

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

最佳團隊合作獎

031714

小豆土 VS. 自由基

學校名稱：高雄市立五福國民中學

作者： 國三 梁毓松 國二 張力文 國二 李其融 國二 張毓嘉	指導老師： 陳富堅 李正媚
---	-----------------------------

關鍵詞： DPPH、豆類芽菜、鐵釘生鏽

摘要

豆類芽菜研磨冷凍乾燥後以 50% 乙醇萃取，滴加 DPPH 紫紅色溶液會隨萃取液濃度增加而變淡，顯示萃取液濃度愈高，清除自由基能力愈好，佐以分光光度計測 517nm 吸光值也得到證明。

發芽 0 天紅豆與發芽 3 天綠豆萃取液有較佳清除能力。綠豆子葉及根部、黑豆及黃豆芽體、紅豆子葉均有較佳清除能力。

不同加熱方式會影響芽菜抗氧化能力，隔水加熱溫度愈高，綠豆清除能力愈好；水煮後，僅豌豆及黃豆增加清除能力；以 160W~480W 微波加熱，除黑豆外，其餘豆類均提高清除能力，黃豆在 480W 微波後有極佳的清除效果。

鐵釘生鏽實驗和芽菜萃取液清除自由基能力強弱有高相關性，因此，建議以鐵釘生鏽實驗來比較物質相對抗氧化能力。以便宜又簡單的方法取代昂貴檢測方式也是重要研究目標！

壹、研究動機

豆類芽菜是市面上很容易取得又便宜的食物，在自然與生活科技的課程裡，學到豆類發芽後，維生素 B2 及 C、胡蘿蔔素、葉酸、異黃酮化合物及胺基酸的含量會大幅增加，其中，維他命 C 及異黃酮是一種抗氧化劑可去除人體組織內引發病變的自由基。因此，我們以各種不同的條件來比較五種豆類的相對抗氧化能力，作為我們食用豆類的參考。另外，我們也希望能運用簡便的實驗方法來比較物質的相對抗氧化能力。

貳、研究目的

- 一、比較豆類(綠豆、紅豆、黑豆、黃豆及豌豆)芽菜之清除 DPPH 自由基能力。
- 二、比較豆類芽菜不同生長天數清除 DPPH 自由基能力。
- 三、比較豆類芽菜不同部位清除 DPPH 自由基能力。
- 四、探討溫度對豆類芽菜萃取物清除 DPPH 自由基能力的影響。
- 五、探討豆類芽菜煮熟後及微波後清除 DPPH 自由基能力的變化。
- 六、比較豆類芽菜以不同比例混合後清除 DPPH 自由基能力。
- 七、探討豆類芽菜影響鐵釘生鏽速率快慢對照於芽菜的抗氧化能力。

參、研究設備及器材

一、使用儀器

恆溫箱、分光光度計、微量電動天平、冷凍乾燥機、水浴槽、離心機、微量吸管、微量離心管、震盪器、數位相機、數位攝影機。



冷凍乾燥機



離心機



水浴槽



分光光度計



微量電動天平



微量吸管



震盪器

二、使用藥品及材料

綠豆、紅豆、黃豆、黑豆、豌豆、紗布、塑膠容器、研鉢、試管、拋棄式塑膠比色槽 (Cuvettes)、甲醇、乙醇、蒸餾水、1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH)、培養皿、鐵釘、試管架。

肆、研究過程及方法

【前置準備作業】

一、芽菜培養

將泡水後已發芽的豆苗放入鋪有紗布塊之塑膠容器，於 25°C 恆溫箱中繼續培養，定期噴水並排除多餘的水。

二、各種豆類及芽菜萃取液之製備

(一) 將種皮破裂後的豆類(第 0 天)及發芽 1~3 天的芽菜磨碎後，進行冷凍乾燥(圖 1)。整個實驗過程中，我們以豆類芽菜乾重配置成溶液進一步分析芽菜清除 DPPH 自由基的能力。



圖 1.芽菜冷凍乾燥流程

(二) 將 100mg 乾重的各種豆類或芽菜粉末溶於 1ml 50% 乙醇溶液(濃度 100 mg/1000 μ l) , 以振盪器充分搖晃 30min , 在 4 $^{\circ}$ C 下離心(2000rpm)8 min 後取上層液為豆類或芽菜的萃取液(圖 2)。



圖 2.豆類芽菜萃取液製備

【研究一】比較豆類芽菜之清除 DPPH 自由基能力

豆類芽菜清除 DPPH 自由基的測定，參考 Shimada 等人(1992)的方法。

- 一、配置 DPPH 的甲醇溶液，濃度為 0.1 mg/ml。
- 二、以微量吸管吸取豆類或芽菜的 50% 乙醇萃取液，加入 DPPH 溶液中，進行清除 DPPH 自由基能力測定。
- 三、以下列方式檢測清除 DPPH 自由基能力，分析芽菜抗氧化能力是否與加入量成線性關係。

	對照組	實驗 1	實驗 2	實驗 3	實驗 4	實驗 5	實驗 6
DPPH 溶液 (0.1 mg/ml)	1000 μ l	1000 μ l	1000 μ l	1000 μ l	1000 μ l	1000 μ l	1000 μ l
50% 乙醇溶液	1200 μ l	1175 μ l	1150 μ l	1100 μ l	1000 μ l	950 μ l	900 μ l
豆類或芽菜 50% 乙醇萃取液 (濃度為 100 mg/1000 μ l)	0	25 μ l	50 μ l	100 μ l	200 μ l	250 μ l	300 μ l
總體積(μ l)	2200 μ l	2200 μ l	2200 μ l	2200 μ l	2200 μ l	2200 μ l	2200 μ l

四、將混合溶液在室溫下充分振盪混合後，以分光光度計測定波長 517 nm 的吸光值(圖 3)，計算清除率：

$$\text{清除率(\%)} = \left[1 - \frac{\text{實驗組在 517nm 的吸光值}}{\text{對照組在 517nm 的吸光值}} \right] \times 100\%$$



圖 3. 芽菜萃取液滴加 DPPH 溶液，振盪混合後，測定吸光值的流程

【研究二】比較豆類芽菜不同生長天數清除 DPPH 自由基能力

將發芽 0~3 天的芽菜(圖 4)研磨冷凍乾燥後萃取，取萃取液各 100 μ l 測量清除 DPPH 自由基的吸光值，計算清除率：

$$\text{清除率(\%)} = \left[1 - \frac{\text{實驗組在 517nm 的吸光值}}{\text{對照組在 517nm 的吸光值}} \right] \times 100\%$$



圖 4.由左至右為黃豆、綠豆、紅豆、豌豆、黑豆發芽 1~3 天。

【研究三】比較豆類芽菜不同部位(子葉、芽體、種皮、根)清除 DPPH 自由基能力的比較

將發芽 1~3cm、3~5cm、5~7cm、7~9cm 的芽菜各部位(子葉、芽體、皮、根)分離(圖 5)，研磨冷凍乾燥後萃取，取萃取液各 100 μ l 測量清除 DPPH 自由基能力：

$$\text{清除率(\%)} = \left[1 - \frac{\text{芽菜各部位在 517nm 的吸光值}}{\text{對照組在 517nm 的吸光值}} \right] \times 100\%$$

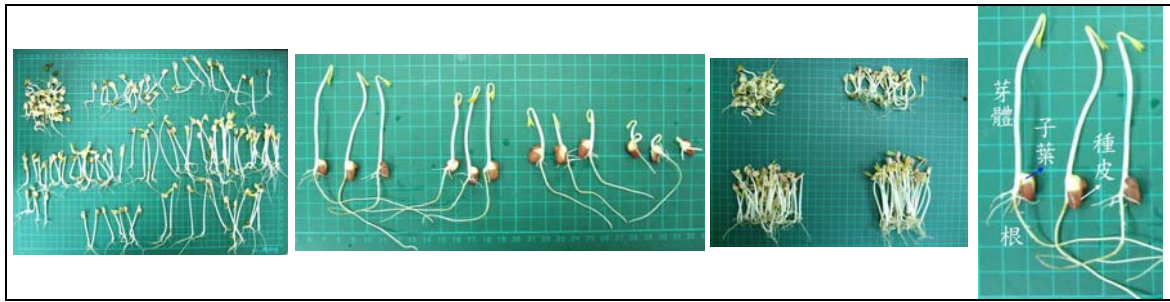


圖 5.以綠豆芽為例，依芽體不同長度分成 1~3cm、3~5cm、5~7cm，再將各部位分離冷凍乾燥萃取後測定清除率

【研究四】探討溫度對豆類芽菜萃取物清除 DPPH 自由基能力的影響

取發芽 3 天的芽菜研磨冷凍乾燥後萃取，取萃取液各 100 μ l 瓶口密封，分別置於 40 $^{\circ}$ C、60 $^{\circ}$ C、80 $^{\circ}$ C 及 100 $^{\circ}$ C 水浴槽中加熱 10 分鐘後，測定清除 DPPH 自由基能力：

$$\text{相對清除率(\%)} = \left[\frac{\text{不同溫度加熱芽菜清除率}}{\text{未加熱芽菜清除率}} \right] \times 100\%$$

