

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030206

青菜在家—探討青菜變黃的原因與解決方式

學校名稱：南投縣立大成國民中學

作者： 國二 張瑜芝 國二 方璿曜 國二 張瑜芳	指導老師： 鄭定祐 梁敏芳
---	-----------------------------

關鍵詞：青菜、變黃、葉綠素

摘要

經烹煮過的菜會變黃是正常現象，一般會加入食用小蘇打使便當青菜保持翠綠，但往往隨性添加，容易攝取過量的鈉。不同蔬菜對於溫度反應亦不同，經實驗得知，青江菜相較於地瓜葉及空心菜較不易變黃，可減少用量。因高溫且密閉的環境易造成變色，煮菜時應避免蓋上鍋蓋、減少加熱時間並盡快食用。由可見光譜得知在加入小蘇打後，葉綠素在藍光區的最大吸收峰會由430~480nm 移至 410~420nm，產生新物質，顏色看起來較為鮮綠。若要使用小蘇打可酌量並在煮過後過水，且避免用在較軟的青菜上。

壹、研究動機

最近看到一則新聞，有不肖業者為了增加青菜的賣相，添加俗稱保綠劑的一種工業用白色粉末。這引起了我的好奇，聽家中長輩說，學校有營養午餐之前須自行準備便當，帶到學校的便當都要先蒸過，蒸過的青菜顏色都非常不好，也非常軟爛，大家都不喜歡吃，如果能找到讓青菜煮熟後仍然可以保持鮮綠且安全的方法，應該可以增加青菜的食用意願，多少能解決現代人蔬菜攝取量不足的問題，於是我找了兩個隊友，一起進行這次研究。

貳、研究目的

- 一、研究常見的食用青菜葉綠素組成
- 二、探討青菜葉綠素隨時間顏色變化情形
- 三、比較保溫溫度及時間對青菜的顏色影響
- 四、探討青菜在不同 pH 值下的顏色變化
- 五、青菜添加小蘇打後在不同溫度下的顏色變化
- 六、研究青菜在添加小蘇打後軟硬程度及鈉含量

叁、研究設備及器材

一、實驗設備

			
卡式瓦斯爐	加熱板	紫外線燈	紅光雷射筆
			
綠光雷射筆	藍光雷射筆	解剖顯微鏡	自製軟硬度測試器
			
恆溫水槽			

二、測量儀器

			
分光光度計(T60UV)	pH計	電子秤(精密度 0.001g)	導電度計
			
鈉離子計(2~9900ppm)			

三、實驗器材

毛細管、色層分析試紙、玻璃漏斗、濾紙、燒杯(100、250、500mL)、滴管、量筒(50、100、250mL)、量瓶(100、250、500、1000mL)、酒精燈、陶瓷纖維網、培養皿、樣品瓶、研鉢和杵。

四、實驗材料

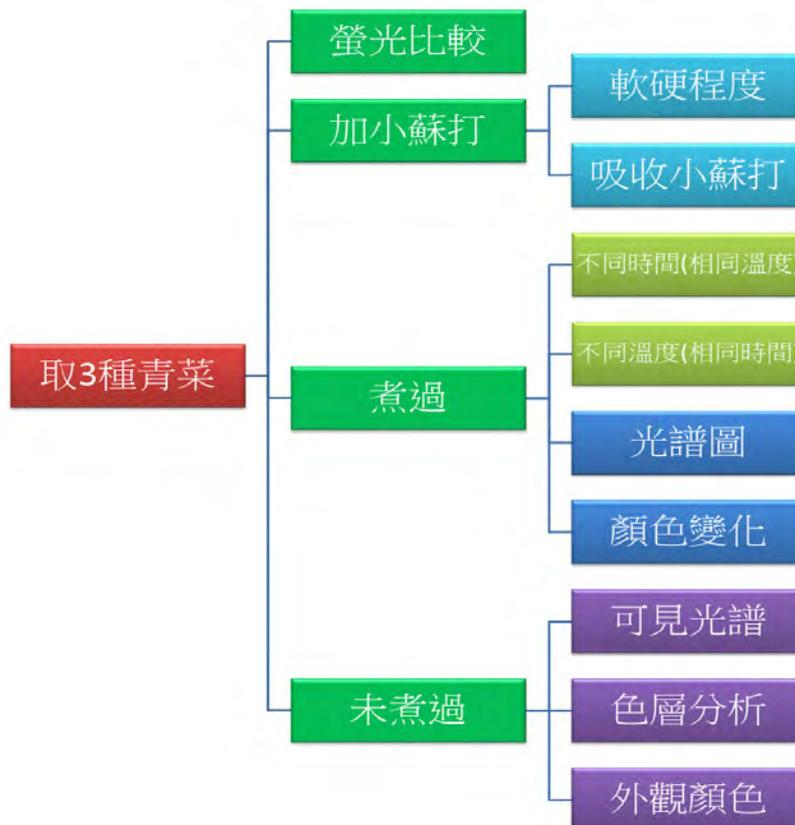
		
青江菜	空心菜	地瓜葉

五、實驗藥品

蒸餾水、丙酮、石油醚、小蘇打粉、氫氧化鈉、鹽酸、酒精(95%)

肆、研究過程或方法

一、實驗流程：



二、實驗原理：

(一) 葉綠素

1. 植物行光合作用的重要色素為葉綠素，葉綠素存在於綠色植物中，葉綠素的化學性質並不穩定，易受光、熱、pH 值等影響。樹葉中的葉綠素(圖 1)會經由酶或酸作用，樹葉中的氫離子會取代鎂變成去鎂葉綠素(圖 2)，使葉片看起來呈現黃褐色；鹼對葉綠素的影響較小，添加鹼後，葉片顏色會顯得較翠綠，所以廚師在炒菜時會添加小蘇打使炒出來的菜顏色鮮豔漂亮(<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2015/03/2015033010062124.pdf>)。

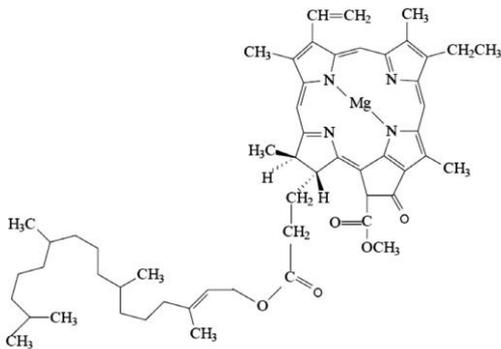


圖 1 葉綠素 a

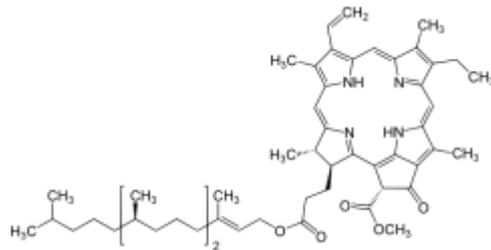


圖 2 去鎂葉綠素 a

2. 而葉綠素 a 和葉綠素 b 的吸收光譜較為接近，兩者在藍紫光（430~480nm）和紅光區（640~660nm）都有一吸收高峰，葉綠素 a、b 對綠光的吸收很少，所以呈綠色 (<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B6%E7%BB%BF%E7%B4%A0>)。

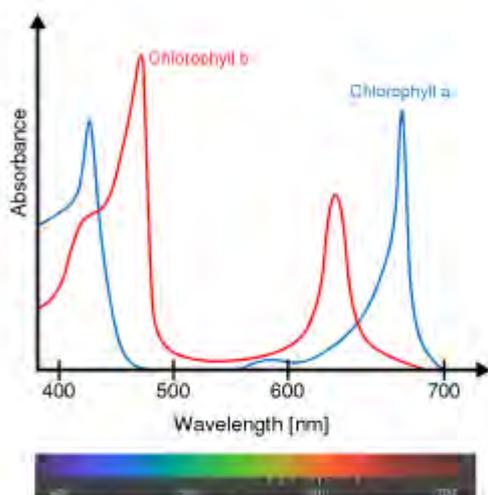


圖 3 葉綠素吸收光譜圖

(二) 脫鎂反應

青菜在烹煮加熱的過程或酸性環境下，葉綠素會行脫鎂反應(圖 4)，葉綠素中央的鎂離子會被氫離子取代，使原來的綠色轉變為深橄欖綠。為避免青菜變黃，烹調時可用快炒而不加蓋的方法使有機酸揮發，或加水來掩蓋蔬菜，以減少酸（氫離子）的含量。也可加些小蘇打粉來中和酸，並形成葉綠酸鈉(圖 5)保持翠綠
(<http://www.youth.com.tw/db/epaper/es002008/eb3070.htm>)。

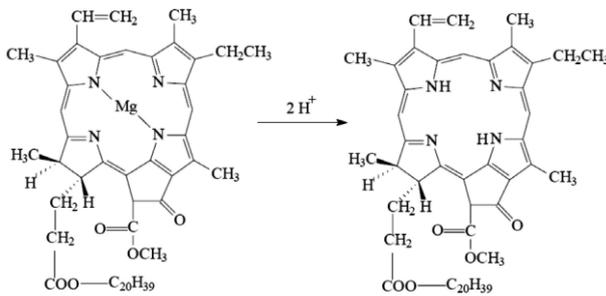


圖 4 葉綠素脫鎂反應

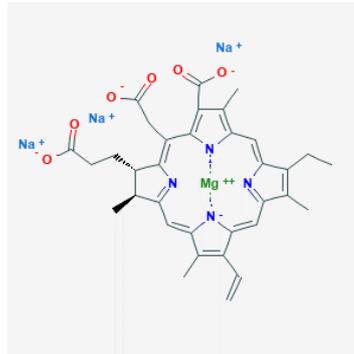


圖 5 葉綠酸鈉

(三) 螢光原理

植物吸收太陽光行光合作用，利用葉綠素中的 a 和 b 吸收藍光及紅光，對於中間的綠光吸收很少。葉綠素吸收光能後能量轉變，葉綠素分子吸收藍光(430nm)或紅光(670nm)後，分別激發為第二單線態(E2)或第一單線態(E1)，E1 轉變為第一三線態，進一步回到基態(E0)時則產生螢光或磷光(圖 6)。

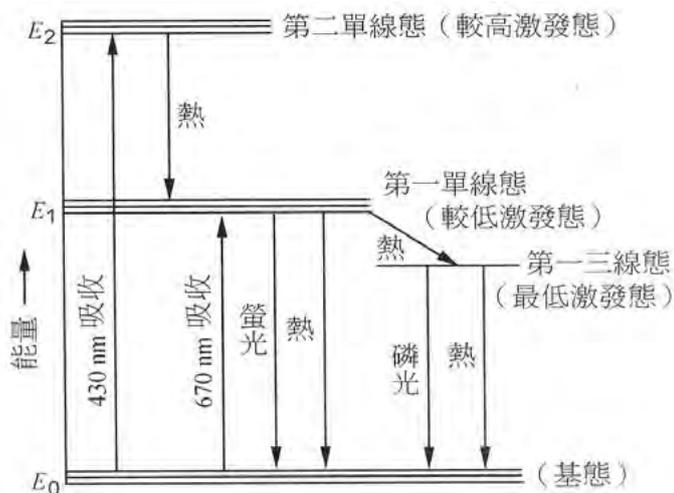


圖6 色素分子吸收光能後能量轉變 (潘，2008)

三、實驗步驟：

(一) 實驗一：以色層分析試紙觀察青菜色素組成

1. 烘乾葉片：取新鮮葉片(青江菜、空心菜、地瓜葉)置於烘箱內 80°C 下烘乾至一觸即碎為止。
2. 配置展開液：將石油醚 4.5ml 及丙酮 0.5ml 倒入 10ml 量筒中，將此溶液完全混合後，再倒入 100ml 量筒內，以鋁箔封住量筒口。
3. 萃取色素：將烘乾的葉片放入研鉢中研磨使呈粉末狀，添加丙酮於研鉢中，繼續研磨成淤泥狀，再將泥狀物過濾收集萃取液。
4. 沾點色素：在色層分析試紙的一端 1.5cm 處剪成尖形箭頭，以毛細管沾取葉汁，滴在離尖端 3cm 處，待乾後再滴(防止點的面積過大)，點的面積愈小愈好，點的次數依濃度而定。
5. 展開色素：將色層分析試紙放入量筒中，使尖端約 0.5cm 浸入事先配製的混合液中，另一端以膠帶固定於量筒口，並以鋁箔將量筒口封住，當混合液上升至濾紙全長的 90%時，觀察並記錄色素在濾紙上的分布情形。
6. 比較 Rf 值： $Rf \text{ 值} = \text{色素上升距離} / \text{展開液上升距離}$ 。



圖 7 研鉢中萃取色素



圖 8 沾點色素於色層分析試紙



圖 9 色層分析試紙於量筒中展開色素

7. 重複上述步驟得到展開色素，再依色素位置和 Rf 值將葉綠素 a 和 b 部分剪下溶於丙酮中測其可見光譜，再分別加入酸和鹼觀察其可見光譜變化情形。

(二) 實驗二：青菜經殺青後在室溫下顏色隨時間變化情形

1. 取 1g 的青菜葉片經加熱殺青後，以 50mL 酒精隔水加熱萃取其色素，並測量其可見光光譜。
2. 放置一段時間後觀察其萃取顏色，並測量其可見光光譜。

(三) 實驗三：青菜經殺青保溫後顏色隨時間變化情形

1. 將青菜經殺青後取出，分別置於燒杯中以恆溫水槽保溫，溫度分別控制在 40°C、50°C、60°C。

2. 經 1 小時取出觀察外觀，再以酒精萃取其葉綠素測其可見光譜。

3. 重複上述實驗將時間延長為 2 小時，再測量其實驗結果。

(四) 實驗四：青菜在不同 pH 值下變化情形

1. 配置 pH3、5、7、9、11 的水溶液。

2. 將青菜分別置步驟 1 水溶液中煮過，取出經酒精萃取後，測量其可見光光譜。

(五) 實驗五：青菜加入小蘇打後顏色變化

1. 先取少量小蘇打 0.05g 於 100mL 水並置入 1g 青菜煮過，取出後分別於 40、50、60°C 下保溫 1 小時，觀察其外觀顏色變化，再測量其可見光譜。

2. 重複上述步驟，改添加小蘇打 0.15g 於 100mL 水中烹煮青菜。

(六) 實驗六：以酒精萃取葉綠素及不同 pH 值下的螢光變化

1. 取 1g 青菜加入 50mL 酒精萃取其葉綠素。

2. 在暗室中分別以紫外燈、紅、綠、藍光雷射筆照射步驟 1 中葉綠素乙醇溶液，觀察其顏色變化。

3. 取步驟 1 中的溶液 10mL，並分別加入 10mL 的 pH3、5、7、9、11 的水溶液。

4. 重複步驟 2，觀察在葉綠素加入不同 pH 值後水溶液其顏色變化。

5. 以 ImageJ 軟體分析其 RGB 值。

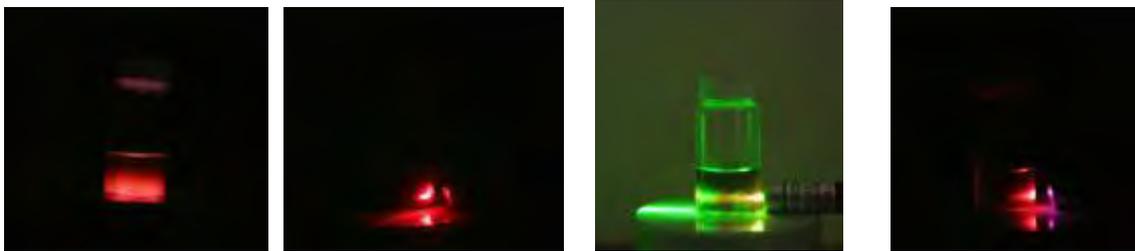


圖 10 紫外燈 (酒精) 圖 11 紅色雷射筆 (酒精) 圖 12 綠色雷射筆 (酒精) 圖 13 藍色雷射筆(酒精)

