

# 花色基因

## 之研發與應用

◎農試所農藝組 王強生 施怡如

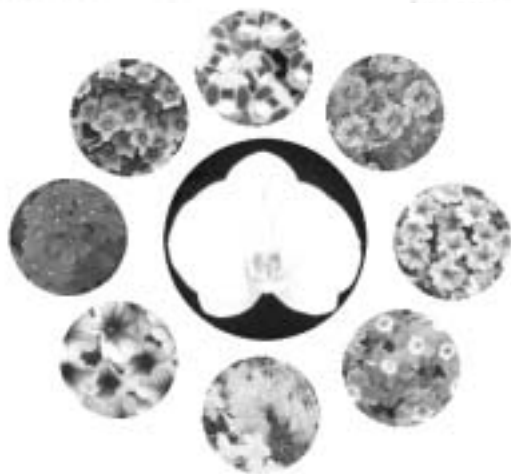
### 一、前言

花卉具有美化人生、怡情養性的功能，隨著生活水準提高，人們對花卉的需求也隨之增加，而花色是決定花卉作物產業及商品價值之重要因素(圖一)。台灣有許多花卉作物如文心蘭、金花石蒜、晚香玉及台灣鐵炮百合等，雖然花型優美或具有香味，但可利用之花色種原有限，所以消費者能選擇之品種顏色較少，無法大眾化。部分花卉如玫瑰、康乃馨、菊花、蝴蝶蘭、百合等，雖然花色種類已相當多，但卻缺乏特定花色之品種，如藍、紫色系列，因此花色是花卉作物育種中一個非常重要的性狀，育種家希望在同一優良花卉品種中，育出具多種不同花色系列的品種供大眾選擇，以提高花卉的利用價值。

### 二、花青素是植物特有的多酚類化合物

花的顏色主要由類黃酮、花青素及胡蘿蔔素等化合物所決定。胡蘿蔔素的顏色範圍很窄，僅提供黃色至橙色系列的色素。而花青素及其相關產物提供的顏色較廣，包含黃色、橙色、紅色、紫色及藍色等；花青素是植物特有的多酚類化合物，也是類黃酮代謝所衍生的化合物，其中合

成主要花青素的代謝路徑稱為花青素生成路徑(anthocyanin biosynthetic pathway)。花青素的結構會因攜帶經基的多少、甲基化的程度及糖基數目、種類、連接位置不同而反應出不同的顏色。主要的花青素有紫紅色的矢車菊素(cyanidin)、橘紅色的天竺葵素(pelargonidin)、藍紫色的飛燕草素(delphinidin)，此三種花青素廣泛地分佈在自然界中，而紅色的芍藥素(peonidin)是由矢車菊素甲基化取代而來，紫色的矮牽牛素(petunidin)及深紫色的錦葵素(malvidin)均由飛燕草素不同程度的甲基化衍生而來。



圖一、不同顏色的花卉具有美化人生、怡情養性之功能

作者：王研究員強生  
聯絡電話：04-23302301-101

通常會有數種花青素與類黃素(flavonoids)共同存在於表皮細胞之液泡內，決定最終之花色表現。然而，決定最終花色的因子，除了花青素的結構及共色作用外，還包含金屬離子、液泡的酸鹼值及細胞的形狀等多種因子。

### 三、傳統的育種方法無法創造新花色

由於花色受遺傳控制，最基本的花色育種法就是利用雜交，將二親本的花色基因進行遺傳重組。依據孟德爾遺傳定律，雜交後基因會進行重組，產生不同的顏色。但是，傳統花色育種的困難有：

#### (1)種原的限制：

例如，想要育出藍色康乃馨，而康乃馨原本就缺乏藍色的種原，在同種內缺乏可作為雜交親本的種原，限制了雜交育種的成果。

#### (2)種間雜交困難：

例如，許多藍色的花，如飛燕草、洋桔梗和愛麗斯等，都有藍色基因，但它們無法和康乃馨雜交，所以無法利用雜交方法導入藍色基因，育出藍色的康乃馨。因此如果想利用傳統育種法培育出藍色康乃馨是不可能實現的。

