

彩葉稻 (Coleus rice) 的大地渲染

農試所作物組 卓緯玄 李長沛 賴明信 顏信沐 吳東鴻

一、前言

水稻是世界主要糧食作物，也是進行作物基礎研究的模式作物，擁有非常多的變異；一般栽培種的植株印象是濃綠的稻株、金黃的稻穗。這是因為育種者長期以來，汰除了許多不利於糧食生產的性狀所造就之結果。然而事實上在世界上仍存在著許多有別於一般栽培種的不同變化，例如葉色、穗型、枝梗色、內外穎、護穎、長芒、芒色、矮化等等的特殊變異，這些變異也許不適合用來進行栽培生產，但往往是基礎研究的良好材料，另外也頗為賞心悅目，極具有觀賞價值，可以田間彩繪、盆栽或花藝展現，因此「彩葉稻」應運而生。

彩葉稻（或稱彩稻；*Coleus rice*）係指在水稻植株莖、葉、穎花呈現不同於一般栽培品種之綠色者，可大致區分為花青素變異（紫色系）與葉綠素生合成不完全缺失變異（白色系與黃色系）兩大類，目前在台灣除基礎研究外，主要做為稻田彩繪或盆栽觀賞用，在部份國家

則做為水稻標幟性狀使用。台灣的稻田彩繪最早由苗栗區農業改良場於2002年與苗栗縣苑裡鎮農會產學合作展開，至今已有十多年歷史；最早僅有紫葉稻搭配一般的綠色栽培稻進行田間構圖，希望能增加水田創意的美景，將稻田變成平面的廣告看板，隨後亦陸續有個人、企業、政府機關等單位委託以稻田彩繪做為行銷廣告運用；近年來，稻田彩繪日益風行，已蔚然形成另一種水稻產業。

行政院農業委員會農業試驗所長期進行水稻基礎研究，擁有豐富的種原與研發能量，為滿足稻田彩繪多樣化需求，首度於2007年獲行政院農業委員會農業智慧財產權審議委員會之審查通過，釋出紫色葉、偏黃色葉與偏白色葉等3種不同葉片顏色的彩葉稻品系，讓彩繪業者得以應用「黃、綠、紫、白」四種顏色，開啟台灣繽紛稻田彩繪的發展；2011年更推出具深紫、紫紅葉、白條、蒼白葉片及紅、白、黑穎配合不等株高之10個品系組成「彩稻組合」，並與台南市政府合作運用紫黑、紫紅、黃、白、綠等五種顏色的彩葉稻進行稻田彩繪展示（圖一），提供業界更多選擇利用，有效提升圖騰設計的豐富度，以期成功創造市場行銷效益與鄉鎮亮點標示。

作者：卓緯玄助理研究員
連絡電話：04-23317188

二、花青素的紫色渲染-紫色系彩葉稻

位於農業試驗所的國家種原庫，蒐集保存全世界各地的水稻種原，其中有許多分別在葉鞘、葉領、葉耳、節間、葉舌、葉緣、內外穎（稻殼）及穎果皮（米糠）具有花青素表現的水稻品種，這些不同部位的花青素表現，受到不同基因所調控；亦有地上部莖葉均呈紫色的水稻種原，例如來自國際水稻研究所育成的籼型紫葉稻‘IR 1552’品種。目前已知紫葉稻的地上部的紫色特性由*Pl*基因座負責調控，位於第4對染色體，遺傳分析顯示，紫葉基因*Pl*負責轉運*C^B*(*Chromogen*)基因和*A*(*Activator*)基因產生的花青素到特定的組織，且與紫色種皮*Pb*基因位在相同的基因座；在該基因座目前至少發現3個顯性等位基因，分別來自三種不同供源的類型，包括來自I-102品種的*Plⁱ* type、來自Murasakiine品種的*Plⁱ* type及來自Pirurutong品種的*Pl^w*

type，其中只有*Pl^w* type表現型為葉鞘、葉身及種皮均呈紫色，但*Plⁱ* type、*Plⁱ* type的葉片紫色著色則較深；且*Pl^w* allele由*OsB1*與*OsB2*兩個基因構成(Sakamoto *et al.* 2001)。