(七) 實驗七：以丙酮萃取葉綠素及不同 pH 值下的螢光變化

1. 取 1g 青菜加入 50mL 丙酮萃取其葉綠素。

2. 在暗室中分別以紫外燈、紅、綠、藍光雷射筆照射步驟 1 中葉綠素丙酮溶液，觀察其顏色變化。

3. 取步驟 1 中的溶液 10mL，並分別加入 10mL 的 pH3、5、7、9、11 的水溶液。
4. 重複步驟 2，觀察在葉綠素加入不同 pH 值後水溶液其顏色變化。
5. 以 ImageJ 軟體分析其 RGB 值。

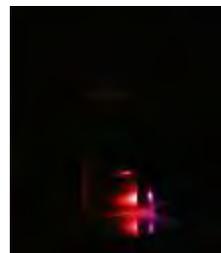
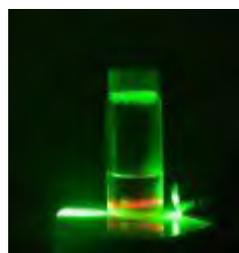
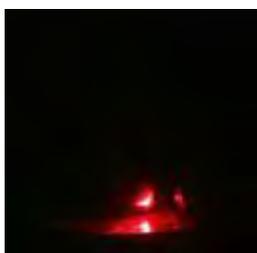


圖 14 紫外燈(丙酮) 圖 15 紅色雷射筆(丙酮) 圖 16 綠色雷射筆(丙酮) 圖 17 藍色雷射筆(丙酮)

(八) 實驗八：青菜加入小蘇打煮過後的鈉含量

1. 以導電度計推測鈉含量：

- (1) 調配 10~50ppm 的小蘇打溶液並測其導電度，求得其濃度對導電度關係圖。
- (2) 取 1g 的葉片以 100mL 的水配 0.2g 小蘇打的比列煮過後(圖 18)，取出洗去表面的小蘇打溶液，再加入 100mL 水中煮過測其溶液導電度(圖 19)，可得到葉片的小蘇打含量。
- (3) 由步驟 1 得到的關係圖求得小蘇打含量，再由小蘇打分子量推測其鈉含量。
- (4) 重複上述 1~4 步驟再分別求出加入 0.1g、0.05g 的小蘇打後，各種葉片的鈉含量。

2. 以不同溫度保溫後的青菜鈉含量

- (1) 取 1g 的葉片以 100mL 的水配 0.2g 小蘇打的比列煮過後(圖 18)，取出洗去表面的小蘇打溶液，放入恆溫槽內分別以 40、50、60°C 保溫一個小時。
- (2) 取出葉片，加入 100mL 水煮過後測其溶液導電度。

3. 以鈉離子計測量鈉含量：

- (1) 重複步驟 1，以鈉離子計測量其鈉離子濃度(圖 20)。
- (2) 重複步驟 2，比較三種溫度保溫後的鈉離子含量。



圖 18 青菜加入小蘇打煮過



圖 19 測量溶液導電度



圖 20 測量溶液鈉離子濃度

(九) 實驗九：使用四種料理的方式處理青菜

1. 水煮料理：將菜清洗乾淨後，在鍋中加入 150mL 的水煮沸，將三種葉片加入鍋中烹煮。
2. 泡小蘇打水過水再水煮：將葉片泡過小蘇打水溶液(0.1%)，取出以水沖洗後，在鍋中加入 150 毫升的水，將三種葉片加入鍋中，以卡式瓦斯爐煮沸。
3. 經油炒料理：將葉片洗淨擦乾，在鍋中加入油及葉片翻炒。
4. 泡小蘇打水過水再油炒：將葉片泡過小蘇打水溶液(0.1%)，取出以水沖洗後，將葉片擦乾，在鍋中加入油及葉片翻炒，待冷卻後放入培養皿觀察。
5. 將經由上述四種料理方式處理過的青菜萃取其葉綠素，並測量其光譜圖。

(十) 實驗十：測軟硬度

1. 將各葉片分別於水中煮過。
2. 取出擦乾後，將其放置於自製實驗裝置下的木板上(圖 21)。
3. 在上方的木板上放置砝碼，當木板下的刀片割開菜葉上最粗的葉脈，記錄當時砝碼重量。
4. 重複上述實驗，將葉片於 1% 的小蘇打水溶液中煮過，記錄當時砝碼重，並比較添加小蘇打前後所需砝碼重。



圖 21

伍、研究結果

一、用色層分析試紙觀察葉綠素組成：

(一) 根據文獻青菜中含有葉綠素 a、葉綠素 b、葉黃素、類胡蘿蔔素等色素，我們使用色層分析試紙分出菜葉中的各種色素，我們用丙酮、石油醚製作展開液，以三種不同的比例觀察展開的效果，發現石油醚:丙酮為 9：1 的比例能較清楚的分出色素(圖 22~24)，並可求出其 Rf 值(表 1)：胡蘿蔔素 > 葉黃素 > 葉綠素 a > 葉綠素 b。

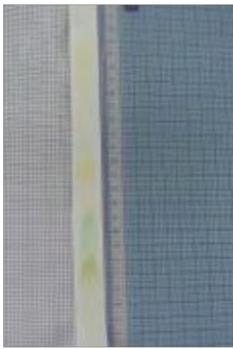


圖 22 青江菜色層分析



圖 23 空心菜色層分析



圖 24 地瓜葉色層分析

表 1 各青菜色層分析所含色素 Rf 值

青菜種類	長度(cm)				Rf 值			
	胡蘿蔔素	葉黃素	葉綠素 a	葉綠素 b	胡蘿蔔素	葉黃素	葉綠素 a	葉綠素 b
青江菜	20.00	12.00	7.00	5.00	1.00	0.60	0.35	0.25
空心菜	11.00	7.90	6.00	4.00	1.00	0.72	0.55	0.36
地瓜葉	11.00	7.00	4.40	3.40	1.00	0.64	0.40	0.31

(二) 經由色層分析試紙分離色素光譜圖

經由色層分析試紙分離出色素後，將葉綠素 a 和葉綠素 b 依顏色及 Rf 值剪下分析(圖 25~33)，脫鎂葉綠素(圖 23)最大吸收峰在 410nm，加酸最大吸收峰則在 420nm 產生紅移，加鹼最大吸收峰則接近 400nm 產生藍移，加酸或加鹼 660nm 吸收度皆下降；葉綠素 a(圖 29)藍光和紅光區最大吸收峰分別在 450nm 和 660nm，加酸後最大吸收峰則在 420nm，紅光區 660nm 吸收度會下降，加鹼後其吸收度和原葉綠素 a 接近；葉綠素 b(圖 30)藍光和紅光區最大吸收峰分別在 450nm 和 650nm，加酸後最大吸收峰為 420nm，紅光區 650nm 吸收度下降，加鹼後 450nm 吸收峰下降；加鹼後最大吸收峰則為 530，最大吸收波長則 660nm 為。

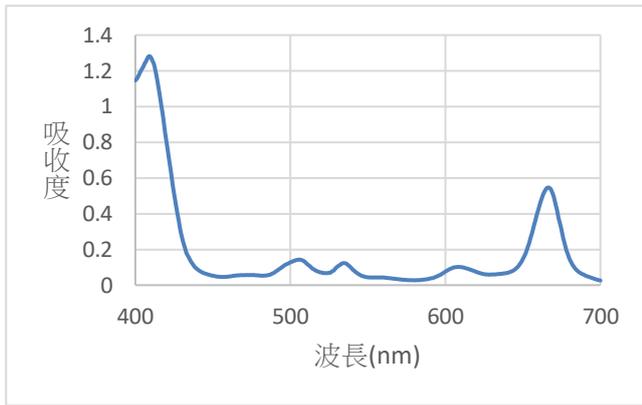


圖 25 脫鎂葉綠素

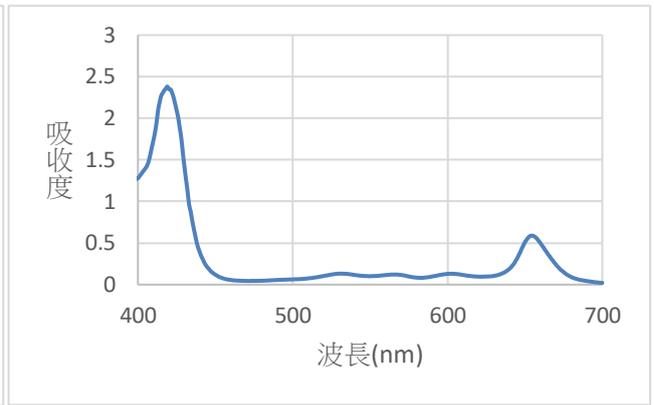


圖 26 脫鎂葉綠素加酸

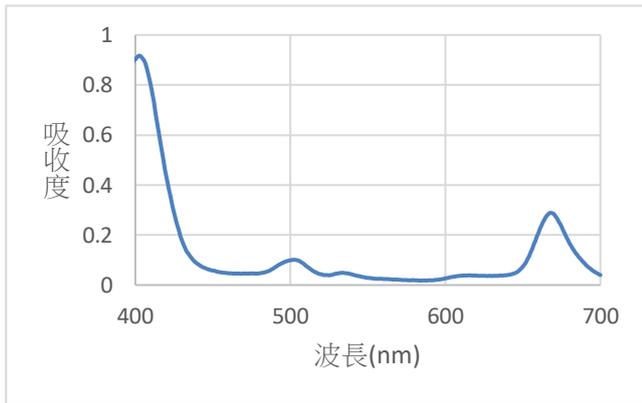


圖 27 脫鎂葉綠素加鹼

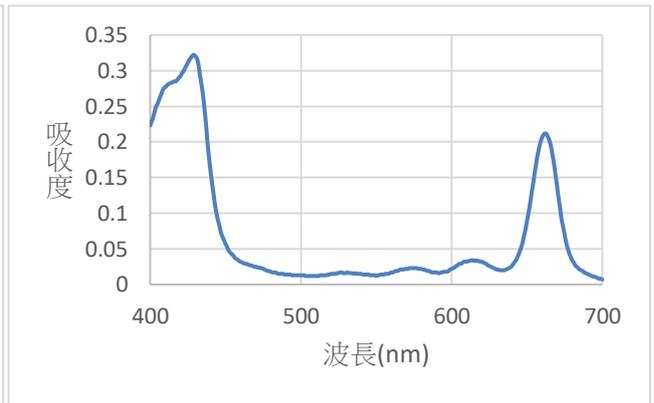


圖 28 葉綠素 a

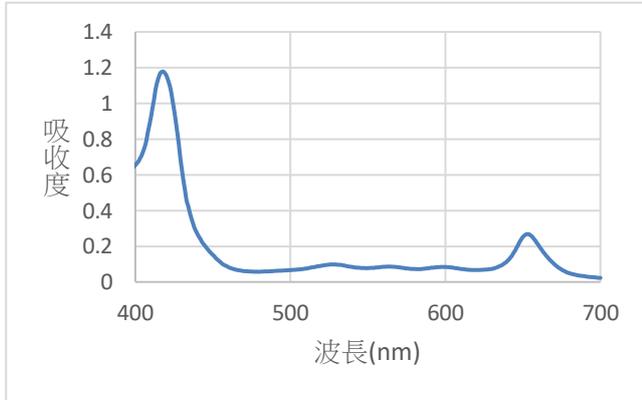


圖 29 葉綠素 a 加酸

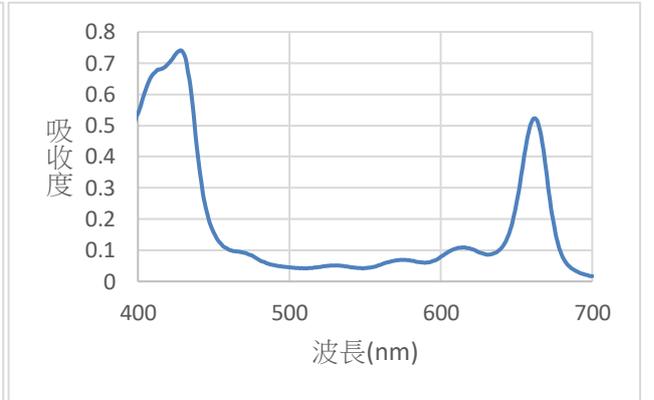


圖 30 葉綠素 a 加鹼

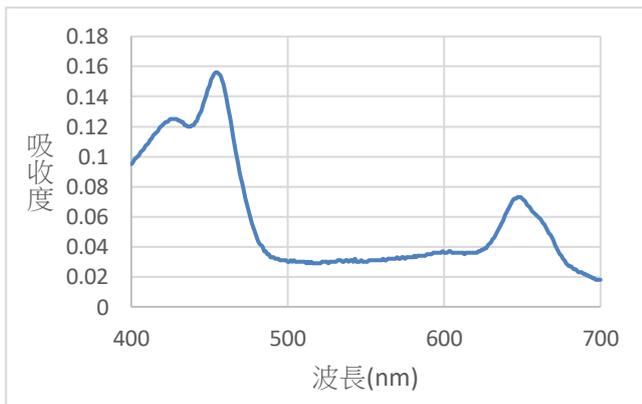


圖 31 葉綠素 b

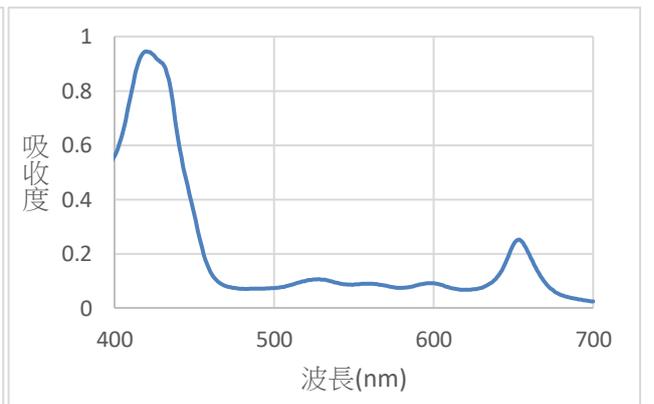


圖 32 葉綠素 b 加酸

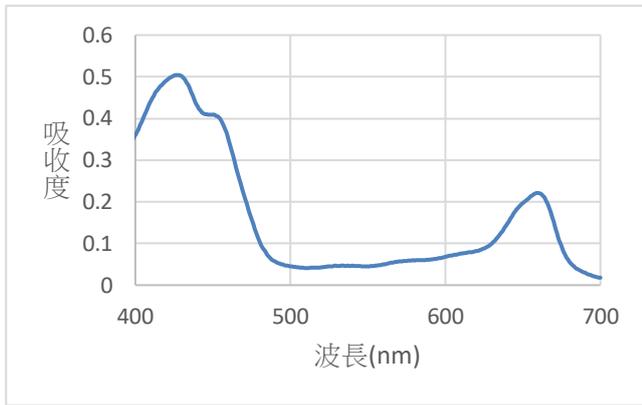


圖 33 葉綠素 b 加鹼

二、青菜經殺青後在室溫下顏色隨時間變化情形

我們發現放置第 1 天每種青菜的吸收度因其葉綠素含量有所不同，但其波形相似，且 430nm 與 660nm 比值皆約為 2：1(圖 34)，而放置 9 天後每種青菜的波形亦類似，但 430nm 與 660nm 比值已小於 2：1，但在 430~480nm 藍光區有下降情形(圖 35)，再過 13 天後 430~480nm 則無明顯吸收，640~660 紅光區吸收度亦有下降(圖 36)。

