

植物保護殺真菌劑對蜜蜂健康之影響

作者：廖玲秀博士（美國伊利諾大學厄巴納－香檳分校昆蟲學系研究專員）
電郵：liao19@illinois.edu

授粉者可增加產量

蜜蜂及其他授粉者對開花作物的生產極其重要，它們對全球糧食作物的授粉服務，每年貢獻出約 1,530 億歐元（約 5 兆新臺幣）的價值 (Gallai *et al.*, 2009)。美國農業部的統計資料顯示，若農作物經授粉者的充分授粉，尤其是蜂類的充分授粉，作物產量平均可增加 30% 收獲。臺灣也有研究報告指出，蓮霧若沒有經蜜蜂充分授粉，產量最高可能減產 40%，小黃瓜、洋香瓜接受蜜蜂授粉則可提高授粉著果率，平均每分地能增加新臺幣 10 萬元以上的收益（吳及林，1994）。

而近來蜜蜂與其它授粉昆蟲，被發現族群量的下降，引發了大眾對可持續的糧食供應，和自然生態系統健康狀況的擔憂。造成蜜蜂數量下降的可能因素很多，美國農業部的報告認為，威脅蜜蜂健康的主要因素包括：寄生蟲害，病原體（真菌、病毒），營養不良以及對農藥的暴露，這幾個因素往往重疊存在，並彼此交互作用著；但其中農藥的大量使用，通常被認為是授粉昆蟲族群量下降的重要主因。

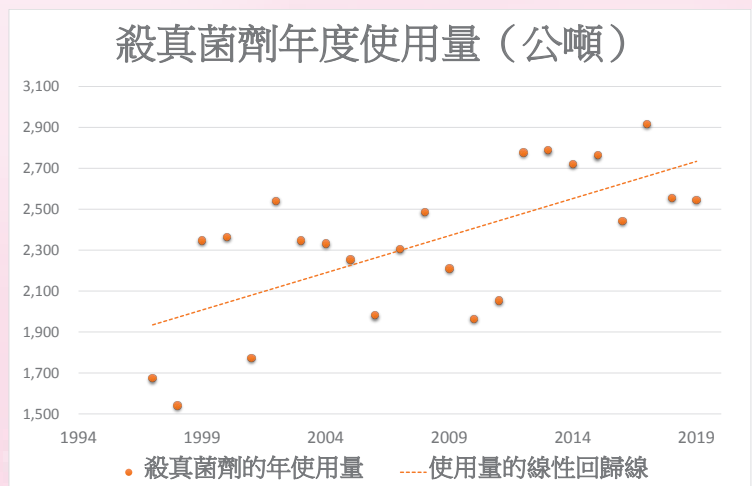
殺真菌劑使用的必要

實務上，農藥的使用，具有許多很難以取代的益處與必要性，使用農藥，不但提高了農作物的產量，且改善了食品的安全性，進而提升了大眾的健康 (Cooper and Dobson, 2007)。以殺真菌劑為例，臺灣氣候多雨高濕，成為許多植物真菌性病害的好發環境，使用殺真菌劑是防治這類病害的重要方法，像是預防及控制作物的炭疽病、疫病、灰黴病、與白粉病等真菌性病害的發生與蔓延；另外，更可進一步預防消費者端的食物，和飼料商品

中，可能產生的真菌毒素污染，像是常見由黃麴菌 (*Aspergillus flavus*) 和寄生麴黴 (*A. parasiticus*) 所產生的黃麴毒素污染；這些真菌所產生的毒素，對動物及人都有嚴重的不良影響，具肝腎毒性，也有高致癌風險。因此殺真菌劑的使用，在現今農業上是無可避免的。

殺真菌劑與蜜蜂

殺真菌劑除了治療已發生真菌性病害的作物，也經常預防性的在作物開花期，或抽穗前後噴灑施用，許多殺真菌劑更會以長效型的可濕性粉劑或顆粒劑施用於田間，以便緩效地被植物所吸收，進行系統性的保護，這導致作物上，可能長時間存在殺真菌劑。依據行政院農業委員會的農業統計資料庫，在臺灣殺真菌劑使用量逐年攀升，由 1997 年的 1,675 公噸上升至去年（2019 年）的 2,546 公噸，使用量上升約 52% 左右（圖一）。故蜜蜂在農業環境中採集花粉和花蜜時，比起其它類別的農藥，像是殺蟲劑，蜜蜂更容易接觸到殺真菌劑。