【研究五】探討豆類芽菜煮熟後及微波後清除 DPPH 自由基能力的變化

一、將發芽 3 天的芽菜於 100 $^{\circ}$ C 沸水煮 10 分鐘後研磨冷凍乾燥後萃取，取萃取液各 100 μ l 與未經處理萃取液比較其清除率清除 DPPH 自由基能力：

$$\text{相對清除率(\%)} = \left[\frac{\text{煮熟芽菜清除率}}{\text{未經處理芽菜清除率}} \right] \times 100\%$$

二、取發芽 3 天的芽菜萃取液各 100 μ l，分別以 160W、320W、480W 及 800W 微波加熱 4 分鐘，與未微波之芽菜萃取液比較其清除 DPPH 自由基能力相互：

$$\text{相對清除率(\%)} = \left[\frac{\text{不同瓦特數微波加熱芽菜清除率}}{\text{未微波加熱芽菜清除率}} \right] \times 100\%$$

【研究六】比較豆類芽菜以不同比例混合後清除 DPPH 自由基能力

任取 2 種芽菜萃取液以不同比例(A : B = 1:1、1:2、2:1)混合後取 100 μ l，相較於未混合前 2 種芽菜混合值的清除 DPPH 自由基能力：

$$\text{相對清除效果(\%)} = \left[\frac{\text{以 A : B 比例混合的芽菜測吸光值}}{(\text{單一芽菜吸光值} \times A + \text{另一芽菜吸光值} \times B) / (A + B)} \right] \times 100\%$$

【研究七】探討豆類芽菜影響鐵釘生鏽速率快慢對照於芽菜的抗氧化能力

- 一、以砂紙將鐵釘表面磨光後，浸泡於 1M 稀鹽酸中片刻，取出鐵釘以蒸餾水沖洗，放置於盛裝發芽 0 天和 3 天芽菜萃取液(50 滴/25ml 水)的培養皿中，目測觀察氧化速率快慢。
- 二、拍攝 18hr 內培養皿中鐵釘氧化情形，與芽菜萃取液清除 DPPH 自由基能力相互比較。

伍、研究結果與討論

一、培養初期，5 種豆類均浸泡 20 hr 後取出繼續發芽，發現綠豆發芽率最好；黃豆及黑豆發芽率最差。經多次實驗得知各種芽菜萌芽期都不同，爲了獲得較好的發芽率，最佳的浸泡時間分別爲：

名稱	黑豆	黃豆	綠豆	豌豆	紅豆
最佳浸泡時間	1 hr	1 hr	6 hr	8 hr	12 hr

經過多次實驗，發現在家中栽種的芽菜生長速率不一，黃豆與黑豆易發臭；若在恆溫箱中栽培各種芽菜則穩定生長。其中，綠豆的發芽率可高達 100%。

二、仔細觀察豆類發芽過程的外形，培養相同天數以綠豆成長最迅速，綠豆芽菜第 3 天時鬚根已長出，發芽 3 天紅豆與豌豆芽體會以子葉爲中心向兩側生長，和其他豆類單側生長不同。



發芽 1 天



發芽 2 天



發芽 3 天

三、同一種芽菜以不同濃度的酒精(0%、50%、70%、95%)萃取後加入 DPPH 溶液靜置 30 分鐘，目測觀察清除效果以 50% 乙醇萃取效果最佳(圖 6)。以純水萃取效果也不錯，但溶液混濁且脂溶性物質無法溶出。因此，我們選擇以 50% 乙醇溶液來萃取芽菜。

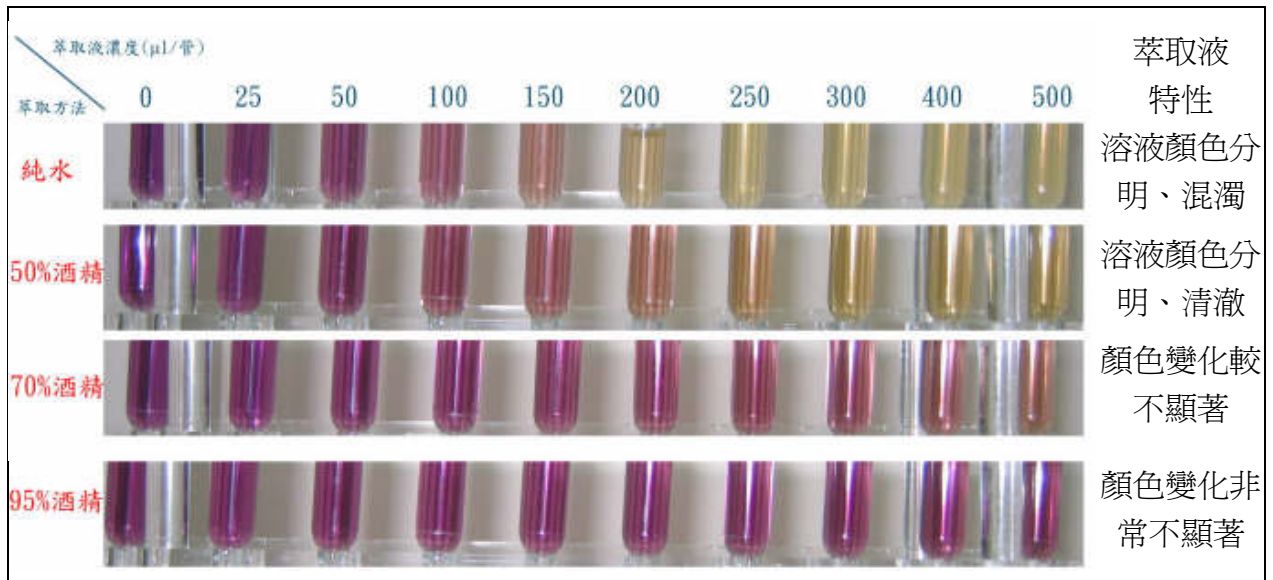


圖 6. 芽菜以不同濃度的酒精萃取後加入 DPPH 溶液靜置後，目測觀察清除效果以 50% 乙醇萃取液的清除效果最佳；純水萃取後的溶液較不清澈，易造成實驗誤差；95% 乙醇萃取液的清除效果無法由肉眼辨別。

四、DPPH 是含一種有奇數個電子的穩定自由基，其甲醇溶液呈深紫色，在 517 nm 有強吸收值。當 DPPH 被具有抗氧化能力試劑(強還原劑)還原時，兩分子的 DPPH 上的奇數個電子會與抗氧化物質結合，形成一分子的 DPPH 與抗氧化物質結合的複合分子，和一分子 DPPH 還原態分子：

$2\text{DPPH}\cdot + \text{ROOH} \rightarrow \text{DPPH}\cdot\cdot\text{RO} + \text{DPPH}\cdot\cdot\text{OH}$ 或 $\text{DPPH}\cdot + \text{AH}(\text{抗氧化劑}) \rightarrow \text{DPPH}\cdot\cdot\text{H} + \text{A}\cdot$
 DPPH 還原態分子在波長 517nm 下吸光值會降低，溶液顏色也轉淡。因此我們可由芽菜萃取液與 DPPH 反應後，測量 DPPH 在波長 517 nm 吸收數值的強弱，作為比較芽菜清除自由基能力的基準。

五、發芽 0 天芽菜以 50% 乙醇溶液萃取後分別測定清除 DPPH 自由基能力，目測紫紅色溶液隨芽菜萃取液濃度增加而變淡，推測芽菜萃取液濃度愈高，清除能力愈好；以紅豆的清除能力最佳(圖 7)。再佐以分光光度計測 517nm 波長的吸光值，亦驗證紅豆芽菜清除能力最佳。本實驗均取芽菜 50% 乙醇萃取液 100 μl (濃度為 100 mg/1000 μl)來進行比較。

