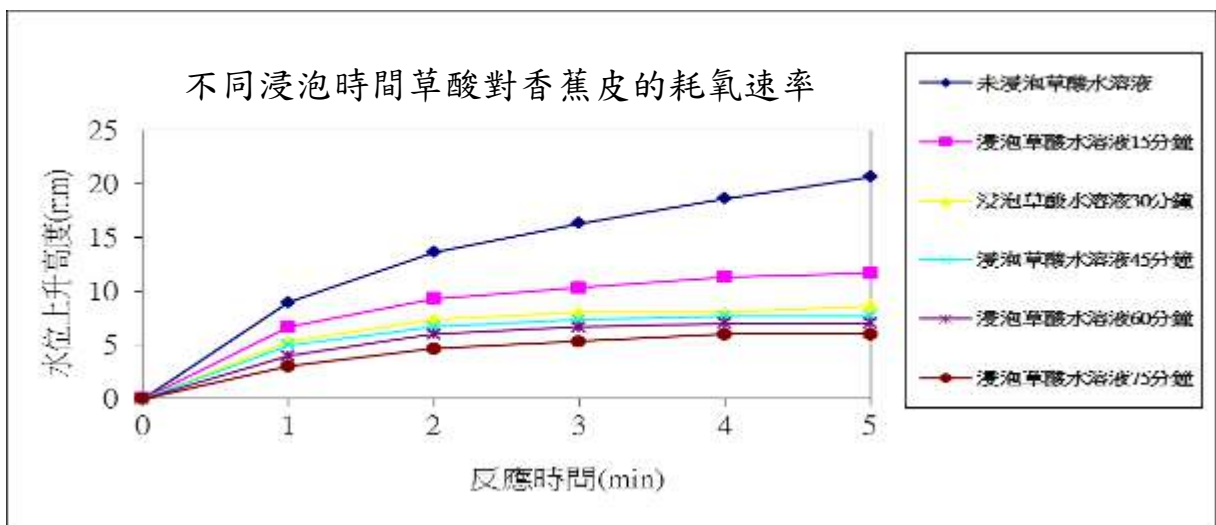


圖一 草酸浸泡時間對蘋果的耗氧速率(上升高度)圖

(二)草酸對香蕉皮耗氧速率的影響(香蕉皮 11cm×1cm，草酸濃度 1%)

靜置時間 上升高度 (min) (mm)	1	2	3	4	5
0	9.0	13.7	16.3	18.7	20.7
15	6.7	9.3	10.3	11.3	11.7
30	5.3	7.3	8.0	8.0	8.7
45	5.0	6.7	7.3	7.7	7.7
60	4.0	6.0	6.7	7.0	7.0
75	3.0	4.7	5.3	6.0	6.0

表四 草酸浸泡時間對香蕉皮的耗氧速率(上升高度)表


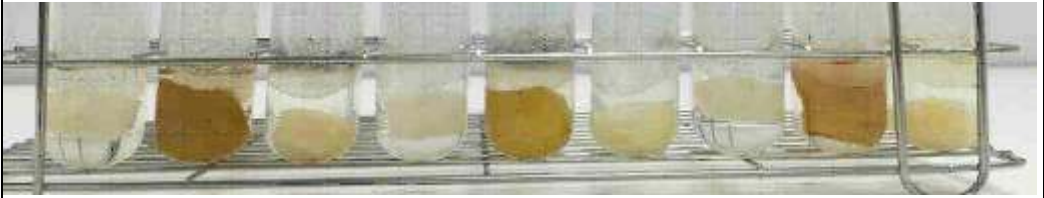


圖二 草酸浸泡時間對香蕉皮的耗氧速率(上升高度)圖

結果發現：

1. 蘋果、香蕉皮在浸泡過草酸水溶液後，使用自製第三代終極耗氧儀測量水位上升高度，發現水位上升高度變短，耗氧量明顯減少，氧化速率降低，再度證實草酸確實能有效阻止多酚的氧化褐變。(表三、表四)
2. 浸泡時間愈長，水位上升高度愈短 耗氧速率愈慢。(圖一、圖二)

五、探討草酸、檸檬酸、鹽酸對高多酚水果變色的影響(對照組：草酸)


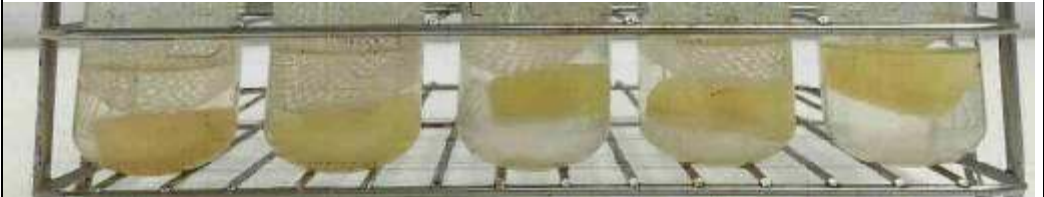
	蘋果 檸檬酸	香蕉皮 檸檬酸	香蕉肉 檸檬酸	蘋果 草酸	香蕉皮 草酸	香蕉肉 草酸	蘋果 鹽酸	香蕉皮 鹽酸	香蕉肉 鹽酸
第一天									
第二週									




