

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組化學科

040213

國立宜蘭高級中學

指導老師姓名

陳建欣

作者姓名

鄧依婷

潘銘烺

陳敬皓

徐永杰

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：高中組

作品名稱：褐蘋世界～蘋果汁褐化現象之探討

關鍵詞：多酚氧化酵素、氧化還原、酸鹼反應

編號：

褐蘋世界～蘋果汁褐化現象之探討

1、摘要：

酵素性色變是蔬果常見的現象，我們用了其中最具代表性的例子－蘋果，又因為蘋果汁的應用範圍較廣，我們遂就蘋果汁的褐變與各種環境因子及食品添加物中的關係作一系列的討論。結果發現有效的調控 pH 值、溫度、接觸氣體及添加適當的還原劑都能有效的防止或減緩其褐變，而導致其褐變的三因「多酚氧化酵素」更有其特殊的化性。已褐變及未褐變的蘋果汁的化學性質也大不相同。

2、研究動機：

剛上完體育課，汗流浹背的一夥人當然是到福利社買罐飲料解渴啦！我隨手挑了一瓶蘋果汁，卻突然發現它「天然」顏色中的玄機。自己榨過蘋果汁或者切過蘋果的人都知道，蘋果雖然是很耐放的水果，但卻是「見光死」，只要一切開不馬上吃掉，5 分鐘後就自動變成褐褐髒髒的顏色，令人倒盡胃口。但很明顯的，我手中這瓶白白淨淨的果汁並沒有

這種情形，一開瓶就是蘋果香四溢，放著不喝一直到放學也還是漂亮又白淨，這是為什麼呢？！

3、研究目的：

- 1、探討蘋果汁褐變與環境間微妙的關係，包括酸鹼性、時間、溫度及所接觸的氣體等環境因素對蘋果汁可能造成的影響。
- 2、在參考資料中，蘋果會褐變大多起因於「多酚氧化酵素」使其氧化產生褐色色素，添加有效的還原劑可以使其延緩褐化速度，我們希望能找出抗褐變效果最佳又可食用無副作用的還原劑，在日常生活中可以方便應用。
- 3、抹鹽為何能阻止蘋果褐變？我們希望能找出氯化鈉中抑制蘋果褐變的成份。

4、研究設備及器材

- | | | |
|-------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| 1. 市售蘋果汁 | 13. 濾紙 | 25. $\text{CaCl}_2(\text{aq})$ |
| 2. 果汁機 | 14. 漏斗 | 26. $\text{MgCl}_2(\text{aq})$ |
| 3. 紗布 | 15. 維他命 C | 27. $\text{AlCl}_3(\text{aq})$ |
| 4. 燒杯 | 16. $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq})$ | 28. $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ |
| 5. 量筒 | 17. $\text{NaHC}_2\text{O}_4(\text{aq})$ | 29. $\text{HNO}_3(\text{aq})$ |
| 6. 安全吸球 | 18. $\text{NaHSO}_3(\text{aq})$ | 30. $\text{HCl}(\text{aq})$ |
| 7. 滴管 | 19. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$ | 31. $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 檸檬酸 |
| 8. 恆溫水槽 | 20. $\text{NaCl}(\text{aq})$ | 32. $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$ |
| 9. 富士蘋果 品種編號：4131 | 21. $\text{NaNO}_3(\text{aq})$ | 33. $\text{NaOH}(\text{aq})$ |
| 10. 分光光度計 | 22. $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{aq})$ | 34. $\text{KOH}(\text{aq})$ |
| 11. 活性炭 | 23. $\text{KCl}(\text{aq})$ | 35. $\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{aq})$ |
| 12. 加熱器(heater) | 24. $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$ | 36. $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7(\text{aq})$ 檸檬酸鈉 |

5、實驗過程

1、市售蘋果汁與空氣接觸後的褐變觀察

(一) 取樣市售蘋果汁(Q牌、Y牌、U牌)各 25ml 於燒杯中，觀察其與空氣接觸後的變化。
(註：果汁含量 Q 牌 10%、Y 牌 100%、U 牌 20%)

2、新鮮蘋果汁加入添加物後的褐變觀察

(註：所有實驗的新鮮蘋果汁均為去皮的蘋果加入等重的蒸餾水榨汁過濾。)

(1) 在蘋果汁中加入還原劑

1. 在蘋果汁中加入不同濃度、同體積的維他命 C 溶液

(1) 25ml 蘋果汁各加入 10ml 濃度為 3%、1%、0.1%、0.01% 的維他命 C 溶液，並取一對照組加入 10ml 蒸餾水，觀察其變化。

2. 在蘋果汁中加入不同濃度、同體積的亞硫酸氫鈉($\text{NaHSO}_3(\text{aq})$)

(1) 25ml 蘋果汁各加入 10ml 濃度為 10^{-4}M 、 10^{-3}M 、 10^{-2}M 、 10^{-1}M 、 1M 的 $\text{NaHSO}_3(\text{aq})$ ，並取一對照組加入 10ml 蒸餾水，觀察其變化。

3. 在蘋果汁中加入同濃度、同體積的 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 、 $\text{NaHC}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 、 $\text{NaHSO}_3(\text{aq})$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$

(1) 25ml 蘋果汁各加入 10ml 濃度為 0.01M 的 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 、 $\text{NaHC}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 、 $\text{NaHSO}_3(\text{aq})$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$ ，並取一對照組加入 10ml 蒸餾水，觀察其變化。

(2) 在蘋果汁中加入含 Na^+ 的溶液

1. 在蘋果汁中加入同濃度、不同種含 Na⁺ 的溶液

(1) 25ml 蘋果汁各加入 10ml 1M 的 NaCl_(aq)、NaNO_{3(aq)}、Na₂SO_{4(aq)}，立取一對照組加入 10ml 蒸餾水，觀察其變化。

(3) 在蘋果汁中加入含 Cl⁻ 的溶液

1. 在蘋果汁中加入同濃度、不同種含 Cl⁻ 的溶液

(1) 25ml 蘋果汁各加入 10ml 1M 的 NaCl_(aq)、KCl_(aq)、NH₄Cl_(aq)、CaCl_{2(aq)}、MgCl_{2(aq)}、AlCl_{3(aq)}，立取一對照組加入 10ml 蒸餾水，觀察其變化。