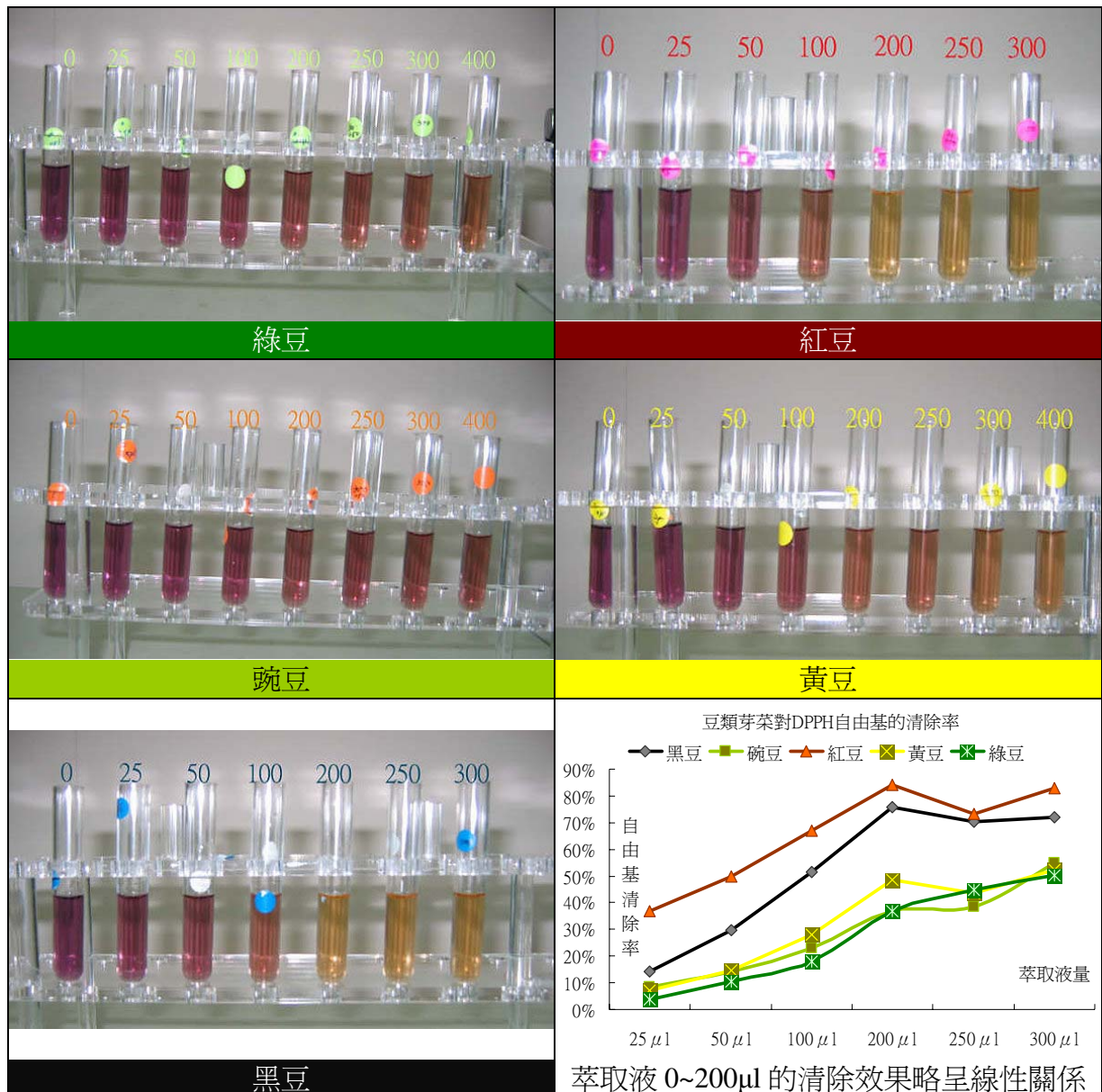


圖 7.發芽第 0 天的芽菜以 50% 乙醇溶液萃取後分別進行清除 DPPH 自由基能力測定，目測得知芽菜萃取液濃度愈高，清除能力愈好；紅豆的清除效果優於其他芽菜，再佐以分光光度計測 517nm 波長的吸光值，亦驗證紅豆芽菜清除能力最佳。

六、將發芽 0~3 天芽菜萃取後測量清除 DPPH 自由基能力(圖 8)，發現綠豆、黑豆、黃豆及豌豆的清除率隨天數增加而增加，清除能力依序為綠豆>黑豆>黃豆>豌豆。發芽 1 天的紅豆清除率達到最大，其後隨發芽天數增加反而下降。在古老智慧的口耳相傳中，一般人常使用綠豆粉來洗臉或敷臉，據說可以美白及活化皮膚，也許和它具有抗氧化的功能有關。

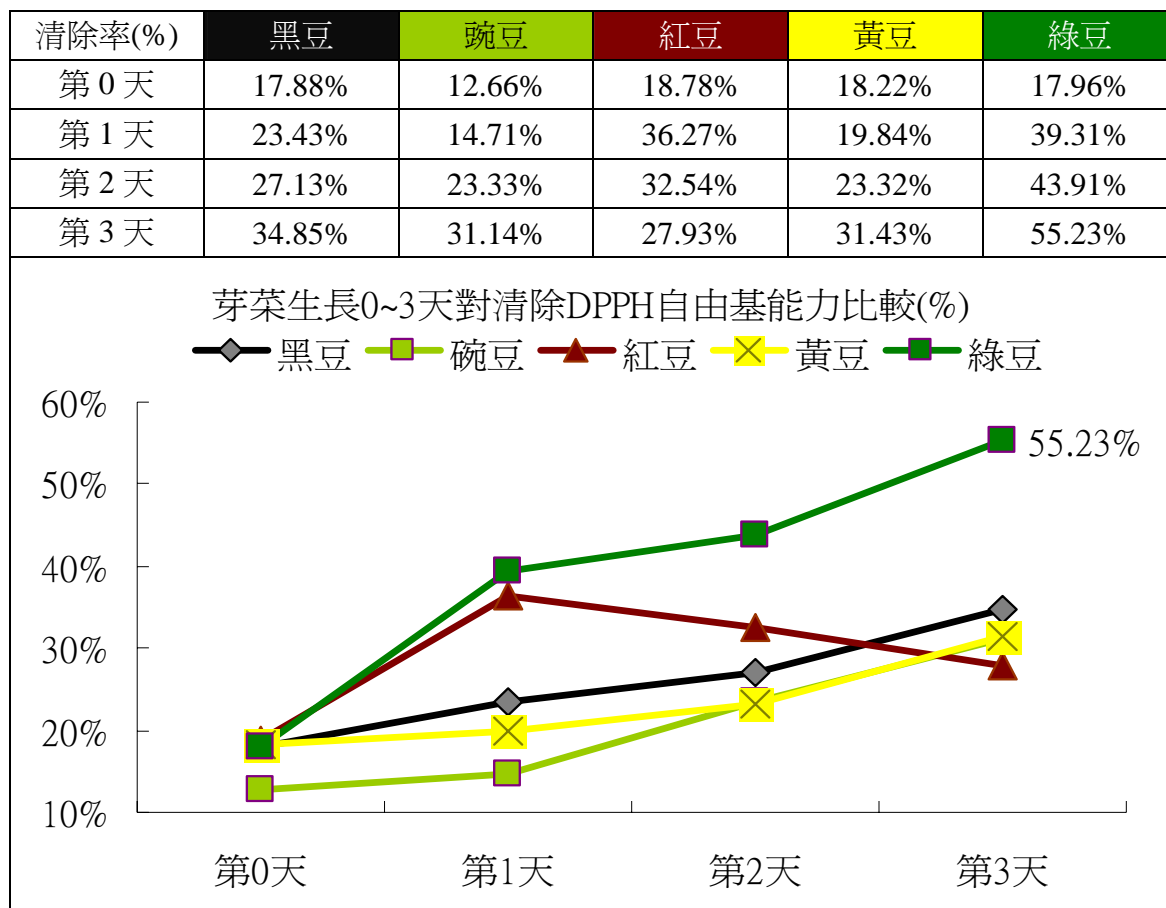
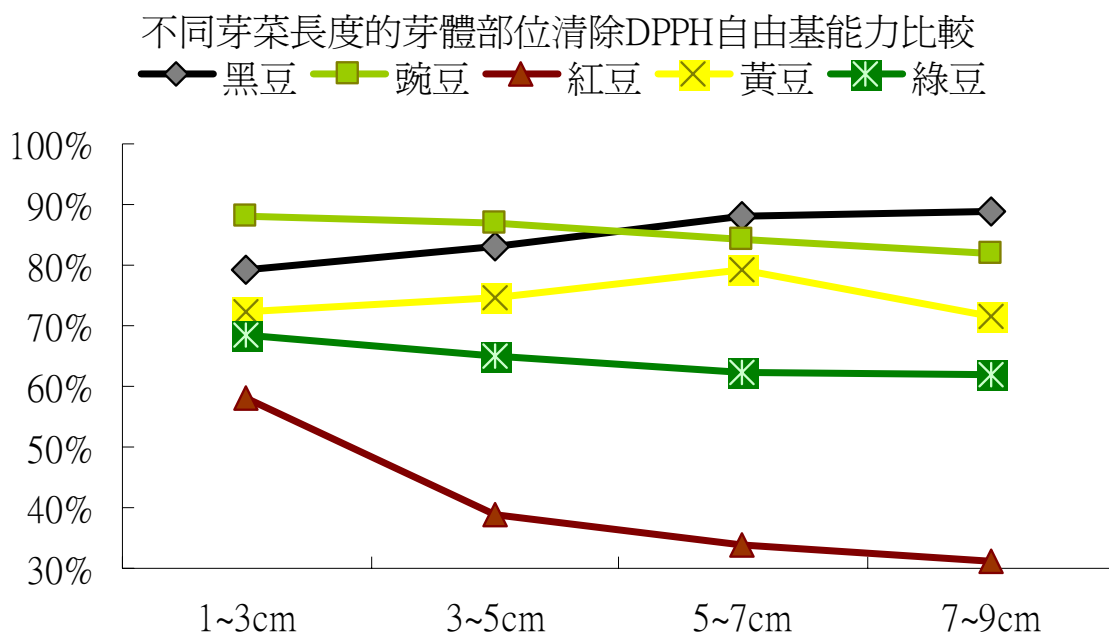


