

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

佳作

030210

青春永駐-----探討地瓜葉烹飪之顏色變化

學校名稱：臺北縣立義學國民中學

作者： 國二 洪念芳 國二 莊雯琇 國二 楊幼琪	指導老師： 陳又君 徐燕華
---	-----------------------------

關鍵詞：地瓜葉、酵素性褐變、非酵素性褐變

摘要

研究發現地瓜葉存放方式及料理方式會影響變色，包括變不綠、變黃及變黑；變不綠、變黃兩項和葉綠素有關；存放時接觸光線、空氣因葉綠素被葉綠素酶分解而變黃，若葉子折損，因細胞內水解性單寧和酚酶作用而產生褐變；水煮中細胞被破壞釋放酸性物質，使葉綠素脫鎂變橘色，添加鹽或小蘇打可穩定葉綠素，但無法阻止葉子變黑。葉子會變黑是在水煮後靜置才會出現，因此判斷是葉子中的凝縮類單寧氧化所導致，而梅納反應造成的變黑影響較小。

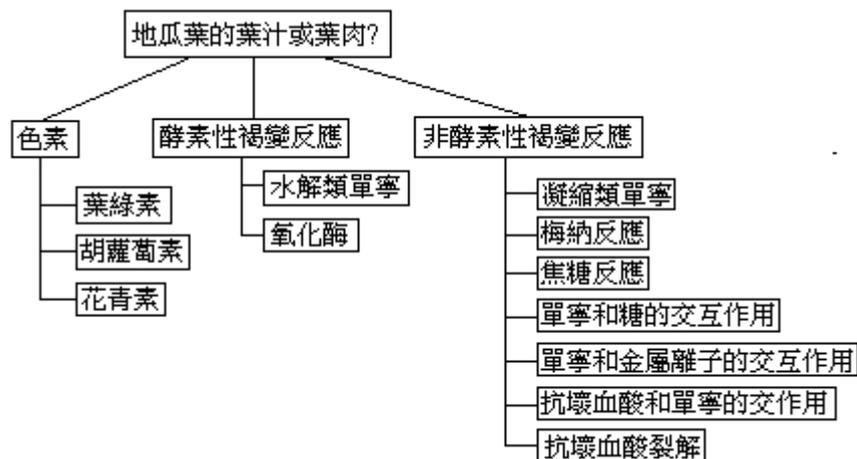
凝縮類單寧在空氣中久置會形成紅棕色沉澱；水煮時高溫加速反應，添加亞硫酸鹽類則可以抑制凝縮類單寧氧化。地瓜葉煮後變黑程度甚於其他蔬菜，是因其含有較多凝縮類單寧，而產生之變黑物質具抗氧化能力。

壹、研究動機

烹煮過的青菜經常變黑且難看，不但大人嫌、小孩挑，家庭主婦也困擾；為解決青菜烹煮後變色所造成視覺及胃口上的負面影響，以地瓜葉為研究對象，希望找出使地瓜葉煮後變色的物質及機制，在生物課光合作用的實驗中，知道色素會影響植物的顏色，另外，在植物養份測定實驗中，發現植物的成分也會影響色澤，因此將從色素及成分探討如何保持翠綠。

貳、研究目的

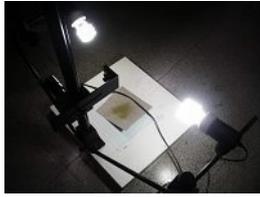
- 一、探討使地瓜葉變黑的物質存在何處
- 二、探討使地瓜葉變色的物質是什麼
- 三、探討使地瓜葉變色的機制是什麼



參、研究設備及器材

- 一、藥品：地瓜葉、蘋果、空心菜、青江菜、茶葉、變性乙醇、丙醇、丁醇、食鹽、鹽酸、檸檬酸、蘋果酸、小蘇打粉、氫氧化鈉、乙醚、石油醚、氨水、純水、酸鹼溶液、丙酮、沙拉油、氯化鐵、磷酸緩衝液(KH₂PO₄、Na₂HPO₄)、醋酸、氯化鐵
- 二、器材：離心機(Digisystem laboratory instruments inc.DSC158T)、恆溫箱(Dengyng Instruments co.,LTD Do60)、比色計 (Metertech SP-830)、抽氣裝置 (AIRsep.)、pH計(Milwaukee M-14395)、電腦軟體「Adobe photoshop」冰箱、電子秤、溫度計、燒杯、試管、漏斗、計時器、滴管、酒精燈、陶瓷纖維網、三腳架、研鉢、保鮮膜、量桶、玻

璃棒、吹風機、濾紙、鐵絲、翻拍架、描圖紙、剪刀、膠帶、廣口瓶、展開槽、TLC 片、毛細管、錶玻璃、打火機、試管夾、試管架、灰色紙卡、方格紙、省電燈泡（21W）、鋁箔紙、卡式爐、瓦斯罐、數位相機、髮夾、攪拌機



