

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 化學科

050207

—明「茶」秋毫—應用亞甲基藍溶液吸光度變化率測定方法探討水果、茶及水果茶抗氧化力之研究

學校名稱：國立新竹高級中學

作者： 高一 蔡宗諺	指導老師： 林健志
---------------	--------------

關鍵詞：亞甲基藍、比爾定律、抗氧化力

摘要

本研究**應用創新方法：亞甲基藍溶液在特定波長(665nm)吸光度變化率測定物質的抗氧化力**，有效減少人為誤差，提高實驗信度與效度；透過**維他命 C 濃度與吸光度檢量線**，將待測物抗氧化力換算成相當維他命 C 濃度進行比較。同溫下比較檸檬、奇異果、蘋果時，以**檸檬抗氧化力最佳**。同溫比較下綠茶、烏龍茶、紅茶時，抗氧化力以**綠茶抗氧化力最佳**。混合成水果茶後以 15°C **奇異果烏龍茶最具抗氧化力(61.07%)**。最後在模擬水果茶中特定抗氧化物質相互混合對抗氧化力影響的實驗中，推論出**抗氧化力與維他命 C、葡萄糖及 EGCG 濃度、溫度及[H⁺]等相關**，不但符合水果茶抗氧化力之實驗結果，也建立**抗氧化力的數學函數逼近公式**，以計算出抗氧化物不同混合比例抗氧化力高低。

壹、研究動機

生活中處處可見人手一杯的水果茶飲儼然成為了現代飲品的新趨勢。市面上的水果茶由水果與茶類兩大抗氧化物質混合而成，兩者對人體都有不勝枚舉的益處。隨著環境衛生的提升與醫療資源的進步，正處於高齡社會的臺灣，如何延緩老化也日益成為人們關心的議題。

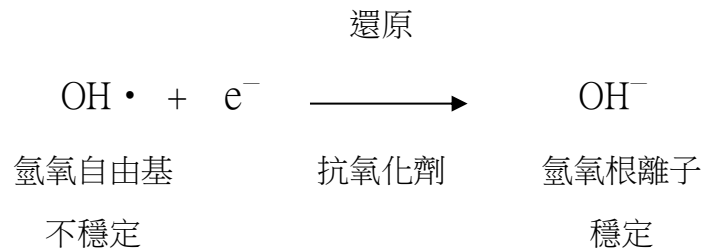
根據過去的專題研究，多是單獨比較同一類物質的抗氧化力，極少對水果茶的抗氧化力進行探討。為了在滿足人們味蕾的同時，又兼具養生、抗氧化的效果，因此本研究著手進行水果茶抗氧化力之探討，希望了解水果與茶類在混合後對抗氧化力的影響。在眾多的水果之中，本研究設定選用容易取得、具抗氧化力的**檸檬、奇異果、蘋果**等三種水果作為實驗水果組，並依照茶葉的發酵程度設定選用**綠茶、烏龍茶、紅茶**等三種茶類作為實驗茶類組，先個別探討並比較水果與茶類的抗氧化力，再從中個別挑出抗氧化力最佳與次佳的水果與茶類混合，尋找混合前後的抗氧化力變化。

為了精準比較各種水果、茶與水果茶的抗氧化力，本研究使用**創新方法：亞甲基藍溶液吸光度變化率測定法**，找出 8 種水果茶抗氧化力的大小，並以**維他命 C、葡萄糖、EGCG**三種特定抗氧化物質的**模擬實驗找出相互影響之關係**，進而建立出相互混合時抗氧化力的**數學函數逼近公式**，利用此公式可代入體積占比而快速得到抗氧化力數值，不但為水果茶的愛好者提供特定抗氧化物質不同混合比例與抗氧化力關係表，作為選購時的參考，也讓人們在品嚐沁心冰涼的水果茶時，亦能有良好的抗氧化效果，達到身心靈的滿足。

貳、文獻探討與研究原理

一、抗氧化劑（還原劑）抗老化原理

氧化還原的過程分成氧化半反應及還原半反應，兩者同時發生，電子由還原劑轉移至氧化劑。這種化學反應一直存在於生物體內，當擁有一不成對電子的自由基形成後便與其他分子不斷的開啟連鎖反應，當鏈反應發生在細胞中時，細胞會被破壞或凋亡，即老化的關鍵，而抗氧化劑則可終結其連鎖反應，避免更多細胞被破壞凋亡進而延緩老化。



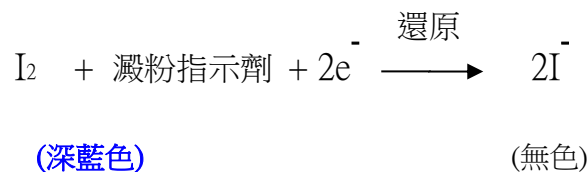
二、抗氧化力測定方法探討：指示劑的選擇與測定原理

搜尋近年來全國科展關於抗氧化力測定報告，多數屆次使用傳統型碘滴定法：

(一) 參考文獻：中華民國第 52 屆化學科科展：大家來找茶—茶抗氧化力之探討

1.傳統型碘滴定法：

利用碘的碘化鉀溶液與澱粉結合成**深藍色碘-澱粉複合體**，作為指示劑，與抗氧化劑（還原劑）反應，當溶液顏色由**深藍色**轉變為無色，即達滴定終點，若耗用的還原劑量愈少，表示還原力愈強，即抗氧化力愈強。



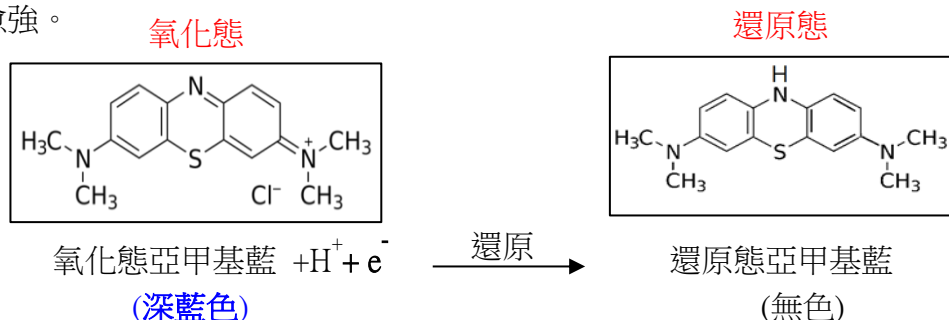
缺點：

- (1) 配製碘液須使用碘固體，易昇華為碘蒸氣對人體有毒性，不適合長期科展使用。
- (2) 澱粉為有機營養物易發霉，不適合長期科展實驗使用。
- (3) **滴定終點判斷**：用眼睛目視溶液顏色由**深藍色**轉變**淺藍色**轉變為無色，易形成人為觀測誤差。

(二)參考文獻：第 56 屆全國中小學科學展覽作品－「薑」來，少「硫」白

2.改良型亞甲基藍(C₁₆H₁₈N₃ClS)滴定法：為少數屆次使用

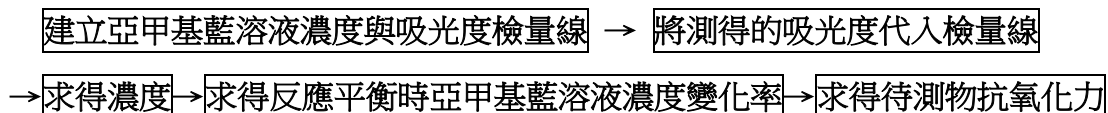
利用氧化態亞甲基藍溶液（深藍色）作為指示劑，與抗氧化劑（還原劑）反應，當溶液顏色由深藍色轉變為無色，即達滴定終點，若耗用還原劑量愈少，表示還原力愈強，即抗氧化力愈強。



缺點：經實測發現，雖無傳統碘滴定法缺點，但**滴定終點判斷**仍需使用眼睛目視溶液顏色由**深藍色**轉變**淺藍色**轉變為無色，亦易形成人為觀測誤差。

3.創新型：亞甲基藍溶液濃度吸光度變化率測定法：

本研究為改進上述缺點，使用**光譜儀**，檢測亞甲基藍溶液顏色由**深藍色**的轉變程度，精準計算實驗待測物抗氧化力，去除人為觀測誤差。測定方法步驟如下：



三、抗氧化力計算與加乘性之判定

(一) 待測物抗氧化力(%)

$$= \frac{(\text{原亞甲基藍溶液濃度} - \text{反應平衡時亞甲基藍溶液濃度})}{\text{原亞甲基藍溶液濃度}} \times 100\%$$
$$= \left[\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right] \times 100\% = \left[\frac{(A_0 + S_0) - A_t}{(A_0 + S_0)} \right] \times 100\% \quad (\text{公式一})$$

1. C_0 = 原亞甲基藍濃度
2. C_t = 反應平衡時亞甲基藍溶液濃度
3. A_0 = 原亞甲基藍溶液濃度吸光度
4. A_t = 反應平衡時亞甲基藍溶液及待測物濃度總吸光度
5. S_0 = 原待測物溶液濃度在同波長下的吸光度

(二) 抗氧化力加乘性之判定與名詞定義：

1. V_s = 實驗相當維他命 C 濃度(M)
2. V_t = 理論相當維他命 C 濃度(M)
3. 濃度差異量(M) = $V_s - V_t$
4. 濃度差異百分比(%) = $[(V_s - V_t) / V_t] \times 100\%$

當 $\frac{V_s}{V_t} > 1$ 時，即具有加乘性，且數值越大，加乘性越高。

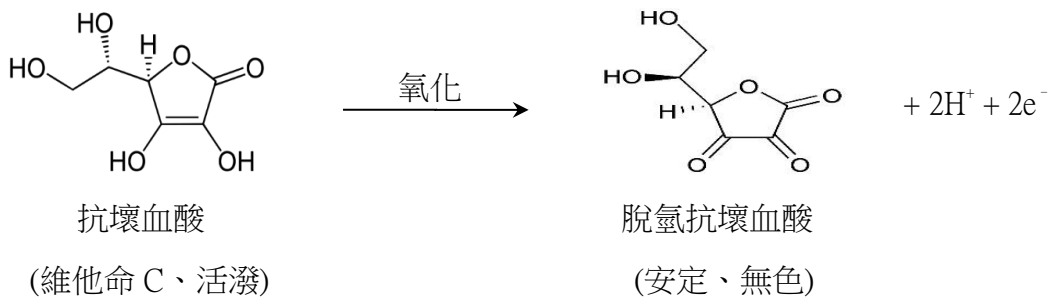
四、抗氧化劑種類：本研究樣品含有的主要抗氧化物質成分

實驗組，水果類：檸檬、奇異果、蘋果。

(一)維他命 C：

又名維生素 C、抗壞血酸，是水果中主要成分，化學式為 $C_6H_8O_6$ ，若人體缺乏維他命 C 會造成壞血病。維他命 C 同時也是一種抗氧化劑，在生物體內，可以保護身體內蛋白質與脂肪分子不受氧化劑的氧化作用，形成大量的自由基，而造成疾病。

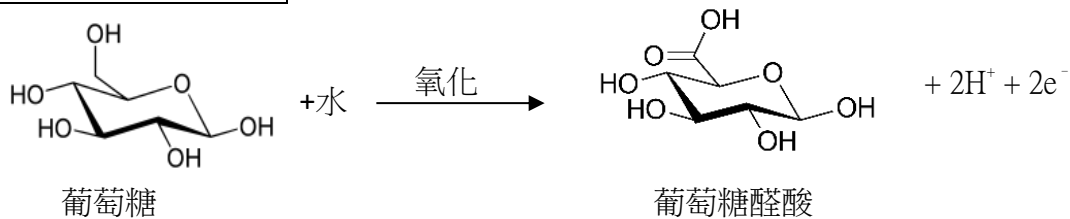
維他命 C 氧化半反應式



(二)葡萄糖

又名血糖，化學式 $C_6H_{12}O_6$ ，葡萄糖在生物學領域具有重要地位，是細胞的能量來源和新陳代謝的中間產物。植物可通過行光合作用產生葡萄糖。

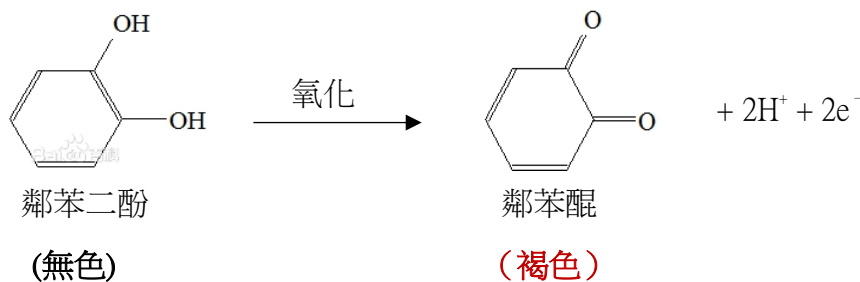
葡萄糖氧化半反應式



(三)鄰苯二酚

化學式 $C_6H_4(OH)_2$ ，切開後的蘋果放在空氣中變成褐色。是因為水果中含有多酚氧化酶物質，在酵素催化下將鄰苯二酚氧化成「醌」後，再聚合成「醌聚合物」（褐色素）為水果「褐變」的主要因素。

鄰苯二酚氧化半反應式



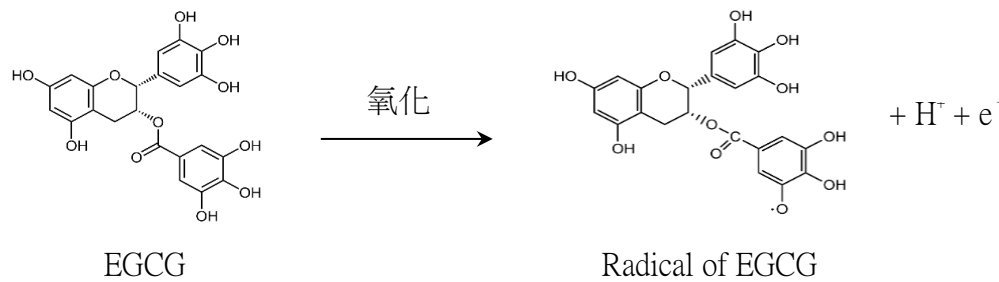
實驗組，茶類：綠茶、烏龍茶、紅茶。

(一)兒茶素

兒茶素 (Catechin)，又稱茶單寧，兒茶酸，是茶葉中黃烷醇類 (黃烷-3-醇) 物質的總稱，兒茶素是茶多酚中最重要的一種天然苯酚和抗氧化劑，約占茶多酚含量的 75% 到 80%，也是茶的苦澀味的來源之一。

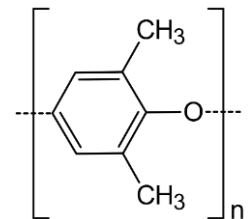
具有抗氧化力的兒茶素主要分為四種：表兒茶素 (Epicatechin EC)、表沒食子兒茶素 (Epigallocatechin EGC)、表兒茶素沒食子酸酯 (Epicatechin gallate ECG) 和表沒食子兒茶素沒食子酸酯 (Epigallocatechin gallate EGCG)。其中又以 EGCG 含量較高，且抗氧化力較佳。

EGCG 氧化半反應式

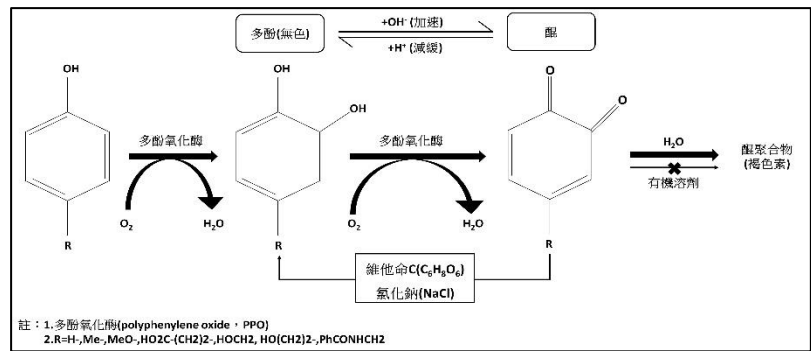


(二)酶褐變

1. 多酚氧化酶(polyphenylene oxide, PPO)又稱為聚氧二甲苯 (或稱為聚苯醚)，在多酚氧化酶作用下氧化稱為酶褐變。
2. 反應條件：(如下，三者缺一不可)
 - (1)多酚類物質：鄰苯二酚(兒茶酚)、綠原酸、咖啡酸、沒食子酸等。
 - (2)多酚氧化酶(polyphenylene oxide, PPO)。
 - (3)氧氣。



3. 反應過程(如右)：



4. 控制酶褐變方法：

PPO 酶最適合於 pH=6~7 作用，隨著 pH 值的下降，多酚氧化酶的活性直線下降。於 pH=3.0 以下環境時，高酸性環境會使酶蛋白上的銅離子解離，導致 PPO 逐漸失去活性。加入有機酸(檸檬酸、維他命 C)，可降低酶活性，減少褐變。

(三)文獻結果得知

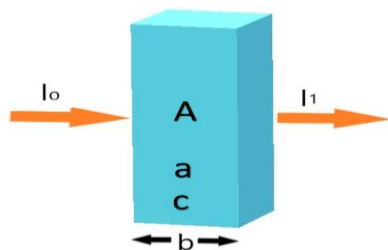
1. 酸性環境將減緩多酚氧化酶對鄰苯二酚的氧化，間接減少被還原者的還原量。
2. 鄰苯二酚與維他命 C 並存時，會相互抑制，使得受到多酚氧化酶氧化而得的鄰苯醌被維他命 C 還原成鄰苯二酚，減少亞甲基藍被還原的機會。

五、分光光度計原理

(一)比爾定律：當一束平行光垂直通過某一均勻非散射的吸光物質時其吸光度(A)與物質濃度(C)成正比。

(二)比爾公式： $A = a b c = \log (入射光強度 I_0 / 透射光強度 I_1)$

A：溶液吸光度、a：物質吸光係數、b：光徑長度、c：待測溶液濃度



$A=1$ 吸光率 = $(100 - 10) / 100 = 90\%$

$A=2$ 吸光率 = $(100 - 1) / 100 = 99\%$

$A=3$ 吸光率 = $(100 - 0.1) / 100 = 99.9\%$

$A=4$ 吸光率 = $(100 - 0.01) / 100 = 99.99\%$

(三)應用比爾公式： $A = a b c$ 得知，同一種物質的溶液吸光係數(a)與光徑長度(b)相同時，可得知溶液吸光度與待測物溶液濃度成正比，代入計算公式，可測得水果、茶類抗氧化力 = $[(C_0 - C_t) / C_0] \times 100\% = [(A_0 - A_t) / A_0] \times 100\%$

C_0 ：原溶液濃度、 C_t ：反應後溶液濃度、 A_0 ：原溶液吸光度、 A_t ：反應後溶液吸光度

六、本研究主要的抗氧化物質含量成分比較表

(一)各水果成分含量

分析項		蘋果	檸檬汁(綠皮)	奇異果
葡萄糖	每 100 克含量	2.2g	0.4g	4.4g
果糖	每 100 克含量	6.6g	0.3g	4.7g
維他命 C	每 100 克含量	2.9mg	39.3mg	73.0mg
金屬(鈉、鉀、鈣、鎂、鐵、鋅、磷)		含量低	含量低	含量低
檸檬烯	X	無	有	無
酸鹼值(pH 值)	X	3.5	2.4	4.7

(二)茶類多酚含量

茶類	綠茶	烏龍茶	紅茶
茶多酚(mg/100ml)	85.85-229.9	51.07-137.47	26.62-71.63
比較	含量多(平均 157.7)	含量次之(平均 94.27)	含量少(平均 49.13)

參、研究目的

一、探討亞甲基藍溶液濃度分析方法之建立

二、探討維他命 C 溶液與亞甲基藍溶液的反應

- (一)維他命 C 溶液與亞甲基藍溶液反應時間與吸光度關係(實驗二)
- (二)不同溫度及不同濃度維他命 C 抗氧化力研究(實驗三)

三、探討水果在不同溫度及不同濃度的吸光度關係

- (一)不同蘋果濃度在 15°C、25°C、35°C 的吸光度檢量線建立(實驗四)
- (二)不同溫度蘋果於純水及 1% 鹽水抗氧化力研究(實驗五)

四、探討不同水果抗氧化力研究

- (一)同溫下蘋果、檸檬、奇異果的吸光度檢量線建立(溫度 15°C)(實驗六)
- (二)同溫下蘋果、檸檬、奇異果抗氧化力研究(溫度 15°C)(實驗七)

五、探討茶類在不同溫度及不同濃度的吸光度關係

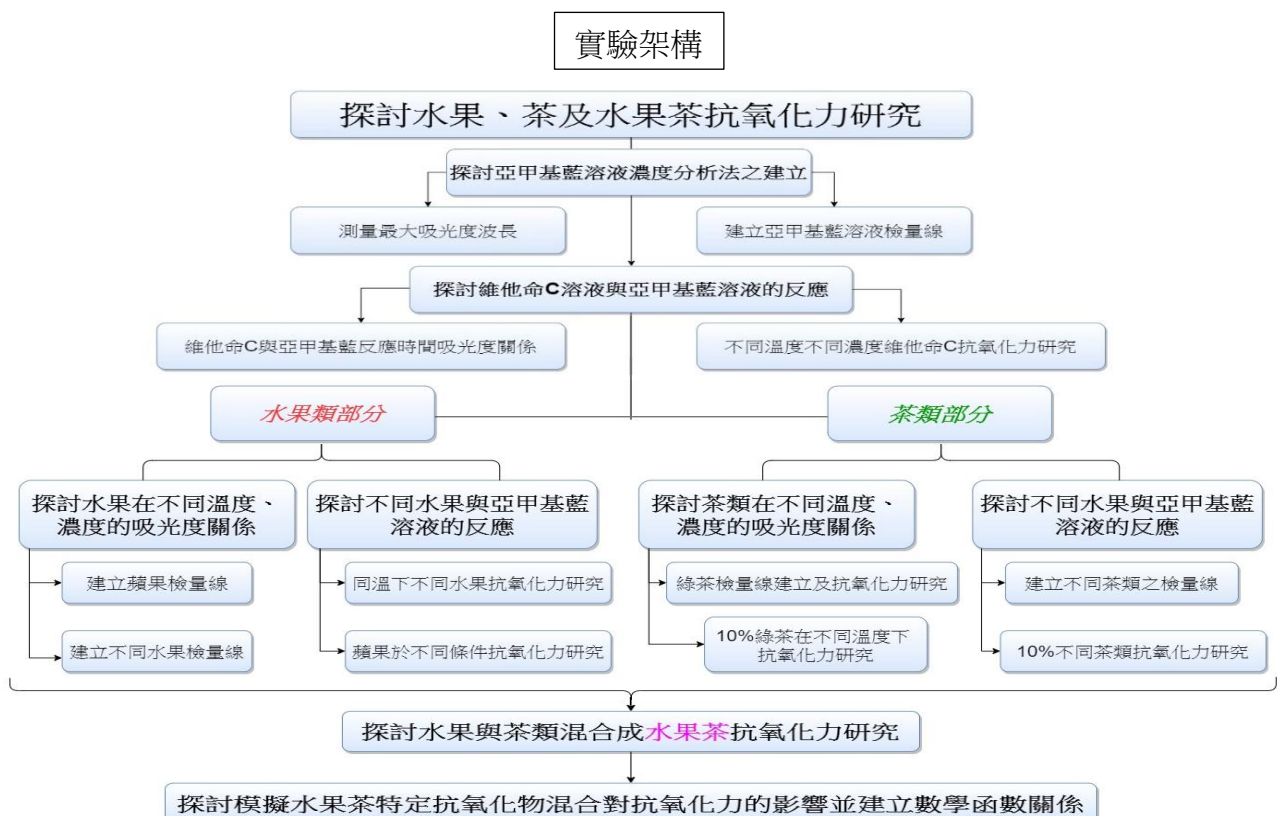
- (一)不同溫度下綠茶的吸光度檢量線建立(實驗八)
- (二)不同溫度下 10% 綠茶抗氧化力研究(實驗九)

六、探討不同茶類抗氧化力研究

- (一)同溫下不同濃度綠茶、烏龍茶、紅茶的吸光度檢量線建立(溫度 95°C)(實驗十)
- (二)同溫下 10% 綠茶、10% 烏龍茶、10% 紅茶抗氧化力研究(溫度 95°C)(實驗十一)

七、探討不同水果茶抗氧化力研究

- (一)探討水果與茶類混合成水果茶抗氧化力研究(實驗十二)
- (二)探討模擬水果茶特定抗氧化物混合對抗氧化力影響並建立數學函數關係(實驗十三)



肆、研究設備及器材

一、藥品(材料)

亞甲基藍 CHONEYE	維他命 C	葡萄糖	EGCG	蘋果
				
檸檬	奇異果	紅茶	烏龍茶	綠茶
				

二、儀器

分光光譜儀：	溫度計	恆溫槽	電子天平 (0.001 公克)
GENESYS 10S UV-VIS 波長範圍： 190nm-1100nm	0°C-200°C	DENG YNG WATER BATH 0°C-100°C	AND GF400 Max：310g

