



益達胺對蜜蜂行為的影響

作者：楊思誠（臺灣大學昆蟲學系教授）

前言

殺蟲劑在害蟲防治上的應用，長期以來扮演著舉足輕重的角色，然而拿殺蟲劑來殺害蟲的同時，對於益蟲的影響是不能忽略的。養蜂人家都知道，如果放置蜂箱的地點附近有人噴灑農藥，放蜂外出採蜜的結果就是死路一條。近年來人們所憂心的蜜蜂消失(即蜜蜂蜂群衰竭症候群, colony collapse disorder, 簡稱CCD)狀況，除了病毒病潛藏著危機之外(請參考本專訊五十一期由盧美君等所著「台灣地區蜜蜂病毒監測」一文內容)，在美國，這些發生CCD的蜂箱亦被檢測出殺蟲劑殘留。在CCD的蜂箱中所檢測出殘留量最高者為新型新尼古丁類殺蟲劑之一的益達胺(imidacloprid)。益達胺為接觸性與胃毒性之系統性殺蟲劑，是一相當普遍使用的殺蟲劑，不但效果好，對人的毒性低，價格也便宜，因此廣受農友喜愛。其實，1990年代初期歐洲爆發蜜蜂大量死亡事件的時候，蜂農便質疑是因為是拜耳公司所販售的向日葵種子(亦稱高巧種子Gacho)外層所披覆的益達胺膜衣所致。由於益達胺為一系統性藥劑，種子膜衣上的藥劑成分容易在土壤中由根部吸收，進而傳至植株上方的向日葵花朵。據此合理的推測，當蜜蜂飛至向日葵採集花粉、花蜜時，便有接觸到藥劑的機會。另一方面，由於是亞致死劑量的農藥殘留，蜜蜂並不會因為接觸到花朵上的藥劑而立刻死亡，因此來回採集的行為便增加了

與藥劑接觸的頻率。然而當法國蜂農在歐洲議會控訴拜耳公司的高巧種子是造成蜜蜂大量死亡的原因時，最後的裁決則是以向日葵花朵上益達胺的殘留量未達該藥劑對蜜蜂的半致死劑量而判決法國蜂農敗訴。

何謂亞致死劑量？

毒物的毒性強弱可由造成受試對象的死亡個體多寡之所需劑量(或濃度)來表示。簡單的說，半致死劑量(median lethal dosage, LD50, 或半致死濃度 LC50)即指引起一群受試對象50%個體死亡所需的劑量。若可引起受試對象全部死亡的最低劑量，則稱之為絕對致死劑量, LD100)，(或絕對致死濃度(absolute lethal concentration, LC100)。若能引起受試對象個別死亡的最低劑量，其低一檔的劑量即不引起死亡，則此劑量稱之最小致死劑量(minimal lethal dosage, 最小致死濃度MLC)。這些劑量或濃度的測定，皆為毒理學中常用來表示化學物質毒性的分級指標。而所謂的亞致死劑量(sub-lethal dosage或亞致死濃度)則是指，比MLD(或MLC)還低的劑量。換言之，就是不再引起受試對象死亡的劑量。

半致死劑量(或濃度)無法評估殺蟲劑對蜜蜂的影響

從上述事件的結局與對毒性劑量上的定義可明顯看出，若以殺蟲劑的半致死劑量來判定對蜜蜂的影響，實不合理。LD50與

LC50常被做為殺蟲劑的毒性指標，但是生物體受到殺蟲劑影響的程度，常會因殺蟲劑的劑量與濃度、影響的時間以及接觸藥劑的頻率等而有所差異。因此，對蜜蜂這類的有益昆蟲更應該去探討在低於LD50或是LC50的處理下，殺蟲劑對蜜蜂有何影響。然而，沒有更進一步對亞致死劑量的研究，無論是產、官、學界所能依據的仍然是半致死劑量的數據。依據我國農藥管理法的規範，農藥在上市之前，必須對蜜蜂進行急性毒半致死劑量的測定，以做為藥劑使用上對此有益昆蟲影響的依據。蜜蜂是社會性昆蟲，而社會性昆蟲的行為特色之一就是個體分工現象。其中，工蜂羽化後便從清潔育幼的巢內工作開始，進而轉換成來回於花叢與蜂巢間的採集工作，任一環節出錯都攸關蜂群的生存。

既然殺蟲劑的半致死劑量無法提供評估殺蟲劑對蜜蜂行為的影響，該選取何種蜜蜂的生理或行為反應來做為評估影響的標準呢？無可否認的是，我們對於這些未達最小致死劑量的殘留農藥是否對蜜蜂所造成的影響仍然處於非常粗淺的階段。由於各種不同作用機制的藥劑對蜜蜂產生的行為影響不一，很難由單一標準來判別，因此必須依照研究假說與試驗結果來推論對蜜蜂所產生的影響。在往昔研究發現，在低劑量處理下第滅寧(deltamethrin)會延遲蜜蜂返巢的時間並降低蜜蜂的取食活性，賽滅寧(cypermethrin)會導致蜜蜂消失不見，巴拉松(parathion)則會影響蜜蜂之間的溝通能力。此外也發現芬普尼(fipronil)、賽滅寧、撲克拉(prochloraz)與安殺番(endosulfan)會影響蜜蜂的嗅覺學習能力。以上這些殺蟲劑對蜜蜂的影響皆有可能會造成蜜蜂行為異常、族群衰落甚至導致蜂產品產量降低，並