2. 在蘋果汁中加入不同濃度、同體積 NaCl 溶液

(1) 25ml 蘋果汁各加入 10ml 濃度為 1M、2M、3M 的 NaCl_(aq)，立取一對照組加入 10ml 蒸餾水，觀察其變化。

3、新鮮蘋果汁的褐變與環境條件

(1) 不同酸鹼性的溶液對蘋果汁褐變的影響

1. 在蘋果汁中加入同濃度、同體積的不同酸性溶液

(1) 25ml 蘋果汁各加入 10ml 1M 的 H₂SO_{4(aq)}、HNO_{3(aq)}、HCl_(aq)、檸檬酸溶液、CH₃COOH_(aq)，立取一對照組加入 10ml 蒸餾水，觀察其變化。

2. 在蘋果汁中加入同濃度、同體積的不同鹼性溶液

(1) 25ml 蘋果汁各加入 10ml 1M 的 NaOH_(aq)、KOH_(aq)、Na₂CO_{3(aq)}、Na₃C₆H₅O_{7(aq)}，立取一對照組加入 10ml 蒸餾水，觀察其變化。

3. 在蘋果汁中加入不同濃度、同體積的 H₂SO_{4(aq)}

(1) 25ml 蘋果汁各加入 10ml 濃度為 1M、0.1M、0.01M 的 H₂SO_{4(aq)}，立取一對照組加入 10ml 蒸餾水，觀察其變化。

4. 在蘋果汁中加入不同濃度、同體積的 NaOH_(aq)

(1) 25ml 蘋果汁各加入 10ml 濃度為 1M、0.1M、0.01M 的 NaOH_(aq)，立取一對照組加入 10ml 蒸餾水，觀察其變化。

(2) 不同溫度對蘋果汁褐變的影響

1. 高溫 100°C、常溫、低溫 0°C

(1) 分別將蘋果置於煮沸熱水中、室溫下、冷凍庫中處理(溫度各為 100°C、20°C 及 0°C)。取出去皮後加入等重的蒸餾水榨汁過濾，置於室溫下，比較其褐化情形。

2. 蘋果汁褐化溫度的上限

(1) 將已做隔水處理且皆為 25g 的蘋果分別置於 60°C，70°C，80°C，90°C，100°C 的恆溫加熱裝置中，分別加熱約 5 到 10 分鐘(徹底加熱)，立取一組常溫下的 25g 蘋果作為對照組，再將蘋果去皮加入等重的蒸餾水榨汁過濾，觀察其變化。

(3) 不同氣體對蘋果褐變的影響

1. 分別用三支大試管收集製備的 CO₂、O₂ 及 N₂ 三種氣體，立取一組空氣為對照組，收集完氣體後各加入體積約 1cm³ 的蘋果切塊立密封瓶口，觀察其變化。

2. 分別用三支大試管收集製備的 CO₂、O₂ 及 N₂ 三種氣體，立取一組空氣為對照組，收集完氣體後各加入鮮榨未褐變的蘋果汁立密封瓶口，搖晃瓶子使果汁與氣體均勻接觸，觀察其變化。

ps.此實驗中的氣體收集方法都是用排水集氣法收集，製備 O₂的方法是 HClO_{3(s)}加 MnO_{2(s)}於試管中加熱；N₂的來源則是高壓的氣態氮瓶；製備 CO₂的方法是 CaCO_{3(s)}加稀 HCl_(aq)。

4、蘋果汁過濾觀察

(1) 以濾紙過濾蘋果汁

1. 以濾紙過濾鮮榨未褐變的蘋果汁，過一天後，再以分光光度計測量其對波長 400 nm 光線的吸收值(ABS)。
2. 將上一步驟中，尚未處理過的新鮮蘋果汁放一天使褐變後，以濾紙過濾，再以分光光度計測量其對波長 400 nm 光線的吸收值(ABS)。

(2) 以活性炭過濾蘋果汁

1. 以活性炭過濾鮮榨未褐變的蘋果汁，過一天後，再以分光光度計測量其對波長 400 nm 光線的吸收值(ABS)。
2. 將上一步驟中，尚未處理過的新鮮蘋果汁放一天使褐變後，以活性炭過濾，再以分光光度計測量其對波長 400 nm 光線的吸收值(ABS)。

5、蘋果汁褐變與時間的關係

(1) 新鮮蘋果汁褐變與時間關係

1. 新鮮蘋果汁放置 10 分鐘後，以濾紙過濾，再以分光光度計測量其對波長 400 nm 光線的吸收值(ABS)。之後每 2 小時測量其吸收值(ABS)，紀錄之。

(2) 已褐變蘋果汁加熱後與時間關係

1. 已褐變蘋果汁以濾紙過濾，再以分光光度計測量其對波長 400 nm 光線的吸收值(ABS)。之後每 2 小時測量其吸收值(ABS)，紀錄之。

6、研究結果

1、市售蘋果汁的觀察

- (1) 市售的蘋果汁(以 U 牌、Y 牌、Q 牌代表)，U 牌為澄清淡黃色，Y 牌與 Q 牌為較深的澄清橘黃色(圖 1)。在接觸空氣 2 天後，3 牌顏色均無明顯改變，但有稍微混濁。後有發霉的情形，圖 2 為五天後的發霉情形。

<表：市售蘋果汁的觀察>

品牌 \ 時間	五分鐘	一小時後	兩天後	五天後
U 牌	澄清淡黃色	澄清淡黃色	混濁淡黃色	白色黴菌
Y 牌	澄清橘黃色	澄清橘黃色	混濁橘黃色	綠色黴菌
Q 牌	澄清橘黃色	澄清橘黃色	混濁橘黃色	綠色黴菌
備註	圖 1			圖 2

2、新鮮蘋果汁加入添加物後的褐變觀察

(1) 在蘋果汁中加入還原劑

1. 維他命 C 濃度為 0.01% 的蘋果汁因維他命 C 濃度過低，並無明顯延緩褐變效果，和只加水的蘋果汁都在短時間內變成褐色，維他命 C 濃度為 0.1%、1% 的蘋果汁為淡黃色，而維他命 C 濃度為 3% 的蘋果汁則因維他命 C 濃度過高而呈較深的黃色(圖 3.) 2 小時後，對照組及維他命 C 濃度為 0.01% 的蘋果汁褐色明顯加深，其他組無明顯變化(圖 4.) 3 小時後，維他命 C 濃度為 0.1%、1% 的蘋果汁才有明顯不同(圖 5.) 維他命 C 濃度為 3% 的蘋果汁可保存 2 天以上不褐變，其他則在 1 天內皆已褐變(圖 6.) 褐變速度隨著維他命 C 濃度的加大而越趨緩慢。

