

化學情境試題：色彩鮮豔的花青素

提供者：[國科會高瞻計畫中學教學資源平台](#)

化學情境試題：色彩鮮豔的花青素 (Colorful Anthocyanins) [I]

國立彰化女子高級中學化學科鄭茜如老師

國立彰化師範大學化學系楊水平副教授責任編輯

在回答問題之前，首先請你閱讀與本試題有關的情境描述，以增加你對本試題背景知識的瞭解；然後思考問題解決的策略，並且寫下你的答案；最後用我們提供的參考答案檢查你的答案是否正確。

情境描述

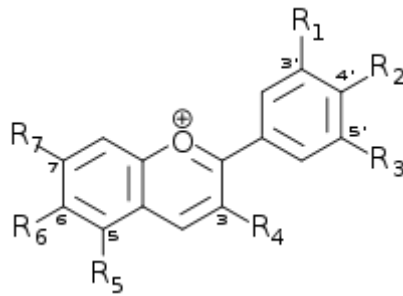
大自然中剎紫嫣紅，多彩多姿的顏色，到底是怎麼造成的？其實絕大多數的花朵、果實及彩色樹葉的顏色來自花青素 (anthocyanins)，它是一種常見的植物色素，自然界有超過 500 種不同的花青素。圖一為成熟的草莓富含橙紅色的花青素。



圖一 成熟的草莓富含橙紅色的花青素

照片來源：anushruti RK, <http://www.flickr.com/photos/anushruti/2139924969/>

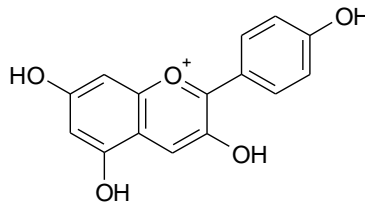
花青素是由花青素配質 (anthocyanidin) 和一個或多個葡萄糖或半乳糖等所組成，存在於細胞漿中。所有花青素皆為 flavylum 陽離子的衍生物。最常見花青素配質有天竺葵素 (pelargonidin)、矢車菊素 (cyanidin)、飛燕草素 (delchindin)、牽牛花色素 (petunidin)、芍藥花色素 (peonidin)。這些主結構在不同位置接上數目不等的不同取代基而造成不同種類的花青素。圖二是花青素配質的主結構，其中 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_5 、 R_6 和 R_7 為 $-H$ 、 $-OH$ 或 $-OCH_3$ 。



圖二 花青素配質的主結構

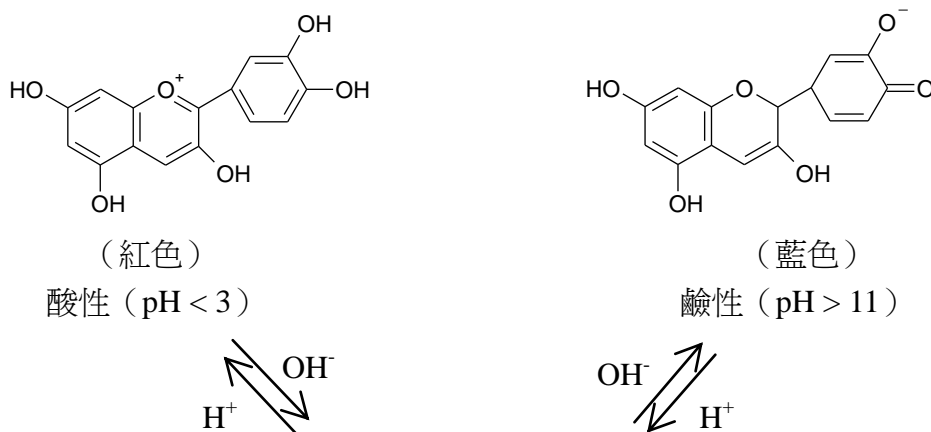
圖片來源：Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Anthocyanidin>

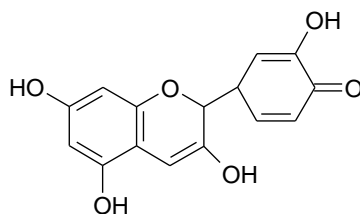
天竺葵素是天然的花青素配質，其結構式如圖三所示。像所有的花青素，它是一種抗氧化劑。它產生明顯的橙紅色，發現在紅天竺葵，以及成熟的覆盆子和草莓，還有藍莓、黑莓、李子、越橘和石榴。