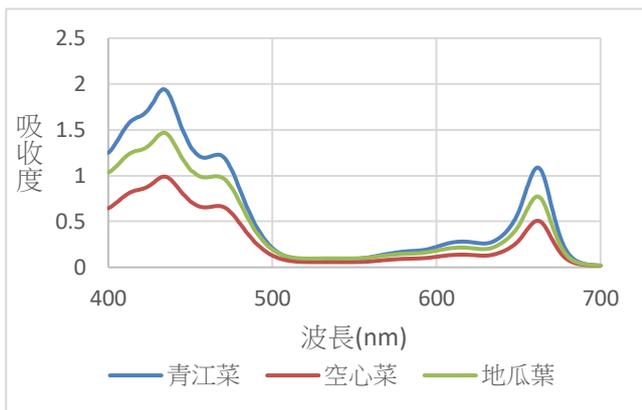


圖 34 青菜葉綠素 1 天光譜圖

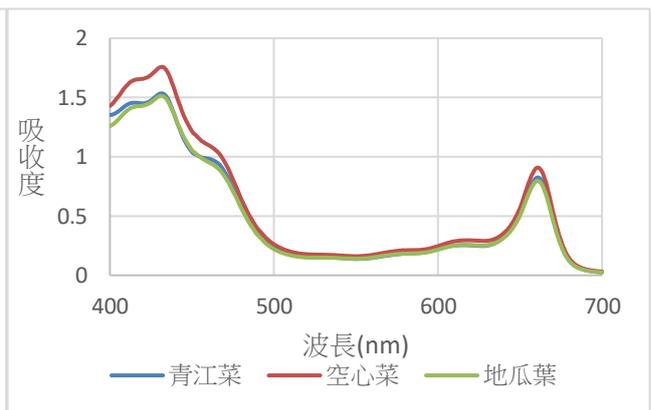


圖 35 青菜葉綠素 9 天光譜圖

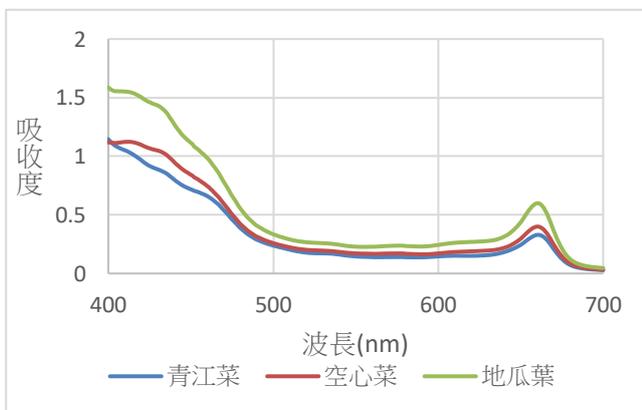


圖 36 青菜葉綠素 13 天光譜圖

三、經殺青過的葉子在不同溫度下保溫情形

(一) 青菜殺青後保溫 1 小時

青菜經殺青後以恆溫槽在不同溫度下保溫 1 小時，經加熱後 430nm 與 480nm 的吸收度會有明顯下降，由圖 27 在 40°C 時其 430nm 與 480nm 的吸收度：青江菜 > 空心菜 > 地瓜葉；而由圖 28 在 50°C 時其 430nm 與 480nm 的吸收度：青江菜 > 空心菜 = 地瓜葉；由圖 31 在 60°C 時 430nm 的吸收度三者均相等。

(二) 青菜殺青後保溫 2 小時

青菜經殺青後以恆溫槽在不同溫度下保溫 2 小時，青江菜在 430nm 的吸收度：青江菜 > 空心菜 > 地瓜葉，430~480nm 的吸收度均下降，而 640~660nm 的吸收度約相等(圖 37~39)；在 50°C 以上空心菜和地瓜葉波形幾乎完全相同(圖 39~40)，而在 430nm 和 480nm 比值已小於 2 : 1。

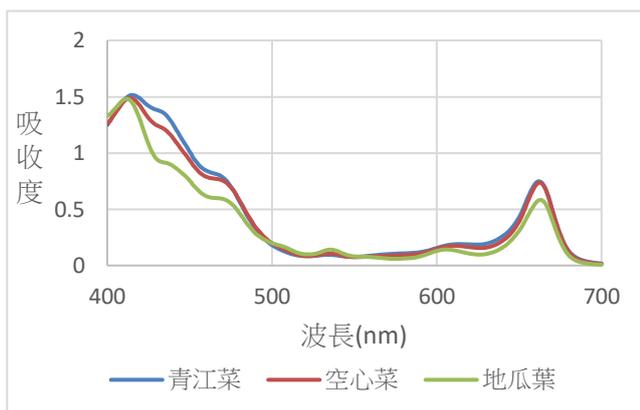


圖 37 40°C 下保溫 1 小時

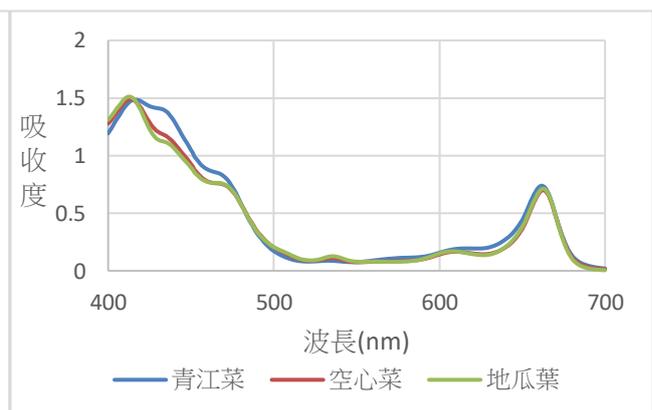


圖 38 50°C 下保溫 1 小時

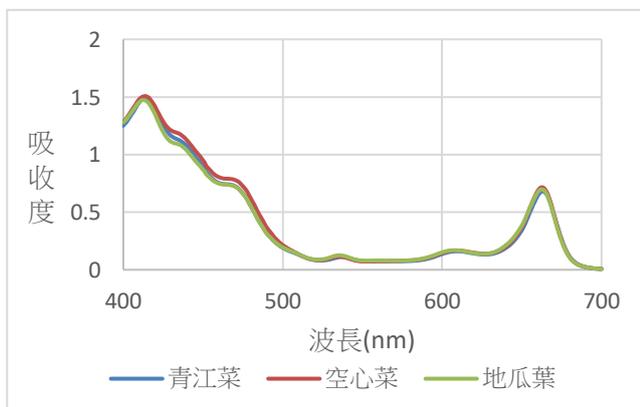


圖 39 60°C 下保溫 1 小時

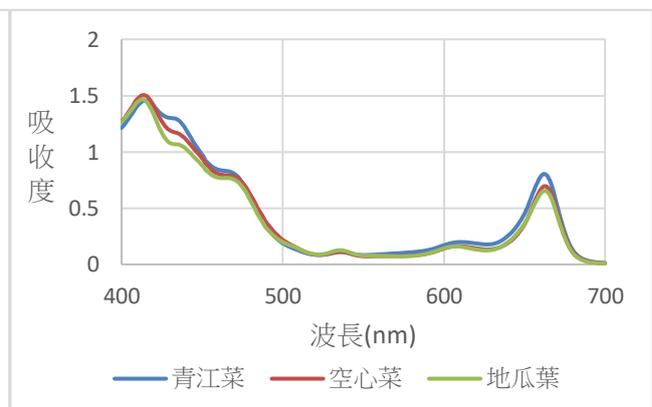


圖 40 40°C 保溫 2 小時

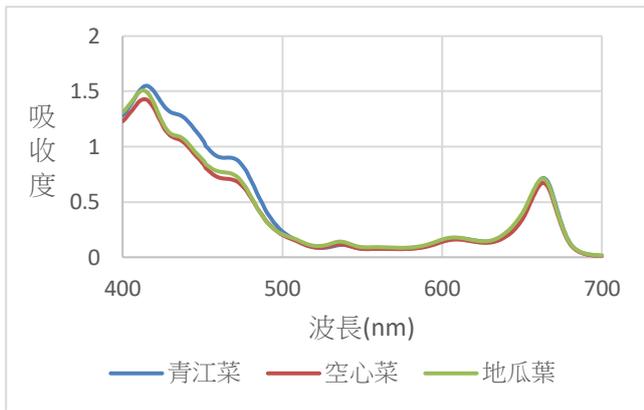


圖 41 50°C下保溫 2 小時

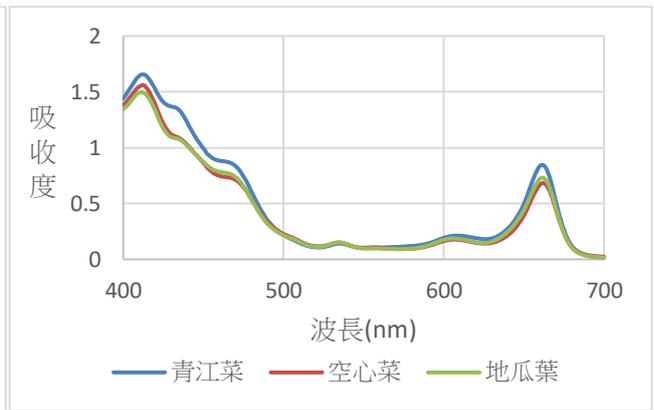


圖 42 60°C下保溫 1 小時

四、將葉片經由不同 pH 值水溶液加熱

將青菜置入不同 pH 值水溶液下加熱，在 pH3 水溶液下其葉綠素較不穩定，尤其是青江菜在 430~480nm 吸收度明顯下降；pH5 水溶液下青江菜在 430~480nm 吸收度較 pH3 下有明顯吸收，而空心菜和地瓜葉圖形接近；在 pH7 水煮下三者吸收度接近，430~480nm 吸收下降，最大吸收度則出現在 410~420nm；pH=9 三者吸收度接近，且在紅光區吸收度提升；pH=11 空心菜和地瓜葉吸收度接近，但青江菜紅光和藍光區吸收度均下降，最大吸收度在 410nm。

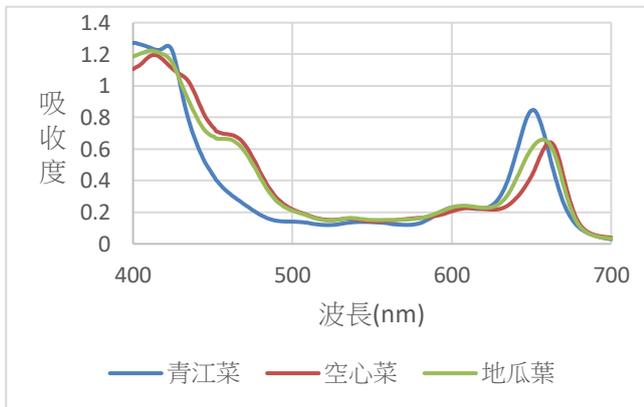


圖 43 青菜 pH3 水溶液下加熱

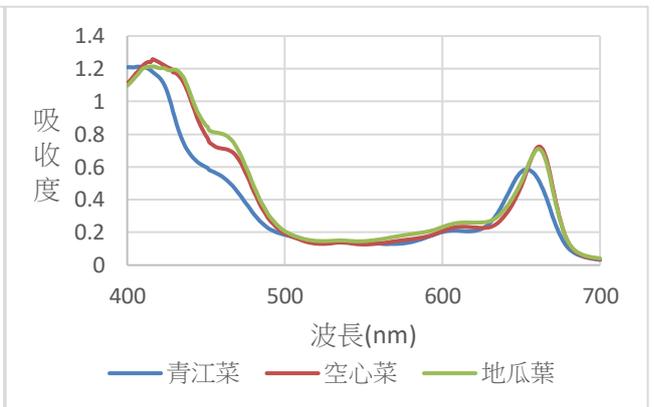


圖 44 青菜在 pH5 水溶液下加熱

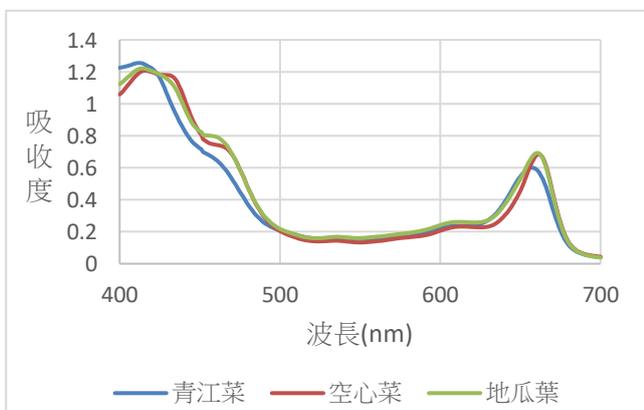


圖 45 青菜在 pH7 水溶液下加熱

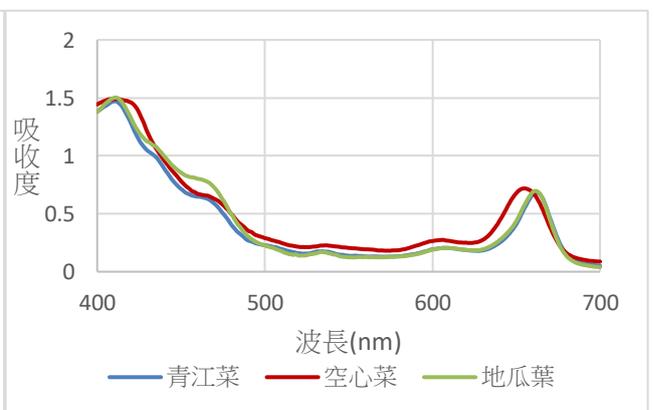


圖 46 青菜在 pH9 水溶液下加熱

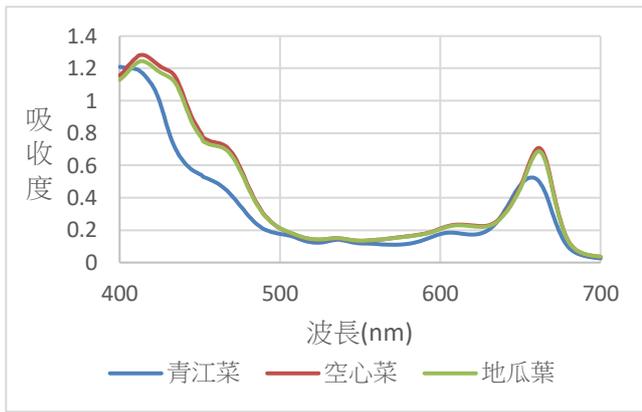


圖 47 青菜在 pH11 水溶液下加熱

五、青菜加入小蘇打後顏色變化

我們先添加少許的小蘇打烹煮並於不同溫度保溫(圖 48~50)，在 40°C 下(圖 40)三者圖形接近，在 430~480nm 略為下降，隨溫度增加 430~480nm 明顯下降，在 640~660nm 吸收度亦下降，且在 410~420nm 有明顯吸收峰；接著提高小蘇打量(圖 51~53)，430~480nm 明顯下降，最大吸收波長出現在 410~420nm，紅光區吸收度亦下降。