<表：維他命 C 溶液對蘋果汁褐變的影響>

時間 Vit C 顏色	5 分鐘後	2 小時後	3 小時後	1 天後
3%	黃色	黃色	黃色	黃色
1%	淡黃	淡黃	淺褐	褐色
0.1%	淡黃	淡黃	淺褐	褐色
0.01%	褐色	褐色	褐色	褐色
對照組	褐色	褐色	褐色	褐色
備註	圖 3.	圖 4.	圖 5.	圖 6.

2. (1) 比較分別添加 10ml 的 $10^{-2}M$ 、 $10^{-1}M$ 、 $1M$ 的亞硫酸氫鈉溶液($NaHSO_{3(aq)}$)的蘋果汁，發現三組抗褐變的效果都非常好，兩天後顏色仍保持剛榨好時的淡黃色(圖 7)。
- (2) 再比較分別加了濃度較小的 10ml $10^{-4}M$ 、 $10^{-3}M$ 、 $10^{-2}M$ 的亞硫酸氫鈉溶液($NaHSO_{3(aq)}$)的蘋果汁， $10^{-4}M$ 的組別仍有褐變現象(圖 8.)，速度比只加水的組別稍慢；而 $10^{-3}M$ 及 $10^{-2}M$ 這兩組抗褐變的效果仍是相當良好(圖 9. 為 4 小時後)。

<表：亞硫酸氫鈉溶液對蘋果汁褐變的影響>

時間 濃度 顏色	5 分鐘後	1 小時後	2 小時後	1 天後
1M	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃
10 ⁻¹ M	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃
10 ⁻² M	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃
10 ⁻³ M	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃
10 ⁻⁴ M	褐黃	褐色	褐色	褐色
對照組	褐色	褐色	褐色	褐色

<表：加入不同濃度的 NaHSO_{3(aq)} 放置一天後蘋果汁對波長 400nm 的吸收度>

濃度	對照組	10 ⁻⁴ M	10 ⁻³ M	10 ⁻² M	10 ⁻¹ M	1M
吸收度	1.04	0.92	0.78	0.75	0.31	0.30

3. 加入 0.01M Na₂C₂O_{4(aq)}、NaHC₂O_{4(aq)}、NaHSO_{3(aq)}、Na₂S₂O_{3(aq)} 的蘋果汁中，半小時後即可看出明顯差異，NaHSO_{3(aq)} 及 Na₂S₂O_{3(aq)} 延緩褐變極佳，且有漂白效果；加了 NaHC₂O_{4(aq)}、Na₂C₂O_{4(aq)} 的蘋果汁也能延緩褐變，但效果較 NaHSO_{3(aq)} 差；(圖 10)。圖 11 為放置一天後的情形。

<表：加入還原劑後的 pH 值>

還原劑種類	對照組	Na ₂ C ₂ O _{4(aq)}	NaHC ₂ O _{4(aq)}	NaHSO _{3(aq)}	Na ₂ S ₂ O _{3(aq)}
pH 值	3.75	3.94	3.76	3.70	3.76

(2) 在蘋果汁中加入含 Na⁺ 的溶液

1. 加了 10ml、1M 的 NaCl_(aq)、NaNO_{3(aq)}、Na₂SO_{4(aq)} 的蘋果汁中，加硝酸鈉溶液和硫酸鈉溶液的組別有褐變現象，且褐化速度和加水的組別相同；加氯化鈉溶液的組別可抑制褐化。

(3) 在蘋果汁中加入含 Cl⁻ 的溶液

1. 加了 10ml、1M 的 NaCl_(aq)、KCl_(aq)、NH₄Cl_(aq)、CaCl_{2(aq)}、MgCl_{2(aq)}、AlCl_{3(aq)} 的蘋果汁中，都有延緩褐變的作用，且 CaCl_{2(aq)}、MgCl_{2(aq)} 的效果比 NaCl_(aq)、KCl_(aq)、NH₄Cl_(aq) 佳；而因為原本 AlCl_{3(aq)} 就不是透明澄清的溶液，加了 AlCl_{3(aq)} 的蘋果汁便較其他組混濁(圖 12)。放置一天後，產生部分沉澱(圖 13)。

<表：加入 1M 氯鹽放置一天後蘋果汁對波長 400nm 的吸收度及 pH 值>

種類	對照組	NaCl _(aq)	KCl _(aq)	NH ₄ Cl _(aq)	MgCl _{2(aq)}	CaCl _{2(aq)}	AlCl _{3(aq)}
吸收度	0.90	0.23	0.32	0.22	0.22	0.80	0.93
pH 值	4.08	3.77	3.87	3.83	3.22	3.19	3.35

2. NaCl_(aq)可抑制褐變，且濃度越高抑制褐變效果越好。

<表：加入不同濃度的 NaCl_(aq)組>

濃度	1M	2M	3M
吸收度	0.19	0.16	0.13

3、新鮮蘋果汁的褐變與環境條件

(1) 不同酸鹼性的溶液對蘋果汁褐變的影響

1. 比較分別加了同濃度 1M、10ml 的 H₂SO_{4(aq)}、HNO_{3(aq)}、HCl_(aq)、檸檬酸、CH₃COOH_(aq) 的蘋果汁，發現除了加 CH₃COOH_(aq) 的組別外，抑制褐變的效果都很好(圖 14)。

<表：不同種酸對蘋果汁褐變的影響>

藥品 \ 時間 顏色	5 分鐘後	1 小時後	2 小時後	1 天後
H ₂ SO _{4(aq)}	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃
HCl _(aq)	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃
HNO _{3(aq)}	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃
檸檬酸	淡黃	黃色	黃色	黃色
CH ₃ COOH _(aq)	淡黃	褐色	褐色	褐色
對照組	褐色	褐色	褐色	褐色
備註		圖 14		

