

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

030818

植物血紅素與一氧化碳結合之探討

學校名稱：臺南市立建興國民中學

作者：  國二 莊惟恩  國二 曾宥嵐  國二 郭亮廷	指導老師：  黃千芬  楊志鴻
---	-----------------------------

關鍵詞：甜菜紅素、一氧化碳

## 摘要

甜菜根具有植物性血紅素，並且其植物性血紅素與人體血紅素竟有 60%的相似度，因此，如果能夠提供甜菜的血紅素做為緊急的備品，或甚至用來吸收密閉空間中的一氧化碳，將會為人類帶來許多益處與拯救許多生命。本實驗探討甜菜根的相關性質以及與一氧化碳、二氧化碳、氧氣的結合，發現甜菜根血紅素最容易吸收 CO，此與人體內血紅素對一氧化碳的親和力比氧氣的親和力高約 250 倍，有正相關性，故以甜菜根汁吸收空氣中的一氧化碳濃度應是可行。而甜菜紅素遇到 pH>9 的溶液會變為甜菜黃素，而使外觀轉為黃色；而當 pH<9 得溶液會使之變紅色，可作為檢測空氣中一氧化碳含量的簡易工具。

## 壹、研究動機

母親為了家人健康，常將種植的蔬果植物打成果汁，讓家人飲用，其中以甜菜根汁最讓家人害怕。母親為了說服我們，要我上網找尋其營養資料，然後發現甜菜根具有植物性血紅素，而其植物性血紅素與人體血紅素竟有 60%的相似度。於是我們聯想到冬季易發生一氧化碳中毒事件與相關的檢測應用，便開始著手探討甜菜根的更多資訊，探討利用 CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 通入甜菜根汁的變化，找出甜菜根汁與氣體結合時可能的應用方式。

## 貳、研究目的

2014 年瑞典隆德大學（Lund University）的研究團隊，在甜菜（sugar beet，*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*）裡面找到了四個血紅素的基因，並指出甜菜根裡的甜菜紅素性質接近人類的血紅素。而在重大傷害中，能否提供大量血液常是決定生與死的重要因素，尤其是在血庫不普遍，或是捐血的觀念尚未深入人心的區域，血源不足是常有的問題，如果能夠提供甜菜的血紅素做為緊急的備品，或甚至用來吸收密閉空間中的一氧化碳，將會為人類帶來許多益處與拯救許多生命。

因此，我們將以甜菜根汁為植物血紅素作為探討，以甜菜根汁與一氧化碳、二氧化碳、

氧氣的結合情況，模擬人體血紅素與氣體結合情形，試圖藉此能設計一個簡易檢測氣體的方法。

本研究目的有：



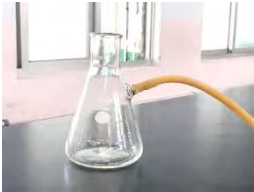

- 一、探討甜菜根汁與一氧化碳、二氧化碳、氧氣的結合情況。
- 二、利用分光光度計之分析，探討甜菜根汁與人體血紅素對一氧化碳、二氧化碳、氧氣的親和力是否有關。
- 三、研究甜菜根汁作為簡易檢測一氧化碳氣體的可能性。

## 參、實驗設備與器材

### 一、一般器材

刮勺、水缸、美工刀、大理石、廣口瓶、濾紙、培養皿、滴管、玻璃片、漏斗、電子秤、量筒、甜菜根、注射針筒

### 二、特殊器材

分光光度計 	薊頭漏斗 
蒸餾瓶 	雙氧水 35% 
二氧化錳 	硫酸 98.7% 

甲酸 99~100%



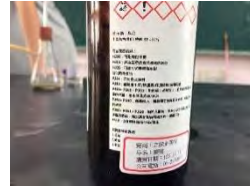
玻璃標準分液光槽



果菜攪拌機



鹽酸 33%~35%



注射針頭



恆溫加熱器



滴定管



離心機



濾紙



刨絲刀



自種甜菜根



## 肆、實驗過程與方法

### 一、文獻探討

#### (一) 血紅素

血紅素存在於人體的紅血球中，是紅血球能夠運輸氧氣的主要原因。它包含了四個次單元  $\alpha_1$ 、 $\beta_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\beta_2$ ，即有兩對  $\alpha\beta$  二聚體，屬於蛋白質的四級結構。其中每個次單元含一條多肽鏈和一個血基質分子(heme)。

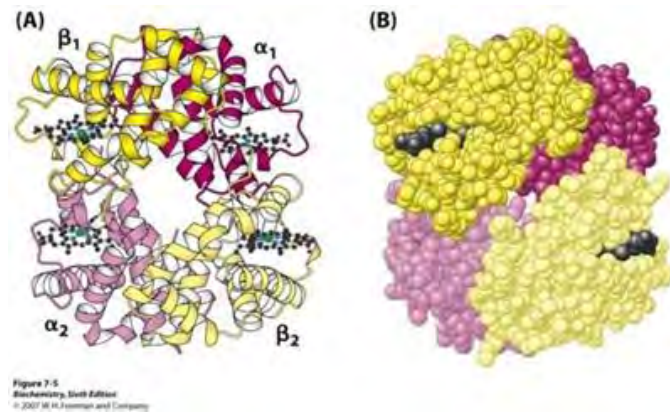


圖 4-1 血紅素結構 (圖片資料來源：Biochemistry. Chapter 7.取自 <http://slideplayer.com/slide/4462873/>)

血紅素的每個次單位都可以鍵結一個氧分子，而當一個次單位與氧分子結合，血紅素整體的構型會改變，使得其餘次單位更易於與氧結合；在釋放氧氣時也有相同的現象：一個次單位與氧分子的分離，會使得其餘次單位變得容易釋出氧氣，這種現象稱為「協同效應」。

#### (二) 一氧化碳

一氧化碳 (Carbon Monoxide, CO)，由一個碳原子及一個氧原子構成，通常由碳不完全燃燒所產生。碳如果於氧氣供應不足的環境下，例如密閉空間燃燒，就容易不完全燃燒而產生一氧化碳。一氧化碳的還原力極強，燃燒時會生成二氧化碳，但它無色、無臭、無味的特性常使人在不知不覺中中毒。



圖 4-2 一氧化碳分子模型，黑色為碳原子，紅色為氧原子

(圖片資料來源：一氧化碳。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=4618>)

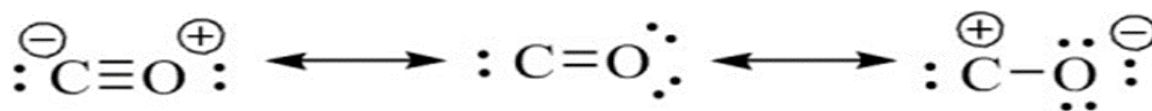


圖 4-3 一氧化碳結構的共振式（圖片資料來源：一氧化碳。科學 Online—科技部高瞻自然科學教學資源平台。取自 <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=4618>）

一氧化碳分子可由三種共振結構表示，其中與實際情形最接近者為圖 4-3 最左邊的結構，即碳和氧之間為共價鍵三鍵，碳和氧各帶一對孤對電子。儘管氧的電負度大於碳，但在分子中卻是碳原子附近有較大的電子密度，使得碳原子在分子中帶部分負電。而因為電子雲密度較大，碳原子的孤對電子所受斥力較大，傾向和其他原子或分子反應以降低能量，故與一氧化碳有關的大部分反應皆發生於此，而非氧原子的孤對電子。例如一氧化碳中毒，即是一氧化碳中碳原子的孤對電子和血紅素次單位中的亞鐵離子形成配位共價鍵而佔據氧氣的結合位。

一氧化碳中毒是吸入過量的一氧化碳導致身體內組織缺氧。一氧化碳與體內血紅素的親和力比氧氣與血紅素的親和力高約 200 倍，它會與血紅素鍵結生成碳氧血紅素，佔據血紅素中氧氣的結合位，使得血紅素無法和氧氣結合，也就無法運輸氧氣至身體組織。而碳氧血紅素又比氧合血紅素的解離速度慢約 3600 倍，故血紅素運輸氧氣的效率會變得非常差，導致人體組織長期缺氧而產生各種中毒症狀。

此外，一氧化碳也可和粒線體中電子傳遞鏈上的細胞色素氧化酶 a 3 (Cytochrome a 3 Oxidase) 及細胞色素 P-450 結合，阻斷細胞的有氧呼吸，抑制細胞產生 A T P，而造成細胞內缺乏能量。即使血液中的碳氧血紅素被清除，組織細胞仍有可能因粒線體尚未恢復而持續處於缺氧狀態。

一氧化碳中毒最明顯的症狀即為異常櫻桃紅色的血。其他症狀還包括嚴重頭痛、噁心、嘔吐、呼吸急促，嚴重者更會精神錯亂、肌肉無力，一用力就覺得頭暈。最後心臟和中樞神經系統將嚴重受損，喪失意識並昏迷，導致死亡。

症狀中最容易辨認的就屬鮮紅的血液，一般人僅須透過皮膚便可發現中毒者膚色異常紅潤，這種現象便來自於一氧化碳和血紅素的結合。充氧血顏色鮮紅，原因為氧分子的孤對電子和血基質中的亞鐵離子形成配位鍵，而一氧化碳和血紅素的結合也是如此：碳原子的孤對電子和血基質中的亞鐵離子形成配位鍵，導致血液顏色變得鮮紅。

### (三) 植物性血紅素

甜菜裡面有四個血紅素的基因，其中三個是非共生血紅素，第四種是片段血紅素。

#### 1.共生血紅素(sHbs):

主要分佈在豆科植物裡面，提供共生的根瘤菌以及根瘤內的植物細胞生存所需的氧氣。

#### 2.非共生血紅素(nsHbs):.

在單子葉植物多半有至少一個第一類非共生血紅素，但沒有第二類的非共生血紅素，而雙子葉植物通常會具備兩類，不過在豆科植物以及部分雙子葉植物中已演化為共生血紅素了。其中，甜菜根有兩個非共生血紅素屬於第一類，一個屬於第二類，其中第二類的非共生血紅素（BvHb2）的表現量最高，而且在不同的部位裡表現量都很大。

#### 3.片段血紅素(trHbs)

第一類可能與缺氧有關，在缺氧時用來改進植物的能量狀態；第二類則與粒線體細胞呼吸作用有關，在粒線體進行細胞呼吸作用時可以改進他的氧氣供應狀態。

#### 4.目前已知的植物性血紅素功能與應用

植物內的血紅素，會與 NO 結合，確保 NO 不會產生毒性，並有抵抗細菌功效。甜菜根內的植物血紅素，與人類血紅素有 50-60%相似，因此專家 Leiva-Eriksson 認為有兩個發展方向：一是把植物血紅素提煉並轉化為人體直接可用的物質；二是研究植物如何製造血紅素，找出人工製造人類血紅素的方法。

### (四) 比爾定律，又稱作比爾—朗伯定律(Beer-Lambert Law)

當連續光通過一溶液時，只有某一波長的光被吸收，此時吸光值的大小在藍伯定律(Lambert 's law)中主要與盛裝溶液的厚度有關，即在一厚度範圍下，溶液的厚度愈大，吸光值愈高；比耳定律(Beer' s law)中吸光值的大小主要與盛裝溶液的濃度有關，在一濃度範圍下，溶液的濃度愈大，吸光值愈高。在吸收與透射光的定量分析上，常使用此兩種定律組合，即藍伯·比耳定律(Lambert-Beer 's law)，其公式表示如下：

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I_t} = \log_{10} \frac{1}{T} = K \cdot l \cdot c$$

其中：

$A$ ：吸光度

$I_0$ ：入射光的強度

$I_t$ ：透射光的強度

$T$ ：透射比，或稱透光度

$K$ ：係數，可以是吸收係數或摩爾吸收係數

$l$ ：吸收介質的厚度，一般以 cm 為單位

$C$ ：吸光物質的濃度，單位可以是 g/L 或 mol/L

在光譜圖中除了以吸光度表示外，亦有透光率(percent transmittance；T%)與透光度(transmittance；t)可作選擇。-透光度為透射光的強度與入射光的強度比值（即  $t=I/I_0$ ）；-透光率則是將透光度以百分率來作表示（即  $T=I/I_0 \times 100=100 t$ ）；當透光率的倒數取對數後即為吸光值(absorbance；A)，其公式為

透光率( $\mathcal{T}$ )定義:(單位:%)

$$\mathcal{T} = \frac{I_1}{I_0}$$

( $I_1$ :透射光強度； $I_0$ :入射光強度)

吸光值( $A_\lambda$ )定義:(單位:無單位)

$$A_\lambda = \log_{10}(I_0/I_1) = -\log_{10}(\mathcal{T})$$

由於本實驗主要假設甜菜根為植物血紅素，並且與人體血紅素相似，應具有與 CO 氣體結合之性質，故希望利用 Beer-Lambert Law 吸光值大小與盛裝溶液的濃度有關之原理，搭配血紅素與 CO 結合後，其顏色將變為櫻桃紅的現象，藉此測量血紅素的顏色變化與透光值的多寡，作為血紅素與 CO 結合的證據，因此，我們並非以吸光值的高低，作為 CO 濃度定量之分析，而是利用單一波長，能讓血紅素通過多寡，來做為血紅素與 CO 是否有結合之定性分析。



## 二、實驗流程圖(如圖 4-4)

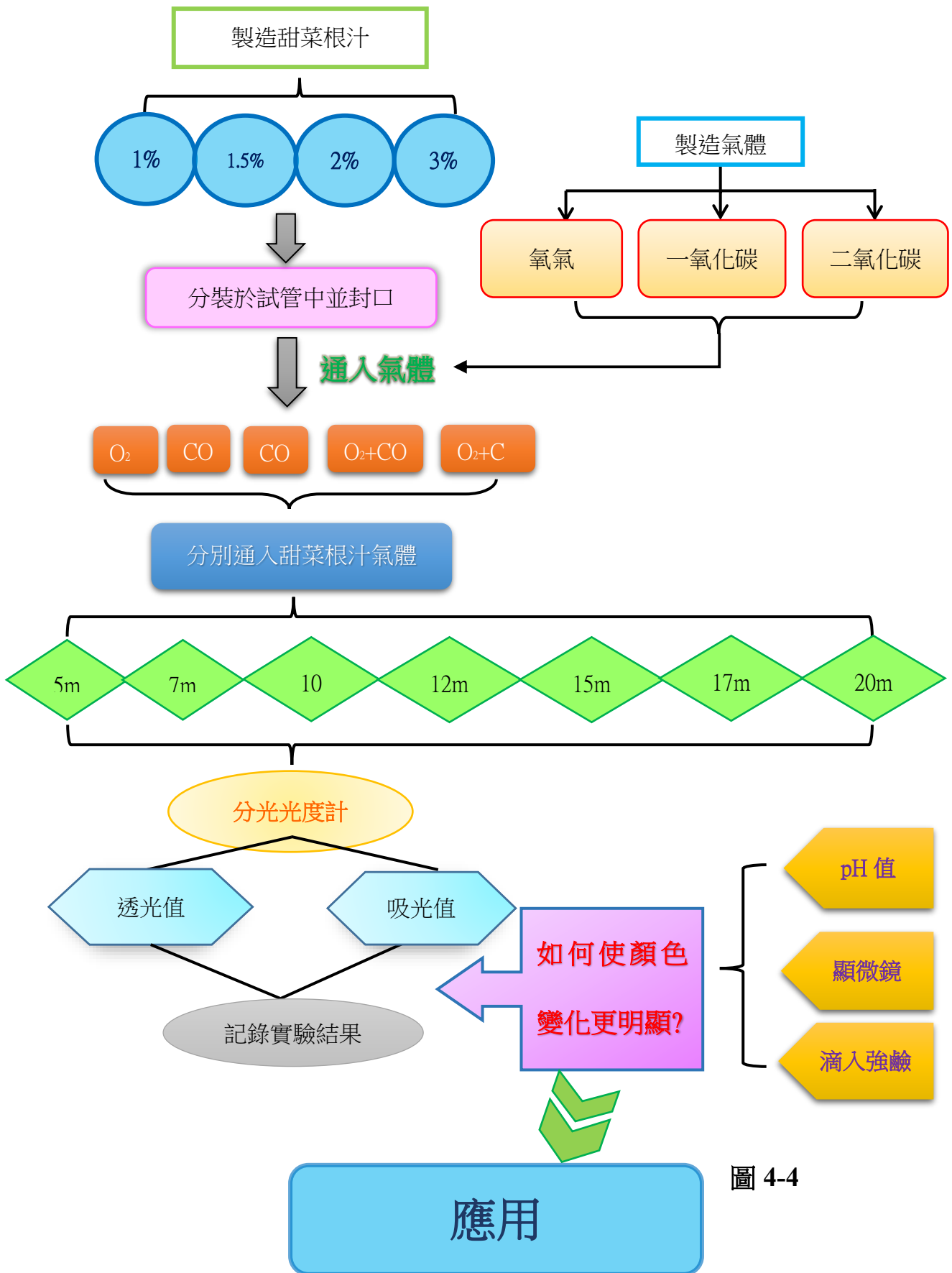
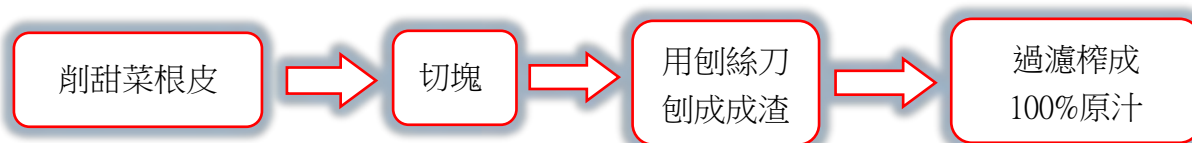


圖 4-4

### 三、製備研究材料

#### (一) 製作甜菜根汁



1. 製造 1%甜菜根汁:  
將 1 克的甜菜根汁加入 99 克的蒸餾水混合而成。
2. 製造 1.5%甜菜根汁:  
將 1.5 克的甜菜根汁加入 98.5 克的蒸餾水混合而成。
3. 製造 2%甜菜根汁:  
將 2 克的甜菜根汁加入 98 克的蒸餾水混合而成。
4. 製造 3%甜菜根汁:  
將 3 克的甜菜根汁加入 97 克的蒸餾水混合而成。

#### (二) 製造氣體

1. 製造一氧化碳
2. 將硫酸倒入吸濾瓶中 (如下圖一)。
3. 在恆溫加熱器上利用隔水加熱法，將水溫度範圍控制在 60℃~80℃(如下圖二)，緩緩加入甲酸。
4. 利用排水集氣法並用針筒蒐集一氧化碳氣體(如圖三)。

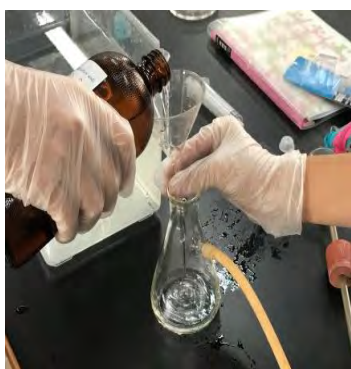


圖 4-5



圖 4-6



圖 4-7

#### (三) 製造二氧化碳

1. 將水倒入吸濾瓶中，並放入碎貝殼及大理石。
2. 將鹽酸倒入薊頭漏斗中。

3. 利用排水集氣法並用廣口瓶蒐集二氧化碳(此時產生的氣體，前 30 秒不收集)。

#### (四) 製造氧氣

1. 將水倒入吸濾瓶中，並放入二氧化錳。
2. 將雙氧水倒入薊頭漏斗中。
3. 利用排水集氣法並用廣口瓶蒐集氧氣(此時產生的氣體，前 30 秒不收集)。

#### (五) 將氣體通入甜菜根汁

1. 將甜菜根汁分裝於試管當中，以保鮮膜封口(如下圖 4-8)。
2. 將針筒中的氣體通入試管中，再以保鮮膜封口(如下圖 4-9)。



(圖 4-8)



(圖 4-9)

3. 測量甜菜根通入氣體後的顏色變化， 測量甜菜根汁的透光率
  - (1)將光之波長調為 640nm 紅光
  - (2)將模式調為透光率
  - (3)按下歸零鍵
  - (4)以分光光度計特殊盛裝器盛裝已通入氣體的血紅素並放入分光光度計中
  - (5)計錄顯示數字

### 三、 CO 與甜菜根汁之生活應用

#### (一) 試紙

將濾紙剪成小長方形置於培養皿中，將甜菜根原汁滴入培養皿，利用烘箱調整溫度為 50 度烘乾，再滴入鹼液使之變成黃色，並控制 pH 為 9，重複浸泡烘烤 5 次。

#### (二) 簡易 CO 檢測器

將甜菜根以少許水混合，以慢速研磨機磨成汁液，將甜菜根汁與固體渣分離，以低溫冷凍將其乾燥至粉末備用。

## 伍、研究結果與討論

### 一、 探討不同氣體通入甜菜根汁中透光率之比較

(一) 利用排水集氣法製造 CO，各自取出體積為 5ml、7ml、10ml、12ml、15ml、17ml、20ml 通入甜菜根汁中，通入後五分鐘及十分鐘時利用分光光度計測量其透光率，經實驗結果整理如下表，並繪製出透光率與通入體積關係圖

#### 1. 以 CO 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後 測量透光率

表 5-1 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後

透光率	0 mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	74.5	75.4	77.1	77.8	80.1	76.4	74.2	72.6
2	74.2	75.3	75.8	78.9	81.2	75.6	73.8	72.6
3	75.1	75.7	77.2	78.3	80.3	77.1	74.6	71.2
4	74.8	74.9	78.1	78.3	79.5	77.4	73.5	73.1
5	73.8	74.8	77.4	77.6	78.9	76.5	74.1	71.8
平均值	74.48	75.22	77.12	78.18	80	76.6	74.04	72.26