圖 8. 由圖表中綠豆、黑豆、黃豆及豌豆的清除率隨發芽天數增加而增加，清除能力依序為綠豆>黑豆>黃豆>豌豆。發芽 1 天的紅豆清除率達到最大，其後隨發芽天數增加反而下降。

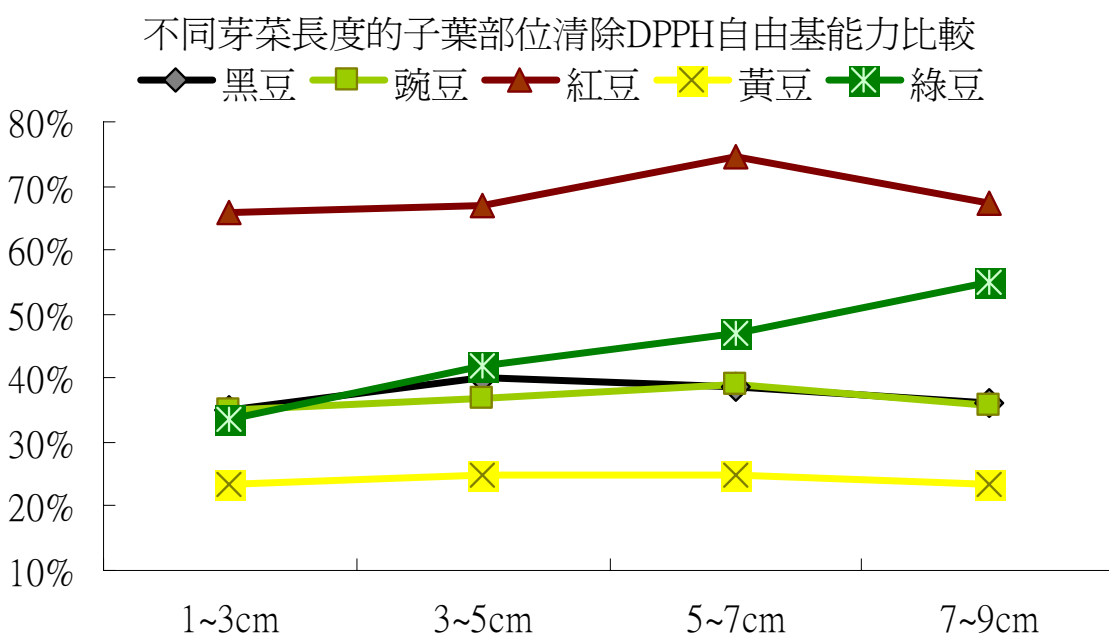
由以上圖表得知芽菜清除自由基能力隨培養天數而增加，但每一種芽菜的生長速率都不相同(綠豆最長、黃豆最短)，是否相同長度的芽菜其各部位也有不同的清除能力呢？於是我們針對相同長度的芽菜將各部位分離後萃取，經實驗來驗證我們的推測是否正確。

七、芽菜長度依 1~3cm、3~5cm、5~7cm、7~9cm 分類，並切割各部位後冷凍乾燥萃取並測量比較(圖 9)，發現芽菜各部位的清除能力均隨芽菜總長度而各有增減，可見前一項實驗測得整株芽菜的清除能力，並非集中於芽菜的某一部位，而是各部位的綜合或加成效果所致。

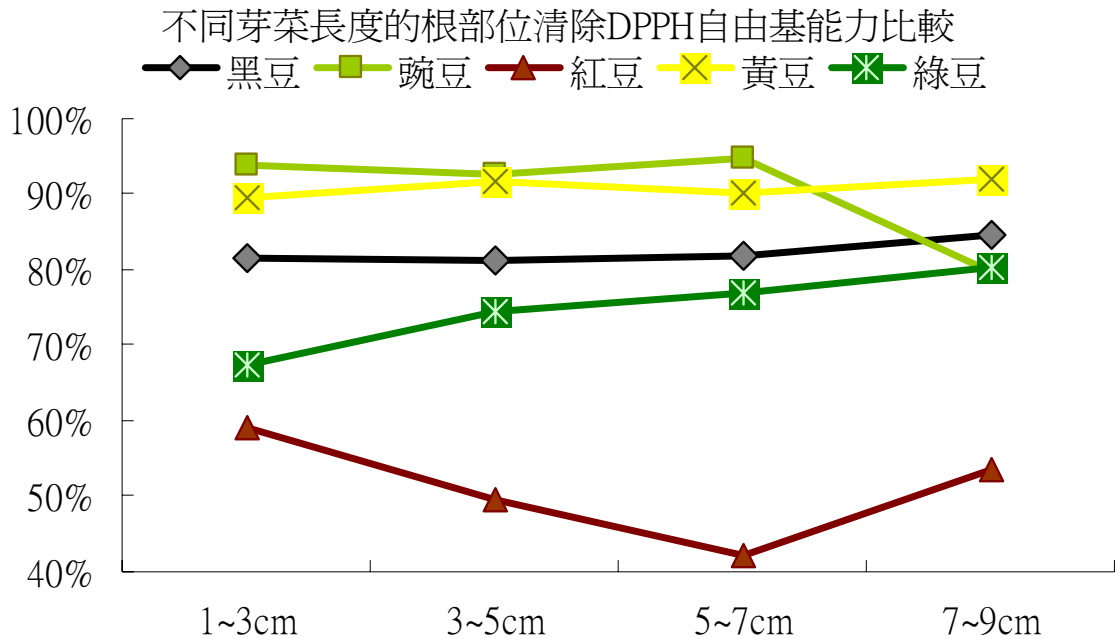
圖 9. 相同總長度的芽菜，其各部位(芽體、子葉、根、種皮)的清除 DPPH 自由基能力比較(清除率%)