三、器材

燒杯	容量瓶：(1 公升)	攪拌棒	量筒	微量滴管	秤量紙
果汁機	離心機：DSC 158T	加熱攪拌器	pH 計	蒸餾水	食鹽

伍、研究過程與結果討論

一、探討亞甲基藍溶液濃度分析法之建立

(一) 實驗步驟：

1. 配製 $2.0 \times 10^{-4} \text{M}$ 亞甲基藍溶液。
2. 以光譜儀對亞甲基藍溶液進行 190~1100 nm 全波長掃描，找出最大吸收波長。
3. 配製兩種不同濃度的亞甲基藍溶液： $3.0 \times 10^{-5} \text{M}$ 、 $3.0 \times 10^{-4} \text{M}$ ，並依照體積比：
10:0、9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8、1:9、0:10 進行
配製亞甲基藍溶液濃度。
4. 調整光譜儀至最大吸收波長，放入各種不同濃度待測物並記錄吸光度數值。
5. 所得數據以 Excel 進行圖形處理。

圖 1-1:亞甲基藍溶液全波長吸光度曲線圖

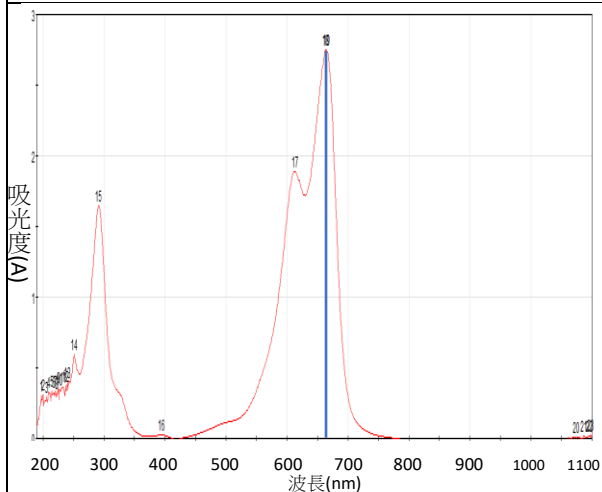
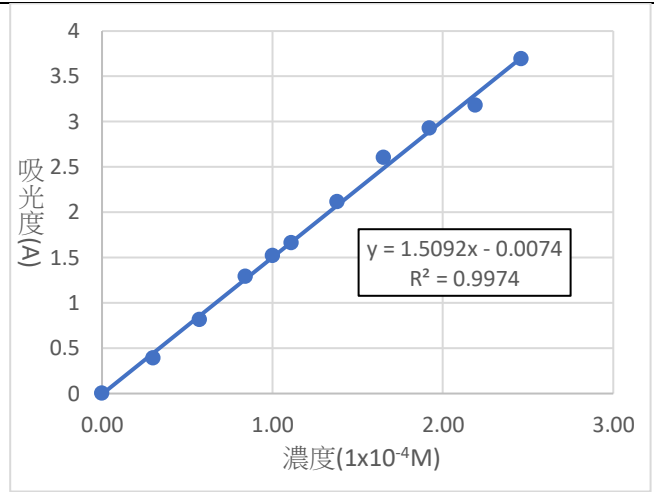


圖 1-2:不同濃度亞甲基藍溶液的吸光度檢量線



(實驗數據詳見附錄一，附錄中之所有數據將在現場提供)

(二) 實驗結果與討論：

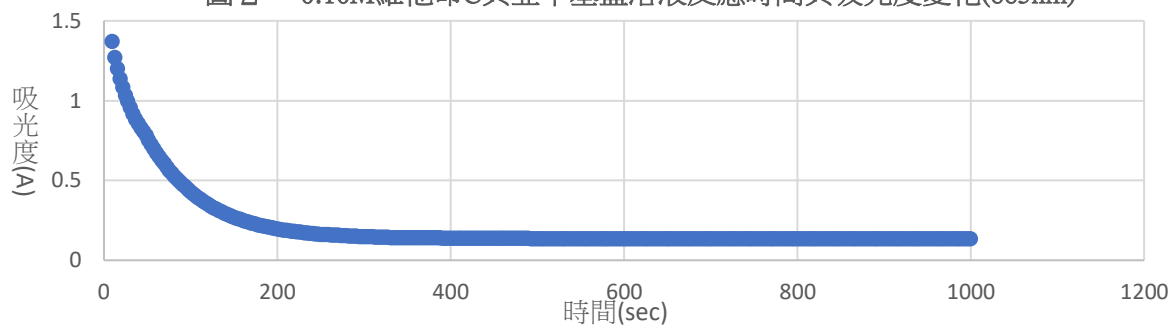
1. 由圖 1-1 得知：亞甲基藍溶液最大吸收波長為 665nm，往後皆以此波長做實驗。
2. 為減少誤差，亞甲基藍溶液稀釋次數最多兩次。
3. 由圖 1-2 發現：亞甲基藍溶液吸光度檢量線 R^2 值高達 0.9974，準確度大，符合比爾定律。
4. 水果、茶類及水果茶與亞甲基藍反應計算反應平衡時，亞甲基藍濃度吸光度變化率，即可換算出該物質的抗氧化力。
5. 實驗值與檢量線誤差值校正：以 $1.0 \times 10^{-4} \text{M}$ 亞甲基藍溶液為例，將 $1.0 \times 10^{-4} \text{M}$ 代入檢量線公式，得 $A = 15092(1 \times 10^{-4}) - 0.0074 = 1.502$ ，誤差值 = | 實驗值吸光度 - 檢量線校正後吸光度 | = | 1.512 - 1.502 | = 0.010，誤差比例 = $(0.010 / 1.502) \times 100\% = 0.007\%$ ，誤差小準確度高。

二、維他命 C 溶液與亞甲基藍溶液反應時間與吸光度關係

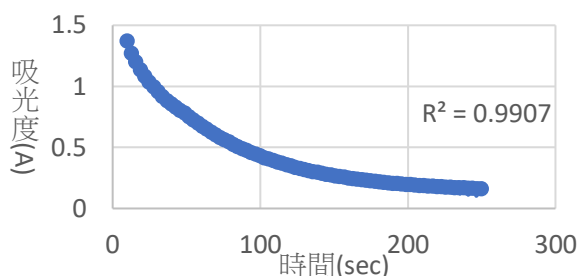
(一) 實驗步驟：

1. 配製 $1.0 \times 10^{-1} \text{M}$ 維他命 C 溶液。
2. 設定光譜儀波長為 665nm。
3. 取 1 支分光槽先加入 $2.0 \times 10^{-4} \text{M}$ 亞甲基藍溶液 1.0 毫升，並迅速加入該維他命 C 1.0 毫升混合後，以波長 665 nm 測量吸光度，每 3 秒記錄一次吸光度數值並持續記錄至 1000 秒。
4. 將所得數據以 Excel 進行圖形處理。

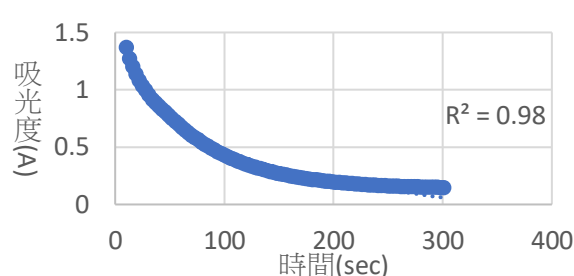
圖 2：0.10M維他命C與亞甲基藍溶液反應時間與吸光度變化(665nm)



0.10M維他命C對亞甲基藍吸光度變化 (665nm)(10—250sec)



0.10M維他命C對亞甲基藍吸光度變化 (665nm)(10—300sec)



時間(sec)	10	50	100	150	200	250	300
吸光度 (A)	1.369	0.780	0.430	0.267	0.197	0.161	0.146
時間(sec)	350	400	450	500	550	600	
吸光度 (A)	0.140	0.137	0.135	0.133	0.133	0.133	

(二) **實驗結果與討論**：

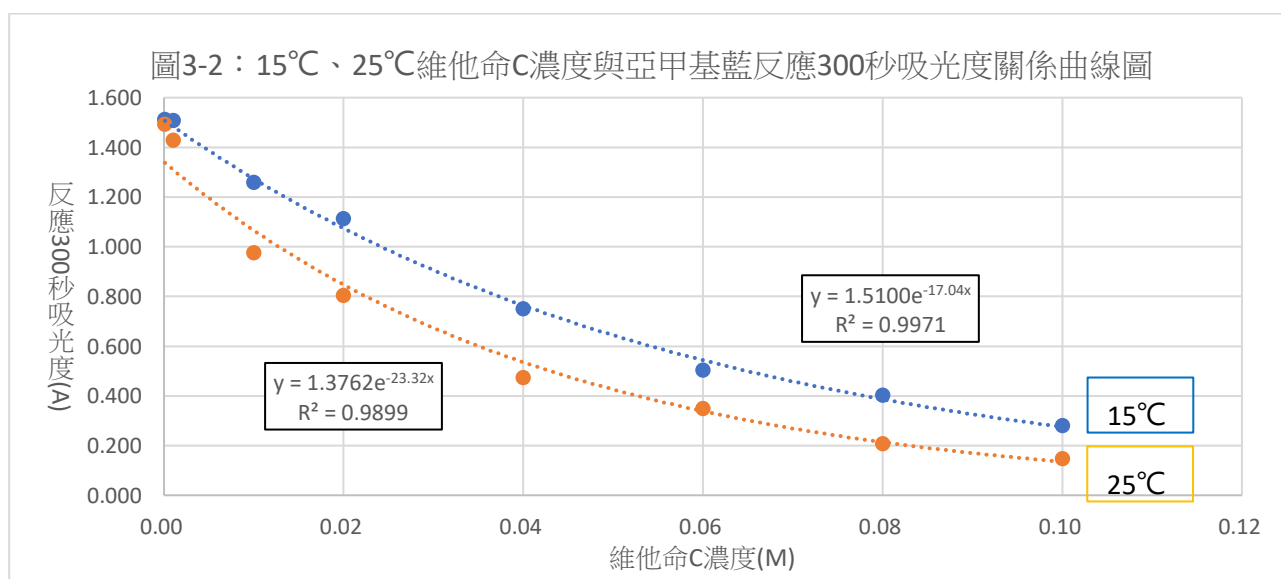
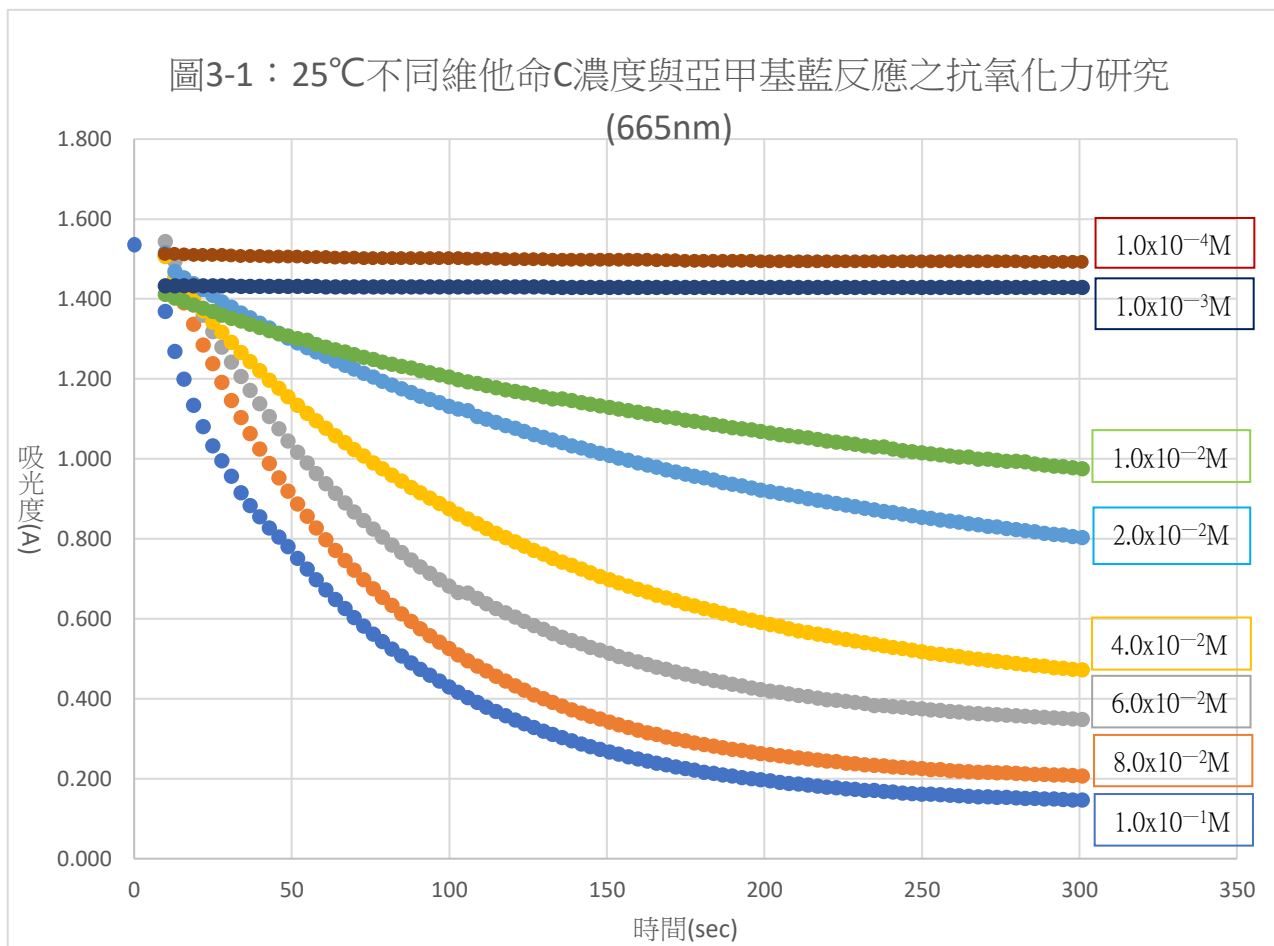
- 由圖 2 發現：0.10 M 維他命 C 與亞甲基藍溶液反應，在 250 秒後線性關係降低至幾乎水平，至 300 秒氧化還原反應幾乎已達平衡。
- 未來水果及茶類實驗時間皆**控制在 300 秒內完成**。

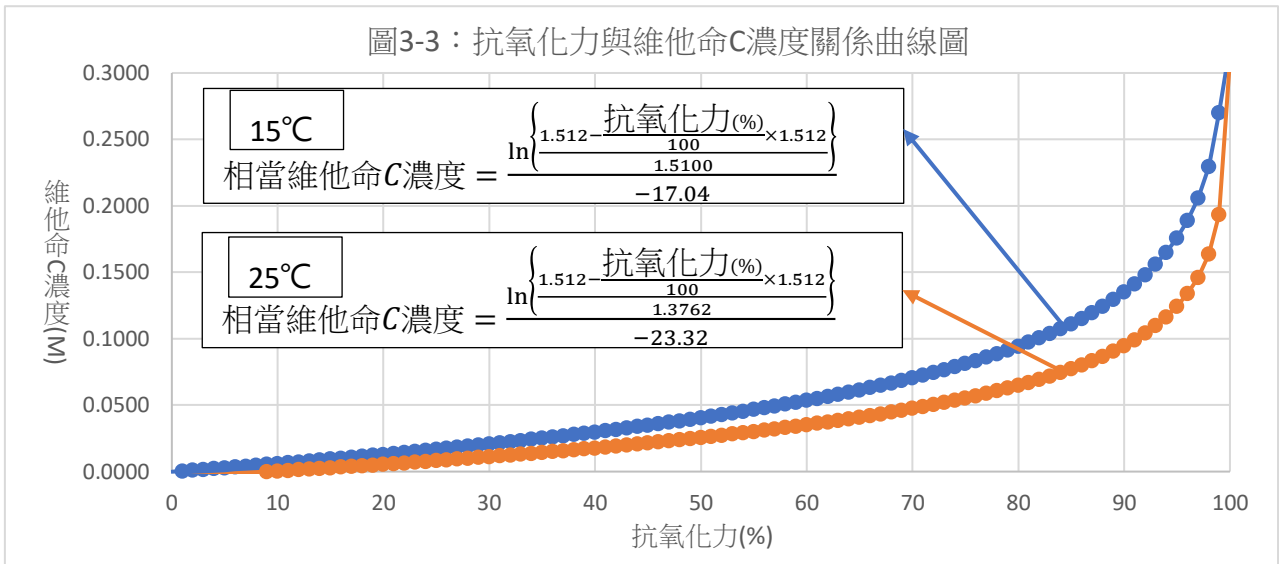
檢量線標準實驗流程	抗氧化力研究標準實驗流程
<ol style="list-style-type: none"> 配製該實驗所需待測物濃度。 調整光譜儀波長為 665nm，放入各種不同濃度待測物並記錄吸光度數值。 所得數據以 Excel 進行圖形處理。 	<ol style="list-style-type: none"> 配製實驗所需待測物濃度。 設定光譜儀波長為 665nm。 取 1 支分光槽先加入 2.0×10^{-4}M 亞甲基藍溶液 1.0 毫升，並迅速加入待測物 1.0 毫升混合後，每 3 秒(實驗 12-3 始改 30 秒)記錄一次吸光度數值並持續記錄至 300 秒。 將所得數據以 Excel 進行圖形處理。

三、不同溫度及不同濃度維他命 C 與亞甲基藍溶液反應之抗氧化力研究

(一)實驗步驟：

1. 配製 $1.0 \times 10^{-4}M$, $1.0 \times 10^{-3}M$, $1.0 \times 10^{-2}M$, $2.0 \times 10^{-2}M$, $4.0 \times 10^{-2}M$, $6.0 \times 10^{-2}M$, $8.0 \times 10^{-2}M$, $1.0 \times 10^{-1}M$ 等不同濃度的維他命 C 溶液。
2. 分別於 $15^{\circ}C$ 、 $25^{\circ}C$ 下完成抗氧化力標準製備流程。





(實驗數據詳見附錄二)

(二) **實驗結果與討論**：

1. 由圖 3-1 發現：25°C 下，維他命 C 濃度越高時抗氧化力大，維他命 C 溶液八種濃度中以 $1.0 \times 10^{-1} \text{M}$ 與亞甲基藍溶液反應時吸光度變化最明顯。
2. 由圖 3-2 發現：25°C 下，維他命 C 溶液濃度 0.10 M，反應時間 5 分鐘時，換算得抗氧化力 90.34%。同條件下溫度 15°C，換算得抗氧化力 81.48%。故在維他命 C 在相同濃度下，25°C 抗氧化力較佳。
3. 由圖 3-2 發現：不同溫度下，不同濃度維他命 C 溶液與亞甲基藍溶液反應，所得之標準曲線方程式為：

$$15^\circ\text{C}, \text{吸光度}(A) = 1.5100e^{-17.04 \times \text{濃度}(M)} \quad (\text{公式二-1})$$

$$25^\circ\text{C}, \text{吸光度}(A) = 1.3762e^{-23.32 \times \text{濃度}(M)} \quad (\text{公式二-2})$$

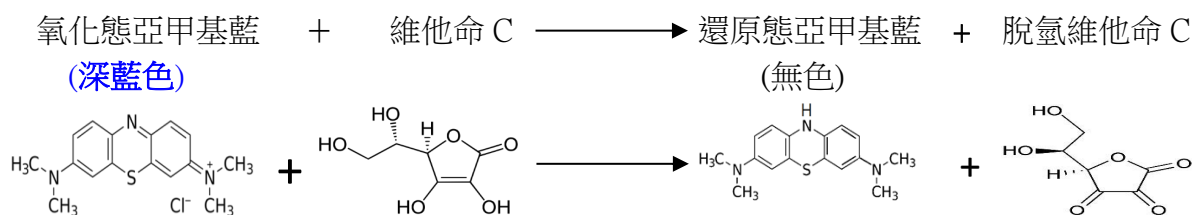
4. 由圖 3-3 發現：不同溫度下，不同濃度維他命 C 溶液與亞甲基藍溶液反應，所得之抗氧化力與維他命 C 濃度之關係方程式為：

$$15^\circ\text{C}, \text{維他命C濃度}(M) = \frac{\ln\left\{-\frac{\left[\frac{\text{抗氧化力}(\%)}{100} \times 1.512 - 1.512\right]}{1.5100}\right\}}{-17.03} \quad (\text{公式三-1})$$

$$25^\circ\text{C}, \text{維他命C濃度}(M) = \frac{\ln\left\{-\frac{\left[\frac{\text{抗氧化力}(\%)}{100} \times 1.512 - 1.512\right]}{1.3762}\right\}}{-23.32} \quad (\text{公式三-2})$$

5. 後續水果及茶類的抗氧化力，我們亦將以公式三-1 或 2（視實驗需求而定）換算成維他命 C 濃度表示。

註：25°C 下，0.10M 維他命 C 的抗氧化力計算公式為例： $[(1.512 - 0.146) / 1.512] \times 100\% = 90.34\%$



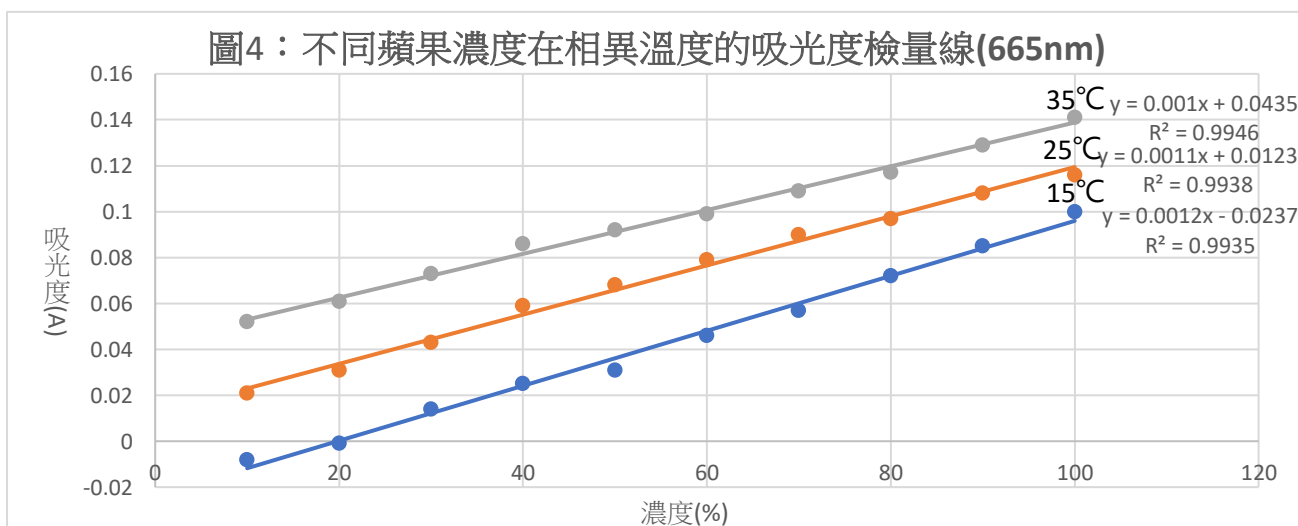
— 水果原汁製備標準流程 —

1. 將恆溫槽設定於實驗指定溫度：15°C、25°C、35°C，並維持恆溫。
2. 將實驗用水果完全沒入已加熱達定溫的恆溫槽水中，並靜置至少 20 分鐘。
3. 取出恆溫槽內水果去皮，接著放入調理機進行水果磨碎並分離果肉及果汁。
4. 將水果汁分別倒入 6 支試管中約達八分滿，以離心機再次進行分離果肉與果汁。
5. 取第 2、3、4、5 四支試管中的果汁倒入燒杯中混合並以濾紙過濾後即為**水果原汁**，定義為 100% 水果汁，以上步驟皆於 12 分鐘內完成。

四、不同蘋果濃度在 15°C、25°C、35°C 的吸光度檢量線建立

(一) 實驗步驟：

1. 分別於 15°C、25°C、35°C 依水果汁製備標準流程步驟 1-5 進行。
2. 將蘋果原汁分別配製下列濃度：100%、90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%。
3. 完成檢量線標準實驗流程。



(實驗數據請詳見附錄三)

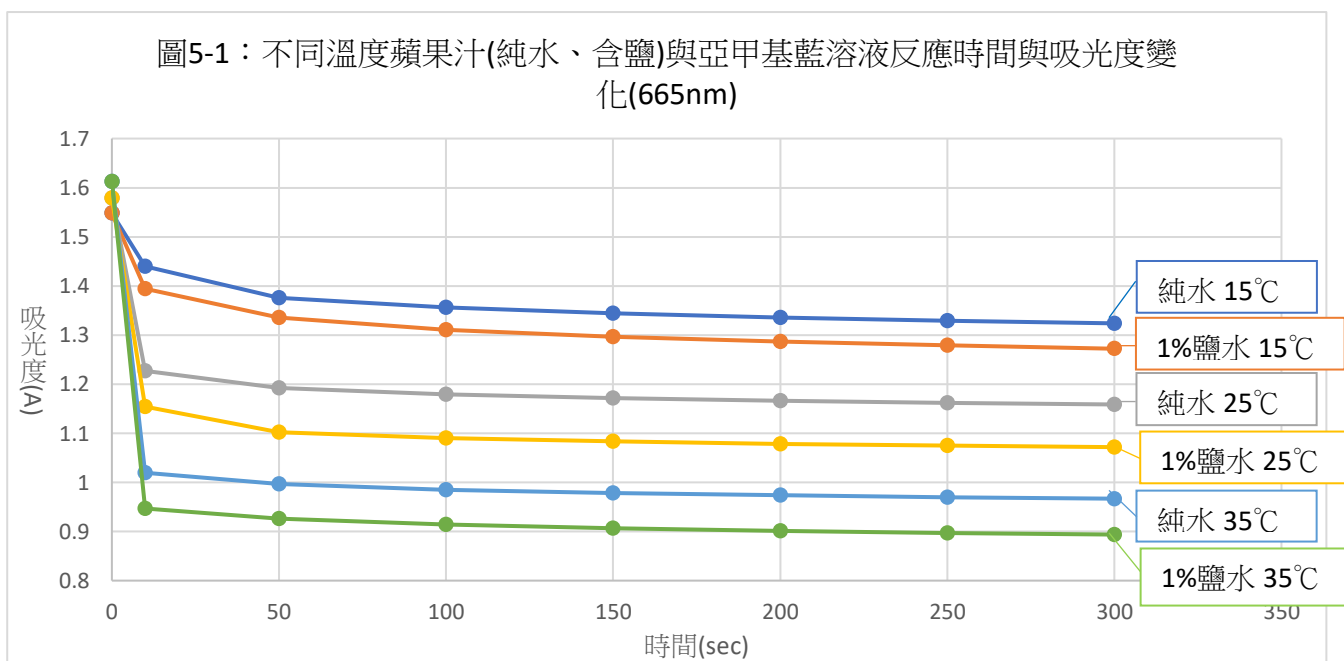
(二)實驗結果與討論：

1. 由圖 4 發現：不同溫度下，不同濃度蘋果汁的檢量線的 R^2 值皆高達 0.99 以上，且蘋果汁濃度越高吸光度越大且呈正比，符合比爾定律。
2. 由圖 4 發現：溫度高，氧化反應速率較快，因此褐變較快，故顏色較深，吸光度較大。