翻拍架



離心機



真空罐



比色計

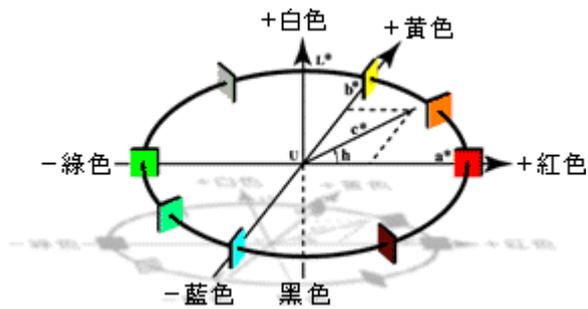
三、記錄變色的方式

(一)材料：翻拍架、描圖紙、灰色紙卡、方格紙、省電燈泡、電腦軟體「Adobe photoshop」、相機「PENTAX OptioS5i」

(二)數據表示

拍出來的葉子照片取三個點以「Adobe photoshop」進行 Lab 值比較並把數據平均。

Lab 值變化在報告裡的表示方式：



L+	L-	a+	a-	b+	b-
變亮	變黑	變紅	變綠	變黃	變藍

肆、研究過程、結果及討論

一、觀察地瓜葉在各種狀態下的變色情況

(一)做法

- 1.新鮮地瓜葉：取幾把連莖的地瓜葉，分別放置在照光、抽掉空氣、不同溫度的環境下，一天後觀察變色情況並拍照分析 Lab 數值。
- 2.水煮時地瓜葉：取幾片地瓜葉在沸水中分別煮 30、60、90、120 秒，以及加鹽、加小蘇打煮 60 秒後，拿出來觀察變色情況並拍照分析 Lab 數值。
- 3.水煮後地瓜葉：取幾片地瓜葉在沸水中煮 60 秒後，分別擺放在照光、抽掉空氣、不同溫度、不同時間長短、泡鹽水及小蘇打水的环境下，觀察變色情況並拍照分析 Lab 數值。

(二)結果

- 1.新鮮地瓜葉在各種變因下的變化：
 - (1)光照：葉子放在燈光下會變黃
 - (2)空氣：葉子接觸空氣會變黃

	有空氣	無空氣	外加日光燈	暗室
實驗前				
	L : 41,a : -17,b : 31	L : 42,a : -25,b : 38	L : 30,a : -16,b : 24	L : 20,a : -16,b : 21
實驗後				
	L : 43,a : -13,b : 33	L : 38,a : -26,b : 31	L : 40,a : -23,b : 40	L : 33,a : -17,b : 32

(3)溫度：葉子保存在冷凍庫拿出來會變黑，在恆溫箱中則變褐色乾掉了

	冷凍	冷藏	室溫
實驗前			
	L : 42,a : -24,b : 37	L : 45,a : -22,b : 36	L : 32,a : -16,b : 25
實驗後			
	L : 30,a : -16,b : 24	L : 37,a : -21,b : 33	L : 29,a : -17,b : 25

2. 水煮時地瓜葉在各種變因下的變化

(1) 時間：葉子煮的時間越久拿出來越容易變黑

	煮 30 秒	煮 60 秒	煮 90 秒	煮 120 秒
實驗前				
	L : 36,a : -24,b : 35	L : 36,a : -21,b : 35	L : 30,a : -20,b : 33	L : 33,a : -20,b : 31
實驗後				
	L : 33,a : -26,b : 37	L : 33,a : -22,b : 26	L : 22,a : -17,b : 23	L : 23,a : -15,b : 21

(2) 加鹽：葉子煮後仍然變黑

(3) 加小蘇打：葉子煮後仍然變黑

	對照	加鹽	加小蘇打粉
實驗前			
	L : 37,a : -19,b : 29	L : 34,a : -17,b : 33	L : 26,a : -16,b : 26
實驗後			
	L : 30,a : -18,b : 25	L : 20,a : -20,b : 25	L : 25,a : -16,b : 22

3. 水煮後地瓜葉在各種變因下的變化

(1) 時間：葉子隨煮擺放的時間越久變越黑

	15 分鐘	30 分鐘	45 分鐘	60 分鐘
實驗後				
	L : 27,a : -4,b : 15	L : 30,a : -2,b : 17	L : 26,a : 0,b : 13	L : 16,a : -1,b : 9

(2)泡鹽水：葉子泡鹽水與不泡變黑程度差不多

(3)泡小蘇打水：葉子泡小蘇打水與不泡變黑程度差不多

	對照	泡鹽水	泡小蘇打水
實驗前			
	L : 37,a : -19,b : 29	L : 29,a : -17,b : 25	L : 27,a : -18,b : 26
實驗後			
	L : 30,a : -18,b : 25	L : 27,a : -15,b : 20	L : 24,a : -17,b : 25

(4)光照：葉子照光與不照光變黑程度差不多

(5)空氣：葉子在抽走空氣的環境中變得特別黑

	對照	外加日光燈	無空氣
實驗前			
	L : 28,a : -22,b : 30	L : 29,a : -22,b : 29	L : 36,a : -18,b : 30
實驗後			
	L : 26,a : -21,b : 29	L : 26,a : -21,b : 27	L : 19,a : -4,b : 17

(6)溫度：葉子在冷凍以及泡冰水、冷水的環境可以抑制變黑

	冷凍	冷藏	室溫	泡冷水	泡熱水
實驗前					
	L : 31,a : -16,b : 26	L : 34,a : 15,b : 27	L : 37,a : -21,b : 33	L : 34,a : -21,b : 34	L : 40,a : -20,b : 33
實驗後					
	L : 26,a : -18,b : 24	L : 29,a : -12,b : 24	L : 23,a : -9,b : 19	L : 37,a : -25,b : 32	L : 38,a : -20,b : 32

二、探討水煮後使地瓜葉變黑的物質在葉汁中(水溶性)還是葉肉中(非水溶性)



討論：由加熱過後濾汁沒有變黑的情形可知使地瓜葉加熱變黑的物質存在於葉肉中。至於汁液變淺的原因應是多酚與酵素結合後形成的暗褐色物質對苯二酮加熱揮發後，使葉汁顏色變淺。