圖三 天竺葵素的結構式

矢車菊素也是一種天然的花青素配質，也是抗氧化劑，其結構式如圖四的左上方所示。它發生在許多的紅莓類中，包括葡萄、越橘、黑莓、藍莓、櫻桃、紅莓、山楂、大楊莓和草莓。它也存在其他水果中，如蘋果和李子。還發現在紫甘藍和紅洋蔥中。矢車菊素有明顯的紅橙色，縱使它隨 pH 值而改變顏色，pH < 3 是紅色的，pH 值在 7-8 是紫色的，pH > 11 是藍色的。矢車菊素的結構式以及其顏色與酸鹼度的關係如圖四所示。

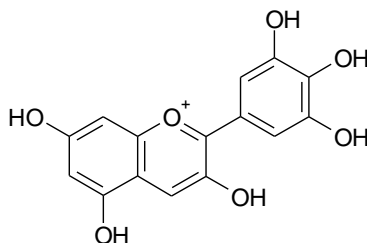




紫色
中性 (pH 7-8)

圖四 矢車菊素的結構式以及其顏色與酸鹼度的關係

飛燕草素是植物的主要色素，也是抗氧化劑，其結構式如圖五所示。飛燕草素造成堇菜屬和飛燕的藍色色調。它也造成葡萄皮的藍紅色，也發現在小紅莓和石榴。飛燕草素像其他花青素配質，對 pH 值敏感，在鹼性溶液中呈現藍色，在酸性溶液變成紅色。



圖五 飛燕草素的結構式

花青素與食品化學息息相關。製作沙拉時，紫色高麗菜汁滴上食用醋，顏色立即由紫轉紅；泡薰衣草花茶時，加入檸檬汁，茶色變為漂亮的粉紅色；這些現象都與花青素有關。花青素在不同的酸鹼度下，會轉變不同的結構，並呈現出不同的顏色。花青素可做為酸鹼指示劑使用，如紫色高麗菜中的花青素在酸中呈紅色，在中性呈紫色，在鹼中則呈黃綠色。另外，花青素具有抗氧化的效果，科學家也正積極研究其對癌症、糖尿病、發炎反應的影響。多吃深紫色蔬菜，如藍梅、葡萄、紫甘藍菜等等，可以攝取到花青素。

情境試題

- 根據情境描述，草莓的花青素配質主要為天竺葵素（圖三）和矢車菊素（圖四），這兩個結構式具有哪一或哪些官能基？
(A) 羥基 (B) 烯基 (C) 酮基 (D) 羧基 (E) 酯基
- 根據情境描述（圖四），在中性環境 (pH 7-8) 的矢車菊素的結構式上，分別標示各個碳原子的鍵結混成軌域。
- 根據情境描述（圖四），有關在鹼性環境 (pH > 11) 的矢車菊素之結構式的描述，下面何者正確？（多選項）
(A) 此分子的所有氧原子共有 12 個價電子分享給碳原子和氫原子。

- (B) 此分子的所有氧原子共有 12 對未共用電子對。
- (C) 此分子總共有 26 個 σ 鍵。
- (D) 此分子總共有 7 個 π 鍵。
- (E) 此分子含有不飽和鍵結。

4. 根據情境描述 (圖四), 下面敘述何者正確。

- (A) 從酸性 ($\text{pH} < 3$) 到中性 ($\text{pH} 7-8$), 矢車菊素分子失去一個 H 原子。
- (B) 從中性 ($\text{pH} 7-8$) 到鹼性 ($\text{pH} > 11$), 矢車菊素分子失去一個 H^+ 。
- (C) 從酸性 ($\text{pH} < 3$) 到鹼性 ($\text{pH} > 11$), 矢車菊素分子失去二個 H^+ 。
- (D) 從酸性 ($\text{pH} < 3$) 到中性 ($\text{pH} 7-8$), 顏色由紅色變為紫色, 因為矢車菊素分子右方的苯環變為非苯環。
- (E) 從中性 ($\text{pH} 7-8$) 到鹼性 ($\text{pH} > 11$), 顏色由紫色變為藍色, 因為矢車菊素分子右方的苯環變為非苯環。

5. 烹調茄子維持美麗的藍紫色是廚師功力的一大考驗, 烹調時如何不讓茄子變色呢? 茄子皮的花青素配質為矢車菊素, 請依圖四的關係圖, 挑出烹調茄子不變色的正確方法 (應選兩項)。

- (A) 炒茄子的時候, 加入一些小蘇打。
- (B) 炒茄子的時候, 加入數滴烏醋或白醋。
- (C) 炒茄子的時候, 加入一些蔗糖。
- (D) 炒茄子的時後, 打開鍋蓋, 使茄子中的小分子酸性物質揮發到空氣中。
- (E) 炒茄子的時候, 最後應蓋上鍋蓋稍微悶一下。