<表：加入 1M 不同的酸放置一天後蘋果汁對波長 400nm 的吸收度及 pH 值>

種類	對照組	H ₂ SO _{4(aq)}	HNO _{3(aq)}	HCl _(aq)	檸檬酸	CH ₃ COOH _(aq)
吸收度	1.28	0.15	0.69	0.64	0.76	1.22
pH 值	3.73	0.74	0.84	0.84	1.86	2.84

2. 比較分別加了同濃度 1M、10ml 的 NaOH_(aq)、KOH_(aq)、Na₂CO_{3(aq)}、Na₃C₆H₅O_{7(aq)} 的蘋果汁，其中 NaOH_(aq)、KOH_(aq) 及 Na₂CO_{3(aq)} 的組別在一加入鹼後立即呈現澄清橘色且纖維雜質迅速消失(圖 15.)，且由澄清橘色漸漸轉紅、鹼性越強(pH 值越大)的紅色越深；而加入 Na₃C₆H₅O_{7(aq)} 的組別褐化速度反而比只加水的組別還更快。(圖 16. 為一天後的情形)

<表：不同種鹼對蘋果汁褐變的影響>

藥品 \ 時間 顏色	5 分鐘後	1 小時後	2 小時後	1 天後
KOH _(aq)	橘黃色(澄清)	橘色(澄清)	橘紅色(澄清)	酒紅色(澄清)
NaOH _(aq)	橘黃色(澄清)	橘色(澄清)	橘紅色(澄清)	酒紅色(澄清)
Na ₂ CO _{3(aq)}	橘黃色(澄清)	淡橘色(澄清)	橘紅色(澄清)	紅色(澄清)
Na ₃ C ₆ H ₅ O _{7(aq)}	黃色	黃褐色	褐色	深褐色
對照組	褐色	褐色	褐色	褐色
備註		圖 15.		圖 16.

<表：加入 1M 不同的鹼放置一天後蘋果汁對波長 400nm 的吸收度及 pH 值>

鹼種類	對照組	KOH _(aq)	NaOH _(aq)	Na ₂ CO _{3(aq)}	Na ₃ C ₆ H ₅ O _{7(aq)}
吸收度	0.93	0.96	0.96	0.96	0.85
pH 值	4.03	12.92	12.90	10.82	6.75

3. 比較分別加了(10ml)0.01M、0.1M及1M的 $H_2SO_{4(aq)}$ 的蘋果汁，發現0.01M的組別仍然有褐變現象，而0.1M及1M兩組抑制褐變的效果都很好(圖 17.、圖 18.)。

<表：不同濃度的 $H_2SO_{4(aq)}$ 對蘋果汁褐變的影響>

時間 濃度 顏色	5 分鐘後	1 小時後	2 小時後	1 天後
1M	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃
0.1M	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃
0.01M	褐色	褐色	褐色	褐色
對照組	褐色	褐色	褐色	褐色
備註		圖 17.		圖 18.

<表：加入不同濃度的 $H_2SO_{4(aq)}$ 放置一天後蘋果汁對波長 400nm 的吸收度及 pH 值>

$H_2SO_{4(aq)}$ 濃度	對照組	1M	0.1M	0.01M
吸收度	1.12	0.22	0.18	0.84
pH 值	4.40	0.77	1.33	2.47

4. 比較分別加了(10ml)0.01M、0.1M及1M的 $NaOH_{(aq)}$ 的蘋果汁，發現加0.01M的組別褐化速度竟然比只加水的組別還更快(圖 19.)，而加0.1M及1M的組別則都由澄清橘色漸漸轉紅、濃度越大的紅色越深(圖 20.)。圖 21.為 8 小時後的情形。

<表：不同濃度的 $NaOH_{(aq)}$ 對蘋果汁褐變的影響>

時間 濃度 顏色	5 分鐘後	1 小時後	2 小時後	1 天後
1M	橘黃色(澄清)	橘色(澄清)	橘紅色(澄清)	酒紅色(澄清)
0.1M	橘黃色(澄清)	橘黃色(澄清)	橘色(澄清)	橘紅色(澄清)
0.01M	褐色	褐色	褐色	褐色
對照組	褐色	褐色	褐色	褐色
備註		圖 19.	圖 20. 圖 21.	

<表：加入不同濃度的 NaOH_(aq) 放置一天後蘋果汁對波長 400nm 的吸收度及 pH 值>

NaOH _(aq) 濃度	對照組	1M	0.1M	0.01M
吸收度	1.02	0.98	0.96	0.98
pH 值	4.17	12.83	11.10	4.57

(2) 不同溫度對蘋果汁褐變的影響

1. 用 100°C 的沸水煮過後的蘋果，去皮榨汁後完全沒有色變現象；放置冰箱使其微凍且保持 0°C 的蘋果去皮榨汁後，其褐變效果仍然存在，但變褐的速度比起常溫下的蘋果顯得比較緩慢(圖 22.)。
2. 常溫下及 60°C，70°C，80°C 隔水加熱過的蘋果榨汁後，褐變的速度幾乎一樣，都在五分鐘內迅速變褐了，90°C 的組別褐化的速度稍慢(圖.23)1102，且 90°C 的組別完全褐變(約兩天)後的顏色比常溫下及 80°C 的組別淺了許多，而 100°C 的組別則是從頭到尾都不變色。

<表：不同溫度對蘋果汁褐變的影響>

時間 溫度 顏色	5 分鐘後	1 小時後	2 小時後	1 天後
60°C	褐色	褐色	褐色	褐色
70°C	褐色	褐色	褐色	褐色
80°C	褐色	褐色	褐色	褐色
90°C	淺褐	淺褐	淺褐	淺褐
100°C	黃白	黃白	黃白	黃白
對照組	褐色	褐色	褐色	褐色
備註	圖 23.			