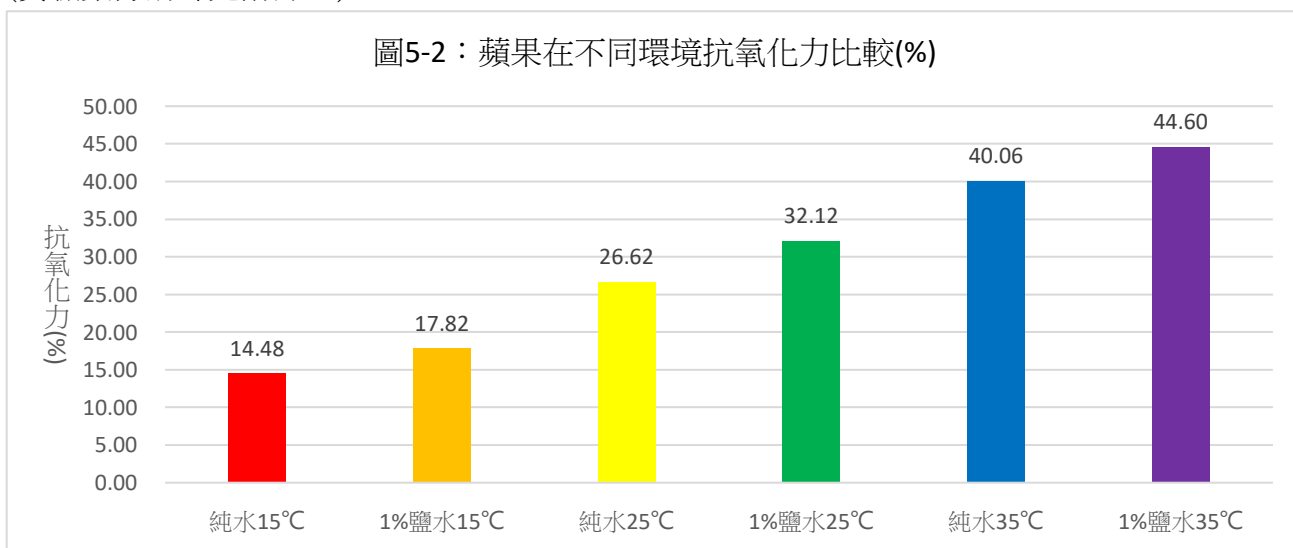
五、不同溫度蘋果於純水及 1%鹽水抗氧化力研究

(一)實驗步驟：

1. 清洗蘋果並削皮後浸泡於已設定為 15°C、25°C、35°C 溫度的純水、1%鹽水中。
2. 於 15°C、25°C、35°C 依水果原汁製備標準流程步驟 2-5 進行蘋果汁製備。
3. 完成抗氧化力研究標準實驗流程。



(實驗數據請詳見附錄四)



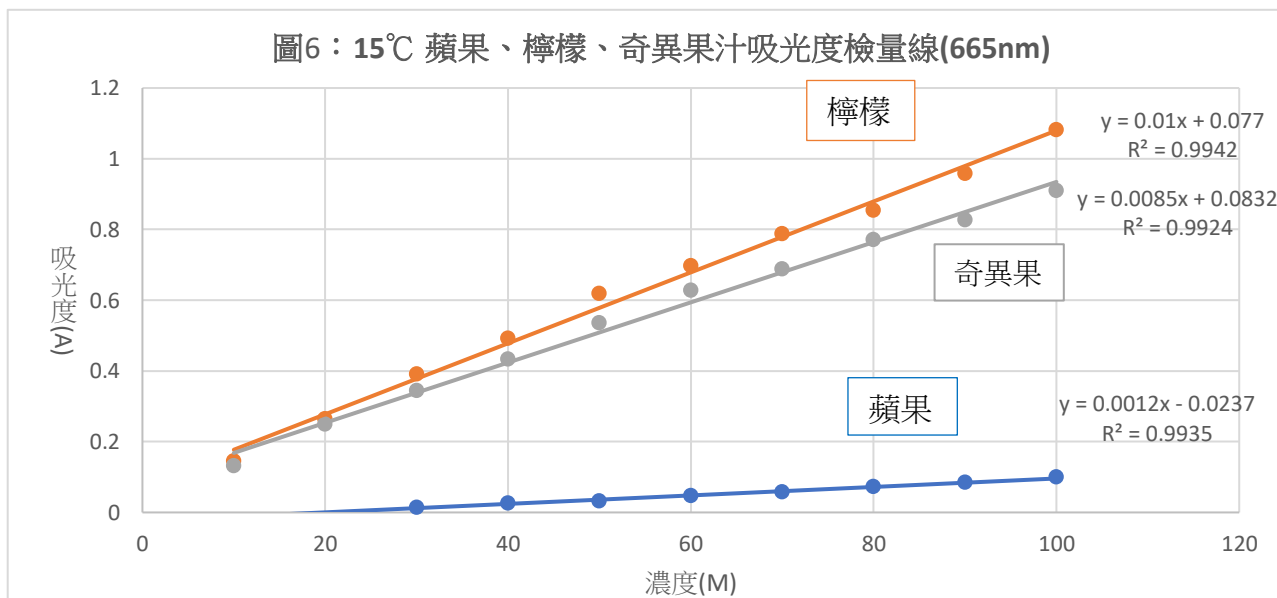
(二) 實驗結果與討論：

1. 由圖 5-2 發現：溫度越高，抗氧化力越大，是因為在 35°C 時反應速率較快所導致。
2. 由圖 5-2 發現：相同溫度下蘋果的抗氧化力皆以浸泡鹽水者較佳，推論蘋果浸泡過鹽水後，會抑制蘋果內含的多酚氧化酵素(PPO)，因而使其抗氧化效果較佳。
3. 由圖 5-1 與圖 5-2 發現：**低溫下氧化還原反應速率慢**，為便於準確觀測亞甲基藍溶液吸光度變化趨勢，後續測定不同水果汁抗氧化力**實驗皆取 15°C 為準**。

六、同溫下蘋果、檸檬、奇異果吸光度檢量線建立 (溫度 15°C)

(一) 實驗步驟：

1. 於 15°C 時分別用蘋果、檸檬、奇異果等依水果汁製備標準流程步驟 1-5 進行。
2. 將蘋果原汁、檸檬原汁、奇異果原汁分別配製下列濃度：100%、90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%。
3. 完成檢量線標準實驗流程。



(實驗數據請詳見附錄五)

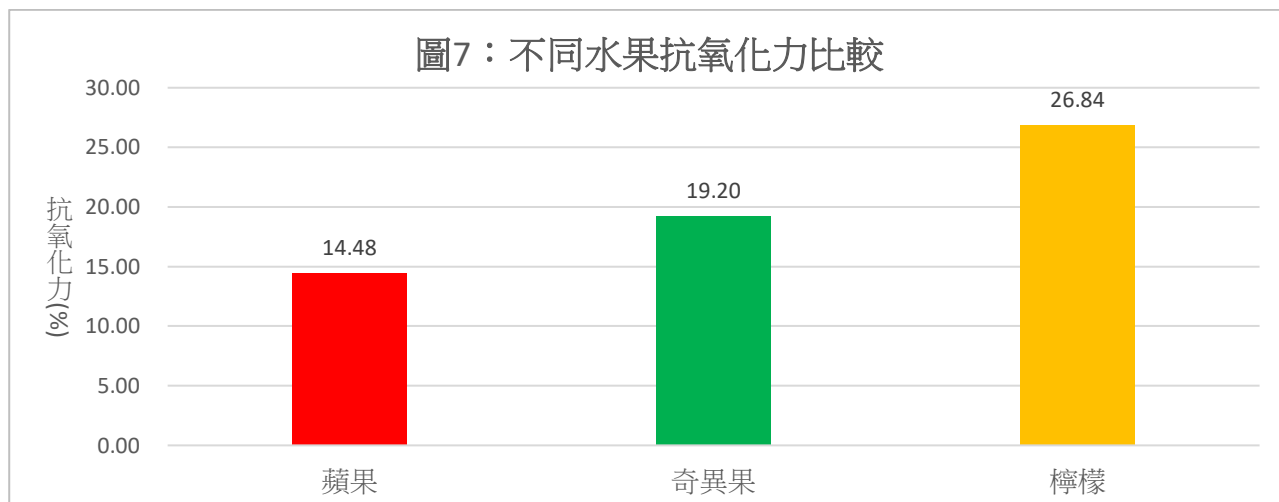
(二) 實驗結果與討論：

1. 由圖 6 發現：三條檢量線之 R^2 值皆高達 0.99 以上，**三種果汁濃度越高吸光度越高且呈正比，符合比爾定律**。
2. 由圖 6 發現：三種果汁中的蘋果因**顏色接近褐色**，在 665 nm 波長吸收度較低。

七、同溫下蘋果、檸檬、奇異果抗氧化力研究(溫度 15°C)

(一)實驗步驟：

1. 15°C時依水果汁製備標準流程步驟 1-5 進行，分別製備 100%蘋果汁、100%檸檬汁及 100%奇異果汁。
2. 完成抗氧化力研究標準實驗流程。



(實驗數據請詳見附錄六)

(二)實驗結果與討論：

1. 由圖 7 發現：檸檬汁與亞甲基藍溶液反應速率最快，且吸光度變化率也最大，蘋果吸光度變化率最小。
2. 由圖 7 發現：藉由亞甲基藍溶液吸光度變化率換算為抗氧化力，可以得到抗氧化力大小為：檸檬(26.84%) > 奇異果(19.20%) > 蘋果(14.48%)。

註：上述三種水果抗氧化力相當於維他命 C 濃度(M)之計算如下：

$$\text{例如：蘋果抗氧化力相當於維他命C濃度(M)} = \frac{\ln\left\{-\frac{[14.48/100 \times 1.512 - 1.512]}{1.3762}\right\}}{-23.32} = 0.003$$

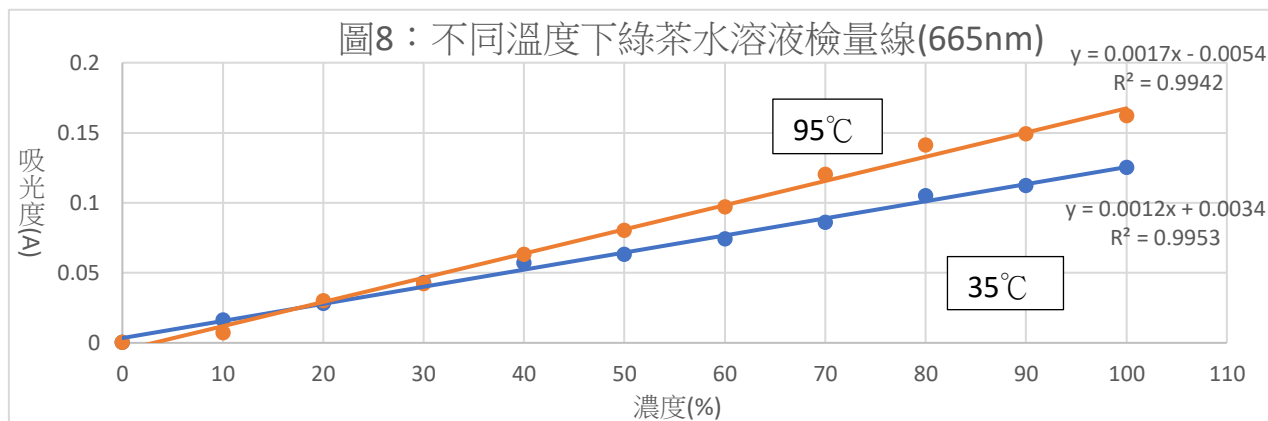
— 茶類製備標準流程 —

1. 將恆溫槽設定於實驗指定溫度：95°C、35°C，並維持恆溫。
2. 取 1000 毫升燒杯裝入 600 毫升蒸餾水，取大試管裝入 40 毫升純水並放入溫度計，再將大試管放入燒杯進行隔水加熱，直到到達實驗所需溫度。
3. 秤取 0.420 公克的茶葉(綠茶、烏龍茶、紅茶)分別完全浸泡於已裝有達 95°C、35°C 的 40 毫升水的大試管中，稍微攪拌後，靜置 5 分鐘再以濾紙過濾即為茶類原汁，定義為 100%茶水溶液。

八、不同溫度下(35°C、95°C)綠茶水溶液吸光度檢量線建立

(一)實驗步驟：

1. 於 35°C 及 95°C 下分別依茶類配製標準流程步驟 1-3 製作綠茶原汁。
2. 將綠茶分別配製下列濃度：100%、90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%。
3. 完成檢量線標準實驗流程。



(實驗數據詳見附錄七)

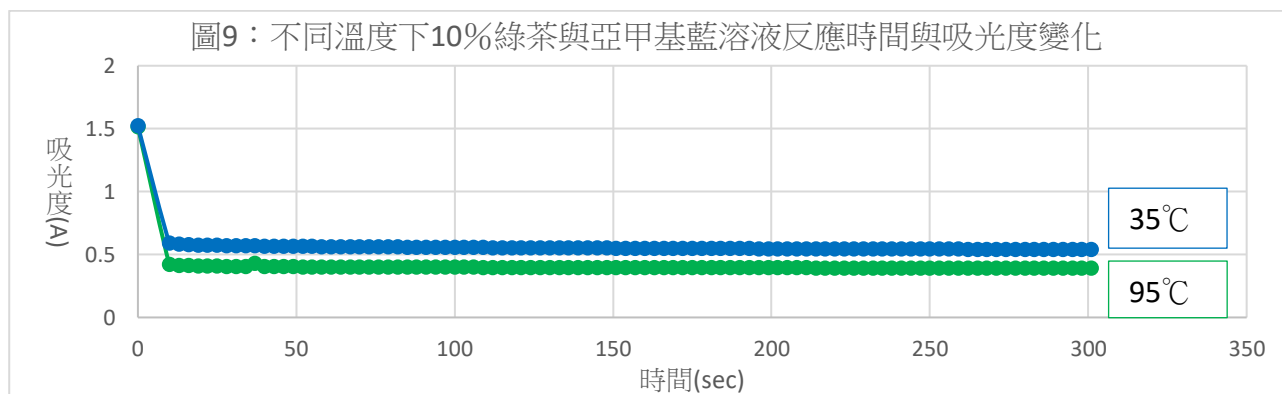
(二)實驗結果與討論：

1. 由圖 8 發現：比較 35°C、95°C 時的綠茶水溶液檢量線斜率發現 95°C 斜率較大，是因為溫度高反應速率較快造成。
2. 由圖 8 發現：溫度 35°C 及溫度 95°C 時，綠茶水溶液濃度與吸光度關係的 R^2 值皆高達 0.99 以上，線性關係規律性高，準確度大，符合比爾定律。

九、不同溫度下(35°C、95°C) 10%綠茶水溶液抗氧化力研究

(一)實驗步驟：

1. 依茶類配製標準流程 1-3 步驟進行。
2. 取綠茶水溶液以同溫度純水稀釋體積至原來 10 倍。
3. 完成抗氧化力研究標準實驗流程。



(實驗數據詳見附錄八)

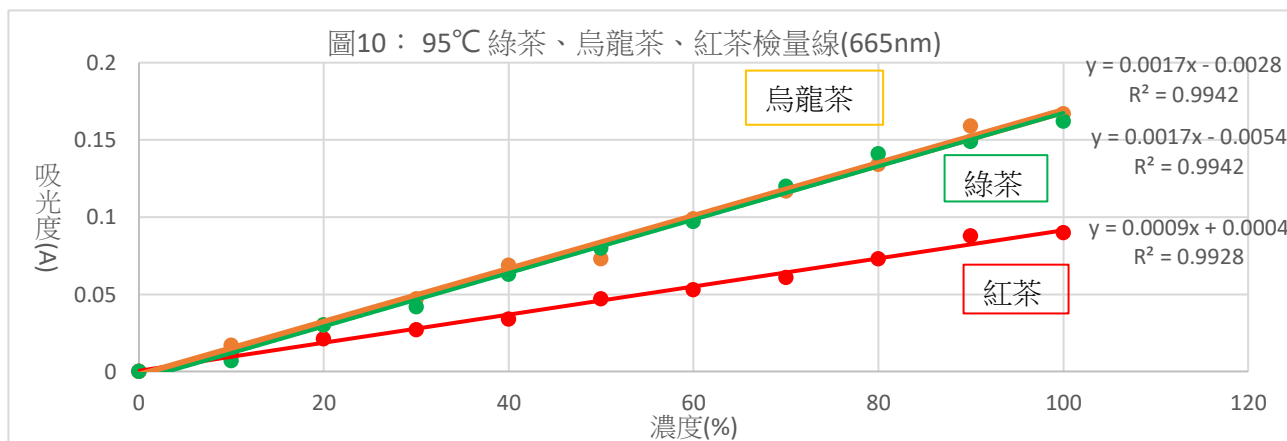
(二) 實驗結果與討論：

1. 由圖 10 發現：不論在溫度 35°C 或 95°C 下，100%綠茶水溶液和亞甲基藍溶液反應速率皆太快，難以記錄吸光度變化，由實驗觀察得知混合兩種溶液後，再放入光譜儀紀錄吸光度時，幾乎立即成水平線，因此將 100%綠茶水溶液稀釋 10 倍後再與亞甲基藍溶液反應，再以光譜儀測量其吸光度變化，換算成抗氧化力數值。
2. 由圖 10 發現：溫度 95°C 的 10%綠茶水溶液抗氧化力(74.28%)較 35°C 的 10%綠茶水溶液抗氧化力(64.56%)高。

十、綠茶、烏龍茶、紅茶水溶液檢量線建立(溫度 95°C)

(一) 實驗步驟：

1. 於 95°C 下分別用綠茶、烏龍茶、紅茶依茶類配製標準流程步驟 1-3 進行。
2. 將綠茶、烏龍茶、紅茶分別配製下列濃度：100%、90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%。
3. 完成抗氧化力研究標準實驗流程。



(實驗數據詳見附錄九)

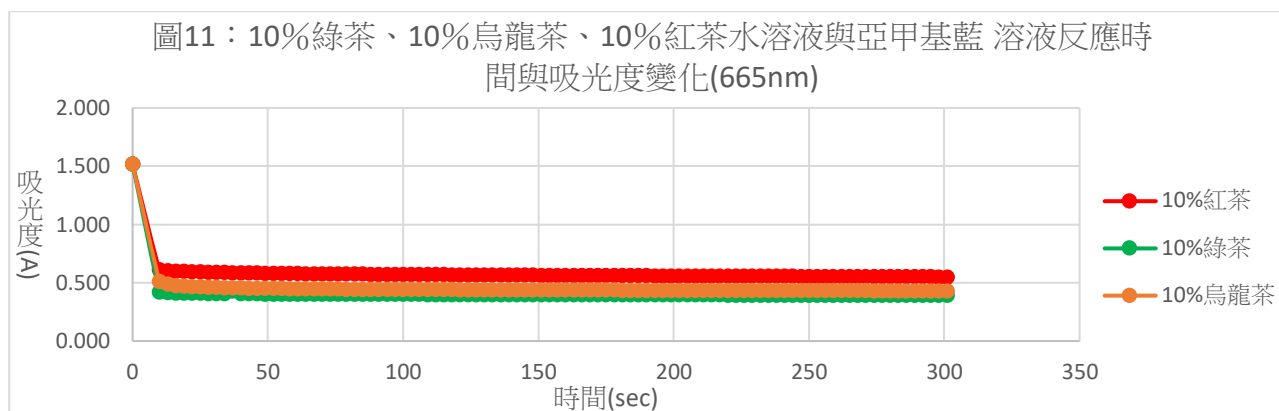
(二) 實驗結果與討論：

1. 由圖 10 發現：綠茶、烏龍茶、紅茶水溶液檢量線 R² 值皆高達 0.99 以上，線性關係規律性高，準確度大。
2. 由圖 10 發現：三種茶類水溶液濃度越高吸光度越高且呈正比，符合比爾定律。

十一、10%綠茶、10%烏龍茶、10%紅茶水溶液抗氧化力研究(溫度 95°C)

(一)實驗步驟：

1. 依茶類配製標準流程 1-3 步驟進行。
2. 取綠茶、烏龍茶、紅茶水溶液以 95°C 溫度純水稀釋體積至原來 10 倍。
3. 完成抗氧化力標準實驗流程。



(實驗數據詳見附錄十)

(二)實驗結果與討論：

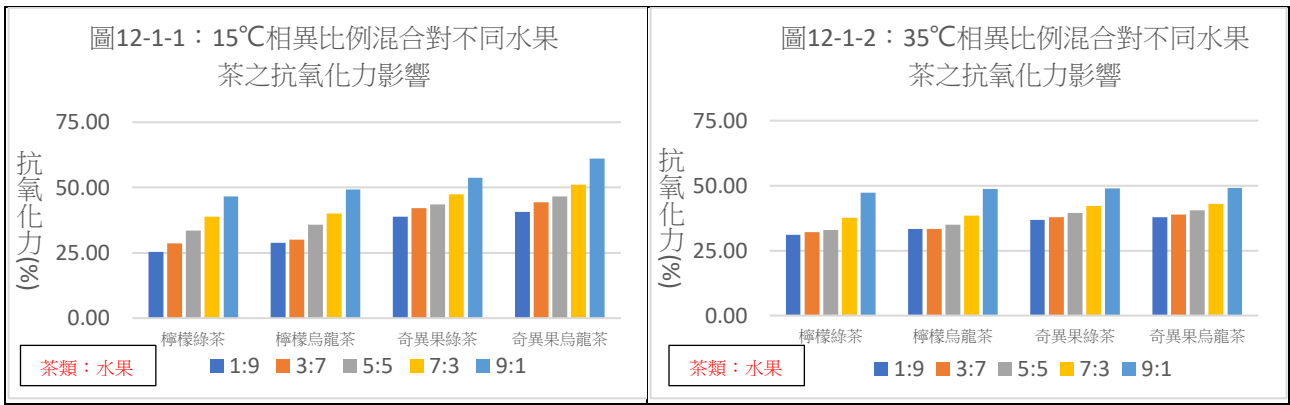
1. 由圖 11 發現：抗氧化力大小：10%綠茶(74.28%)>10%烏龍茶(71.80%)>10%紅茶(63.92%)，推測原因為綠茶發酵程度較低，茶多酚含量最多，紅茶茶多酚含量較少，因此綠茶較全發酵的紅茶具有更佳的抗氧化能力。
2. 由圖 11 發現：溫度 95°C 的 10%綠茶水溶液抗氧化力比較同溫的 10%紅茶水溶液抗氧化力約高 10.36%左右。

十二、探討水果與茶類混合成水果茶抗氧化力研究一

(一)實驗 12-1：水果茶在不同溫度及相異混合比例對抗氧化力的影響

1. 實驗步驟：

- (1) 依水果汁製備標準流程 1-5 步驟製備檸檬原汁及奇異果原汁。
- (2) 依茶類配製標準流程 1-3 步驟配製完成 95°C 綠茶原汁與烏龍茶原汁。
- (3) 將原已放入檸檬原汁或奇異果原汁的實驗設定溫度(15°C、35°C)的恆溫槽中，再放入 95°C 綠茶原汁或烏龍茶原汁的大試管，5 分鐘後兩種茶類原汁降溫至實驗設定溫度，繼續進行實驗。
- (4) 將綠茶原汁、烏龍茶原汁、檸檬原汁、奇異果原汁分別以茶與水果體積比為 1：9、3：7、5：5、7：3、9：1 混合配製成四種水果茶。
- (5) 完成抗氧化力研究標準實驗流程。



(實驗數據詳見附錄十一至十九)