6. 花青素是由花青素配質和一個或多個葡萄糖或半乳糖等所組成, 草莓的主要花青素是矢車菊-3-葡萄糖苷 (cyanidin-3-glucoside) 和天竺葵-3-葡萄糖苷 (pelargonidin-3-glucoside)。每 100. 克的草莓含有 15-35 毫克的花青素。假設草莓的花青素都是矢車菊-3-葡萄糖苷, 請問吃了 100. 克 (約 4 顆) 的草莓攝取多少莫耳的花青素? 多少個分子的花青素? (矢車菊-3-葡萄糖苷的莫耳質量為 449.38 g/mol)

參考資料 (擷取日期: 2010 年 8 月)

1. Anthocyanin, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Anthocyanin>.
2. 花青素, 維基百科, <http://zh.wikipedia.org/zh/花青素>。
3. Anthocyanidin, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Anthocyanidin>.
4. Pelargonidin, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Pelargonidin>.
5. Cyanidin, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Cyanidin>.
6. Delphinidin, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Delphinidin>.
7. Anthocyanins and anthocyanidins, Wageningen University, The Netherlands, <http://www.food-info.net/uk/colour/anthocyanin.htm>.
8. 食品化學, 張為憲等, p 261-265, 華香園, 1995。

化學情境試題：色彩鮮豔的花青素 (Colorful Anthocyanins) [II]

國立彰化女子高級中學化學科鄭茜如老師

國立彰化師範大學化學系楊水平副教授責任編輯

在回答問題之前，首先請你閱讀與本試題有關的情境描述，以增加你對本試題背景知識的瞭解；然後思考問題解決的策略，並且寫下你的答案；最後用我們提供的參考答案檢查你的答案是否正確。

解題策略

1. 根據情境描述，草莓的花青素配質主要為天竺葵素（圖三）和矢車菊素（圖四），這兩個結構式具有哪一或哪些官能基？
(A) 羥基 (B) 烯基 (C) 酮基 (D) 羧基 (E) 酯基

Step 1: 瞭解各個官能基的意義。

Step 2: 觀察天竺葵素和矢車菊素的結構式，並判斷是否具有選項中的官能基。

Step 3: 選擇正確的答案。

2. 根據情境描述（圖四），在中性環境（pH 7-8）的矢車菊素的結構式上，分別標示各個碳原子的鍵結混成軌域。

Step 1: 先瞭解 sp 、 sp^2 、 sp^3 等混成軌域的定義。

Step 2: 再由結構式判斷各原子的鍵結軌域。

3. 根據情境描述（圖四），有關在鹼性環境（pH > 11）的矢車菊素之結構式的描述，下面何者正確？（多選項）

(A) 此分子的所有氧原子共有 12 個價電子分享給碳原子和氫原子。

(B) 此分子的所有氧原子共有 12 對未共用電子對。

(C) 此分子總共有 26 個 σ 鍵。

(D) 此分子總共有 7 個 π 鍵。

(E) 此分子含有不飽和鍵結。

Step 1: 觀察矢車菊素在鹼性環境（pH > 11）的結構式（圖四），計算所有氧原子與碳原子和氫原子的鍵結數（ σ 鍵和 π 鍵），得知分享給碳氫原子和氫原子的價電子數。

Step 2: 觀察矢車菊素在鹼性環境（pH > 11）的結構式（圖四），根據氧原子與其他原子鍵結具有八偶體的特性，點出氧原子的路易士結構式（包含 σ 鍵和未共用電子對），並計算所有氧原子的未共用電子對數目。

Step 3: 瞭解 σ 鍵及 π 鍵的意義，並計算其數目。

Step 4: 瞭解不飽和鍵結的定義。

Step 5: 選擇正確的答案。

4. 根據情境描述（圖四），下面敘述何者正確。

- (A) 從酸性（ $\text{pH} < 3$ ）到中性（ $\text{pH} 7-8$ ），矢車菊素分子失去一個 H 原子。
- (B) 從中性（ $\text{pH} 7-8$ ）到鹼性（ $\text{pH} > 11$ ），矢車菊素分子失去一個 H^+ 。
- (C) 從酸性（ $\text{pH} < 3$ ）到鹼性（ $\text{pH} > 11$ ），矢車菊素分子失去二個 H^+ 。
- (D) 從酸性（ $\text{pH} < 3$ ）到中性（ $\text{pH} 7-8$ ），顏色由紅色變為紫色，因為矢車菊素分子右方的苯環變為非苯環。
- (E) 從中性（ $\text{pH} 7-8$ ）到鹼性（ $\text{pH} > 11$ ），顏色由紫色變為藍色，因為矢車菊素分子右方的苯環變為非苯環。