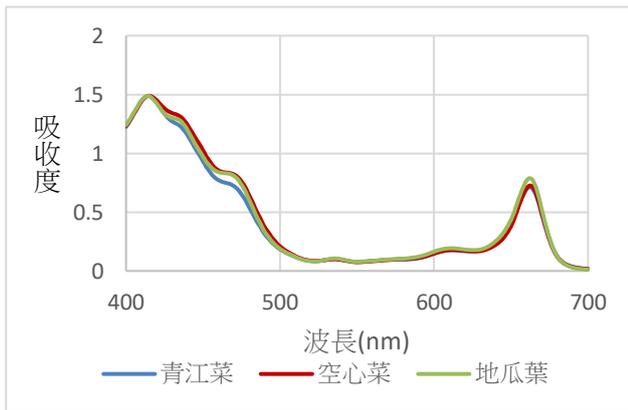


圖 48 添加小蘇打 0.05g 在 40°C 加熱 1 小時

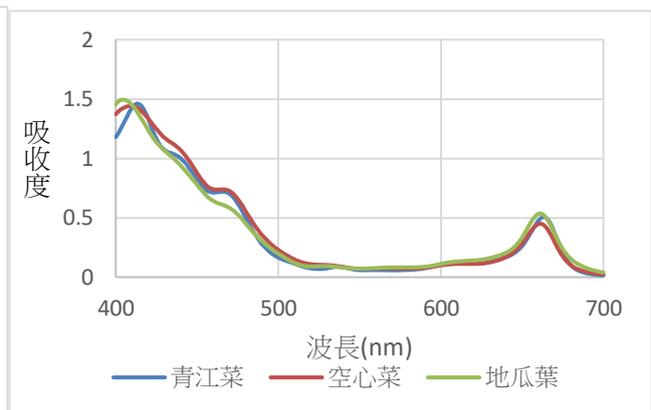


圖 49 添加小蘇打 0.05g 在 50°C 加熱 1 小時

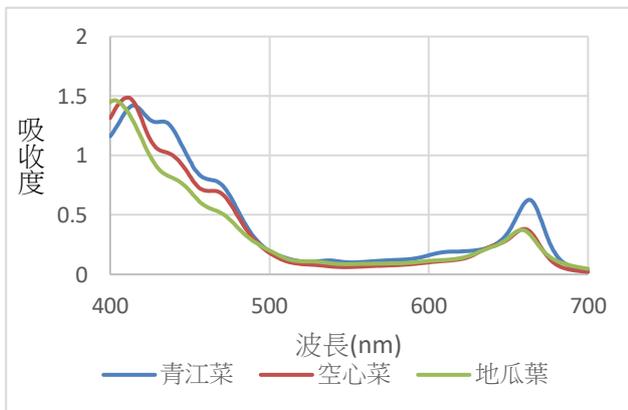


圖 50 添加小蘇打 0.05g 在 60°C 加熱 1 小時

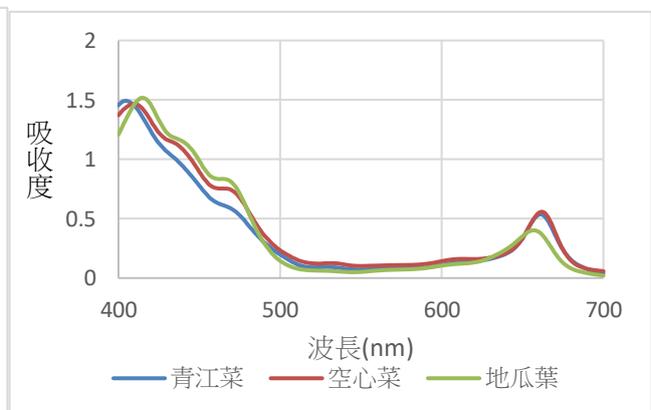


圖 51 添加小蘇打 0.15g 在 40°C 加熱 1 小時

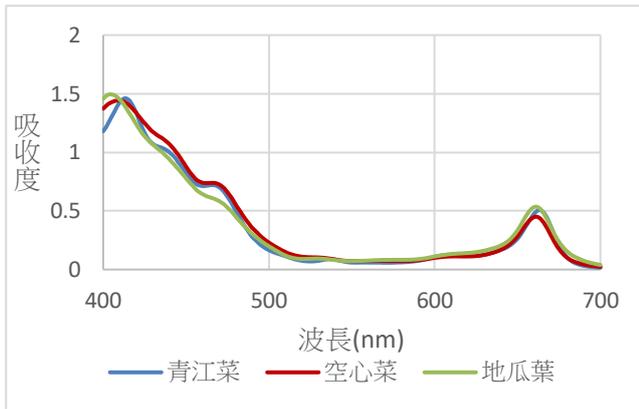


圖 52 添加小蘇打 0.15g 在 50°C 加熱 1 小時

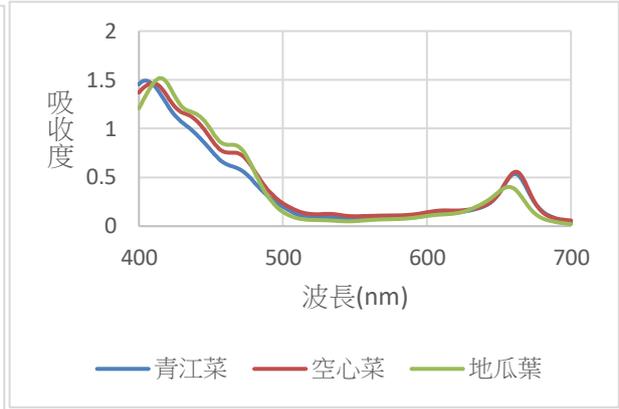


圖 53 添加小蘇打 0.15g 在 60°C 加熱 1 小時

六、用酒精測試加入不同 pH 值的水溶液的螢光效果變化

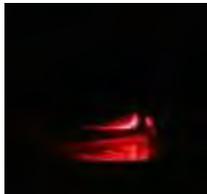
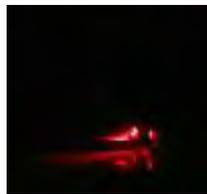
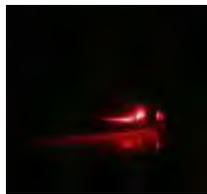
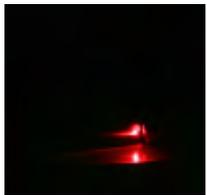
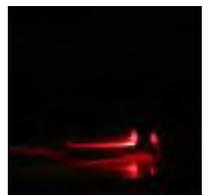
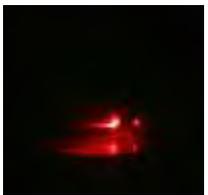
(一) 在暗室中使用綠光雷射筆，照射樣品瓶中的溶液，觀察光線在通過溶液時的顏色變化。以酒精萃取葉綠素的溶液會產生紅色的光，但使用葉綠素酒精溶液加入 pH 值不同的水溶液後並無紅色的光產生，只有綠色的光過其 RGB 值無明顯變化。(表 2)

表 2 各青菜葉綠素酒精溶液加入不同 pH 值水溶液以綠光雷射筆照射

pH 值	pH3			pH5			pH7			pH9			pH11		
青江菜															
RGB	116	254	129	137	254	147	150	254	158	115	254	121	72	252	69
空心菜															
RGB	65	254	68	102	254	109	126	254	135	155	254	164	127	254	134
地瓜葉															
RGB	12	242	10	102	254	96	92	254	81	110	254	104	34	253	36

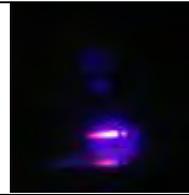
(二) 使用紅光雷射筆照射樣品瓶中的溶液，發現光線不易穿透樣品瓶，僅在表面有亮光，在不同 pH 值的水溶液以及不同青菜的比較下較無明顯變化(表 3)。

表 3 各青菜葉綠素酒精溶液加入不同 pH 值水溶液以紅光雷射筆照射

pH 值	pH3			pH5			pH7			pH9			pH11		
青江菜															
RGB	248	92	105	226	61	69	219	60	70	207	66	76	199	36	44
空心菜															
RGB	155	20	25	148	30	36	186	55	62	203	73	82	234	92	103
地瓜葉															
RGB	121	15	17	166	24	30	177	166	24	30	177	166	24	30	177

(三)使用藍光雷射筆照射樣品瓶中的溶液，發現使用青江菜製成的葉綠素溶液所產生的螢光效果較強，其 R 值在 pH3 和 11 較大，地瓜葉呈現偏白色，而空心菜所照射出的光線變化不明顯(表 4)，B 值 > R 值呈藍紫色。

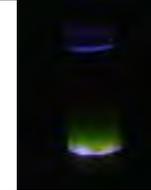
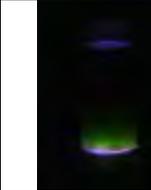
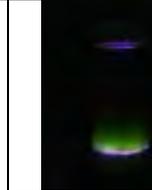
表 4 各青菜葉綠素酒精溶液加入不同 pH 值水溶液以藍光雷射筆照射

pH 值	pH3			pH5			pH7			pH9			pH11		
青江菜															
RGB	204	110	175	184	79	194	180	58	183	176	54	148	223	108	204

空心菜					
RGB	152 99 202	159 105 196	128 79 160	102 74 133	185 148 220
地瓜葉					
RGB	113 90 130	172 134 195	149 108 184	136 91 209	80 81 103

(四) 使用紫外線燈，由下而上照射裝有溶液的實驗瓶，可見樣品瓶底部呈現紫光，在青江菜製成的溶液中更清楚(表 5)。

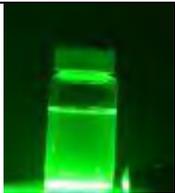
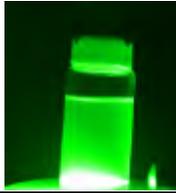
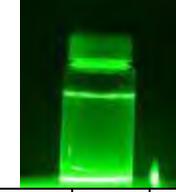
表 5 各青菜葉綠素酒精溶液加入不同 pH 值水溶液以紫外燈照射

pH 值	pH3			pH5			pH7			pH9			pH11		
青江菜															
RGB	211 168 237	207 155 245	212 140 224	158 115 180	144 99 152										
空心菜															
RGB	141 109 186	155 141 201	95 95 90	116 86 184	128 118 158										
地瓜葉															
RGB	133 119 172	148 134 216	158 153 191	166 168 207	166 164 218										

七、用丙酮測試加入不同 pH 值的水溶液的螢光效果變化

(一) 使用綠光雷射筆，照射樣品瓶中的溶液，觀察光線在通過溶液時的顏色變化，發現使用綠光照射時無明顯改變(表 6)。

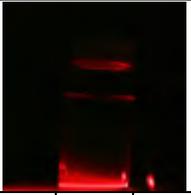
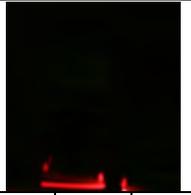
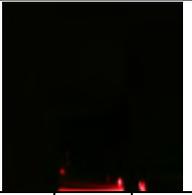
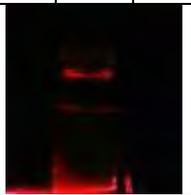
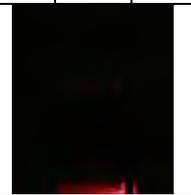
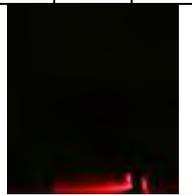
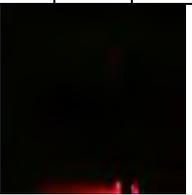
表 6 各青菜葉綠素丙酮溶液加入不同 pH 值水溶液以綠光雷射筆照射

pH 值	pH3			pH5			pH7			pH9			pH11		
青江菜															
RGB	207	254	208	96	254	95	122	254	122	83	254	79	106	254	108
空心菜															
RGB	68	254	63	62	253	61	16	244	20	87	254	88	43	246	55
地瓜葉															
RGB	43	249	41	90	254	84	39	250	42	55	254	43	83	254	80

(二) 使用紅光雷射筆照射實驗瓶中的溶液，發現紅光可穿透樣品瓶內溶液形成紅色光徑，在空心菜的部分較清楚觀測到筆直的光線，且 R 值隨 pH 值降低而增加(表 7)。

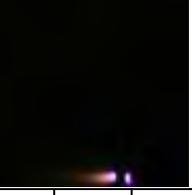
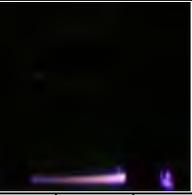
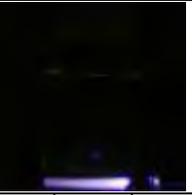
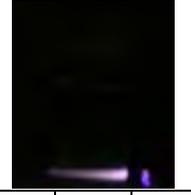
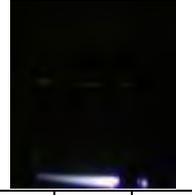
表 7 各青菜葉綠素丙酮溶液加入不同 pH 值水溶液以綠光雷射筆照射

pH 值	pH3			pH5			pH7			pH9			pH11		
青江菜															
RGB	172	13	15	170	14	17	173	12	14	193	17	20	120	5	4

空心菜															
RGB	242	43	52	221	44	53	170	16	19	173	27	31	167	24	28
地瓜葉															
RGB	191	11	11	169	36	48	191	24	28	184	30	35	205	48	56

(三)使用藍光雷射筆照射樣品瓶中的溶液，觀察光線在通過溶液時的顏色變化，使用丙酮的顏色變化比使用酒精來的清楚，pH 值越低的溶液在光線通過時顏色呈現越接近紅色，其中地瓜葉的顏色最為清楚(表 8)。

表 8 各青菜葉綠素丙酮溶液加入不同 pH 值水溶液以藍光雷射筆照射

pH 值	pH3			pH5			pH7			pH9			pH11		
青江菜															
RGB	167	71	78	147	82	97	206	118	166	184	110	160	139	123	138
空心菜															
RGB	160	55	66	139	91	146	119	95	126	164	142	210	151	168	181
地瓜葉															
RGB	167	76	127	148	93	153	139	110	144	94	79	109	131	129	168

(四) 使用紫外線燈由下而上照射裝有溶液的樣品瓶，當 pH 值愈低紅色越明顯，R 值隨 pH 值降低而上升，三種青菜中又以青江菜螢光效果最佳，空心菜和地瓜葉在鹼性條件下均為藍紫色的光。(表 9)。

表 9 各青菜葉綠素丙酮溶液加入不同 pH 值水溶液以紫外燈照射

pH 值	pH3			pH5			pH7			pH9			pH11		
青江菜															
RGB	221	140	222	233	161	232	232	160	248	197	155	209	225	185	254
空心菜															
RGB	227	155	253	212	178	227	155	253	212	178	227	155	253	212	178
地瓜葉															
RGB	225	121	217	189	166	225	121	217	189	166	225	121	217	189	166

八、青菜加入小蘇打煮過後鈉含量

(一) 以導電度測量小蘇打和鈉含量

先做出小蘇打濃度對導電度做出檢量線(圖 54)，依此測量青菜添加小蘇打料理後小蘇打殘留量(表 10)，再由鈉和小蘇打分子量比(23/84)可推論青菜的鈉含量，添加小蘇打 0.05g 及 1g 在空心菜 40g 吸收最多，分別為 41.95 和 45.10mg，添加小蘇打 2g 在青江菜吸收最多可達 65.89mg(圖 53)。