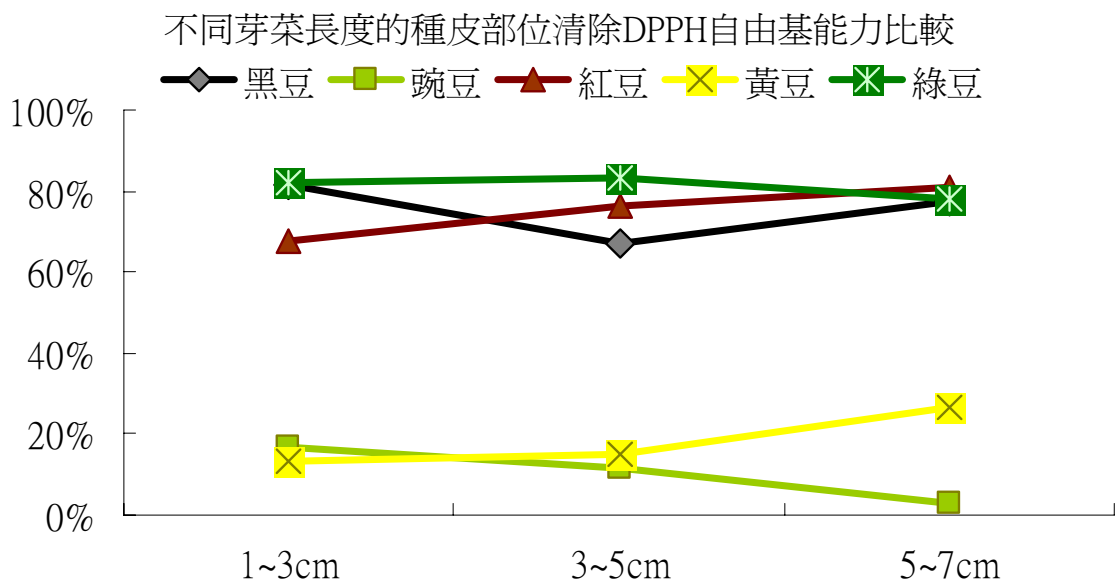
芽菜總長度愈長，芽體佔有的比率也愈大。測試芽菜的芽體部位，豌豆的清除能力較佳(5cm 以下)，但隨長度增加而逐漸降低(5~9cm)；黑豆則是隨之增加；紅豆的清除能力最差，無怪乎鮮少聽聞生食紅豆芽菜的習慣。



芽菜的子葉部位則是以紅豆的清除能力最佳，但總長度達 7cm 以上逐漸降低清除能力；綠豆反而隨著長度逐漸增加清除能力。黑豆與豌豆差不多；黃豆則是最差。



芽菜總長 7cm 以下的豌豆根部位清除能力最佳，7~9cm 則減弱；其次是黃豆；黑豆及綠豆則是隨著長度增加逐漸增加清除能力；紅豆的清除能力則是最弱的。



黑豆、紅豆及綠豆芽菜的種皮都有好的清除能力，其中，紅豆隨著培養天數增加相對提高清除能力；3~5cm 的綠豆種皮擁有最高的清除率(83.03%)。黃豆及豌豆的種皮清除率相對較差，豌豆更是隨著培養天數減低清除能力。查閱文獻，黑豆及紅豆種皮富含具抗氧化能力的青花素。

八、芽菜萃取後以不同溫度隔水加熱，測量其清除 DPPH 自由基能力，和 25°C 芽菜相比較，得知溫度愈高，綠豆有較高的相對清除率(圖 10)，100°C 時可達到最大的清除能力(146.1%)；黃豆和黑豆則是隨溫度升高而降低其清除能力；80°C 以下的紅豆隨溫度增加而提高相對清除率；豌豆在高溫下(60°C~100°C)的清除能力比未加熱前差。

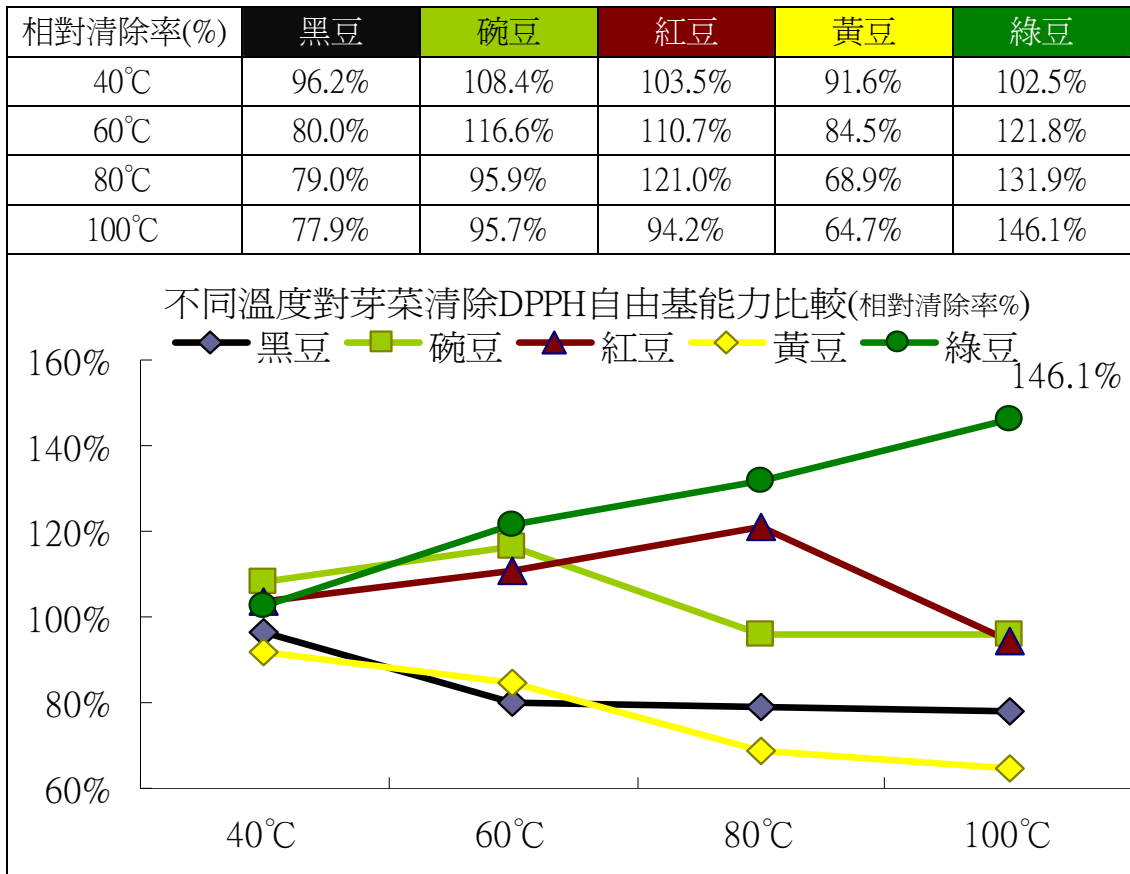


圖 10. 溫度愈高，綠豆的相對清除率愈高，在 100°C 時達到最高；黃豆和黑豆則是隨溫度升高而降低；80°C 以下的紅豆隨溫度增加而提高相對清除率，但 80°C 以上則降低；碗豆在高溫下(60°C~100°C)的清除率比未加溫前差。

九、發芽 3 天的芽菜經過水煮後，冷凍乾燥萃取測其清除 DPPH 自由基能力吸光值，與未加熱前比較(圖 11)，僅碗豆及黃豆增加清除能力，其餘均下降，可能是芽菜具有抗氧化的成分溶於水中因而導致清除能力降低。