Step 1: 觀察圖四矢車菊素分子由酸性到中性的結構差別。

Step 2: 觀察圖四中矢車菊素分子由中性到鹼性的結構差別。

Step 3: 選擇正確的答案。

5. 烹調茄子維持美麗的藍紫色是廚師功力的一大考驗，烹調時如何不讓茄子變色呢？茄子皮的花青素配質為矢車菊素。請依圖四的關係圖，挑出烹調茄子不變色的正確方法（應選兩項）。

- (A) 炒茄子的時候，加入一些小蘇打。
- (B) 炒茄子的時候，加入數滴烏醋或白醋。
- (C) 炒茄子的時候，加入一些蔗糖。
- (D) 炒茄子的時後，打開鍋蓋，使茄子中的小分子酸性物質揮發到空氣中。
- (E) 炒茄子的時候，最後應蓋上鍋蓋稍微悶一下。

Step 1: 瞭解茄子皮的花青素配質的顏色與酸鹼度的關係。

Step 2: 判斷選項中何者可以維持在弱鹼環境。

Step 3: 根據上面的判斷，選出正確的答案。

6. 花青素是由花青素配質和一個或多個葡萄糖或半乳糖等所組成，草莓的主要花青素是矢車菊-3-葡萄糖苷（cyanidin-3-glucoside）和天竺葵-3-葡萄糖苷（pelargonidin-3-glucoside）。根據研究報告，每 100.克的草莓含有 15-35 毫克的花青素。假設草莓的花青素都是矢車菊-3-葡萄糖苷，請問吃了 100.克（約 4 顆）的草莓攝取多少莫耳的花青素？多少個分子的花青素？（矢車菊-3-葡萄糖苷的莫耳質量為 449.38 g/mol）

Step 1: 計算 100.克（約 4 顆）草莓所含花青素的質量。

花青素的質量 = 草莓質量 × 花青素的含量

Step 2: 計算 100.克（約 4 顆）草莓所含的花青素莫耳數。

莫耳數 = 重量 ÷ 莫耳質量

Step 3: 計算花青素的分子數。

$$\text{分子數 (個)} = \text{莫耳數 (mol)} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ (個/mol)}$$

化學情境試題：色彩鮮豔的花青素 (Colorful Anthocyanins) [III]

國立彰化女子高級中學化學科鄭茜如老師

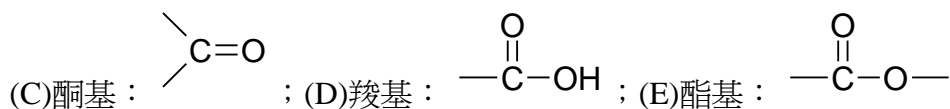
國立彰化師範大學化學系楊水平副教授責任編輯

在回答問題之前，首先請你閱讀與本試題有關的情境描述，以增加你對本試題背景知識的瞭解；然後思考問題解決的策略，並且寫下你的答案；最後用我們提供的參考答案檢查你的答案是否正確。

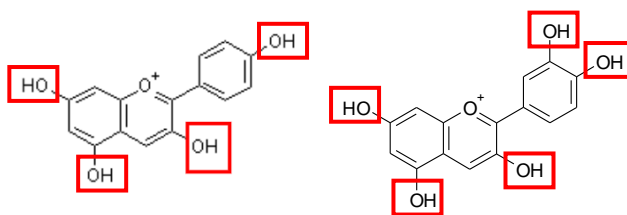
參考答案

1. 答案：(A)。

Step 1: (A) 羥基： $-\text{OH}$ ；(B) 烯基： $\text{C}=\text{C}$ ；



Step 2: 如下圖，紅色框起來的部分為羥基。



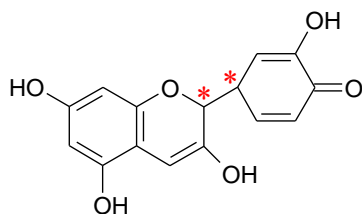
Step 3: 正確選項為(A)。

2. 答案：請參見 Step 2。

Step 1: 在 C 原子的 4 個價電子組態為 $2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^0$ 。