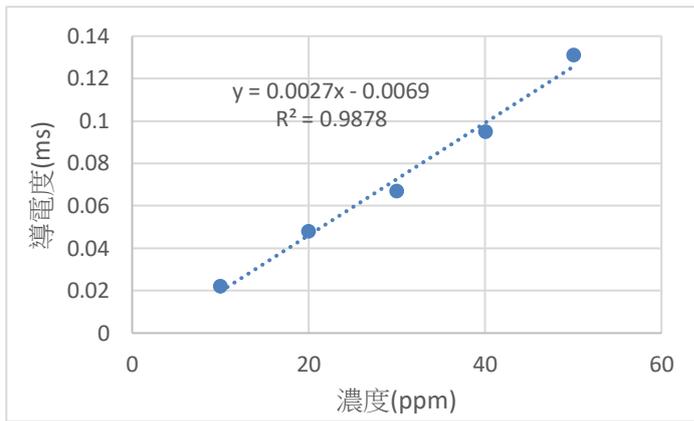


圖 54 小蘇打濃度對導電度檢量線

表 10 以導電度計測量不同克數青菜添加小蘇打的青菜鈉含量

添加小蘇 打量(g)	青菜種類	青菜 1g			青菜 10g			青菜 20g			青菜 30g			青菜 40g		
		導電度	小蘇打含	鈉含量	導電度	小蘇打含	鈉含量	導電度	小蘇打含	鈉含量	導電度	小蘇打含	鈉含量	導電度	小蘇打含	鈉含量
		(ms)	量(mg)	(mg)	(ms)	量(mg)	(mg)	(ms)	量(mg)	(mg)	(ms)	量(mg)	(mg)	(ms)	量(mg)	(mg)
0.05	青江菜	1.68	62.60	17.14	3.60	133.59	26.44	1.96	72.85	19.95	2.18	81.00	22.18	2.82	104.70	28.67
	空心菜	0.77	28.77	7.88	2.21	82.11	12.34	1.88	69.89	19.14	3.24	120.26	32.93	4.13	153.22	41.95
	地瓜葉	0.94	35.07	9.60	2.11	78.40	11.33	0.93	34.70	9.50	2.28	84.70	23.19	2.41	89.51	24.51
0.1	青江菜	1.71	63.47	17.38	3.93	145.81	19.64	1.68	62.48	17.11	4.02	149.14	40.84	3.42	126.92	34.75
	空心菜	1.49	55.56	15.21	3.04	112.85	20.76	2.38	88.40	24.21	3.75	139.14	38.10	4.44	164.70	45.10
	地瓜葉	1.70	63.34	17.34	3.01	111.74	20.45	1.69	62.85	17.21	3.84	142.48	39.01	3.94	146.18	40.03
0.2	青江菜	2.41	89.39	24.48	3.62	134.33	26.64	2.25	83.59	22.89	4.63	171.74	47.02	6.49	240.63	65.89
	空心菜	2.61	97.05	26.57	4.23	156.92	32.83	2.88	106.92	29.28	5.90	218.77	59.90	5.17	191.74	52.50
	地瓜葉	2.53	93.84	25.69	4.03	149.51	30.80	3.26	121.00	33.13	4.49	166.55	45.60	4.83	179.14	49.05

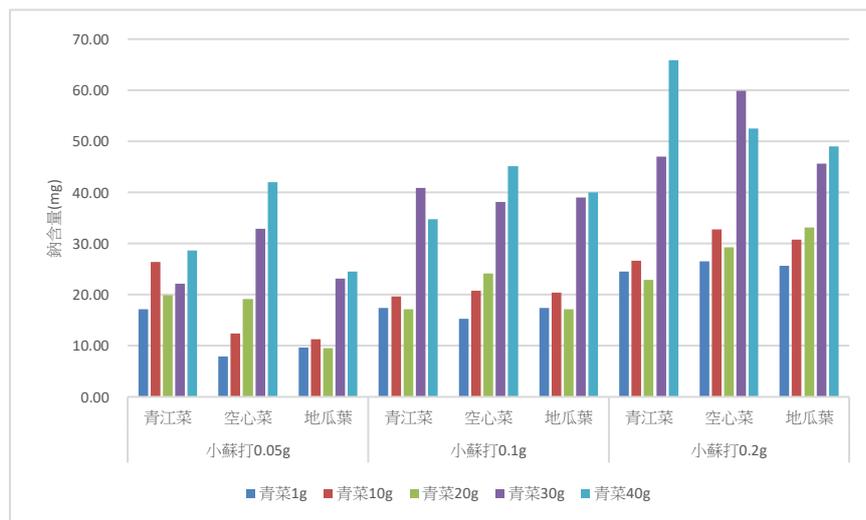


圖 55 以導電度計測量不同克數青菜添加小蘇打的青菜鈉含量長條圖

(二) 以鈉離子計測量鈉含量

鈉離子計可直接測出青菜鈉離子含量(表 11)，添加小蘇打 0.05g 地瓜葉 40g 吸收最多

為 56.00mg，添加小蘇打 1g 和 2g 在空心菜 30g 吸收最多，分別為 130.00 和 200.0mg，且
 鈉含量會隨青菜種量增加而吸收量增加(圖 56)。

表 11 以鈉離子計測量不同克數青菜添加小蘇打的青菜鈉含量

添加小蘇打 量(g)	青菜種 類	青菜 1g		青菜 10g		青菜 20g		青菜 30g		青菜 40g	
		鈉離子濃度	鈉含量	鈉離子濃度	鈉含量	鈉離子濃度	鈉含量	鈉離子濃度	鈉含量	鈉離子濃度	鈉含量
		(ppm)	(mg)	(ppm)	(mg)	(ppm)	(mg)	(ppm)	(mg)	(ppm)	(mg)
0.05	青江菜	400	40.00	410	41.00	310	31.00	310	31.00	350	35.00
	空心菜	310	31.00	490	49.00	410	41.00	440	44.00	490	49.00
	地瓜葉	300	30.00	360	36.00	240	24.00	160	16.00	560	56.00
0.1	青江菜	500	50.00	690	69.00	430	43.00	760	76.00	410	41.00
	空心菜	400	40.00	1000	100.00	720	72.00	1300	130.00	750	75.00
	地瓜葉	410	41.00	440	44.00	520	52.00	1100	110.00	890	89.00
0.2	青江菜	760	76.00	1100	110.00	860	86.00	1200	120.00	1600	160.00
	空心菜	1000	100.00	1300	130.00	1200	120.00	2000	200.00	1300	130.00
	地瓜葉	660	66.00	930	93.00	1200	120.00	1400	140.00	1400	140.00

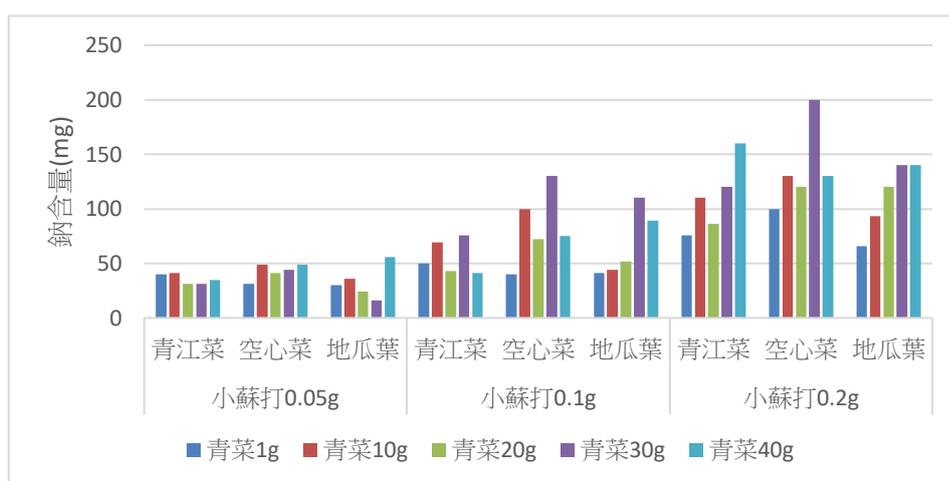


圖 56 以鈉離子計測量不同克數青菜添加小蘇打的青菜鈉含量長條圖

(三) 以不同溫度保溫後的青菜鈉含量

以不同溫度保溫 1 小時以鈉離子計測量其鈉含量(表 12)，鈉含量會隨溫度升高而增加，
 而 40 和 50℃ 青菜的鈉含量均較未保溫前低，但在 60℃ 則會接近為保溫前鈉含量(圖 55)。

表 12 以不同溫度保溫後的青菜鈉含量

添加小蘇打量(g)	青菜種類	鈉含量(mg)		
		40°C	50°C	60°C
小蘇打 0.05g	青江菜	28	30	49
	空心菜	28	29	36
	地瓜葉	27	28	30
小蘇打 0.1g	青江菜	45	46	50
	空心菜	37	38	40
	地瓜葉	39	39	42
小蘇打 0.2g	青江菜	56	58	76
	空心菜	85	89	100
	地瓜葉	60	60	66

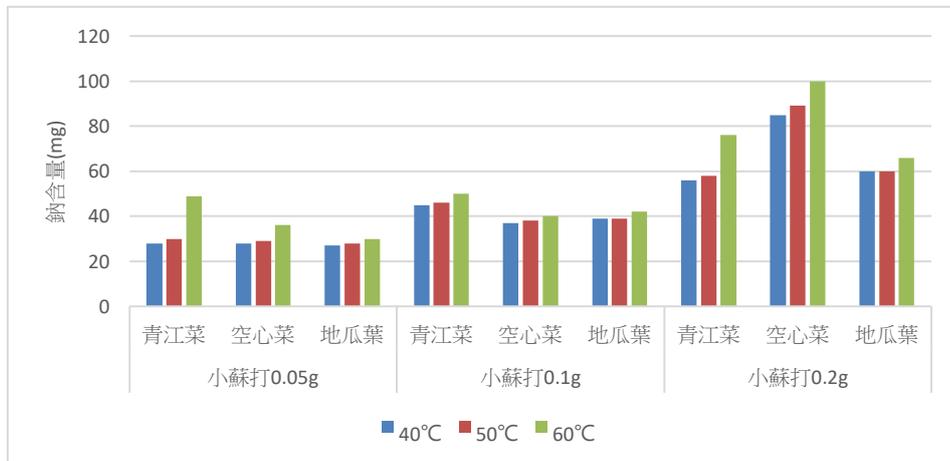


圖 57 以不同溫度保溫後的青菜鈉含量長條圖

九、使用四種烹煮的方式

我們接著使用四種不同的方式烹煮葉片，水煮、泡小蘇打水後過水再水煮、油炒、泡小蘇打水後過水再油炒料理，再萃取出葉綠素測其光譜圖；由圖 56 與 57 比較，經水煮後 430~480nm 吸收度均下降，空心菜較明顯，430nm~480nm 吸收度地瓜葉 = 青江菜 > 空心菜，最大吸收波長則在 420nm，青菜泡過小蘇打再水煮 430~480nm 亦下降，但最大吸收波長則在 410nm 且三者接近；青菜經油炒料理後(圖 58)，430nm 處吸收度下降，最大吸收波長為 415nm，而青江菜 500~600nm 吸收度增加，原本藍光與紅光區的吸收較不明顯；青菜泡小蘇打水後過水再油炒料理(圖 59)最大吸收波長在 415nm，但青江菜及地瓜葉相較於空心菜 430nm~480nm 較無明顯下降，430nm~480nm 吸收度地瓜葉 > 青江菜 > 空心菜。

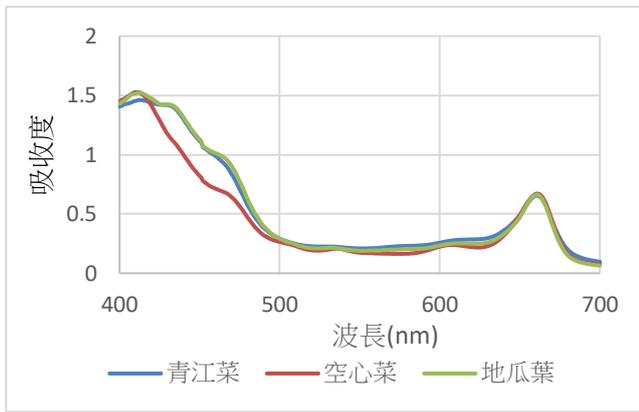


圖 58 青菜經水煮料理

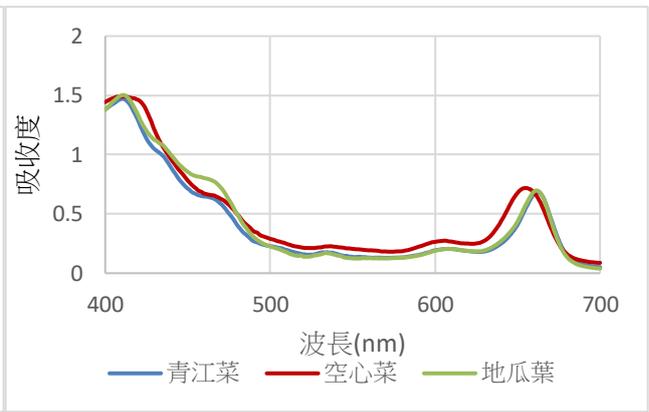


圖 59 青菜泡小蘇打水後過水再水煮料理

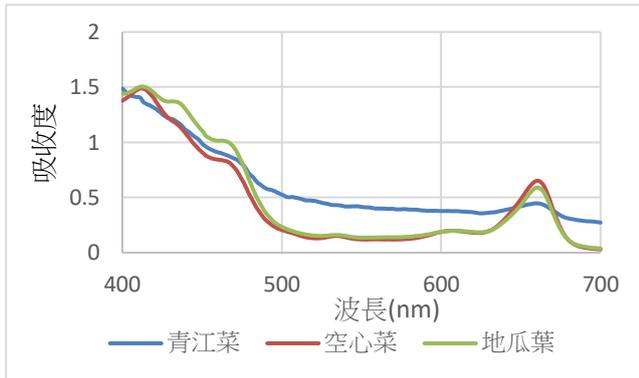


圖 60 青菜經油炒料理

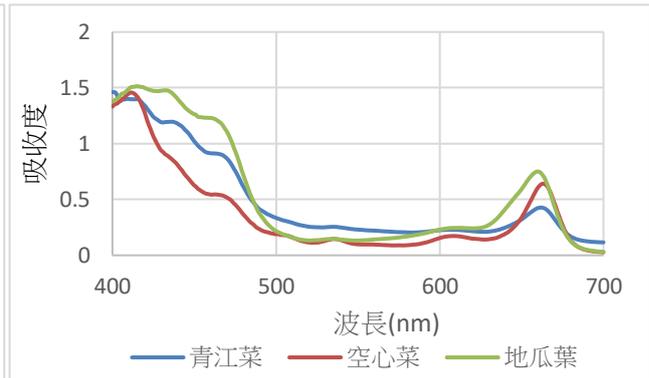


圖 61 泡小蘇打水後過水再油炒料理

十、添加小蘇打前後軟硬度測試

由表 13 可知，未加小蘇打前的青菜經水煮過軟硬程度均不同，葉子軟硬程度：青江菜 > 空心菜 > 地瓜葉，添加小蘇打後會變得較軟，但軟硬程度仍維持青江菜 > 空心菜 > 地瓜葉(圖 62)，再由其標準差可知，添加小蘇打煮過後其砝碼重標準差會較大，顯示葉片軟化的差異性較明顯；而經由圖 61 可知，添加小蘇打煮過皆會變軟，但是變軟的程度不同，依與未添加小蘇打的青菜比較，其百分比依序為：青江菜 > 空心菜 > 地瓜葉(如圖 63)，顯示軟化比因青菜種類不同而有所差異。

表 13 青菜添加小蘇打前後軟硬程度測試

次數	青江菜砝碼重(g)		空心菜砝碼重(g)		地瓜葉砝碼重(g)	
	未添加小蘇打	添加小蘇打	未添加小蘇打	添加小蘇打	未添加小蘇打	添加小蘇打
1	265	260	220	160	150	120
2	250	260	225	200	150	150
3	260	240	205	200	165	150
4	255	260	215	205	165	105
5	245	220	225	210	145	140
平均	255±7.91	248±17.89	218±8.37	195±20	155±9.35	133±19.87

