

夾竹桃紅

於害蟲防治上的應用

◎農試所應動組 董耀仁 陳健忠

一、前言

某些光活性分子經光線照射後，會對活的細胞產生毒性反應，輕則導致生物不正常生長發育，重則死亡。自然界中光活性分子很多，其中一類為含鹵素分子的二苯并吡喃染料 (Xanthene dye)。此類染料之致毒作用最早於 1900 年由 Raab 之研究中發現，一種由煤岩提煉染料 acridine 於光照下對草履蟲會產生毒性反應。此種藉由對光敏感染料與氧在光線照射下，對生物、細胞、病毒產生傷害或致死，或對生物分子產生化學變異的反應被稱為光動力反應 (Photodynamic reaction)，又稱光敏反應、光化學反應。

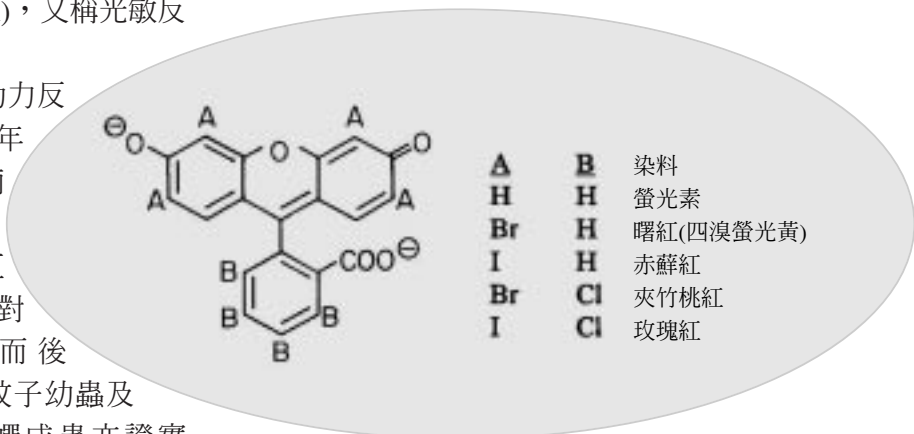
最早於昆蟲上研究光動力反應者為 Barbieri 他在 1928 年研究發現，數種二苯并吡喃染料如：伊紅 (Eosin)、赤蘚紅 (Erythrosin)、玫瑰紅 (Rose Bengal)，於光照下，對蚊子幼蟲產生毒性。而後 Schildmacher (1950) 使用蚊子幼蟲及 Yoho 等人 (1971) 使用家蠅成蟲亦證實 Barbieri 的發現。時至今日，至少有 20 種以

上的昆蟲對二苯并吡喃染料引起的光動反應具感受性，因這些染料幾乎皆須照光方能產生殺蟲作用，因此具有被開發作為光活性殺蟲劑的潛力。

二、夾竹桃紅於害蟲防治上的應用

(一) 夾竹桃紅的殺蟲機制

夾竹桃紅 (Phloxine B) 亦為二苯并吡喃染料的一種，所含的鹵素分子為溴，最大吸收光波長約在 540nm，為可見光譜的綠光，其與同類其它具光活性的染料構造如圖一：



圖一、夾竹桃紅的結構式(Heitz, 1995)。

夾竹桃紅等染料對昆蟲之致毒機制不同於一般農藥，例如有機磷類藥劑馬拉松的作用機制為抑制乙醯膽鹼酯酶(Acetylcholinesterase)的活性，導致乙醯膽鹼(Acetylcholine)的堆積，使神經傳導受到阻礙，最後導致昆蟲死亡，直接參與殺蟲作用且只有單一的作用位置，而夾竹桃紅之殺蟲機制如圖二。

當經光線照射夾竹桃紅後，其由基態 0D 接受光子能量先升至激化單電子鍵態 1D 再降至激化三電子鍵態 3D ，然後將能量傳送給基態的三電子鍵氧 3O_2 再形成激態單電子鍵氧 1O_2 ，此單電子鍵態氧，即一般所稱的自由基。