### 四、生物技術是創造新花色的希望

由於花青素的生合成受嚴格的基因調控，想要創造新花色，必須充分了解目標花卉色素生合成路徑基因的功能及作用機制。參與花青素生合成之基因種類頗多，依花青素生合成途徑可分為二部分，第一部分稱 phenylpropanoid 代謝途徑，另一部分稱為類黃酮代謝途徑。參與反應的基因依序如下：

- (1) 苯丙氨酸脫氨酵素(phenylalanine ammonia lyase, PAL)。
- (2) 肉桂酸 4- 羥化酵素(cinnamic acid 4-hydroxylation, C4H)。
- (3) 香豆酸輔酵素A 連接酵素(4-coumarate CoA ligase, 4CL)。
- (4) 芳基烯丙醯芳烴合成酵素(chalcone synthase, CHS)。
- (5) 芳基烯丙醯芳烴異構酵素(chalcone isomerase, CHI)。
- (6) 黃烷酮 3- 羥化酵素(flavanone 3-hydroxylase, F3H)。
- (7) 黃酮素 3'- 羥化酵素(flavonoid 3'-hydroxylase, F3' H)。
- (8) 黃酮素 3', 5'- 羥化酵素(flavonoid 3', 5'-hydroxylase, F3',5'H)。
- (9) 黃酮醇合成酵素(flavonol synthase, FLS)。
- (10) 二氫黃酮醇還原酵素(dihydroflavonol 4-reductase, DFR)；
- (11) 花青素配基合成酵素(anthocyanidin synthase, ANS)。
- (12) 類黃素糖基轉移酵素(UDP glucose-flavonol glucosyltransferase, UFGT)。
- (13) 穀胱甘肽轉移酵素(glutathione S-transferase, GST)。

可利用分子生物技術，選取一種具有正常基因功能的物種，分離目標基因，利用基因工程改造後，轉移至產生障礙的目標作物，以外來的基因彌補障礙基因的功能，創造出新的花色品種。例如，選殖可生產藍色及紫色色素的飛燕草素基因，轉移至無此產物的花卉，便可創造出藍色或紫色的新品種。因此，以生物技術輔助花卉育種，將是創新花卉的途徑。

## 五、利用基因工程創造新花色的步驟

(1) 目標花卉與花色決定及其花青素生合成路徑之分析：

利用基因工程技術創造新花色或加強花色前，必須先決定所要改良的花卉種類及欲創造之花色。可利用高效能液相層析儀(high performance liquid chromatography, HPLC)分析欲改良花卉的色素種類，進而對目標作物色素生合成途徑基因的功能及作用機制充分了解，探討其色素生合成途徑之生化或分子層次的缺陷，才能利用分子生物技術，將特定的花色基因，由另一物種分離，轉移至缺乏此基因的目標作物品種。

(2) 基因來源物種之決定及目標基因之選殖與改造：

依據生物化學分析的結果選定具有目標花色之作物，做為花色基因的來源，進行色素基因的選殖，以獲得該基因。

(3) 基因轉殖載體之構築：

由於基因無法單獨進入植物細胞內，轉殖載體可做為將基因由植物細胞外帶入植物細胞核的工具。因此所選殖的基因必須經過各種基因操作技術，如接上啟動子，使能啟動基因表現；接上促進子或調節子等DNA片段，使目標基因更易於控制與表現後，再構築於含有適當選拔標誌或報導基因之轉殖載體，方能進行基因轉移。

(4) 將基因轉移至目標花卉品種：

基因轉移的方法有許多種，包括基因鎗、農桿菌、花粉管法、聚乙烯二醇(PEG)化學處理法及電穿孔法等。必須依據作物種類及再生特性，選擇適當的基因轉移系統，將經改造構築於載體之基因，