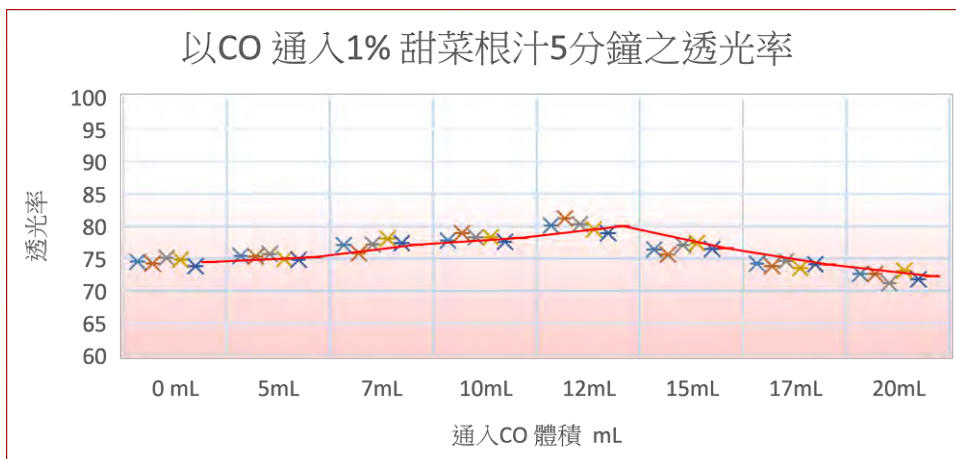


圖 5-1

#### 2. 以 CO 通入 1% 甜菜根汁 10 分鐘後 測量透光率

表 5-2 通入 1% 甜菜根汁 10 分鐘後

透光率	0 mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	74.5	76.1	76.5	77.2	82.3	88.5	76.8	71.6
2	74.2	75.8	76.3	77.6	82.4	86.5	77.5	70.8
3	75.1	75.7	77.1	78.9	83.1	87.2	75.6	71.6
4	74.8	75.1	77.5	78.3	84.5	87.1	77.5	73.1
5	73.8	74.8	77.6	76.9	80.3	86.4	76.9	74.2
平均值	74.48	75.5	77	77.78	82.52	87.14	76.86	72.26

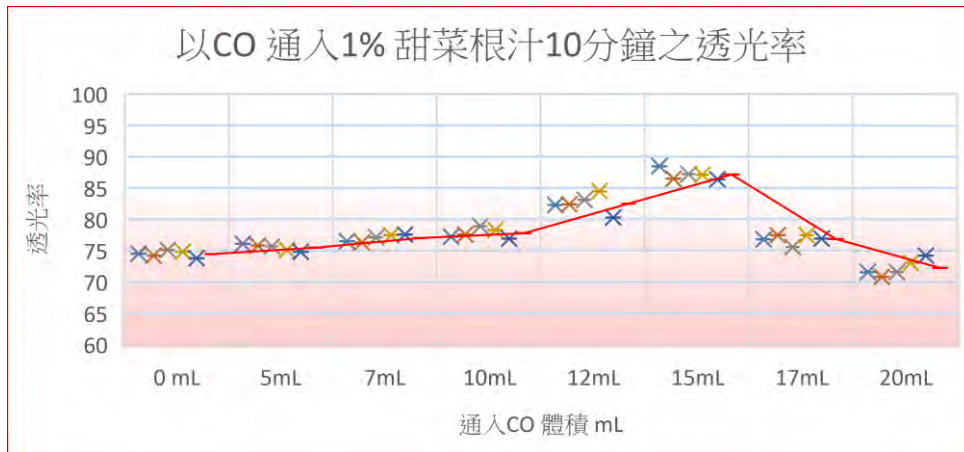


圖 5-2

3 · 以 CO 通入 1.5% 甜菜根汁 5 分鐘後 測量透光率

表 5-3 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後

透光率	0 mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	75.6	78.6	78.1	93.8	90.2	86.4	85.5	83.7
2	75.8	77.4	78.9	88.9	87.2	85.2	84.6	82.4
3	75.3	78.5	78.6	88.5	87.4	84.9	82.1	81.1
4	75.6	77.8	79.5	89.3	86.6	85.1	83.6	80.6
5	75.1	76.8	77.5	90.2	87.5	84.6	84.1	80.4
平均值	75.48	77.82	78.52	90.14	87.78	85.24	83.98	81.64

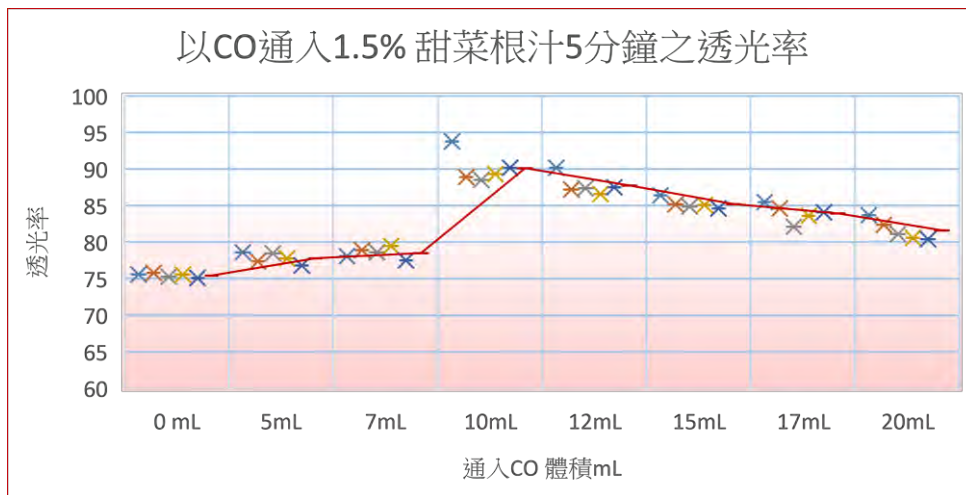


圖 5-3

4. 以 CO 通入 1.5% 甜菜根汁 10 分鐘後 測量透光率

表 5-4 通入 1.5% 甜菜根汁 10 分鐘後

透光率	0 mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	75.6	76.5	78.2	80.3	85.8	86.7	84.2	84.2
2	75.8	77.1	77.9	84.5	86.8	86.4	86.1	80.2
3	75.3	76.2	77.8	82.6	87.5	88.4	84.5	80.6

4	75.6	75.9	76.8	84.2	86.9	87.6	85.5	81.5
5	75.1	76.2	77.5	83.6	88.1	88.8	86.4	84.5
平均值	75.48	76.38	77.64	83.04	87.02	87.58	85.34	82.2

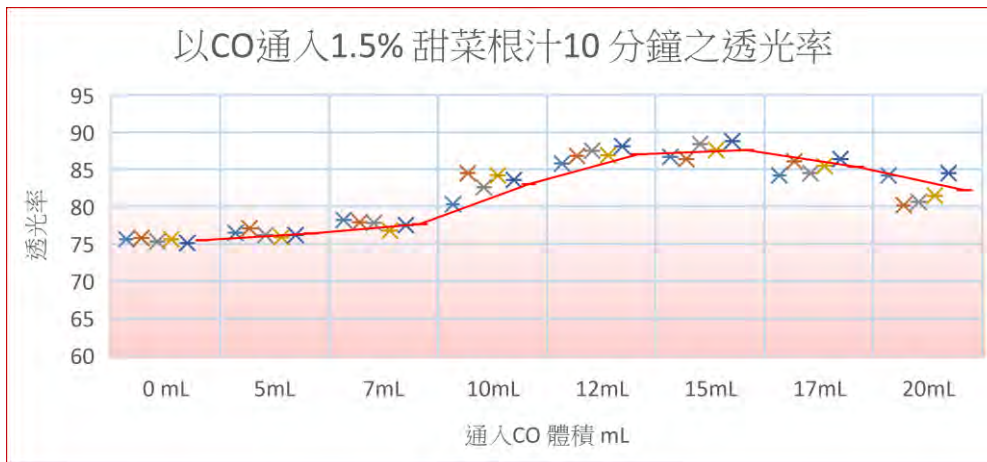
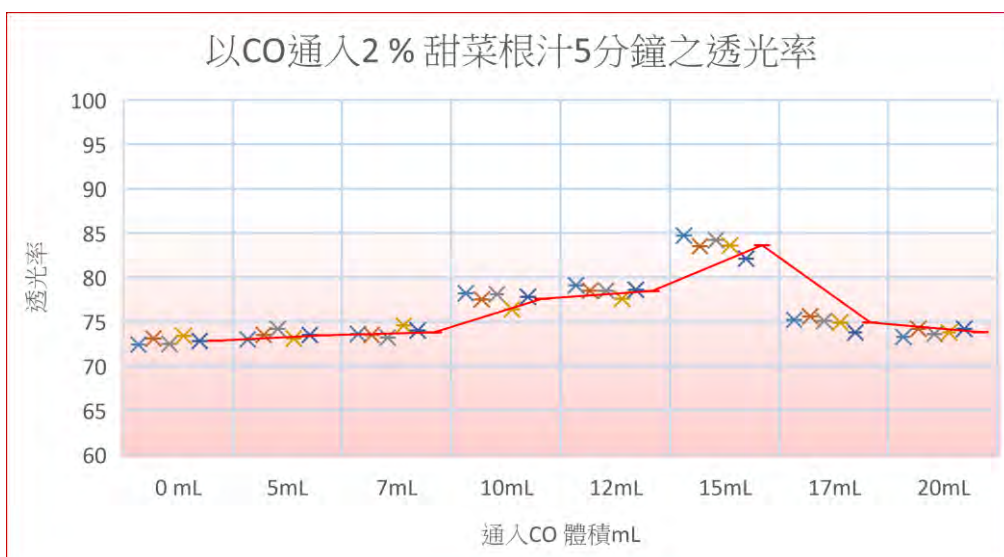


圖 5-4

5. 以 CO 通入 2 % 甜菜根汁 5 分鐘後 測量透光率

表 5-5 通入 1.5% 甜菜根汁 5 分鐘後

透光率	0 mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	72.4	73	73.6	78.2	79.1	84.7	75.2	73.3
2	73.1	73.5	73.5	77.5	78.5	83.5	75.6	74.2
3	72.5	74.2	73.2	78.1	78.5	84.2	75.1	73.6
4	73.4	73.1	74.6	76.4	77.6	83.6	74.9	73.8
5	72.8	73.5	74	77.8	78.6	82.1	73.8	74.2
平均值	72.84	73.46	73.78	77.6	78.46	83.62	74.92	73.82



6. 以 CO 通入 2 % 甜菜根汁 10 分鐘後 測量透光率

表 5-6 通入 1.5% 甜菜根汁 10 分鐘後

透光率	0 mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	72.4	72.8	73.6	78.6	79.5	80.1	76.5	73.1
2	73.1	73	74.1	78.5	78.4	83.2	77.4	75.4
3	72.5	72.5	73.8	78.4	79.6	80.1	76.2	73.6
4	73.4	73.4	74	77.5	77.8	82.5	75.4	74.6
5	72.8	73.5	73.8	77.8	79.4	84.1	77.5	75.1
平均值	72.84	73.04	73.86	78.16	78.94	82	76.6	74.36

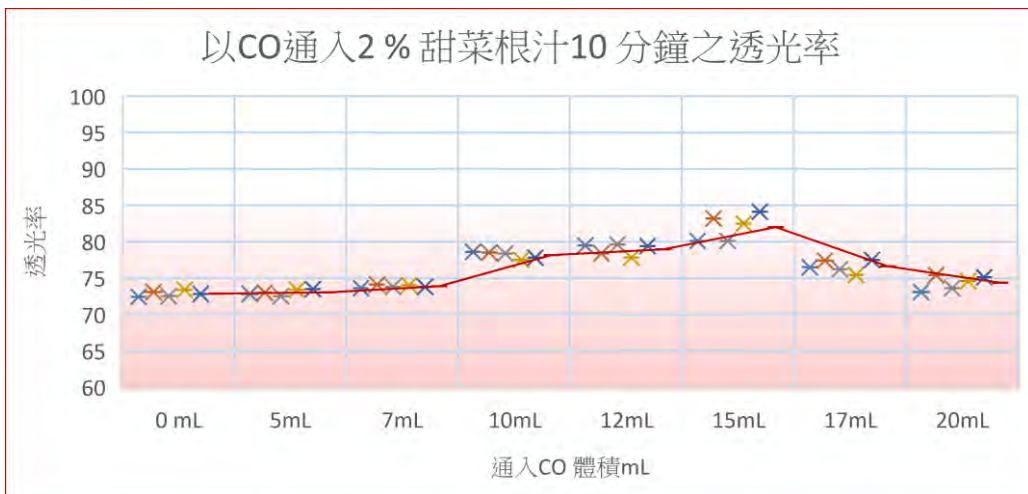


圖 5-6

7. 以 CO 通入 3 % 甜菜根汁 5 分鐘後 測量透光率

表 5-7 通入 3 % 甜菜根汁 5 分鐘後

透光率	0 mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	45.8	48.5	58.2	58.2	61.9	54.5	56.5	55.1
2	49.5	49.7	55.2	57.4	60.5	55.2	53.4	53.1
3	48.5	48.7	55.8	56.2	58.2	54.3	55.2	54.1
4	45.9	49.5	54.6	55.1	55.6	55.6	56.4	55.3
5	48.2	48.2	57.2	57.8	60.1	54.4	55.1	54.6
平均值	47.58	48.92	56.2	56.94	59.26	54.8	55.32	54.44

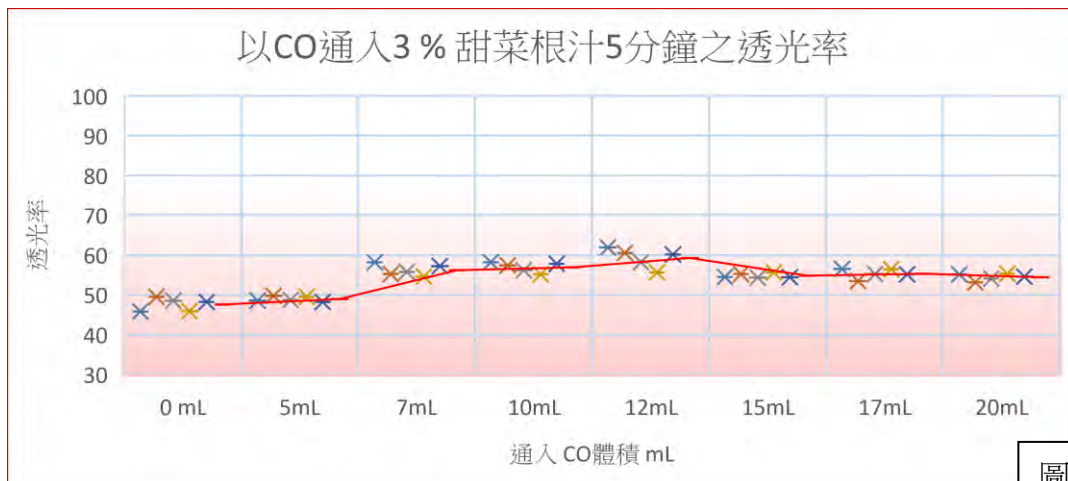


圖 5-7

8. 以 CO 通入 3 % 甜菜根汁 10 分鐘後 測量透光率

表 5-8 通入 3 % 甜菜根汁 10 分鐘後

透光率	0 mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	45.8	46.5	55.2	56.2	58.1	55.4	56.4	55
2	49.5	48.4	56.1	56.6	57.6	56.3	55.4	53.6
3	48.5	48.7	54.3	55.6	56.1	57.8	56.8	54.8
4	45.9	46.5	55.1	56.2	58.1	56.4	56.1	56.9
5	48.2	48.3	55.6	56.1	58.6	55.6	58.1	54.6
平均值	47.58	47.68	55.26	56.14	57.7	56.3	56.56	54.98

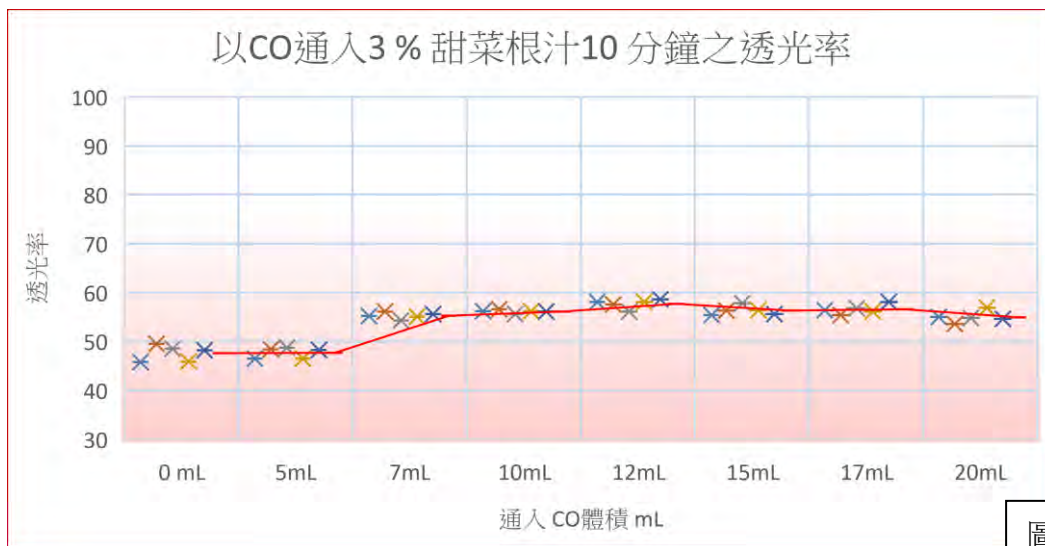


圖 5-8

【小結】：根據實驗數據結果

通入 CO 氣體五分鐘及十分鐘於 1%、1.5%、2%、3% 甜菜根汁後，發現透光率有明顯差異，將其圖表相互比較後，發現

1. 於 1%、1.5%、2% 甜菜根汁中，通入 CO 氣體 5 分鐘與 10 分鐘後，大約都在 12~15 mL



處透光率最高，表示甜菜紅素在通入 12mL 至 15mL 時，顏色略為變淡，與推測血液中血紅素與 CO 結合時將從暗紅色變為櫻桃紅。

2. 於 1%、1.5%、2% 甜菜根汁中的透光率，可看出有甜菜紅素與 CO 結合的關係圖，但在 3% 甜菜根中的透光值，大都維持在 50 左右，推測 3% 甜菜根汁因為濃度過高，導致透光率下降，並且無法看出甜菜紅素與 CO 結合的趨勢關係。

3. 由各甜菜根汁濃度的透光率分析，以 1%、1.5% 甜菜根汁，通入 CO 氣體時，能有效於分光光度計測出數值。

(二) 利用排水集氣法製造 CO<sub>2</sub>，各自取出體積為 5ml、7ml、10ml、12ml、15ml、17ml、20ml 通入甜菜根汁中，通入後五分鐘及十分鐘時利用分光光度計測量其透光率，經實驗結果整理如下表，並繪製出透光率與通入體積關係圖

1. 以 CO<sub>2</sub> 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後 測量透光率

表 5-9 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後

透光率	0mL	5mL	7mL	10ml	12mL	15ml	17mL	20ml
1	74.5	68.8	69.7	62.2	61.6	61.4	58.4	53.4
2	74.2	61.2	68.8	66.7	65.2	62.4	59.2	61.9
3	75.1	65.3	67.8	65.4	63.5	61.8	56.4	55.4
4	74.8	68.2	68.5	63.8	62.8	60.4	58.6	56.8
5	73.8	67.5	69.3	66.1	63.5	61.9	54.6	54.1
平均值	74.48	66.2	68.82	64.84	63.32	61.58	57.44	56.32

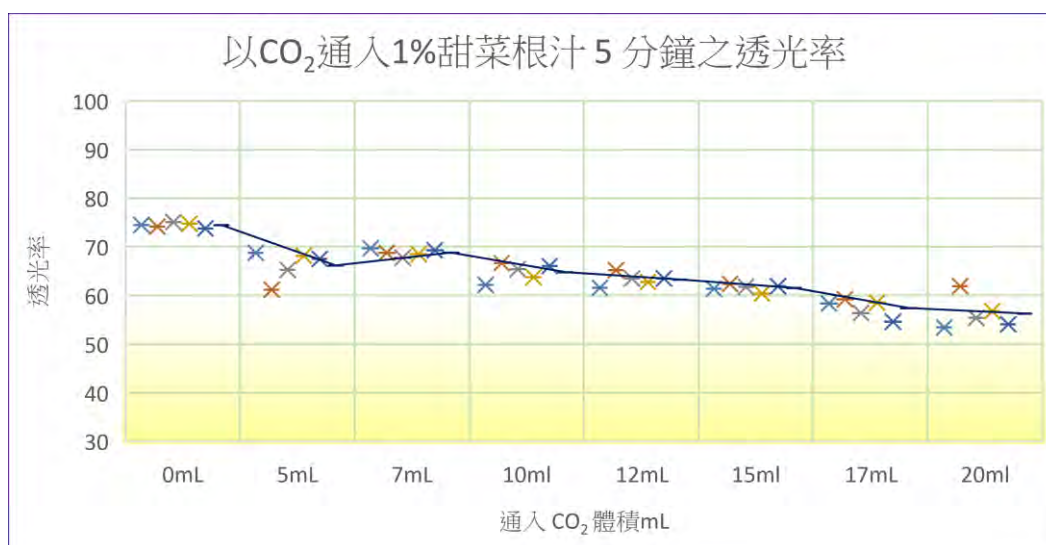


圖 5-9

2. 以 CO<sub>2</sub> 通入 1% 甜菜根汁 10 分鐘後 測量透光率

表 5-10 通入 1% 甜菜根汁 10 分鐘後

透光率	0mL	5mL	7mL	10ml	12mL	15ml	17mL	20ml
1	74.5	65.8	68.7	63.2	62.5	61.2	59.8	54.2
2	74.2	64.6	68.4	67.5	63.4	60.5	58.9	55.3
3	75.1	65.4	68.7	64.5	64.2	62.8	57.9	56.4
4	74.8	67.8	65.8	68.4	63.5	63.5	55.6	55.2
5	73.8	66.6	67.9	65.7	64.8	62.6	56.9	56.1
平均值	74.48	66.04	67.9	65.86	63.68	62.12	57.82	55.44