圖一、依據行政院農業委員會的農業統計資料庫，臺灣殺真菌劑 1997 年至 2019 年間的年度使用量與年度使用量的線性回歸線。

真菌劑針對的目標生物是真菌，而不是昆蟲，因此大部分的殺真菌劑標籤上的使用說明，並不會特別限制要避開昆蟲，當然也沒有關於蜜蜂暴露的注意事項；因此，不意外的，在蜂巢中蜂花粉、蜂糧、蜂蜜、巢片與蜜蜂個體都可檢測到殺真菌劑殘留 (Kubik *et al.*, 2000; Mullin *et al.*, 2010; Sanchez-Bayo and Goka, 2014; Simon-Delso *et al.*, 2014)；據美國學者 Mullin 等人 (2010) 針對美國蜂巢的普查，殺真菌劑是除了直接施用於蜂巢內的殺蟎劑外，最常被檢測到的農藥類別。因為大部分殺真菌劑，對蜜蜂成蟲具很高的半致死劑量 (LD50)，對蜜蜂成蟲使用殺真菌劑並沒有觀察到立即可見的毒害，且早年少數幾個做過短時間覓食行為觀察的研究，亦未發現殺真菌劑影響蜜蜂田間訪花行為，因此過去學界普遍認為，殺真菌劑對蜜蜂而言是安全的。可是近來愈來愈多的科學研究發現，不管是野生蜂類或是馴養的蜂群，在暴露於有殺真菌劑殘留的環境下，其健康是遭受多方面威脅的。

殺真菌劑對蜜蜂生態面上的影響

由美國的蘋果園調查中發現，果園中野生蜂群的豐度會隨著農藥用量（主要是殺菌劑）的增加而減少 (Park *et al.*, 2015)，但如果果園四周有一些自然地景的存在，農藥影響族群豐度效應就會變小。此外，馴養蜜蜂蜂箱中殺真菌劑的殘留量與蜂巢的失調（像是虛弱，蜂后喪失，育幼問題等）有正相關 (Simon-Delso *et al.*, 2014)。Traynor 等人 (2016) 更發現，若蜂巢曾被遷移以進行授粉服務，其巢片與蜂糧，比起於定置的蜂巢中的，有更多的農藥殘留，且這些農藥的殘留量，特別是殺真菌劑部分，與之後蜂群的敗亡有高度相關。此外，在一些垂死的蜂群中，被發現蜜蜂有「封埋」(entombed) 含高劑量百菌清 (chlorothalonil) 殘留的花粉，以避免其他同巢蜜蜂取食的行為 (vanEngelsdorp *et al.*, 2009)。除此之外，研究更顯示，百菌清會降低熊蜂 (bumblebee) 蜂群的成長，並造成其蜂后的體重低於無面菌清污染蜂群的蜂后 (Bernauer *et al.*, 2015)。

殺真菌劑在果園中的施用，也被發現，可能會改變授粉蜂群的巢中益生真菌菌相 (Yoder *et al.*, 2013)，其中尤其影響 *Aspergillus* 屬真菌的豐度；而 *Aspergillus* 屬真菌的豐度減少，已知與白垩病發生高度相關 (Yoder *et al.*, 2013)，此外益生真菌也扮演了轉換花粉為蜂糧的角色，而蜂糧是蜜蜂育幼時，重要蛋白質來源。換言之，巢內殺真菌劑的汙染，可能造成巢內益生真菌相的改變，而導致花粉發酵轉換的過程受干擾，而降低蜂糧品質，進而影響幼蟲的發育，並也可能導致真菌病害的發生，而損害蜂巢的整體健康。

此外殺真菌劑也會影響蜜蜂覓食行為的偏好性，她們會忌避高濃度的撲克拉 (prochloraz)，但是卻被低濃度的百菌清所吸引 (Liao *et al.*, 2017)，且會改變覓食的行程時間 (Schmuck *et al.*, 2003)。相似因殺真菌劑所造成的行為改變，也在熊蜂族群中觀察到：當暴露於殺真菌劑 Manzate 下，弱化了熊蜂在迷宮中找食物的能力，且在選擇試驗中，熊蜂更偏好在無 Manzate 污染的環境中覓食 (Sprayberry *et al.*, 2013)。

殺真菌劑對蜜蜂生理上的影響

殺真菌劑也會造成一些生理上的影響，目前已知殺真菌劑百菌清會抑制或弱化蜜蜂免疫系統 (O'Neal *et al.*, 2019)，並造成蜜蜂腸道內微生物相的變化 (Kakumanu *et al.*, 2016)。而取食殺真菌劑污染的花粉或在被殺真菌劑污染的巢片上育幼，都增加蜜蜂感染蜜蜂微粒子病 (Nosema disease) 的機率 (Wu *et al.*, 2012; Pettis *et al.*, 2013)，並且造成多種蜜蜂病毒的病毒量 (virus titers) 上升 (DeGrandi-Hoffman *et al.*, 2015)。殺真菌劑邁克尼 (myclobutanil) 與百菌清，則被發現會破壞蜜蜂幼蟲的中腸內襯細胞 (Gregorc and Ellis, 2011)。

苯二甲醯亞胺劑 (phthalimide) 的蓋普丹 (captan)、依普同 (Rovral/iprodione)、福美鋅 (ziram) (益穗單劑成分之一) 也會造成幼蟲與蛹期的發育失敗 (Mussen *et al.*,