轉移至目標作物。

(5) 轉基因植株之篩選及色素基因表現與產物分析：

經基因轉移後再生所得之植株，需以抗生素、聚合酵素連鎖反應(PCR)、南方、北方及西方型轉漬等篩檢方法，篩選出含有目標基因及表現正常之轉基因植株。由於目標基因屬外來基因，可能嵌入目標作物的基因組之任一位置，而影響原有基因之正常表現，因此，含有目標基因之轉基因植株，需經數代的基因表現分析、基因穩定性測試及遺傳分析，確定此一外來基因可於世代間穩定表現，才算是成功的基因轉移。

(6) 轉基因新花色品種之育成與上市：

基因工程品種因含外來基因，並非天然的作物品種，因此，世界各國對轉基因植株之育成及產品上市過程，均有嚴格之規範。一般均以盆栽或設施方式於溫、網室內栽培，對環境生態的可能衝擊遠較一般轉基因植物小，只要不隨意丟棄或自行於戶外栽植，對生態安全之生物多樣性影響較小。因此，未來消費者對轉基因花卉品種之接受程度，應較其他基因改造有機體產品高且容易，市場阻力小，發展空間極大。

## 六、國外花色創造之研究成果

利用基因轉移技術增加新的色素合成路徑，是創造新花色最直接的方法。在矮牽牛的種原中缺乏生成磚紅色天竺葵素配基的二氫黃酮醇還原酵素(DFR)基因，所以無法產生磚紅色的花色，Mayer *et al.*(1987)等人將玉米的二氫黃酮醇還原酵素(A1)基因利用農桿菌基因轉移法轉入矮



牽牛中，育成新的磚紅色矮牽牛品種，這是利用基因工程進行花色育種成功的首例。在康乃馨的花色中缺乏藍紫色的品種，澳洲Florigene公司和日本Suntory公司將矮牽牛的黃酮素3',5'-氫化酵素和DFR基因共同轉移至白色康乃馨品系，產生了淡紫色或紫色的康乃馨(圖二)。

Davies *et al.*(1998)將苜蓿之 chalcone reductase (CHR) 基因轉入白色矮牽牛，由於CHR與芳基烯丙醯芳烴合成酵素(CHS)同時存在時會使白色矮牽牛產生 isoliquiritigenin，因 isoliquiritigenin 並非矮牽牛CHI之受質，所以可造成芳基烯丙醯芳烴累積，而產生黃色的色素。此外，也可利用反義基因(anti-sense)或RNA干擾(RNAi)等技術關閉原有的色素合成路徑，使得反應物大量累積或更改代謝路徑，影響花青素合成而改變花色。Aida *et al.*(2000)將反義DFR基因轉入夏堇(torenia)，結果使花色更藍，這是由於不

活化的DFR基因造成黃酮(flavone，一種共色素)累積而呈共色作用所致。由上述研究成果顯示，利用基因工程技術轉移花色基因的確可改變花色或加強花色表現，因此利用生物技術創造新花色仍有很大的發展空間。

## 七、結語

日本Suntory公司與澳洲Florigene公司將花色基因轉入康乃馨，創造出世界第一種紫色的康乃馨(Moon Dust)，花語為永遠的幸福。除了在日本上市外，在歐洲及北美洲也頗受好評，2004年全球的銷售量達1,400,000支，由此可知花色基因創造出新的商機。目前國內已有數個研究單位及學校正進行創造新花色的研究，嘗試將花色基因轉入火鶴花、晚香玉、菊花、百合及蝴蝶蘭等花卉作物，期待未來有一天，我們也可創造出不同的花色，讓台灣的花卉於世界上大放異彩。

## 何謂生物技術育種？

生物技術是21世紀的新興科技，應用生物技術進行作物品種改良的過程則稱為生物技術育種，又稱為分子育種。此方法是利用遺傳工程的技術，自含目標性狀的A個體(可為任何物種)，分離出此特定性狀的基因(如藍色基因)，再利用基因轉移技術，將其導入至另一缺乏此基因或特性的B目標作物，使原本不具該性狀的作物，因而具有此性狀之育種方法。