(3) 不同氣體對蘋果汁褐變的影響

1. 比較分別處於 CO₂、O₂、N₂ 及空氣四種氣體中的蘋果塊，可以發現 CO₂ 及 N₂ 的組別都沒有明顯的褐變現象，而 O₂ 及空氣兩個組別褐變的速度差不多，褐變的顏

色也相同，無明顯差別。（為使蘋果表面的氧化酵素能均勻的暴露在氣體中方便觀察，故本實驗先以蘋果塊代替蘋果汁進行實驗。）

<表：不同氣體對蘋果塊褐變的影響>

氣體 \ 時間 顏色	5 分鐘後	1 小時後	2 小時後	1 天後
N ₂	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃
O ₂	淡黃	褐黃	褐黃	褐色
CO ₂	淡黃	淡黃	淡黃	淡黃
對照組(空氣)	淡黃	褐黃	褐黃	褐色

2.比較分別處於 CO₂、O₂、N₂及空氣四種氣體中的蘋果汁，可以發現 CO₂及 N₂的組別都沒有明顯的褐變現象，而 O₂及空氣兩個組別褐變的速度差不多，但褐變的顏色在一開始略有不同，O₂中的蘋果汁是比較紅的褐色，一直到一小時後兩者的顏色才趨近相同。（因蘋果塊褐變顏色較不明顯，以蘋果汁重複此實驗以獲得更明顯的顏色變化。）

<表：不同氣體對蘋果汁褐變的影響>

氣體 \ 時間 顏色	5 分鐘後	1 小時後	2 小時後	1 天後
N ₂	淡黃	淡黃	淡黃	深黃
O ₂	紅褐	褐色	褐色	褐色
CO ₂	淡黃	淡黃	淡黃	深黃
對照組(空氣)	褐色	褐色	褐色	褐色

4、蘋果汁過濾觀察

1. 結果發現無論是新鮮蘋果汁或已褐變的蘋果汁，以活性炭過濾後的 A B S 值都比只用濾紙過濾的組別低；而已褐變再過濾的蘋果汁的 A B S 讀數又都比尚未褐變就過濾的組別低。

<表：加入不同的蘋果汁對波長 400nm 的吸收度>

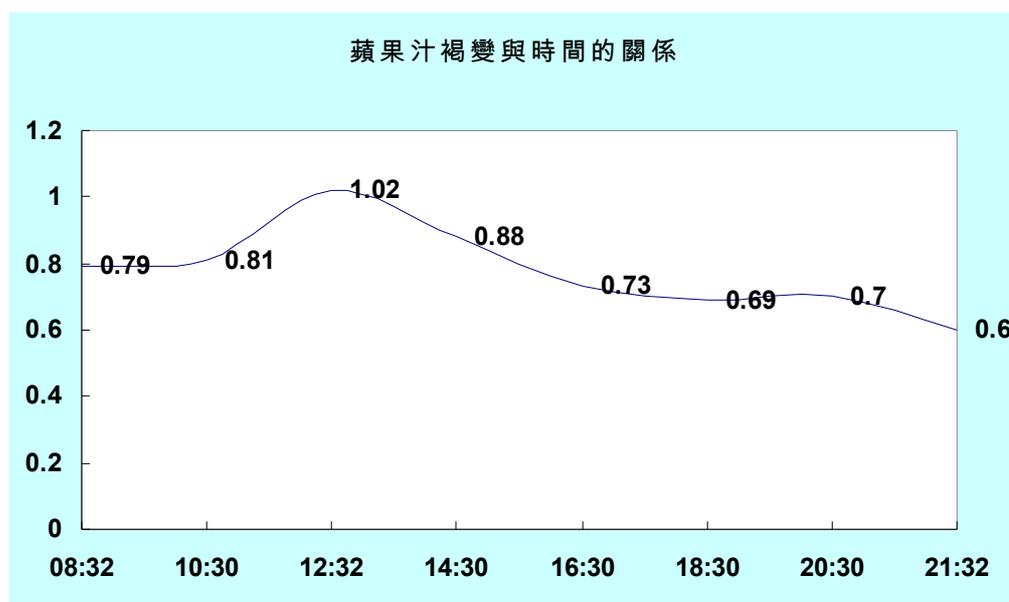
	<新鮮蘋果汁>		<已褐變蘋果汁>	
方式	活性炭	濾紙	活性炭	濾紙
ABS	0.89	1.01	0.77	0.90

5、蘋果汁褐變與時間的關係

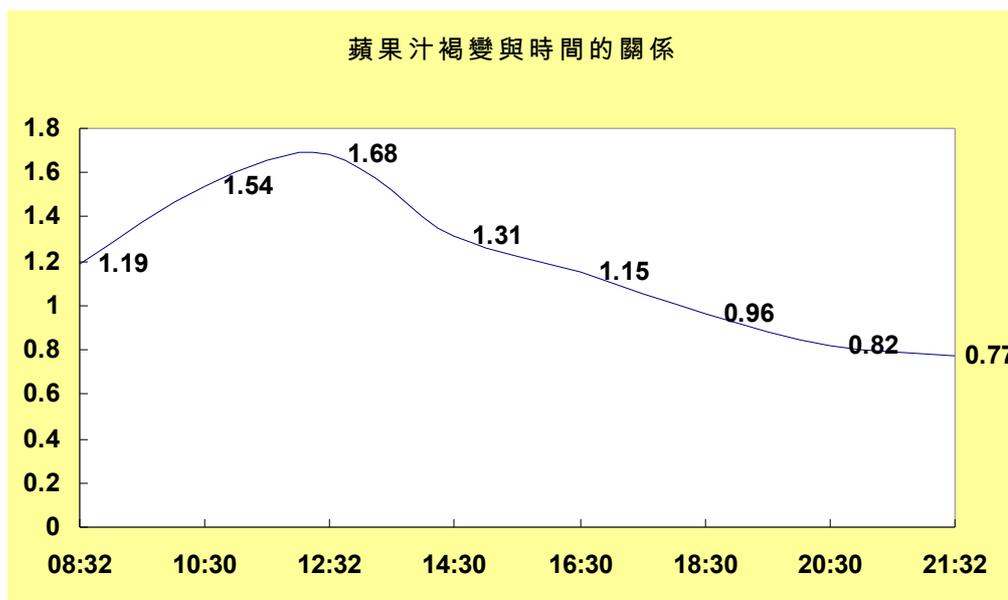
1. 每顆蘋果的狀況都略有不同，但蘋果汁褐變後的 A B S 讀數都在 4~5 個小時後達最大值，接著隨時間的拉長，A B S 讀數又漸漸下降，至一定值後不再有明顯變動。