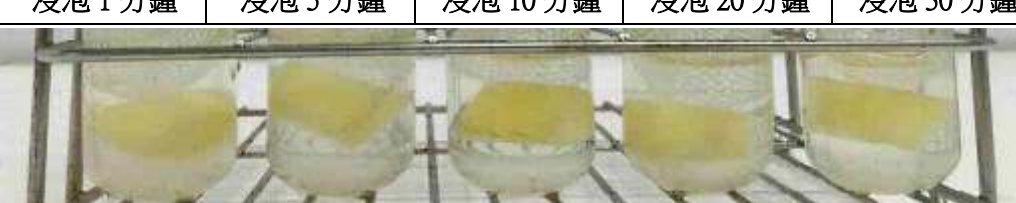

照片十五 草酸、檸檬酸、鹽酸對高多酚水果變色的影響

結果發現：

1. pH 值相同的檸檬酸、鹽酸皆可延緩多酚的氧化褐變，原因為水可將水果與空氣阻隔，可部分阻止水果的氧化，並非酸的氫離子作用，故效果有限。(照片十五)
2. 比較草酸、檸檬酸、鹽酸的變色結果，草酸對香蕉最能有效抑制變色，原因為草酸是還原劑，具有還原性且草酸根離子是常見的雙牙基可與多酚氧化酶的銅離子進行配位結合，形成錯合物。(照片十五)(詳細說明在討論五)

六、探討食鹽水對浸泡過氯化鉀水溶液的高多酚水果蘋果變色的影響

	浸泡 1 分鐘	浸泡 5 分鐘	浸泡 10 分鐘	浸泡 20 分鐘	浸泡 30 分鐘
第一天					
1g 氯化鉀 第五週					

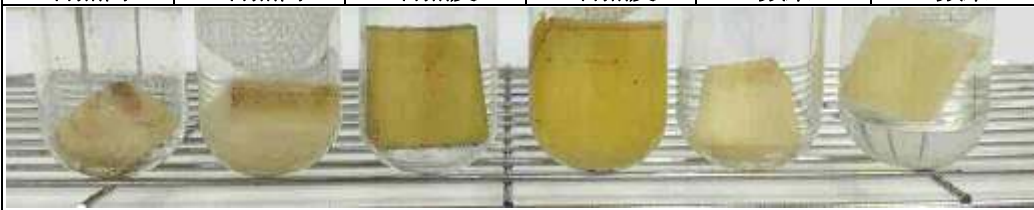
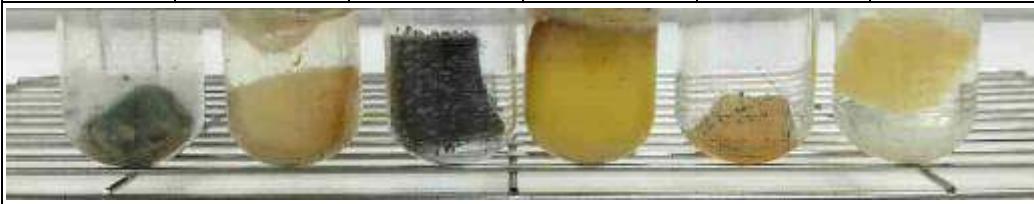
	浸泡 1 分鐘	浸泡 5 分鐘	浸泡 10 分鐘	浸泡 20 分鐘	浸泡 30 分鐘
3g 氯化鉀 第五週					
5g 氯化鉀 第五週					
10g 氯化鉀 第五週					
30g 氯化鉀 第五週					
飽和氯化鉀 第五週					

照片十六 食鹽水對浸泡過氯化鉀水溶液的高多酚水果變色的影響

結果發現：

1. 蘋果、西洋梨、楊桃放置到第五週時，在裝有食鹽水試管中，水果不變色，即食鹽水可完全抑制水果的氧化。(同實驗一)(照片十一、照片十二、表一)
2. 香蕉皮、香蕉肉放置到第五週時，在裝有 5% 食鹽水試管中，水果仍有部分被氧化呈褐色，值得探究的是食鹽水對很多水果都能有效阻止氧化，但對香蕉皮和香蕉肉沒有效果。(同實驗一)(照片十一、照片十二、表一)
3. 浸過氯化鉀水溶液的蘋果，再放入食鹽水中，無論浸泡時間長短或濃度高低皆無褐變現象產生。(照片十六)(詳細說明在討論六)