2. 實驗結果與討論：

(1) 溫度 15°C、35°C，四種水果茶抗氧化力由大到小依序皆為：

奇異果烏龍茶 > 奇異果綠茶 > 檸檬烏龍茶 > 檸檬綠茶

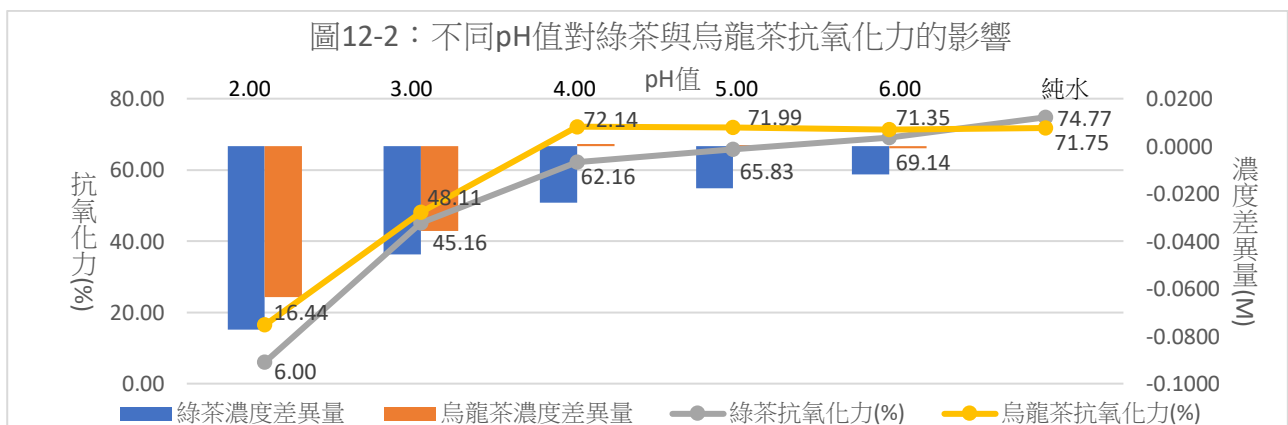
(2) 隨茶類在水果茶中的占比提升，抗氧化力也隨之上升。

(3) 原先預期抗氧化力最大之綠茶及檸檬混合成水果茶後，應該會有最佳的抗氧化力，但不論是 15°C、35°C，四種混合水果茶皆以**檸檬綠茶抗氧化力最小**，而**奇異果烏龍茶抗氧化力反而最大**，對於此超乎預期的實驗結果，我們查閱相關文獻，發現[H⁺]對茶類抗氧化力影響頗大，所以進行了以下研究證實。

(二) 實驗 12-2：綠茶、烏龍茶在不同 pH 值的抗氧化力研究

1. 實驗步驟

- (1) 依茶類配製標準流程 1-3 步驟配製 95°C 綠茶與烏龍茶原汁，稀釋至 20% 原汁後，冷卻至 15°C。
- (2) 配製 pH 值分別為 2.00、3.00、4.00、5.00、6.00 的鹽酸及蒸餾水(對照組)分別以等體積的方式與 20% 綠茶、烏龍茶混合。
- (3) 完成抗氧化力標準實驗流程。



(實驗數據詳見附錄二十)

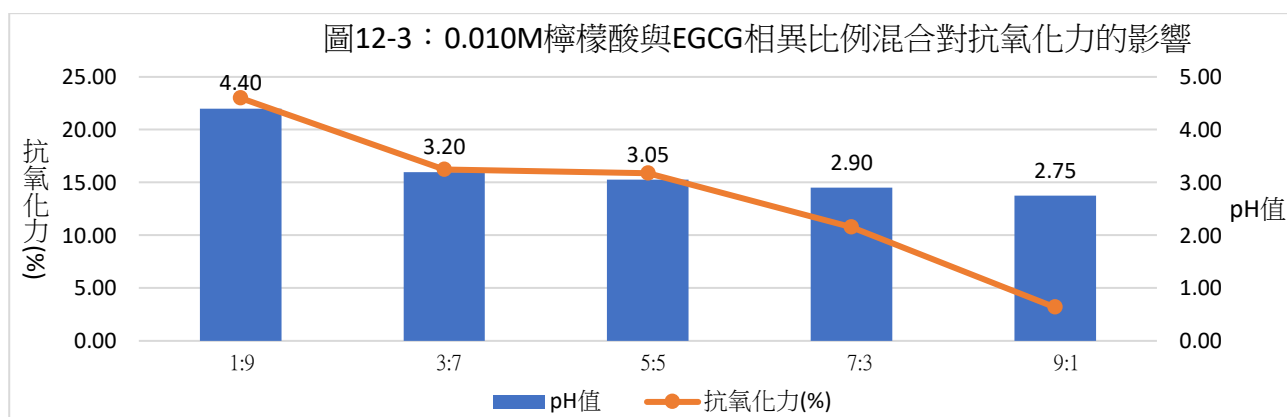
2. 實驗結果與討論：

- (1) 在綠茶及烏龍茶與亞甲基藍的反應中，隨著 pH 值上升，綠茶與烏龍茶的抗氧化力皆逐漸提升；且在加入鹽酸後，烏龍茶的抗氧化力皆優於綠茶的抗氧化力。
- (2) 綠茶與烏龍茶皆含有茶多酚，因此當環境中的氫離子濃度提升時，將會抑制兒茶素的氧化（脫氫），不利於亞甲基藍的還原，因此抗氧化力下降。
- (3) 綠茶相較於烏龍茶含有較多的茶多酚，在同溫下，相同 pH 值時，綠茶受到的抑制量相對較多，故抗氧化力下降較多，影響程度較大。

(三)實驗 12-3：0.010M 檸檬酸與 EGCG 相異比例混合對抗氧化力的影響（溫度 15°C）

1. 實驗步驟：

- (1) 配製溫度 15°C、0.010M 的檸檬酸與 EGCG 並依照體積比 1:9、3:7、5:5、7:3、9:1 進行各濃度待測物調配。
- (2) 完成抗氧化力標準實驗流程。



檸檬酸：EGCG	1:9	3:7	5:5	7:3	9:1
pH 值	4.40	3.20	3.05	2.90	2.75
實驗抗氧化力(%)	22.99	16.23	15.87	10.78	3.17
理論抗氧化力(%)	59.61	50.61	39.60	26.14	9.69
抗氧化力差異量(%)	-36.61	-34.38	-31.25	-15.36	-6.51

(實驗數據詳見附錄二十一)

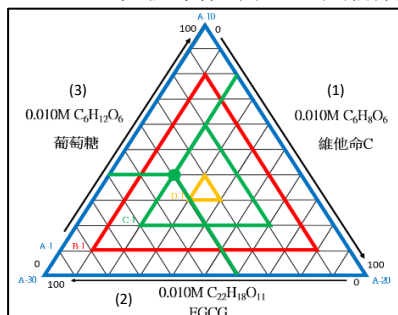
2. 實驗結果與討論：

- (1) 隨著檸檬酸占比提升 pH 值會下降，抗氧化力差異量逐漸縮小，到檸檬酸：EGCG =9：1 時，僅差 6.51%，此原因為本身抗氧化力原來比較低所致。
- (2) 檸檬酸與 EGCG 混合後之溶液抗氧化力明顯變小與實驗 12-1 的 15°C 檸檬綠茶之趨勢相同，而實驗 12-1 之抗氧化力之所以較本實驗結果高，是因為實驗 12-1 還具有維他命 C 等抗氧化物質。

十三、探討模擬水果茶特定抗氧化物混合對抗氧化力影響並建立數學函數關係

(一)實驗說明：

本實驗針對實驗 12-1 觀察之現象進行設計，希望了解特定抗氧化物相互混合後，是否對抗氧化力造成影響，因此查詢水果與茶類中的主要抗氧化物成分（水果與茶類成分請見文獻探討六），模擬配製各抗氧化物的水溶液，針對抗氧化物相互混合對抗氧化力的影響進行探討，模擬設計以 $C_6H_8O_6$ (維他命 C)、 $C_6H_{12}O_6$ (葡萄糖)與 $C_{22}H_{18}O_{11}$ (表沒食子兒茶素沒食子酸酯：EGCG)等三種抗氧化物混合之三角關係圖，共計 66 種不同混合比例的水溶液，進行抗氧化力探討並試圖找出不同物質混合後抗氧化力的數學函數逼近公式。

<p>圖 13-1：三種抗氧化物之三角關係圖</p> 	<p>編號規則（編號與比例對照表詳見附錄二十二）：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 由外圈往內圈（藍→粉→綠→橘），其編組依序為 A→B→C→D。 2. 每一組以順時針方向進行編排，格式為該組的英文字母（A、B、C、D）搭配在該組的排序。 3. 圖中每一個交叉點，朝左邊、右上、右下延伸，及為該點代表的三種物質混合時的體積百分比。
<p>以圖中藍點為例，由外而內為第 C 圈，由左下開始編碼為第 3 個點，故此編號為 C-3。在溶液中，在此溶液中，$C_6H_8O_6$(維他命 C)體積占比 40%，$C_6H_{12}O_6$(葡萄糖)體積占比 20%，$C_{22}H_{18}O_{11}$(EGCG)體積占比 40%，且 40%+20%+40%=100%。</p>	

後續實驗將會依實驗 13-1：維他命 C、葡萄糖與 EGCG 三種抗氧化物抗氧化力之基準值測定、實驗 13-2：探討抗氧化物兩兩混合對抗氧化力的影響（即 A 圈之部分，三角形其中一邊皆恰有一種物質其占比為 0%）與實驗 13-3：探討三種抗氧化物依各種比例混合對抗氧化力的影響（即 B、C 與 D 圈）等三項實驗研究。

(二)實驗步驟：

1. 在 15°C 下分別配製 0.010M 的維他命 C、葡萄糖及 EGCG 水溶液。
2. 將維他命 C、葡萄糖、EGCG 依照實驗編號，配製對應體積混合比例之溶液。
3. 完成抗氧化力標準實驗流程。

(三)實驗 13-1：維他命 C、葡萄糖與 EGCG 三種物質抗氧化力之基準值測定(溫度 15°C)

圖 13-2-1:三種物質抗氧化力比較		抗氧化物	體積莫耳濃度(M)	抗氧化力(%)	相當維他命 C 濃度(M)
	維他命 C	0.010M	15.34	0.0097	
	葡萄糖	0.010M	6.73	0.0040	
	EGCG	0.010M	63.47	0.0590	

(實驗數據詳見附錄二十三)

2. **實驗結果與討論**：

(1) 抗氧化力大小：EGCG (63.47%) > 維他命 C (15.34%) > 葡萄糖 (6.73%)。

(2) 0.010M 維他命 C、葡萄糖及 EGCG 各種體積占比溶液的理論維他命 C 濃度關係式：

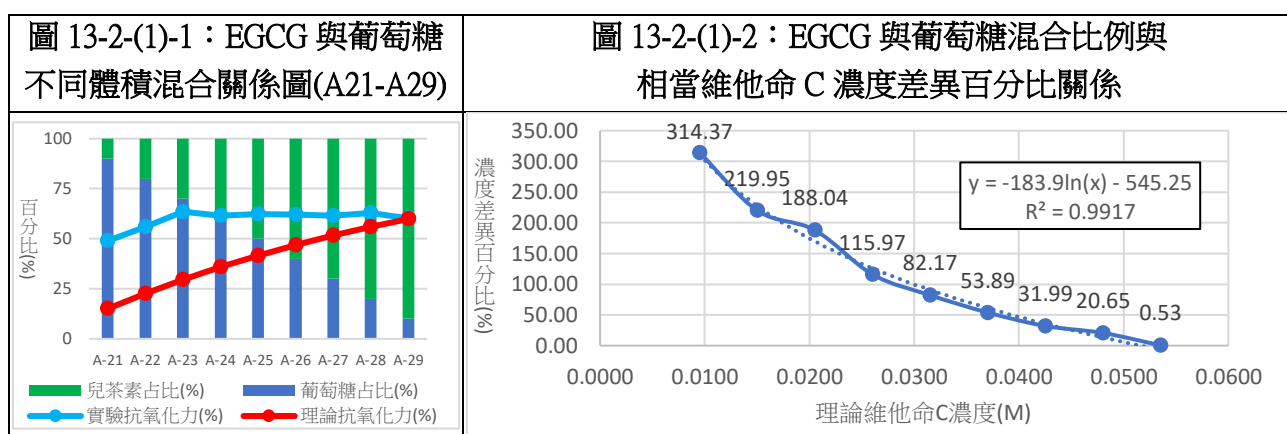
$$\text{理論維他命 C 濃度}(M) = (0.0097)\alpha + (0.0040)\beta + (0.0590)\gamma$$

α ：維他命 C 占溶液體積百分比； β ：葡萄糖占溶液體積百分比； γ ：EGCG 占溶液體積百分比

其中 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 且 $0.1 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 0.9$

(四)實驗 13-2：探討抗氧化物兩兩混合對抗氧化力的影響 A 部分

1. 0.010M EGCG 與葡萄糖相異比例混合對抗氧化力的影響 (溫度 15°C)



(1)實驗結果與討論 (實驗數據詳見附錄二十四)

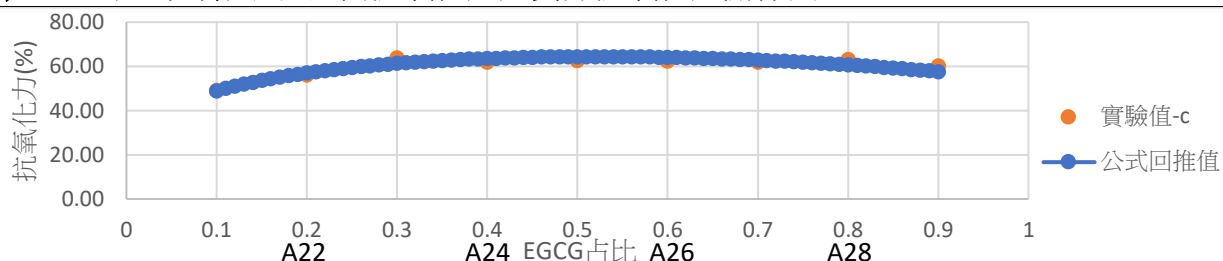
- 由圖 13-2-(1)-1 發現：EGCG 與葡萄糖以體積比 3：7 (A₂₃) 混合時抗氧化力最高 (63.51%)；EGCG 與葡萄糖以體積比 1：9 (A₂₁)，混合時抗氧化力最小 (48.99%)。
- 由圖 13-2-(1)-2 發現：EGCG 與葡萄糖相互混合後抗氧化力之濃度差異百分比(%)恆為正值，即兩抗氧化物混合後，其抗氧化力皆具有加乘效果，尤其以 EGCG 與葡萄糖以體積比 1：9 (A₂₁) 時加乘性最大，濃度差異百分比達 314.37%。
- 由圖 13-2-(1)-2 發現：EGCG 與葡萄糖混合後，可以得到如上圖之理論維他命 C 濃度與濃度差異百分比關係公式，其 R² 值高達 0.9917，有利於後續公式的套用與計算。

(2) EGCG 與葡萄糖混合比例抗氧化力與實際抗氧化力的數學函數逼近公式

$$\left\{ \begin{array}{l} V_t = \text{理論維他命 C 濃度}(M) = 0.0040 \times \beta + 0.0590 \times \gamma \\ \text{實際抗氧化力}(\%) = \frac{1.512 - 1.51e^{-17.04 \times \left\{ \frac{[-183.9 \ln(V_t) - 545.25] \times V_t}{100} + V_t \right\}}}{1.512} \times 100\% \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \beta = \text{葡萄糖}, \gamma = \text{EGCG} \\ \beta + \gamma = 1.0 \\ 0.9 \geq \beta, \gamma \geq 0.1 \end{array} \right.$$

在 $1.0 \times 10^{-3} M \leq [\text{EGCG}]$, $[\text{葡萄糖}] \leq 9.0 \times 10^{-3} M$ ，可計算該範圍內混合物之抗氧化力。

(3) EGCG 與葡萄糖混合比例抗氧化力與實際抗氧化力關係圖



2. 0.010M 葡萄糖與維他命 C 相異比例混合對抗氧化力的影響 (溫度 15°C)

圖 13-2-(2)-1：葡萄糖與維他命 C 不同體積混合關係圖(A11-A19)

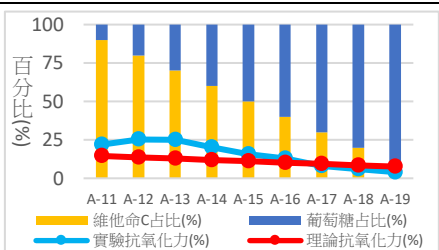
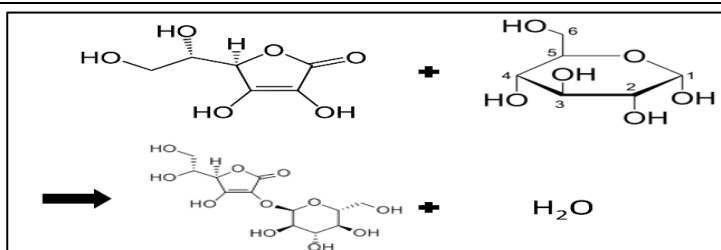


圖 13-2-(2)-2：葡萄糖與維他命 C 影響關係圖



(1)實驗結果與討論 (實驗數據詳見附錄二十四)

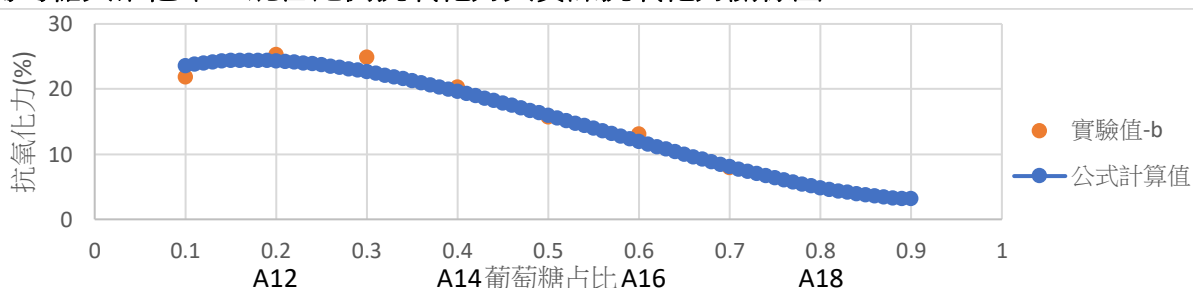
- 由圖 13-2-(2)-1 發現：葡萄糖與維他命 C 以體積比 2：8 (A12) 混合時抗氧化力最高 (25.24%)；葡萄糖與維他命 C 以體積比 9：1 (A19) 混合時抗氧化力最小 (4.03%)。
- 由圖 13-2-(2)-2 發現：當葡萄糖與維他命 C 同時存在時，將會結合成新的抗氧化物—抗壞血酸糖苷 (維他命 C 的衍生物)，由此實驗得知抗壞血酸糖苷的抗氧化力在葡萄糖與維他命 C 體積比為 3：7 (A13) 時，為理論抗氧化力的兩倍。(參考文獻十三)
- 由圖 13-2-(2)-1 發現：當實驗抗氧化力與理論抗氧化力相等時，其抗氧化力約為 9.7%，此時葡萄糖與維他命 C 體積比為 6.8：3.2。

(2)葡萄糖與維他命 C 混合比例抗氧化力與實際抗氧化力的數學函數逼近公式

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{\alpha} = 2.78870, k_{\beta} = -8.45990 \\ \text{實際抗氧化力}(\%) = 15.34\% \times \alpha \times [1 + k_{\alpha} \times \ln(\alpha)] + 6.73\% \times \beta \times [1 + k_{\beta} \times \ln(\beta)] \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \alpha = \text{維他命 C}, \beta = \text{葡萄糖} \\ \alpha + \beta = 1.0 \\ 0.9 \geq \alpha, \beta \geq 0.1 \end{array} \right.$$

在 $1.0 \times 10^{-3} \text{M} \leq [\text{維他命 C}], [\text{葡萄糖}] \leq 9.0 \times 10^{-3} \text{M}$ ，可計算該範圍內混合物之抗氧化力。

(3)葡萄糖與維他命 C 混合比例抗氧化力與實際抗氧化力關係圖



3. 0.010M 維他命 C 與 EGCG 相異比例混合對抗氧化力的影響(溫度 15°C)

圖 13-2-(3)-1：維他命 C 與 EGCG 不同體積混合關係圖(A1-A9)

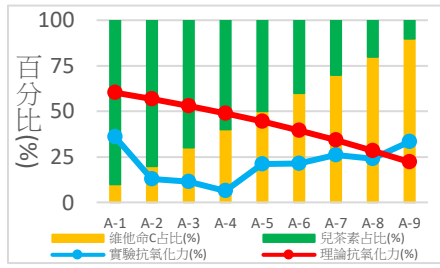
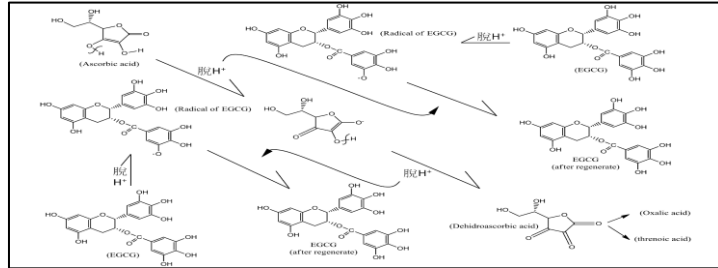


圖 13-2-(3)-2：維他命 C 與 EGCG 影響關係圖



(1) 實驗結果與討論 (實驗數據詳見附錄二十四)

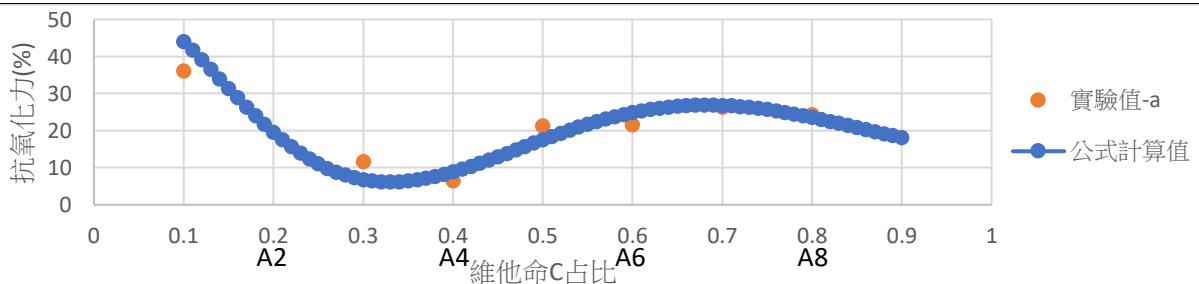
- 由圖 13-2-(3)-1 發現：維他命 C 與 EGCG 體積比 1：9 (A1) 時，pH 值 4.21 對 EGCG 影響較小，抗氧化力最高(35.96%)；維他命 C 與 EGCG 體積比 4：6 (A4) 時，pH 值 3.50 左右，抗氧化力最小(6.28%)。隨著維他命 C 體積占比提高抗氧化力上升，當維他命 C 體積占比達 90%，維他命 C 濃度為 0.009M 實驗抗氧化力超過理論值，具有加乘性。
- 由圖 13-2-(3)-2 發現：維他命 C 與 EGCG 以不同比例混合時，除體積比為 9：1 (A9) 時實驗抗氧化力較理論抗氧化力增加外，其餘混合比例抗氧化力皆較理論值小，彼此間顯然有互相抑制的作用。當 EGCG 氧化時，維他命 C 亦會氧化脫氫並使得 EGCG 還原。但兩抗氧化物並存時，卻發生了彼此間的氧化還原反應，彼此間的反應速率比較兩者與亞甲基藍溶液的反應速率更快，因此不利亞甲基藍溶液的還原。(參考文獻七)
- 由圖 13-2-(3)-1 發現：當實驗抗氧化力與理論抗氧化力相等時，抗氧化力約為 26.7%，此時維他命 C 與 EGCG 體積比為 8.3：1.7。

(2) 維他命 C 與 EGCG 混合比例抗氧化力與實際抗氧化力的數學函數逼近公式

$$\left\{ \begin{array}{l} V_t = \text{理論維他命 C 濃度}(M) = 0.0097 \times \alpha + 0.0590 \times \gamma \\ \left\{ \begin{array}{l} \alpha = \text{維他命 C}, \gamma = \text{EGCG} \\ \alpha + \gamma = 1.0 \\ 0.9 \geq \alpha, \gamma \geq 0.1 \end{array} \right. \\ q(V_t) = \frac{1.512 - 1.51e^{-17.04 \times \left\{ \frac{[-183.9 \ln(V_t) - 545.25] \times V_t}{100} + V_t \right\}}}{1.512} \\ n_1 = -5.64545, n_2 = -2.25550 \\ \text{實際抗氧化力}(\%) = \{0.1534 \times \alpha^3 \times e^{-n_1 \times \gamma} \times [1 + 2.87979 \times \ln(\alpha)] + \gamma^2 \times e^{-n_2 \times \alpha} \times q(V_t)\} \times 100\% \end{array} \right.$$

在 $1.0 \times 10^{-3} M \leq [\text{維他命 C}], [\text{EGCG}] \leq 9.0 \times 10^{-3} M$ ，可計算該範圍內混合物之抗氧化力。