2004)，並且可能會改變蜜蜂體內的能量代謝情況 (Campbell *et al.*, 2016)。撲克拉與待克利 (difenoconazole) 能造成蜜蜂溫度調節的失能 (Vandame and Belzunces, 1998)。邁克尼 (myclobutanil/Eagle, Dow AgroSciences) 則會使蜜蜂工蜂的呼吸速率降低；而較長時間取食白克列 (boscalid) 及含有白克列為有效成分之一的殺真菌劑商品 Pristine 會使蜜蜂外勤蜂的飛行肌有較低的能量 (DeGrandi-Hoffman *et al.*, 2015; Liao *et al.*, 2019)。很多殺真菌劑的作用機制是在抑制真菌的粒線體呼吸鏈，而上述的這些研究，反應了殺真菌劑，可能也會影響蜜蜂的粒線體，進而造成其生理失調。

殺真菌劑 - 殺蟲劑的毒性加成作用

真菌劑與殺蟲劑的毒性加成作用（或稱協力作用），也是極需關注的問題。就像同時服用不同藥物，可能會在人體中相互作用一樣，某些農藥一起使用，也會交互作用，進而增加農藥對蜜蜂的毒性。麥角醇合成抑制劑類 (ergosterol inhibiting fungicides) 的殺真菌劑，如普克利 (propiconazole)、平克座 (penconazole) 及邁克尼，與除蟲菊精類殺蟲劑同時使用，會增加其對蜜蜂的毒性，並直接導致死亡率增加 (Pilling and Jepson, 1993; Sanchez-Bayo and Goka, 2014)。以普克利為例，當它與第四代合成除蟲菊精類的賽洛寧 (cyhalothrin) 合併使用時，會增加農藥賽洛寧對蜜蜂的毒性，達 16 倍 (Pilling and Jepson, 1993)。殺真菌劑也會提高殺蟎劑對蜜蜂的毒性，像是巢內經常性施用的有機磷類的牛壁逃 (coumaphos)、啞類的芬普蟎 (fenpyroximate) 及除蟲菊精類的福化利 (tau-fluvalinate) (Johnson *et al.*, 2013)。其中殺真菌劑撲克拉，增加福化利對蜜蜂的毒性，增加百倍以上。而撲克拉與第滅寧 (deltamethrin) 一起使用時，也會在低劑量時，即造成蜜蜂溫度調節的失常 (Vandame and Belzunces, 1998)。

某些類尼古丁類農藥賽果培 (thiacloprid)

、亞滅培 (acetamiprid)、益達胺 (imidacloprid)、賽速安 (thiamethoxam)，以及有機磷類的陶斯松 (chlorpyrifos)，與殺真菌劑聯合使用時，其對蜂類的毒性作用會增強 (Biddinger *et al.*, 2013; Sanchez-Bayo and Goka, 2014)。殺真菌劑賽福座 (triflumizole) 導致益達胺對蜜蜂的毒性增加近 2 倍，也使亞滅培的毒性增加 244 倍，賽果培的毒性甚至高達 1,141 倍；而其它麥角醇合成抑制劑類的殺真菌劑，也都分別使類尼古丁類農藥增加了 2 到 559 倍的毒性 (Iwasa *et al.*, 2004)。推測可能原因與這些殺真菌劑的作用機制，及蜜蜂體內主要由 p450 解毒酶負責農藥的解毒有關；也就是說，麥角醇合成抑制劑類的殺真菌劑，可能會去干擾 P450 酶，進而影響類尼古丁類農藥的代謝。但也不是每一種殺菌劑對農藥都會發生毒性加成作用，像苯胺嘧啶類 (anilinopyrimidine) 的殺菌劑，可能不會干擾 P450 酶，所以當它與類尼古丁類農藥同時施用時，並沒有顯著的毒性加成現象 (Schmuck *et al.*, 2003)。

當然，實驗室中的實驗結果，不一定能夠完全重現蜜蜂在田間所遭遇的情況，因為實驗室內的研究，通常有較為單純的控制條件與環境，且經常會使用極端值的劑量，濃度和暴露程度，以求得較清晰的研究成果。如賽果培與殺真菌劑聯用時，實驗室中蜜蜂的死亡率顯著變高 (Sanchez-Bayo and Goka, 2014)，但在半田間試驗中，卻未見到死亡率的增加 (Schmuck *et al.*, 2003)。

施用殺真菌劑可能的改良方式

為了盡可能同時保護授粉者與作物，當必須使用殺真菌劑保護植物時，殺真菌劑盡可能不要與其它殺蟲劑混用。在時間上，盡可能避開盛花期，並在傍晚才噴灑施藥，避開蜜蜂的訪花高峰時間，將有助於減少殺真菌劑對蜜蜂的影響。