- 若 $2s$ 軌域的電子提升至 $2p_z$ 再混成為 4 個 sp^3 混成軌域，則可與其它 4 個原子鍵結。
- 若 $2s$ 軌域的電子提升至 $2p_z$ 再混成為 3 個 sp^2 混成軌域（剩下一個 $2p$ 軌域），則可與其它 3 個原子鍵結，另外，未參與混成的 1 個 $2p$ 軌域則與其他原子形成 π 鍵。

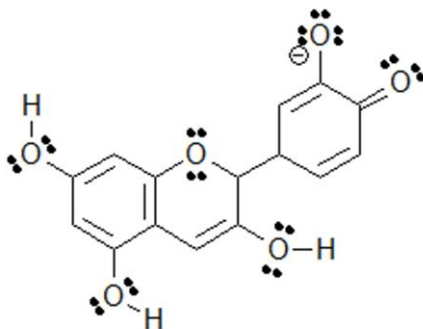
Step 2: 由結構式得知，下圖標式為紅色「*」的原子為 sp^3 混成軌域，其餘碳原子均為 sp^2 混成軌域。



3. 答案：(D)和(E)。

Step 1: 在圖四矢車菊素在鹼性環境 ($\text{pH} > 11$) 的結構式中，所有氧原子與碳原子和氫原子的鍵結數共有 11 個 (10 個 σ 鍵和 1 個 π 鍵)，因此所有氧原子分享給碳氫原子的價電子共 11 個。故選項(A)為錯誤答案。

Step 2: 氧原子與其他原子鍵結具有八偶體的特性，矢車菊素在鹼性環境 ($\text{pH} > 11$) 的氧原子的路易士結構式 (包含 σ 鍵和未共用電子對) 如下圖所示。在此圖中的氧原子未共用電子對共 13 對。故選項(B)為錯誤答案。



Step 3: 單鍵為 σ 鍵、雙鍵包含一個 σ 鍵及一個 π 鍵。在圖四矢車菊素鹼性環境 ($\text{pH} > 11$) 的結構式中共有單鍵 26 個、雙鍵 7 個。

σ 鍵數目 = $26 + 7 = 33$ ； π 鍵數目 = 7。

故選項(C)為錯誤答案，選項(D)為正確答案。

Step 4: 苯環內有不飽和鍵結，雙鍵和三鍵也有不飽和。從圖四矢車菊素在鹼性環境 ($\text{pH} > 11$) 的結構式得知，此分子有兩個苯環以及第三個環內雙鍵，因此此分子含有不飽和鍵結。故選項(E)為正確答案。

Step 5: 正確選項為(D)和(E)。

4. 答案：(B)、(C)和(D)。

Step 1: 分子由酸性到中性結構差別為失去一個 H^+ (非 H 原子)、右前方的苯環變為非苯環。

Step 2: 分子由中性到鹼性結構差別為失去一個 H^+ (非 H 原子)。

Step 3: 正確選項為(B)、(C)和(D)。

5. 答案：(A)和(D)。

Step 1: 保持茄子在紫色，需維持酸鹼度在 pH 7-8。

Step 2: (A)加小蘇打可使環境維持在弱鹼性，可維持茄子的紫色，故合理。

(B)加入烏醋或白醋可維持在酸性環境，會使茄子顏色偏紅，無法維持原有的紫色，故不合理。

(C)蔗糖為中性物質，無法維持在酸性環境，無法維持原有的紫色。

(D)若茄子有酸性物質，會使顏色轉紅，打開鍋蓋使酸性物質揮發，可維持茄子的顏色，合理。

(E)與(D)選項矛盾，不合理。

Step 3: 正確選項為(A)和(D)。

6. 答案： $2.0 \sim 4.7 \times 10^{19}$ 個。

Step 1: 100.克（約 4 顆）草莓所含花青素的質量

$$= 100. \text{ g} \times (15 \sim 35 \text{ mg}/100. \text{ g}) \times 1 \text{ g} / 1000 \text{ mg} = 0.015 \sim 0.035 \text{ g}。$$

Step 2: 100.克（約 4 顆）草莓所含的花青素莫耳數

$$= (0.015 \sim 0.035 \text{ g}) \div 449.38 \text{ g/mol} = 3.3 \sim 7.8 \times 10^{-5} \text{ mol}。$$

Step 3: 花青素的分子數（個）

$$= (3.3 \sim 7.8 \times 10^{-5} \text{ mol}) \times (6.02 \times 10^{23} \text{ 個/mol}) = 2.0 \sim 4.7 \times 10^{19} \text{ 個}。$$