

【2023 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

國中組 成果報告表單

題目名稱：大蒜變色龍~探討影響蒜頭變色的原因及營養變化情形

一、摘要：

新鮮蒜頭具有多種保健功效，但因為辛辣口感與口臭問題，讓許多人不敢大口享用。偶然發現的綠蒜頭，不僅顏色發生變化，連原本刺激的味道也變溫和了，讓人感到十分好奇。經由實驗發現蒜頭加醋變綠，需要先預冷，接下來的反應溫度，則是高溫(30°C)較室溫好。醋的 pH 值愈低(pH3)，變綠速度愈快，相同 pH 值的檸檬酸與鹽酸，無法促進蒜頭變色。後續實驗發現，具有羧基的一元羧酸，如甲酸、乙酸皆能促進變色；但二元羧酸的草酸則無，此外，醋酸鈉的羧基並無法促進變色。變色過程需同時存在羧基與酸性環境。抗氧化能力方面，以白蒜(生蒜)較好，而醃製的綠蒜又比黃蒜好；降解菠菜的亞硝酸能力，白蒜及綠蒜降解率皆達 90%以上。浸過蒜頭的醋，也有不錯的抗氧化及降亞硝能力。

二、探究題目與動機



圖 1 白蒜頭與變綠後的蒜頭

去年夏天，和家人到台中旅遊，在一家農特產品手作坊中看到一罐罐碧綠色的食物，竟然是蒜頭，令人感到驚奇，直覺應該加了不少色素吧。網路查詢後才發現，原來這是屬於醃製類的食物，根據食藥署的資料顯示，綠色為蒜頭的自然變化，對人體健康不會有不良影響。

綠蒜頭的製作是在冬天低溫時，將米醋倒入蒜頭，接著蒜頭就會自然產生反應，呈現碧綠顏色，試著吃了一些，獨特酸味及蒜味讓人食慾大增，更重要的是並沒有蒜頭食後的口臭問題。蒼綠的顏色，引發許多疑問，綠蒜頭要較低溫度製作，變綠的反應與溫度可能有關，接著加入的醋，扮演的角色是什麼，是提供酸性環境或是與醋的成份有關？在製作過程裡也發現，綠色並非最終的顏色，蒜頭會由白轉綠，最後轉黃，蒜頭的顏色會變化，那麼營養也會變化嗎？此外，浸過蒜頭的醋液，營養上會不會也隨著改變。我們決定以隨手可得的國民食材~蒜頭，探究影響蒜頭變色的條件，並進一步探究顏色與營養上的轉變，期待能解開蒜頭變色之謎與營養上的關聯。

三、探究目的與假設

首先，查閱網路上關於綠蒜頭的製作過程，得知要在低溫下進行，因此，我們假設溫度可能是影響變色的原因之一，此外，醋應該也扮演促進變色的重要角色，另外，與蒜頭同屬的洋蔥及蒜苗也會有類似的反應嗎？最後，我們更想知道持續變色的蒜頭，營養價值上會有什麼樣的轉變，以下就是我們的探究目的：

- 一、觀察蒜頭變色的過程
- 二、影響蒜頭變綠的原因是什麼~溫度與醋
- 三、其它蔥屬的食材也會變綠嗎
- 四、變色的蒜頭，營養價值會改變嗎~抗氧化能力與降解亞硝酸能力



圖 2 持續變色的蒜頭，營養變化？

四、探究方法與驗證步驟

步驟一：觀察蒜頭變色的過程

蒜頭，這種家庭必備的食材，不僅豐富了料理的味道，也提供了大量的營養功效。旅途中發現的綠蒜頭引發了我們一連串的疑問與好奇，探究的開始。

為了減少實驗材料上的誤差，我們購買來自雲林蒜農的蒜頭，並與蒜農聯絡確定收成至販售時間。首先，從綠蒜頭的製作展開，參考網路的方法，蒜頭剝皮後，選取大小類似的蒜頭(約 5~6 顆，15g 左右)，加入約 15ml 米醋，封起後置入冰箱(10°C)，每日觀察記錄。