目前台灣進行稻田彩繪的紫葉稻有IR1552、台農育9620014號、台農育9014001號、台農育10118001號、台農育10118002號等品種（系）。農業試驗所這幾年育成的台農育9620014號、台農育9014001號、台農育10118001號（圖二）等3個品系葉色偏紫黑色系；而台農育10118002號彩葉稻（圖三）則較偏紫紅色系，都是以‘IR 1552’為花青素基因來源與台灣梗稻品種「台農67號」進行傳統雜交後再經花藥培養或回交等方法，經過多年分離、純化、固定選育而得。

三、我把葉綠素變少了-黃色系與白色系彩葉稻

葉綠體是植物行光合作用的重要胞器，由前質體(*proplastid*)發育而來；在光

照的條件下前質體囊泡數量增加並互相融合形成層狀構造的類囊體(*thylakoid*)，類囊體與葉綠素結合最後發育成葉綠體；一般栽培稻葉片濃綠的綠色是由葉綠素所展現，葉綠素與葉綠體中的類囊體膜(*thylakoid member*)上的特定蛋白質結合形成特殊的蛋白複合體，以進行光能轉化；葉綠素生合成相關基因缺失會使葉綠素



圖一、104年農業試驗所與台南市政府合作，首度運用紫黑、紫紅、黃、白、綠等五種顏色的彩葉稻進行稻田彩繪。

含量降低，葉綠體發育受阻，植株光合效率降低，抑制正常生長，葉色產生變異，例如：白化、黃化、斑點、條紋、斑馬紋等，稱之為葉綠素合成缺陷突變體，亦可稱為葉色突變體；水稻葉色突變體是一種很常見的突變現象，可經由自然突變、雜交後代分離、花藥培養或人工誘變（化學、放射線等）或基因轉殖等方式產生；近年來，學者利用不同的葉色突變體已定位到非常多與水稻葉色突變特性相關的數量性狀基因座；但，大部份葉綠素合成缺陷突變體缺少葉綠素，無法進行正常光合作用，幼苗依賴種子胚乳供給生長需的營養，當胚乳營養消耗怠盡，則導致植株死亡；因此黃色系與白色系彩葉稻屬於葉綠素合成不完全缺失的黃化與白化突變，以期能維持其生活史。

目前台灣稻田彩繪所使用的黃色系與白色系彩葉稻均係由農業試驗所育成，其中黃色系有台農育SA0864號、台農育9014002號；白色系則有台農秈糯21號育01號、台農育10218001號、台農育10218002號等，其中台農育10218002號（圖四）是以「台農67號」為母本，「沈農265」為父本進行傳統雜交，後代分離選育而得；黃葉稻台農育9014002號（圖五）則是利用「農林

8號」經人工誘變的黃化突變體為貢獻親，以「台農67號」為輪迴親，回交選育成固定的稈型黃葉稻品系。

四、「紫葉稻」與「紫米」的迷思

「紫葉稻」屬於彩葉稻中的一種，主要是由於花青素在水稻植株的莖稈與葉片累積所形成，基於花青素累積不同程度而顯現出紫黑與紫紅等色系，有關其相關特性與基因之作用如前段所述。而「紫米」則屬於「有色米」(colored



圖二、紫葉稻（紫黑色系）台農育10118001號。



圖三、紫葉稻（紫紅色系）台農育10118002號。

rice)的一種，「有色米」是專指水稻穎果皮（即糙米型態可見，坊間亦簡稱為米糠層），有不同於一般栽培品種的淡褐色（或白色），而含有色素者，即稱為「有色米」；依目視顏色可略區分為紅米（紅色穎果皮）、紫米（紫色穎果皮）及褐米（褐色穎果皮）；紫色穎果皮由*Pb*基因（位於第4對染色體）與其互補基因*Pp*（或稱*Prp-a*，位於第1對染色體）共同作用的結果，兩基因都沒有