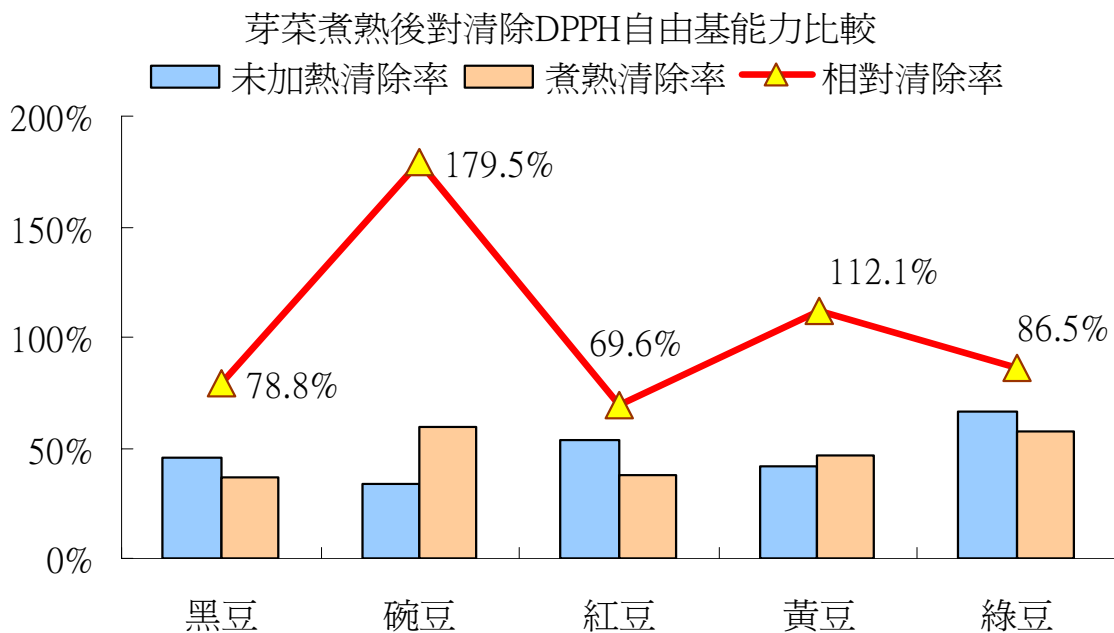
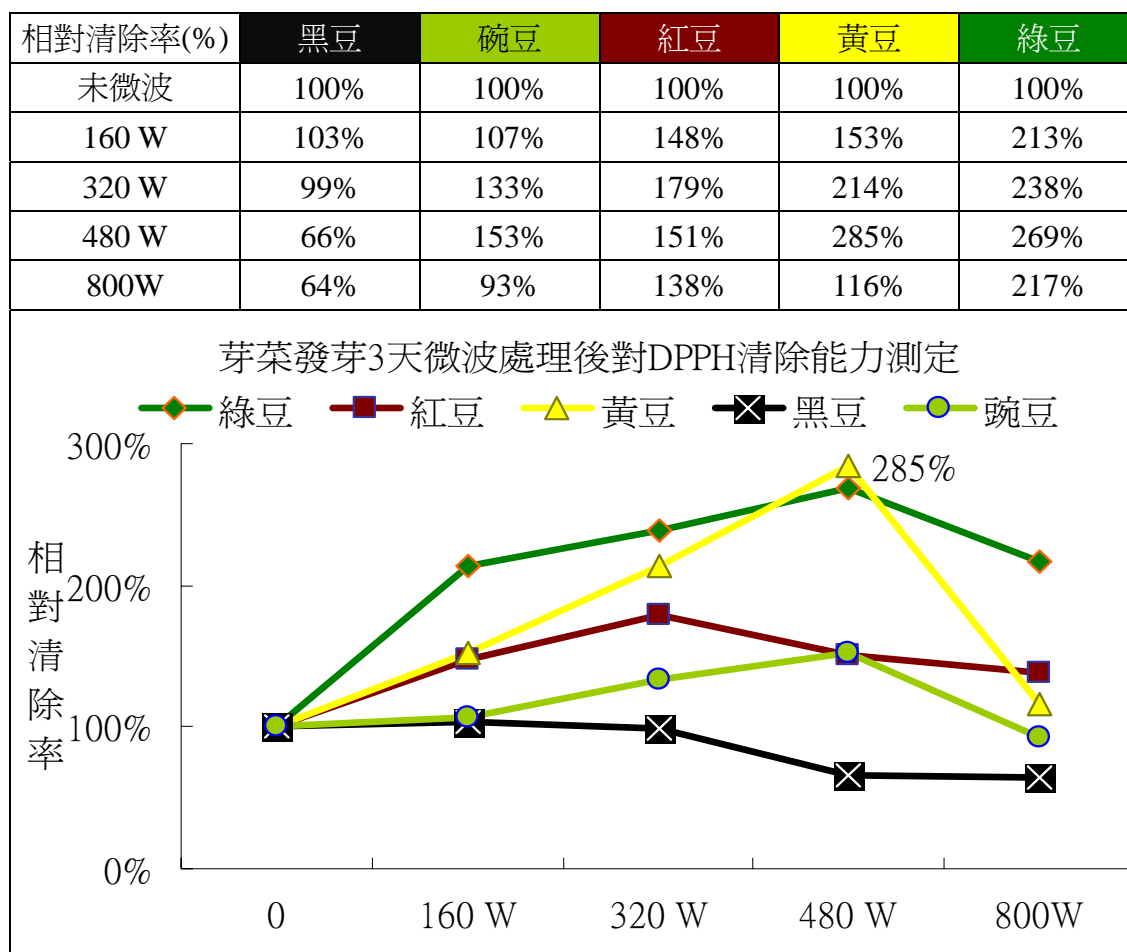


圖 11. 經過水煮的芽菜，僅碗豆及黃豆增加清除能力，其餘均下降，可能是芽菜具有抗氧化的成分溶於水中因而導致清除能力降低。

十、發芽 3 天的芽菜萃取液經微波後測量其相對清除率如圖表 12.，微波處理過程未加入水，因此，抗氧化物質較不會釋出而保留在芽菜中。



圖表 12.除了黑豆以外，其餘芽菜在低於 480W 的微波處理後，其清除 DPPH 自由基能力都比未微波前高，然而，芽菜經高於 480W 微波後，其清除能力均下降；黑豆芽菜經微波後，其清除能力比未微波前差。

- (一) 除了黑豆以外，其餘芽菜在低於 480W 的微波處理後，其清除自由基能力都比未微波前高，黃豆更是快速增加，在 480W 時達到最高；綠豆也有很好的清除能力；然而，芽菜經高於 480W 微波後，其清除能力均下降，黃豆及碗豆的清除能力降到和未微波處理相近。
- (二) 黑豆芽菜經微波後，其清除能力比未微波前差。因此，不建議黑豆經微波後食用。其餘芽菜則不建議使用高功率(>480W)的微波加熱。

十一、綜合以上三種加熱方式得到以下推論(圖 13)，發芽 3 天的芽菜以不同加熱方式處理後，相對於 25°C 未作任何處理的芽菜，綠豆芽菜隨加熱溫度提高而增加清除能力，微波後清除能力均提高 1 倍以上；黃豆芽菜隨加熱溫度提高而降低清除能力，微波後清除能力快速提高(480w 達到最高)；黑豆以任何方式加熱都無法提高清除能力；紅豆微波後可提高清除能力，但是水煮方式則降到最低；豌豆沒有固定的趨勢，水煮方式可提高清除能力。

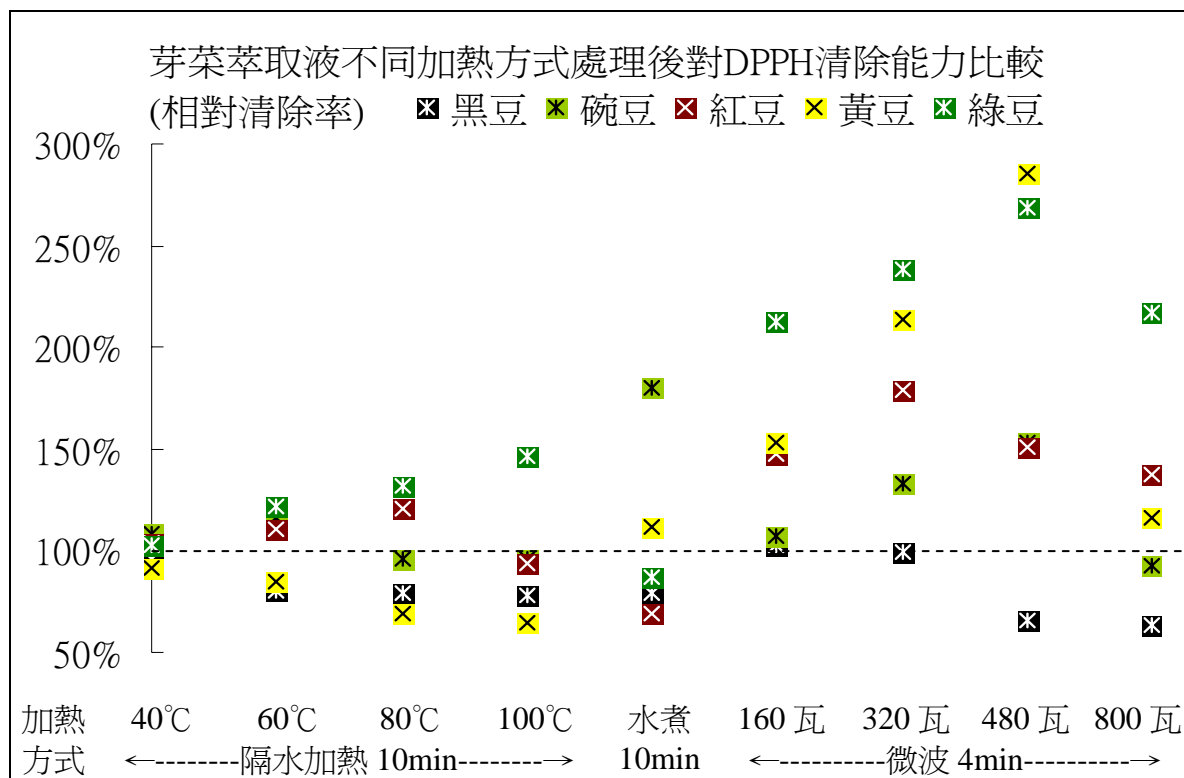


圖 13. 發芽 3 天的芽菜以不同加熱方式處理後，相對於 25°C 未作任何處理的芽菜比較，綠豆芽菜隨加熱溫度提高而增加清除能力，微波後清除能力均提高 1 倍以上；黃豆芽菜隨加熱溫度提高而降低清除能力，微波後清除能力快速提高(480w 達到最高)；黑豆以任何方式加熱均降低清除能力；紅豆微波後可提高清除能力，但是水煮方式則降到最低；碗豆沒有固定的趨勢，水煮方式可提高清除能力。

