

蜂群暴露在農藥環境下之影響 及應對措施

徐培修（助理研究員）

前言

農藥是現代農業生產中難以取代的工具，有效保護農作物抵禦病蟲害威脅，從而確保糧食供應的穩定性。然而在現今生態保育和資源永續意識抬頭下，人們更加關注農藥對於生物多樣性的潛在危害及生態系的長遠影響。蜜蜂是重要的授粉昆蟲，在絕大多數的情況下並非施用農藥的目標生物，然而蜜蜂訪花時會接觸到存在於花朵中的化學物質，在農業生態系中就可能受到農作物花朵中殘留農藥的影響。評估農藥對於某種生物的毒性強弱可由一群受測對象死亡個體多寡所需之劑量來表示。全數死亡的最低劑量稱為「絕對致死劑量」；僅一個個體死亡的最低劑量稱為「最小致死劑量」。一般來說農藥以「半致死劑量」作為毒性分級指標，也就是引起一群受測對象 50% 個體死亡所需之劑量。然而致死劑量是引起生物個體的急毒性反應，屬於直接影響，也就是可能立即造成生物個體死亡；反之不會引起生物個體死亡的劑量則稱為「亞致死劑量」，意即比最小致死劑量更低的劑量，可能造成非立即性的間接影響。由於蜜蜂是社會性昆蟲，具有個體分工現象，特別容易受到微量農藥的亞致死劑量影響，當外勤蜂取食受到農藥汙染的花蜜或花粉但不足以致死時，除可能造成個體行為異常及生理功能失調之外，更可能攜回這些食物使得整個蜂群暴露於農藥環境之下，進而將農藥傳遞給蜂巢中的其他個體。從 2006 年起，歐洲和北美洲多個國家發生蜂群在冬季神秘消失的事件，後來定名為蜂群衰竭失調 (Colony Collapse Disorder)，不同於急性死

亡現象，蜂群衰竭失調症沒有在蜂巢附近找到大量屍體，推測為外勤蜂於外出覓食期間死亡無法返巢，最終造成蜂群衰弱進而滅亡。此現象發生的原因及爭議主要圍繞著類尼古丁殺蟲劑的大量使用對蜂群產生間接影響或慢性毒害，隨之引起全球關注亞致死劑量的農藥對於授粉昆蟲之威脅，最終歐盟於 2018 年決定禁止包括益達胺、賽速胺及可尼丁等三種類尼古丁殺蟲劑之使用。

花蜜中殘留農藥對於蜂群之影響

2017 年 Mitchell 等人分析 198 個來自於世界各地的蜂蜜樣本，發現 75% 的樣本中有微量類尼古丁殺蟲劑殘留，代表全球蜂群普遍暴露在類尼古丁殺蟲劑的環境下，主要源頭正是來自於花蜜中的農藥殘留所致。早期的多項研究指出外勤蜂取食含有亞致死劑量的農藥糖水會降低採集花粉頻率、減少溝通行為、損害嗅覺學習能力及影響解毒、免疫、視覺感知等基因表現，推測可能導致迷航無法歸巢，這個理論應證了蜂群衰竭失調症的現象。然而近年發現並非世界各地都有蜜蜂消失事件，但普遍報導蜜蜂越來越難飼養的情況，眾多科學性探討認為亞致死劑量的農藥除了個體影響，更可能對蜂群產生慢性毒害。當外勤蜂攜回受到農藥汙染的花蜜，會透過口對口餵食將花蜜傳遞給內勤蜂，稱為交哺行為。接收的內勤蜂負責處理這些食物，一般來說會再啟動一連串交哺行為，將一部分的食物分給其他內勤蜂，在花蜜最終被消耗或存放至巢房之前，會經過多次食物傳遞，這個過程非常快速，外勤蜂採集回巢的花蜜

通常在數小時內就能分送給所有蜂隻。因此，受到農藥污染的花蜜可能被大多數蜂隻攝入，導致幾乎所有蜂隻都受到亞致死劑量的農藥影響，造成慢性中毒而影響其行為，甚至免疫系統失調，促使蜂群對於疾病的耐受力降低，進而影響蜂群的健康與蜂勢之維持。

花粉中殘留農藥對於蜂群之影響

不同於花蜜的傳遞機制，攜回蜂巢的花粉不會再混合或共享，而是直接由外勤蜂將花粉團卸下儲存於巢房，後續由內勤蜂混入蜂蜜和唾液成為花粉蜂糧。前段已提及花蜜會被所有蜂隻取食，然而花粉蜂糧幾乎只會被護士蜂取食。護士蜂為照顧蜂王和幼蟲的年輕內勤蜂，牠們取食儲存在蜂巢中的花粉蜂糧，將食物中的營養物質消化代謝之後，在下咽喉腺和大顎腺合成富含蛋白質的腺體分泌物，稱為蜂王漿，也就是餵食蜂王和幼蟲的主要食物。