時穎果皮呈正常色，只有*Pb*基因時呈褐色，*Pb*與*Pp*兩基因同時都有時則呈紫色 (Maeda *et al.* 2014)。紅色穎果皮由*Rc*基因（位於第7對染色體）與*Rd*基因（位於第1對染色體，編碼二氫黃酮醇4-還原酶 (dihydroflavonol reductase; DFR) 所調控，當*Rc*基因與*Rd*基因共同存在時，穎果皮呈現紅色，當只有*Rc*基因時，穎果皮呈現褐色 (Furukawa *et al.* 2006)。至於胚乳（澱粉層）有顏色，例如黃米 (Yellow rice) 是否歸納為有色米則少見學者討論。



圖四、白葉稻台農育10218002號。



圖五、黃葉稻台農育9014002號。

五、植株外觀亮麗，但需細心呵護

水稻葉片是行光合作用的主要地方，關係到植株生長、產量高低與米飯口感；花青素增加會影響葉片吸收光能，白化突變通常是致死突變，黃化突變則光合能力降低，這些濃妝艷抹的特殊水稻生育不佳，容易死亡，種植困難，往往在育種選拔過程中即被育種家淘汰，所以不會在一般栽培水稻中發現。但是，這些葉色突變體是基礎科學研究的良

好材料，國際上進行相關的研究也非常多，才得以被保留展現。目前台灣彩葉稻之研發正處於起步期，所選育獲得的品系對於環境的適應性不像經過育種家數百年來不斷改良的栽培品種，因此尚有許多待克服的缺點，而且由於受限於光合作用不足，彩葉稻的產量和口感均不佳，僅適合觀賞用。因此，基於對品種應有一定程度環境適應性的認知與堅持，目前均仍以品系代號來進行推廣，或者也可以「紫葉稻」、「黃葉稻」、「白葉稻」名稱來通稱這些不同葉色的彩葉稻品系。

台灣自民國85年推動良質米政策，育種單位陸續育成了許多好吃、品質優良的白米品種，也成為台灣米的特色；因此，在育種上必須特別注意避免「有色米」基因造成的影響，農業試驗所育種人員特別注意應用的紫葉基因特性，目前在台灣使用的各種彩葉稻品系，雖然植株外觀亮麗，但僅有植株莖稈與葉片會產生鮮艷的色彩，它們的糙米跟一般水稻品種沒有兩樣，都不具特殊的色彩，且由於所應用的紫葉基因與紫米相關調控的基因有所不同，並沒有產生「有色米」的疑慮。水稻雖為自交作物，仍有1-6%的天然雜交率，由於這些彩葉稻相關基因與一般栽培品種仍有所差異，可能在栽培生產過程中擴散至栽培種，惟幸運的是這些基因往往會造成後代光合作用不良，生長弱勢而被淘汰，因此，在稻田彩繪之餘仍然必須謹慎小心，避免影響產業發展。

六、結語

彩葉稻應用於稻田彩繪有其天然限制，無法如同顏料般的任意調整色彩，但也正因如此才顯現出生命的價值；紫葉稻富含的花青素必須接受紫外光的照射才會更鮮艷，所以大太陽會把紫葉稻曬得更黑、更紅；而白葉稻屬於不完全白化突變，黃葉稻屬於葉綠素生合成降低的突變，仍然保有部份葉綠素生合成反應，但這種反應經常受到溫度影響，在適當溫度環境下可恢復葉綠體的功能，因此遇到高溫季節白葉稻與黃葉稻葉片就容易變淡綠，影響田間彩繪配色。所以，要完成一個成功的稻田彩繪除了有豐富顏色表現的彩葉稻品種、精細田間放樣技術、熟稔的插秧技巧、良好的田間管理，最重要時仍是天時、地利、人和。

七、參考文獻

- Furukawa T., Maekawa M., Oki T., Suda I., Iida S., Shimada H., Takamura I. and Kadowaki K. 2006. *The Plant Journal*. 49:91-102.
- Maeda H., Yamaguchi T., Omoteno M., Takarada T., Fujita K., Murata K., Iyama Y., Kojima Y., Morikawa M., Ozaki H., Mukaino N., Kidani Y., and Ebitani T. 2014. *Breeding science*. 64(2):134-141.
- Sakamoto W., Ohmori T., Kageyama K., Miyazaki C., Saito A., Murata M., Noda K., and Maekawa M. 2001. *Plant and Cell Physiology*. 42(9): 982-991