(3) 維他命 C 與 EGCG 混合比例抗氧化力與實際抗氧化力關係圖

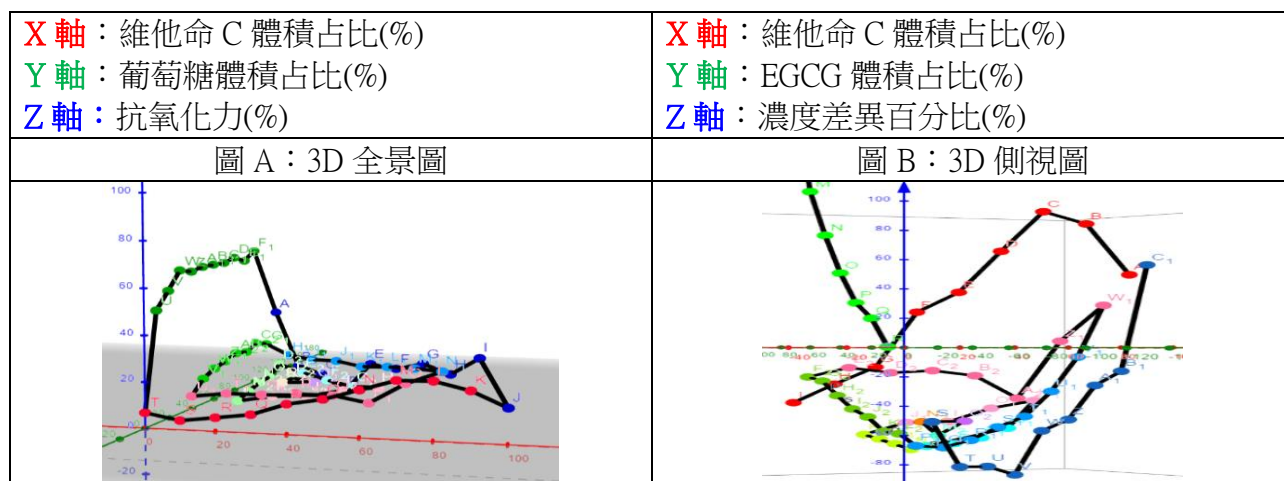


(五)實驗 13-3：維他命 C、葡萄糖與 EGCG 依各種比例混合對抗氧化力的影響 (溫度 15°C)

B 部分 (實驗數據詳見附錄二十五)	
<p>圖13-3-B：B1-B21</p> <p>百分比(%)</p> <p>維他命C占比 葡萄糖占比 兒茶素占比 實驗抗氧化力 理論抗氧化力 濃度差異百分比</p>	
<p>實驗結果與討論</p> <ol style="list-style-type: none"> B-1~B-8，固定葡萄糖(10%)比例，實驗抗氧化力隨維他命 C 比例上升而升高 (維他命 C+EGCG=90%)。 B-9~B-15，固定 EGCG(10%)比例，實驗抗氧化力隨維他命 C 比例上升而升高 (維他命 C+葡萄糖=90%)。 B-16~B-21，固定維他命 C (10%)比例，實驗抗氧化力隨 EGCG 比例上升而升高 (葡萄糖+EGCG=90%)。 	
C 部分 (實驗數據詳見附錄二十六)	
<p>圖13-3-C：C1-C12</p> <p>百分比(%)</p> <p>維他命C占比 葡萄糖占比 兒茶素占比 實驗抗氧化力 理論抗氧化力 濃度差異百分比</p>	
<p>實驗結果與討論</p> <ol style="list-style-type: none"> C1-C5，固定葡萄糖(20%)比例，實驗抗氧化力變化不大。(維他命 C+EGCG=80%) C5-C9，固定 EGCG(20%)比例，實驗抗氧化力隨著維他命 C 比例上升而升高。(維他命 C+葡萄糖=80%) C9-C12，固定維他命 C(20%)比例，實驗抗氧化力隨著 EGCG 比例上升而升高。(葡萄糖+EGCG=80%) 	
D 部分 (實驗數據詳見附錄二十七)	
<p>圖13-3-D：D1-D3</p> <p>百分比(%)</p> <p>維他命C占比 葡萄糖占比 兒茶素占比 實驗抗氧化力 理論抗氧化力 濃度差異百分比</p>	
<p>實驗結果與討論</p> <ol style="list-style-type: none"> D-1~D-3，三者占比在 30~40%時，實驗抗氧化力約為 16%，差異不大。其相當維他命 C 濃度分別為 0.0099M、0.0103M、0.0099M，幾乎與 0.010M 維他命 C 抗氧化力相當。 	

(六)綜合討論：

綜合三種抗氧化物 A、B、C、D 四部分三角關係圖實驗，繪製如下之 3D 立體圖示。



1. 由圖 A：3D 全景圖知：pH 值皆高於 5.6 且 pH 值差異不大的葡萄糖與 EGCG 混合溶液（A21-A29）之抗氧化力大多在 50%以上，遠高於其他混合溶液的抗氧化力。
2. 由圖 B：3D 側視圖知：整體而言除了 A21-A29 皆具有加乘性外，其他的維他命 C、葡萄糖與 EGCG 任意混合比例幾乎都無加乘性，濃度差異百分比大多為負值。
3. 由圖 A 與圖 B 比較可明顯得知抗氧化物在與維他命 C 混合後，抗氧化力皆有顯著的下降，濃度差異百分比大多為負值，可以得知維他命 C 導致溶液的 pH 值下降對抗氧化力的影響極大。

陸、結 論

一、探討亞甲基藍溶液濃度分析方法之建立

(一)以光譜儀對亞甲基藍溶液進行 190~1100 nm 全波長掃描，得到最大吸光度的波長為 665nm。(實驗一)

(二)不同濃度亞甲基藍溶液的吸光度檢量線 R^2 值高達 0.9974，符合比爾定律。(實驗一)

二、探討維他命 C 溶液與亞甲基藍溶液的反應

(一)以 0.10 M 維他命 C 與亞甲基藍溶液反應，在 250 秒後線性呈緩慢下降，到 300 秒後幾乎已達反應平衡，後續實驗以 300 秒內的吸光度變化計算抗氧化力。(實驗二)

(二)不論 15°C 或 25°C，維他命 C 溶液濃度與亞甲基藍溶液濃度比值 500，在反應時間 300 秒時，抗氧化力皆遠高於濃度比值 0.5 時的抗氧化力。兩種溫度下，維他命 C 濃度與抗氧化力皆呈自然對數關係如公式三-1 及公式三-2 所示。(實驗三)

(三)以水果、茶類及水果茶與亞甲基藍溶液達 300 秒反應平衡時的吸光度變化率即可換算出該物質的抗氧化力。(實驗五、七、九、十一、十二、十三)

三、探討水果在不同溫度及不同濃度的吸光度關係

- (一)溫度高，蘋果氧化反應速率較快，故褐變較快，使得顏色較深，吸光度較高，且檢量線 R^2 接高達 0.99 以上，蘋果汁濃度與吸光度呈正比，符合比爾定律。(實驗四)
- (二)三種果汁之檢量線 R^2 值皆高達 0.99 以上，且溶液濃度與吸光度呈正比，符合比爾定律。三種果汁中的蘋果汁由於顏色近褐色，在 665 nm 波長吸收度較低。(實驗六)

四、探討不同水果最佳抗氧化條件

- (一)不同浸泡溫度：蘋果浸泡溫度越高，抗氧化力越大。
蘋果抗氧化力：35°C (40.06%) > 25°C (26.62%) > 15°C (14.48%)。(實驗五)
- (二)不同浸泡環境：同溫下，蘋果抗氧化力：浸泡於鹽水 > 浸泡純水，浸泡於鹽水的蘋果皆較浸泡純水的蘋果抗氧化力高。(實驗五)
- (三)不同水果種類：抗氧化力：100%檸檬汁(26.84%) > 100%奇異果汁(19.20%) > 100%蘋果汁(14.48%)。(實驗七)

五、探討茶類在不同溫度及不同濃度的吸光度關係

- (一)不同茶水溫度：比較 35°C、95°C 時的綠茶水溶液檢量線，其 R^2 值皆高達 0.99 以上，線性關係規律性高，準確度大，符合比爾定律。(實驗八)
- (二)不同茶水種類：三條檢量線 R^2 接高達 0.99 以上，線性關係規律性高，準確度大，符合比爾定律。(實驗十)

六、探討不同茶類最佳抗氧化條件

- (一)不同茶水溫度的抗氧化力：10%綠茶溶液 95°C (74.28%) > 35°C (64.56%)。(實驗九)
- (二)不同茶水種類的抗氧化力：綠茶(74.28%) > 烏龍茶(71.80%) > 紅茶(63.92%)。(實驗十一)

七、探討不同水果茶最佳抗氧化條件

- (一)相同溫度及混合比例：
抗氧化力：奇異果烏龍茶 > 奇異果綠茶 > 檸檬烏龍茶 > 檸檬綠茶。
- (二)當待測物溶液環境在 pH4.0 下，抗氧化力明顯以烏龍茶較綠茶佳。
- (三)檸檬酸及 EGCG 依各比例混合與檸檬及綠茶各比例混合之抗氧化力趨勢相同。
- (四)15°C 下，奇異果與烏龍茶以體積比 1 : 9 混合，可得到抗氧化力高達 61.07% 的奇異果烏龍茶，且此水果茶最具抗氧化力。

八、探討模擬特定抗氧化物質相互混合對抗氧化力的影響

- (一)同溫下，0.010M 之維他命 C、葡萄糖、EGCG 的抗氧化力：
EGCG(63.47%) > 維他命 C(15.34%) > 葡萄糖(6.73%)。

(二)同溫下，維他命 C、葡萄糖、EGCG 任兩種物質相互混合時，以**葡萄糖與 EGCG 的抗氧化力最佳**，且幾乎皆達 55%以上。葡萄糖與 EGCG 混合之抗氧化力具有加乘性，當葡萄糖與 EGCG 體積為 9：1 時，加乘性最佳，濃度差異百分比高達 314%為混合最大值。

(三)當葡萄糖與 EGCG 任意比例混合之抗氧化力幾乎都皆達 55%以上，但加入維他命 C 後，抗氧化力則大幅下降。

(四)EGCG 與葡萄糖混合比例抗氧化力與實際抗氧化力數學函數逼近公式如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} V_t = \text{理論維他命 C 濃度}(M) = 0.0040 \times \beta + 0.0590 \times \gamma \quad \left\{ \begin{array}{l} \beta = \text{葡萄糖}, \gamma = \text{EGCG} \\ \beta + \gamma = 1.0 \\ 0.9 \geq \beta, \gamma \geq 0.1 \end{array} \right. \\ \text{實際抗氧化力}(\%) = \frac{1.512 - 1.51e^{-17.04 \times \left\{ \frac{[-183.9 \ln(V_t) - 545.25] \times V_t}{100} + V_t \right\}}}{1.512} \times 100\% \end{array} \right.$$

在 $1.0 \times 10^{-3} M \leq [\text{EGCG}]$, $[\text{葡萄糖}] \leq 9.0 \times 10^{-3} M$ ，能透過混合比例抗氧化力的數學函數逼近公式計算出待測物實際抗氧化力。

(五)葡萄糖與維他命 C 混合比例抗氧化力與實際抗氧化力數學函數逼近公式如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} k_\alpha = 2.78870, k_\beta = -8.45990 \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = \text{維他命 C}, \beta = \text{葡萄糖} \\ \alpha + \beta = 1.0 \\ 0.9 \geq \alpha, \beta \geq 0.1 \end{array} \right. \\ \text{實際抗氧化力}(\%) = 15.34\% \times \alpha \times [1 + k_\alpha \times \ln(\alpha)] + 6.73\% \times \beta \times [1 + k_\beta \times \ln(\beta)] \end{array} \right.$$

在 $1.0 \times 10^{-3} M \leq [\text{葡萄糖}]$, $[\text{維他命 C}] \leq 9.0 \times 10^{-3} M$ ，能透過混合比例抗氧化力的數學函數逼近公式計算出待測物實際抗氧化力。

(六)維他命 C 與 EGCG 混合比例抗氧化力與實際抗氧化力數學函數逼近公式如下：

$$\left\{ \begin{array}{l} V_t = \text{理論維他命 C 濃度}(M) = 0.0097 \times \alpha + 0.0590 \times \gamma \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = \text{維他命 C}, \gamma = \text{EGCG} \\ \alpha + \gamma = 1.0 \\ 0.9 \geq \alpha, \gamma \geq 0.1 \end{array} \right. \\ q(V_t) = \frac{1.512 - 1.51e^{-17.04 \times \left\{ \frac{[-183.9 \ln(V_t) - 545.25] \times V_t}{100} + V_t \right\}}}{1.512} \\ n_1 = -5.64545, n_2 = -2.25550 \\ \text{實際抗氧化力}(\%) = \{0.1534 \times \alpha^3 \times e^{-n_1 \times \gamma} \times [1 + 2.87979 \times \ln(\alpha)] + \gamma^2 \times e^{-n_2 \times \alpha} \times q(V_t)\} \times 100\% \end{array} \right.$$

在 $1.0 \times 10^{-3} M \leq [\text{維他命 C}]$, $[\text{EGCG}] \leq 9.0 \times 10^{-3} M$ ，能透過混合比例抗氧化力的數學函數逼近公式計算出待測物實際抗氧化力。

九、總結

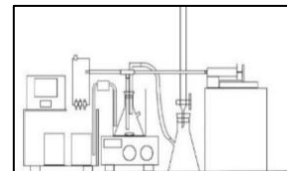
本研究透過**維他命 C、葡萄糖、EGCG** 等三種抗氧化物質交互混合進行水果茶之模擬實驗發現**葡萄糖與 EGCG 兩者並存時其抗氧化力具有加乘效果**，**維他命 C 與 EGCG 兩者則會相互抑制**，使得抗氧化力明顯下降。此現象符合高含量葡萄糖的奇異果較高含量維他命 C 的檸檬分別與綠茶、烏龍茶混合後，**抗氧化力皆以含有奇異果的茶類較高**。在氫離子濃度對茶類抗氧化力模擬實驗中，在相同酸性條件下，**綠茶 EGCG 濃度高**使得

抗氧化力大幅下降，合理解釋水果烏龍茶抗氧化力皆大於水果綠茶。因此實驗 12-1 的水果茶抗氧化力：奇異果烏龍茶>奇異果綠茶>檸檬烏龍茶>檸檬綠茶，得到證實。

本研究使用精準的亞甲基藍溶液吸光度變化率檢測法，透過模擬實驗，找到符合實際情況之水果茶抗氧化力關係，並建立數學函數逼近公式，提供予水果茶相關之研究與愛好者的重要參考指標。

柒、未來展望

- 一、建立水果茶完整的抗氧化力數學函數逼近公式，透過待測物混合比例即求出抗氧化力。
- 二、將實驗所得最具抗氧化力的水果茶，透過已規畫並組裝完成的「3+1」管水果茶晶球量產電動製造器將其晶球化，並進一步的探討水果茶晶球的抗氧化力與自動化商品化各種彩色晶球水果茶的創新產品。



捌、參考資料

- 一、101 年第 52 屆全國中小學科展化學科作品：大家來找茶—茶抗氧化力之探討
- 二、105 年第 56 屆全國中小學科展化學科作品：「薑」來少「硫」白
- 三、陳怡嘉（民 98）特選抗氧化配方之抗氧化能力及其加乘效果。台北醫學大學生醫材料暨工程研究所碩士論文。
- 四、Ratnam, D.V., et al. (2006). *Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. Journal of Controlled Release.*
- 五、Samuel Legeay, Marion Rodier, Laetitia Fillon, Sébastien Faure, Nicolas Clere (2015). *Epigallocatechin Gallate: A Review of Its Beneficial Properties to Prevent Metabolic Syndrome.*
- 六、Zhuo-Yu Cai, Xu-Min Li, Jin-Pei Liang, Li-Ping Xiang, Kai-Rong Wang, Yun-Long Shi, Rui Yang, Meng Shi, Jian-Hui Ye, Jian-Liang Lu, Xin-Qiang Zheng, Yue-Rong Liang (2018). *Bioavailability of Tea Catechins and Its Improvement.*
- 七、Alief Putriana Rahman, Djoko Agus Purwanto, Isnaeni Isnaeni (2019). *The Effect of Vitamin C Addition on Epigallocatechin Gallate (EGCG) Stability in Green Tea Solution.*
- 八、102 年第 53 屆全國中小學科展化學科作品：搞什麼？多酚亂變色！
- 九、108 年第 59 屆全國中小學科展化學科作品：不夜侯的鐵血鞣情
- 十、FDA 食品藥物消費者專區
- 十一、食品為甚麼會變褐色—由 306 醫院醫學科普及發表於健康
- 十二、亞甲基藍、維他命 C、茶多酚、兒茶素參考維基百科
- 十三、抗壞血酸葡糖苷參考華人百科

【評語】 050207

應用亞甲基藍溶液在特定波長(665nm)吸光度變化率測定物質的抗氧化力，將待測物抗氧化力換算成相當維他命 C 濃度進行比較。也建立抗氧化力的數學函數逼近公式，以計算出抗氧化物不同混合比例抗氧化力高低。實驗完整，解說清楚，充分闡述實驗發現的價值，科學精神可嘉。可加強對亞甲基藍溶液吸光度原理及其工作範圍(如 pH)，除了與維他命 C 比較，亦可去了解一般對抗氧化力的定義，以讓量測數據可與其他報導比較。

壹、研究動機及摘要

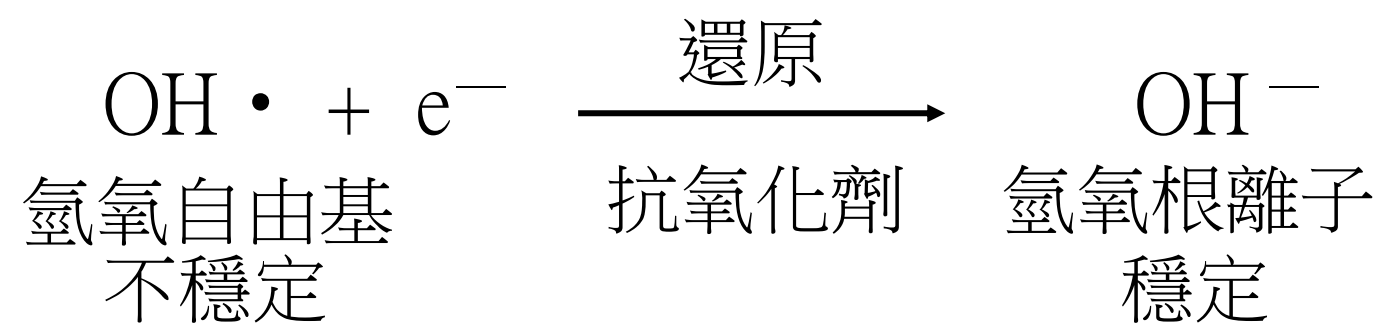
隨著台灣將邁入超高齡的社會，為因應老年人口增加，抗老化的課題，必定是未來的熱門趨勢。

本研究應用創新方法：亞甲基藍溶液在特定波長(665nm)吸光度變化率測定物質的抗氧化力，有效減少人為誤差，提高實驗信度與效度；透過維他命C濃度與吸光度檢量線，將待測物抗氧化力換算成相當維他命C濃度進行比較。同溫下比較檸檬、奇異果、蘋果時，以檸檬抗氧化力最佳。同溫比較下綠茶、烏龍茶、紅茶時，抗氧化力以綠茶抗氧化力最佳。混合成水果茶後以15°C奇異果烏龍茶最具抗氧化力(61.07%)。最後在模擬水果茶中特定抗氧化物質相互混合對抗氧化力影響的實驗中，推論出抗氧化力與維他命C、葡萄糖及EGCG濃度、溫度及[H⁺]等相關，不但符合水果茶抗氧化力之實驗結果，也建立抗氧化力的數學函數逼近公式，以計算出抗氧化物不同混合比例抗氧化力高低。

貳、研究原理與目的

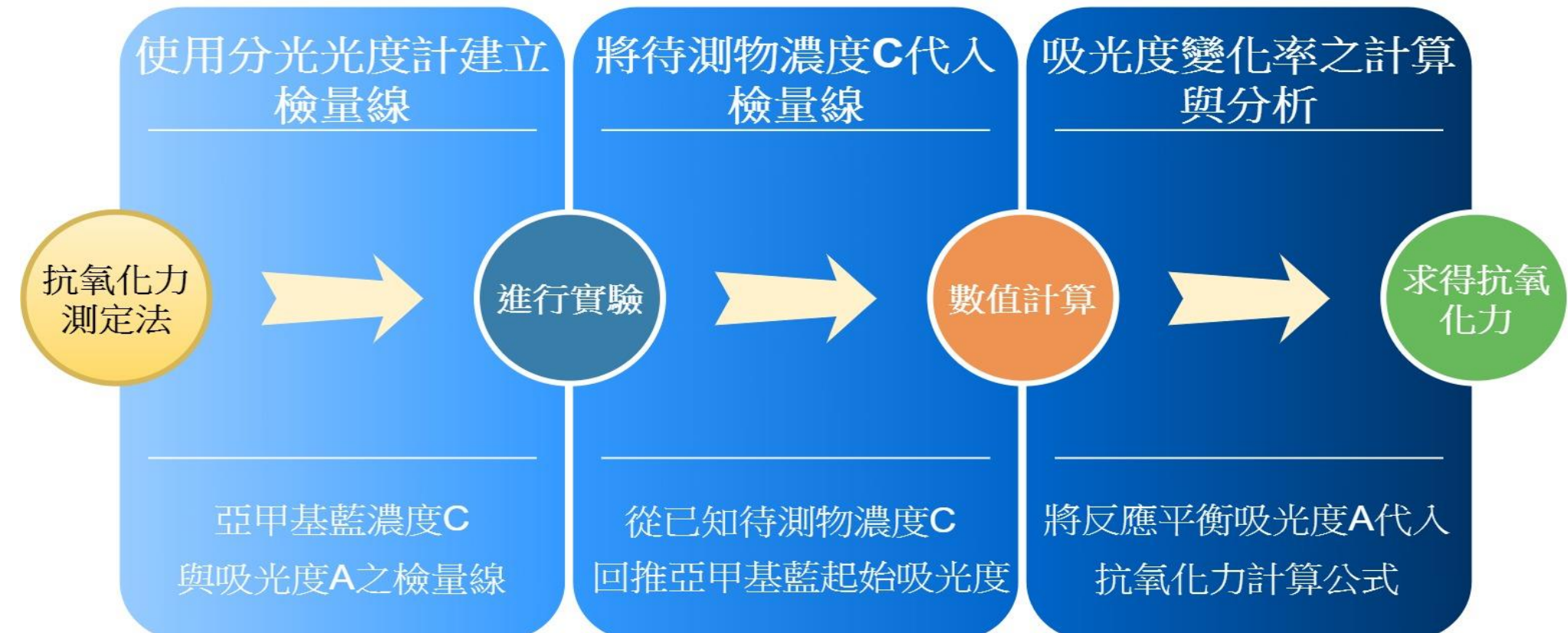
一、抗氧化劑(還原劑)抗老化原理

氧化還原的過程分成氧化及還原半反應，兩者同時發生。抗氧化劑可終結其連鎖反應，避免更多細胞被破壞凋亡而延緩老化。



二、抗氧化力測定方法探討:指示劑的選定原理

創新→亞甲基藍溶液濃度吸光度變化率測定方法



三、抗氧化力計算與加乘性之判定

待測物抗氧化力(%)

$$= \frac{(\text{原亞甲基藍濃度} - \text{反應平衡時亞甲基藍濃度})}{\text{原亞甲基藍濃度}} \times 100\%$$

$$= \left[\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right] \times 100\% = \left[\frac{(A_0 + S_0) - A_t}{(A_0 + S_0)} \right] \times 100\% \text{ (公式一)}$$

抗氧化力加乘性之判定與名詞定義：

當 $\frac{V_s}{V_t} > 1$ 時，具有加乘性，且數值越大，加乘性

越高。此時的 $V_t = 0.0097\alpha + 0.0040\beta + 0.0590\gamma$

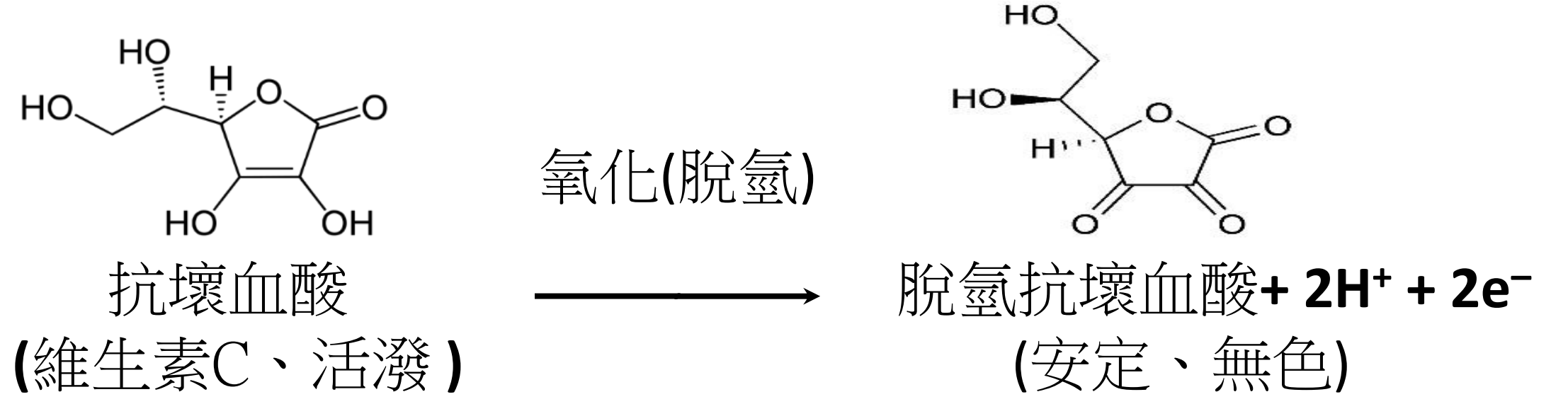
其中 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ 且 $0.1 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 0.9$ 。

α	維他命C占溶液體積百分比
β	葡萄糖占溶液體積百分比
γ	EGCG占溶液體積百分比
C_0	原亞甲基藍濃度
C_t	反應平衡時亞甲基藍溶液濃度
A_0	原亞甲基藍溶液濃度吸光度
A_t	反應平衡時亞甲基藍溶液及待測物濃度總吸光度
S_0	原待測物溶液濃度在同波長下的吸光度
V_s	實驗相當維他命C濃度(M)
V_t	理論相當維他命C濃度(M)