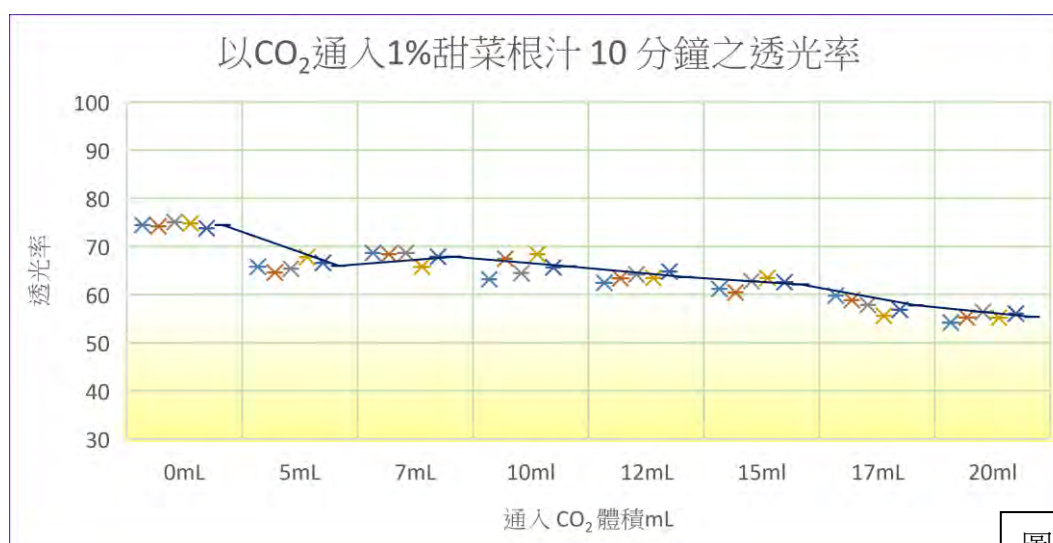


圖 5-10

(三) 利用排水集氣法製造 O<sub>2</sub>，各自取出體積為 5ml、7ml、10ml、12ml、15ml、17ml、20ml 通入甜菜根汁中，通入後五分鐘及十分鐘時利用分光光度計測量其透光率，經實驗結果整理如下表，並繪製出透光率與通入體積關係圖

1. 以 O<sub>2</sub> 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後 測量透光率

表 5-11 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後

透光率	0mL	5ml	7mL	10ml	12mL	15ml	17mL	20ml
1	74.5	75.2	76.5	75.6	77.5	78.4	77.4	76.8
2	75.8	75.6	76.2	77.5	76.4	76.2	76.5	75.5
3	75.2	74.6	75.9	76.4	75.8	76.2	75.6	75.9
4	74.6	76.2	75.8	77.1	77.1	75.6	77.1	76.4
5	75.5	75.6	77.5	76.5	75.6	76.8	76.4	76.8
平均值	75.12	75.44	76.38	76.62	76.48	76.64	76.6	76.28

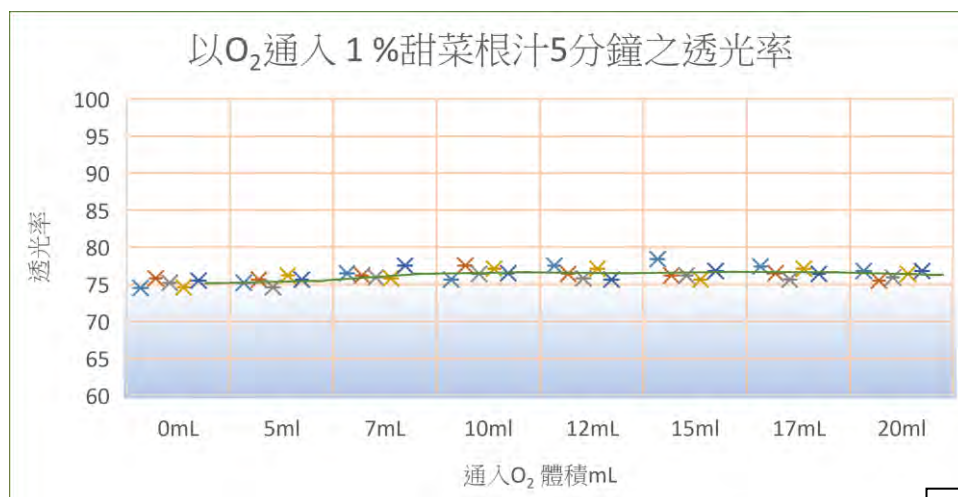


圖 5-11

2. 以 O<sub>2</sub> 通入 1% 甜菜根汁 10 分鐘後 測量透光率

表 5-12 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後

透光率	0mL	5ml	7mL	10ml	12mL	15ml	17mL	20ml
1	74.5	74.6	77.5	75.6	76.5	77.2	77.5	75.4
2	75.8	75.4	76.4	76.8	77.2	78.9	76.5	75.6
3	75.2	76.2	76.2	78.2	77.8	77.8	75.2	76
4	74.6	75.1	76.5	77.6	76.5	76.8	76.3	75.9
5	75.5	76.2	77.3	78.4	78.4	75.8	77.5	76.4
平均值	75.12	75.5	76.78	77.32	77.28	77.3	76.6	75.86

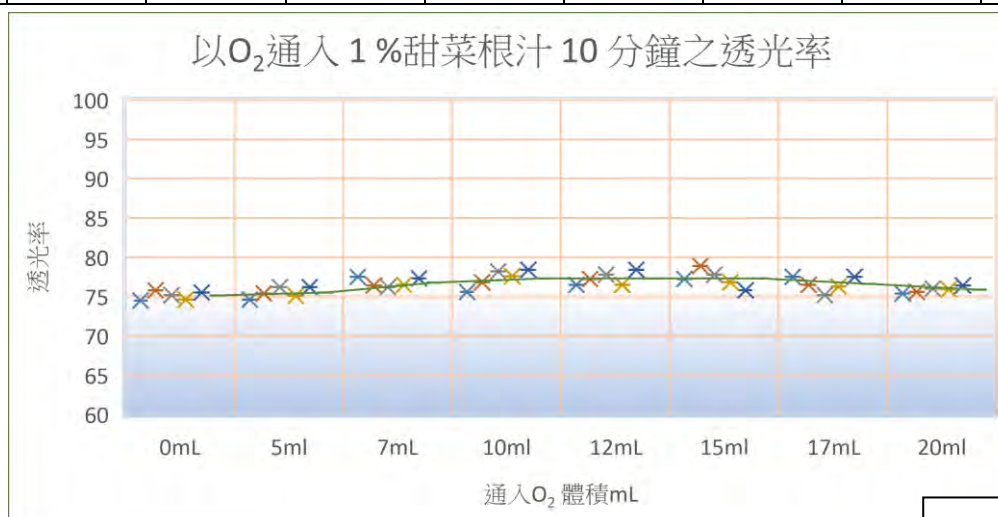


圖 5-12

【小結】：

1. 通入 CO<sub>2</sub> 氣體於甜菜根汁中，發現其透光率沒有明顯變化，並且數值均維持在 50 左右，推測 CO<sub>2</sub> 氣體與甜菜紅素的結合率不高，且顏色略微暗紅，導致透光率低。
2. 通入 O<sub>2</sub> 氣體於甜菜根汁中，發現其透光率也沒有明顯變化，並且數值均維持在 75

左右，推測甜菜紅素本身就能與氧結合，因此其顏色上無明顯變化。

- 以 CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 通入甜菜根汁的透光率比較其與血紅素的親和力，推測為 CO > O<sub>2</sub> > CO<sub>2</sub>。

(四) 利用排水集氣法製造 O<sub>2</sub> 及 CO<sub>2</sub>，各自取出體積為 5ml、7ml、10ml、12ml、15ml、17ml、20ml 通入甜菜根汁中，通入後五分鐘及十分鐘時利用分光光度計測量其透光率，經實驗結果整理如下表，並繪製出透光率與通入體積關係圖。

- 以 O<sub>2</sub> 及 CO<sub>2</sub> 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後 測量透光率

表 5-13 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後

透光率	0mL	5mL	7mL	10ml	12mL	15ml	17mL	20ml
1	73.5	75.2	76.5	79.1	83.7	79.5	80.6	82.1
2	74.5	75.8	77.5	80.2	82.1	80.6	79.5	80.1
3	75.1	76.5	76.9	80.6	83.5	82.1	83.1	79.8
4	74.6	75.9	77.4	81.6	86.1	85.6	83.6	78.6
5	73.6	76.5	78.2	82.1	84.5	83.8	80.4	77.5
平均值	74.26	75.98	77.3	80.72	83.98	82.32	81.44	79.62

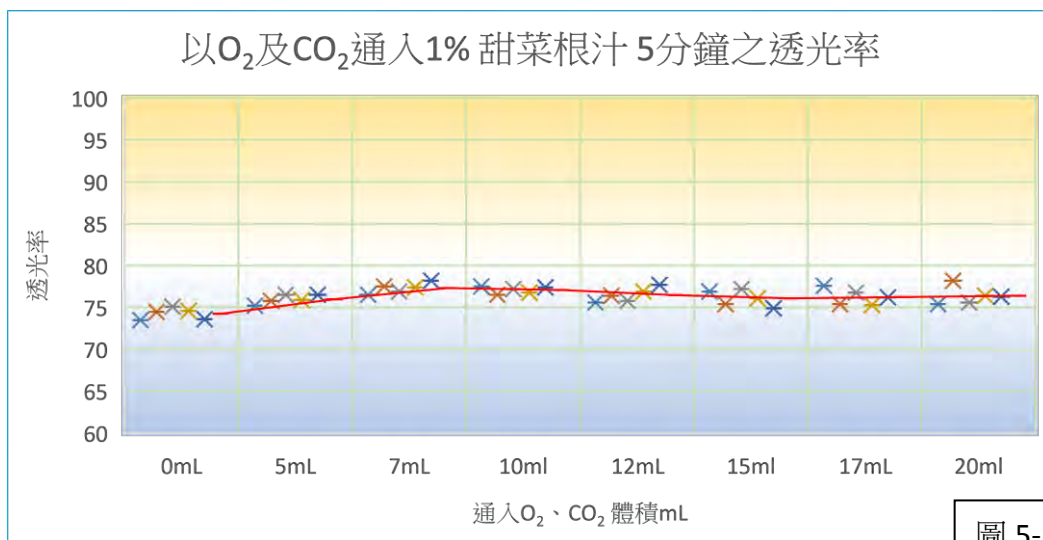


圖 5-13

- 以 O<sub>2</sub> 及 CO<sub>2</sub> 通入 1% 甜菜根汁 10 分鐘後 測量透光率

表 5-14 通入 1% 甜菜根汁 10 分鐘後

透光率	0mL	5mL	7mL	10ml	12mL	15ml	17mL	20ml
1	73.2	74.2	77.8	79.6	84.1	82.1	79.8	80.2
2	74.1	73.5	78.6	81.6	83.2	83	80.2	79.8
3	75.3	74.6	78.4	82.1	84.5	82.4	80.3	77.8

4	75.4	75.8	80.5	80.6	84.8	83.3	81.8	79.5
5	74.6	75.6	78.9	81.7	82.6	82.8	78.9	79.6
平均值	74.52	74.74	78.84	81.12	83.84	82.72	80.2	79.38

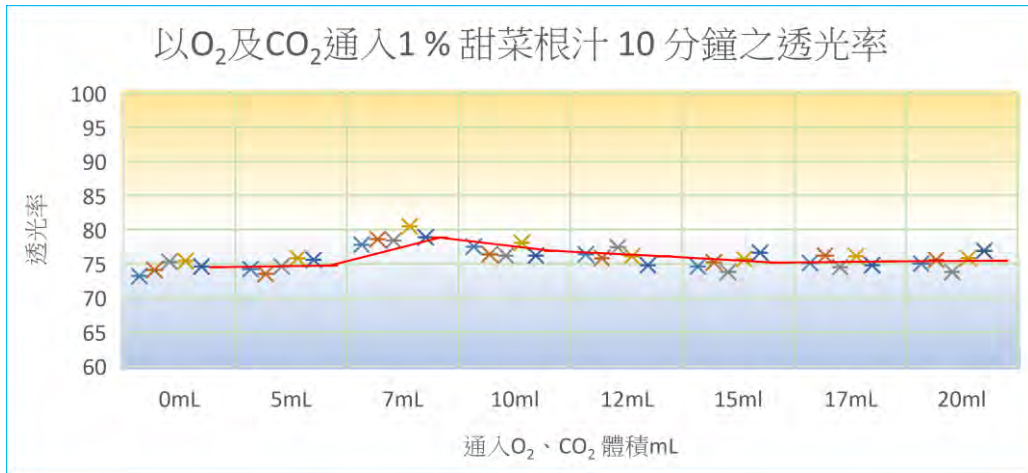


圖 5-14

(五) 利用排水集氣法製造  $O_2$  及  $CO$ ，各自取出體積為 5ml、7ml、10ml、17ml、20ml 通入甜菜根汁中，通入後五分鐘及十分鐘時利用分光光度計測量其透光率，經實驗結果整理如下表，並繪製出透光率與通入體積關係圖

1. 以  $O_2$  及  $CO$  通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後 測量透光率

表 5-15 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘後

透光率	0mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	75.1	79.4	78.3	80.5	83.4	78.6	75.6	74.2
2	74.6	78.5	79.6	81.5	82.5	75.9	74.2	75.1
3	73.5	79.4	81.2	82.3	83.4	78.5	75.4	74.3
4	75.1	76.9	80.4	83.4	85.8	77.6	74.6	73.2
5	75.4	77.7	78.9	82.6	84.8	78.2	75.5	74.6
平均值	74.74	78.38	79.68	82.06	83.98	77.76	75.06	74.28

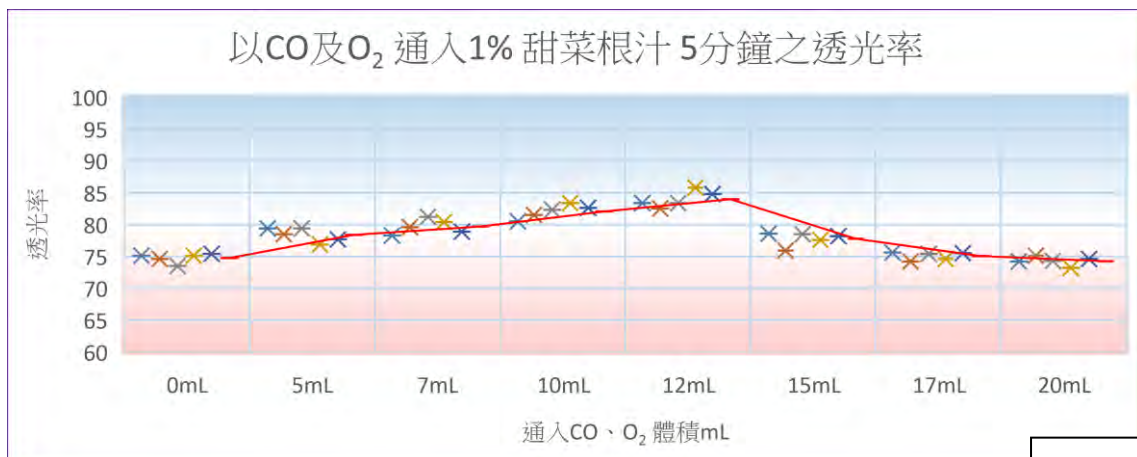
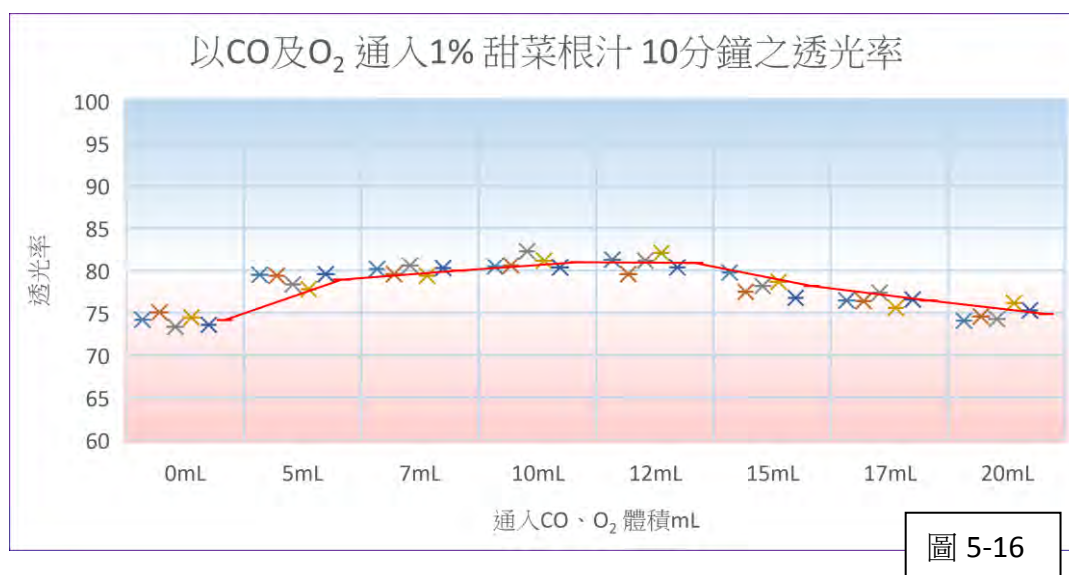


圖 5-15

2. 以 O<sub>2</sub> 及 CO 通入 1% 甜菜根汁 10 分鐘後 測量透光率

表 5-16 通入 1% 甜菜根汁 10 分鐘後

透光率	0mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	74.2	79.5	80.2	80.5	81.3	79.8	76.5	74.1
2	75.1	79.4	79.6	80.6	79.6	77.5	76.4	74.6
3	73.4	78.4	80.6	82.3	81.2	78.2	77.4	74.3
4	74.5	77.8	79.4	81.2	82.1	78.7	75.6	76.2
5	73.6	79.6	80.3	80.4	80.4	76.8	76.6	75.3
平均值	74.16	78.94	80.02	81	80.92	78.2	76.5	74.9



3. 以 O<sub>2</sub> 及 CO 通入 1.5% 甜菜根汁 5 分鐘後 測量透光率

表 5-17 通入 1.5% 甜菜根汁 5 分鐘後

透光率	0mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	74.2	79.5	80.1	81.2	85.3	86.4	78.8	85.6
2	75.1	79.4	80.4	82.3	84.2	87.4	79.8	85.4
3	73.4	78.4	81.2	80.8	83.6	86.5	80.1	76.4
4	74.5	77.8	79.4	82.1	85.1	85.4	82.2	77.8
5	73.6	79.6	80.3	83	84.9	84.8	80.6	76.6
平均值	74.16	78.94	80.28	81.88	84.62	86.1	80.3	80.36

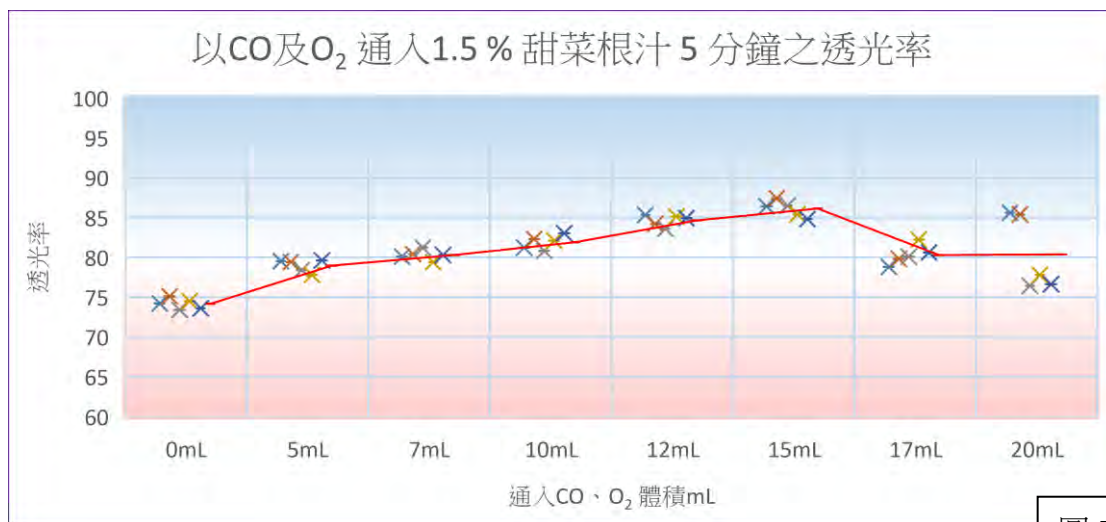


圖 5-17

4. 以 O<sub>2</sub> 及 CO 通入 1.5% 甜菜根汁 10 分鐘後 測量透光率

表 5-18 通入 1.5 % 甜菜根汁 10 分鐘後

透光率	0mL	5mL	7mL	10mL	12mL	15mL	17mL	20mL
1	76.8	78.2	81.5	82.5	85.2	86.4	80.1	81.2
2	74.6	77.8	82.3	84.3	85.4	85.8	79.8	80.4
3	75.3	76.9	82.8	82.6	86.1	86.5	80.5	81.3
4	75.6	78.9	83.1	83.7	84.8	85.4	79.6	80.8
5	74.1	78.4	80.8	84	83.9	84.1	80.6	81.2
平均值	75.28	78.04	82.1	83.42	85.08	85.64	80.12	80.98

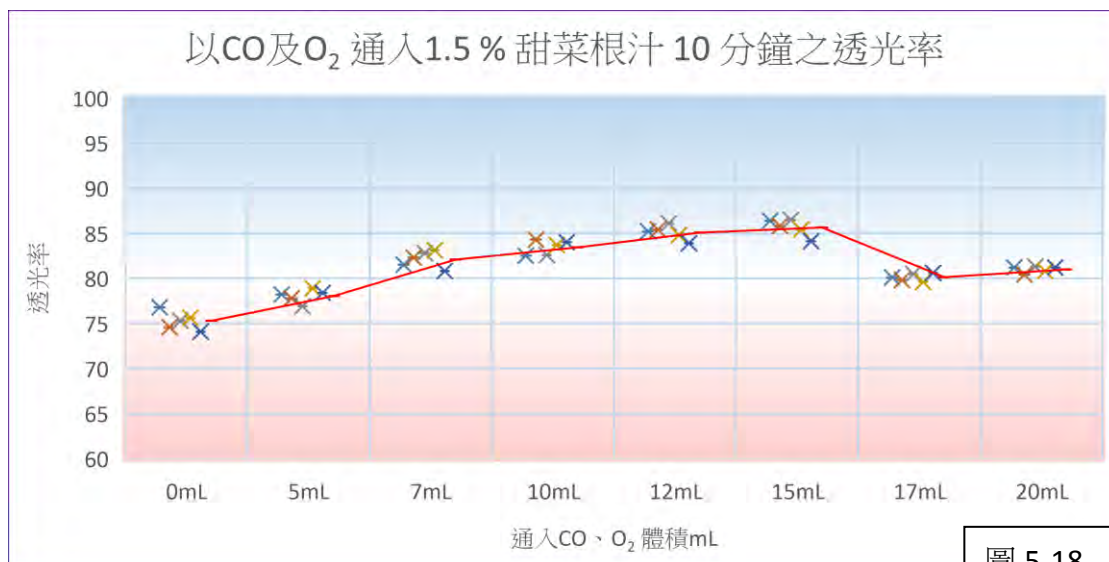


圖 5-18

【小結】：

1. 從甜菜根汁與 O<sub>2</sub> 與 CO<sub>2</sub> 及 O<sub>2</sub> 與 CO 結合的競爭實驗發現，發現甜菜根汁與 O<sub>2</sub> 與 CO<sub>2</sub> 的透光率與 O<sub>2</sub> 與甜菜根汁的實驗數據較為接近，推測兩者對於甜菜根汁中的