七、探討 EDTA 水溶液對高多酚水果變色的影響

第一天	空氣中 香蕉肉	0.1gEDTA 香蕉肉	空氣中 香蕉皮	0.1gEDTA 香蕉皮	空氣中 蘋果	0.1gEDTA 蘋果
						
第二週	空氣中 香蕉肉	0.1gEDTA 香蕉肉	空氣中 香蕉皮	0.1gEDTA 香蕉皮	空氣中 蘋果	0.1gEDTA 蘋果
						
試管環境	空氣中 香蕉肉	0.1gEDTA 香蕉肉	空氣中 香蕉皮	0.1gEDTA 香蕉皮	空氣中 蘋果	0.1gEDTA 蘋果
顏色變化	++	—	++	—	+	—

照片十七 EDTA 對香蕉肉、香蕉皮、蘋果變色的影響

結果發現：

水果放置於空氣中已氧化褐變，而放置於 EDTA 水溶液的水果仍可保持水果原色，即 EDTA 水溶液能有效抑制水果的氧化褐變，原因為 EDTA 離子是常見的六牙基可與蘋果多酚氧化酶的銅離子進行配位結合，形成錯合物，抑制多酚氧化酶的作用。(照片十七)(詳細說明在討論七)

八、探討高多酚水果在浸泡過草酸水溶液後吸收量的多寡

(一) 蘋果

浸泡 時間(min)	蘋果	過錳酸鉀 (mL)	原溶液草酸 質量(g)	浸泡後草酸 剩餘質量 (g)	草酸吸收量 (g)	草酸吸收率 (%)
15		12.6	1.4	0.14	1.26	90
30		10.2	1.4	0.11	1.29	92
45		9.5	1.4	0.11	1.29	92
60		9.2	1.4	0.10	1.30	93
75		8.6	1.4	0.10	1.30	93

表五 過錳酸鉀滴定浸泡過蘋果的草酸水溶液之草酸吸收量表

說明：(1)10g 草酸水溶液中含有草酸質量 0.1g，故取 140g 草酸水溶液時，草酸質量為 1.4g。

(2)以 0.05M 過錳酸鉀溶液滴定未知草酸溶液的濃度，

浸泡 15 分鐘時 $C_M \times 10 \times 2 = 0.05 \times 12.6 \times 5$ ， $C_M = 0.16M$

浸泡後草酸剩餘質量 $H_2C_2O_4 = 0.16 \times 10 \times 10^{-3} \times 90 = 0.14g$

草酸吸收率： $[(1.4 - 0.14)/1.4] \times 100 = 90\%$

結果發現：

- 1.蘋果在草酸水溶液中的吸收率可高達 90%以上，表示浸泡草酸可對蘋果進行有效的抑制氧化，阻止褐變。
- 2.浸泡時間最長 75 分鐘時，原草酸質量 1.40g、浸泡後草酸剩餘質量 0.10 g、草酸吸收量 1.30 g，若食用浸泡在本草酸水溶液中的蘋果，草酸的食用量為 1.30 g 與一般 30 公斤重的小孩(11.25g)、65 公斤重成人(25g)的食用安全上限，尚有一大段距離，故可合理推測適量食用浸泡過 1%低濃度草酸水溶液的水果是安全的。

(二) 香蕉

浸泡時間(min)	香蕉	過錳酸鉀 (mL)	原溶液草酸質量(g)	浸泡後草酸剩餘質量 (g)	草酸吸收量 (g)	草酸吸收率 (%)
15		5.97	0.25	0.07	0.18	72
30		5.80	0.25	0.07	0.18	74
45		6.13	0.25	0.07	0.18	72
60		6.13	0.25	0.07	0.18	72
75		7.73	0.25	0.09	0.16	65

表六 過錳酸鉀滴定浸泡過香蕉皮的草酸水溶液之草酸吸收量表

說明:(1)10g 草酸水溶液中含有草酸質量 0.1g，故取 25g 草酸水溶液時，草酸質量為 0.25g。

(2)以 0.05M 過錳酸鉀溶液滴定未知草酸溶液的濃度，

$$\text{浸泡 15 分鐘時 } C_M \times 10 \times 2 = 0.05 \times 5.97 \times 5, C_M = 0.075M$$

$$\text{浸泡後草酸剩餘質量 } H_2C_2O_4 = 0.075 \times 10 \times 10^{-3} \times 90 = 0.07g$$

$$\text{草酸吸收率: } [(0.25 - 0.07)/0.25] \times 100 = 72\%$$

結果發現：

- 1.香蕉皮在草酸水溶液中的吸收率可達 65%以上，表示浸泡草酸可對香蕉進行有效的抑制氧化，阻止褐變。
- 2.浸泡時間最長 75 分鐘，原草酸質量 0.25g、浸泡後草酸剩餘質量 0.09 g、草酸吸收量 0.16 g，若食用浸泡在本草酸水溶液中的香蕉，草酸的食用量為 0.16 g 與一般 30 公斤重的小孩(11.25g)、65 公斤重成人(25g)的食用安全上限，尚有一大段距離，故可合理推測適量食用浸泡過 1%低濃度草酸水溶液的水果是安全的。