圖：縱座標為蘋果汁對波長 400nm 的 ABS 讀數，橫座標為時間

<蘋果一>



<蘋果二>



7、討論

- 1、維他命 C 在一定的量以上的確有良好的抗褐變效果，是衛生署公佈合格的食物添加劑(抗氧化劑)，但我們發現市售蘋果汁添加的維他命 C 濃度根本不足以使蘋果汁延緩褐化太長的時間。市售蘋果汁的保存期限通常是三個月到一年，這樣久的時間蘋果汁根本不可能維持原有的淡黃色，所以市售的蘋果汁應該都有添加其他藥品來抑制其褐變或高溫加熱使蘋果汁中的氧化酵素失去褐變的活性同時殺菌。另外市售的蘋果汁應該多有經過澄清處理。
- 2、我們採用實驗室中部分具參考價值的還原劑，發現所有組別的還原劑在實驗剛開始的幾小時內抗褐變的效果都不錯；一天過後，發現亞硫酸氫鈉和硫代硫酸鈉的抗褐變效果比其他組優異許多，且因為這二種還原劑的漂白作用，蘋果汁即使長時間放置，顏色都一直維持淡黃色。
- 3、亞硫酸氫鈉是廣大亞硫酸鹽類家族的成員之一，因為亞硫酸鹽會解離出 HSO_3^- ，只要少量就能抗氧化、漂白，還有防腐的功能，價廉物美，被廣泛的應用在乾製食品、醃漬食品或金針、果汁飲料的保存及漂白上。但是因為其特殊的化性，食用過量對人體呼吸系統有一定的損害，會併發氣喘、支氣管發炎等等症狀，對無法自行排出 HSO_3^- 的體質的人更具殺傷力，若能有更安全且食用後無虞的替代品，將對消費者是一大福利。
- 4、常有人說蘋果抹鹽就不會變褐，經過加了 $\text{NaCl}_{(aq)}$ 的蘋果汁測試後，證明鹽的確能抑制褐變，而且在含鈉離子(實驗二之(二))及氯離子(實驗二之(三))的實驗中，我們可以知道氯化鈉溶液中抑制褐變的成分是氯離子(Cl^-)，且氯離子濃度越高，抑制褐變效果越好。可是氯離子僅有延緩褐變的效果；而維他命 C 溶液和亞硫酸氫鈉、硫代硫酸鈉等還原劑的溶液不僅能防止褐變，更有漂白的作用，能使鮮榨的或有些許(不完全)褐變的

蘋果汁變回立維持剛榨好時的淡黃色。

- 5、在實驗三之（一）的酸鹼條件與蘋果汁褐變的關係中，可以知道只要是酸性條件都能有效抑制褐化，且濃度越大效果越佳(當 pH 值在 2 以下時效果都很顯著)；而在極弱的鹼條件下會加速蘋果汁褐變的速度，我們推測原本在蘋果中便有少量可抑制其褐變的果酸或其它酸性物質(只加水的蘋果汁 pH 值約為 4，是為酸性)，而極弱的鹼中和了原有的果酸(加了極弱的鹼的蘋果汁 pH 值約為 5~7 之間)，反而使之褐變速度加快，因此「多酚氧化酵素」活性最大時的 pH 值約為 5~7，而不是一開始所處的 pH 值 4 的環境；另外在稍強的鹼中，一開始便能有效去除果汁中的纖維雜質使溶液呈澄清，並由橘漸漸變紅，且紅色的深淺會隨鹼的濃度變大而加深。所以只要有效的降低蘋果汁的 pH 值(pH 值低於 4)，如加入檸檬酸或果酸這種可添加的食品酸，即能有效抑制褐變。
- 6、因為鮮榨的蘋果汁遇鹼有明顯的澄清、變紅現象，我們推測其可作為天然的指示劑，故我們進一步試驗其作為指示劑的可能性。我們將已經變暗紅色的鹼性蘋果汁再加入過量的酸性溶液，發現其變為澄清黃色，再度加過量鹼性溶液則又變回紅色；取一組酸性蘋果汁加入鹼性溶液，發現其有輕微變色，時間一久也會變成紅色，再加過量的酸又變回澄清黃白色。證明這是一個可逆反應，只是鹼性的色變(即變紅)現象相當遲緩，酸性的澄清黃色變化比較快；而先以酸性保存的蘋果汁指示的 pH 範圍約在 4~8 之間(酸變黃白，鹼變澄清再緩慢變紅)；以鹼性保存的蘋果汁的 pH 指示範圍則在 3~9 之間(酸變黃，鹼變紅)。另取兩組只加水、已褐變的蘋果汁，分別加入鹼性溶液和酸性溶液，僅除去纖維雜質並沒有太明顯的顏色變化，所以天然的蘋果酸鹼指示劑要使用新鮮尚未褐變的蘋果才有較佳的指示效果。
- 7、在不同的氣體實驗中，O₂ 及空氣中的蘋果塊都有明顯的褐變，而純 O₂ 的組別與空氣（約含 20% 氧氣）的組別呈現的褐色相同，顯示氧氣濃度不須太高就能有效使蘋果褐變；另外 O₂ 及空氣中的蘋果汁一樣有明顯的褐變，但是 O₂ 的組別比起空氣的組別在一開始時呈現較紅的褐色，顯示蘋果汁褐變的機制可能非單一性，不僅僅由酵素決定，而 O₂ 的組別可能提高了「多酚氧化酵素」的活性，使蘋果汁在一開始有較紅的褐色。
- 8、在持續約 1 分鐘以上，90°C~100°C 的高溫加熱可破壞幫助褐變的氧化酵素，可若食品工廠抑制蘋果汁褐變的方法是高溫殺菌，即使是採用瞬間高溫滅菌，蘋果汁中的營養成分在高溫加熱的過程中也一定多少有變質，而且根據文獻上的諸多記載，蘋果中的營養成分(如花青素)是會隨著時間流失的，抑制褐變只是保住了色澤，重要的營養更不應該被忽略。我們建議如果要製作只要短期存放的蘋果汁，最好使用維他命 C、果酸、檸檬酸等無害酸性物質來抑制褐變，並在一天內或幾天內喝完；而市售的蘋果汁通常是抑制褐變後再加入蘋果香料取悅大眾，真正的營養成分大概只剩後來自行添加的微量維生素以及大量的果糖，若想攝取蘋果營養還是自己 DIY 吧！
- 9、為了解活性碳過濾後是否造成分光光度計的讀數誤差，我們遂以濾紙及活性碳兩種過濾方式來測其濾液對分光光度計的 A B S 值，結果得知活性碳的過濾效果的確比只用濾紙好很多；而蘋果新鮮尚未褐變前就過濾及褐變後再過濾的 A B S 值也有差距，每個蘋果的過濾結果也都有些許差別，所以我們的每一組實驗遂就個別狀況以相同的過濾方式求其最精準的數據。
- 10、經過一系列的時間與蘋果汁褐變關係的實驗後，我們發現剛榨好的蘋果汁一開始會越變越褐，至四到五小時後褐變至最深顏色，之後隨著時間的加長，已完全褐變的蘋果汁會