甜菜紅素的親和力為  $O_2 > CO_2$  ；但  $O_2$  與  $CO$  與甜菜根汁的透光率，則明顯與  $CO$  與甜菜根汁的透光率相近，推測  $CO$  與甜菜紅素的親和力優於  $O_2$ ，此與人體血紅素與  $CO$  的親和力相符合。

2. 從氣體  $O_2$  與  $CO$  與 1%、1.5% 甜菜根汁的透光率分析，1.5% 甜菜根汁能吸收的  $CO$  氣體，高於 1%，換言之，甜菜根汁濃度越高，吸收的  $CO$  氣體體積應該越高。

## 二、 探討不同氣體通入甜菜根汁中 pH 值之比較

經過前面透光率的實驗，我們發現  $O_2$  及  $CO$  對甜菜根汁的反應較為明顯，因此我們利用通入  $O_2$  及  $CO$  的甜菜根汁來做 pH 值的比較。

分別將 10ml 的  $O_2$  及  $CO$  通入甜菜根汁中，靜待 10 分鐘後，滴在廣用試紙上，觀察其顏色變化。

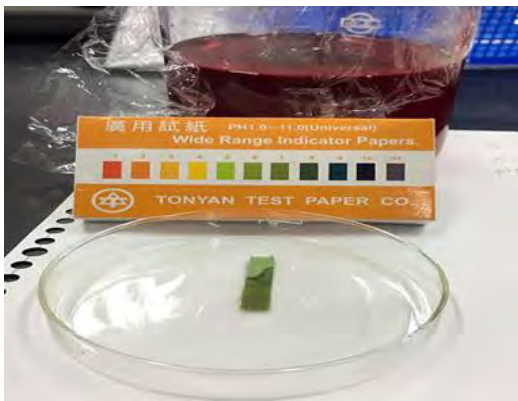


圖 5-19 稀釋後甜菜根汁 pH 值檢測

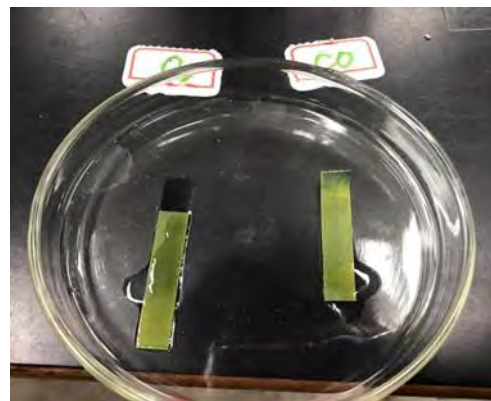


圖 5-20 通入氣體十分鐘後的 pH 值檢測

由實驗結果得知

原汁的 pH 值接近 7，而通入  $O_2$  的甜菜根汁和通入  $CO$  的甜菜根汁 pH 值皆偏酸性，因此推論，血紅素吸收  $O_2$  或  $CO$  時 pH 會是酸性。

## 三、 探討不同氣體通入甜菜根汁中顯微鏡下的觀察

經過前面透光率及吸光值的實驗，我們發現  $O_2$  及  $CO$  對甜菜根汁的反應較為明顯，因此我們觀察通入  $O_2$  及  $CO$  後的甜菜根汁在顯微鏡下的變化。

分別將 10ml 的  $O_2$  及  $CO$  通入密封處理的甜菜根汁中，靜待 10 分鐘後，迅速取一滴液體在載玻片上，蓋上蓋玻片，以顯微鏡放大 600 倍觀察其變化，其變化如圖所示。



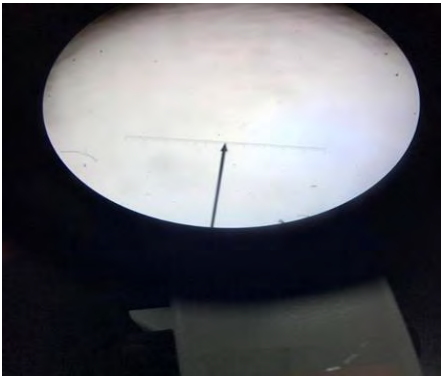


圖 5-21 原甜菜根汁

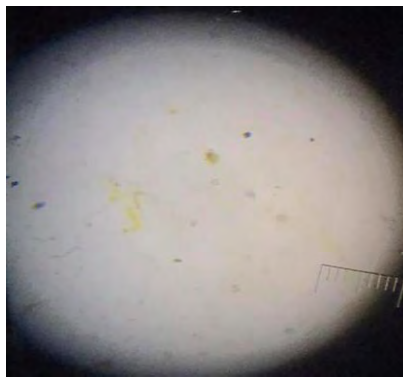


圖 5-22 通入 CO 的甜菜根汁

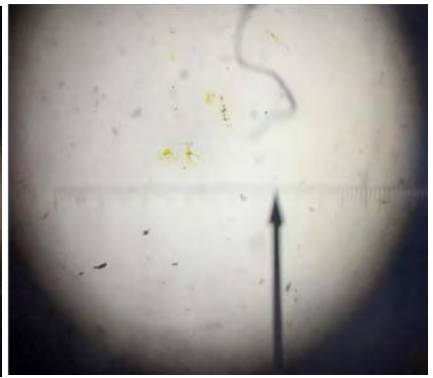


圖 5-23 通入 O<sub>2</sub> 的甜菜根汁

由實驗結果得知：

原甜菜根汁中什麼都看不見，然而通入 CO 及 O<sub>2</sub> 的甜菜根汁後皆會產生一種黃黃的物質，推測甜菜根汁與 CO 及 O<sub>2</sub> 的確會有反應產生，但目前無法推測是何種產物。

#### 四、 探討加入何種物質能使甜菜根通入氣體後變化更明顯

(一) 我們發現滴入氫氧化鈉及氫氧化鈣的甜菜根汁會由紅轉黃(如圖 5-24)，所以我們想是否能透過酸鹼值的不同，來讓甜菜根汁的變化更加明顯，於是我們將變黃的甜菜根汁中滴入鹽酸，發現溶液果然又變回紅色(如圖 5-25)。

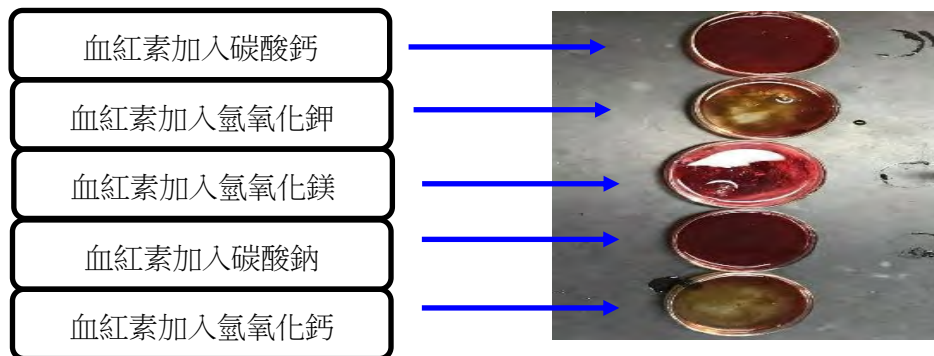


圖 5-24 在甜菜根汁中滴入不同的鹼性物質

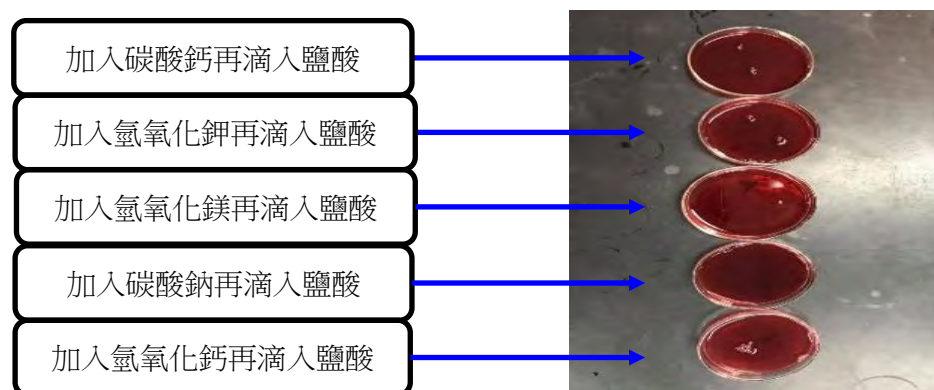


圖 5-25 再滴入鹽酸在各溶液當中

由實驗結果得知:

1. 溶液的酸鹼值將會影響甜菜根汁的顏色。
2. 欲使一開始甜菜根汁變成黃色，滴入的物質必須鹼性夠強。

(二) 我們從文獻得知，甜菜根中有兩種色素，紅色的甜菜紅素以及黃色的甜菜黃素，其中，我們發現當 pH 值大於 9 時，甜菜紅素將會變成甜菜黃素，使稀釋液由紅轉黃。於是，我們想利用 CO 通入甜菜根汁中，使其稀釋液變成酸性，讓甜菜黃素轉回成甜菜紅素，溶液黃轉紅。

我們先測的 CO 水溶液的酸鹼性(如圖 5-18)，再將 CO 通入先行通入過鹼性物質，具有甜菜黃素的甜菜根汁。



圖 5-26 用廣用試紙檢測 CO 水溶液之酸鹼



圖 5-27 將 CO 通入黃色甜菜根汁中

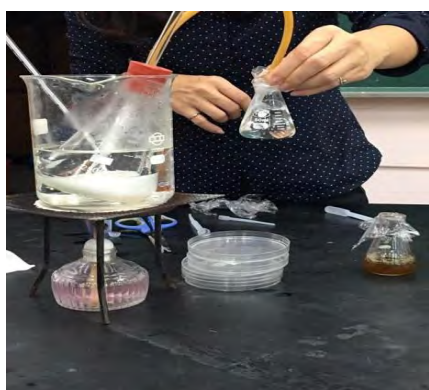


圖 5-28 檢驗甜菜根汁是否變回紅色

由實驗結果可知

1. CO 溶於水中為酸性。
2. 將 CO 通入已滴入鹼變黃色的甜菜根汁，發現的確會變回紅色的甜菜根汁。

(三) 測定甜菜根通入 CO 後的莫耳體積濃度

1. 將 CO 通入 20ml 水中 5 分鐘。
2. 以 0.1M 的 NaOH 滴定，發現花掉 28.3ml NaOH，推得通入 5 分鐘 CO 的  $C_M$  約為 0.143M。

#### (四) 純化甜菜根汁，以利未來應用

1. 將甜菜根以少許水混合，以慢速研磨機磨成汁液，將甜菜根汁與固體渣分離，以低溫冷凍將其乾燥至粉末(如圖 5-21)，製成純度較高的甜菜根粉末，通入鹼性溶液使甜菜根汁 pH 維持在 9 左右，通入 CO 氣體並計算變回紅色時，所需 CO 濃度。
2. 自製甜菜根汁試紙，已知鹼性甜菜根汁在通入 CO 後變回紅色，因此，以純化後的甜菜根粉末加入少量蒸餾水，以濾紙重複浸泡，每次浸泡 5 分鐘，再拿至烘箱以 50 度烘乾，重複 5 次。



圖 5-21 純化甜菜根汁與渣 冷凍處理

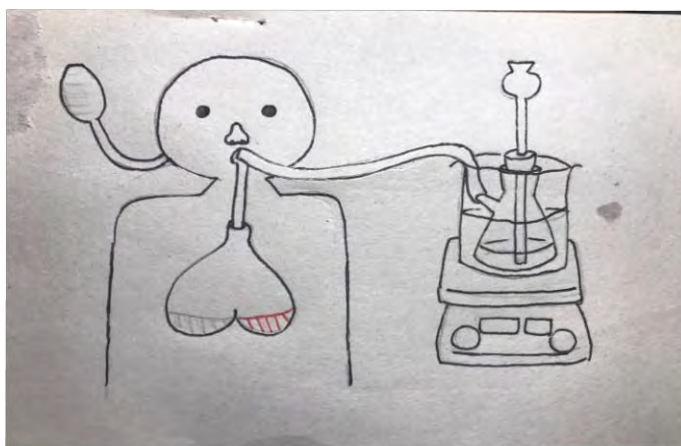


圖 5-22 簡易檢測模型

## 陸、結果討論

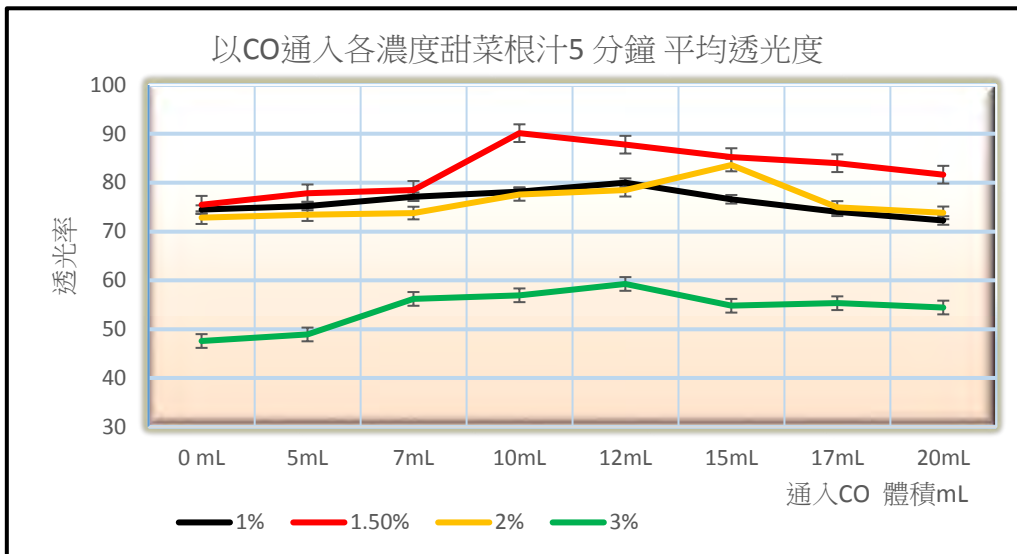


圖 6-1 甜菜根濃度與 CO 結合關係

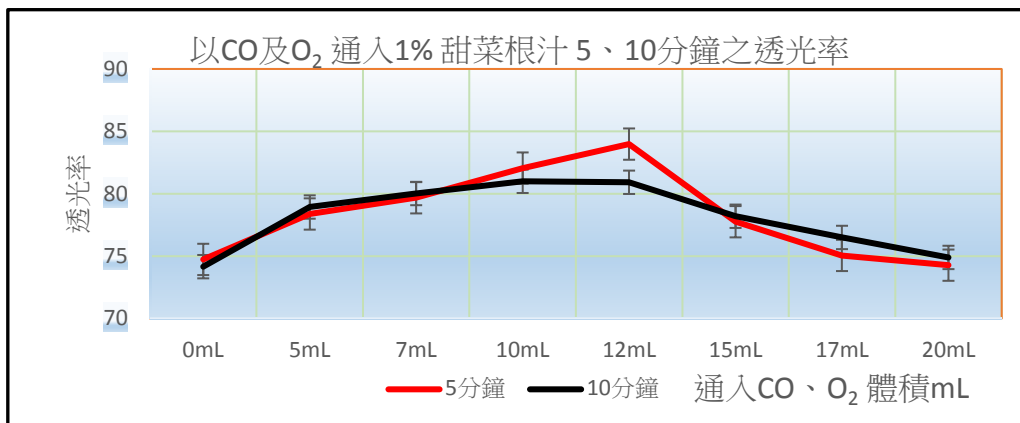


圖 6-2 CO、O<sub>2</sub> 與甜菜紅素的結合競爭

### 一、 探討不同氣體通入甜菜根汁中透光率之比較

將氣體 CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 分別通入甜菜根汁中，以通入 CO<sub>2</sub> 的甜菜根汁透光率最低，推測甜菜根汁與 CO<sub>2</sub> 結合為三者最差；其中以通入 CO 的甜菜根汁透光率最高，推測甜菜根汁與 CO 結合為三者最高。推論 CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 與甜菜根汁中的甜菜紅素結合為 CO > O<sub>2</sub> > CO<sub>2</sub>，與文獻中一氧化碳與體內血紅素的親和力比氧氣與血紅素的親和力高約 200 倍的理論相符；另，一氧化碳中毒最明顯的症狀即為異常櫻桃紅色的血，也與本實驗利用甜菜根汁與 CO 結合時，溶液顏色變淡相似，換

言之，以甜菜根作為植物血紅素替代人體血紅素檢驗一氧化碳的存在，為一種可行性的方法，此為本實驗最大發現。

## 二、 探討甜菜根汁濃度與 CO 結合關係

由圖 6-1 比較，通入 CO 氣體五分鐘及十分鐘於 1%、1.5%、2% 甜菜根汁後，發現大約都在 10~15 mL 處透光率有明顯變高，表示甜菜根汁中的甜菜紅素在通入 10mL 至 15mL 時，顏色略為變淡，推測甜菜根汁的甜菜紅素與 CO 結合時溶液顏色變淡，透光率較高。且甜菜根濃度在配置成 1.5%時，能吸收較多 CO 氣體，其次為 2%、1%。另外，由 3% 甜菜根汁中的透光值發現，大都維持在 50 左右，推測 3% 甜菜根汁因為濃度過高，導致透光率下降，並且無法看出甜菜紅素與 CO 結合的趨勢關係。因此，本實驗發現，若以分光光度計量測 CO 與甜菜根汁中甜菜紅素的結合性，其濃度不宜過高，並建議調配成 1.5 % 效果較佳。

## 三、 探討 CO、O<sub>2</sub> 與甜菜紅素的結合競爭

由圖 6-2 比較，通入 12mL 的 O<sub>2</sub> 與 CO 於 1% 甜菜根汁五分鐘及十分鐘時，透光度均有明顯升高，其透光度數值與 CO 通入 1.5%、2% 甜菜根汁透光值相近，再與表 5-11、5-12 對照，O<sub>2</sub> 通入 1% 甜菜根汁透光率幾乎維持在 75 左右，推測在兩種氣體同時與甜菜根汁中的甜菜紅素結合時，CO 與甜菜紅素的結合力高於 O<sub>2</sub>，但兩者同時存在時，其透光率明顯高於 1%甜菜根汁的透光率，推測兩者同時能與甜菜根汁的甜菜紅素結合。此實驗再次驗證，甜菜根汁中的甜菜紅素與氣體結合力為 CO > O<sub>2</sub> > CO<sub>2</sub>。

## 四、 探討不同氣體通入甜菜根汁中 pH 值

甜菜根原汁的 pH 值接近 7，通入 O<sub>2</sub> 的甜菜根汁和通入 CO 的甜菜根汁 pH 值皆偏弱酸性；通入鹼性物質如 NaOH、Ca(OH)<sub>2</sub> 等溶液，將會出現黃色，若再以酸性溶液滴入，則會變紅紅色，推測甜菜根汁具有可作為酸鹼指示劑的性質。本實驗利用甜菜根據有甜菜紅素及甜菜黃素，而以 pH=9 為臨界，pH > 9 甜菜紅素會轉變成甜菜黃素；pH < 9 甜菜黃素會轉變成甜菜紅素，使之溶液有明顯的顏色變化，並以酸鹼滴

定計算出通入 5 分鐘 CO 氣體的溶液，其濃度約為 0.143 M，藉此希望換算出可檢測的一氧化碳濃度。雖然甜菜根汁與 O<sub>2</sub> 也會形成弱酸顏色，但根據結果討論三，可確認當空氣中有 CO 存在時，此一變色將視為 CO 與甜菜紅素的變化，而非氧氣。

## 五、 探討不同氣體通入甜菜根汁中顯微鏡下的觀察

以甜菜根原汁及通入 CO 及 O<sub>2</sub> 的甜菜根汁，各取一滴於顯微鏡下放大 600 倍觀察，發現原汁中並無物質產生，但根據圖 5-2 2、5-2 3 中，通入 CO 及 O<sub>2</sub> 的甜菜根汁後皆會產生一種黃黃的物質，推測甜菜根汁與 CO 及 O<sub>2</sub> 的確會有反應產生，但目前無法推測是何種產物，不過，這個發現也與文獻中人體血紅素為攜帶氧氣功能，且易與一氧化碳結合性質相似，驗證植物血紅素與人體血紅素的相似性。

## 六、 探討加入何種物質能使甜菜根通入氣體後變化更明顯

由結果討論四得知，甜菜根汁中的甜菜紅素具有酸鹼指示劑性質，並且在 pH > 9 甜菜紅素會轉變成甜菜黃素、pH < 9 甜菜黃素會轉變成甜菜紅素，因此，本實驗將設計兩種簡易檢測 CO 氣體裝置，一為乾式甜菜紅素試紙，以及濕式溶液變色器，作為兼具環保、低成本、便利的鑑測工具。

## 柒、未來展望

- 一、 由於每年因一氧化碳中毒而喪失生命或急救事件眾多，鑑此，本實驗希望由甜菜根中的甜菜紅素與人體血紅素具有相似性，且甜菜紅素確實對一氧化碳氣體有高吸收度與高結合力，開發出更簡易輕便且有效偵測一氧化碳的工具。
- 二、 由顯微鏡中發現，通入 CO 及 O<sub>2</sub> 的甜菜根汁後皆會產生一種黃黃的物質，推測甜菜根汁與 CO 及 O<sub>2</sub> 的確會有反應產生，但我們目前無法推測是何種產物，而這個發現與文獻中人體血紅素為攜帶氧氣功能，且易與一氧化碳結合性質相似，驗證植物血紅素與人體血紅素的相似性，引此，期待未來能繼續研究，或提供未來研究者探究方向。