1. 記錄的定義與方式：

開始變綠的比例： $\frac{\text{杯內開始變色的蒜頭數量}}{\text{全部蒜頭數量}}$

註：蒜頭變色的過程(圖 3)，兩側開始變綠，再整顆變綠

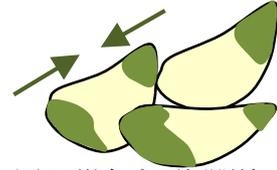


圖 3 變色由兩側開始

2. 低溫環境，每日開始變綠的比例(每組 3 杯，N=18；三重覆平均)

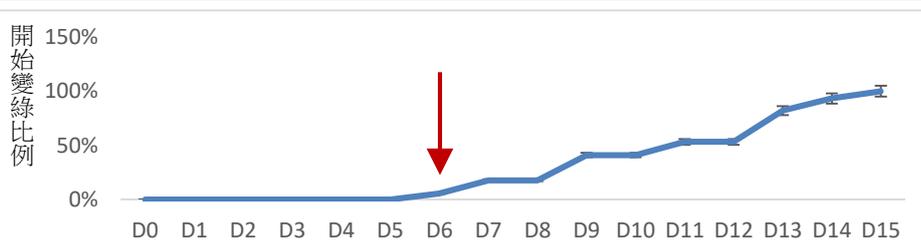


圖 4 低溫環境(10°C)，每日開始變色的比例

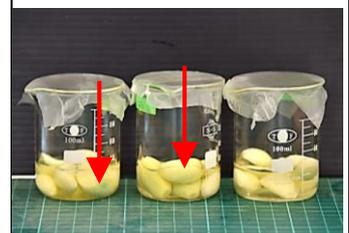


圖 5 第六天才開始有變色

以冰箱模擬低溫環境的結果，發現從第 6 天才開始有變綠的蒜頭出現(圖 4)，且比例偏低(6%)，至到第 15 天，所有蒜頭才出現變綠的情形。此外，也記錄所有蒜頭整顆都變成綠色的時間，為 16 ± 0.58 天。模擬低溫變色的結果需要很長的時間，這讓我們感到困惑，是否有較快的方法或條件，讓蒜頭的變色速度加快呢？接著，我們探討影響蒜頭變色的原因。

步驟二：影響蒜頭變綠的原因~溫度

1. 要先預冷嗎？

製作的過程，多在低溫環境，是因為低溫開啟蒜頭變色的活性嗎？我們設定了不同的預先處理溫度，3 天後，置於室溫記錄開始變綠的比例。



圖 6 放置第二天變色情形

結果發現第二天，冷凍及冷藏組開始變綠比例為 96、100%，無預冷則無變色。

2. 預冷後，存放溫度對蒜頭變色的影響

由上述結果，可知蒜頭變色的先決條件是需要進行冷刺激，但冷凍的蒜頭會偏黃，因此我們選擇冷藏低溫 10°C，作為預冷的溫度，接下來測試存放的反應溫度的影響。

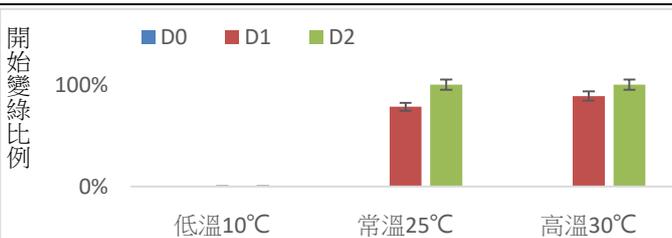


圖 7 預冷後，不同存放溫度，開始變綠的比例

存放的結果，在較高溫度的組別，第二天時皆接近 100% 變綠比例，而存於低溫組別則約第 5~6 天才開始變綠。高溫組變綠不僅較快，且置於恆溫箱的控溫較穩定，因此接下來實驗皆存放於高溫 30°C。