三、探討色素對地瓜葉變色的影響

(一)地瓜葉的濾紙色層分析

1.目的：確認地瓜葉色素種類

2.做法

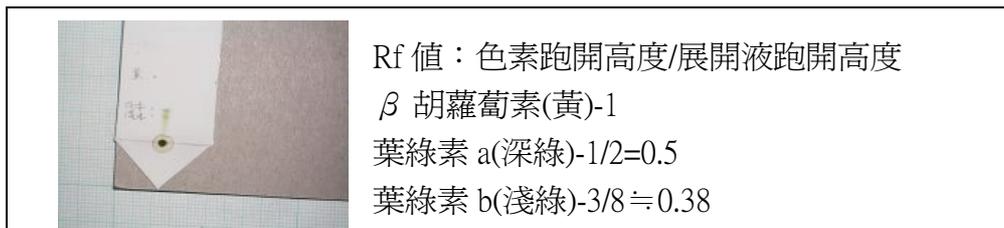
(1)取 2g 地瓜葉加 80%丙酮 5ml 研磨

(2)以毛細管取地瓜葉汁點 6 到 10 次在 TLC 片上，距 TLC 片底約 1cm

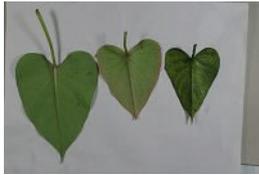
(3)將丙酮：石油醚=3：7 的展開液 10ml 放入展開槽中

(4)將 TLC 片放入，等到出現明顯結果後觀察

3.結果



(二) 檢測地瓜葉內的花青素



(由左至右為對照、
燻鹽酸、燻氨水)

討論：地瓜葉的主脈及葉緣為紫色，以鹽酸燻之後呈粉紅色；以氨水燻呈藍綠色，由此結果可知地瓜葉含少量的花青素。另外在丙酮的萃取液中並沒有看到花青素，因此其為水溶性的。



燻鹽酸前

燻鹽酸後

討論：取嫩葉、綠葉和黃葉以鹽酸燻，發現黃葉並未變色，表示其不含花青素。

(三) 葉綠素與胡蘿蔔素濾紙製作方式

1. 取 2g 地瓜葉加 100% 丙酮 10ml 研磨成汁
2. 倒入短試管內，放入離心機以最高轉速離心 5 分鐘
3. 以滴管吸取試管上層汁液，放入展開槽內
4. 以濾紙吸附色素到同樣高度後拿出以吹風機(涼風)風乾
5. 在濾紙上進行各項變因測試

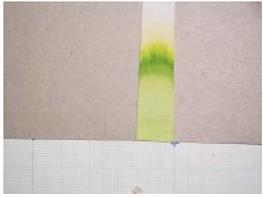
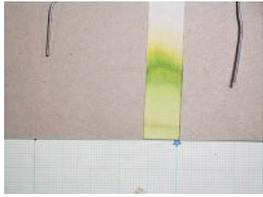
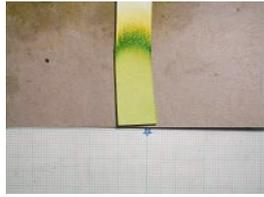
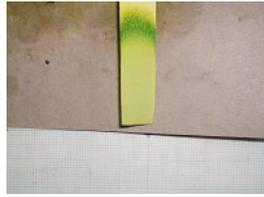
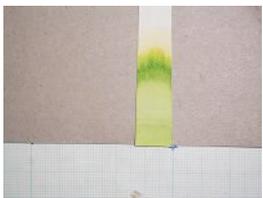
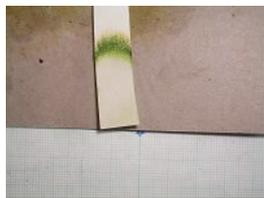
(四) 葉綠素與胡蘿蔔素在各種狀態下的變色情況

1. 做法

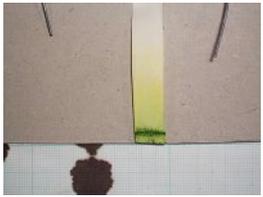
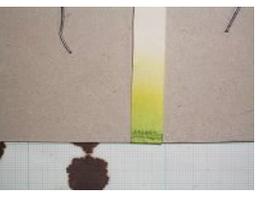
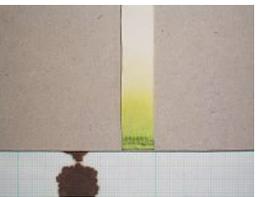
將葉綠素濾紙，分別放置在照光、抽掉空氣、不同溫度及不同酸鹼度的環境下，一天後觀察變色情況；將葉綠素濾紙分別放入一般水、加鹽和加小蘇打的沸水中煮一分鐘後拿出來風乾觀察變色情況並拍照分析 Lab 數值。

2. 結果

- (1) 光照：葉綠素及胡蘿蔔素在燈光下被分解不綠
- (2) 空氣：葉綠素濾紙接觸空氣稍微變黃

	有空氣	無空氣	外加日光燈	暗室
實驗前				
	L : 84,a : -7, : 33	L : 77,a : -5,b : 26	L : 81,a : -7,b : 42	L : 80,a : -9,b : 48
實驗後				
	L : 87,a : -6,b : 30	L : 73,a : -12,b : 46	L : 84,a : 4,b : 8	L : 80,a : -8,b : 43