九、探討乙炔、乙烯對高多酚水果變色熟成的影響

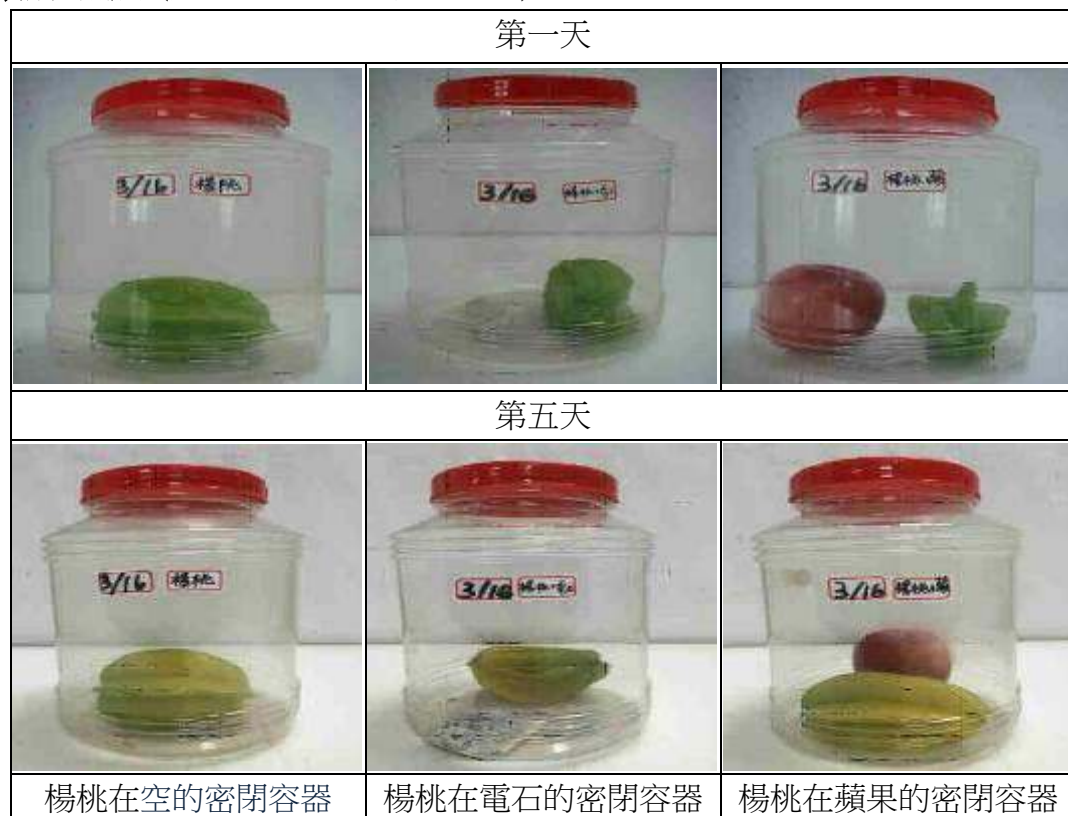
(一)香蕉熟成 (對照組：放置在空的密閉容器)





照片十八 香蕉在不同環境的變色熟成情形

(二)楊桃熟成 (對照組：放置密閉空容器)