四、抗氧化劑種類:本研究食材樣品主要抗氧化物成分

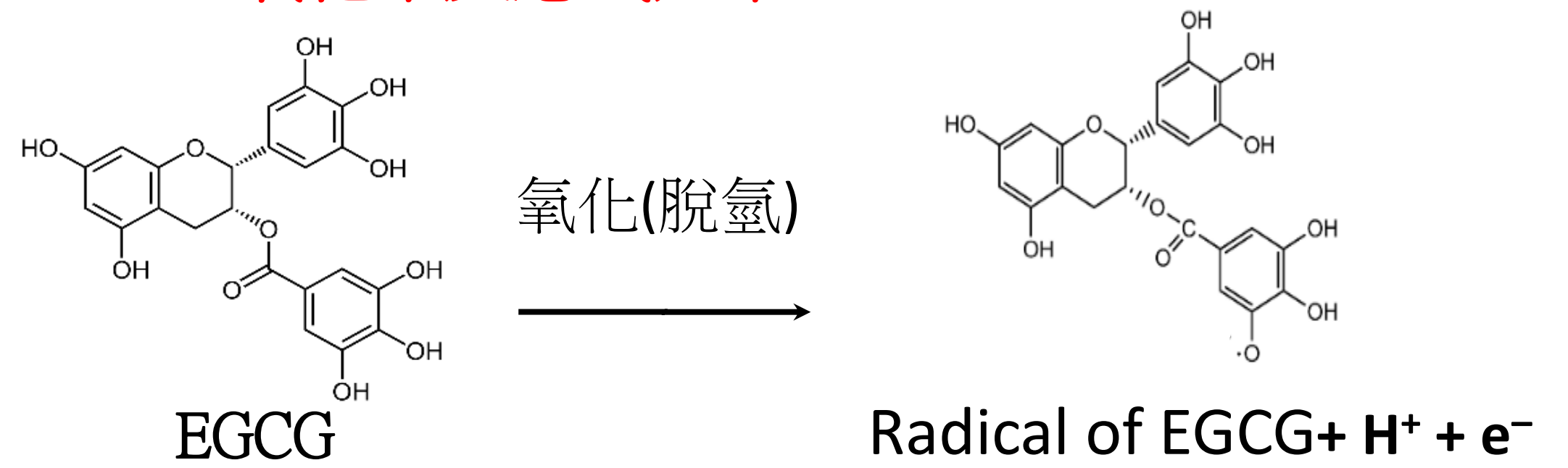
維他命C，是水果中主要成分，化學式為C₆H₈O₆，若人體缺乏維他命C會造成壞血病。

維他命C氧化半反應式如下：

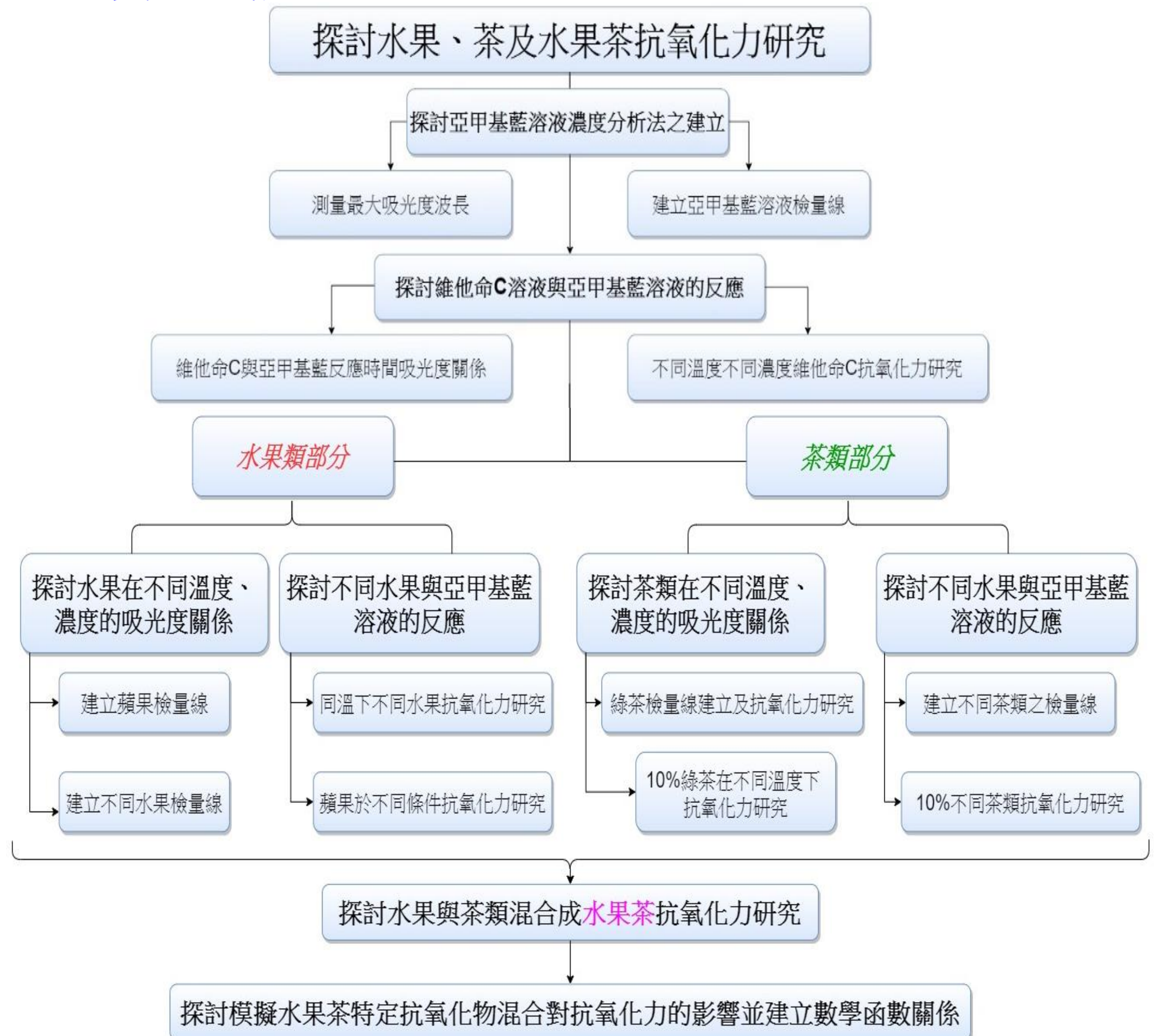


兒茶素，是茶葉中黃烷醇類物質的總稱，是茶多酚中最重要的一種天然苯酚和抗氧化劑。在具抗氧化力的四種兒茶素中，又以EGCG含量最高且抗氧化力最佳。

EGCG氧化半反應式如下：



五、實驗架構



— 水果原汁製備標準流程(以下步驟皆於12分鐘內完成) —

1. 將恆溫槽設定於實驗指定溫度：在 15°C、25°C、35°C 恆溫。
2. 將實驗用水果完全沒入已加熱達定溫的恆溫槽水中，並靜置至少20分鐘。
3. 取出恆溫槽內水果去皮，接著放入調理機進行水果磨碎並分離果肉及果汁。
4. 將水果汁分別倒入6支試管中約達八分滿，以離心機再次進行分離果肉與果汁。
5. 取第2.3.4.5支試管中的果汁倒入燒杯混合並以濾紙過濾後即為水果原汁，定義為100%水果汁。

— 茶類配製標準流程 —

1. 將恆溫槽設定於實驗指定溫度：在 95°C、35°C 維持恆溫。
2. 取1公升燒杯裝入600毫升純水，取大試管裝入40毫升純水並放入溫度計，將大試管放入燒杯隔水加熱，待達實驗所需溫度。
3. 秤取0.420公克的茶葉(綠茶、烏龍茶、紅茶)分別完全浸泡於已裝有達95°C、35°C的40毫升水的大試管中，稍微攪拌後，靜置5分鐘再以濾紙過濾即為茶類原汁，定義為100%茶水溶液。

參、研究設備及器材

一、藥品材料

維他命C (C ₆ H ₈ O ₆)	亞甲基藍 CHONEYE	葡萄糖 (C ₆ H ₁₂ O ₆)	EGCG (C ₂₂ H ₁₈ O ₁₁)	蘋果	檸檬	奇異果	紅茶	綠茶	烏龍茶

二、儀器

分光光譜儀：	溫度計	恆溫槽	電子天平 (0.001公克)
GENESYS 10S UV-VIS 波長範圍： 190nm-1100nm	0°C-200°C	DENG YNG WATER BATH 0°C-100°C	AND GF400 Max : 310g

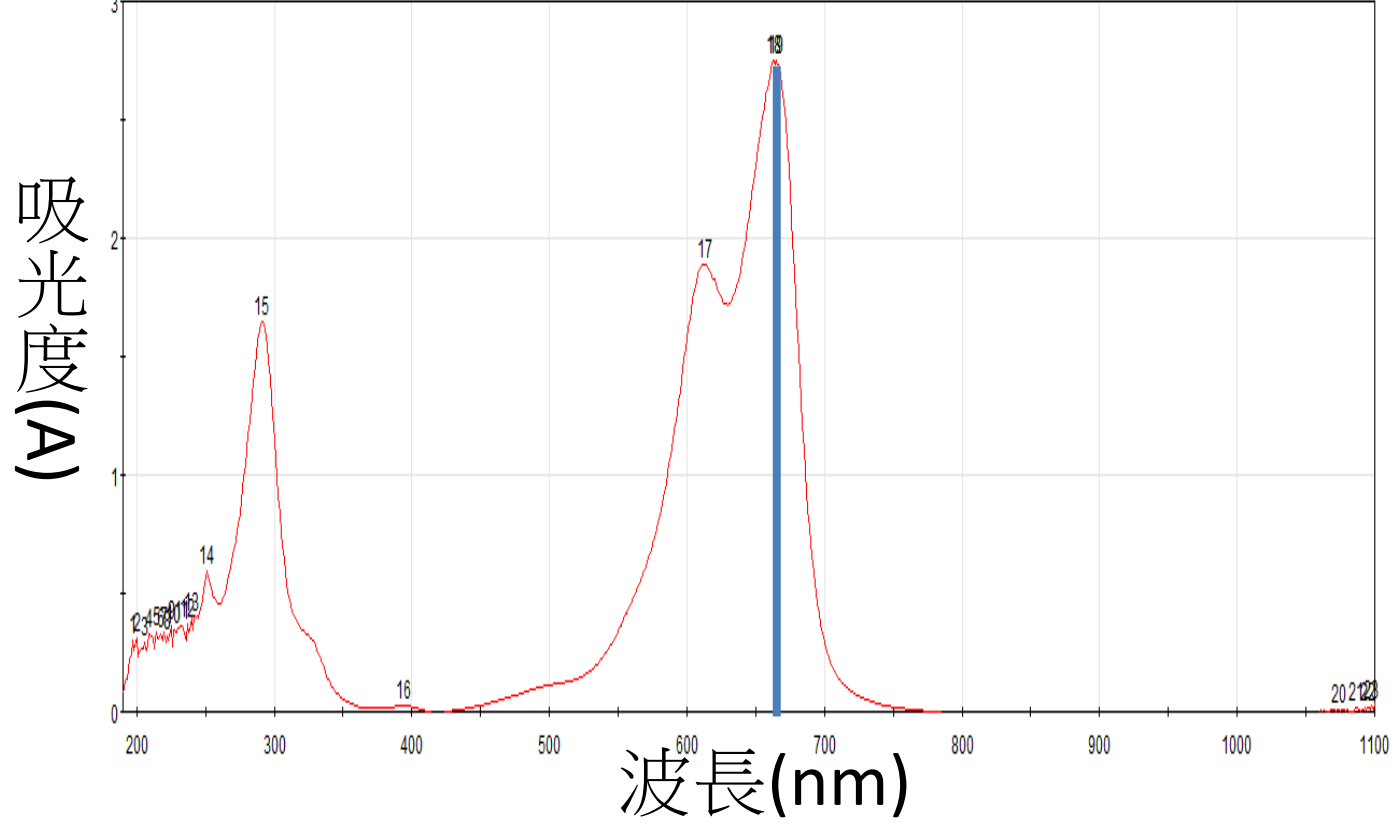
三、器材

燒杯	容量瓶 (1公升)	攪拌器	量筒	微量滴管
秤量紙	果汁機	離心機: DSC158T	加熱攪拌器	吸量管

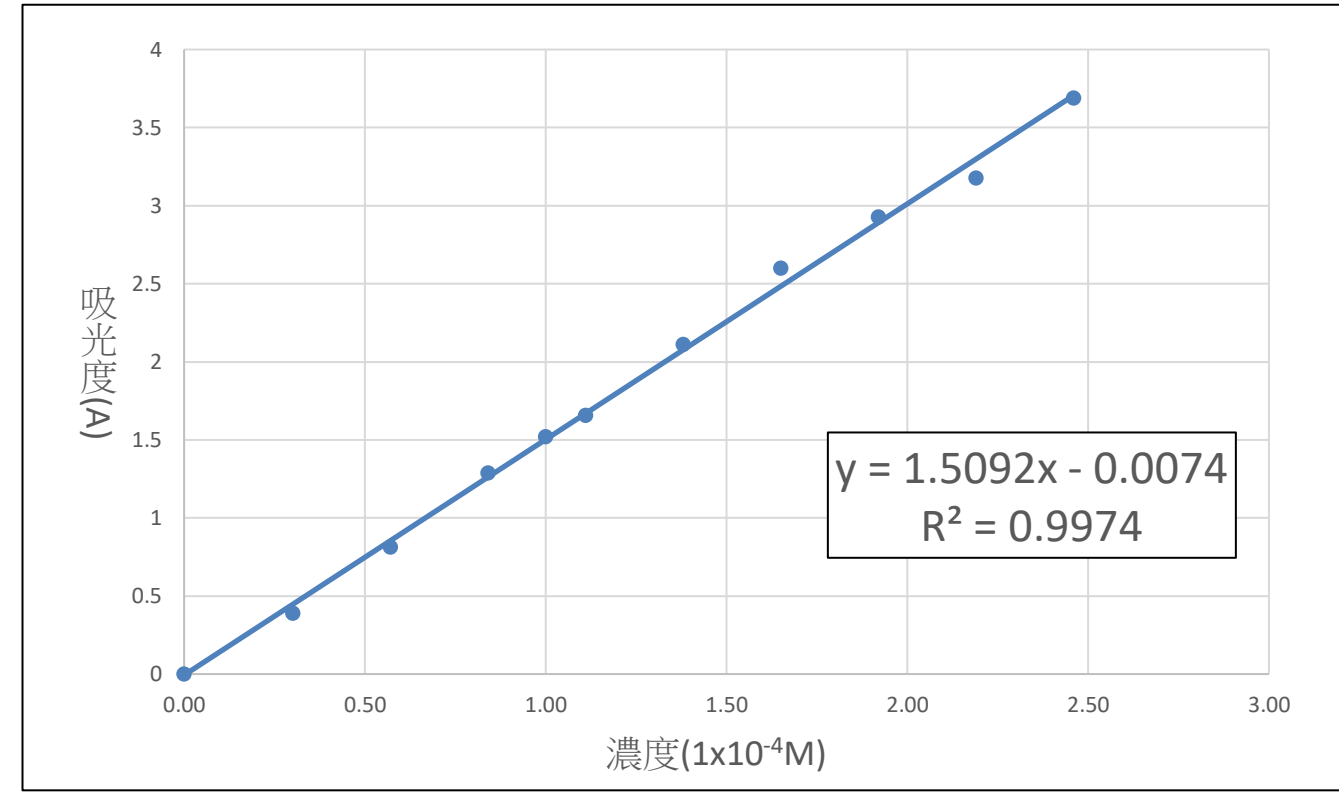
肆、研究過程與結果討論

一、探討亞甲基藍溶液濃度分析法之建立

亞甲基藍溶液全波長吸光度曲線圖



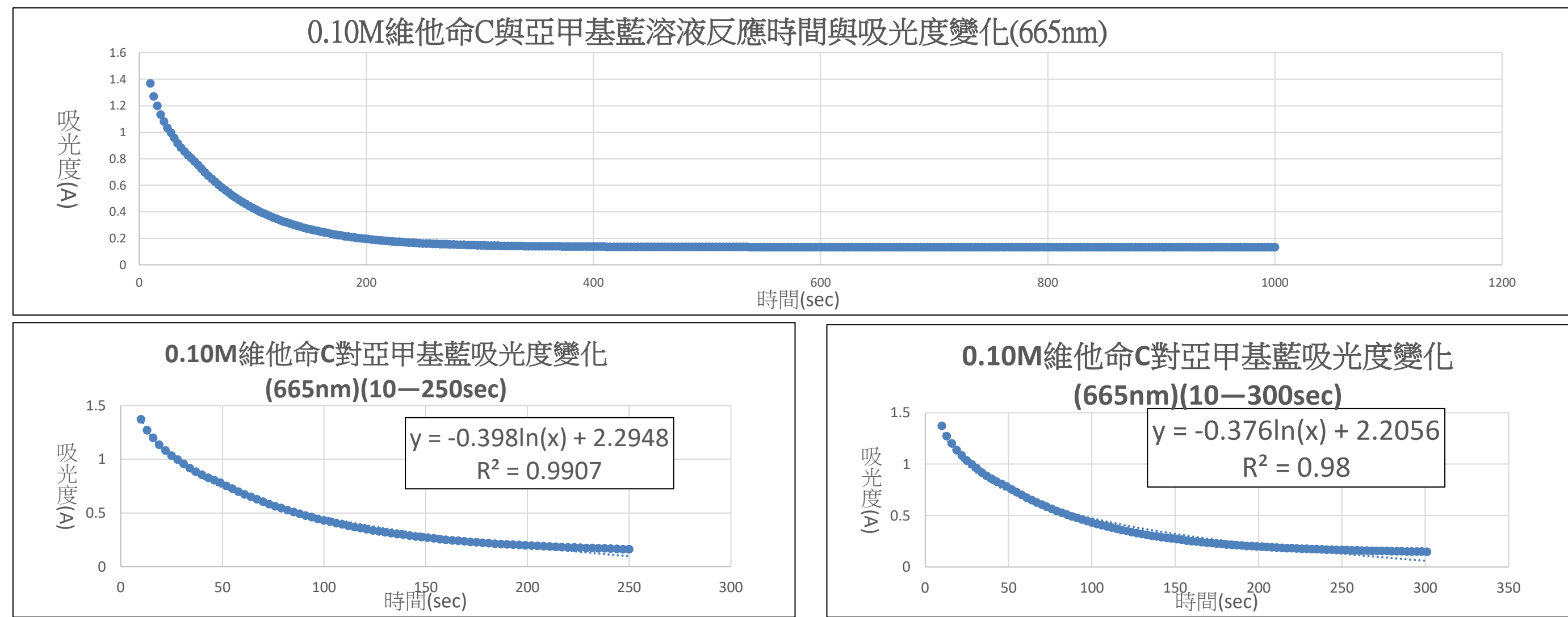
不同濃度亞甲基藍溶液的吸光度檢量線



實驗結果與討論：

1. 亞甲基藍溶液**最大吸收波長為665nm**，往後皆以此波長做實驗。
2. 亞甲基藍溶液吸光度檢量線R²值=0.9974，**準確度大，符合比爾定律**。
3. 實驗值與檢量線誤差值校正：以1.0×10⁻⁴M亞甲基藍溶液為例，將1.0×10⁻⁴M代入檢量線公式，得A=15092(1×10⁻⁴) - 0.0074=1.502，誤差值=|實驗值吸光度-檢量線校正後吸光度|=|1.512-1.502|=0.010，誤差比例=(0.010/1.502)×100%=0.007%，誤差小準確度高。

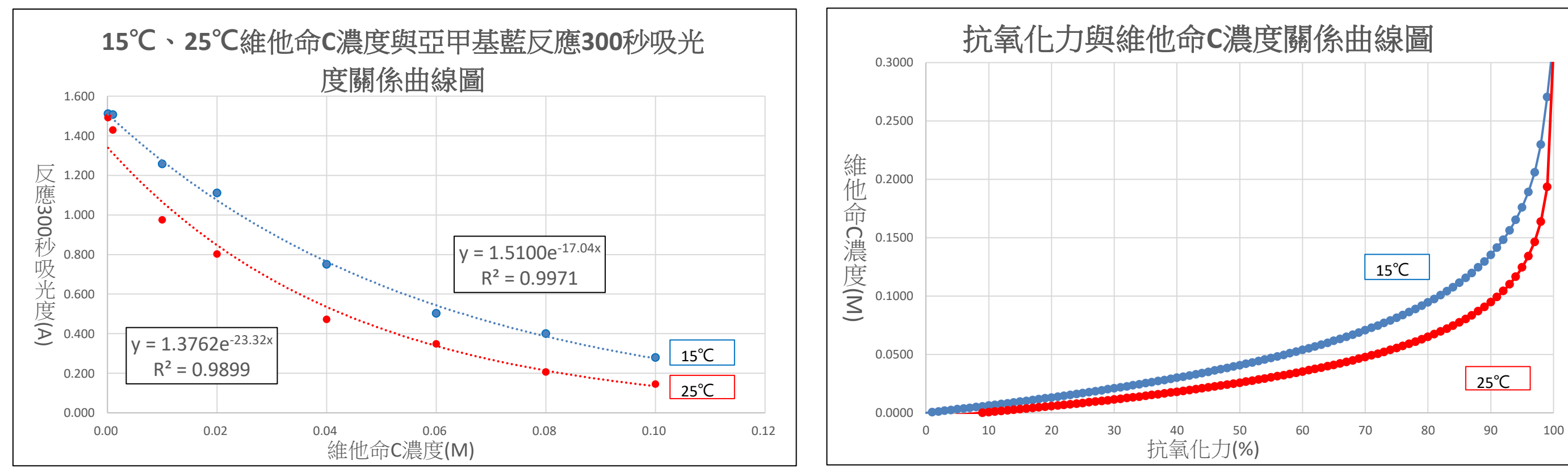
二、維他命C溶液與亞甲基藍溶液反應時間與吸光度關係



實驗結果與討論：

1. 0.10M維他命C與亞甲基藍溶液反應，在250秒後線性關係降低至幾乎水平，至300秒氧化還原反應幾乎達反應平衡。
2. 未來水果及茶類實驗時間皆控制在300秒內完成。

三、不同溫度不同維他命C濃度與亞甲基藍溶液反應之抗氧化力研究



實驗結果與討論：

1. 不同溫度及不同濃度維他命C溶液與亞甲基藍溶液反應，所得標準曲線方程式為：

$$15^\circ\text{C}, \text{吸光度}(A) = 1.5100e^{-17.04 \times \text{濃度}(M)} \quad (\text{公式二-1})$$

$$25^\circ\text{C}, \text{吸光度}(A) = 1.3762e^{-23.32 \times \text{濃度}(M)} \quad (\text{公式二-2})$$

2. 不同濃度維他命C溶液與亞甲基藍溶液反應，所得之抗氧化力與維他命C濃度之關係方程式為：

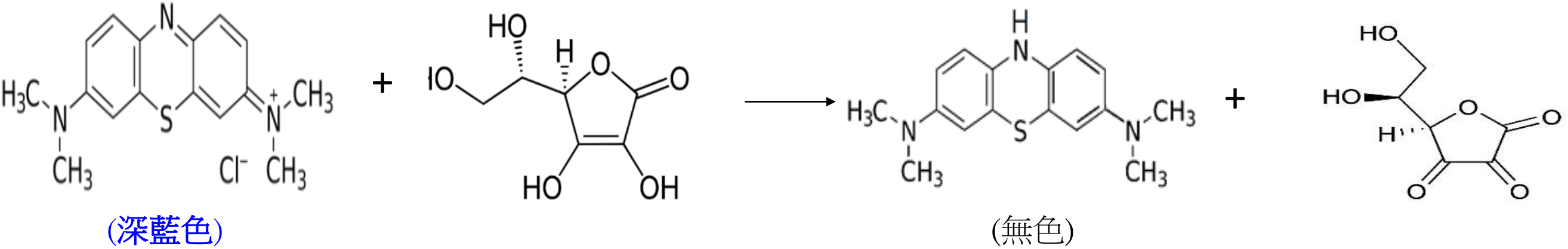
$$15^\circ\text{C}, \text{維他命C濃度}(M) = \frac{\ln\left\{\frac{\left[\frac{\text{抗氧化力}(\%) \times 1.512 - 1.512}{100}\right] \times 1.5100}{-17.04}\right\}}{1.5100} \quad (\text{公式三-1})$$

$$25^\circ\text{C}, \text{維他命C濃度}(M) = \frac{\ln\left\{\frac{\left[\frac{\text{抗氧化力}(\%) \times 1.512 - 1.512}{100}\right] \times 1.3762}{-23.32}\right\}}{1.3762} \quad (\text{公式三-2})$$