## 捌、參考資料

- 江宣儀、葉名倉：「血紅素」，科技部高瞻自然科學教育平台，2010。
- 李佩玲「影響居家一氧化碳中毒關鍵因子現況調查與實證」東南科技大學碩士論文，2011。
- 林增記、許順傑(2013)。急性中毒救命術 AILS。載於社團法人台灣急診醫學會(主編)，一氧化碳中毒(頁 243)。台北市：金名圖書有限公司。
- 翁世洋，防範一氧化碳中毒居家防災安全診斷，2016。Lechtenberg, R., & Schutta, H. S. (1998). Neurology practice guidelines. New York:M. Dekker.
- 曾國輝,“大學生物化學,”藝軒書局,台北,45-86,1993.
- 薛慶福、邱彥文、林宏榮、嚴元隆、蘇世斌(2008) 燒炭自殺所致一氧化碳中毒病患之臨床分析。中華職業醫學雜誌，15（2），頁 121-129。
- <http://enews.nfa.gov.tw/issue/961025/images/radio.htm>
- <http://www.skh.org.tw/blood/451new.html>
- <http://www.acttr.com/tw/tw-faq/tw-faq-uv-vis/132-tw-faq-uv-vis-advantage-disadvantage.html>(國家教育研究院)
- <https://wenku.baidu.com/view/43bad78a8468762caaed5c3.html>
- <http://archive.am730.com.hk/article-237451>
- <http://susan-plant-kingdom.blogspot.tw/2014/12/hemoglobulin.html>
- [http://www.at-creative.com/client/cd\\_menu/cu\\_science\\_cd/fscommand/chinese/chi\\_spectroscopy.pdf](http://www.at-creative.com/client/cd_menu/cu_science_cd/fscommand/chinese/chi_spectroscopy.pdf)

## 【評語】 030818

1. 本研究主要是探討甜菜根的血紅素吸收一氧化碳的能力，進一步做為檢測空氣中一氧化碳含量的簡易工具。理論背景有清楚的說明，實驗設計與對照的二氧化碳、氧氣吸收實驗，均很清楚地呈現與討論，也證實了甜菜根的血紅素吸收與偵測一氧化碳的可行性。內容有趣。
2. 一氧化碳為有毒氣體，宜有適當的監控與安全防護措施說明。
3. 文獻分析待加強。
4. 尚未連結到未來可能應用與血紅素關係比較，較為可惜。研究以顏色判斷，似乎可以考慮量化，將會較佳。
5. 實用性待加強。



## 研究動機

母親為了家人健康，常將種植的蔬果植物打成果汁，讓家人飲用，其中以甜菜根汁的外觀最讓人感到害怕。母親為了說服我們，要我們上網找尋其營養資料，發現甜菜根其實具有植物性血紅素，而其植物性血紅素與人體血紅素竟有 60% 的相似度！於是我們聯想到冬季易發生一氧化碳中毒事件與相關的檢測應用，於是開始著手蒐集甜菜根的更多資訊，想要探討 CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 通入甜菜根汁的變化，並找出甜菜根汁與氣體結合時可能的應用方式

## 研究目的

2014 年瑞典隆德大學 (Lund University) 的研究團隊，在甜菜 (sugar beet, *Beta vulgaris ssp. vulgaris*) 裡面找到了四個血紅素的基因，並指出甜菜根裡的甜菜紅素性質接近人類的血紅素

因此，我們將以甜菜根汁為植物血紅素作為探討，以甜菜根汁與一氧化碳、二氧化碳、氧氣的結合情況，模擬人體血紅素與氣體結合情形，試圖藉此設計一個簡易檢測氣體的方法

本研究目的有：

- 一、探討甜菜根汁與一氧化碳、二氧化碳、氧氣的結合情況
- 二、利用分光光度計之分析，探討甜菜根汁與人體血紅素對一氧化碳、二氧化碳、氧氣的親和力是否有關
- 三、研究甜菜根汁作為簡易檢測一氧化碳氣體的可能性

## 實驗設備與器材

### 一、一般器材

刮勺、水槽、美工刀、大理石、廣口瓶、濾紙、培養皿、滴管、濾紙、玻璃片、漏斗、電子天平、量筒、注射針筒、薊頭漏斗、滴定管、刨絲刀、吸濾瓶、果汁機、錐形瓶、廣用試紙、洗滌瓶、試管、酒精燈、燒杯、三腳架、陶瓷纖維網

### 二、特殊器材與藥品

分光光度計、玻璃標準分液光槽、恆溫加熱器、離心機、顯微鏡、烘箱、冷凍乾燥機、鹽酸 33%~35%、雙氧水、硫酸、甲酸、二氧化錳、氫氧化鉀、碳酸鈉、氫氧化鈣、碳酸鈣、氫氧化鎂

### 三、自種甜菜根



## 實驗步驟與流程

### 一、文獻探討

比爾定律，又稱作比爾—朗伯定律(Beer-Lambert Law)

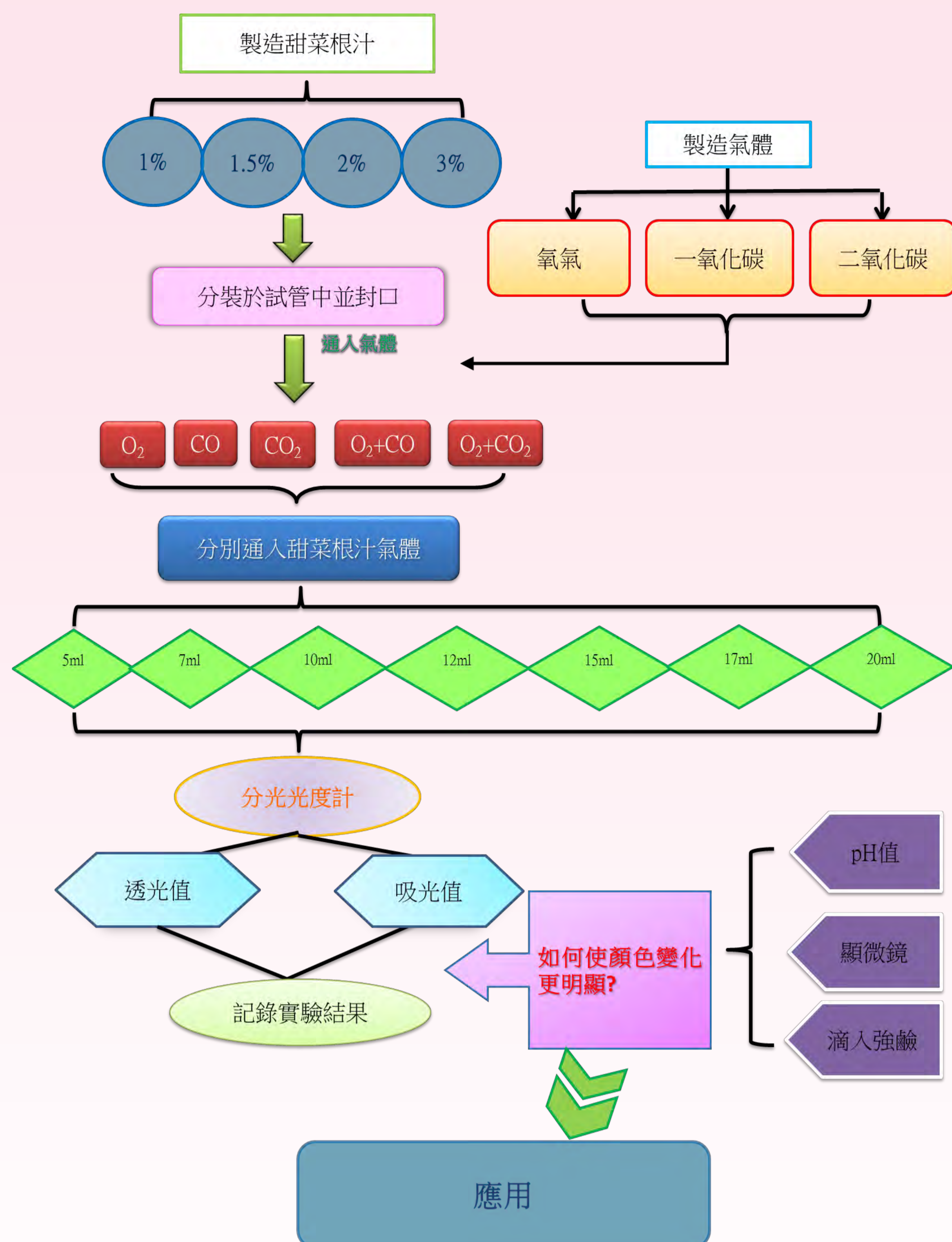
當連續光通過一溶液時，只有某一波長的光被吸收，此時吸光值的大小在藍伯定律(Lambert's law)中主要與盛裝溶液的厚度有關，公式如下

$$A = \log_{10} \frac{I_0}{I_t} = \log_{10} \frac{1}{T} = K \cdot l \cdot c$$

在光譜圖中除了以吸光度表示外，亦有透光率(percent transmittance ; T%)與透光度(transmittance ; t)可作選擇。—透光度為透射光的強度與入射光的強度比值 (即  $t = I/I_0$ )；—透光率則是將透光度以百分率來作表示 (即  $T = I/I_0 \times 100 = 100t$ )；當透光率的倒數取對數後即為吸光值(absorbance ; A)，其公式為

透光率(T)定義:(單位%)

$$T = \frac{I_1}{I_0}$$



### 二、實驗流程圖

### 三、製備研究材料

#### (一) 製作甜菜根汁

製作濃度 1%、1.5%、2%、3% 甜菜根汁



#### (二) 製備氣體

##### 1. 製備一氧化碳

將硫酸滴入吸濾瓶中 (如下圖一)，在恆溫加熱器上利用隔水加熱法，將水溫度控制在 60°C~80°C (如下圖二)，再緩緩加入甲酸，以排水集氣法並用針筒蒐集一氧化碳氣體 (如圖三)。



(圖一)



(圖二)



(圖三)

##### 2. 製備二氧化碳

將水倒入吸濾瓶中，並放入碎貝殼及大理石，以滴管吸取鹽酸再滴入薊頭漏斗中，利用排水集氣法並用廣口瓶蒐集 (前 30 秒不收集)

##### 3. 製備氧氣

將水倒入吸濾瓶中，並放入二氧化錳，以滴管吸取雙氧水滴入薊頭漏斗中，利用排水集氣法並用廣口瓶蒐集 (前 30 秒不收集)

#### (三) 觀察並測量甜菜根汁之透光率

1. 將混合各比例氣體的甜菜根汁分裝於試管當中，並以保鮮膜封口保存
2. 以針筒吸取各體積氣體通入甜菜根汁試管中，再以保鮮膜封口，靜置 5 分鐘及 10 分鐘
3. 觀察甜菜根汁通入氣體後的顏色變化，再測量甜菜根汁之透光率  
將分光光度計之波長調為 640nm 紅光、模式調為透光率，歸零後計錄顯示之數字

#### 四、CO 與甜菜根汁之生活應用

##### (一) 製作簡易檢測試紙

將濾紙剪成小長方形置於培養皿中，將甜菜根原汁滴入培養皿，利用烘箱調整溫度為 50 度烘乾，再滴入鹼液使之變成黃色，並控制 pH 為 9，重複浸泡烘烤 5 次。

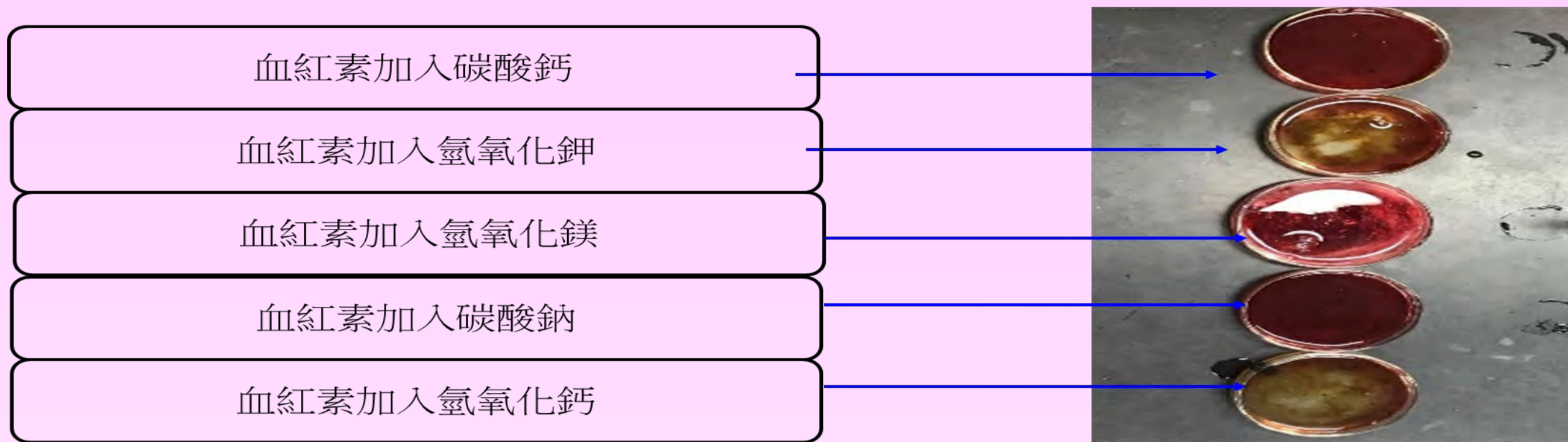
##### (二) 製作濃縮甜菜根汁粉末

將甜菜根汁以少許水混合，以慢速研磨機磨成汁液後，分離甜菜根汁與固體雜渣，並以低溫冷凍機將其水分抽離、乾燥至粉末備用

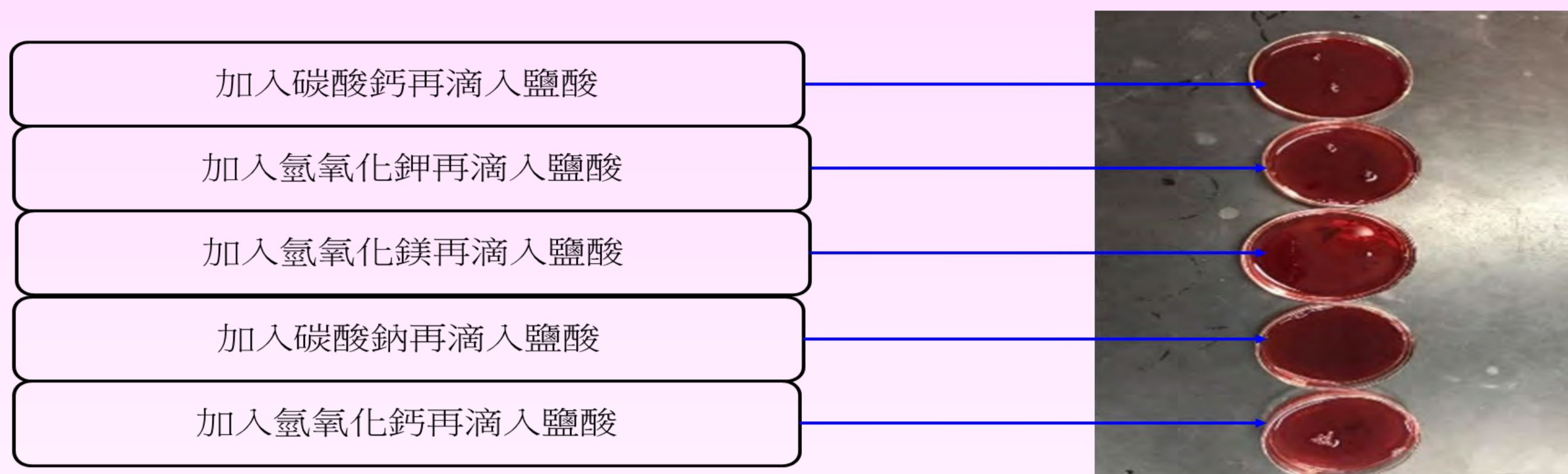
# 研究結果與討論

## 一、探討加入何種物質能使甜菜根通入氣體後變化更明顯

(一) 透過酸鹼值的不同，發現滴入氫氧化鈉及氫氧化鈣的甜菜根汁會由紅轉黃(如圖四)，反之，將變黃的甜菜根汁中再滴入鹽酸後，發現將變回紅色(如圖五)，甜菜根汁可作為酸鹼指示



圖四 在甜菜根汁中滴入不同的鹼性物質



圖五 再滴入鹽酸在各溶液當中

### 由實驗結果得知：

1. 溶液的酸鹼值將會影響甜菜根汁的顏色
2. 欲使一開始甜菜根汁變成黃色，滴入的物質必須鹼性夠強

(二) 從文獻得知，甜菜根中有兩種色素，紅色的甜菜紅素以及黃色的甜菜黃素。其中，當 pH 值大於 9 時，甜菜紅素將會變成甜菜黃素，使稀釋液由紅轉黃。利用此特性，我們將 CO 氣體通入甜菜根汁中，使其稀釋液變成酸性，以推測所需酸的濃度為何，藉此預測當以甜菜根汁作為簡易檢測 CO 濃度時，所需濃度為何？方法如圖六~八



圖六 用廣用試紙檢測CO水溶液之酸鹼



圖七 將CO通入黃色甜菜根汁中



圖八 檢驗甜菜根汁是否變回紅色

### 實驗結果得知：

1. CO 溶於水中為酸性
2. 將 CO 通入已滴入鹼變黃色的甜菜根汁，發現的確會變回紅色的甜菜根汁

### (三) 測定甜菜根通入 CO 後的莫耳體積濃度

1. 將 CO 通入 20ml 水中 5 分鐘。
2. 以 0.1M 的 NaOH 滴定，發現用去 28.3ml NaOH，推論通入 5 分鐘 CO 的  $C_m$  約為 0.143M