步驟二：影響蒜頭變綠的原因~醋

上述的探究，我們了解蒜頭變綠的先決條件是預冷，並存放在較高溫度的環境會有較快的變綠情形。接下來，我們探討「米醋」(圖 8)在變綠過程中所扮演的角色。



圖 8 醋，扮演什麼角色？

1. 是提供酸性環境嗎？

醋是酸性調味料，我們假設醋是提供酸性環境讓蒜頭進行反應，因此將醋調整為不同的 pH 值(3、4、5)，比較變綠的比例。

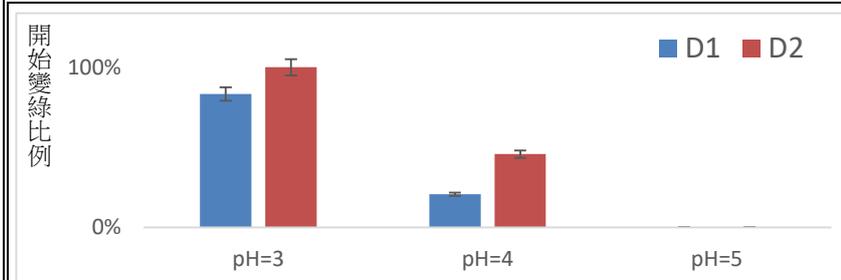


圖 9 不同 pH 值的醋，蒜頭開始變綠比例



圖 10 不同 pH 值的醋，變綠情形

不同 pH 值的醋，發現愈酸的環境愈有利蒜頭的變綠(pH=3，第二天即 100%變綠)，稀釋成 pH=5 的組別，則無變綠發生(圖 10)。顯示較低的 pH 值，有促進變綠發生的可能，那麼其它相同 pH 值的酸也會有一樣的反應嗎？我們以 pH=3 的酸(檸檬、HCl)來進行比較。



圖 11 不同種類的酸，變綠情形

探究結果如圖 11。同樣在 pH=3 的不同酸處理下，發現檸檬及 HCl 並沒有促進蒜頭變綠的情形發生，顯示醋所扮演的角色除了酸性環境的提供之外，可能與所含有的成份有關。

2. 是否與醋的成份，羧基有關？

查詢資料並請教老師，了解醋的成份主要為具有羧基的醋酸，羧基會不會是造成綠變的原因呢？為了確認我們的假設，將學校的一元羧酸~甲酸、乙酸以及二元羧酸~草酸(圖 12)，調整成 pH=3 進行驗證(圖 14)。



圖 12 以不同羧酸進行探討

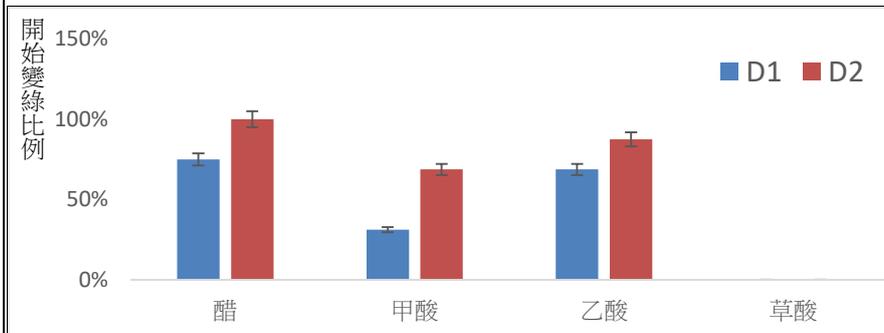


圖 13 在不同羧酸處理下，蒜頭開始變綠比例



圖 14 將不同羧酸調整成 pH3

結果顯示，具有羧基的不同酸，除了二元羧酸~草酸無法與蒜頭反應產生綠變，其它的一元酸~甲酸、乙酸均能使蒜頭發生綠變情形。這說明了醋所扮演的角色，提供酸性環境及羧基，促進蒜頭變色。接著，我們想到，如果只是提供羧基，蒜頭會變色嗎？