照片十九 楊桃在不同環境的變色熟成情形

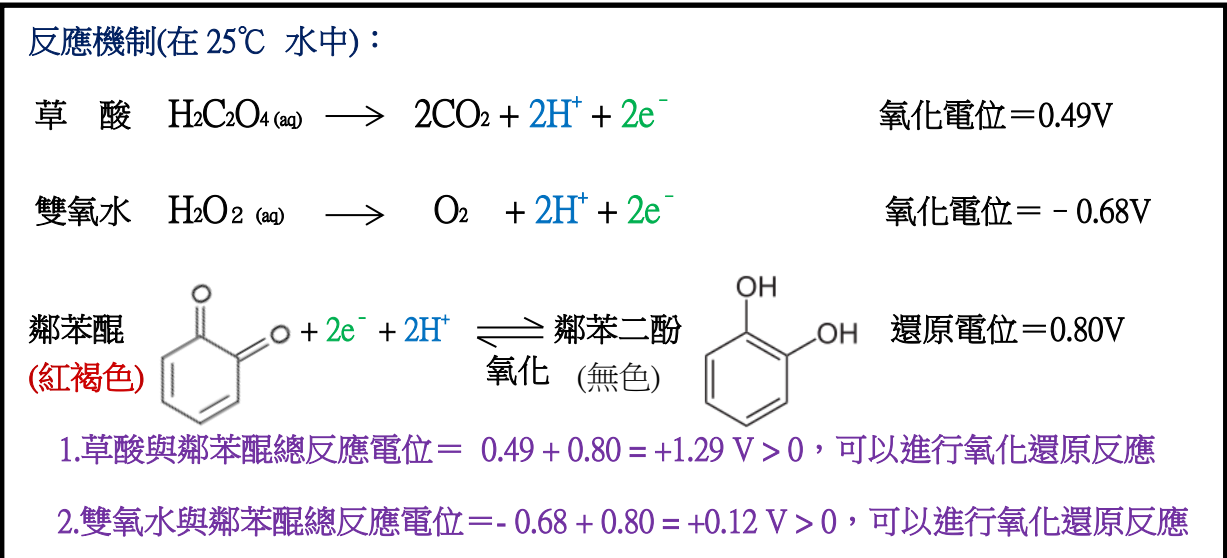
結果發現：

- 1.香蕉與對照組比較：放置在碳化鈣(俗稱電石)與在蘋果的密閉容器中，香蕉顏色由綠色變黃色，故碳化鈣(與水蒸氣作用產生乙炔)、蘋果(釋放乙烯)確實能有效催化香蕉的熟成氧化變色。(照片十八)
- 2.楊桃與對照組比較：放置在碳化鈣(俗稱電石)與在蘋果的密閉容器中，楊桃顏色由綠色變黃色，故碳化鈣、蘋果亦能有效催化楊桃的熟成氧化，不過只要將楊桃放置在密閉空容器內，楊桃亦能加速熟成，故坊間較少利用上述方法將楊桃催化熟成，如本實驗結果。(照片十九)

陸、討論

一、探討草酸與雙氧水對高多酚水果變色的影響

1%草酸水溶液與 35%高濃度雙氧水一樣都具有抑制水果氧化變色的效果，是因草酸和 35%雙氧水皆具還原性，將**紅褐色鄰苯醌**還原成**無色鄰苯二酚**，使水果不會氧化褐變，可以進行下列氧化還原反應。**反應機制說明如下：**

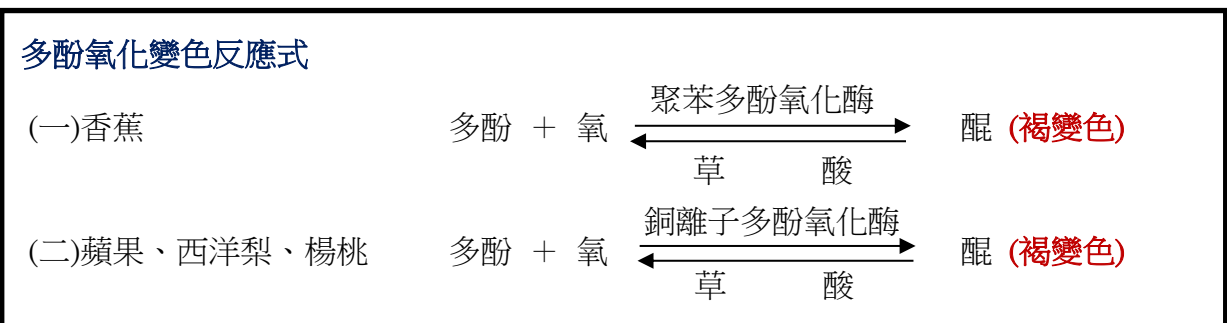


反應趨勢：

草酸與鄰苯醌大於雙氧水與鄰苯醌，因為前者 $\Delta E^0 = 1.29 \text{ V} >$ 後者 $\Delta E^0 = 0.12 \text{ V}$ 。

二、探討草酸濃度對高多酚水果變色的影響

1.草酸水溶液在低濃度時(約 1%)便可完全抑制香蕉的氧化變色，推論原因為香蕉中所含的聚苯多酚氧化酶可以被草酸強烈抑制，有效阻止變色，此與蘋果、西洋梨、楊桃的變色機制不同，因其所含的多酚氧化酶為銅離子氧化酶，被草酸抑制性較弱。**反應式說明如下：**