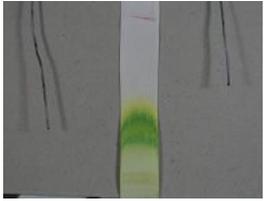
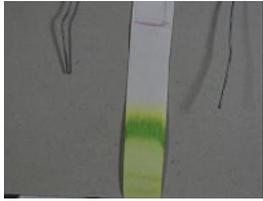
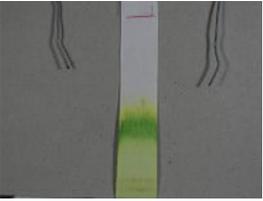
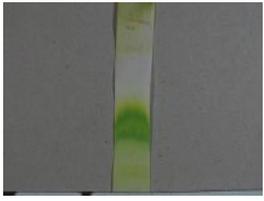
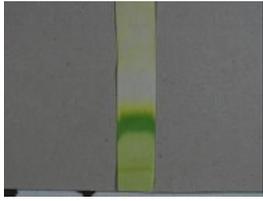
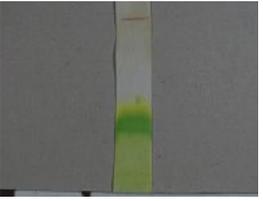
(3)溫度：葉綠素濾紙在各種溫度下顏色沒有很大的變化

	冷凍	冷藏	室溫
實驗前			
	L : 53,a : -25,b : 41	L : 57,a : -23,b : 41	L : 63,a : -18,b : 43
實驗後			
	L : 52,a : -23,b : 35	L : 55,a : -21,b : 41	L : 62,a : -20,b : 44

(4)水煮：葉綠素濾紙隨時間失去綠色但沒變黑

(5)加鹽煮：葉綠素濾紙加鹽與不加鹽顏色變化差不多

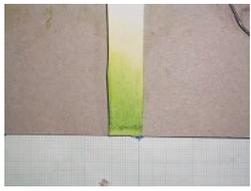
(6)加小蘇打煮：葉綠素濾紙加小蘇打水與不加顏色變化差不多

	水煮	加鹽煮	加小蘇打煮
實驗前			
	L : 47,a : -25,b : 42	L : 45,a : -30,b : 37	L : 48,a : -30,b : 37
實驗後			
	L : 45,a : -27,b : 39	L : 37,a : -34,b : 32	L : 47,a : -32,b : 34

(7)酸鹼：葉綠素濾紙滴 pH2 變黑褐色，滴 pH13 則胡蘿蔔素變褐色

	pH 1	pH 2	pH 3	pH 4	pH 5
實驗前					
實驗後					

	pH 6	pH 7	pH 8	pH 9	pH 10
實驗前					
實驗後					

	pH 11	pH 12	pH 13
實驗前			
實驗後			

(五)葉綠素對地瓜葉顏色變化的影響

	光	空氣	溫度			水煮	鹽分	小蘇打
			冷凍	冷藏	室溫			
地瓜葉	L+a-b+	L+a+	L-a+	L-a0	L-a0	L-a-	L-a+	L0a0
葉綠素濾紙	L+a+b-	L+a0	L0a0	L0a0	L0a0	L0a-	L-a-	L0a-

討論：光照和接觸空氣使葉綠素濾紙變不綠，推測是葉綠素被分解，露出胡蘿蔔素，使葉面出現黃點；各種溫度都不會使葉綠素濾紙產生明顯顏色變化，但是葉子在冷凍時變黑了；水煮時加鈉鹽能使氫原子不易取代鎂變成脫鎂葉綠素，小蘇打的鹼性可穩定葉綠素使其不容易脫鎂，這兩種處理都使葉綠素可以保持綠色，但葉子仍然變黑，表示水煮後有其他因素影響葉子變黑。而酸會使葉綠素濾紙由綠變到橘或褐色。

四、探討酸性化學物質對地瓜葉變色的影響

	泡水	醋酸	草酸	蘋果酸	檸檬酸
實驗前					
實驗後					

討論：文獻中(參考資料第五條)敘述葉綠素在各種酸(如醋酸、吡咯酮羧酸、草酸、蘋果酸、檸檬酸等)中會形成脫鎂葉綠素及焦脫鎂葉綠素，本實驗以醋酸、草酸、蘋果酸、檸檬酸溶液浸泡地瓜葉，只有泡醋酸的葉子顏色有變黑，不過將地瓜葉的葉綠素滴 pH1 酸性溶液卻沒有變黑的情況，所以我們認為葉子只有在極酸的環境下才變黑，而且原因與葉綠素脫鎂無關。

五、無葉綠素地瓜葉變色的探討

水煮前	水煮後	水煮後 30 分鐘
		

討論：以沒有葉綠素的黃葉水煮發現葉子還是變黑了，而黃葉不含葉綠素和花青素，所以水煮後主要使地瓜葉變黑的物質並非葉綠素和花青素。



地瓜葉的類胡蘿蔔素在酸鹼高溫下都沒有明顯的顏色變化，顯示地瓜葉變色與類胡蘿蔔素沒有關係。

六、酵素性褐變對地瓜葉顏色變化的影響

地瓜葉中的酵素性褐變：水解類單寧(多酚的一種)因多酚酶的催化使葉片接觸氧氣後變黑。

(一) 確認新鮮葉子是否為酵素性褐變造成變黑



含有多酚的物質加入氯化鐵溶液會呈紫色，結果如左；
討論：表示地瓜葉內含有多酚物質，而多酚為酵素性褐變反應的原料。
許多植物的細胞壁中含有酚。

(二) 以鹽酸和銅離子嵌合劑抑制酵素性褐變



討論：以上二種方式均可抑制多酚酶活性，能使地瓜葉和汁液顏色不易變黑，由加了抑制劑的地瓜葉汁顏色較淡可知水煮前酵素性褐變會影響地瓜葉變黑。

(由左至右為以水、銅離子嵌合劑、鹽酸研磨地瓜葉)