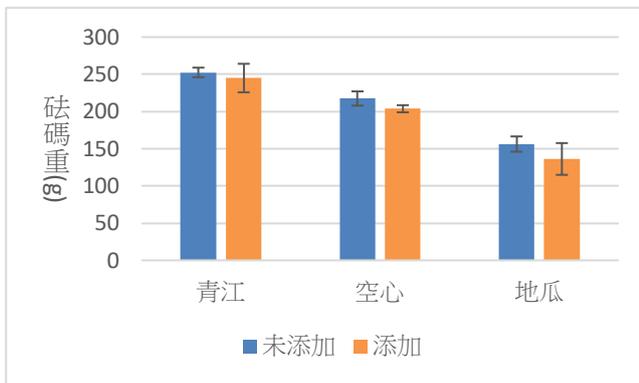


圖 62 青菜添加小蘇打前後軟硬程度比較圖

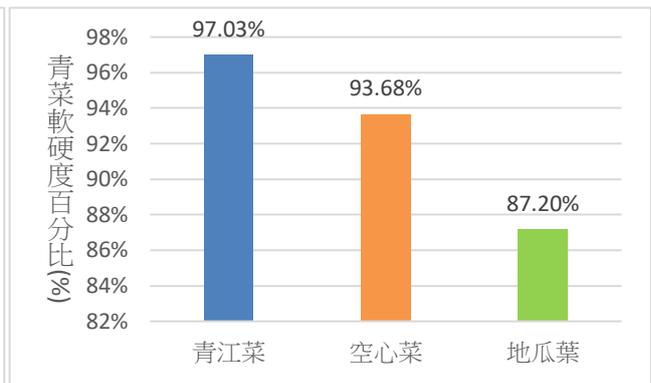


圖 63 青菜添加小蘇打後與未添加比較軟硬百分比

陸、討論

一、經由色層分析可知，菜葉其色素組成為葉綠素 a、葉綠素 b、葉黃素及胡蘿蔔素，而當葉綠素脫鎂時，綠色消失便呈現黃色，由於葉綠素 a 和葉綠素 b 顏色接近，故先求出各青菜中色素的 Rf 值，Rf：胡蘿蔔素 > 葉黃素 > 葉綠素 a > 葉綠素 b，再由其顏色和 Rf 值，判斷其分離色素相對位置；由圖(62~64)可知脫鎂葉綠素、葉綠素 a、葉綠素 b、添加酸和鹼後顏色分別會偏向橘色及鮮綠色，葉綠素與酸反應形成褐色脫鎂葉綠素，在葉片上看起來偏黃色或橄欖綠，葉綠素由結構來看為一種雙羧酸酯，與鹼會產生皂化反應，產生可溶於水的葉綠酸鈉、葉綠醇(植醇)、甲醇，顏色看起來為青綠色。



圖 64 脫鎂葉綠素添加酸(左)和鹼(右) 圖 65 葉綠素 a 添加酸(左)和鹼(右) 圖 66 葉綠素 b 添加酸(左)和鹼(右)

二、由實驗二可知，葉片經殺青後在室溫下可長時間保持綠色，放置 9 天後才略有變黃，放置約 2 週後才會變黃，由其光譜圖可知在 430~480 藍光區影響較明顯，而營養午餐及便當中的蔬菜已經過殺青，易變黃可能尚受其他因素影響。

三、葉子殺青後可破壞酵素終止反應，但在室溫下久放才會變黃，故由實驗三可知，受溫度影響會縮短變黃時間，若烹煮後悶住讓有機酸無法散失，以及在較高溫下會讓脫鎂反應速率增加。

四、在酸性條件下葉綠素結構中，中間的鎂亦被氫取代導致容易變黃，故在 pH3 條件下葉綠素較不穩定，在鹼性條件下可防止脫鎂反應，且會形成水溶性葉綠酸鈉不易變黃，在 pH9 時較穩定，在鹼性高(pH11)的條件下反而會反應產生其他物質。

五、根據上述結果我們先添加少量小蘇打使青菜在弱鹼下反應(圖 38~40)，僅加少量鹼且 40℃ 下保溫，除可維持綠色外葉綠素破壞較少，再加入更多鹼及更高溫度下則會破壞葉綠素，最大吸收峰靠近 400nm，紅光區的吸收度降低，對照實驗一光譜圖可能會產生脫鎂葉綠素或脫鎂葉綠酸，由以上結果可知，溫度為烹煮青菜時變黃的主要原因，添加鹼可中和酸性物質避免葉綠素中的鎂被氫取代，若添加更多的小蘇打，會使得葉綠素及脫鎂葉綠素進一步產生皂化反應產生可溶於水的葉綠酸鈉及脫鎂葉綠酸鈉。

六、根據文獻葉綠素具有螢光效應，在酒精溶液下某個角度可看到紅色，其透色光為綠色，而紅光為受光激發後產生的光為其螢光現象，由實驗六可知，再加入不同 pH 值水溶液後螢光效果為降低，其可能原因為溶劑和 pH 效應，因葉綠素不溶於水，水溶液加入後造成稀釋；以藍光雷射筆照射下有較明顯效果，青江菜在 pH3 及 pH11 有較強的紅光，可能原因為藍色光波長短能量較大，可產生更多激發，而葉綠素在酸性條件下產生脫鎂葉綠素，在鹼性條件下可產生水溶性的葉綠酸鈉；以綠色雷色光照射下較無反應，而丙酮加水其產生的紅光較明顯，會隨 pH 值降低而增加，以綠色雷色光照射下無紅色光產生，但以藍光和紫外燈照射均能產生紅光，在 pH 值較低時較明顯，可能原因為溶劑效應外，亦可能為脫鎂葉綠酸的產生，故經由不同混合溶液的螢光反應可判斷其酸、鹼條件下的產物，進一步探討青菜變黃及加小蘇打可保持鮮綠的主要原因。

六、經由小蘇打溶液中導電度測量可知，在加入小蘇打後，雖然顏色不易變化，但會增加蔬菜中的鈉含量，而常人一天鈉攝取量不超過 2.4g，由加入小蘇打實驗可知其鈉含量已經接近超標，若加上食鹽及其他添加物，便超過建議攝取量，造成身體上的負擔。

七、葉片泡過鹼性的水溶液可以減少脫鎂反應的發生，保持青菜的翠綠。

八、由導電度計測量青菜導電度時，會因為青菜本身即含有其他鹽類影響其導電度，造成推算出的鈉離子含量較鈉離子計測量的低，大約為實際鈉離子含量的 1/3~1/2，市售的水質測量機很多原理是導電度，顯示添加小蘇打使得青菜鈉含量會比平時一般測得的數值高，不知不覺便吃入過多的鈉離子；而以不同溫度保溫處理，青菜在 60℃ 保溫下的鈉含量最高，40~50

°C 含量較低，可能原因是在溫度較高下，小蘇打溶液與青菜的反應加快，使得青菜吸收更多的鈉離子造成殘留，故若以煮湯的方式料理，若沒及時食用可能會攝取過多鈉離子造成身體負擔。

九、我們使用四種不同料理方式處理青菜(圖 44~47)，經水煮後 430~480nm 吸收度下降，顯示葉綠素遭破壞產生褐色的脫鎂葉綠素，外觀顏色會變為黃綠色；青菜經由小蘇打處理後再水煮，430~480nm 吸收度一樣會下降，但最大吸收波長則由 420nm 移至 410nm，顯示在鹼性條件下葉綠素會水解成鮮綠色葉綠酸，可使青菜保持綠色(<https://read01.com/zh-tw/ax500.html>)；青菜經油炒料理後，由於高溫條件下易產生脫鎂葉綠素，對於 430~480nm 吸收度下降，而青江菜不但 430~480nm 下降，500~600nm 吸收度上升，其可能原因為青江菜油炒後易受到留在青菜上的油的干擾；青菜泡過小蘇打水過水後再油炒料理後(圖 47)相較圖 45，430~480nm 下降較少，顯示葉綠素形成脫鎂葉綠素比例降低，其可能原因為油炒環境下水分較少，缺乏氫離子去取代鎂，使得青菜葉綠素較不易受到清梨子的影響。

十、由軟硬度測試的實驗中可知(表 7)，不同種類青菜經水煮過軟硬程度也不同，由實驗中所需砝碼重：青江菜 > 空心菜 > 地瓜葉，青菜本身軟硬程度不同會影響到口感和料理方式，地瓜葉較軟就不適合加熱太久造成太過軟爛，青江菜菜葉較硬，可加熱較久較耐煮，空心菜介於兩者間，可水煮或快炒料理；添加小蘇打後，青菜菜葉均會變軟，但軟硬程度仍維持青江菜 > 空心菜 > 地瓜葉，但由表 7 可知標準差較未添加前大，可能的原因為菜葉與小蘇打反應部分不均，使得軟硬差異變大；與未添加小蘇打軟硬百分比來看(圖 49)：青江菜 > 空心菜 > 地瓜葉，故較軟化程度為地瓜葉 > 空心菜 > 青江菜，顯示青菜種類不同，軟化程度也會有差異，地瓜葉本身較軟就不適合放入太多小蘇打，而青江菜添加小蘇打煮過後，除可保持鮮綠外，也可較快軟化以縮短烹煮時間。

柒、結論

- 一、經烹煮過的菜會變黃乃正常現象，尤其在外面團膳或便當店，為大量製作往往要早點備料，會將當日便當作好後放入保麗龍盒中保溫，在高溫且不透氣情況下，助長了脫鎂反應，而一般看到的便當菜葉保持翠綠，及網路教的小秘訣，皆是加入食用小蘇打，但用量往往無法拿捏而造成過量，人體攝取過多的鈉便會造成負擔。
- 二、不同蔬菜對於溫度反應亦不同，經由實驗可知，青江菜相較於地瓜葉及空心菜較不易變黃，故選擇蔬菜種類可避免小蘇打的過量，。
- 三、高溫且密閉的環境易造成青菜變黃，煮菜時避免蓋上鍋蓋，並減少加熱時間，煮完立即食用，調整烹飪方法亦可避免變黃；而溫度為青菜變黃的重要因素，在低溫下加入少量小蘇打可使葉綠素穩定保持綠色，溫度過高或加入太多的小蘇打則會破壞青菜葉綠素結構及營養成分流失。
- 四、由可見光譜可知在加入小蘇打後，430~480nm 的吸收峰下降而 410~420nm 的吸收峰增加，顯示主要吸收藍紫光，再由螢光現象及文獻可知再鹼性條件下除防止脫鎂反應外，亦會有皂化反應產生葉綠酸鈉、葉綠醇及甲醇，故顏色看起來較為鮮綠。
- 五、由導電度和鈉離子計實驗可知，在加入小蘇打會增加蔬菜鈉含量造成人體負擔，若要使用可酌量並在煮過後過水洗去多餘的小蘇打，避免造成過多的鈉離子殘留。
- 六、小蘇打除造成蔬菜顏色變化外，亦可使蔬菜較為口感較軟，若不易煮爛的蔬菜可幫助纖維素分解改善口感，並節省烹煮時間省下成本，若本身已經較為柔軟的蔬菜則不適合加入太多，過量則會過於軟爛口感不佳。
- 七、泡過小蘇打在水煮的顏色較一般水煮的顏色鮮綠，而青菜使用泡過小蘇打再油炒的顏色會較一般油炒的青菜鮮綠，顯示添加小蘇打對於不同料理方式皆可使青菜保持鮮綠。

捌、參考資料

1. 尤丁攻等(2017)。自然與生活科技課第四冊。台南市：南一書局。
2. 陳鈞彥、黃子祐、郭界宏(2017)。Oh！「葉」~利用手機光譜儀探討市售植物油在可見光雷射照射下發光之行為。彰化縣立陽明國民中學。

3. 彭佳悅、彭佳怡(2014)。花開花飛花滿天—以手機應用軟體色差計探討植物色素對酸鹼與重金屬之色差值可行性。臺北市私立東山高級中學(附設國中)
4. 何倚帆、陳穎宣(2014)。開發葉綠素檢驗微量重金屬的方法。花蓮縣立國風國民中學。
5. 陳佳宜、張凱茵、譚玉婕(2014)。葉綠素長生之道。雲林縣立雲林國民中學。
6. 洪念芳、莊雯琇、楊幼琪(2009)。青春永駐----探討地瓜葉烹飪之顏色變化。臺北縣立義學國民中學。
7. 朱韋銘、莊濬鴻、許令煌、黃品翔(2007)。深思熟「綠」才會螢—葉綠素螢光的探討。國立新莊高級中學。
8. 潘瑞熾(2008)。植物生理學。台北市。藝軒圖書出版社。
9. 梅鎮安等(1995)。光合作用。台北市：淑馨出版社。
10. 王月雲等(1993)。植物生理學實驗。台北市：藝軒出版社。

【評語】 030206

本研究觀測食用葉菜於不同操控環境下之變色情形，架構完整且貼近生活經驗，取材生活化。研究結論加入食用小蘇打可使便當青菜保持翠綠，但隨性添加易攝取過量的鈉。經實驗得知青江相較地瓜葉及空心菜較不易變黃，可減少用量。煮時應避免蓋上鍋蓋、減少加熱時間並盡快食用。測量鈉離子含量之手法宜再改良，可使結論更具可信度。以下幾點建議：

- (1) 實驗原理的部分雖然有列出參考文獻的部分，建議內容的部分還是以自行撰寫為主。
- (2) 把色層分析試紙剪成尖形箭頭形狀，相當有創意。另外要討論一下所使用之色層分析試紙的靜相為何？
- (3) 如何確認色層分析紙所分離的青菜中的色素的成分?建議可以使用標準品確認看看。
- (4) 觀察螢光時，建議可以加上濾鏡，不然來自光源的散射光太強不利觀察。
- (5) 顏色與光譜吸收峰變化關係的解釋可再加強。
- (6) 探討青菜添加小蘇打粉所測鈉含量，若能先測未加小蘇打粉前鈉含量，及說明為何所增加鈉的量與所加小蘇打粉量未成比例，將更完整。

摘要

經烹煮過的菜會變黃是正常現象，一般會加入食用小蘇打使便當青菜保持翠綠，但往往隨性添加，易攝取過量的鈉。不同蔬菜對於溫度反應亦不同，經實驗得知，青江菜相較於地瓜葉及空心菜較不易變黃，可減少用量。因高溫且密閉的環境易造成變色，煮菜時應避免蓋上鍋蓋、減少加熱時間並盡快食用。由可見光譜得知在加入小蘇打後，葉綠素a的吸收峰下降而葉綠素b的吸收峰增加，顏色看起來較為鮮綠。若要使用小蘇打可酌量並在煮過後過水，且避免用在較軟的青菜上。

壹、研究動機

最近有一則新聞，有業者為了增加青菜的賣相，添加俗稱保綠劑的一種工業用白色粉末。這引起了我的好奇，聽家中長輩說，有營養午餐之前，帶到學校的便當都要蒸過，蒸過的青菜顏色都不好，大家都不喜歡吃，我針對青菜煮熟後仍然可以保持鮮綠且安全的方法，進行這次研究。

貳、研究目的

- 一、研究常見的食用青菜葉綠素組成
- 二、探討青菜葉綠素隨時間顏色變化情形
- 三、比較保溫溫度及時間對青菜的顏色影響
- 四、探討青菜在不同pH值下的顏色變化
- 五、青菜添加小蘇打後在不同溫度下的顏色變化
- 六、研究青菜在添加小蘇打後軟硬程度及鈉含量

參、研究設備及器材

一、實驗設備



分光光度計 電子秤 鈉離子計 加熱板

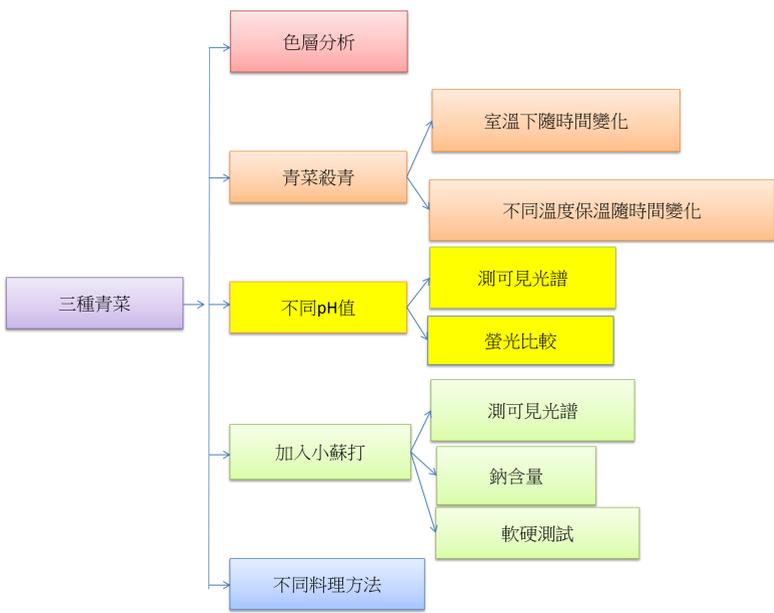
二、實驗器材



青江菜 空心菜 地瓜葉

肆、研究過程或方法

一、實驗流程：



(一) 葉綠素

1. 葉綠素的化學性質並不穩定，易受光、熱、pH值等影響。葉綠素(圖1)會經由酶或酸作用，葉片中的氫會取代鎂變成脫鎂葉綠素(圖2)，使葉片呈現黃褐色；鹼對葉綠素的影響較小，添加鹼後，葉片顏色會顯得較翠綠，所以廚師在炒菜時會添加小蘇打使炒出來的菜顏色鮮豔漂亮。