3. 只提供羧基，也會變色嗎？

為驗證只提供羧基，是否就能讓蒜頭變色，我們利用醋酸鈉來提供羧基進行探討，並以 HCl 滴定原本弱鹼的醋酸鈉為 pH3。

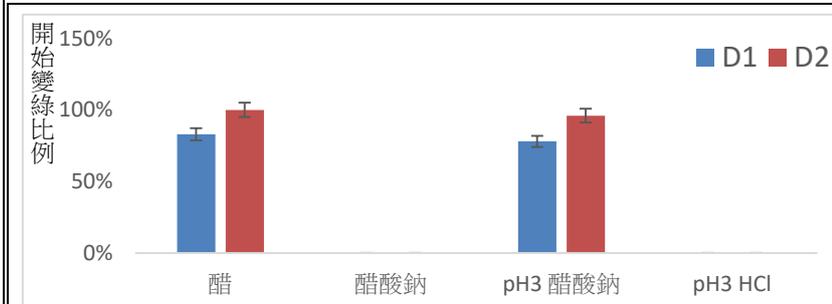


圖 15 在不同羧酸處理下，蒜頭開始變綠比例

加入醋酸鈉的組別並不能讓蒜頭變綠，但在酸性環境下的醋酸鈉則具有將蒜頭變綠的能力，顯示只有羧基的存在，並沒有讓蒜頭變綠的能力，也就是說酸性環境及羧基，必需同時存在，才能促進變綠。

綜合由以上的探究結果，發現製作綠蒜頭所加入的醋，扮演的角色為同時提供酸性環境與羧基，才具有促進蒜頭變綠的能力。

步驟三：其它蔥屬的食材也會變綠嗎？

大蒜，屬於蔥屬的食材，在低溫啟動並加入醋之後，會有變綠的現象出現。蔥屬的作物還有洋蔥及蒜苗(圖 16)，我們很好奇，以上述的變綠條件進行反應，同為蔥屬的其它食材也會有相同的變化嗎？



圖 16 蔥屬的不同食材



圖 17 蔥屬食材的變色情形

由於蒜苗與洋蔥的體積較大，因此切碎後置於冰箱低溫預冷 3 天後，加醋後觀察。圖 17 的生洋蔥為不加醋的對照組，探究結果來看，發現蒜苗並沒有變色情形發生，仍保有原本的白色，而洋蔥很明顯的轉為暗粉紅色，這與相同處理條件，蒜頭會轉為綠色有很大的差異。查詢文獻三者都含有大蒜素，但不同的顏色變化，顯示可能有其它的成份影響變色。

步驟四：持續變色的蒜頭，營養成份會改變嗎~抗氧化能力與降亞硝酸

1. 持續變色的蒜頭

綠色的蒜頭，並非最後的顏色。在探究一、二的過程中，持續放置的綠蒜頭，顏色會轉成黃色(圖 18)，我們推測可能與放在高溫(30°C)，會加速顏色轉變有關，因此我們將轉成綠色的蒜頭，放置於低溫 10°C 與高溫 30°C 進行比較，探討不同存放溫度對綠蒜轉成黃蒜的影響。



圖 18 持續變色的蒜頭(白-綠-黃)

結果發現，置於冰箱的綠蒜頭，約 25.33 天才會變成黃色；而高溫組則是 12 天即會變色。這顯示若要保持蒜頭的綠色，在低溫環境下能保存較久。

大蒜在國內外，都有相當悠久的食用歷史，含有相當豐富的營養成份，有益的微量元素、抗菌抗發炎、抗氧化能力等。在我們的探究中，發現蒜頭的三種顏色變化，我們很好奇不同的顏色，營養有什麼改變呢？

2. 不同顏色的蒜頭，抗氧化能力如何？

首先，我們想探討的是，不同顏色蒜頭的抗氧化能力改變情形。將不同顏色蒜頭分別以 1：1 的比例加水磨碎後過濾(圖 19)，再以碘-澱粉滴定(圖 21)來探討抗氧化能力，以滴定終點(澱粉液呈藍色)作為比較。當抗氧化能力愈強，碘滴定所需要的滴數則愈高。