### (四) 純化甜菜根汁，以利未來應用

將甜菜根以少許水混合，以慢速研磨機磨成汁液後，分離甜菜根汁與固體雜渣，以低溫冷凍器將其乾燥至粉末(如圖九)，濃縮製成純度較高的甜菜根粉末



圖九 以冷凍乾燥器純化甜菜根汁與雜渣汁

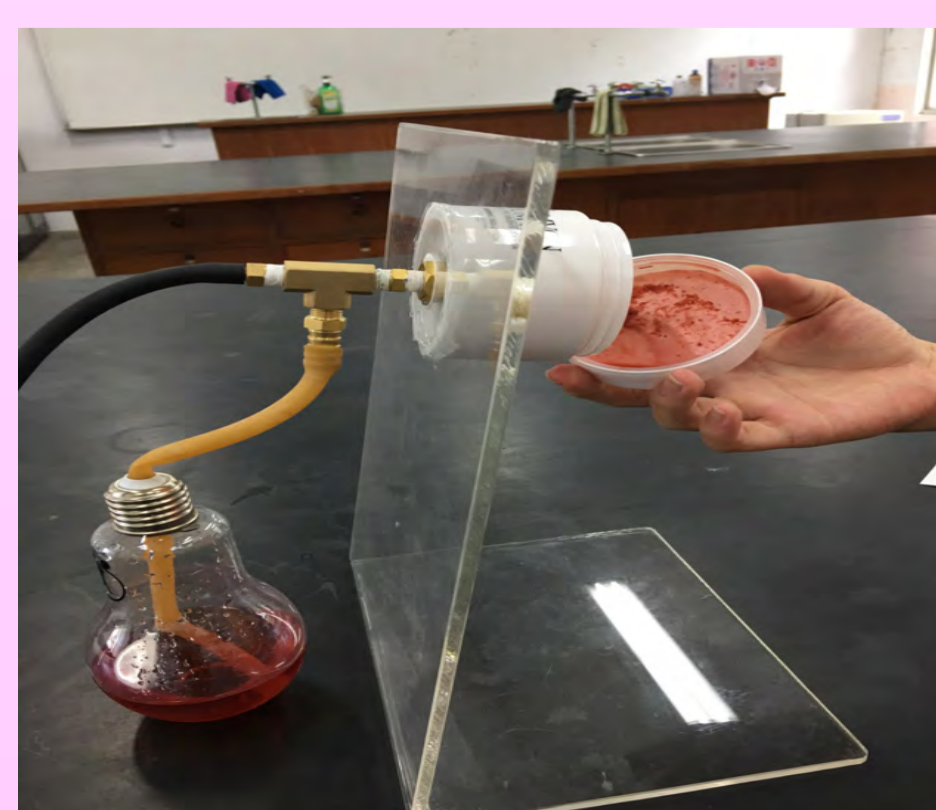
### 實驗結果得知：

利用濃縮粉末進行酸鹼變色實驗、及簡易檢測試紙實驗，所需濃縮粉末僅需 1g，加水後都能產生和原汁所做實驗得到的結果

### (五) 自製簡易檢測 CO 氣體 模型



圖十 溶液變色檢測

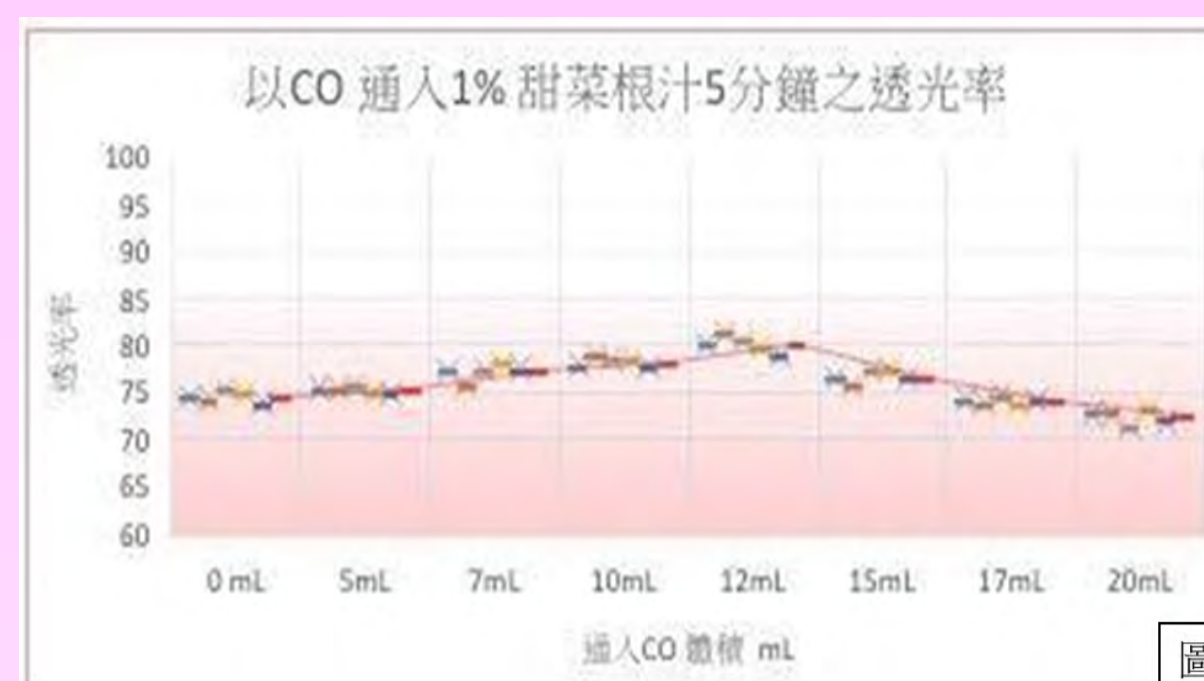


圖十一 試紙檢測

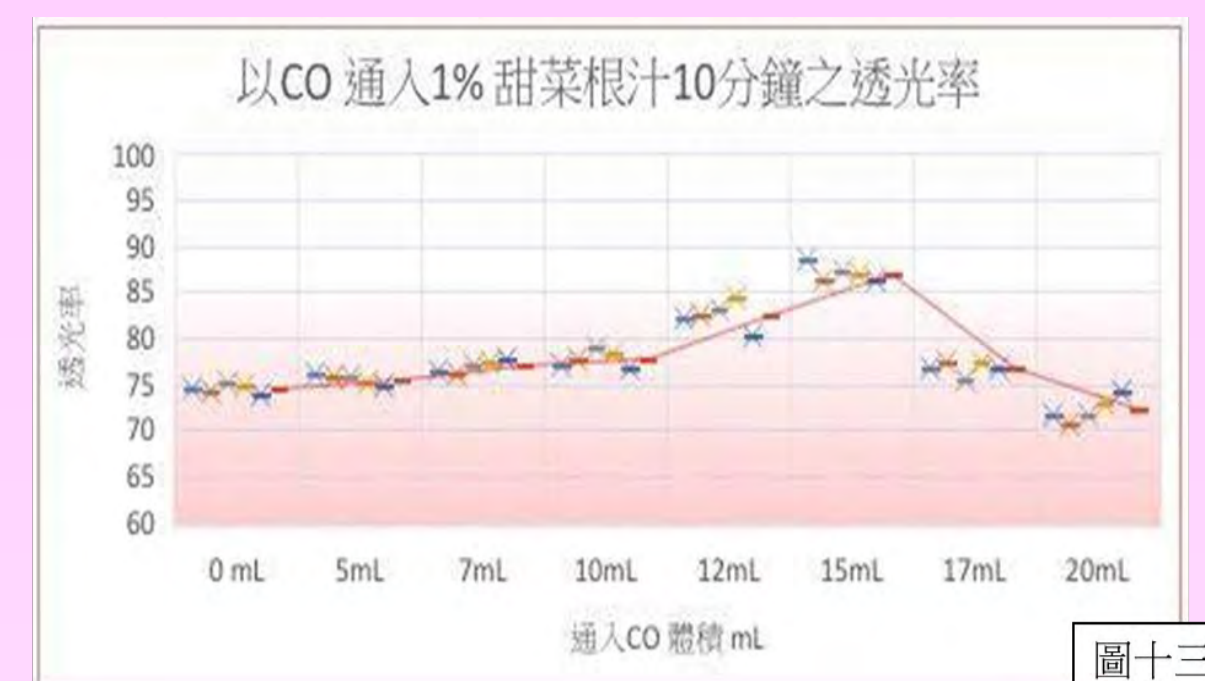
## 二、探討不同氣體通入甜菜根汁中透光率之比較

### (一) 通入一氧化碳 CO

通入不同體積之 CO 於 1%、1.5%、2%、3% 甜菜根汁 5 分鐘、10 分鐘後測量透光率



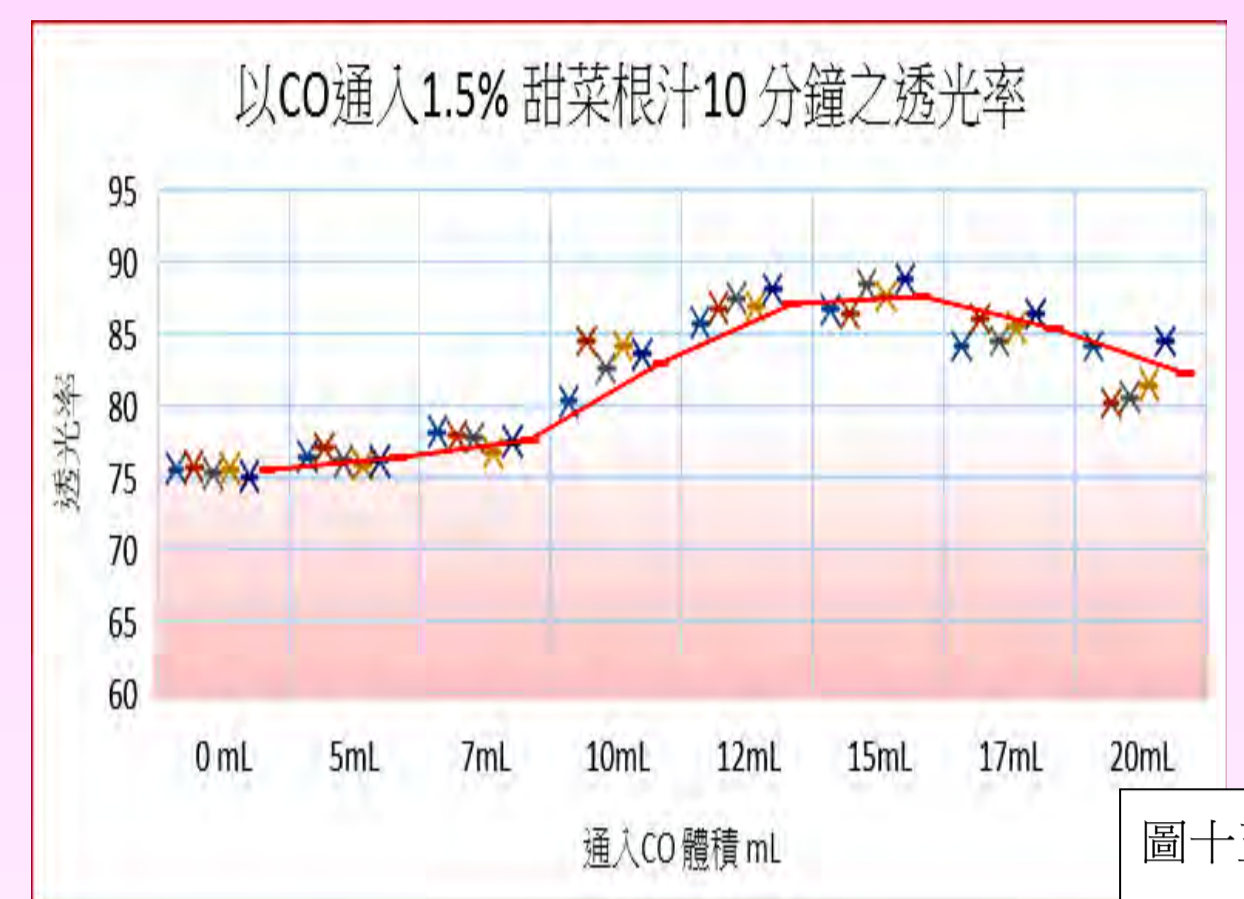
圖十二



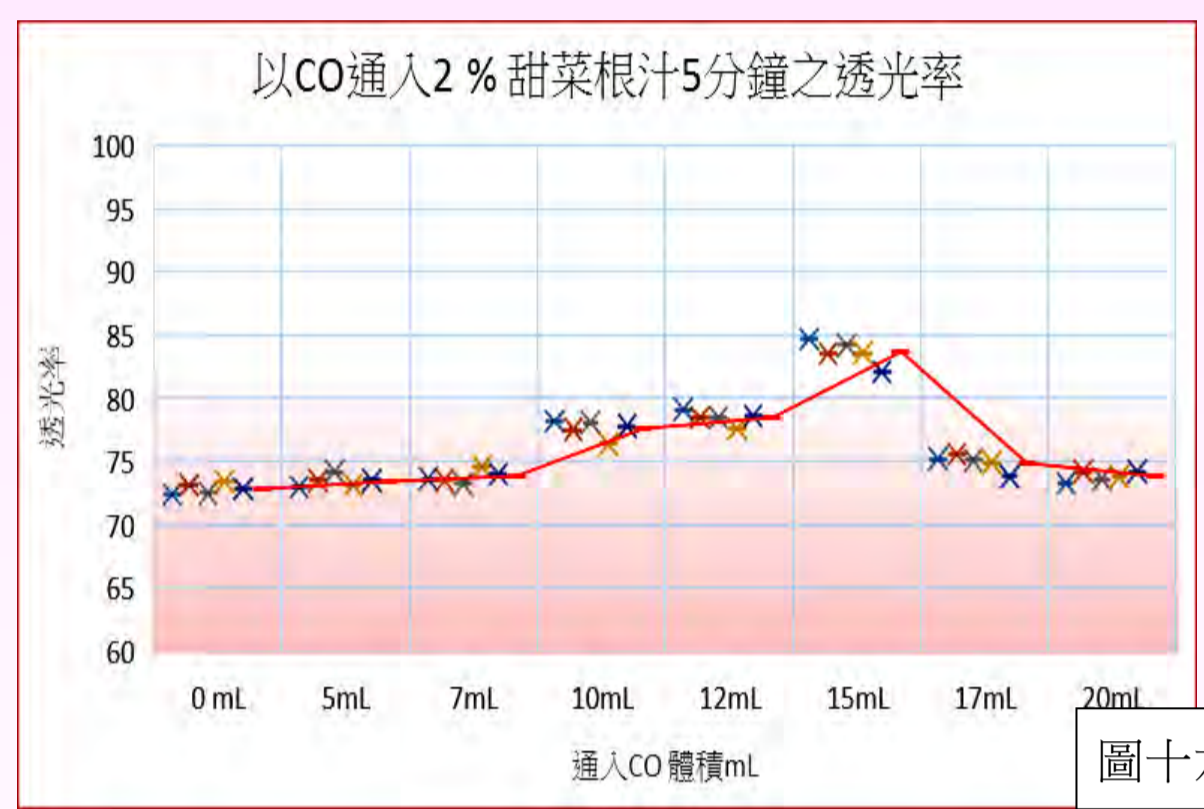
圖十三



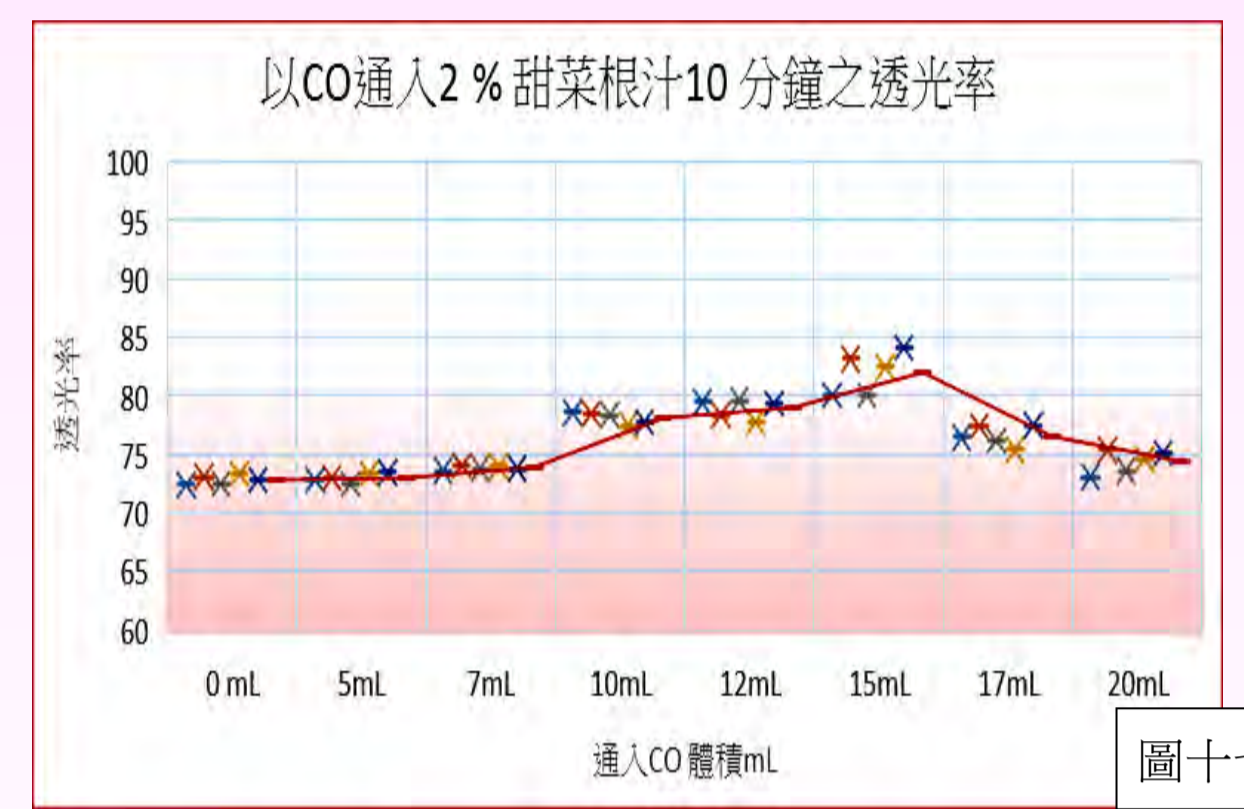
圖十四



圖十五



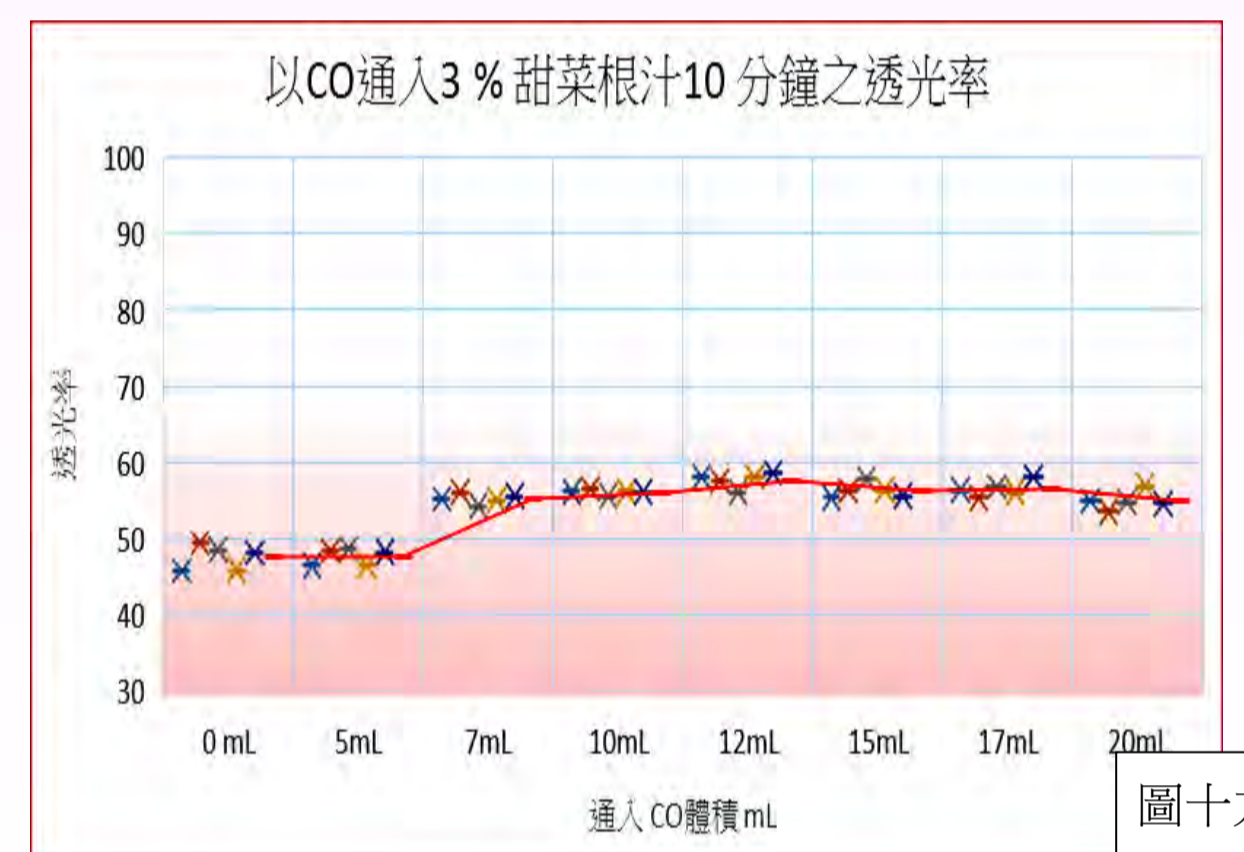
圖十六



圖十七



圖十八

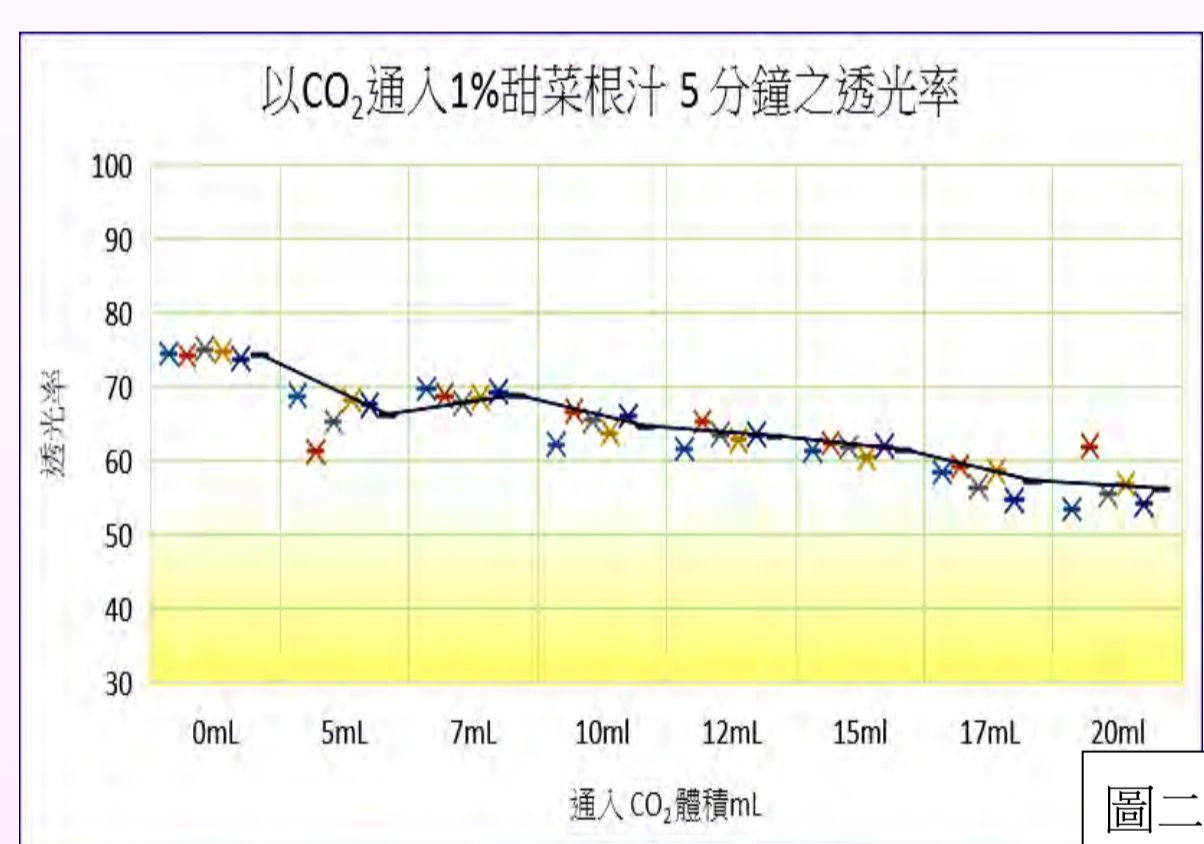


圖十九

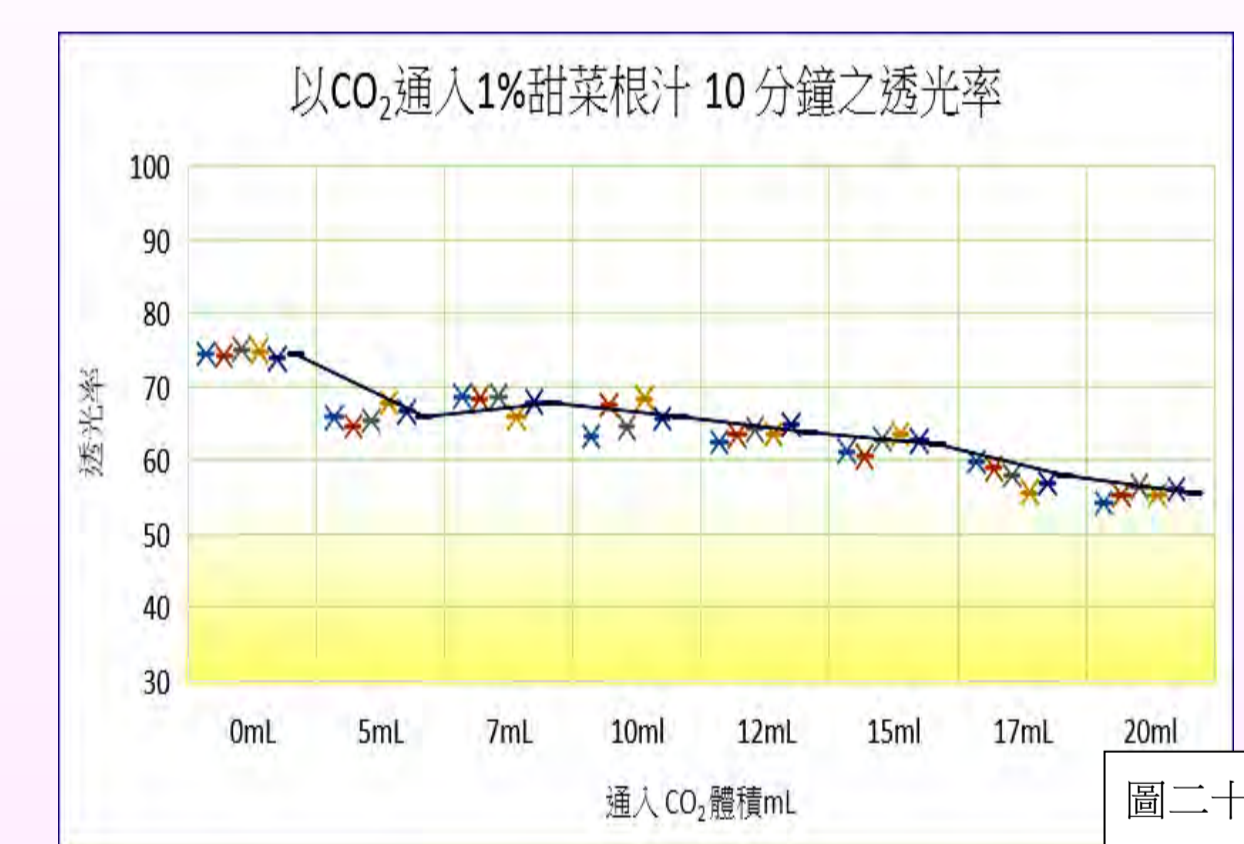
### 小結：

1. 於 1%、1.5%、2% 甜菜根汁中，通入 CO 氣體 5 分鐘與 10 分鐘後，大約都在 12 ~ 15 mL 處透光率最高
2. 於 1%、1.5%、2% 甜菜根汁中的透光率，可看出甜菜紅素與 CO 結合的關係圖，但在 3% 甜菜根中的透光值，大都維持在 50 左右，無法看出甜菜紅素與 CO 結合的趨勢關係。
3. 由各甜菜根汁濃度的透光率分析，以 1%、1.5% 甜菜根汁，通入 CO 氣體時，能有效於分光光度計測出數值。

