

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中(職)組 成果報告表單

題目名稱：以天然植材製備酸鹼指示試紙效果之探討

一、摘要

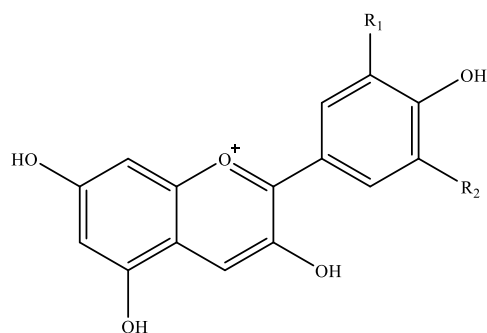
我們對植材以研磨及煮汁處理，發現研磨所得指示劑較煮汁的鮮豔明亮，推測是加熱使花青素遭破壞。再以蘋果皮等植材以研磨製備指示劑，選擇了有較連續且明顯呈色變化的紫心地瓜皮。但僅以地瓜皮製作的試紙效果不彰，故混入葡萄皮及蘋果皮作為輔助，效果獲得改善。而針對呈色不明顯區域，混入甲基橙，發現效果無改善，推測是其顏色過淺而無法明顯呈色。最後，根據混和後試紙在酸鹼下的顏色變化，做出顏色與 pH 值對照圖，作為使用上的參考。

二、探究題目與動機

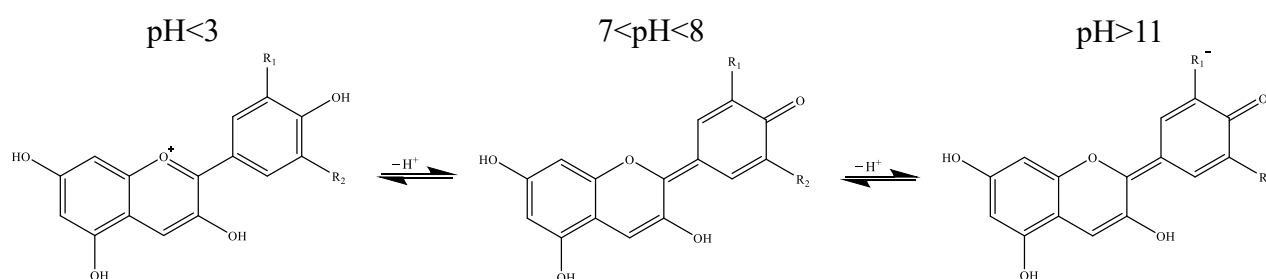
每值秋轉冬之際，輕臥在嫣紅楓葉地毯上，總是人們念念不忘的美好回憶。在聊天的當下，我們產生了疑問——為何楓葉會變色？查找資料後，了解是因葉綠素的褪去、花青素的產生，及葉子的酸性環境使葉子轉紅。此時，我們有了更多問題，我們是否可將花青素做為酸鹼指示劑？因此我們設計實驗，目標做出具可用性、重現性的酸鹼指示試紙！

三、探究目的與假設

花青素是一類黃酮衍生物的統稱。在生物體中常與醣類結合存在。在苯環上不同碳上不同的官能基會影響花青素與氫離子結合的能力，進而影響它們的顏色。花青素會因所帶羥基數、甲基化、醣基化程度等因素而呈現不同顏色。^[1]其結構及變色機構如下：^[2](圖為自行繪製)



R ₁	R ₂	名稱
H	H	天竺葵素
OH	H	矢車菊素
OH	OH	翠雀花素
OCH ₃	H	芍藥花素
OCH ₃	OH	矮牽牛素
OCH ₃	OCH ₃	錦葵花素



右上方苯環羥基化程度越高，顏色越紫。但因其親電子性而易受 pH 值影響改變顏色。相反的，中央含氧雜環的醣基化提高了穩定性並使顏色略微偏向紅色。花青素存在於植物細胞的液泡中，可由葉綠素轉化而來，其顏色隨酸鹼度的不同而改變。不同種的花青素沉著作用、

與金屬錯合等因素，也會影響花青素所顯現的顏色。^[3]

根據以上對花青素的了解，我們擬定了三個實驗目的：

(一)探討不同植材處理方式對呈色效果之影響。

(二)探討不同植材對呈色效果之影響。

(三)製作酸鹼指示試紙並測試其效果。

四、探究方法與驗證步驟

(一)不同植材處理方式對呈色效果之影響

目的：探討研磨和煮汁何者在酸鹼變色呈色上效果較好？

說明：我們以紫色高麗菜做為植材，分別以研磨及煮汁處理。對呈色進行三原色光分析，並將結果及顏色模擬呈現於圖表。

結果：

pH	研磨				煮汁			
	RGB 值			表格模擬色	RGB 值			表格模擬色
	R	G	B		R	G	B	
3	254	71	150		211	76	124	
5	232	96	169		195	92	102	
7	192	130	168		192	136	167	
9	79	52	139		105	144	120	
11	101	165	124		127	148	105	