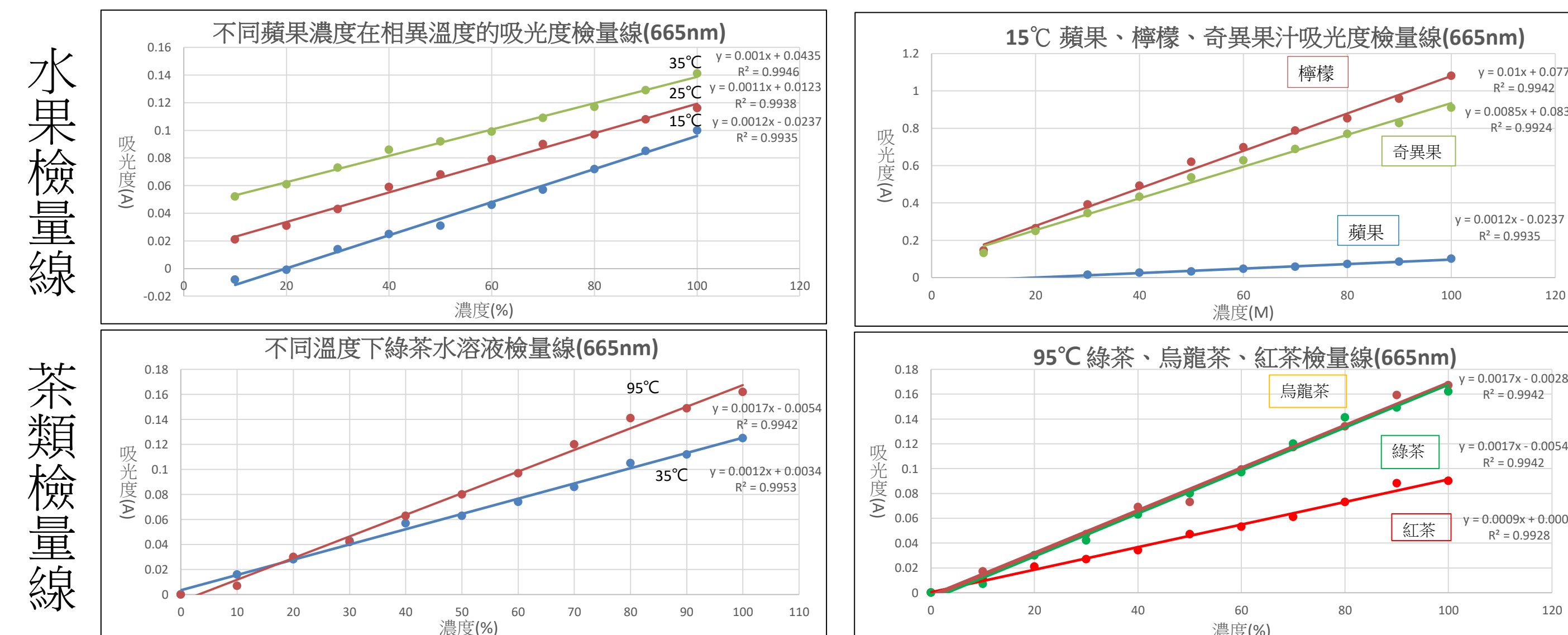
3. 後續水果及茶類的抗氧化力，我們亦將以公式三-1或公式三-2(視實驗需求而定)換算成維他命C濃度表示。

註：25°C下，以0.10M維他命C的抗氧化力計算公式為例：
(1.512-0.146)/1.512×100%=90.34%

氧化態亞甲藍 + 抗壞血酸 → 還原態亞甲藍 + 脫氫抗壞血酸



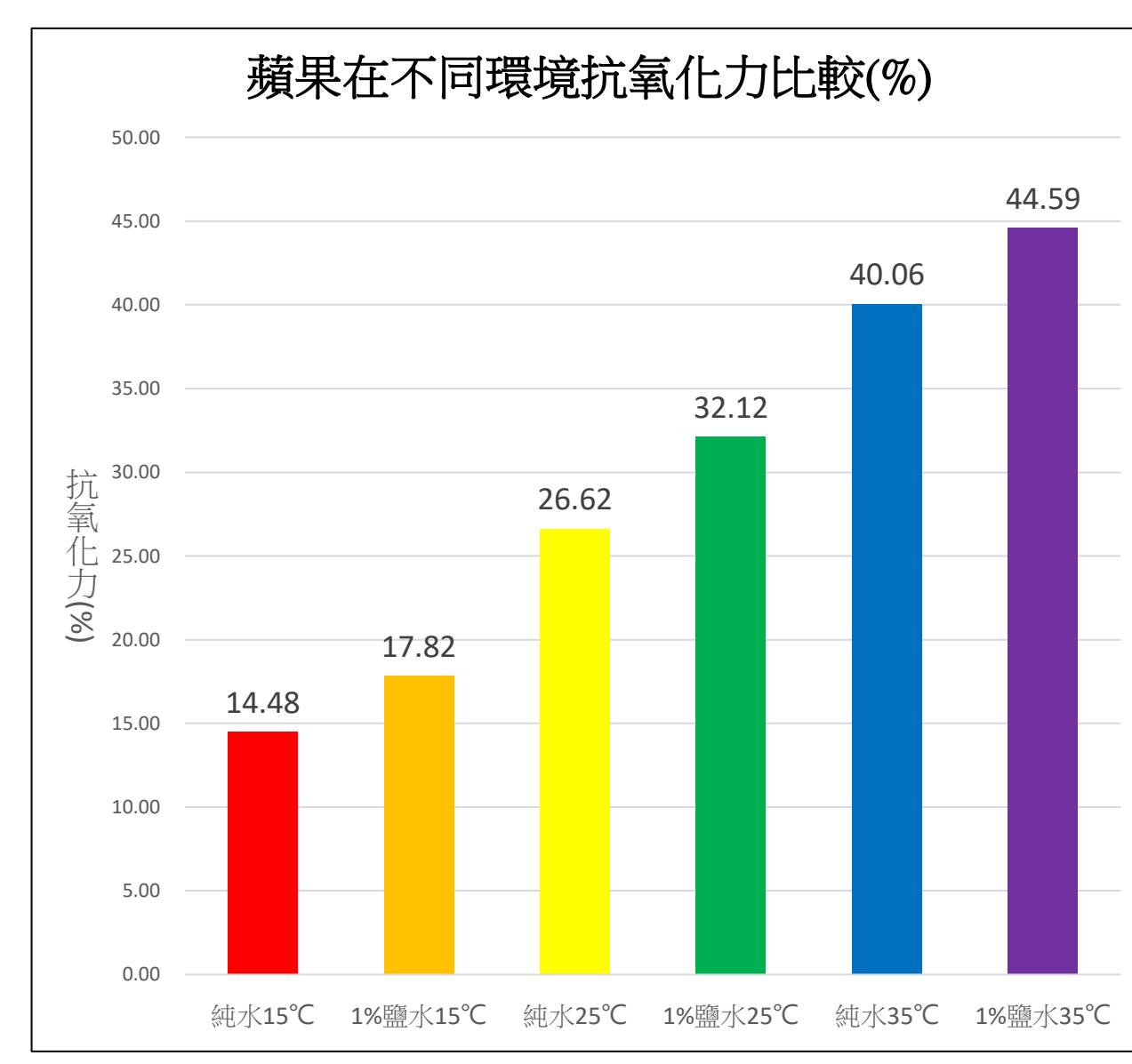
四、不同溫度及不同濃度之各待測物吸光度檢量線建立



實驗結果與討論：

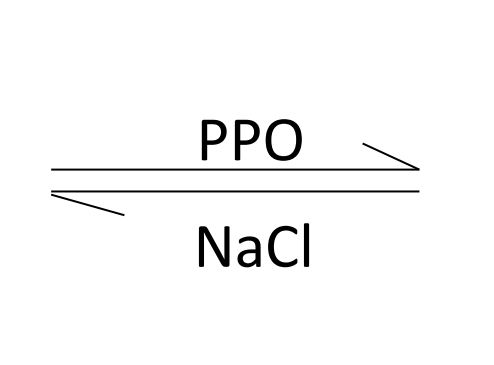
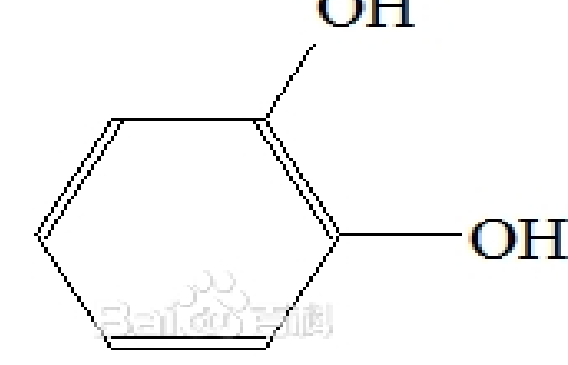
各待測物之檢量線R²值皆高達0.99以上，**得待測物濃度越高吸光度越高且呈正比，符合比爾定律**，有利於後續公式的套用與計算。

五、不同溫度蘋果於純水及1%鹽水抗氧化力研究



實驗結果與討論：

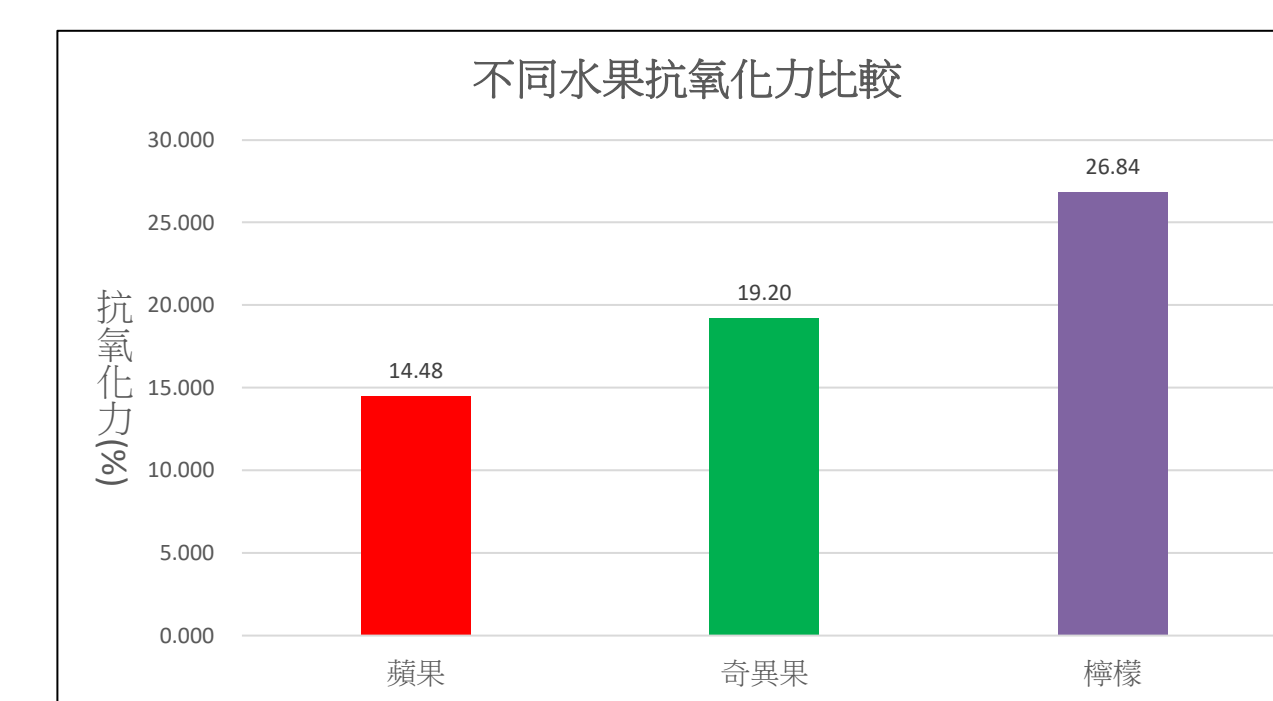
1. 溫度越高，抗氧化力越大，在35°C時因為反應速率較快，抗氧化效果較佳。
2. 相同溫度下浸泡鹽水的蘋果其抗氧化力皆較只浸泡純水者佳，約多出3.34%~5.50%，相當於維他命C濃度(M)約多0.002~0.003M，推論蘋果浸泡過鹽水後，會破壞蘋果內含的多酚氧化酵素(PPO)，因而使其抗氧化效果較佳。



PPO(Polyphenol oxidase):多酚氧化酶

六、同溫下蘋果、檸檬、奇異果抗氧化力研究(溫度15°C)

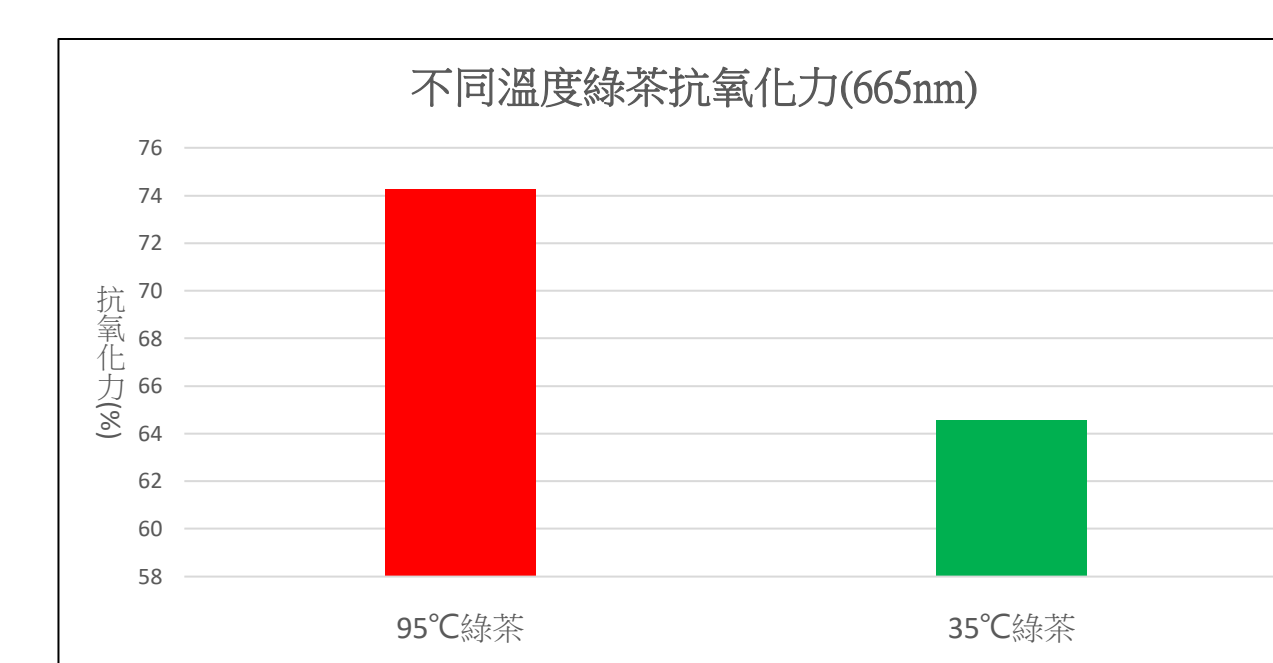
由實驗得知，10%檸檬汁抗氧化力：10.79%代入(公式三-2)得到相當於0.0009M的維他命C抗氧化力，故檸檬原汁(100%)的抗氧化力相當於，0.0009×10=0.0090M的維他命C。



實驗結果與討論：

藉由亞甲基藍溶液吸光度變化率換算為抗氧化力如(公式一)，可以得到如左圖之抗氧化力大小為：**檸檬汁(26.84%)>奇異果汁(19.20%)>蘋果汁(14.48%)**。

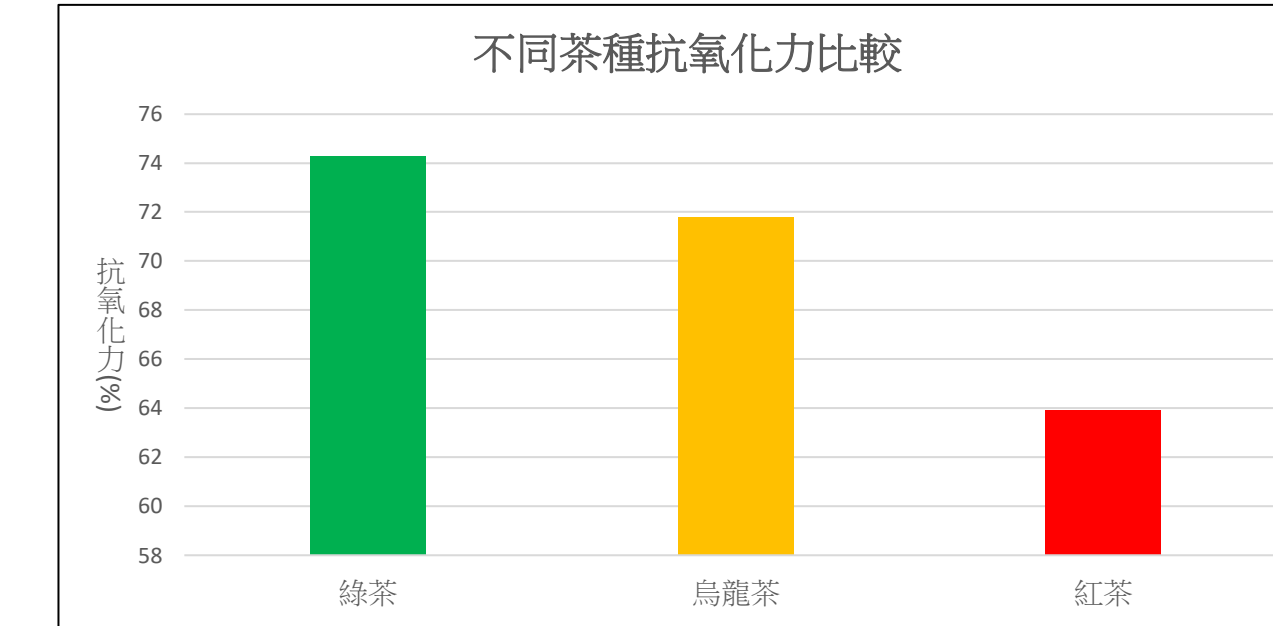
七、不同溫度下(35°C、95°C)綠茶水溶液抗氧化力研究



實驗結果與討論：

1. 95°C下，10%綠茶水溶液抗氧化力(74.28%)較35°C的10%綠茶水溶液抗氧化力(64.56%)高。
2. 高溫下茶多酚的溶解度大，因此抗氧化力較大。

八、10%綠茶、烏龍茶、紅茶水溶液抗氧化力研究(溫度95°C)



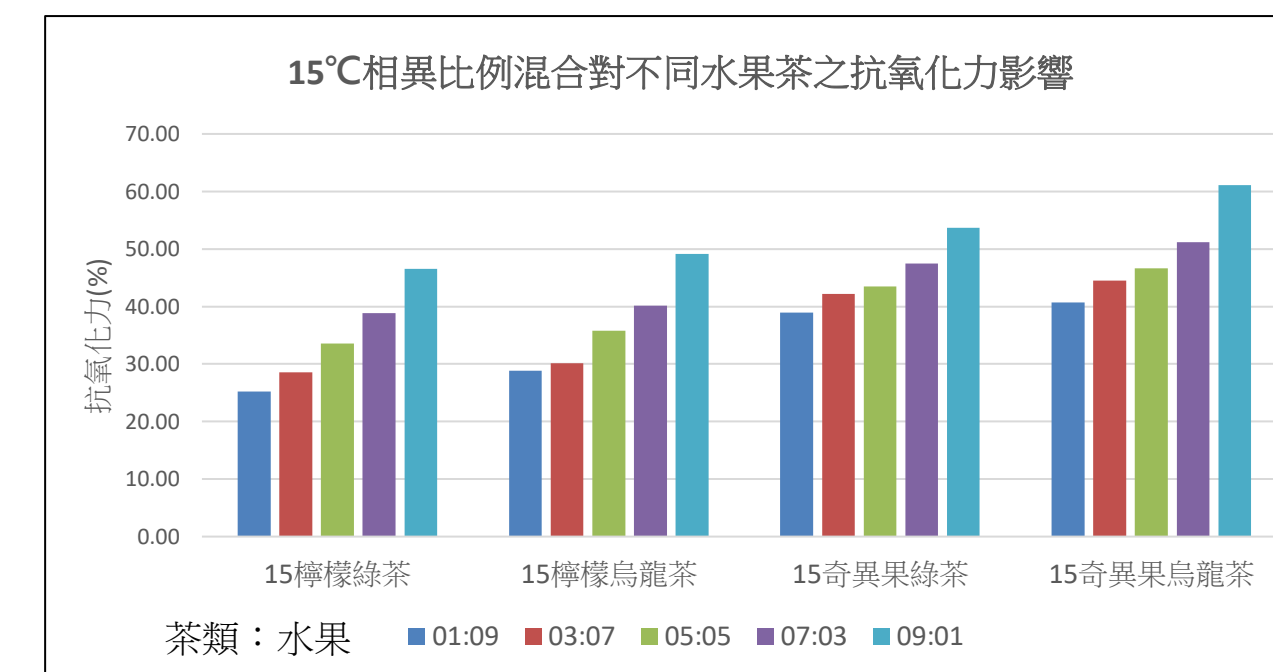
實驗結果與討論：

1. 10%茶類抗氧化力大小：綠茶>烏龍茶>紅茶。
2. 10%綠茶水溶液抗氧化力較10%紅茶水溶液抗氧化力約高10.36%左右。

3. 綠茶發酵程度最低，茶多酚含量保留最多，紅茶已幾乎100%發酵成葉紅素或葉黃素，茶多酚含量最少，因此；綠茶相較於半發酵的烏龍茶或已全發酵的紅茶具有較佳的抗氧化能力。

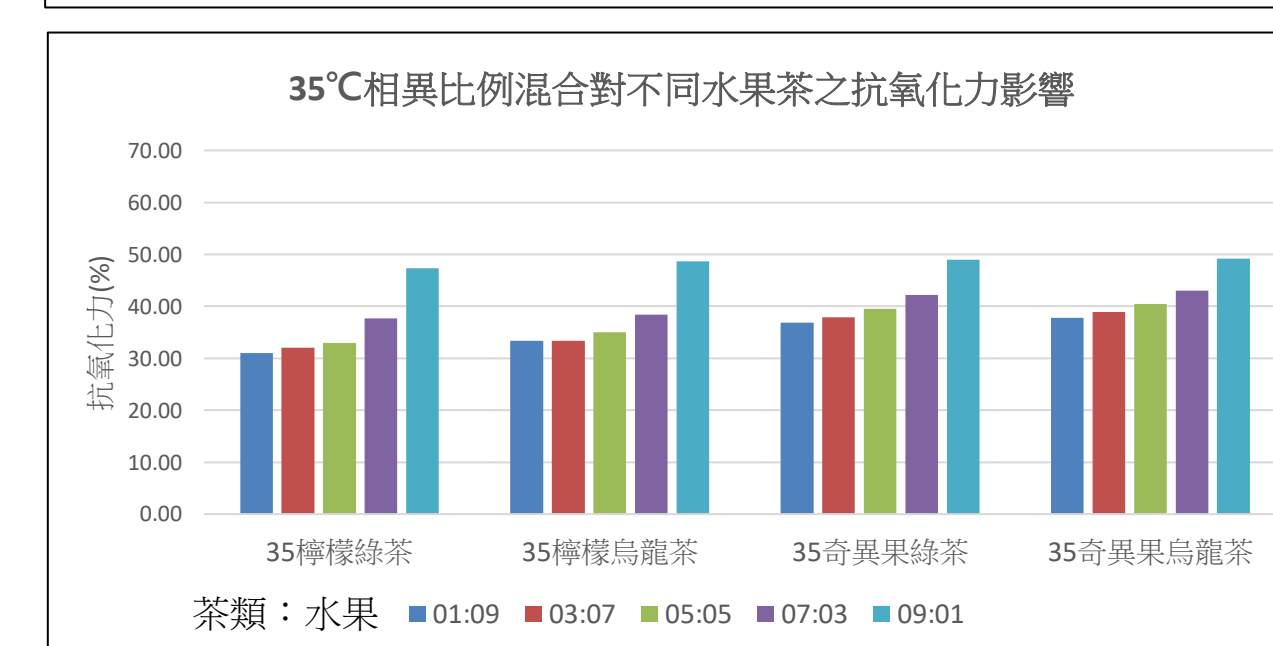
九、探討水果與茶類混合成水果茶抗氧化力研究

水果茶在不同溫度及相異混合比例對抗氧化力的影響

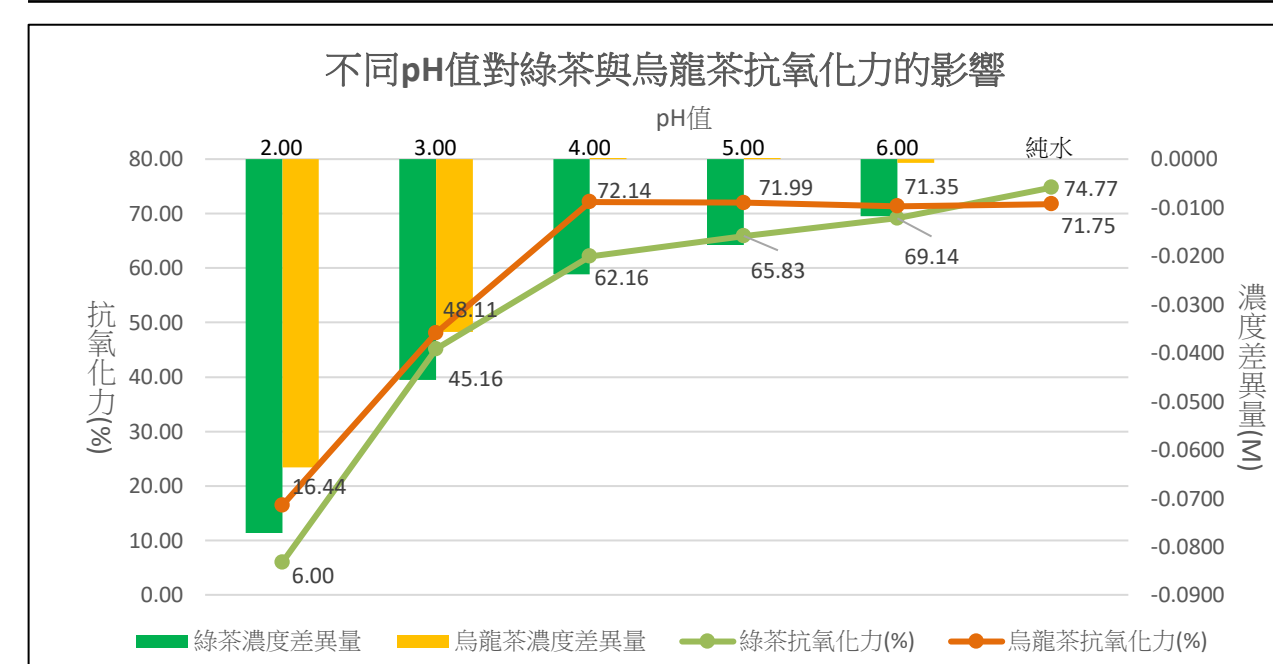


實驗結果分析：

1. 在15°C與35°C時，不論混合比為何，原先抗氧化力**最佳的檸檬與綠茶混合後，抗氧化力反而最差**。
2. 對於此超乎預期的實驗結果，我們查閱相關文獻，發現[H⁺]、抗氧化物質濃度及溫度對水果茶抗氧化力影響頗大，所以進行實驗12-2、實驗12-3及實驗十三加以證實。