圖 19 將蒜頭進行均質磨碎



圖 20 不同顏色蒜頭過濾的蒜汁



圖 21 以碘液滴定進行抗氧化比較

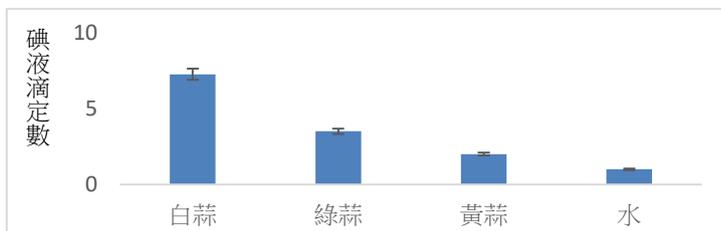


圖 22 不同顏色蒜頭，抗氧化能力比較

滴定法的結果顯示，白蒜(生蒜，7.25 滴)的抗氧化能力最好，其次是綠蒜(3.5 滴)與黃蒜(2 滴)，加醋產生綠變反應的蒜頭，抗氧化能力有下降的情形。

3. 不同顏色的蒜頭，降解亞硝酸鹽的能力如何？

香腸搭配蒜頭，是台灣常見的美食組合，美味之外，蒜頭扮演了一個相當重要的角色~ 降亞硝酸鹽，過量的亞硝酸對人體而言是相當容易致變的化合物，因此這個部份，我們針對不同顏色的蒜頭，利用亞硝酸檢測試劑來進行探討。

(1) 不同顏色的蒜頭，對亞硝酸溶液的降解效果

配製 6ppm 亞硝酸鈉溶液，以 1：1 比例加入不同蒜汁，再以試劑檢測，結果如下：

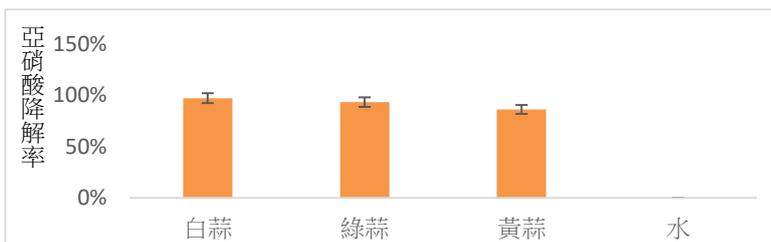


圖 23 不同顏色蒜頭，亞硝酸降解率的比較 (亞硝酸濃度為 3ppm)



圖 24 亞硝酸檢測 (3ppm 亞硝-綠-黃-白)

檢測的結果顯示，白蒜、綠蒜、黃蒜降解亞硝酸比例分別為 98.17%、94.1%、86.11%；白蒜與綠蒜之降解率未達顯著差異；白蒜與黃蒜降解率則達顯著差異。就亞硝酸降解的效果來看，白蒜及綠蒜較好，而黃蒜的降解亞硝酸能力較不好。

(2) 不同顏色的蒜頭，對蔬菜中亞硝酸鹽降解效果

上個實驗，我們了解不同顏色蒜頭，均有不錯降解亞硝酸溶液效果，那搭配有食物時，是否同樣也有降解成效呢？蔬菜同樣也具有亞硝酸問題，我們選取含量較高的菠菜測試。

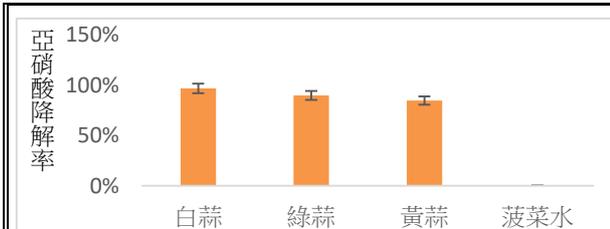


圖 25 菠菜水亞硝酸降解率比較

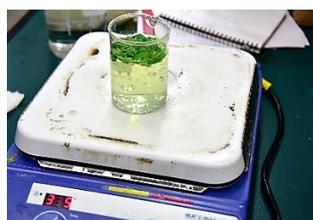


圖 26 以 1 : 50 熱水煮過



圖 27 亞硝酸測試結果

實際測試與菠菜的反應，菠菜汁的亞硝酸濃度為 2.5ppm，結果與降解亞硝酸溶液(圖 23)相似，白蒜及綠蒜的降解效能較好。除了蒜頭本身之外，浸泡的醋會有什麼改變呢？