### (二) 通入二氧化碳 CO<sub>2</sub>

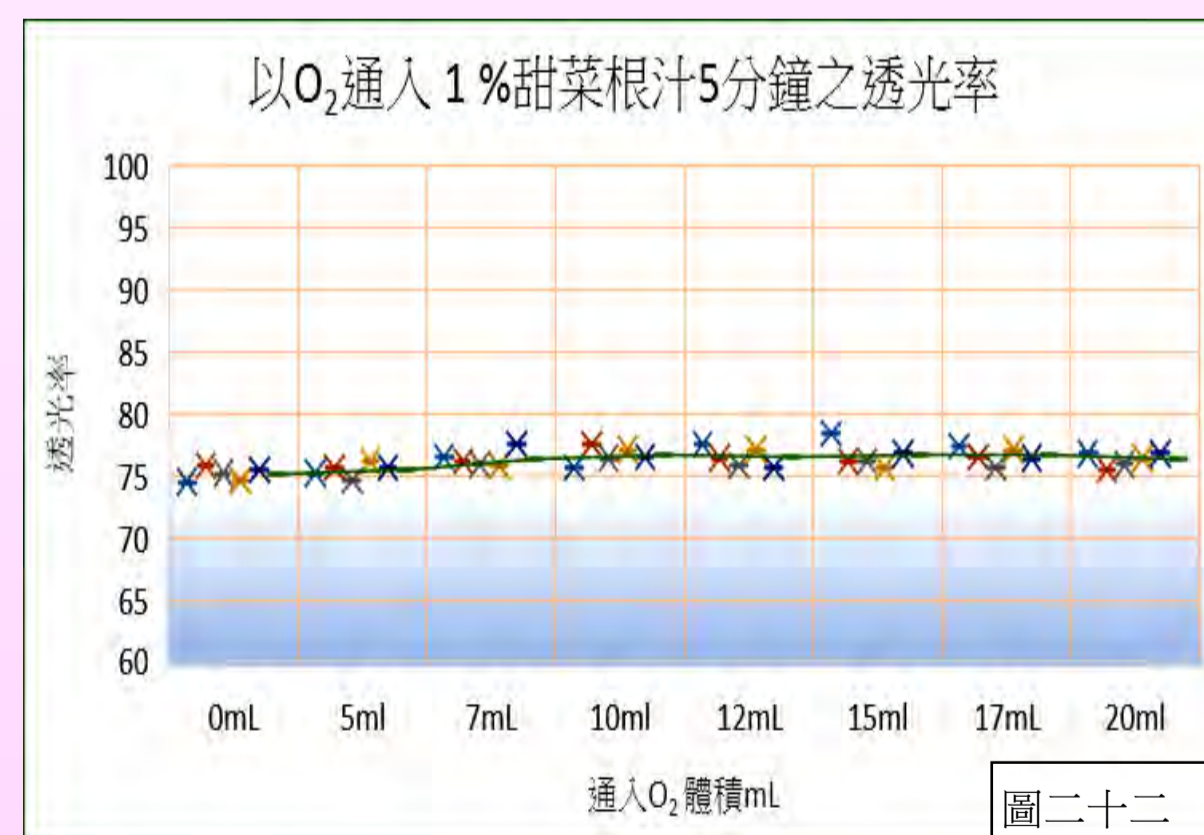


圖二十

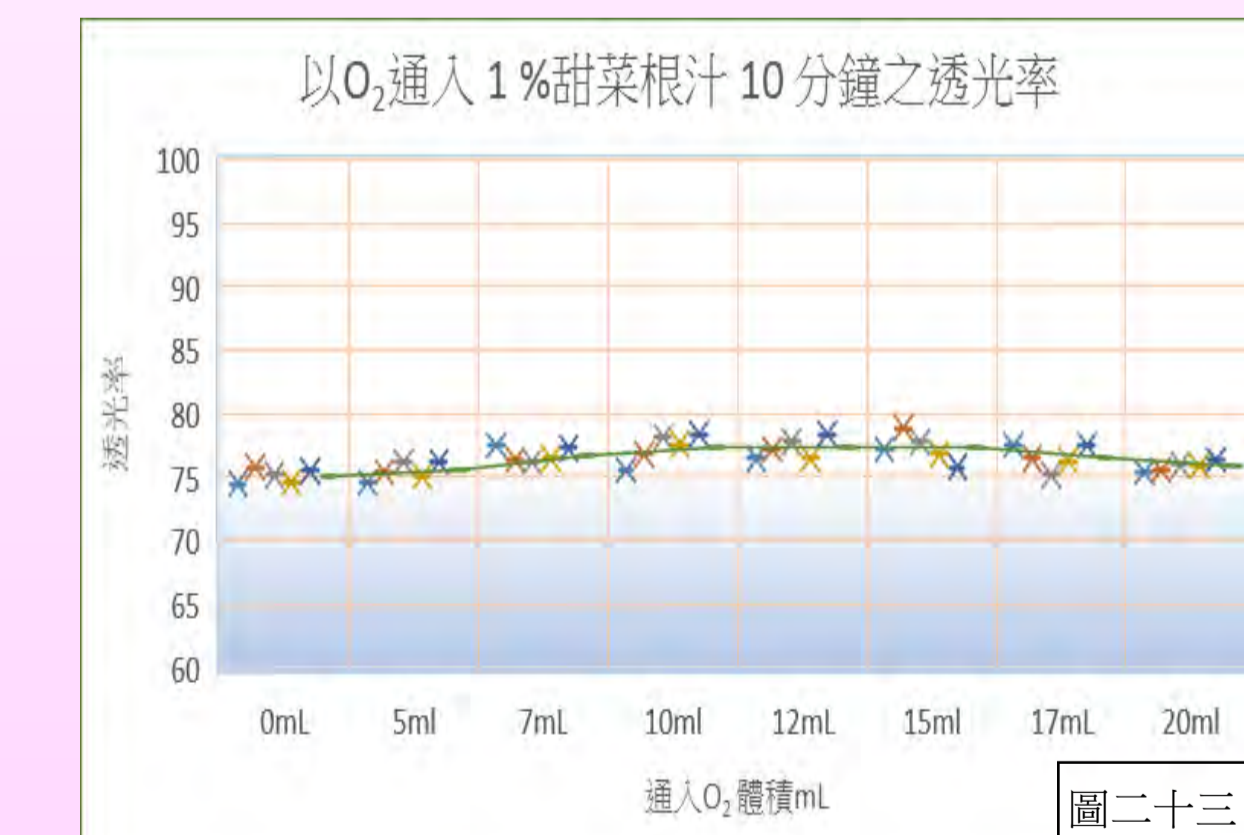


圖二十一

通入不同體積 CO<sub>2</sub> 於 1% 甜菜根汁 5 分鐘、10 分鐘後 測量透光率



圖二十二



圖二十三

### (三) 通入氧氣 O<sub>2</sub>

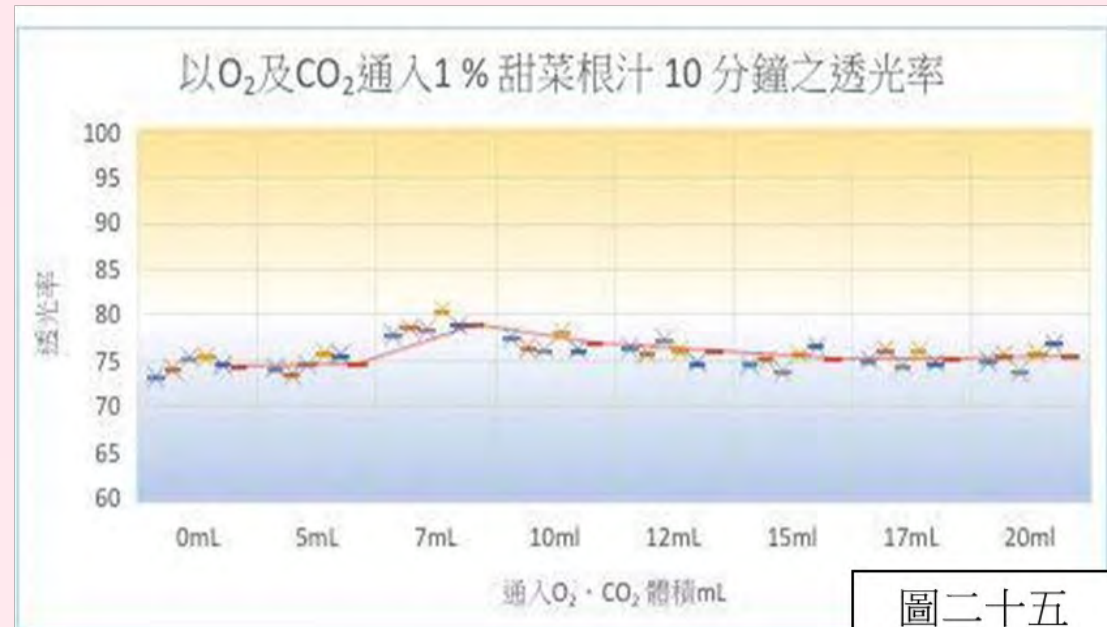
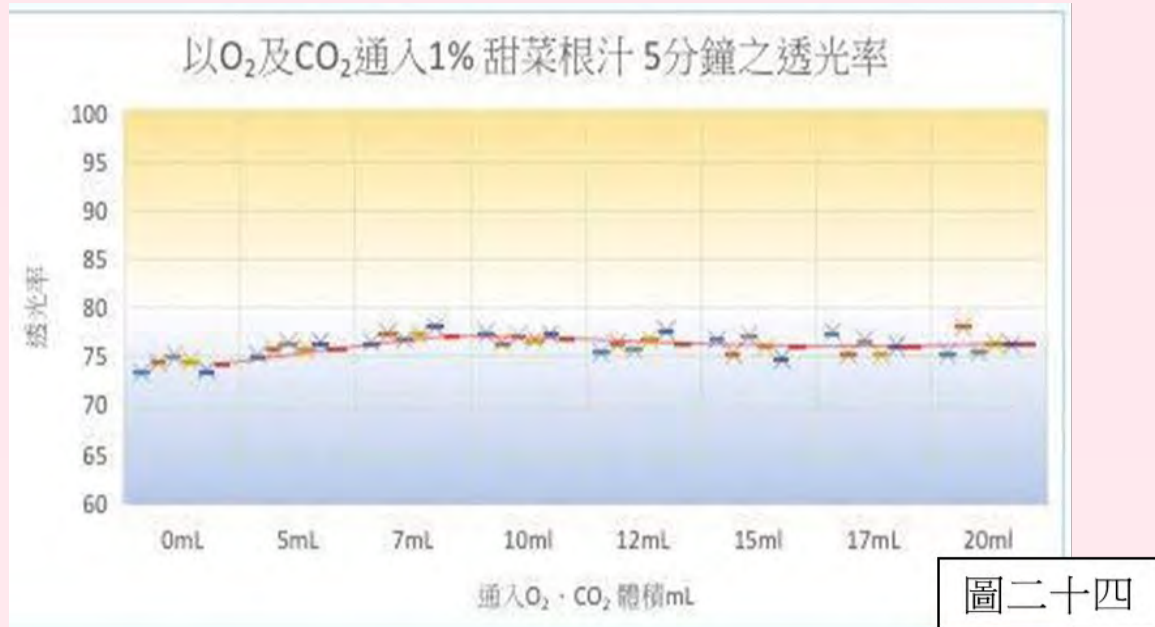
通入不同體積 O<sub>2</sub> 於 1% 甜菜根汁 5 分鐘、10 分鐘後 測量透光率

#### 小結：

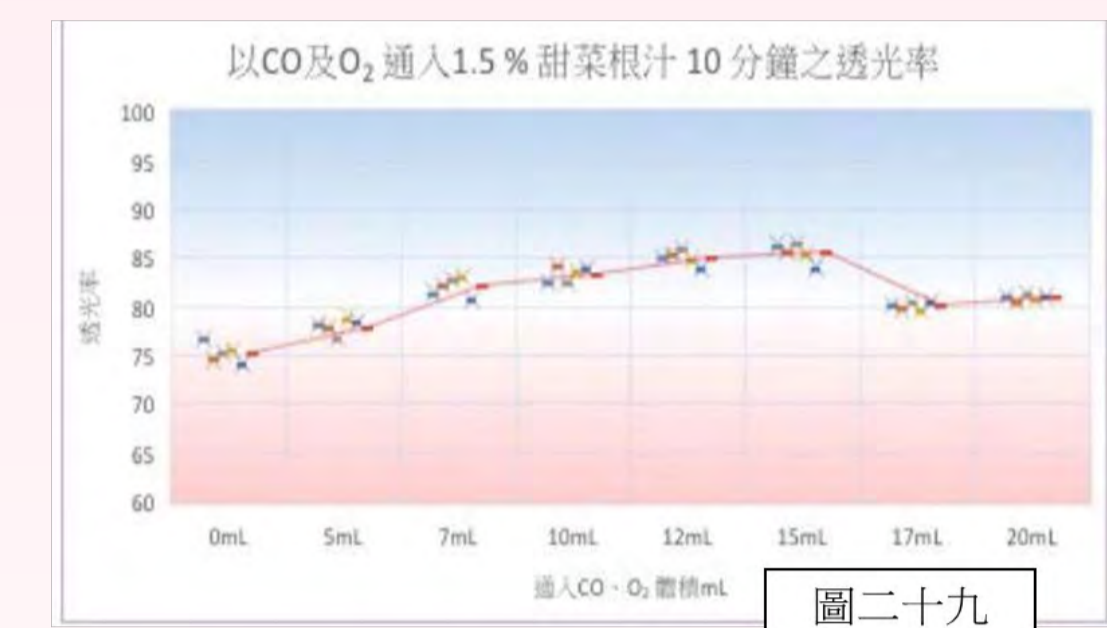
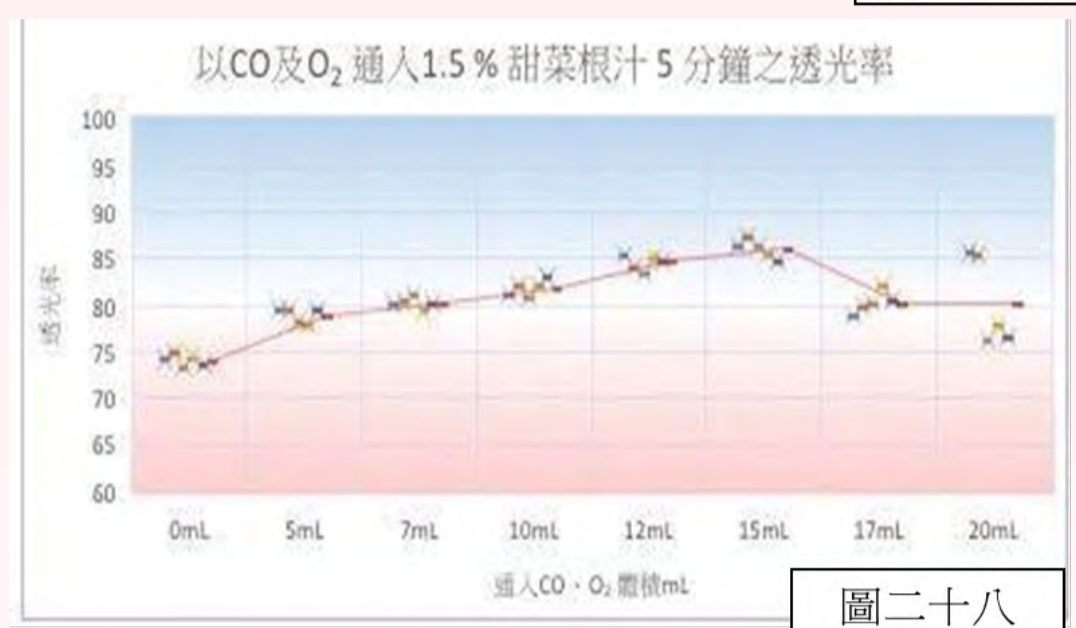
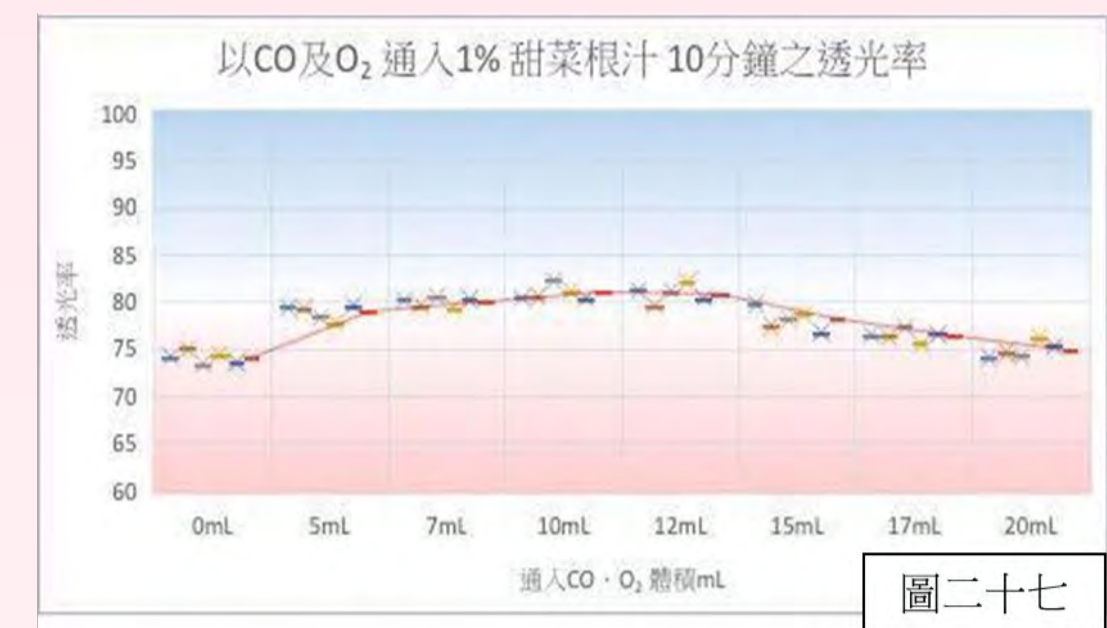
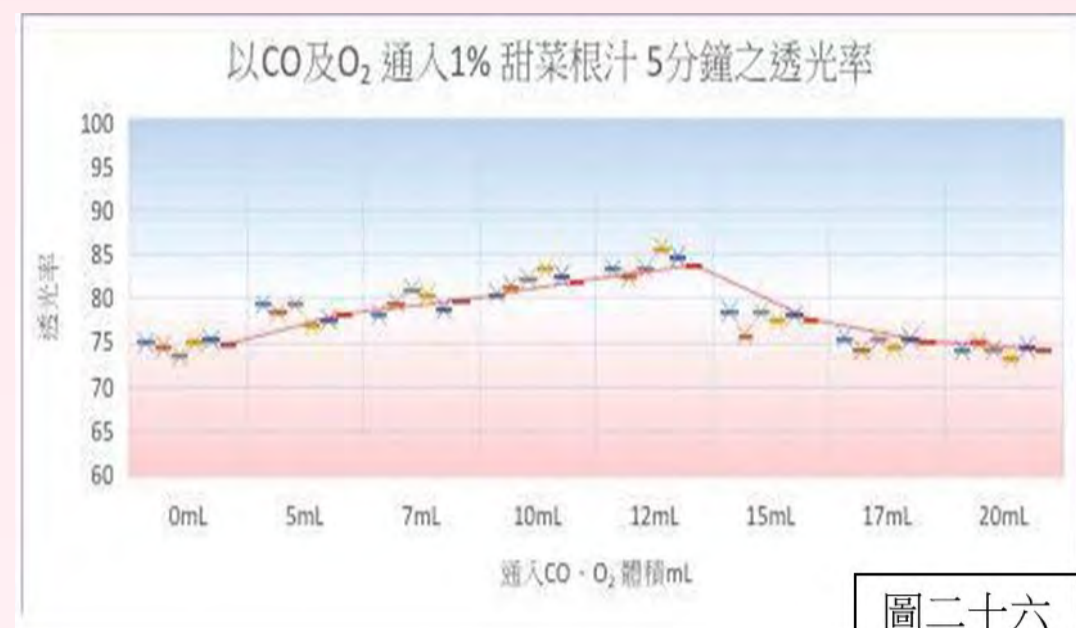
1. 通入 CO<sub>2</sub> 氣體於甜菜根汁中，透光率沒有明顯變化，且數值均維持在 50 左右，推測 CO<sub>2</sub> 氣體與甜菜紅素的結合率不高
2. 通入 O<sub>2</sub> 氣體於甜菜根汁中，透光率也沒有明顯變化，且數值均維持在 75 左右，推測甜菜紅素本身就能與氧結合，因此其顏色上無明顯變化
3. 以 CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 通入甜菜根汁的透光率比較與甜菜紅素結合率，推測為 CO > O<sub>2</sub> > CO<sub>2</sub>