自從農藥問世以來，花粉和花粉蜂糧中的農藥殘留報導可說不勝枚舉，然而多數研究發現農藥經由護士蜂取食之後，從花粉蜂糧中轉移到蜂王漿的可能性不高，根據 2014 年美國環境保護局的風險評估指南，蜂王漿中的農藥殘留相較於花粉和花蜜約少了 100 倍，也因此蜂王和幼蟲並不容易直接取食到農藥污染的食物。儘管不常出現蜂王漿農藥殘留的情形，但 2013 年 De Grandi-Hoffman 等人發現蜂群暴露在農藥污染花粉的環境下似乎仍然會影響蜂王幼蟲的發育，正常蜂群的蜂王羽化率為 93%，取食含有亞致死劑量陶斯松花粉的蜂群則降低至 40%。2015 年 Williams 等人發現，若餵食蜂群含有亞致死劑量類尼古丁殺蟲劑的花粉蜂糧，新孕育的蜂王雖然外表型及交尾行為正常，但微卵管數量、儲精囊中精子的數量及活性都顯著降低，導致約 50% 蜂王無法正常產卵。2021 年

Milone 與 Tarpy 的研究結果更令人擔憂，這些暴露在農藥環境下成長的蜂王即使正常羽化和產卵，就算後續環境中已無農藥污染，這些蜂王產下的幼蟲存活率竟然顯著降低約 10%。因此，農藥可能是間接影響蜂王發育和蜂群發展的因素。

近年來多項研究報導蜂群暴露於農藥環境之下，將對護士蜂下咽喉腺和大顎腺之生理功能有不良影響，2016 年 Renzi 等人證實取食含有亞致死劑量類尼古丁殺蟲劑的花粉蜂糧使得護士蜂下咽喉腺細胞變小且形狀不規則，頭部的蛋白質總重量亦顯著下降。2017 年 Zaluski 等人證實取食含有亞致死劑量芬普尼的糖水使得護士蜂大顎腺容積減少，下咽喉腺細胞變小，進而減少蜂王漿分泌。2018 年 Faita 等人證實取食含有亞致死劑量嘉磷塞的糖水將改變護士蜂下咽喉腺細胞的超微結構，導致內質網及粒線體退化。護士蜂的下咽喉腺負責產生蜂王漿中大部分的蛋白質，稱為蜂王漿主蛋白 (Major Royal Jelly Proteins, 簡稱 MRJPs)，對幼蟲的營養非常重要。蜂王漿的脂肪部分是由內勤蜂大顎腺合成，主要成分為 10- 羥基 -2- 癸烯酸 (10-HDA)，具有重要的激素功能。2021 年 Milone 等人進一步發現，若餵食蜂群含有亞致死劑量農藥的花粉蜂糧，將使得蜂王漿成分組成發生改變，其中包括 MRJPs、10-HDA 和關鍵植物固醇含量皆顯著降低。10-HDA 是蜜蜂幼蟲的表型遺傳控制因子，並具有抗微生物活性，公認為蜂王漿的獨特標誌性物質。工蜂漿與蜂王漿最主要的差別在於工蜂漿 10-HDA 的相對含量較低，這正是兩者營養價值差異的關鍵因素。因此暴露在農藥環境下之蜂群所生產的蜂王漿，其成分可能更接近工蜂漿，10-HDA 含量下降可能無法滿足幼蟲的營養需求。這些證據確認農藥對下咽喉腺和大顎腺的影響會改變蜂王漿的分泌