漸漸變淡，在2~3天後變至最淺顏色，不再變動。接著我們試著將已褐變的蘋果汁加熱至沸騰，發現已完全褐變的蘋果汁竟隨著高溫上升顏色慢慢變淡（此時多酚氧化酵素已被破壞），冷卻後一樣維持淺色不再變動。由此二實驗可得知已褐變蘋果汁顏色變淡與酵素的的存在有很大關係。

8、結論

- 1、市售的蘋果汁應該都有添加藥品來抑制其褐變或高溫加熱使蘋果汁中的氧化酵素失去褐變的活性同時殺菌。
- 2、亞硫酸鹽會解離出 HSO_3^- ，不但能抗氧化、漂白，還有防腐的功能，但是食用過量對人體呼吸系統有一定的損害，若能有更安全且食用後無虞的替代品，將對消費者是一大福利。
- 3、鹽的確能抑制褐變，而且氯化鈉溶液中抑制褐變的成分是 Cl^- 。可是氯離子僅有延緩褐變化的效果；而維他命C溶液和亞硫酸氫鈉等還原劑的溶液不僅能延緩褐變，更有漂白的作用。
- 4、加入檸檬酸或果酸這種可添加的食品酸，使蘋果汁的pH值降低，即能抑制褐變。
- 5、使蘋果汁產生酵素性褐變的「多酚氧化酵素」活性最大的pH值範圍約在5~7之間。
- 6、天然的蘋果汁具有酸鹼指示劑的功能(pH值3以下為澄清黃色；pH值4~7為褐色；pH值8以上會由橘色漸轉成紅色)，但要使用新鮮尚未褐變的蘋果汁才有較佳的指示效果；另外先以酸性保存的蘋果汁指示的pH範圍約在4~8之間；鹼性保存的蘋果汁的pH指示範圍則在3~9之間。
- 7、蘋果汁褐變的機制可能是非單一性的，而 O_2 的組別可能提高了「多酚氧化酵素」的活性。
- 8、我們建議如果要製作只要短期存放的蘋果汁，可用冰存的蘋果榨汁再使用維他命C、果酸、檸檬酸等無害酸性物質來抑制褐變，並在一天內或幾天內喝完；而市售的蘋果汁通常是抑制褐變後再加入蘋果香料取悅大眾，真正的營養成分大概只剩後來自行添加的微量維生素以及大量的果糖，若想攝取蘋果營養還是自己DIY吧！
- 9、隨著時間的加長，已完全褐變的蘋果汁會漸漸變淡，直至淺褐色後不再變動；將已褐變的蘋果汁加熱至沸騰，隨著高溫上升顏色也會變淡。可知顏色變淡與酵素的的存在有很大關係。

9、參考資料

- 1、<http://www.doh.gov.tw/NewVersion/index.asp> 行政院衛生署官方網站
- 2、「蘋果之加工與品質變化之探討」尤新輝/食品工業發展研究所
- 3、http://www.nknu.edu.tw/~hcc/content/inform/health_inform/eutrophy/eei_023.htm 蘋果褐變與鐵質無關*高師大健康簡訊 第五十二期*
- 4、「食品化學-色素與著色劑」顏國欽/孫璐西
- 5、「食品添加物」三有忠



<圖 1.>U 牌、Y 牌、Q 牌



<圖 2.>U 牌、Y 牌、Q 牌



<圖 3.> 對照組、0.01%、0.1%、1%、3%



<圖 4.> 對照組、0.01%、0.1%、1%、3%



<圖 5.> 對照組、0.01%、0.1%、1%、3%



<圖 6.> 對照組、0.01%、0.1%、1%、3%



<圖 7.> 對照組、0.01M、0.1M、1M



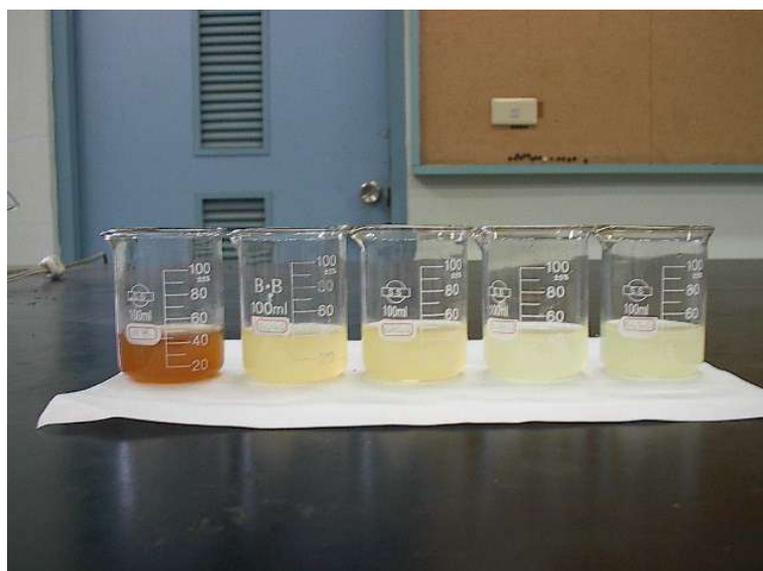
<圖 8.> 對照組、0.0001M、0.001M、0.01M



<圖 9.> 對照組、0.0001M、0.001M、0.01M



<圖 10.> 對照組、 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 、 $\text{NaHC}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 、 $\text{NaHSO}_3(\text{aq})$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$