造成經濟上的損失。因此，除了探討殺蟲劑的LD50之外，殺蟲劑對蜜蜂的活動性、方向性返巢能力、溝通能力(舞蹈)與取食行為(嗅覺學習技能)等影響的研究更為重要。目前與益達胺影響蜜蜂行為之相關研究如下：

益達胺對蜜蜂行為的影響

1. 益達胺對蜜蜂取食行為的影響

國外的研究發現，當給予蜜蜂取食含有益達胺濃度為 $6\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 20 ppb 、 $24\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 $48\mu\text{g}/\text{kg}$ 、 500 ppb 或 $1,000\text{ ppb}$ 的50%蔗糖溶液時，會降低蜜蜂前往取食的比例。另一方面取食含有益達胺濃度為 $50\mu\text{g}/\text{L}$ 的蔗糖溶液後，則會導致15.2%的蜜蜂產生不正常的取食行為(來回時間多於



圖一、工蜂取食含有益達胺的糖水後，立刻呈現明顯的三個行為特徵：(左)以前足連續刷洗觸角；(中)吐出中舌；(右)以前足連續刷洗複眼。



圖二、正常工蜂來回取食在300秒內就能飛回到餵食器。中毒的工蜂需費時超過300秒才能飛回餵食器。

300秒)。此外，濃度在600 $\mu\text{g/L}$ 時發現有34.4%的蜜蜂於當天消失不見，且消失的比例隨著益達胺濃度升高而增加。於處理後的第二天觀察發現，濃度在3,000 $\mu\text{g/L}$ 以上時，有少部份的蜜蜂喪失重新返回餵食器取食的能力。雖然這些消失不見的蜜蜂大部分皆能在處理後的第二天重新返回餵食器取食，但依然呈現不正常的取食行為。

2. 益達胺對蜜蜂學習能力的影響

口吻延伸反應(Proboscis extension response, PER)為蜜蜂受到糖水刺激後所產生的自然反應，但當蔗糖溶液中含有濃度為48 $\mu\text{g/kg}$ 或96 $\mu\text{g/kg}$ 的益達胺時，其PER會明顯下降。Decourtye等利用古典制約(classical conditioning)之原理將PER與味道結合並觀察蜜蜂的嗅覺學習能力，結果發現，益達胺濃度在12 $\mu\text{g/kg}$ 、24 $\mu\text{g/kg}$ 、48 $\mu\text{g/kg}$ 或96 $\mu\text{g/kg}$ 的處理下，其嗅覺學習能力皆明顯降低。但是同樣在48 $\mu\text{g/kg}$ 的處理下，Ramirez-Romero等的研究結果卻顯示，蜜蜂的嗅覺學習能力並不會受到益達胺的影響。

3. 益達胺對蜜蜂活動性的影響

2003年Medrzycki 等人發現，當給予蜜蜂取食含有益達胺濃度為100 ppb或500 ppb的蔗糖溶液時，工蜂活動的比例與速度皆明顯下降，且益達胺主要影響蜜蜂的時間為取食後的30~60分鐘，並在數小時之後其行為即會恢復正常。

4. 益達胺對工蜂歸巢比例的影響

2003年Bortolotti等人發現工蜂取食含有益達胺濃度為100 ppb、500 ppb或1,000 ppb的蔗糖溶液後，先將工蜂置於籠中約30~60分鐘之後再給予釋放。結果在500

ppb以及1,000 ppb處理下的工蜂則是完全消失不見。

5. 益達胺對工蜂幼蟲的影響

藉由餵食工蜂幼蟲0.4~8,000 ng 益達胺的水溶液，觀察該藥劑是否對幼蟲封蓋、化蛹與成蟲羽化造成影響。結果顯示，益達胺濃度2000 ppb以上，幼蟲的封蓋、化蛹及羽化率會明顯降低。雖然益達胺的亞致死劑量並未影響羽化率，但工蜂進行上述之古典制約學習能力測試，觀察PER反應時，發現其學習能力明顯降低，推測低劑量的益達胺可能影響蜜蜂的神經系統發育，進而造成工蜂喪失其訪花採蜜的功能。

結語

蜜蜂具有很靈敏的嗅覺，若劑量太高的農藥殘留在植物上，蜜蜂並不會接近。以益達胺為例，工蜂拒食藥劑濃度在1,000 ppb以上的糖水。然而，如上述數據顯示，在此濃度以下的確對蜜蜂的行為造成一定程度的影響。一個蜂巢就像是個王國一樣，試想一個王國中若「君不君，臣不臣」，則滅亡之時不遠矣。除了這些會造成昆蟲急性毒的殺蟲藥劑外，尚有些殺蟲劑的作用機制是改變昆蟲生理狀態的賀爾蒙類似物。例如昆蟲生長調節劑類(insect growth regulator)，其殘留也一樣不會立即造成蜜蜂死亡，但是一但蜂群遭到汙染了，根據宜蘭大學陳裕文教授的研究結果顯示，這類藥劑對於蜜蜂幼蟲生長、化蛹、羽化皆有影響。然而，農藥亞致死劑量的研究都還只是起步的階段，後續研究仍應著重於藥劑在蜂箱內的移行作用，探討蜂群在農藥汙染環境日益嚴重的情況下可能造成的危害與因應措施，以做為未來守護蜜蜂的第一道防線。