#### (四) 同時通入兩種氣體，進行競爭結合實驗

##### 1. 以 O<sub>2</sub> 及 CO<sub>2</sub> 通入 1% 甜菜根汁 5 分鐘、10 分鐘後 測量透光率



##### 2. 以 O<sub>2</sub> 及 CO 通入 1%、1.5% 甜菜根汁 5 分鐘、10 分鐘後 測量透光率

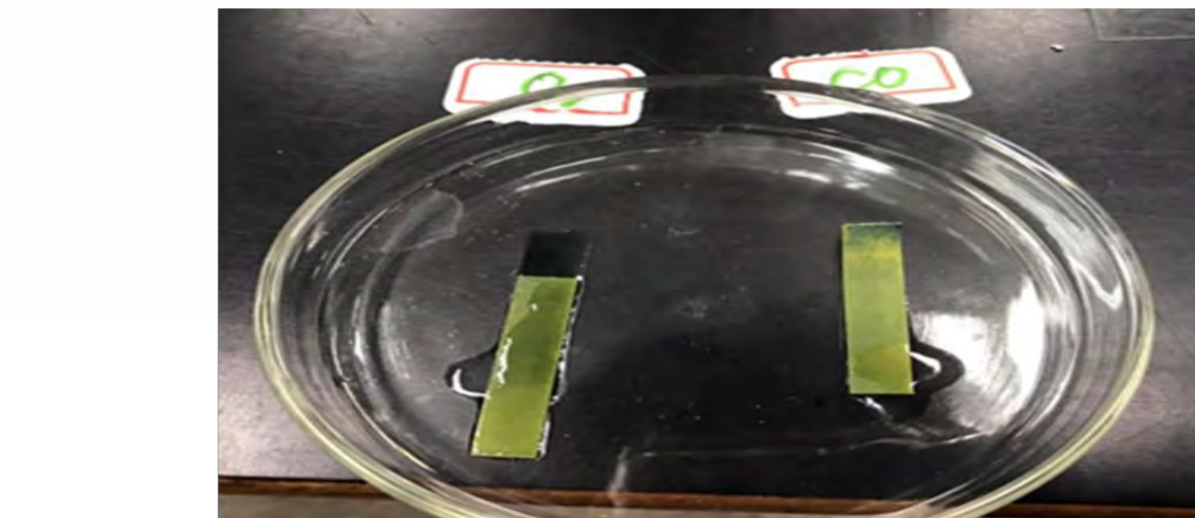


#### 小結：

1. 從甜菜根汁與 O<sub>2</sub> 與 CO<sub>2</sub> 及 O<sub>2</sub> 與 CO 結合的競爭實驗發現 甜菜根汁與 O<sub>2</sub> 與 CO<sub>2</sub> 的透光率與 O<sub>2</sub> 與甜菜根汁的實驗數據較為接近；但 O<sub>2</sub> 與 CO 與甜菜根汁的透光率，明顯與 CO 與甜菜根汁的透光率相近
2. 從氣體 O<sub>2</sub> 與 CO 與 1%、1.5% 甜菜根汁的透光率分析，1.5% 甜菜根汁能吸收的 CO 氣體，高於 1%

#### 三、探討不同氣體通入甜菜根汁中 pH 值之比較

由實驗得知 O<sub>2</sub> 及 CO 對甜菜根汁的反應較為明顯，分別將 10ml 的 O<sub>2</sub> 及 CO 通入甜菜根原液中，靜待 10 分鐘後，滴在廣用試紙上，觀察其顏色變化



圖三十 稀釋後甜菜根汁 pH 值檢測

圖三十一 通入氣體十分鐘後的 pH 值檢測

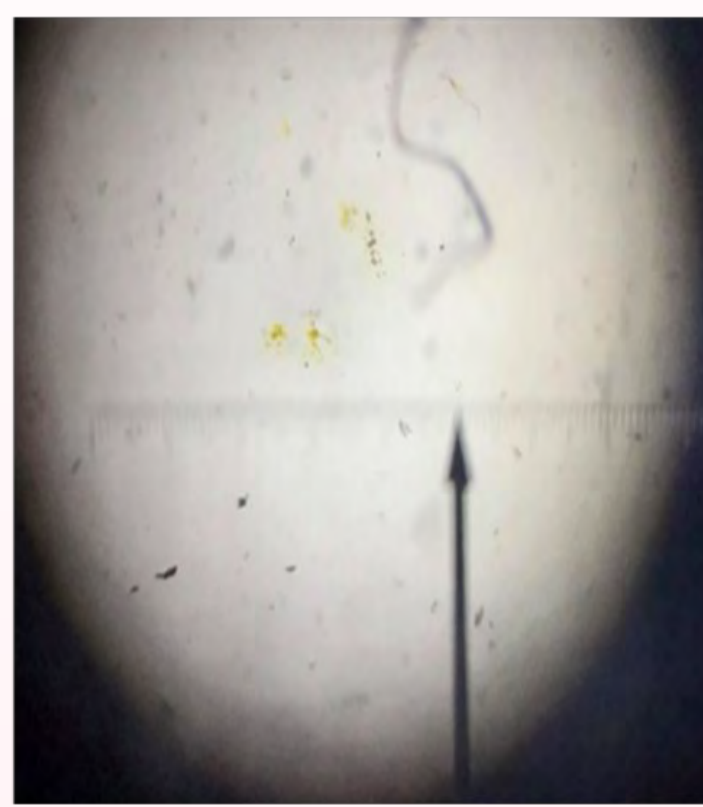
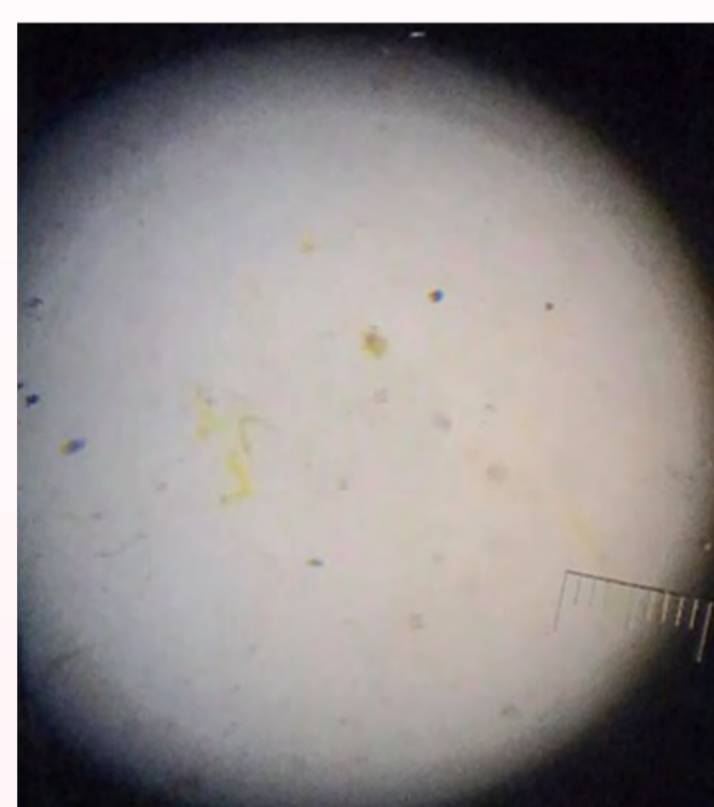
由實驗結果得知：

原液的 pH 值接近 7，而通入 O<sub>2</sub> 的甜菜根汁和通入 CO 的甜菜根汁 pH 值皆偏酸性，因此推論，血紅素吸收 O<sub>2</sub> 或 CO 時 pH 值會是酸性。

#### 四、探討不同氣體通入甜菜根汁中顯微鏡下的觀察

由實驗得知 O<sub>2</sub> 及 CO 對甜菜根汁的反應較為明顯，分別將 10ml 的 O<sub>2</sub> 及 CO 通入密封處理的甜菜根汁中，靜待 10 分鐘後，迅速取一滴液體以顯微鏡放大 600 倍觀察其變化，其變化如圖三十二所示。

原甜菜根汁中什麼都看不見，然而通入 CO 及 O<sub>2</sub> 的甜菜根汁後皆會產生一種黃黃的物質，推測甜菜根汁與 CO 及 O<sub>2</sub> 的確會有反應產生，但目前無法推測是何種產物



圖三十二

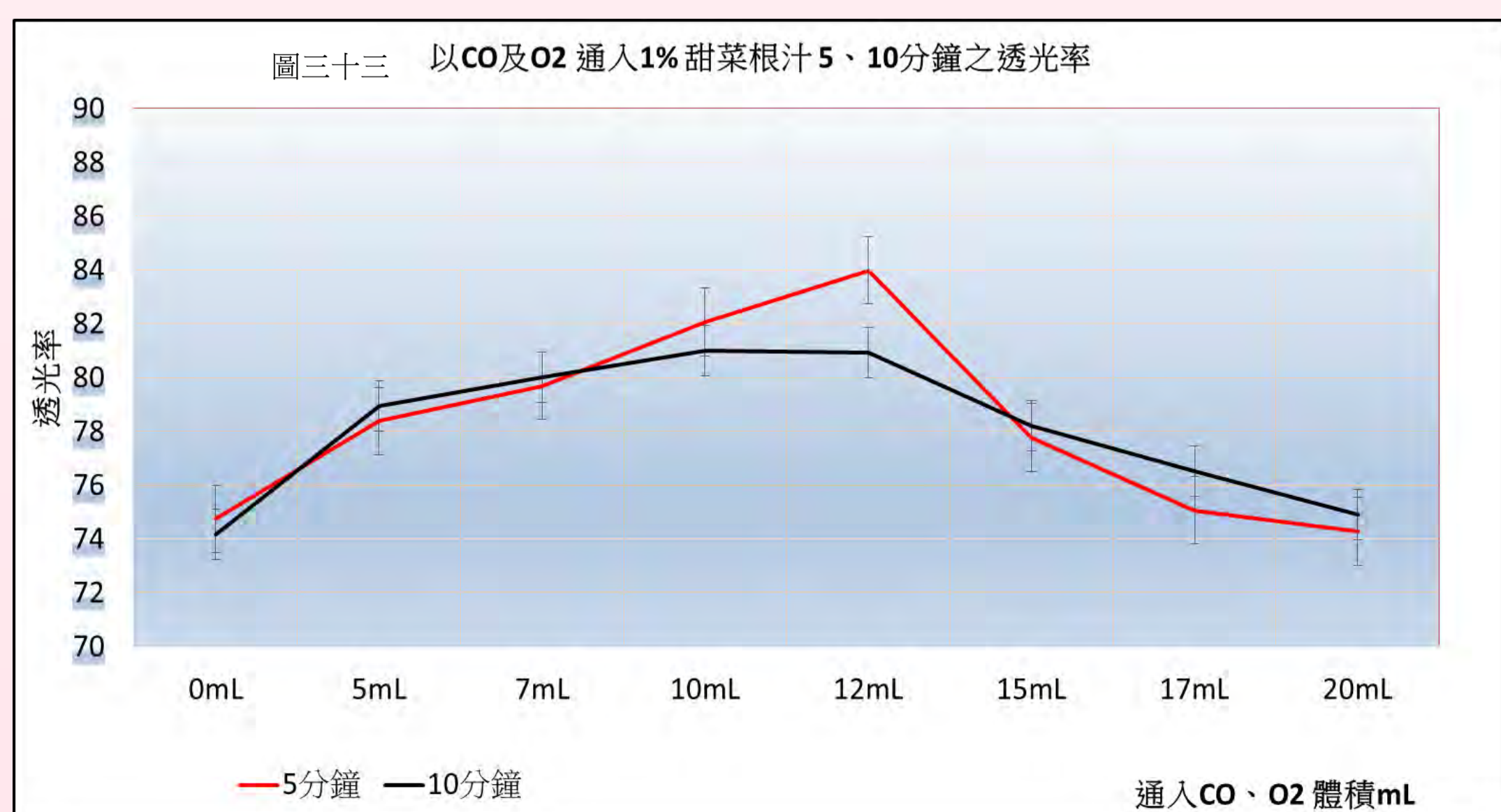
甜菜根原液

通入 co 後甜菜根汁

通入 O<sub>2</sub> 後甜菜根汁

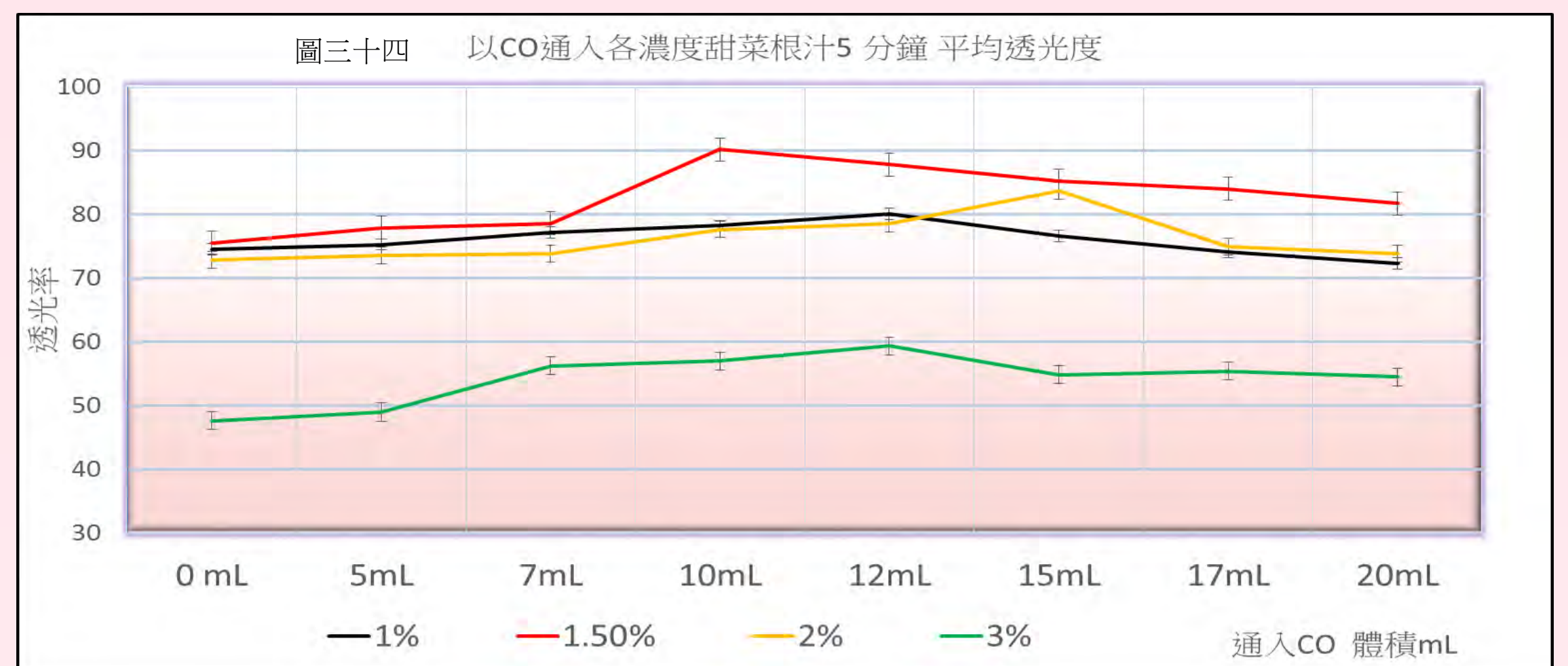
## 結論

#### 一、探討不同氣體通入甜菜根汁中透光率之比較



—5分鐘 —10分鐘

通入 CO、O<sub>2</sub> 體積 mL



1. 以透光率高低 推測甜菜根汁與 CO 結合為三者最高 推論 CO > CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 與甜菜根汁中的甜菜紅素結合為 CO > O<sub>2</sub> > CO<sub>2</sub> 與文獻中一氧化碳與體內血紅素的親和力比氧氣與血紅素的親和力高約 200 倍的理論相符
2. 一氧化碳中毒最明顯的症狀為異常櫻桃紅色的血，與本實驗甜菜根汁與 CO 結合時，溶液顏色變淡相似，因此，以甜菜根作為植物血紅素替代人體血紅素檢驗一氧化碳的存在，為一種可行性的方法，此為本實驗最大發現

#### 二、探討甜菜根汁濃度與 CO 結合關係

1. 通入 CO 氣體五分鐘及十分鐘於 1%、1.5%、2% 甜菜根汁後 都在 10~15 mL 處透光率有明顯變高，推測甜菜根汁的甜菜紅素與 CO 結合量約為 10~15 mL
2. 配置成 1.5% 甜菜根汁能吸收較多 CO 氣體，其次為 2%、1%
3. 3% 甜菜根汁中透光值只有 50 左右，推測 3% 甜菜根汁濃度過高，導致透光率下降，無法看出甜菜紅素與 CO 結合的趨勢關係。因此，建議以分光光度計量測 CO 與甜菜紅素的結合性，其濃度不宜過高，調配成 1.5% 效果較佳

#### 三、探討 CO、O<sub>2</sub> 與甜菜紅素的結合競爭

1. 由圖比較，通入 12mL 的 O<sub>2</sub> 與 CO 於 1% 甜菜根汁五分鐘及十分鐘時，透光度均有明顯升高，其透光度數值與 CO 通入 1.5%、2% 甜菜根汁透光值相近，對照 O<sub>2</sub> 通入 1% 甜菜根汁透光率幾乎維持在 75 左右，推測在兩種氣體同時與甜菜根汁中的甜菜紅素結合時，CO 與甜菜紅素的結合能力高於 O<sub>2</sub>，但兩者同時存在時，其透光率明顯高於 1% 甜菜根汁的透光率，推測兩者同時皆能與甜菜根汁的甜菜紅素結合。

2. 再次驗證，甜菜根汁中的甜菜紅素與氣體結合能力為 CO > O<sub>2</sub> > CO<sub>2</sub>

#### 四、探討不同氣體通入甜菜根汁中 pH 值

1. 利用甜菜根汁具有可作為酸鹼指示劑的性質，可製成簡易 CO 檢測器
2. 以酸鹼滴定計算通入 5 分鐘 CO 氣體的溶液，其濃度約為 0.143 M，藉此希望換算出可檢測的一氧化碳濃度。雖然甜菜根汁與 O<sub>2</sub> 也會形成弱酸顏色，但根據結論三，可確認當空氣中有 CO 存在時，此一變色將視為 CO 與甜菜紅素的變化，而非氧氣

#### 五、探討不同氣體通入甜菜根汁中顯微鏡下的觀察

1. 以顯微鏡觀察，通入 CO 及 O<sub>2</sub> 的甜菜根汁後皆會產生一種黃黃的物質，推測甜菜根汁與 CO 及 O<sub>2</sub> 的確會有反應產生，但目前無法推測是何種產物
2. 此發現與文獻中人體血紅素具攜帶氧氣功能，且易與一氧化碳結合性質相似，因此，利用甜菜根替代血紅素檢測 CO 具可行性

#### 六、探討加入何種物質能使甜菜根通入氣體後變化更明顯

1. 本實驗設計兩種簡易檢測 CO 氣體裝置，一為甜菜紅素試紙、以及甜菜根溶液變色器，作為兼具環保、低成本、便利的檢測工具
2. 結合兩種簡易檢測方式，製作兩用的檢測模型

## 未來展望

一、由於每年因一氧化碳中毒而喪失生命或急救事件眾多，鑑此，本實驗希望由甜菜根中的甜菜紅素與人體血紅素具有相似性，且甜菜紅素確實對一氧化碳氣體有高吸收度與高結合能力，開發出更簡易輕便且有效偵測一氧化碳的工具。

二、由顯微鏡中發現，通入 CO 及 O<sub>2</sub> 的甜菜根汁後皆會產生一種黃黃的物質，推測甜菜根汁與 CO 及 O<sub>2</sub> 的確會有反應產生，但我們目前無法推測是何種產物，而這個發現與文獻中人體血紅素為攜帶氧氣功能，且易與一氧化碳結合性質相似，驗證甜菜根具有植物血紅素，並與人體血紅素的相似，引此，期待未來能繼續研究，或提供未來研究者探究方向。

#### 參考文獻

- 江宜儀、葉名倉：「血紅素」，科技部高階自然科學教育平台，2010。
- 李佩玲「影響居家一氧化碳中毒關鍵因子現況調查與實驗」東南科技大學碩士論文，2011。
- 林增記、許顯傑(2013)。急性中毒救命術 AILS。載於社團法人台灣急診醫學會(主編)，一氧化碳中毒(頁 243)。台北市：金名圖書有限公司。
- 翁世洋，防範一氧化碳中毒居家防災安全診斷，2016。Lechtenberg, R., & Schutta, H. S. (1998). Neurology practice guidelines. New York: M. Dekker.
- 曾國輝，「大學生物化學」藝軒書局，台北，45-86，1993。
- 薛慶福、邱彥文、林宏榮、嚴元隆、蘇世城(2008) 燒炭自殺所致一氧化碳中毒病患之臨床分析。中華職業醫學雜誌，15 (2)，頁 121-129。  
<http://enews.nfa.gov.tw/issue/961025/images/radio.htm>  
<http://www.skh.org.tw/blood/451new.html>  
<http://www.actr.com.tw/tw-faq/tw-faq-uv-vis/132-tw-faq-uv-vis-advantage-disadvantage.html>(國家教育研究院)  
<https://wenku.baidu.com/view/43bad78a8468762caaed5c3.html>  
<http://archive.am730.com.hk/article-237451>  
<http://susan-plant-kingdom.blogspot.tw/2014/12/hemoglobin.html>  
[http://www.at-creative.com/client/cd\\_menu/cu\\_science\\_cd/fscommand/chinese/chi\\_spectroscopy.pdf](http://www.at-creative.com/client/cd_menu/cu_science_cd/fscommand/chinese/chi_spectroscopy.pdf)