(三) 以高溫破壞酵素抑制酵素性褐變



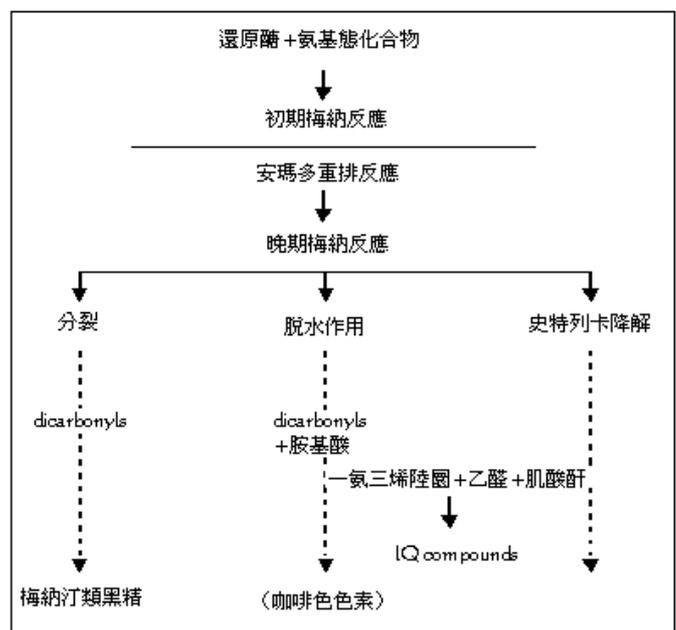
(四) 由以上實驗推測，地瓜葉冷凍變黑是因冰凍後將葉片拿出來的瞬間，水分冷縮熱脹破壞細胞器，使酵素性褐變反應的反應物易於結合作用，使葉子變黑。

七、非酵素性褐變對地瓜葉顏色變化的影響

(一) 探討非酵素性褐變反應

- 我們探討的非酵素性褐變反應有凝縮類單寧的氧化(凝縮類單寧在空氣中會進一步縮合，形成紅棕色沉澱)和梅納反應(醣類上的酚或酮與氨基態化合物反應生成暗褐色物質)。
- 有兩項證據顯示可能和此有關：
 - 水煮時時間越久變越黑
→ 梅納反應和凝縮類單寧的氧化會隨溫度升高而增加反應速率。
 - 水煮後抽掉空氣使葉片較黑
→ 將葉片內的酸性揮發物質抽掉後，使環境呈鹼性加速梅納反應和凝縮類單寧氧化的進行。

梅納反應過程



(二) 檢驗地瓜葉變黑是否是梅納反應所造成

梅納反應：醣類上的酚或酮與氨基態化合物反應生成暗褐色物質

1. 驗證梅納反應之方法

煮過濾汁+萃取出蛋白質→加熱→觀察顏色是否變黑

2. 測定醣類的存在

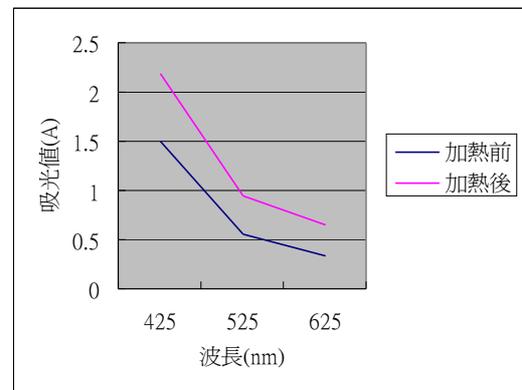
醣類(梅納反應的原料)以本氏液測定後確定存在於濾汁中（右側試管內磚紅色沉澱物，左側試管為加熱前對照）。



3. 作法與結果

- (1) 以 2g 地瓜葉加 10ml 水磨碎離心後取上層汁液加熱至沸騰，再離心取上層汁液(此為醣類)。
- (2) 以 50g 地瓜葉加磷酸緩衝液(0.1M,pH6.7)100ml 放入果汁機中低速打碎。
- (3) 再以紗布過濾四次後冷凍離心取上層澄清液(此為萃取出之蛋白質)。
- (4) 將蛋白質與醣混合後加熱。

	煮過濾汁	萃取蛋白質	混合加熱	
			加熱前	加熱後
425nm	0.908A	2.736A	1.493A	2.190A
525nm	0.294A	1.121A	0.547A	0.940A
625nm	0.176A	0.903A	0.339A	0.647A



(左圖)左側加了蛋白質的葉汁加熱後變黑，且形成黑色沉澱物(右圖)。

4. 討論：由實驗結果可知，蛋白質和糖類加熱混合後會產生黑色沉澱物，可能是梅納反應的產物，但是在實驗進行當中，我們發現葉子在水中煮的時候不會隨時間變黑，必須從水中拿出葉片放置在空氣中才會變黑，這可能是因葉片浸泡在水中，水活性太大，導致梅納反應不明顯。



(三) 檢驗地瓜葉變黑是否是凝縮類單寧氧化所造成

1. 比較梅納反應和凝縮性單寧氧化對地瓜葉變黑的影響

(1) 作法

a. 萃取地瓜葉的蛋白質和濾汁

b. 製作兩管試管，一管只有醣類，另一管加入醣類和蛋白質，此時試管內的情形如下：

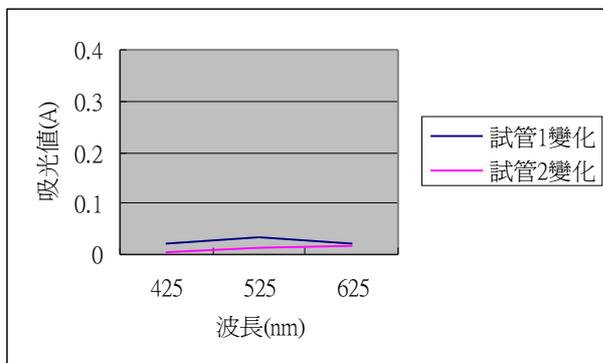
試管 1：醣類(凝縮類單寧的氧化)