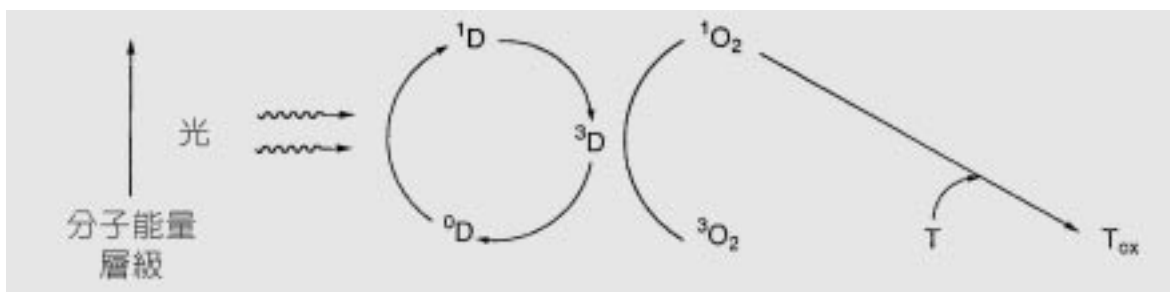
自由基是指一個或多個具不成對電子的原子、分子或離子，因必須拉取附近物質(T)的電子加入其中以保持安定，所以顯得特別的活躍，故名自由基。而這些被拉取的往往是蛋白質、碳水化合物、醣類及脂肪等營養物質，作用過程中會破壞細胞膜、蛋白質及核酸等，導致細胞死亡或生物不正常的生長發育。此由將地中海果實蠅餵食含有夾竹桃紅的餌劑中毒死亡後，解剖蟲體進行腸道組織切片，發現整

個腸道組織均已破裂而得到證實。所以夾竹桃紅並不直接參與殺蟲作用，而是藉由照光產生許多單電子鍵態氧去破害蟲體的細胞組織達成殺蟲目的。此外，於田間施用時，其快速光分解的特性讓害蟲不會一直處於藥劑篩選壓力下，防治害蟲較不易有抗性問題發生。

(二)夾竹桃紅用於害蟲防治的優缺點

在已知的二苯并吡喃染料中，應用夾竹桃紅作為光活性殺蟲劑有其優勢，說明如下：

1. 任何一種有效的殺蟲物質，欲登記使用為殺蟲劑需經詳盡的毒理、化學及安全性等評估測試，必耗費大量的人力、物力及時間。若我們能從已證實對人類及環境安全的物質中，找出具殺蟲效果之物質，可以節省後續的評估工作，且易為社會大眾所接受。於1982年夾竹桃紅即在美國食品與藥物管理局(Food and Drug Administration)，登記為藥物及化妝品添加染料第27及28號(D&C Red No. 27, 28；27代表不具水溶性，而28則代表水溶性)，添加於化妝品及藥物中已使



圖二、夾竹桃紅之殺蟲機制 (Bergsten, 1997)。

(T：指蛋白質，醣類，脂肪等生物所需營養物質；D：夾竹桃紅；0，1，3及 1O_2 ， 3O_2 指夾竹桃紅經照光後，其本身所帶電子在軌域中能量位階的變化。)

用超過二十年並未有任何不良的影響。吾人每公斤體重之可接受之攝食量 (Acceptable daily intake) 為 1.25mg/kg/day，而大家所熟知對哺乳類低毒的馬拉松則為 0.02mg/kg/day，可見夾竹桃紅遠較馬拉松低毒安全。

2. 夾竹桃紅因分子量大，約為 829.65，田間施用後不易被雨水沖刷深入土中甚至進一步污染地下水。其雖具光活性但同樣的於光照下會快速分解失效，半衰期短於一般農藥的數周或月。研究發現其於水中的半衰期為 0.5 小時，而於施用於咖啡園其半衰期小於一週。夾竹桃紅因其易光分解的特性，於環境的殘留時間短對環境的衝擊亦小。
3. 夾竹桃紅不具接觸毒性，殺蟲方式為昆蟲食入後，經照射陽光而中毒死亡，因此多以配成餌劑的方式使用。也因為如此，需慎選餌劑的配方以避免其他有益的昆蟲如天敵因誤食而亡。不似一般具接觸毒性之農藥使用後，除殺死標的害蟲外亦會危害其他有益生物。

雖然夾竹桃紅有上述的優點，但因其照光後使氧變成具強力氧化性的單電子鍵態氧，此單電子鍵態氧仍對生物細胞及組織具傷害力。目前試驗結果認為在整個害蟲綜合防治體系上，夾竹桃紅可藉由慎選餌劑配方與天敵共同使用，研究報告亦舉出曾有天敵取食不當配方之餌劑而導致死亡的例子。其與蘇力菌、蟲生真菌及病毒等微生物藥劑，混合使用之結果顯示，混合夾竹桃紅與蘇力菌防治害蟲的效果與僅使用夾竹桃紅的效果一樣，學者推論此乃因單電子鍵態氧作用於蘇力菌的毒蛋白造成其失效的結果。此外，亦有學者指出夾