2. 而葉綠素a、b的吸收光譜較為接近，兩者在藍紫光(430~480nm)和紅光區(640~660nm)都有吸收高峰，葉綠素a、b對綠光的吸收很少，所以呈綠色

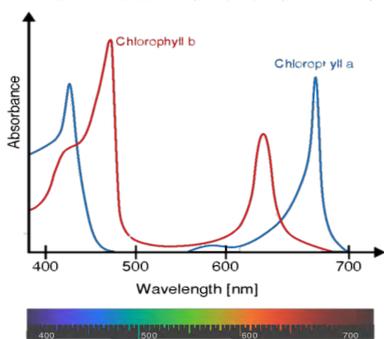


圖3 葉綠素吸收光譜圖

(二) 脫鎂反應

青菜在烹煮加熱的過程或酸性環境下，葉綠素會行脫鎂反應(圖4)，葉綠素中央的鎂離子會被氫離子取代，使原來的綠色轉變為深橄欖綠。為避免青菜變黃，烹調時可用快炒而不加蓋的方法使有機酸揮發，或加水來掩蓋蔬菜，以減少酸(氫離子)的含量。也可加些小蘇打粉來中和酸，並形成葉綠酸鈉(圖5)保持翠綠

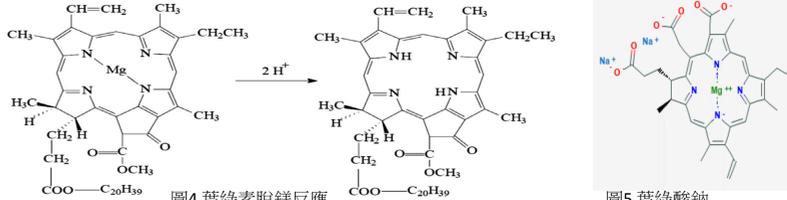


圖4 葉綠素脫鎂反應

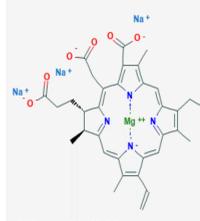


圖5 葉綠酸鈉

(三) 螢光原理

葉綠素中的a和b吸收藍光及紅光，而綠光吸收很少。葉綠素吸收光能後能量轉變，葉綠素分子吸收藍光(430nm)或紅光(670nm)後，分別激發為第二單線態(E2)或第一單線態(E1)，E1轉變為第一三線態，進一步回到基態(E0)時則產生螢光或磷光(圖6)。

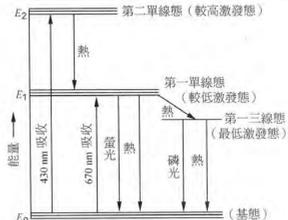


圖6 色素分子吸收光能後能量轉變(潘, 2008)

伍、研究結果

一、用色層分析試紙觀察葉綠素組成：

(一) 青菜中含有葉綠素a、葉綠素b、葉黃素、類胡蘿蔔素等色素

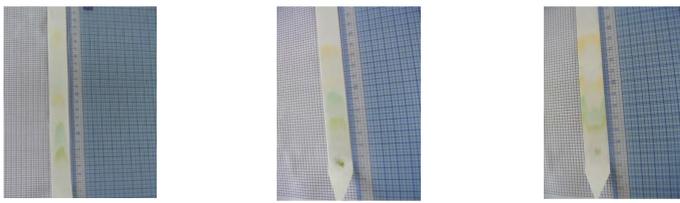
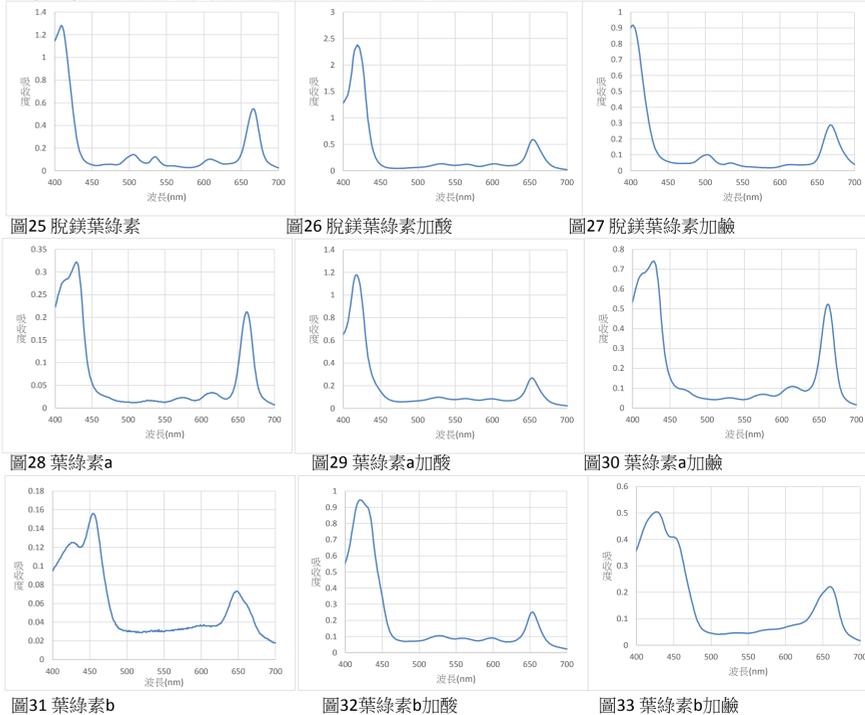


圖22 青江菜色層分析 圖23 空心菜色層分析 圖24 地瓜葉色層分析

表1 各青菜色層分析所含色素Rf值

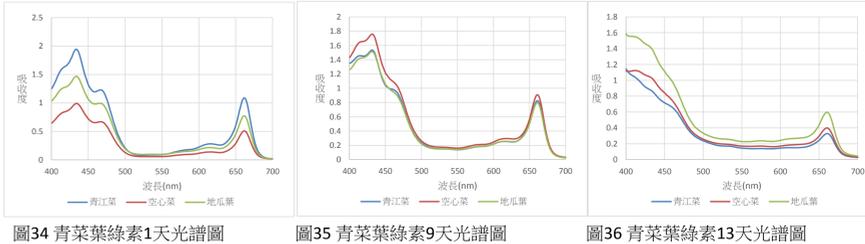
青菜種類	長度(cm)				Rf值			
	胡蘿蔔素	葉黃素	葉綠素a	葉綠素b	胡蘿蔔素	葉黃素	葉綠素a	葉綠素b
青江菜	20.00	12.00	7.00	5.00	1.00	0.60	0.35	0.25
空心菜	11.00	7.90	6.00	4.00	1.00	0.72	0.55	0.36
地瓜葉	11.00	7.00	4.40	3.40	1.00	0.64	0.40	0.31

(二) 經由色層分析試紙分離色素光譜圖



葉綠素加酸在紅光區吸收少，加鹼與其原本波形較相似，故推測加鹼後較能維持葉綠素的原色。

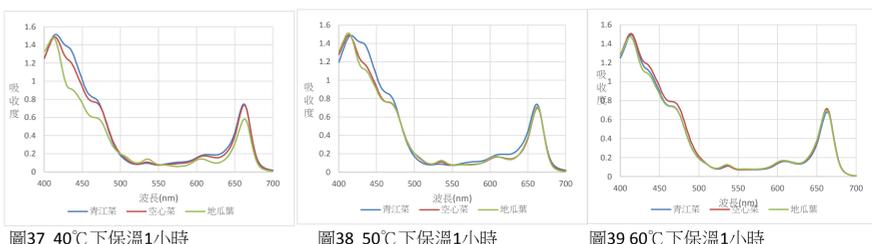
二、青菜經殺青後在室溫下顏色隨時間變化情形



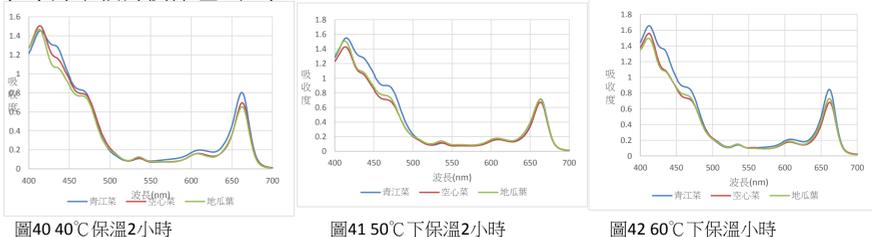
在放置13天後綠光區的吸收度上升，因此綠光呈現較不明顯。

三、經殺青過的葉子在不同溫度下保溫情形

(一) 青菜殺青後保溫1小時

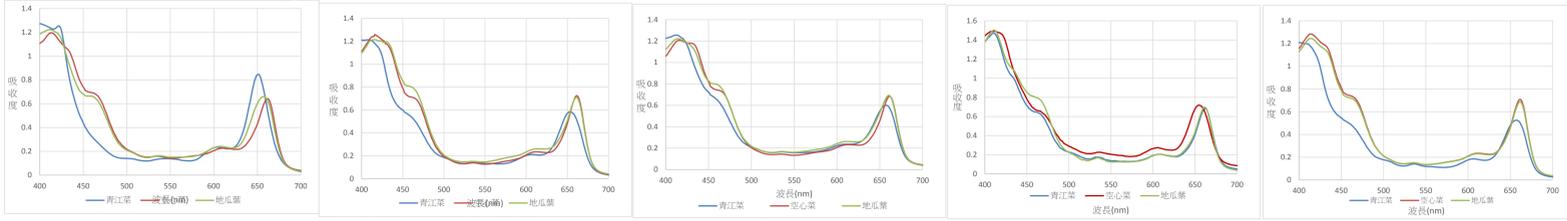


(二) 青菜殺青後保溫2小時



用低溫短時間將沸騰過的青菜進行保溫，青菜最不容易變黃。

四、將葉片經由不同pH值水溶液加熱



在pH3下葉綠素較不穩定；pH9時較穩定，在鹼性環境下可減少脫鎂反應的發生形成水溶性葉綠酸鈉而不易變黃。

圖43 青菜pH3水溶液下加熱 圖44 青菜在pH5水溶液下加熱 圖45 青菜在pH7水溶液下加熱 圖46 青菜在pH9水溶液下加熱 圖47 青菜在pH11水溶液下加熱

五、青菜加入小蘇打後顏色變化

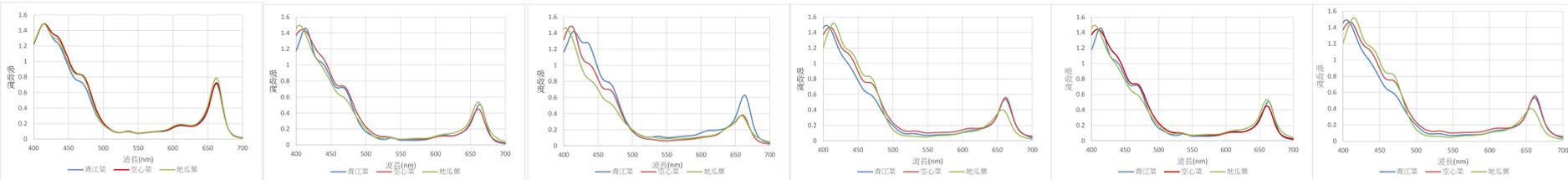


圖48 添加小蘇打0.05g在40°C加熱1小時 圖49 添加小蘇打0.05g在50°C加熱1小時 圖50 添加小蘇打0.05g在60°C加熱1小時 圖51 添加小蘇打0.15g在40°C加熱1小時 圖52 添加小蘇打0.15g在50°C加熱1小時 圖53 添加小蘇打0.15g在60°C加熱1小時

在弱鹼的情況下隨溫度增加430~480nm明顯下降，在40°C下葉綠素遭破壞較少，因此呈現綠色，提高小蘇打量後發現430~480nm吸收度明顯下降，最高峰值出現在410~420nm，因此在弱鹼又低溫的情況下，青菜最能維持顏色。

六、用酒精測試加入不同pH值的水溶液的螢光效果變化

表2、表3、表4青江菜、空心菜、地瓜葉的葉綠素酒精溶液加入不同pH值水溶液以綠、紅、藍雷射筆照射

pH值	pH3	pH5	pH7	pH9	pH11	pH3	pH5	pH7	pH9	pH11	pH3	pH5	pH7	pH9	pH11
青江菜															
RGB	116 254 129 137 254 147 150 254 158 115 254 121 72 252 69 248 92 105 226 61 69	219 60 70 207 66 76 199 36 44 204 110 175 184 79 194 180 58 183 176 54 148 223 108 204	65 254 68 102 254 109 126 254 135 155 254 164 127 254 134 155 20 25 148 30 36 186 55 62 203 73 82 234 92 103 152 99 202 159 105 196 128 79 160 102 74 133 185 148 220	12 242 10 102 254 96 92 254 81 110 254 104 34 253 36 121 15 17 166 24 30 177 166 24 30 177 166 24 30 177 113 90 130 172 134 195 149 108 184 136 91 209 80 81 103											

七、用丙酮測試加入不同pH值的水溶液的螢光效果變化

表5青江菜、空心菜、地瓜葉的葉綠素丙酮溶液加入不同pH值水溶液以紫外燈照射

pH值	pH3	pH5	pH7	pH9	pH11
青江菜					
RGB	211 168 237 207 155 245 212 140 224 158 115 180 144 99 152				
空心菜					
RGB	141 109 186 155 141 201 95 95 90 116 86 184 128 118 158				
地瓜葉					
RGB	133 119 172 148 134 216 158 153 191 166 168 207 166 164 218				

pH值	pH3	pH5	pH7	pH9	pH11
青江菜					
RGB	221 140 222 233 161 232 232 160 248 197 155 209 225 185 254				
空心菜					
RGB	227 155 253 212 178 227 155 253 212 178 227 155 253 212 178				
地瓜葉					
RGB	225 121 217 189 166 225 121 217 189 166 225 121 217 189 166				

表6、表7、表8青江菜、空心菜、地瓜葉的葉綠素丙酮溶液加入不同pH值水溶液以綠、紅、藍雷射筆照射

pH值	pH3	pH5	pH7	pH9	pH11	pH3	pH5	pH7	pH9	pH11	pH3	pH5	pH7	pH9	pH11
青江菜															
RGB	207 254 208 96 254 95 122 254 122 83 254 79 106 254 108 172 13 15 170 14 17 173 12 14 193 17 20 120 5 4 167 71 78 147 82 97 206 118 166 184 110 160 139 123 138														
空心菜															
RGB	68 254 63 62 253 61 16 244 20 87 254 88 43 246 55 242 43 52 221 44 53 170 16 19 173 27 31 167 24 28 160 55 66 139 91 146 119 95 126 164 142 210 151 168 181														
地瓜葉															
RGB	207 254 208 96 254 95 122 254 122 83 254 79 106 254 108 172 13 15 170 14 17 173 12 14 193 17 20 120 5 4 167 71 78 147 82 97 206 118 166 184 110 160 139 123 138														