量和成分組成，進而對幼蟲的發育和健康產生間接負面影響。

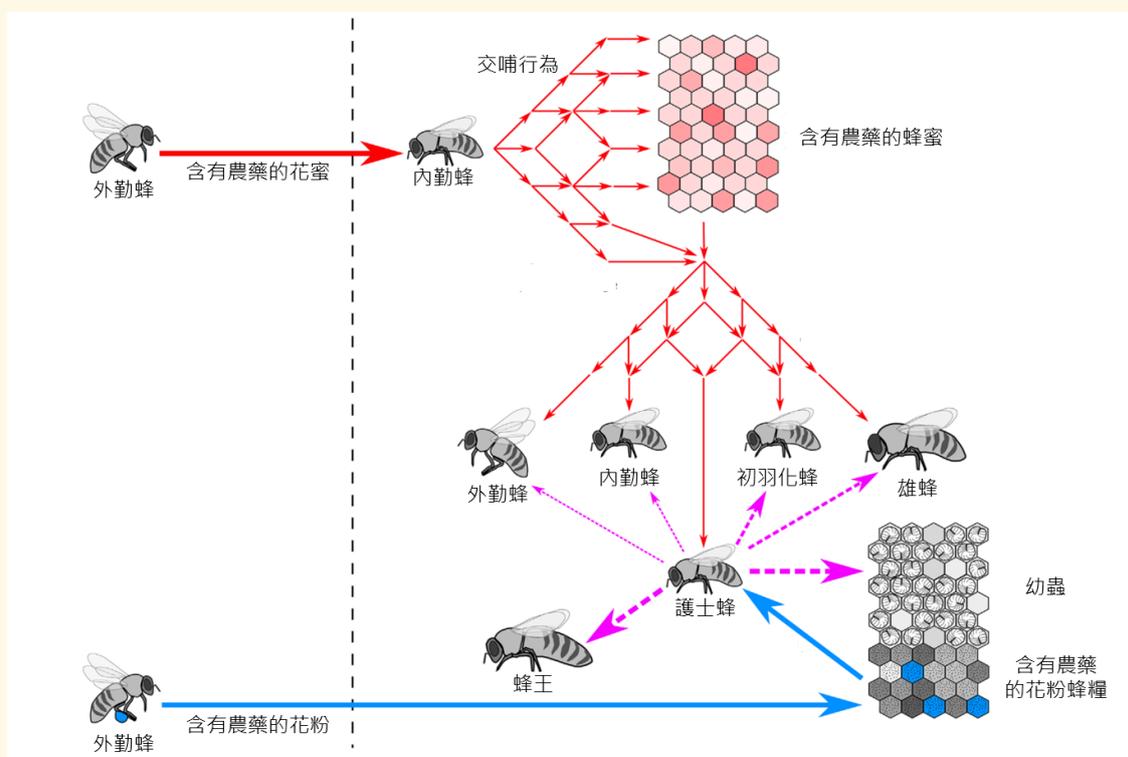
蜂群暴露於農藥的途徑及應對措施

蜜蜂接觸農藥的主要來源為農作物花朵，若暴露在致死劑量的農藥環境下，蜜蜂會快速死亡，然而暴露在亞致死劑量時，外勤蜂仍能採集覓食，並將受到農藥污染的花蜜和花粉帶回蜂巢，分別對應2種農藥傳播途徑（圖一）。含有農藥的花蜜雖然藉由交哺行為廣泛傳遞給大多數個體，但同時不斷稀釋劑量，因此中毒情形可利用補充大量乾淨糖水獲得改善。含有農藥的花粉則幾乎完全由護士蜂取食，加上花蜜中的農藥殘留，護士蜂的農藥暴露風險最高，由於負責餵食工作，進而將負面影響傳遞給蜂王和幼蟲。因此在遭遇農藥威脅的初期，首要工作為消除農藥污染源，必須搬遷蜂場或以花粉收集器隔除

污染花粉，同時汰除巢內受汙染的舊花粉脾。改以餵飼乾淨人工蜂糧，蜂勢尚未弱化時可補充蛹脾替換健康的年輕內勤蜂，減少生理失調的護士蜂對蜂王和幼蟲產生持續性影響。由於已產生潛在危害，待蜂勢回升後應換王。

結語

蜜蜂受到亞致死劑量農藥的影響非常大，不論是花粉或花蜜中的殘留農藥，都有可能對其生理機能產生影響，甚至影響幼蟲的正常發育。有如蝴蝶效應的連鎖反應，一隻蜜蜂的行為失序，引起一個蜂群的衰弱滅亡，導致植物授粉資源匱乏，最終迎來生態系崩壞。目前蜜蜂在農業生態系中接觸微量農藥的機率相當頻繁，人們應該從建立友善蜜蜂環境著手，找出農業生產永續發展的平衡點。



圖一、花蜜和花粉的農藥傳播途徑。含有農藥的花蜜（紅色）經由交哺行為廣泛傳遞，逐漸稀釋攝取劑量。含有農藥的花粉（藍色）不經混合或稀釋，幾乎完全由護士蜂取食，因此可能比其他蜂隻攝取更高劑量。護士蜂取食花粉轉化為腺體分泌物（紫色），並混合蜂蜜和花粉蜂糧，主要餵食蜂王和幼蟲。（圖修改自 Sponsler 與 Johnson，2017）