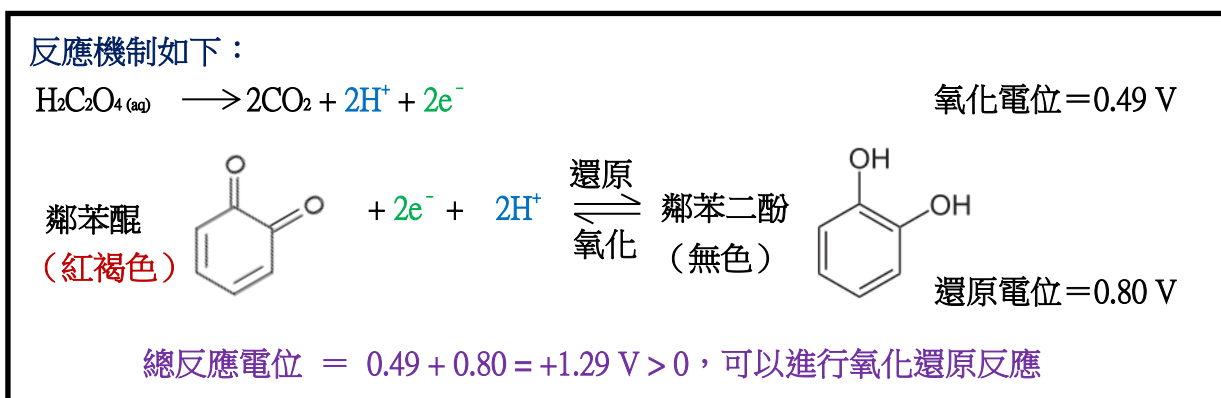
2.草酸水溶液在低濃度時(約 1%) 抑制本實驗中四種水果的氧化變色效果較高濃度(約 3%、5%、7%、9%)為佳，(如照片十一、十二、表一)，推測原因為：低濃度時滲透壓較小，水分子由水果滲透出去的水較少，水果體積相對較大，雖濃度較低，但對醌還原的反應量已足夠，故顏色密度較小，看起來較淡幾乎不變色。

三、探討有無保鮮膜封口對浸泡於不同草酸濃度下高多酚水果變色的影響

有無保鮮膜封口並不影響浸泡於不同草酸濃度下高多酚水果的變色，原因為試管中的氧氣已足夠提供水果中多酚的氧化，故不影響氧化速率；實驗發現若無保鮮膜封口則易有果蠅、灰塵飛入試管中，易使實驗中的水果發霉，影響變色觀察準確性，因此試管以保鮮膜封口是較佳的選擇。

四、探討不同浸泡時間草酸對高多酚水果耗氧速率的影響

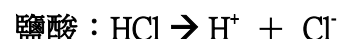
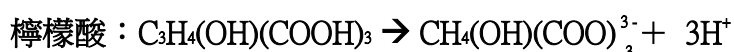
蘋果與香蕉皮在浸泡過草酸水溶液後，耗氧量明顯減少，發現浸泡時間愈久，細玻璃管內紅墨水的水位上升高度愈短，耗氧速率愈低的趨勢，證實草酸確能有效阻止水果中多酚的氧化褐變，降低耗氧速率。(表三、圖一、表四、圖二) 原因草酸可與鄰苯醌反應，將其還原，進行氧化還原反應，反應機制說明如下：



五、探討草酸、檸檬酸、鹽酸對高多酚水果變色的影響

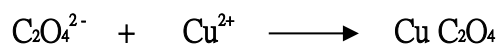
草酸、檸檬酸、鹽酸三者對高多酚水果的變色，以草酸最能有效抑制變色，原因為1.草酸與醌的總反應電位 > 0，草酸可與醌反應將其還原，故可抑制多酚氧化變色，但是檸檬酸、鹽酸僅是正、負離子的解離，無法釋放出電子與醌進行還原反應，故不能有效抑制變色。(照片十五) 解離方程式說明如下：

解離方程式



2.草酸根離子是常見的雙牙基可與多酚氧化酶的銅離子進行配位結合，形成金屬錯合物。(照片十五) 反應式說明如下：

草酸根與銅離子形成草酸銅金屬錯合物



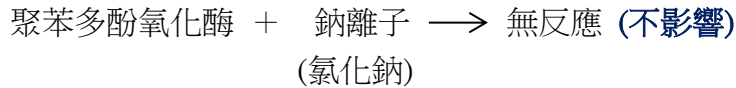
六、探討食鹽水對浸泡過氧化鉀水溶液的高多酚水果變色的影響

1.食鹽水能有效阻止蘋果、西洋梨、楊桃等水果的氧化，是因鈉離子對其所含銅離子多酚氧化酶的銅離子進行取代作用，食鹽水對香蕉則沒效果，原因為香蕉含的是聚苯多酚氧化酶，不含銅離子，不與鈉離子發生作用，故無法抑制香蕉的氧化。反應式說明如下：

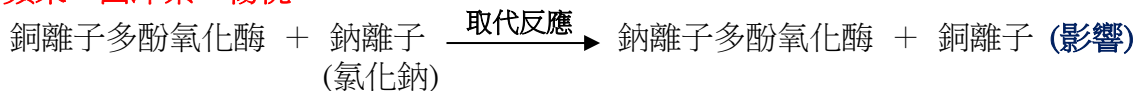
2.食鹽水對浸泡過氯化鉀水溶液的高多酚蘋果，同樣也有很好的抑制變色效果，因此證明鈉離子不因鉀離子的存在，而影響其與銅離子的取代反應。反應式說明如下二：