竹桃紅會抑制蟲生真菌孢子的發芽和菌絲的生長等，故於害蟲防治時需分開使用。

(三) 夾竹桃紅於害蟲防治上的應用潛力

夾竹桃紅具防治潛力的標的害蟲為：

1. 環境衛生害蟲如蚊子、家蠅、蟑螂等，蚊子主要針對幼蟲，而家蠅則對卵、幼蟲及成蟲均有致死效果，可解決目前於環境衛生昆蟲防治上，因化學藥劑大量使用所產生的抗藥性問題。
2. 畜牧害蟲如家蠅及臉蠅等，可避免化學藥劑使用對家畜的傷害與相關產品農藥殘留的問題。
3. 家庭園藝及農業害蟲，目前這部分研究最多為果實蠅類害蟲的防治，因其腸道具透光性，有利於產生光動作用。適合田間防治用的餌劑配方陸續研發出來，且有大面積的田間試驗結果證明可取代現行使用的馬拉松。而在其他害蟲方面雖發現鱗翅目的擬尺蠖、玉米穗蟲及切根蟲，鞘翅目的棉花象鼻蟲、科羅拉多馬鈴薯甲蟲、玉米根蟲及花金龜，直翅目的美洲蝗蟲與遷移飛蝗等對夾竹桃紅具感受性，但尚未應用於大面積田間防治。

夾竹桃紅需被昆蟲食入且照光，方能產生殺蟲效果。雖然有部分研究指出於完全無光狀態下，其亦有殺蟲效果但明顯較有光照時低。因此，決定其殺蟲效果的限制因子為蟲體的透光性及餌劑的配方。於蟲體的透光性方面，學者研究發現將蘋淺褐卷蛾 1、2 齡期幼蟲餵食含夾竹桃紅之飼料，所得之半數致死濃度 (LC₅₀) 相差二倍，推測乃因一齡幼蟲體色較透明而二齡幼蟲體色變暗光線較不易穿透導致的結果。因此適合使用夾竹桃紅加以防治的昆

蟲，其先決條件為體色較淡易透光者，方能產生較佳的殺蟲效果。雖然有些光敏感物質的吸收光為紅外光，具有較佳的組織穿透力，或許可應用於體色較不透光的害蟲之防治工作，但其對人類及其他生物與環境的安全性則仍須評估。

三、結論

夾竹桃紅可應用於害蟲防治的種類，遠較於其他化學藥劑少，除蟲體透光性的原因外，最大的因素為夾竹桃紅不具接觸毒且無法穿透蟲體，必須由昆蟲食入再配合光線方能產生殺蟲效果。因此唯一的方式是製成餌劑，所以餌劑的配方便十分重要。早期應用夾竹桃紅防治蚊子幼蟲的工作中，因其於水中容易分解，防治效果並不好，直到使用另一型不溶於水夾竹桃紅製成餌劑懸浮於水表可供蚊子幼蟲取食方產生良好的防治效果，可見配合使用環境的不同，選擇不同型式的夾竹桃紅可提高對害蟲的防治效果。其次，在養雞場的家蠅防治上，原先將夾竹桃紅直接施用於雞糞上來殺死家蠅的幼蟲，但效果並不明顯，而後於配方中加入膠原蛋白(gelatin)配製成新劑型，大幅提升防治效果也增加了田間應用性。而在墨西哥果實蠅的防治

上，早先的配方因未能有效刺激果實蠅的取食而效果不佳，此點後來經由於配方中加入果糖而克服。另外，針對玉米根蟲所研發之餌劑中因添加水溶性取食刺激物，於田間試驗中可減少 80%的成蟲。除上述因選用不同型式的夾竹桃紅、不同餌劑的劑型及取食刺激物的添加來大幅提高對害蟲的防治效果外，其它可利用因子尚包括：添加界面活性劑 Triton 於墨西哥果實蠅餌劑中可提高夾竹桃紅的殺蟲效果，使用含碘離子溶液來配製餌劑可延長夾竹桃紅半衰期及於餌劑中添加另一種染料如螢光黃鈉(Uranine)，其本身無殺蟲效果，但可作為協力劑增加夾竹桃紅的殺蟲效果等。

藉由對昆蟲行爲、生理的研究及夾竹桃紅基本特性的瞭解，我們愈能針對特定的昆蟲研發適合的餌劑，也提升了夾竹桃紅於害蟲防治的應用範圍。

四、參考文獻

- David Bergsten, 1997. Photoactive Insecticide. 8: 20-23.
James R. Heitz, 1995. Light-Activated Pest Control. pp. 1-16.