(3) 浸過蒜頭的醋，抗氧化及降解亞硝酸能力呢？

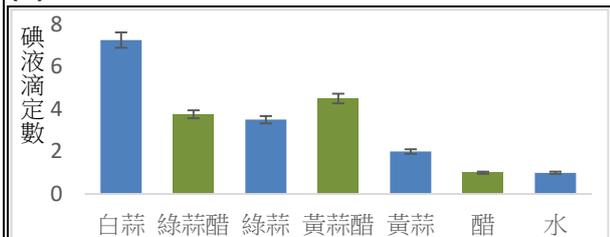


圖 28 浸泡醋的抗氧化能力比較

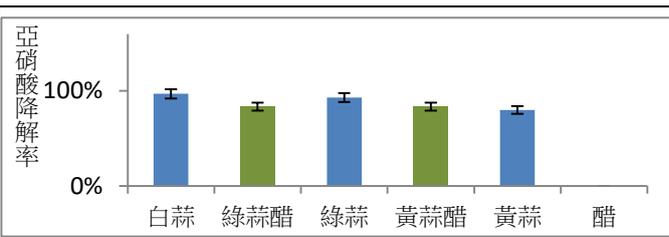


圖 29 浸泡醋的亞硝酸降解率比較

浸過蒜頭的醋，不論綠蒜醋或是放較久而轉成的黃蒜醋，都提升抗氧化及降解亞硝酸能力。

五、結論與生活應用

現代研究顯示蒜頭具有消除疲勞、促進食慾、增強免疫力等保健功效，但卻有著刺激辛辣與口臭問題。偶然發現的醃製綠蒜頭，開啟了我們國二充滿蒜味的探究歲月，以下是我們探究的結論與成果應用：

1. 蒜頭加醋的變色，是由兩側開始變綠，接著再整顆變綠。
2. 在溫度影響變色方面，預冷是必要條件，預冷之後的反應溫度，則是高溫(30°C)較室溫好，顯示預冷可能開啟反應，接著升溫加速反應。
3. 在醋的 pH 值影響變色方面，醋的 pH 值愈低(pH3)，變綠速度愈快，pH5 幾乎無反應，此外，醋之外相同 pH 值的其它酸，並沒有促進蒜頭變色能力。
4. 在醋的成份影響變色方面，一元羧酸，如甲酸、乙酸皆能促進變色，但二元羧酸的草酸則無，此外，醋酸鈉的羧基並無法促進變色。變色，需同時存在酸與羧基。
5. 同為蔥屬的蒜苗沒有變色反應，而洋蔥則會轉為暗粉紅色。
6. 不同顏色蒜頭的營養，抗氧化能力方面，以白蒜(生蒜)較好，而醃製的綠蒜又比黃蒜好；降解菠菜的亞硝酸能力，白蒜及綠蒜降解率皆達 90%以上。
7. 浸過蒜頭的醋，不論綠蒜時期或是最後的黃蒜，皆有不錯的抗氧化及降亞硝酸能力。

探究蒜頭變色的過程，雖然發現綠蒜或黃蒜的抗氧化能力略為下降，1 顆生蒜抗氧化能力約等於 2 顆綠蒜，但綠蒜食用較無辛辣感，且無口臭問題，再加上浸泡的醋液提升了營養價值，除了醃製蒜頭外，醋也可多加利用，提供給對食品科學有興趣的消費者參考。

參考資料

1. 大蒜的化學，取自科技大觀園。
2. 吃在地、趁當季：大蒜，取自科技大觀園