一、多酚氧化酶與鈉離子反應式

(一)香蕉

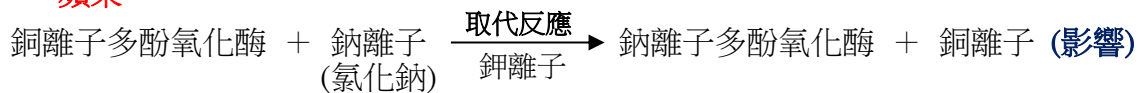


(二)蘋果、西洋梨、楊桃



二、多酚氧化酶與鈉離子(在鉀離子存在環境)反應式

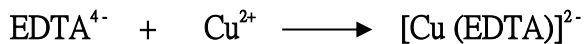
蘋果



七、探討 EDTA 水溶液對高多酚水果變色的影響

EDTA 離子是常見的六牙基可與多酚氧化酶的銅離子進行配位結合，形成金屬錯合物，抑制多酚氧化酶的作用，有效抑制水果中多酚的氧化褐變。反應式說明如下：

EDTA 與銅離子形成 EDTA 銅金屬錯合物

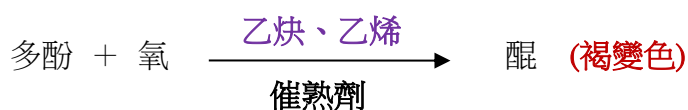
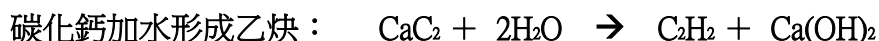


八、探討高多酚水果在浸泡過草酸水溶液後吸收量的多寡

水果浸泡在草酸水溶液中的吸收率高，可讓草酸對水果有效的抑制氧化褐變。另外，浸泡時間為 75 分鐘，不論是一片 17g 蘋果，草酸吸收量為 1.3 g、或一片 3.5g 香蕉皮，草酸吸收量 0.16 g，皆顯示若適量食用浸泡在低濃度草酸水溶液(約 1%)中的水果，草酸的食用量離一般 30 公斤重的小孩(11.25g)、65 公斤重成人(25g)的食用安全量上限，尚有一段距離，故可合理推測食用浸泡過低濃度(約 1%)適量草酸溶液的水果是安全的。

九、探討乙炔、乙烯對高多酚水果變色熟成的影響

乙炔氣體來源為置於容器中碳化鈣與水蒸氣作用，而乙烯氣體來源為蘋果自行釋放出的催熟氣體，乙炔、乙烯氣體能有效催化香蕉、楊桃的熟成致多酚氧化褐變，可作為植物的荷爾蒙激素，皆是能加速香蕉、楊桃熟成變色的催熟劑。反應式說明如下：



柒、結論

一、探討草酸與高濃度雙氧水對高多酚水果變色的影響

- 1.草酸和 35%雙氧水都具有阻止水果氧化效果，但與鄰苯醌反應趨勢：草酸大於雙氧水，因總反應電位 ΔE^0 前者較大，推論長時間使用草酸的效果較 35%高濃度雙氧水為佳。
- 2.草酸在低濃度時(約 1%)即能有效抑制高多酚水果氧化褐變，且人體可容許食用適量的草酸。綜合以上兩點：低濃度草酸可完全取代人體不可食用的雙氧水且較無安全疑慮，可建議產業界、商家採用。

二、探討草酸濃度對高多酚水果變色的影響

- 1.草酸水溶液在低濃度時(約 1%)便可完全抑制香蕉氧化變色，且對香蕉抑制特別有效。
- 2.草酸水溶液在低濃度時(約 1%) 抑制四種實驗水果的氧化變色效果較高濃度(約 3%、5%、7%、9%)為佳，此與滲透壓有關。
- 3.香蕉中所含的聚苯多酚氧化酶可以被草酸強烈抑制，故草酸可有效完全阻止變色；而蘋果、西洋梨、楊桃所含的氧化酶為銅離子多酚氧化酶，合理推論因結構不同、性質不同，草酸抑制性稍差，故草酸僅可部分阻止變色。

三、探討有無保鮮膜封口對浸泡於不同草酸濃度下高多酚水果變色的影響

有無保鮮膜封口並不會影響水果的氧化變色，但仍建議水果保存時，以保鮮膜封口，避免果蠅、灰塵飛入，易使水果發霉腐壞。

四、探討不同浸泡時間草酸對高多酚水果耗氧速率的影響

蘋果、香蕉皮在浸泡過草酸溶液後，置入自製第三代終極耗氧儀觀測，發現浸泡時間愈久細玻璃管內紅墨水的水位上升高度愈短，耗氧速率有愈低的趨勢，耗氧量明顯減少，氧化速率明顯降低，證明草酸確實能有效阻止水果多酚的氧化作用。