十二、發芽 3 天的芽菜萃取液以不同比例混合後測量吸光值，數據顯示混合芽菜清除 DPPH 自由基能力並沒有規律性的變化(圖 14)。有趣的是，僅有紅豆與綠豆以 1:1 混合的清除能力提高了，比單一芽菜的抗氧化能力更好。根據實驗結果，我們建議生食芽菜時以單一種類會有較好的抗氧化效果，若以等比例的紅豆和綠豆混合，應該也是不錯的選擇。

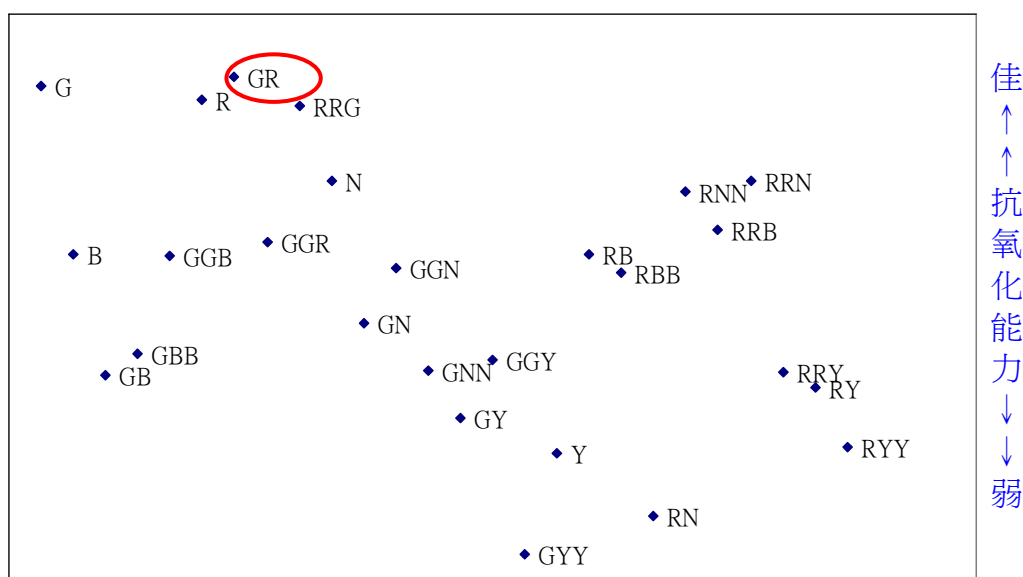


圖 14. 由數據顯示以固定比例混合後的萃取液對清除 DPPH 自由基能力沒有規律性變化。紅豆與綠豆比例=1:1 時清除能力最佳，比單一芽菜的抗氧化能力更好。(R: 紅豆、B:黑豆、N:碗豆、G:綠豆、Y:黃豆、RNN:代表紅豆:碗豆=1:2)

十三、依類別來分析發芽 3 天的芽菜混合後的相對清除率(圖 15)，發現混合後的芽菜萃取液都降低清除 DPPH 自由基能力，唯有綠豆及紅豆以 1:1 混合會提高清除能力。

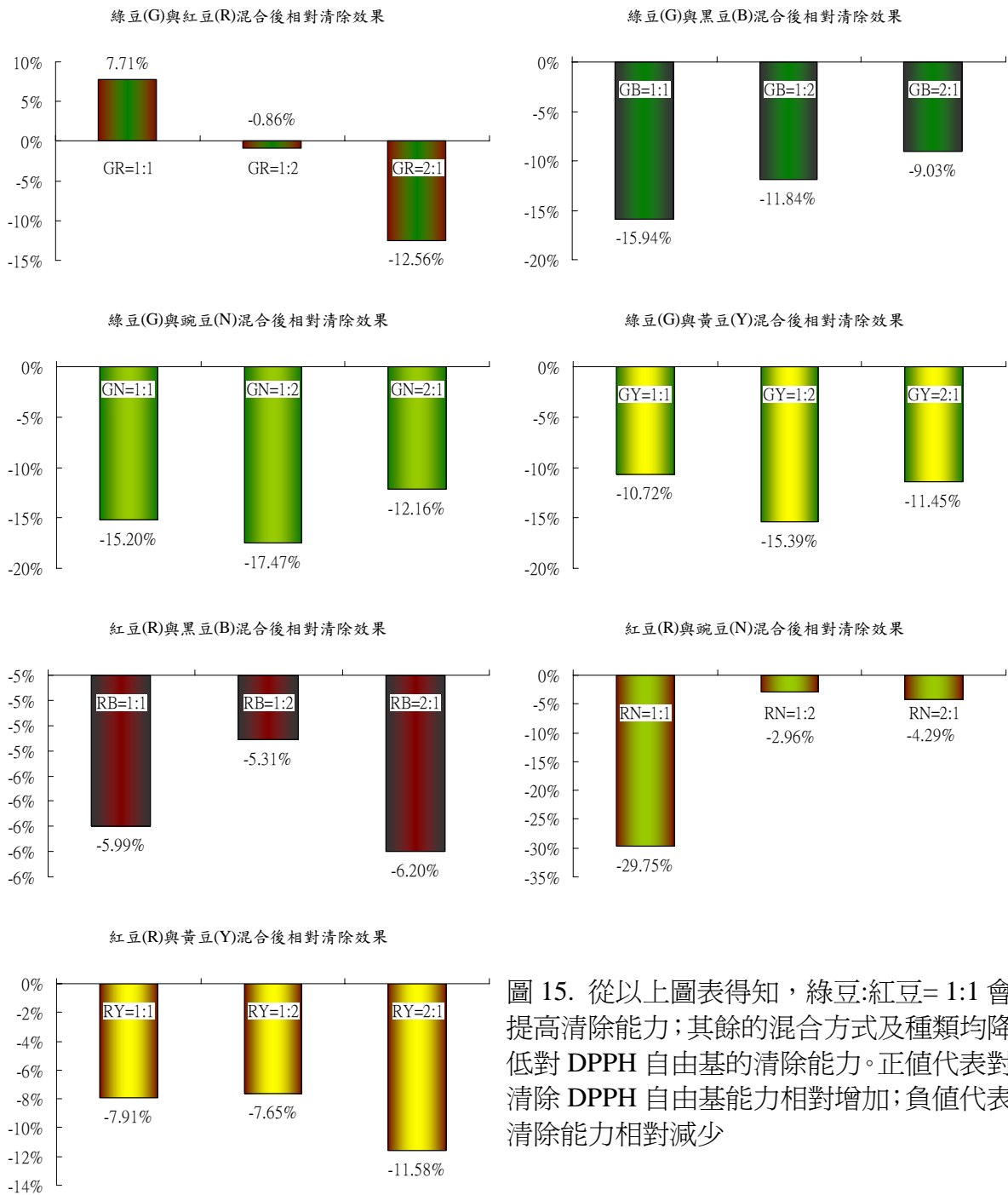


圖 15. 從以上圖表得知，綠豆:紅豆= 1:1 會提高清除能力；其餘的混合方式及種類均降低對 DPPH 自由基的清除能力。正值代表對清除 DPPH 自由基能力相對增加；負值代表清除能力相對減少

十四、每隔 1hr 擷取鐵釘生鏽的攝錄圖片(圖 16)，發現鐵釘生鏽前，溶液會先轉呈黃色，接著在鐵釘表面被覆一層一層的鐵鏽。未滴加萃取液的鐵釘快速生鏽，顯示萃取液確實有延緩鐵釘生鏽氧化的速率。萃取液接觸空氣的時間愈久，抗鐵釘氧化的能力就愈減弱。培養皿內鐵釘的氧化速率也不一樣，但仍能看出發芽 0 天萃取液轉呈黃色的時間較短，紅豆萃取液變黃的速率最慢；發芽 3 天芽菜以綠豆萃取液最慢，和我們的實驗不謀而合。因此，我們可由由簡單的鐵釘生鏽氧化速率來觀察並比較芽菜的抗氧化能力。