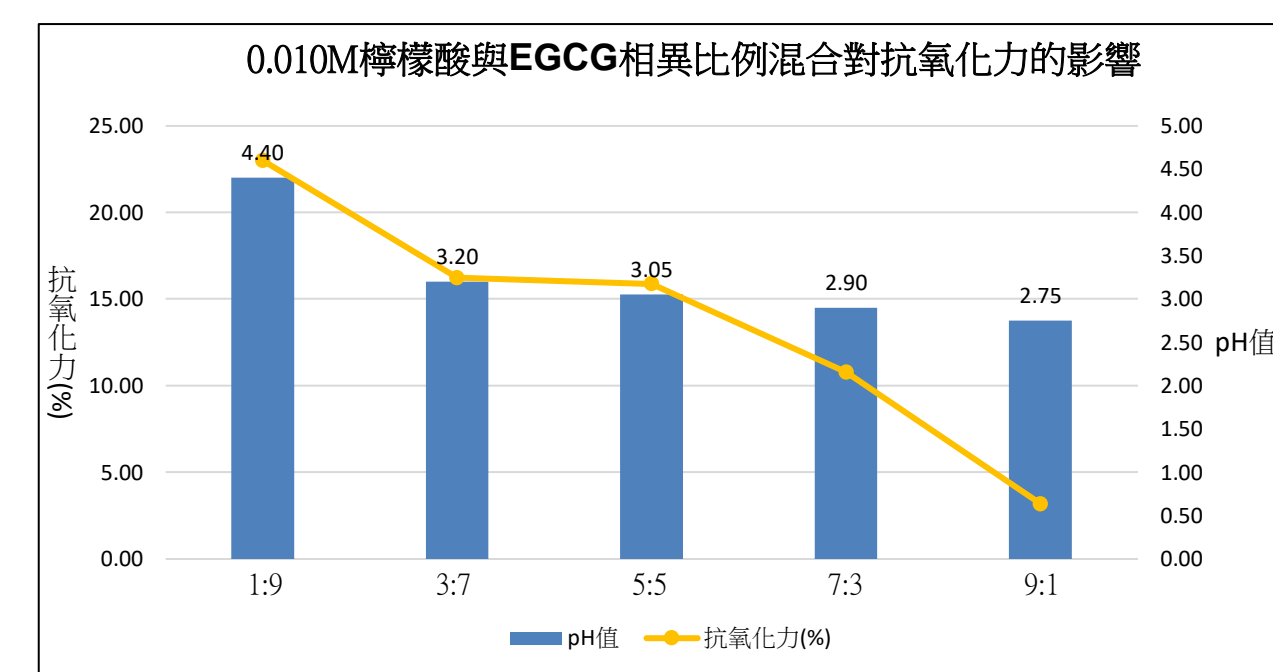
綠茶、烏龍茶在不同pH值的抗氧化力研究



實驗結果與討論：

1. 茶類抗氧化力與pH值成正相關；且在加入鹽酸後，烏龍茶的抗氧化力皆優於綠茶的抗氧化力。
2. 綠茶與烏龍茶皆含有茶多酚，其中又以綠茶較多，因此當環境中[H⁺]提升時，抑制兒茶素的氧化，不利亞甲基藍還原，故抗氧化力下降，並以綠茶最為明顯。

0.010M檸檬酸與EGCG相異比例混合對抗氧化力的影響(溫度15°C)

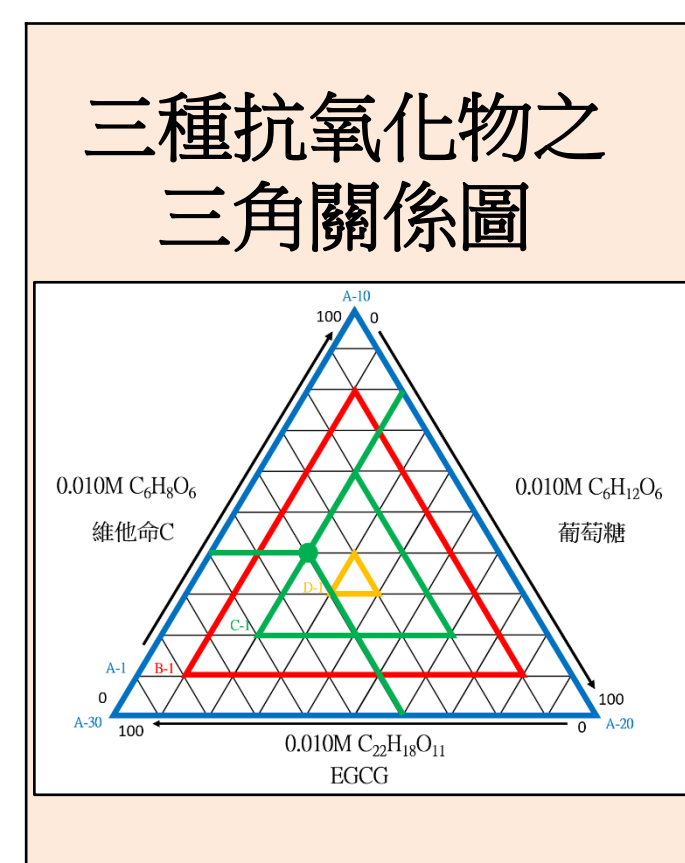


實驗結果與討論：

1. 檸檬酸占比與pH值及抗氧化力差異量呈負相關。檸檬酸：EGCG=9：1時，僅差6.51%，此原因為本身抗氧化力原來比較低所致。

2. 檸檬酸與EGCG混合後之溶液抗氧化力明顯變小與15°C檸檬綠茶之趨勢相同，而檸檬綠茶之抗氧化力之所以較本實驗結果高，是因為檸檬綠茶還具有維他命C等抗氧化物質。

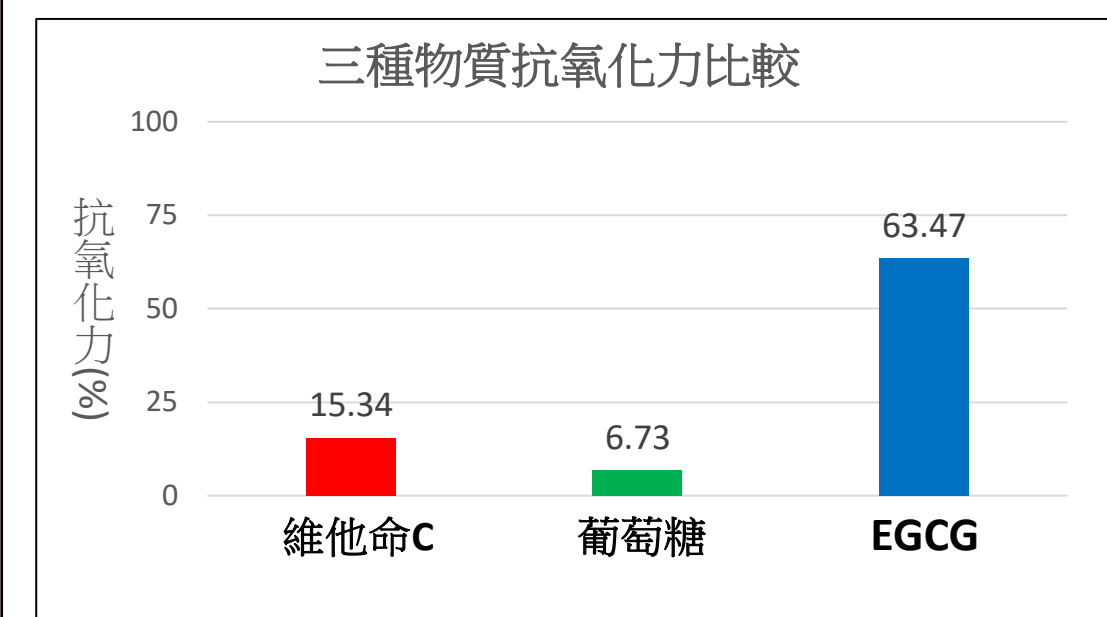
十、探討模擬水果茶特定抗氧化物混合對抗氧化力影響並建立數學函數關係(抗氧化力變化函數)



編號規則（編號與比例對照表詳見附錄二十二）：

1. 由外圈往內圈（藍→紅→綠→橘），其編組依序為A→B→C→D。
2. 每一組以順時針方向進行編排，格式為該組的英文字母（A、B、C、D）搭配在該組的排序。
3. 圖中每一個交叉點，朝左邊、右上、右下延伸，即為該點代表的三種物質混合時的體積百分比。

0.010M維他命C、葡萄糖與EGCG三種物質抗氧化力之基準值測定(溫度15°C)

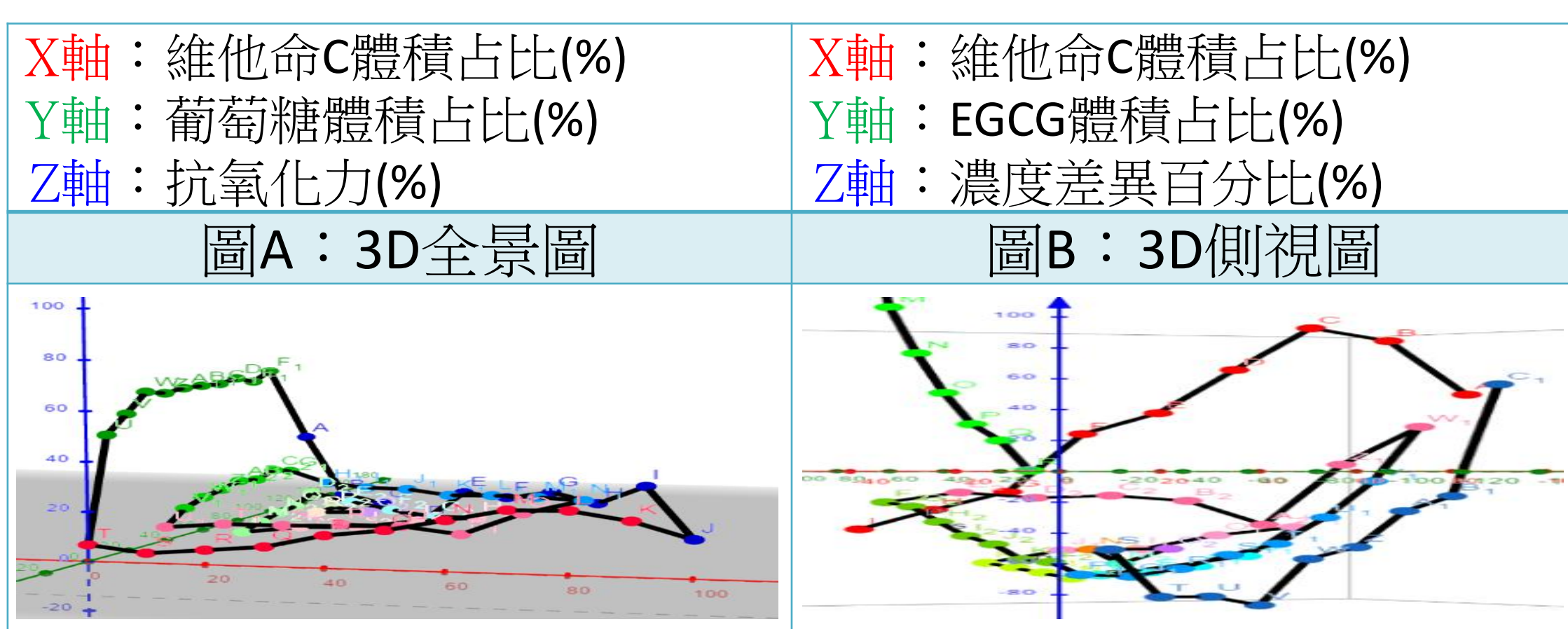


實驗結果與討論：
 抗氧化力大小：
EGCG (63.47%)
 >維他命C (15.34%)
 >葡萄糖 (6.73%)

探討抗氧化物兩兩混合對抗氧化力的影響A部分 (B、C、D圈部分圖形請詳見作品說明書第26頁)

圖表/關係圖	抗氧化力-最佳(63.51%)	抗氧化力-最差(48.99%)	抗氧化力-最佳(25.24%)	抗氧化力-最差(4.03%)	抗氧化力-最佳(35.92%)	抗氧化力-最差(6.28%)
維他命C	X	X	體積占比:80%	體積占比:10%	體積占比:10%	體積占比:40%
葡萄糖	體積占比:70%	體積占比:90%	體積占比:20%	體積占比:90%	X	X
EGCG	體積占比:30%	體積占比:10%	X	X	體積占比:90%	體積占比:60%
加乘性	具有加乘性		具有加乘性：產生更具抗氧化力的抗壞血酸糖苷		不具有加乘性：維他命C與EGCG發生氧化還原反應	
抗氧化力變化函數	$V_i = \text{理論維他命C濃度}(M) = 0.0040 \times \beta + 0.0590 \times \gamma$ $\begin{cases} \beta = \text{葡萄糖}, \gamma = \text{EGCG} \\ \beta + \gamma = 1.0 \\ 0.9 \geq \beta, \gamma \geq 0.1 \end{cases}$ $\text{實際抗氧化力}(\%) = \frac{1.512 - 1.51e^{-17.04 \times \left(\frac{-183.9 \ln(V_i) - 545.25}{100} \times V_i + V_i \right)}}{1.512} \times 100\%$ 在 $1.0 \times 10^{-3} M \leq [EGCG], [葡萄糖] \leq 9.0 \times 10^{-3} M$ ，可計算該範圍內混合物之抗氧化力。		$k_{\alpha} = 2.78870, k_{\beta} = -8.45990$ $\begin{cases} \alpha = \text{維他命C}, \beta = \text{葡萄糖} \\ \alpha + \beta = 1.0 \\ 0.9 \geq \alpha, \beta \geq 0.1 \end{cases}$ $\text{實際抗氧化力}(\%) = 15.34\% \times \alpha + [1 + k_{\alpha} \times \ln(\alpha)] + 6.73\% \times \beta + [1 + k_{\beta} \times \ln(\beta)]$ 在 $1.0 \times 10^{-3} M \leq [\text{維他命C}], [葡萄糖] \leq 9.0 \times 10^{-3} M$ ，可計算該範圍內混合物之抗氧化力。		$q(V_i) = \frac{1.512 - 1.51e^{-17.04 \times \left(\frac{-183.9 \ln(V_i) - 545.25}{100} \times V_i + V_i \right)}}{1.512}$ $n_1 = -5.64545, n_2 = -2.25550$ $\text{實際抗氧化力}(\%) = (0.1534 \times \alpha^2 \times e^{-n_1 \times \gamma} \times [1 + 2.87979 \times \ln(\alpha)] + \gamma^2 \times e^{-n_2 \times \alpha} \times q(V_i)) \times 100\%$ 在 $1.0 \times 10^{-3} M \leq [\text{維他命C}], [EGCG] \leq 9.0 \times 10^{-3} M$ ，可計算該範圍內混合物之抗氧化力。	

綜合討論—綜合三種抗氧化物A、B、C、D四部分三角關係圖實驗，繪製如下之3D立體圖示。



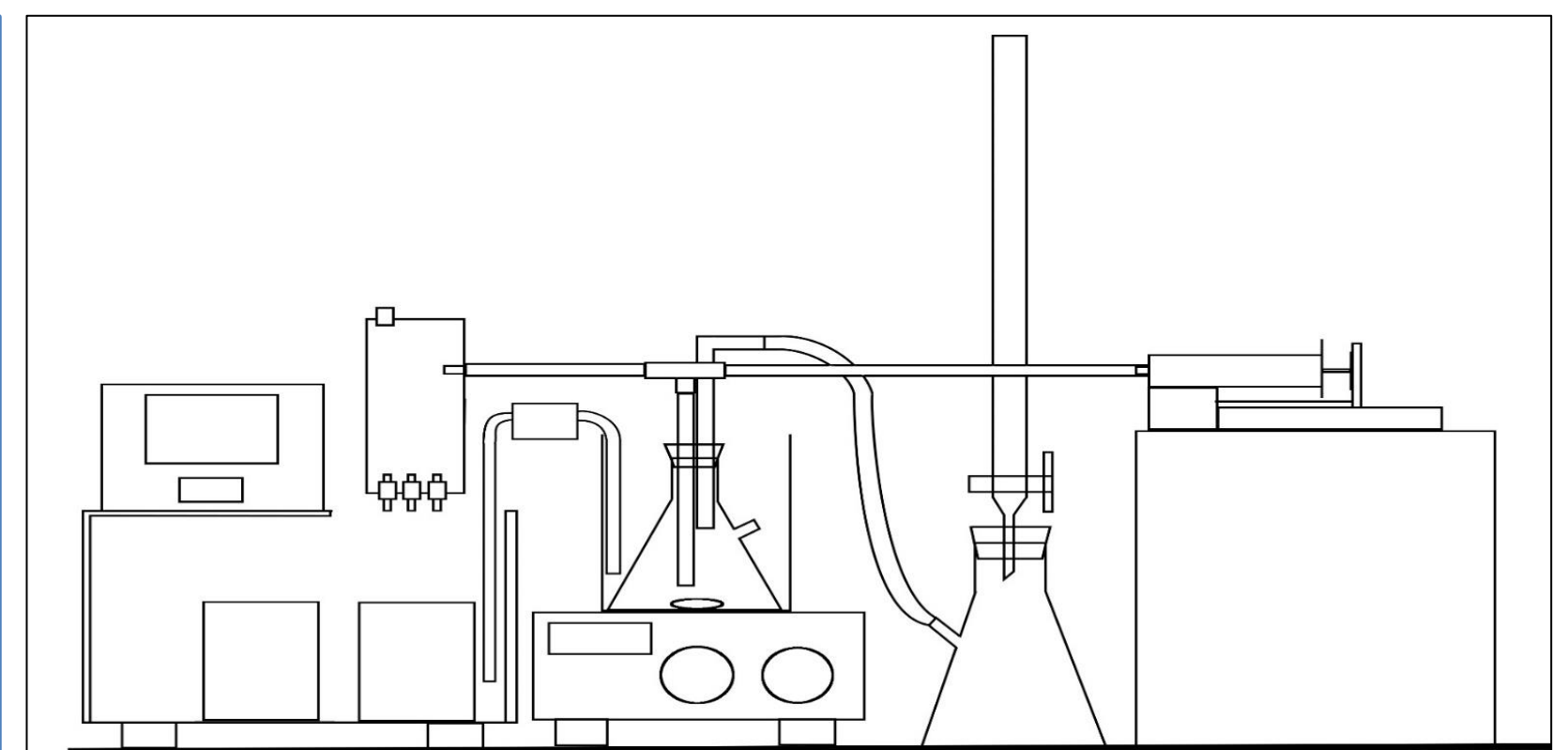
1. 由圖A：3D全景圖知：pH值皆高於5.6的葡萄糖與EGCG混合溶液抗氧化力遠高於其他混合溶液的抗氧化力。
2. 由圖B：3D側視圖知：除了A21-A29皆具有加乘性外，其他的維他命C、葡萄糖與EGCG任意混合比例幾乎都無加乘性，濃度差異百分比大多為負值。
3. 由圖A與圖B比較得知：抗氧化物在與維他命C混合後，抗氧化力皆有顯著的下降，濃度差異百分比大多為負值，可以得知維他命C導致溶液的pH值下降對抗氧化力的影響極大。

伍、結論

一、亞甲基藍溶液濃度分析法之建立	1. 以光譜儀對亞甲基藍溶液進行190~1100 nm全波長掃描，得最大吸光度的波長為 665nm (實驗一)。 2. 不同濃度亞甲基藍溶液的吸光度檢量線的R ² 值高達 0.9974 ，線性關係規律性高，準確度大。(實驗一)
二、探討維他命C溶液與亞甲基藍溶液的反應	1. 以0.10M維他命C與亞甲基藍溶液反應， 300秒 可降至水平，達反應平衡，後續實驗以300秒內的吸光度變化計算抗氧化力。(實驗二) 2. 不論15°C或25°C，維他命C溶液濃度與亞甲基藍溶液濃度比值500，在反應時間300秒時，抗氧化力皆遠高於濃度比值0.5時的抗氧化力。(實驗四)
三、探討水果在不同溫度及不同濃度的吸光度關係	1. 在三種溫度的蘋果檢量線中， 溫度較高 ，褐變較快，使得顏色較深，吸光度較高。(實驗四) 2. 三種果汁的檢量線中， 溶液濃度與吸光度皆呈正比 ，符合比爾定律。蘋果汁由於顏色接近褐色，在665 nm 波長吸收度較低。(實驗六)
四、探討不同水果最佳抗氧化條件	1. 不同水果種類抗氧化力： 檸檬原汁(26.84%) > 奇異果原汁(19.20%) > 蘋果原汁(14.48%) 。(實驗七) 2. 不同浸泡溫度抗氧化力：以蘋果為例： 35°C(40.06%) > 25°C(26.62%) > 15°C(14.48%) 。(實驗五) 3. 不同浸泡環境：同溫下， 浸泡於鹽水的蘋果皆較浸泡純水的蘋果抗氧化力高 。(實驗五)
五、探討茶類在不同溫度及不同濃度的吸光度關係	1. 35°C、95°C時不同濃度的綠茶水溶液檢量線，綠茶水溶液濃度與吸光度呈正比，符合比爾定律。(實驗八) 2. 三種茶類的檢量線R ² 接高達0.99以上，線性關係規律性高，準確度大，符合比爾定律。(實驗十)
六、探討不同茶類最佳抗氧化條件	1. 不同綠茶溫度抗氧化力比較： 95°C(74.28%) > 35°C(56.91%) 。(實驗九) 2. 不同茶類種類抗氧化力比較： 綠茶(74.28%) > 烏龍茶(71.80%) > 紅茶(63.92%) 。(實驗十一)
七、探討不同水果茶最佳抗氧化條件	1. 相同溫度及混合比例抗氧化力： 奇異果烏龍茶 > 奇異果綠茶 > 檸檬烏龍茶 > 檸檬綠茶 。(實驗12-1) 2. 15°C下奇異果與烏龍茶以1：9進行混合，可得到最具抗氧化力的奇異果烏龍茶(53.71%)。(實驗12-1) 3. 當待測物溶液環境在pH4.0下， 抗氧化力明顯以烏龍茶較綠茶佳 。(實驗12-2) 4. 檸檬酸及EGCG依各比例混合與檸檬及綠茶各比例混合之抗氧化力趨勢相同 。(實驗12-3)
八、探討模擬特定抗氧化物相互混合對抗氧化力的影響	1. 相同溫度特定抗氧化物抗氧化力： EGCG(63.47%) > 維他命C(15.34%) > 葡萄糖(6.73%) 。(實驗13-1) 2. 同溫下，維他命C、葡萄糖、EGCG任兩種物質相互混合時，以 葡萄糖與EGCG的抗氧化力最佳 ，且幾乎皆達55%以上。葡萄糖與EGCG混合之抗氧化力具加乘性。但加入維他命C後，抗氧化力則大幅下降。(實驗13-2)(實驗13-3) 3. 透過實驗十三所建立的數學函數逼近公式，能夠換算出待測物的實際抗氧化力。(實驗13)

陸、未來展望

1. 建立水果茶完整抗氧化力數學函數逼近公式，透過待測物混合比例即求出抗氧化力。
2. 將我們所得到最具抗氧化力的水果茶結合我們已經規畫並組裝完成的「3+1」管水果茶晶球量產電動製造器，我們有信心以自製「晶球製造器」製備出讓晶球不論在數量、長度、接觸角度上皆差異極小，精密度高的儀器，精準製備出大小、硬度相近的水果茶晶球，進一步的探討水果茶晶球的抗氧化力與自動化商品化**各種彩色水果茶晶球**創新產品。



柒、參考資料

1. 陳怡嘉(民98)特選抗氧化配方之抗氧化能力及其加乘效果。台北醫學大學生醫材料暨工程研究所碩士論文。
2. Alief Putriana Rahman, Djoko Agus Purwanto, Isnaeni Isnaeni (2019). *The Effect of Vitamin C Addition on Epigallocatechin Gallate (EGCG) Stability in Green Tea Solution.*
3. 102年第53屆全國中小學科展化學科作品：搞什麼？多酚亂變色！
4. 108年第59屆全國中小學科展化學科作品：不夜侯的鐵血靛情。