五、探討草酸、檸檬酸、鹽酸對高多酚水果變色的影響

三者對高多酚水果的變色，以草酸最能有效抑制變色，原因為 1.草酸具還原性，草酸與醌的總氧化還原電位 $\Delta E^0=1.29V > 0$ ，可將其還原。2.草酸根離子具雙牙基可與多酚氧化酶的銅離子配位結合，形成草酸銅金屬錯合物降低其活性，故可完全抑制多酚變色；但鹽酸、檸檬酸僅是正、負離子的解離，無法釋放出電子與醌進行還原反應，且無配位基與銅離子形成金屬錯合物，不能有效抑制多酚變色，故足以證明草酸可完全抑制多酚的變色，並非氫離子(H^+)的作用。

六、探討食鹽水對浸泡過氯化鉀水溶液的高多酚水果變色的影響

- 1.食鹽水中的鈉離子對蘋果、西洋梨、楊桃這類水果中多酚氧化酶的銅離子會進行取代作用，但對香蕉沒有效果，原因為香蕉所含的多酚氧化酶是聚苯多酚氧化酶，不是含銅離子的銅酶，不與鈉離子發生取代作用。
- 2.食鹽水對浸泡過氯化鉀水溶液的高多酚蘋果，同樣也有很好的抑制變色效果，因此證明鈉離子不因鉀離子的存在，而影響其與銅離子的取代反應，故食鹽水對鉀離子含量高的香蕉皮和香蕉肉不能抑制變色的理由與鉀離子無關。

七、探討 EDTA 水溶液對高多酚水果變色的影響

EDTA 離子是六牙基可與多酚氧化酶的銅離子進行配位結合，形成 EDTA 銅金屬錯合物，抑制多酚氧化酶的作用，如同草酸根離子的雙牙基可與多酚氧化酶的銅離子進行配位結合，形成草酸銅金屬錯合物。證明含有配位基的負離子，可與多酚氧化酶的銅離子進行配位結合，形成金屬錯合物，抑制多酚氧化酶的作用，阻止多酚氧化變色。

八、探討高多酚水果在浸泡過草酸水溶液後吸收量的多寡

蘋果、香蕉皮浸泡在低濃度(約 1%)草酸水溶液中的吸收率高，可讓草酸對水果進行有效的抑制氧化褐變。且草酸的吸收量少，離人體的食用安全上限，尚有一大段距離，故可合理推論適量食用浸泡過低濃度草酸溶液(約 1%)的水果是安全的。

九、探討乙炔、乙烯對高多酚水果變色熟成的影響

乙炔、乙烯氣體能有效催化香蕉、楊桃的熟成氧化，作為植物的荷爾蒙激素，是許多水果加速熟化變色的催熟劑。

十、研究總結：

搞什麼？多酚不再變色！的秘密是因為有草酸，經歷無數次實驗研究，我們重大發現草酸具有優異的抑制多酚氧化變色能力及特性，其理由從本研究綜合各項實驗結論發現草酸獨具有下列五項特性：

項目	1.具強還原性	2.離子具雙牙基	3.強抑制氧化褐變力	4.具防霉性	5.天然可食用性
特性說明	草酸具還原性與醌的總氧化還原電位： $\Delta E^0 = 1.29V > 0$ 反應趨勢：草酸大於 35%雙氧水	草酸根可與多酚氧化酶的銅離子，配位結合成草酸銅金屬錯合物，降低其氧化活性。	對香蕉抑制氧化褐變特別有效；對蘋果、西洋梨、楊桃亦有效果。	1%低濃度溶液 pH=1.1~1.5 能阻止黴菌生長，防止水果發霉。	1%低濃度可適量食用不超過食用安全上限：體重 30kgw 小孩 11.25g、65kgw 成人 25g。

本研究建議業界優先以 1%低濃度草酸使用於浸泡水果抑制多酚氧化變色，取代市面上常見的 35%高濃度雙氧水漂白劑。

捌、參考資料

- 一、搞什麼？多酚亂變色！取自新竹市第 31 屆中小學科學展覽作品。
- 二、國中自然與生活科技，2-3 氧化還原的應用(44~47 頁)，翰林出版事業股份有限公司。
- 三、高中基礎化學，半反應標準還原電位表、高中化學講義 12-5 金屬錯合物(146~148 頁)。
- 四、多酚氧化酶 polyphenoloxidase(PPO)。A+醫學百科 <http://cht.a-hospital.com>
- 五、陳昕慧、詹莉芬(2010)。草酸 (Oxalic acid)。科學 Online - 科技部高瞻自然科學教學資源平台。取自：<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=8546>
- 六、草酸安全性：物質安全資料表網頁。取自：http://ghs.ntut.edu.tw/sds/SdsQuery_index.jsp
- 七、酚。取自：<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%85%9A>
- 八、特色蔬菜草酸含量之研究。取自臺東區農業改良場。
- 九、猴子不愛吃香蕉-探討如何讓香蕉不變色。金門地區第五十二屆中小學科學展覽作品。

【評語】 030204

本作品實驗設計與材料和歷屆作品相似度頗高，主題相當有應用價值，若能在變因分析上更加的嚴謹或能以更新穎的定量方法來深入探究則更有推廣實用的價值。