酸性環境偏紅，中性環境偏紫，鹼性環境偏綠，研磨效果較煮汁鮮豔且明亮。

分析：研磨可藉由物理破壞植材的細胞壁取得液泡內的花青素，煮汁則必須透過溶解的方式，效果不如研磨的好，因此我們推測煮汁溶解出的花青素量較少，使濃度不如研磨，進一步影響結果。我們搜尋了文獻，指出以 90 攝氏度萃取花青素時，即有大約 80% 的花青素分子會分解掉，此可能是顏色偏淡的原因。若日後以水作為溶劑萃取花青素時，應控制溫度於 30~35 攝氏度，以免溫度過高花青素結構破壞掉。而在溶劑的選擇上，甲醇可以萃取比水多 73% 的量的花青素，為最佳的溶劑。可配合前測溫度條件以使日後在花青素的固—液相萃取上有更好的效果。^[4]


































小結：將以研磨法進行後續實驗。

(二)使用不同植材對於呈色效果之影響

目的：探討何種植材在酸鹼變色呈色上效果較好？

說明：在分析完植材處理方式之後，我們要研究何種植材最適合做為酸鹼指示劑，因此我們收集相關資料^[5]，最後選擇了五種植材進行實驗。根據前述結果使用研磨法萃取植材色素，並以三原色光分析其呈色效果，將 RGB 比值、顏色模擬呈現於下表中：

結果：

植材	pH	RGB 值			RGB 比值			表格模擬色
		R	G	B	R	G	B	
蘋果皮	1	201	143	145	1	0.71144	0.72139	
	3	202	149	147	1	0.73762	0.72772	
	5	198	171	172	1	0.86364	0.86869	
	7	195	168	176	1	0.86154	0.90256	
	9	194	165	179	1	0.85052	0.92268	
	11	162	194	24	1	1.19753	0.14815	
	13	201	172	63	1	0.85572	0.31343	
葡萄皮	1	207	79	118	1	0.38164	0.57005	
	3	214	173	182	1	0.80841	0.85047	
	5	187	151	149	1	0.80749	0.79679	
	7	169	140	138	1	0.82840	0.81657	
	9	171	143	144	1	0.83626	0.84211	
	11	144	132	123	1	0.91667	0.85417	
	13	185	168	91	1	0.90811	0.49189	
紫心地瓜	1	249	54	82	1	0.21687	0.32932	
	3	213	63	125	1	0.27391	0.44348	
	5	186	63	132	1	0.33871	0.70968	
	7	151	84	144	1	0.55629	0.95364	
	9	168	98	160	1	0.58333	0.95238	
	11	49	176	119	1	3.59184	2.42857	
	13	81	147	166	1	1.81481	2.04938	
火龍果	1	180	94	139	1	0.52222	0.77222	
	3	181	49	69	1	0.27072	0.38122	
	5	178	40	63	1	0.22472	0.35393	
	7	172	50	71	1	0.29070	0.41279	
	9	164	36	56	1	0.21951	0.34146	
	11	104	31	38	1	0.29808	0.36538	
	13	185	171	43	1	0.92432	0.23243	
黑豆	1	201	72	50	1	0.35821	0.24876	
	3	167	94	45	1	0.56287	0.26946	
	5	127	65	18	1	0.51181	0.14173	
	7	104	33	4	1	0.31731	0.03846	
	9	81	26	9	1	0.32099	0.11111	
	11	58	11	3	1	0.18966	0.05172	
	13	15	5	3	1	0.33333	0.20000	

分析：**蘋果皮**：酸性環境呈現灰紅，中性環境呈現淺紫，鹼性環境呈現淺綠。

蘋果皮指示劑在鹼性時，能表現出明顯的顏色變化，而在酸性及中性環境下顏色較接近，因此可能產生較難辨識的情形。蘋果皮指示劑較適合檢測較強的鹼性溶液。

葡萄皮：酸性環境呈現桃紅，中性環境呈現灰粉，鹼性環境呈現土黃。

葡萄皮指示劑在較強的鹼性溶液中表現出較明顯的土黃色，而在較弱的酸鹼溶液中呈色接近灰紅色。但另外我們也可以發現，葡萄皮指示劑在較強的酸性環境下也有明顯變化，因此可以推測葡萄皮指示劑較適合用於較強之酸性溶液以及鹼性溶液。