<圖 11.> 對照組、 $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 、 $\text{NaHC}_2\text{O}_4(\text{aq})$ 、 $\text{NaHSO}_3(\text{aq})$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$



<圖 12.> 對照組、 $\text{NaCl}(\text{aq})$ 、 $\text{KCl}(\text{aq})$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{aq})$ 、 $\text{CaCl}_2(\text{aq})$ 、 $\text{MgCl}_2(\text{aq})$ 、 $\text{AlCl}_3(\text{aq})$



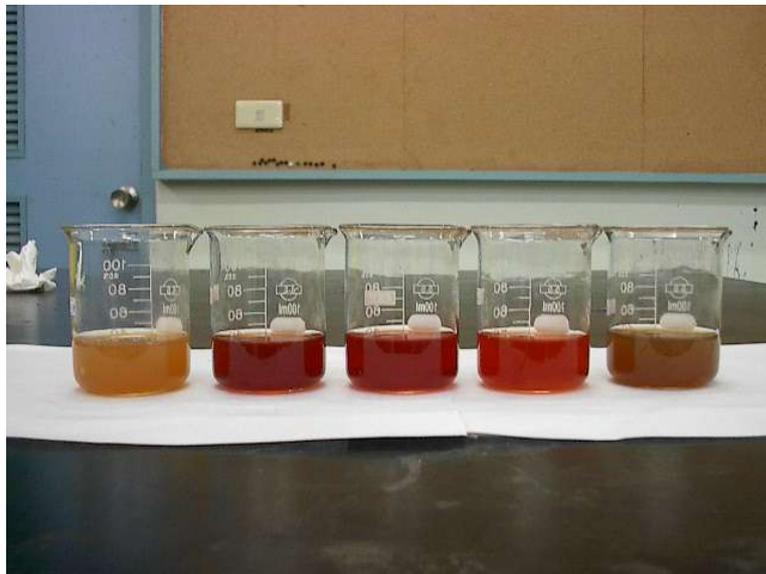
<圖 13.> 對照組、 $\text{NaCl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{KCl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{NH}_4\text{Cl}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{CaCl}_2_{(\text{aq})}$ 、 $\text{MgCl}_2_{(\text{aq})}$ 、 $\text{AlCl}_3_{(\text{aq})}$



<圖 14.> 對照組、 $\text{H}_2\text{SO}_4_{(\text{aq})}$ 、 $\text{HNO}_3_{(\text{aq})}$ 、 $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 、檸檬酸、 $\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{aq})}$



<圖 15.> 對照組、 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3_{(\text{aq})}$ 、 $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7_{(\text{aq})}$



<圖 16.> 對照組、 $\text{NaOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{KOH}_{(\text{aq})}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3_{(\text{aq})}$ 、 $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7_{(\text{aq})}$



<圖 17.> 對照組、0.01M、0.1M、1M



<圖 18.> 對照組、0.01M、0.1M、1M



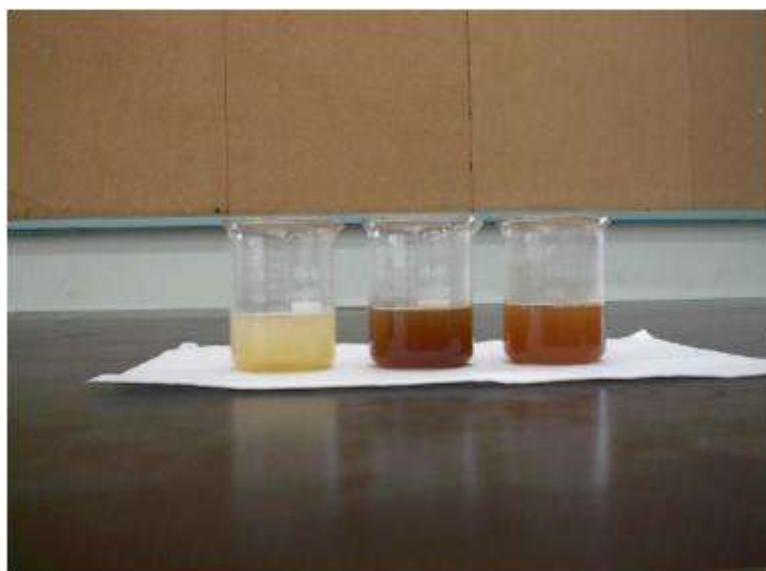
<圖 19.> 對照組、0.01M、0.1M、1M



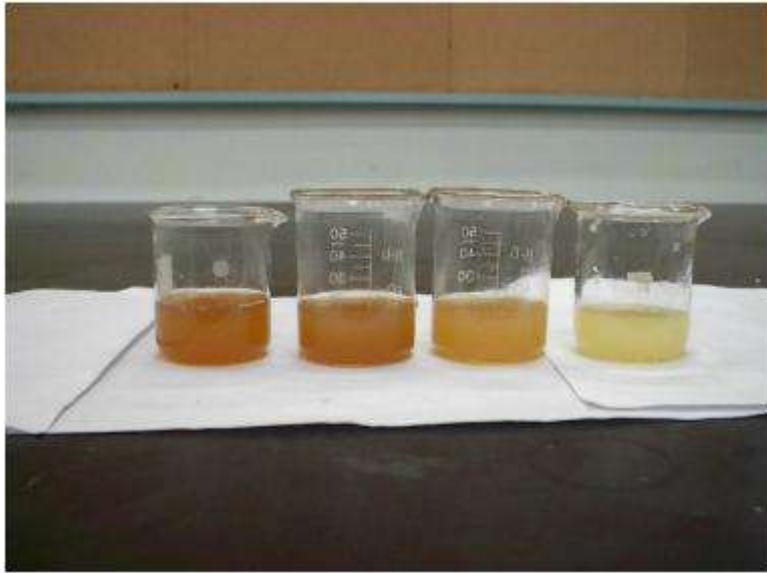
<圖 20.> 對照組、0.01M、0.1M、1M



<圖 21.> 對照組、0.01M、0.1M、1M



<圖 22.> 100°C、常溫、0°C



<圖 23.> 常溫、80°C、90°C、100°C

評語

040213 高中組化學科 第三名

褐蘋世界—蘋果汁褐化現象之探討

實驗的觀察不錯，解釋也清楚。