試管 2：醣類 + 蛋白質(梅納反應和凝縮類單寧的氧化)

(2) 實驗結果：

用比色計測量各試管的吸光值

	試管 1	試管 1(一天後)	試管 2	試管 2(一天後)
425nm	0.067	0.100	0.254	0.259
525nm	0.012	0.046	0.119	0.131
625nm	0.003	0.023	0.079	0.094



討論：不論試管 1 或試管 2，放置一天後顏色均加深，且兩者變化幅度相近，表示葉子因梅納反應所造成的變黑極小，凝縮類單寧的氧化才是主要讓地瓜葉變黑的原因。

2. 以硫酸鈉抑制凝縮類單寧的氧化證明此反應影響地瓜葉變黑



(左為加硫酸鈉水煮的地瓜葉，右為水煮的地瓜葉)

討論：加了硫酸鈉水煮的地瓜葉拿出來後過了很久還是有些綠，而水煮的地瓜葉變黑程度嚴重，表示凝縮類單寧氧化是影響地瓜葉變黑的因素。

資料顯示，亞硫酸鹽可以抑制凝縮類單寧氧化，而蒜頭中含天然亞硫酸鹽化合物，所以水煮地瓜葉時可以加入蒜頭防止變黑。

八、探討地瓜葉與其他葉子煮後變色的原因

(一)觀察地瓜葉、青江菜和茶葉水煮過的變黑情形

地瓜葉與青江菜		茶葉
水煮前	水煮後	左：水煮前 右：水煮後
		

結果：由上表可知，地瓜葉和茶葉水煮過會變黑，而青江菜則否。

(二)觀察煮過地瓜葉、青江菜和茶葉的濾汁顏色變化

	地瓜葉	青江菜	茶葉
(左：剛萃取的濾汁 右：萃取一天後的濾汁)			

結果：地瓜葉和茶葉的濾汁放置一天後都變黑了，而青江菜則否。

(三)比較地瓜葉、青江菜和茶葉的多酚含量

	<p>討論：三種葉子分別加入氯化鐵，以葉子變紫色的程度比較其酚含量，依序是茶葉>地瓜葉>青江菜。</p> <p>而茶葉和地瓜葉在水煮過後都會變黑，代表單寧(酚)的多寡是影響葉子變黑的主因。</p>
(由左至右為地瓜葉、茶葉與青江菜)	

九、變黑地瓜葉的抗氧化效果

我們查資料後發現凝縮類單寧的氧化物具有良好的抗氧化效果，可以防癌、防衰老；因此我們以下面兩個實驗來觀察地瓜葉中凝縮類單寧的氧化物有沒有抗氧化的效果：

實驗(一)做法

- 1.分別研磨新鮮的地瓜葉和煮過且變黑的地瓜葉至呈現泥狀
- 2.將同一顆蘋果切丁，分別在不同塊蘋果丁上面泡純水、塗新鮮地瓜葉泥、煮過地瓜葉泥，靜置半個小時後把葉子殘渣沖掉拍照比較

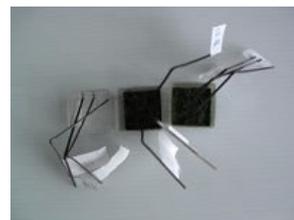
實驗(一)結果



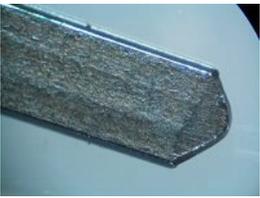
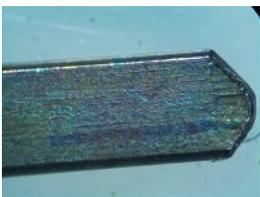
(上排是泡純水的蘋果，下排左是塗了新鮮地瓜葉泥的蘋果，右則塗了煮過地瓜葉泥)

實驗(二)做法

1. 分別研磨新鮮的地瓜葉和煮過且變黑的地瓜葉至呈現泥狀
2. 取三支鐵髮夾分別將其中一端插入純水、與煮過地瓜葉泥中(如右圖)，靜置三個小時後拍照比較生鏽(氧化)情形



實驗(二)結果

	泡水	泡新鮮地瓜葉泥	泡煮過地瓜葉泥
實驗前			
實驗後			

討論：表面塗了變黑地瓜葉汁液的蘋果與塗了未煮的地瓜葉汁液的蘋果相較起來果肉的部份色澤較白，氧化情形比較不嚴重；泡了變黑地瓜葉汁液的髮夾生鏽情形較不嚴重，也沒有像泡水的髮夾生鏽的那麼均勻，而泡了未煮的地瓜葉汁液的髮夾則有明顯生鏽情況；由此可知，地瓜葉煮過後的產物，也就是凝縮類單寧的氧化物，具有抗氧化的效果。

十、實驗過程檢討

(一)本實驗製作葉綠素濾紙片以了解各種因子對其變色的影響，作法是以丙酮萃取葉綠素後離心，以濾紙在展開槽中分出色素，要維持濾紙品質的一致，必須注意：

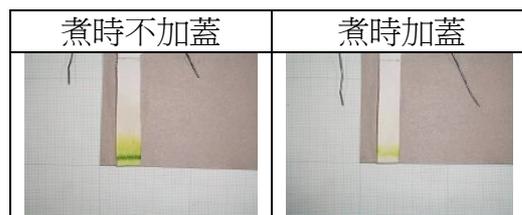
1. 葉子置放的時間：摘下來的時間過久，葉綠素因光及空氣變質，會導致顏色差異
2. 丙酮濃度不同會導致萃取顏色差異