紫心地瓜：酸性環境呈現鮮紅，中性環境呈現紫，鹼性環境依序呈現綠、藍。

在紫心地瓜的呈色結果中我們可以發現其在酸性與鹼性都有較明顯的變化，另外在較弱的酸性與鹼性溶液中也有呈現紫色深淺的變化。整體指示劑由酸至鹼呈現較為連續性的顏色變化，因此在測定酸性與鹼性時都相當適用。

火龍果皮：酸性環境呈現淺紫，中性環境呈現深紅，鹼性環境呈現咖啡、土黃色。

火龍果皮指示劑在酸性至中性的呈色較接近紅紫色，但在較強之鹼性溶液下則呈現出明顯的土黃色。因此，我們可以推測此指示劑較適合用於測定較強之鹼性溶液。

黑豆：酸性環境呈現深橘，中性環境呈現咖啡色，鹼性環境呈現黑色。

黑豆指示劑在較強之酸性溶液中的呈現明顯的橘色，而在較弱的酸性到中性以及鹼性時，顏色的呈現都以咖啡色為主，只有深淺色的差別，考慮到色系過於接近亦會影響到觀察的問題，因此我們不採用黑豆做為酸鹼指示計的原料。

小結：將選擇了紫心地瓜皮作為我們的酸鹼指示劑的主要成分，不只是因為此指示劑在酸性、中性、鹼性都有較明顯的呈色變化，也因為其整體顏色變化呈現較連續的漸層分布，相較於其他植材的指示劑比較方便判讀。

(三)製作酸鹼指示試紙並測試其效果

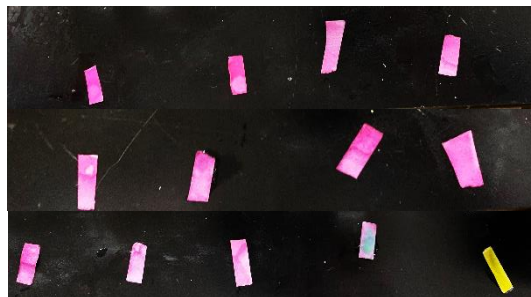
目的：製作出效果佳，具可用性、重現性的酸鹼指示試紙。













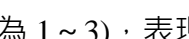
說明：根據前述實驗結果，我們選擇紫心地瓜作為主要製作酸鹼試紙的原料。我們先以研磨法製作指示劑，再將濾紙浸泡其中烘乾後製成試紙，並測試其效果。

結果：我們發現顏色變化不明顯，猜測可能與果肉中的色素含量較低有關。另外，我們思考其他部位可能含有較多的花青素。我們改變植材部位為紫心地瓜皮並混合其他植材作為指示劑。

改良：經由各別的指示劑分析後，我們決定要嘗試混合葡萄皮及蘋果皮作為輔助，再觀察試紙的呈色效果。

結果：由上到下，左到右分別代表 pH 值 1 ~ 13。



材料	pH	RGB 值			RGB 比值			表格模擬色
		R	G	B	R	G	B	
改良後指示劑	1	237	100	145	1	0.421941	0.611814	
	2	220	97	118	1	0.440909	0.536364	
	3	200	96	139	1	0.480000	0.695000	
	4	195	101	140	1	0.517949	0.717949	
	5	193	84	151	1	0.435233	0.782383	
	6	192	84	155	1	0.437500	0.807292	
	7	192	86	154	1	0.447917	0.802083	
	8	190	83	156	1	0.436842	0.821053	
	9	195	88	160	1	0.451282	0.820513	
	10	197	91	170	1	0.461929	0.862944	
	11	191	105	179	1	0.549738	0.937173	
	12	85	148	158	1	1.741176	1.858824	
	13	151	183	49	1	1.211921	0.324503	

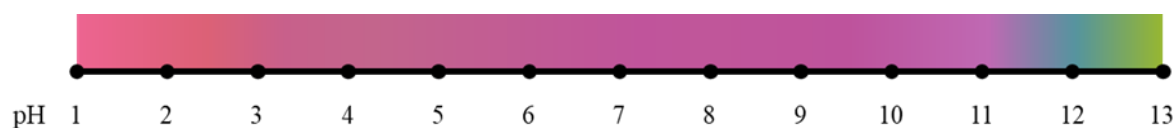
分析：根據以上表格，我們可以發現改良後指示劑在較強的酸性時(pH 值為 1~3)，表現出的顏色較接近粉紅色，接著越往中性則越接近紫色，而在較弱之酸性溶液到較弱之鹼性溶液間(pH 值為 5~9)顏色非常接近，最後則是較強的鹼性溶液，在 pH 為 12 時，呈現出的顏色為藍綠色，而在 pH 為 13 時，則呈現出明顯的黃綠色。由上表我們可以看到在酸性的狀況下，其 R 值明顯較高，隨著 pH 值由酸到鹼，其 R 值也有些微下降的趨勢，最後在較強鹼性時(pH 值為 12、13)則產生明顯的下降。接著在 B 值的部分，在酸性與中性溶液中其量值沒有明顯的改變，只有些微的上升，但在 pH 為 12、13 時，亦出現了大幅度下降的趨勢。最後是 G 的量值，在酸性溶液中的量值稍微高於其在中性溶液中的量值，而在鹼性的部分則產生了大幅度上升的趨勢，也因此 pH 為 13 的呈色中會產生明顯的綠色。