用綠雷射筆照射較不明顯可能是因為加入水溶液後葉綠素不溶於水反而造成稀釋，其餘三種光相較於在酒精環境在丙酮條件下較有穿透力。

八、青菜加入小蘇打煮過後鈉含量

(一) 以導電度測量小蘇打和鈉含量



圖54 小蘇打濃度對導電度測量線 圖55 以導電度計測量不同克數青菜添加小蘇打的鈉含量長條圖

(二) 以鈉離子計測量鈉含量

表11 以鈉離子計測量不同克數青菜添加小蘇打的青菜鈉含量

添加小蘇打量(g)	青菜種類	青菜1g	青菜10g	青菜20g	青菜30g	青菜40g					
0.05	青江菜	400	40	410	41	310	31	310	31	350	35
	空心菜	310	31	490	49	410	41	440	44	490	49
	地瓜葉	300	30	360	36	240	24	160	16	560	56
0.1	青江菜	500	50	690	69	430	43	760	76	410	41
	空心菜	400	40	1000	100	720	72	1300	130	750	75
	地瓜葉	410	41	440	44	520	52	1100	110	890	89
0.2	青江菜	760	76	1100	110	860	86	1200	120	1600	160
	空心菜	1000	100	1300	130	2000	200	1300	130	1300	130
	地瓜葉	660	66	930	93	1200	120	1400	140	1400	140

在青菜40g加入0.05g小蘇打的情況下鈉含量最少，可見在青菜較多而小蘇打較少的的情況下鈉含量較少。

表10 以導電度計測量不同克數青菜添加小蘇打的青菜鈉含量

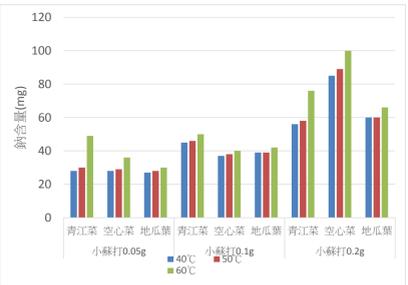
添加小蘇打量(g)	青菜種類	青菜1g	青菜10g	青菜20g	青菜30g	青菜40g										
0.05	青江菜	1.68	63	17	3.60	134	26	1.96	73	20	2.18	81	22	2.82	105	29
	空心菜	0.77	29	8	2.21	82	12	1.88	70	19	3.24	120	33	4.13	153	42
	地瓜葉	0.94	35	10	2.11	78	11	0.93	35	10	2.28	85	23	2.41	90	25
0.1	青江菜	1.71	63	17	3.93	146	20	1.68	62	17	4.02	149	41	3.42	127	35
	空心菜	1.49	56	15	3.04	113	21	2.38	88	24	3.75	139	38	4.44	165	45
	地瓜葉	1.70	63	17	3.01	112	20	1.69	63	17	3.84	142	39	3.94	146	40
0.2	青江菜	2.41	89	24	3.62	134	27	2.25	84	23	4.63	172	47	6.49	241	66
	空心菜	2.61	97	27	4.23	157	33	2.88	107	29	5.90	219	60	5.17	192	53
	地瓜葉	2.53	94	26	4.03	150	31	3.26	121	33	4.49	167	46	4.83	179	49

因青菜中含有其他鹽類所以當利用導電度推算出的鈉含量較低，而常人每天建議攝取量為2.4g，加入小蘇打後會增加鈉含量，再加入其他調味料和含量定會超標。

(三) 以不同溫度保溫後的青菜鈉含量

表12 以不同溫度保溫後的青菜鈉含量

添加小蘇打量(g)	青菜種類	40°C	50°C	60°C
小蘇打0.05g	青江菜	28	30	49
	空心菜	28	29	36
	地瓜葉	27	28	30
小蘇打0.1g	青江菜	45	46	50
	空心菜	37	38	40
	地瓜葉	39	39	42
小蘇打0.2g	青江菜	56	58	76
	空心菜	85	89	100
	地瓜葉	60	60	66



鈉含量會隨著溫度上升而增加。

圖57 以不同溫度保溫後的青菜鈉含量長條圖

九、使用四種烹煮的方式

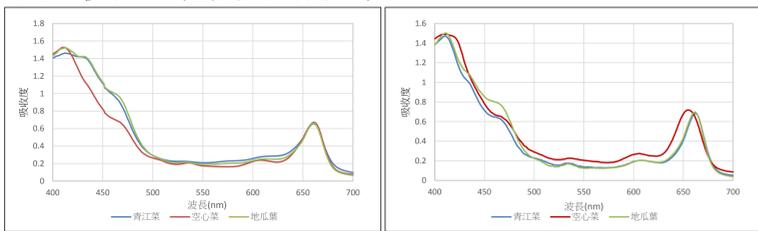


圖58 青菜經水煮料理

圖59 青菜泡小蘇打水後過水再水煮料理

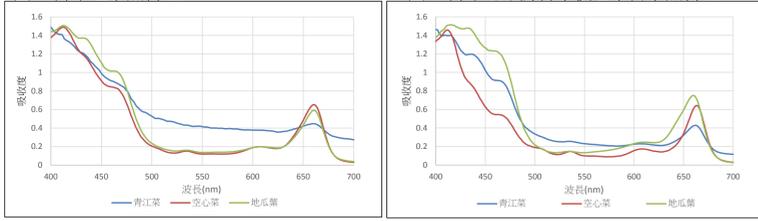


圖60 青菜經油炒料理

圖61 泡小蘇打水後過水再油炒料理

四種烹煮方法比較下:水煮>泡小蘇打水後過水再水煮>泡小蘇打水後過水再油炒>油炒, 水煮處理在綠光區吸收度較低可呈現較明顯的綠色。

十、添加小蘇打前後軟硬度測試

表13 青菜添加小蘇打前後軟硬程度測試

次數	青江菜砝碼重(g)		空心菜砝碼重(g)		地瓜葉砝碼重(g)	
	未添加小蘇打	添加小蘇打	未添加小蘇打	添加小蘇打	未添加小蘇打	添加小蘇打
1	265	260	220	160	150	120
2	250	260	225	200	150	150
3	260	240	205	200	165	150
4	255	260	215	205	165	105
5	245	220	225	210	145	140
平均	255±7.91	248±17.89	218±8.37	195±20	155±9.35	133±19.87

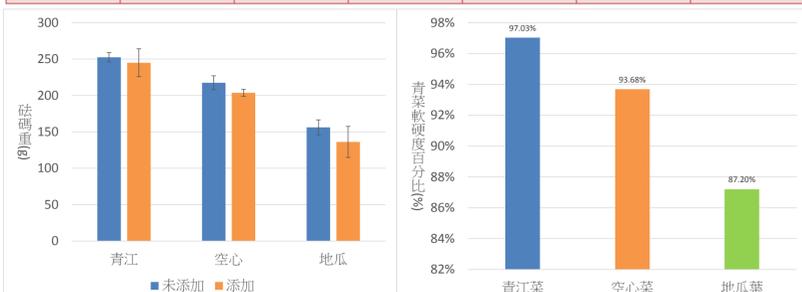


圖62 青菜添加小蘇打前後軟硬程度比較圖

圖63 青菜添加小蘇打後與未添加比較軟硬百分比



我們發現經小蘇打處理後在水煮的葉片比較軟, 添加小蘇打後標準差較大可能是小蘇打與青菜反應不均而造成的。

陸、討論

一、經由色層分析可知:

- * 葉葉色素組成為葉綠素a、b、葉黃素及胡蘿蔔素, 脫鎂反應會使葉片呈黃色。
- * 葉綠素a、b顏色接近, 青菜色素的Rf值為胡蘿蔔素>葉黃素>葉綠素a>葉綠素b, 由顏色及Rf值, 判斷相對位置。
- * 添加酸顏色偏向橘色, 與酸反應形成褐色脫鎂葉綠素, 在葉片上看起來偏黃色或橄欖綠, 為一種雙羧酸酯
- * 添加鹼後鮮綠色, 與鹼會產生皂化反應, 形成可溶於水的葉綠酸鈉、葉綠醇(植醇)、甲醇, 顏色看起來為青綠色。



圖64 脫鎂葉綠素添加酸(左)和鹼(右) 圖65 葉綠素a添加酸(左)和鹼(右) 圖66 葉綠素b添加酸(左)和鹼(右)

二、葉片經殺青後在室溫下可長時間保持綠色:

- * 放置9天後才略有變黃, 放置約2週後才會完全變黃
- * 由光譜圖可知在430~480藍光區影響較明顯, 而營養午餐及便當蔬菜已經過殺青, 變黃可能是受其他因素影響。

三、溫度會影響變黃時間。

- * 葉子殺青後可破壞酵素終止反應, 久放才會變黃
- * 機酸無法散失, 在高溫下都會加快脫鎂反應。

四、因葉綠素有脫鎂反應:

- * 在pH3時葉綠素較不穩定
- * 在pH9時較穩定, 鹼性條件可防止脫鎂反應, 形成水溶性葉綠酸鈉而不易變黃。

五、添加少量小蘇打使青菜在弱鹼下反應:

- * 在少量鹼且低溫下保溫, 可維持綠色。
- * 在更多鹼及高溫下會破壞葉綠素, 使紅光區吸收度降低, 可能會產生脫鎂葉綠素或脫鎂葉綠酸。
- * 溫度為青菜變黃的因素, 以鹼中和酸性物質避免脫鎂反應。

六、根據文獻, 葉綠素具有螢光效應

- * 在酒精溶液透色光為綠色, 光激發後產生的光為紅光
- * 加不同pH值水溶液後效果降低, 可能因葉綠素不溶於水造成稀釋。
- * 以藍光雷射筆照射有較明顯效果, 青江菜在pH3及pH11有較強的紅光, 可能因藍色光波長能量較大, 可產生更多激發。
- * 而葉綠素在酸性條件下產生脫鎂葉綠素, 在鹼性條件下可產生水溶性的葉綠酸鈉。
- * 以綠色雷射光照射下較無反應, 但丙酮加水、以藍光和紫外燈照射均能產生紅光, 在pH值低時較明顯。
- * 經由不同混合溶液的螢光反應可判斷其酸、鹼條件下的產物, 用以探討青菜變黃及加小蘇打可保持鮮綠的主要原因。

七、小蘇打溶液的導電度測量

- * 加入小蘇打後, 會增加鈉含量, 人一天攝取量不超過2.4g。
- * 由小蘇打實驗可知鈉含量接近超標, 若加上其他添加物, 便超過建議攝取量, 造成身體上的負擔。

八、葉片在鹼性環境下可減少脫鎂反應, 保持青菜的翠綠。

九、由導電度計測量青菜導電度

- * 因青菜本身有其他鹽類影響導電度, 造成推算出的鈉離子含量較鈉離子計測量的低, 水質測量機原理多是導電度, 顯示添加小蘇打使得青菜鈉含量會比一般測得的數值高。
 - * 青菜鈉含量在60~40°C下逐漸減少, 高溫下, 青菜與溶液的反應加快, 而吸收更多的鈉離子造成殘留。
- 十、我們使用四種不同料理方式處理青菜(圖58~61)
- * 由水煮後430~480nm吸收度下降可知葉綠素遭破壞產生褐色脫鎂葉綠素, 外觀變為黃綠色。
 - * 經小蘇打處理後再水煮, 同水煮情況, 但最大吸收波長由420nm移至410nm, 可知鹼使葉綠素水解成鮮綠色葉綠酸。
 - * 經油炒後, 高溫易產生脫鎂葉綠素, 對430~480nm吸收度下降, 而青江菜在500~600nm吸收度上升可能因青江菜油炒後易受菜上的油的干擾。
 - * 經小蘇打水處理後再油炒, 430~480nm下降較少, 可能因油炒環境下水分較少, 缺氫取代鎂, 使葉綠素不易受影響。

十一、由軟硬度測試的實驗中可知:

- * 不同青菜經水煮過軟硬度不同, 實驗中所需砝碼重: 青江菜>空心菜>地瓜葉。
- * 加小蘇打青菜會變軟, 軟硬度為青江菜>空心菜>地瓜葉, 但由表7可知標準差因菜葉與小蘇打反應不均所以較未添加前大。
- * 與未添加小蘇打軟硬百分比來看: 青江菜>空心菜>地瓜葉, 軟化程度為地瓜葉>空心菜>青江菜, 不同青菜, 軟硬度也有差異。

柒、結論

- 一、經烹煮過的菜會變黃, 尤其在便當店, 為大量製作往往要早點備料, 會將當日便當做好後放入保麗龍盒中保溫, 在高溫且不透氣情況下, 助長了脫鎂反應, 而一般看到的便當菜葉保持翠綠, 可能是加入保色劑, 但因成分不明, 可能會對人體造成負擔。
- 二、不同蔬菜對於溫度反應亦不同, 經由實驗可知, 青江菜相較於地瓜葉及空心菜較不易變黃, 故不同蔬菜種類的變黃狀況不同。
- 三、高溫密閉的環境易造成青菜變黃, 煮菜時避免蓋上鍋蓋, 並減少加熱時間; 而溫度為青菜變黃的重要因素, 在低溫下加入少量小蘇打可使葉綠素穩定保持綠色, 溫度過高或加入太多的小蘇打則會破壞青菜葉綠素結構及營養成分流失。
- 四、在加入小蘇打後, 可見光譜430~480nm的吸收峰下降而410~420nm的吸收峰增加, 顯示主要吸收藍紫光, 再由螢光現象及文獻可知在鹼性條件下除減少脫鎂反應外, 亦會有皂化反應產生葉綠酸鈉、葉綠醇及甲醇, 故顏色看起來較為鮮綠。
- 五、由導電度和鈉離子計實驗可知, 在加入小蘇打會增加蔬菜鈉含量造成人體負擔, 若要使用可酌量並在煮過後過水洗去多餘的小蘇打, 避免造成過多的鈉離子殘留。
- 六、小蘇打除造成蔬菜顏色變化外, 亦可使蔬菜較為口感較軟, 若不易煮爛的蔬菜可幫助纖維素分解改善口感, 並節省烹煮時間省下成本, 若本身已經較為柔軟的蔬菜則不適合加入太多, 過量則會過於軟爛口感不佳。
- 七、泡過小蘇打再水煮的顏色較一般水煮的顏色鮮綠, 而青菜使用泡過小蘇打再油炒的顏色會較一般油炒的青菜鮮綠, 顯示添加小蘇打對於不同料理方式皆可使青菜保持鮮綠。

捌、參考資料

1. 尤丁攻等(2017)。自然與生活科技課第四冊。台南市: 南一書局。
2. 陳鈞彥、黃子祐、郭界宏(2017)。Oh! 「葉」~利用手機光譜儀探討市售植物油在可見光雷射照射下發光之行為。彰化縣立陽明國民中學。
3. 彭佳悅、彭佳怡(2014)。花開花飛花滿天-以手機應用軟體色差計探討植物色素對酸鹼與重金屬之色差值可行性。臺北市私立東山高級中學(附設國中)
4. 何倚帆、陳穎宣(2014)。開發葉綠素檢驗微量重金屬的方法。花蓮縣立國風國民中學。
5. 陳佳宜、張凱茵、譚玉婕(2014)。葉綠素長生之道。雲林縣立雲林國民中學。
6. 洪念芳、莊雯琇、楊幼琪(2009)。青春永駐----探討地瓜葉烹飪之顏色變化。臺北縣立義學國民中學。
7. 朱韋銘、莊濬鴻、許令煌、黃品翔(2007)。深思熟「綠」才會螢-葉綠素螢光的探討。國立新莊高級中學。
8. 潘瑞熾(2008)。植物生理學。台北市: 藝軒圖書出版社。
9. 梅鎮安等(1995)。光合作用。台北市: 淑馨出版社。
10. 王月雲等(1993)。植物生理學實驗。台北市: 藝軒出版社。