左邊是用 100% 丙酮萃取的葉綠素，右邊則是用 80% 丙酮萃取的；100% 丙酮萃取出來的葉綠素明顯比較翠綠，在濾紙上跑出來的效果也比較好，所以我們的實驗決定使用 100% 的丙酮來萃取葉綠素。

(二)探討葉綠素對地瓜葉變色影響的實驗中，嘗試在處理地瓜葉後再萃取其葉綠素比較，發現若該處理會使葉綠素改變性質，將無法在濾紙上展開，因此本實驗的作法是先做好葉綠素濾紙片，再以各因子處理濾紙片並觀察其顏色變化。

(三)想要了解葉綠素在高溫的鹽水和小蘇打中如何變色，作法是將葉綠素濾紙片放置在 100°C 的烘箱中，再加入鹽水或小蘇打，但葉綠素變黑了，可能是因高溫使水迅速散失，鹽及小蘇打無法藉由水和葉綠素結合，因此作法改將葉綠素濾紙片放置在熱鹽水及熱小蘇打水中，而葉綠素是油溶性的，不會溶在水中，可以此觀察其顏色變化。



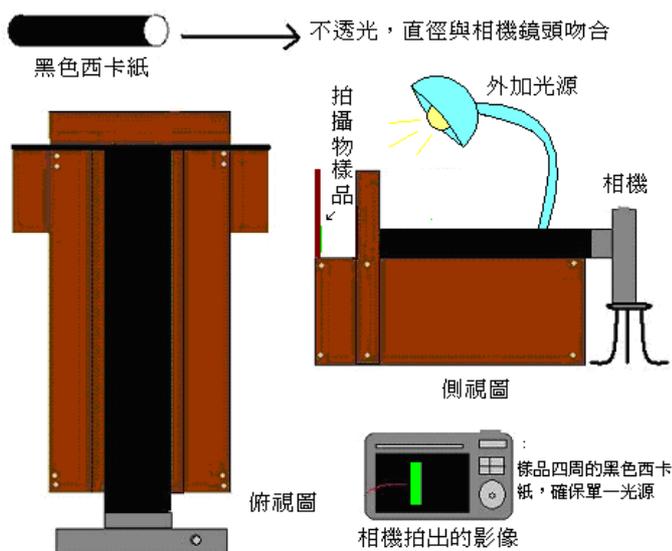
(四)加蓋對水煮地瓜葉的影響

	加蓋	不加蓋
加熱前		
加熱後		

討論：加蓋加熱讓酸性揮發物質無法揮發，其與葉綠素結合後會讓葉片變得不綠，但葉子因凝縮類單寧氧化仍然變黑；不加蓋加熱使溶液較鹼，加強凝縮類單寧氧化讓葉片變黑，但比較兩者變黑程度的差異並不大，顯然高溫所造成的變黑仍是主因。

(五)記錄地瓜葉顏色變化的方式

曾試過以水彩、比色計等方式表達地瓜葉顏色變化，但都無法客觀數據化結果，也仿做(參考文獻第十點)以下裝置(置於暗室拍攝)，由於自製裝置的光源難調、西卡紙反射光源會擾亂拍攝以及失真等等問題；最後決定以翻拍架加省電燈泡且以三層描圖紙遮住相機閃光燈以減少光量，達成與真實色彩最相近的拍攝結果。



伍、結論

一、新鮮地瓜葉的保存方式

- (一)新鮮地瓜葉若放在燈光下會變黃，而葉綠素光解則是其變黃的因素之一，所以要避免新鮮地瓜葉接觸光線。
- (二)新鮮地瓜葉受空氣影響較小，但仍會因為接觸空氣而變黃，葉綠素則是使其變黃的因素。
- (三)新鮮地瓜葉保存在冷凍庫時會在解凍時破壞細胞，使水解性單寧和酚酶結合讓葉子變黑，因此保存地瓜葉時宜將地瓜葉放進冷藏或室溫才能保持綠色。

二、地瓜葉水煮時的變化

- (一)地瓜葉會隨煮的時間愈久而變愈黑，但葉綠素酶和酚酶都被高溫破壞，葉子應該保持綠色才對，可是加熱會促使凝縮類單寧氧化使地瓜葉變黑。
- (二)煮葉子的時候加鈉鹽雖然能抑制脫鎂葉綠素生成不讓葉子變褐，但葉子受凝縮類單寧氧化影響較葉綠素大，葉子仍然變黑。
- (三)煮葉子的時候加小蘇打粉會使葉綠素濾紙變綠，中和葉子裡的酸性物質減少脫鎂葉綠素，但鹼性環境有利於梅納反應和凝縮類單寧氧化，卻依然導致變黑。
- (四)煮地瓜葉時加入亞硫酸鹽化合物可以抑制因為梅納反應和凝縮類單寧氧化所造成的褐變。

三、水煮後的地瓜葉保存方式

- (一)水煮後的葉子馬上泡冰水或冷水可維持其綠色狀態，是由於在低溫環境下可以減緩凝縮類單寧氧化和梅納反應的速率，而使其保持翠綠。
- (二)水煮後的葉子會隨擺放時間增長凝縮類單寧氧化產物持續沉澱而變黑。
- (三)水煮後的葉子不管是泡鹽水還是小蘇打水都無法避免其變黑。
- (四)地瓜葉在極酸的環境下變橘色甚至促使凝縮類單寧氧化而成黑色，而葉綠素則是在極酸和極鹼的環境下變褐色，但一般食用調味料不會太過於酸或鹼性，所以水煮完後加何種酸鹼性的調味料不會影響其顏色。
- (五)水煮後的地瓜葉在空氣較少的狀態下會變黑，是因為將葉內的酸性揮發物質抽掉而使葉子呈鹼性狀態適合凝縮類單寧氧化和梅納反應所導致，而討論中所提到地瓜葉醃了鹼性的氨水也會呈暗綠色，與抽氣後的地瓜葉顏色相仿，所以判定是酸性物質被抽掉所形成的結果。