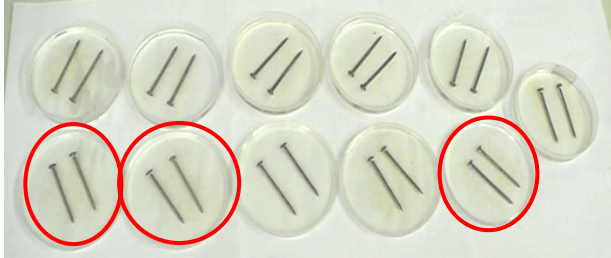
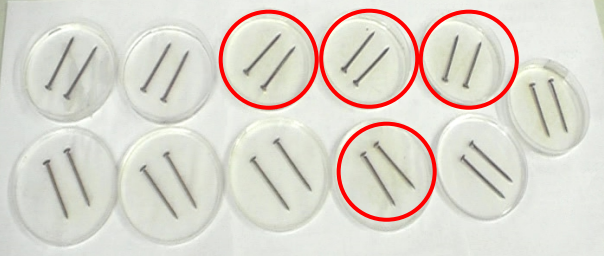
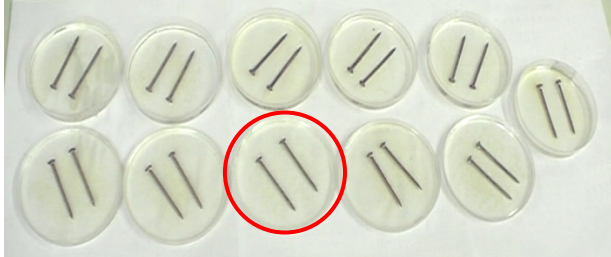


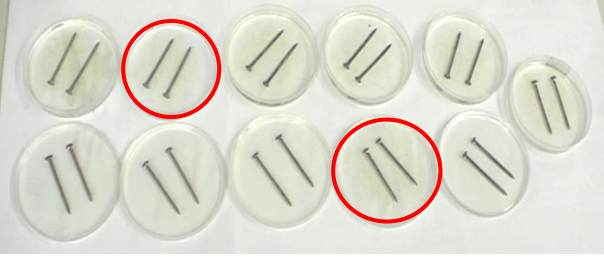
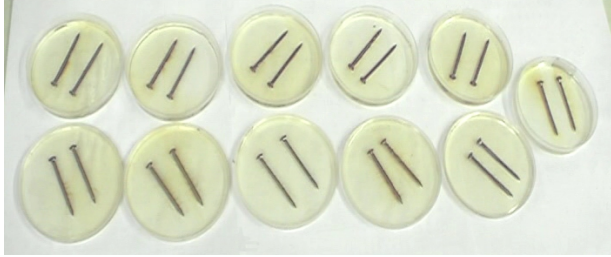
黃(0)	紅(0)	綠(0)	豌(0)	黑(0)	對照組	經過時間 (hr)	黃(0)	紅(0)	綠(0)	豌(0)	黑(0)	對照組	
黃(3)	紅(3)	綠(3)	豌(3)	黑(3)			黃(3)	紅(3)	綠(3)	豌(3)	黑(3)		
						1 hr 後							5 hr 後
所有鐵釘都沒有生鏽，對照組溶液稍變黃色							發芽 3 天黃豆、紅豆及黑豆溶液轉呈黃色						
						2 hr 後							6 hr 後
發芽 0 天黑豆、綠豆、豌豆及發芽 3 天豌豆溶液轉呈黃色							發芽 3 天綠豆溶液明顯轉呈黃色						
						3 hr 後							7 hr 後
發芽 0 天黃豆溶液開始轉呈黃色							黃色溶液中的鐵釘快速生鏽						
						4 hr 後							18 hr 後
發芽 0 天紅豆及發芽 3 天豌豆溶液轉呈黃色							全部鐵釘均生鏽						

圖 16. 圖中上方的中文字代表芽菜種類，括弧內的數字代表發芽天數，紅色圈內的溶液呈現黃色

陸、結論

- 一、各種豆類芽菜的萌芽期都不同，浸泡黃豆 1 hr、黑豆 1 hr、綠豆 6 hr、豌豆 8 hr、紅豆 12 hr 時可獲得最好的發芽率。其中，綠豆發芽率最好(100%)，生長也最迅速，至第 3 天已長出鬚根；紅豆與碗豆芽體會以子葉為中心向兩側生長，和其他豆類單側生長不同。
- 二、芽菜研磨冷凍乾燥後以 50% 乙醇溶液萃取效果最好，紫紅色的 DPPH 溶液隨芽菜萃取液濃度增加而變淡，顯示芽菜萃取液濃度愈高，清除 DPPH 自由基能力愈好，佐以分光光度計測 517nm 吸光值加以計算也得到證明。0~200 μ l 萃取液的清除效果略呈線性關係。
- 三、發芽 0 天的芽菜以紅豆(200 μ l 萃取液清除率 83.93%)的清除 DPPH 自由基能力較佳；發芽 3 天的芽菜則以綠豆(100 μ l 萃取液清除率 55.23%)較佳。
- 四、分析發芽 3 天芽菜各部位清除 DPPH 自由基能力，芽體部位以豌豆(1~5cm)和黑豆(5~9cm)較好；子葉部位以紅豆較好，黃豆最差；根部位則以豌豆(7cm 以下)及黃豆較佳，紅豆最差；種皮部位以，綠豆、紅豆及黑豆較佳。
- 五、隔水加熱的溫度愈高，對發芽 3 天綠豆芽而言，相對清除率愈高，在 100 $^{\circ}$ C 時達到最高；黃豆和黑豆則是隨溫度升高而逐降。
- 六、部份芽菜經過水煮，部份抗氧化成分溶出而降低清除自由基能力，豌豆及黃豆卻反而相對提高。
- 七、以微波加熱處理，黃豆在 480W 下加熱後有最佳的清除效果，160W~480W 微波加熱後可提高綠豆、黃豆、紅豆及豌豆的清除能力。黑豆微波加熱後其清除能力比未微波前差。
- 八、發芽 3 天綠豆和紅豆以 1：1 比例混合可提高清除 DPPH 自由基能力，其餘種類混合都比單一芽菜的清除能力低。
- 九、未滴加萃取液的鐵釘快速生鏽，顯示萃取液確實有延緩鐵釘生鏽氧化的速率。目測鐵釘生鏽前的溶液轉變成黃色的順序和我們測定芽菜萃取液清除 DPPH 自由基能力的強弱相關性頗高。因此，在日常生活中，我們可以藉由簡單的鐵釘生鏽實驗來比較物質相對抗氧化的能力強弱，並推薦利用便宜又簡單的比較方法來取代昂貴的檢測方式。

柒、參考資料

- 一、鍾愛嵐(2001)青草植物抗氧化力及抗氧化功能性之研究，中國文化大學論文。
- 二、林明君(2002)新鮮及乾燥蕃茄甲醇萃取液之抗氧化性比較，大葉大學論文。
- 三、邱致穎(2003)熱處理對紫玉山的抗氧化性之影響，靜宜大學食品營養學系研究所論文。
- 四、高景輝(1996)植物生長與分化、國立編譯館。
- 五、黃惠華、郭乾初、梁漢華、黃秋婷(2006)豆漿熱處理過程中 3 種大豆異黃酮苷原的熱降解比較、食品科學 9 期。
- 六、醫生，我該吃哪種「眼睛維他命」？ p27~33 健康世界 2007 年 10 月總號 382 期
- 七、藥用及保健植物個人化飲食 p36~p41 科學發展 2007 年 10 月 418 期
- 八、台灣六種野生植物果實之抗氧化功能評估 中央研究院高中生命科學資優生培育計畫 專題研究報告 92 年 3 月 國立台灣師大附中
- 九、分光光度計及原子吸光光譜儀原理簡介，http://study.tnit.edu.tw/teacher/shyu/water_analy/ecchar5.htm
- 十、抗氧化營養素與人體健康，<http://www.cc.nctu.edu.tw/~mariawu/nutrition/antioxidant.htm>
- 十一、對抗老化 - 認識自由基的危害，<http://www.herbal.tw/fax03.htm>
- 十二、自由基，<http://www.healthno1.com/health/feature/html/fe-misc-20000421a.html>
- 十三、影響鐵生鏽的探討 <http://www.isst.edu.tw/s44/quarterly/45/quarterl-45-7.htm>
- 十四、The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl(DPPH) for estimating antioxidant activity
<http://www2.psu.ac.th/PresidentOffice/EduService/journal/26-2.pdf/07-DPPH.pdf>

【評語】 031714

1. 本件在方法上完整，但仍有改善空間。
2. 以往類似之研究頗多，因而在創新能力上不足，而缺乏學術性，但具實用性。