此實驗結果有另一個現象，我們的試紙在較弱之酸鹼溶液及中性溶液中的顏色較接近，呈色較之前的指示劑實驗不明顯，我們推測可能是因為其濃度問題，使用試紙浸泡於指示劑中所吸取的指示劑含量可能較少，因此導致了顯色較不明顯的現象。我們試圖針對花青素變色範圍不足的範圍，混入其他指示劑，以使效果更加明顯。在觀察了花青素及一般的酸鹼指示劑於不同 pH 值下顏色變化表後，我們選擇甲基橙(pH=3.1~4.4)作為輔助。在改良後的酸鹼指示劑中加入約 10 毫升的甲基橙後，重新對 pH 值 3~5 的部分進行測試。測試後發現效果不彰，在呈色上沒有過大的變化。推測是因為原本的指示劑色澤過深，加入淡色系的甲基橙後顏色被蓋過去，而使呈色效果不彰。我們試圖加入更多甲基橙，但考慮到甲基橙濃度過大時，此測試將失去以原先天然植材作為酸鹼指示劑的效果。由此可知加入甲基橙以使呈色效果更加明顯一事是不可行的。

小結：紫色地瓜皮混合葡萄皮及蘋果皮效果較佳，但而在呈色效果變化不大的區域加入甲基橙發現無明顯效果。

五、結論與生活應用

- (一)無論煮汁或研磨，呈色上皆是酸性偏紅、中性偏紫、鹼性偏綠。研磨所得到的指示劑較鮮豔、明亮，且效果較好。
- (二)葡萄皮在酸性溶液中呈色較明顯；蘋果皮、葡萄皮、火龍果皮、紫心地瓜皮在鹼性溶液中呈色較明顯，而紫心地瓜皮在酸、鹼性中呈色都明顯且整體變化為較連續的漸層分布。
- (三)僅以紫心地瓜製備之試紙效果不佳，故在製備時增加了葡萄皮及蘋果皮作為輔助改良。改良後的指示劑呈色上，在較強的酸性時接近粉紅色，中性時則接近紫色。在較弱之酸性到較弱之鹼性間時顏色非常接近，較強的鹼性時為藍綠色，而在強鹼環境下則呈現黃綠色。
- (四)酸鹼指示試紙在較弱之酸鹼及中性時呈色變化不明顯，推測是因其濃度不大，試紙吸取指示劑含量較少，而致呈色不明顯。加入甲基橙經測試無法使呈色效果更加明顯，推測是因為甲基橙顏色過淺所致。
- (五)將改良後指示劑的變色做圖，作為使用上的標準，如下：



- (六)萃取花青素時，建議控制溫度於 30~35 攝氏度並以甲醇作為溶劑，以達到最佳效果。
- (七)本試紙製作方法簡便，原料天然且容易取得，不須擔心其安全性，對環境低汙染，也可輕易自製及重現變色效果。我們認為此試紙可運用於學校實驗中檢測酸鹼性，不僅變色效果明顯，更減少了對環境不必要的汙染。

參考資料

- [1]Y. Tanaka, N. Sasaki, A. Ohmiya. (2008). Biosynthesis of Plant Pigments: Anthocyanins, Betalains and Carotenoids. *Plant J.*, 54(4), 733-749.
- [2]蘭泉、鄭媛、查正根、汪紅蕾、李婉、劉曉虹、朱平平(2018)。色彩斑斕的自然，五顏六色的化學。《大學化學》，33(7)，103-109。
- [3]Y. Liu, Y. Tikunov, R. E. Schouten, L. F. M. Marcelis, R. G. F. Visser, A. Bovy. (2018). Anthocyanin Biosynthesis and Degradation Mechanisms in Solanaceous Vegetables: A Review. *Front. Chem.*, 6, 52.
- [4]S. Silva, E. M. Costa, C. Calhau, R. M. Morais, M. E. Pintado. (2017). Anthocyanin Extraction from Plant Tissues: A Review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 57(14), 3072-3083.
- [5]朱舒城、鄒丞傑、葉佺承、李怡萱、劉晉嘉、程品臻(2020)。「一」「試」搞定。《中華民國第 60 屆中小學科學展覽會作品說明書》。行政院教育部國立臺灣科學教育館。