四、比較地瓜葉、茶葉和青江菜發現，影響青菜變黑的主要因素在於是否含有大量凝縮類單寧。

五、其他非酵素性褐變反應對地瓜葉變黑的影響

使葉子與濾汁變黑的原因可能還包含抗壞血酸和單寧的交互作用(需要 pH2.5~4.5 的環境)、焦糖反應(需要 180 度以上的溫度)、單寧和醣的交互作用(需要酸性環境)，但是上述反應的條件都和水煮地瓜葉不吻合，所以暫時認為這些褐變反應和地瓜葉變黑沒有關係。不過除了上面的反應之外，非酵素性核變反應還包含抗壞血酸裂解跟金屬離子和單寧的交互作用，針對此兩項反應還需要進一步的實驗來證明它們和地瓜葉變黑的關係，我們也將設計模式溶液，選取地瓜葉中導致褐變的胺基酸、醣類、抗壞血酸和單寧，以不同的組合分別加入模式溶液中，了解地瓜葉的褐變機制。

六、凝縮類單寧的氧化物有抗氧化的能力。

七、結論統整

處理時機	主要影響因素	導致變色的因素	避免變色方法
烹飪前	葉綠素光解	照光、有空氣→變黃	1. 保存時放在冷藏室或室溫 2. 放在陰暗處不接觸光線 3. 避免空氣接觸
	水解類單寧氧化	冷凍→變黑	
烹飪時	葉綠素脫鎂	pH 值偏酸→變褐	1. 加鹽或小蘇打可穩定葉綠素 2. 烹飪時間避免過久 3. 加入含天然亞硫酸鹽的食物(例：蒜頭)
	凝縮類單寧氧化	溫度高→變黑	
烹飪後	凝縮類單寧氧化	反應時間長、抽掉空氣→變黑	1. 烹飪結束後，立刻將其置於低溫的環境 2. 盡快食用完畢

陸、參考資料

一、期刊

(一) 陳健宇、許家銓。一日三變之醉芙蓉。左營高中學報第三期。

二、圖書

(一) 王月雲、陳是瑩、童武夫(80)。植物生理學實驗。159-160 頁, 263-264 頁。台北市：藝軒圖書出版社。

(二) 王暉律、邱耀慶、郭主歆(96)。解開「澱粉－碘」的藍密碼。載於國立台灣科學教育館編彙，中華民國 47 屆國民中小學科學展覽會(188 頁)。台北市：國立台灣科學教育館

(三) 程仁華、汪淑台(95)。食品化學實驗。57-67 頁,台北縣：全威圖書有限公司。

(四) 鄭怡琳(84)。果汁中抗壞血酸及單寧類化合物相互作用造成褐變之研究。台北市：國立台灣大學食品科學研究所

三、網路文章

(一) 艾克斯。所謂梅納反應。取自：

http://tw.wrs.yahoo.com/_ylt=A3eg8qIcnbdJWUcBGyOS1gt./SIG=12nmud8gg/EXP=1236856476/**http%3a//tw.knowledge.yahoo.com/question/question%3fqid=1607060908858

(二) 百度百科。葉綠素。取自：<http://baike.baidu.com/view/28871.htm>

(三) 百度百科。鞣質(tannins)。取自：<http://baike.baidu.com/view/452719.html>

(四) 百度百科。栲胶。取自：<http://baike.baidu.com/view/587473.html>

(五) 百度百科。對苯二酮。取自：<http://baike.baidu.com/view/1868659.htm>

(六) 吳瑞碧。梅酒色澤變化之研究。

取自：<http://ntur.lib.ntu.edu.tw/bitstream/246246/14085/1/892313B002229.pdf>

(七) 楊瓊花。食品腐敗與劣變。取自：http://chcsdl.open2u.com.tw/full_content/N10/pdf/03.pdf

- (八) 維基百科。葉綠素。取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B6%E7%BB%BF%E7%B4%A0>
- (九) 蕭政弘。如何由外觀區別本蒜與進口蒜。取自：
http://tdares.coa.gov.tw/show_monthly.php?id=tdares_subadmin_2008521180508
- (十) 無作者。甘藷及甘藷葉。取自：
<http://www.afa.gov.tw/Public/PublicUser/20069181647407055.pdf>
- (十一) 無作者。Ch06 褐化反應。取自：
<http://content.sp.npu.edu.tw/teacher/changhc/DocLib1/Ch06%E8%A4%90%E5%8C%96%E5%8F%8D%E6%87%89.pdf>
- (十二) 無作者。酚的氧化和還原反應。
取自：<http://jpkc.gxun.edu.cn/yjhx/dzja/20060526009/20060526012.doc>
- (十三) 無作者。葉綠素在食品加工與儲藏中的變化。
取自：http://big5.lrn.cn/science/forestknowledge/200809/t20080903_271775.htm
- (十四) Robert L Wolke , Wenbao Qiu。乳酸菌，你們還活著嗎?。取自：
<http://www.ljsyc.com/sycsl.htm>

【評語】 030210

海報版面製作精美，學生的表達能力與臨場反應均佳，對地瓜葉的研究做了非常詳細的探討，建議延伸可簡易檢測其他蔬果的方法則較具實用性。利用反證法來驗證丹寧酸的存在，常會有其他物質的干擾影響實驗。參考的文獻豐富。建議可增加抗氧化成分的實驗。