

# 農藥對蜜蜂的毒性

由於農藥的使用導致蜜蜂中毒，使蜂農遭受損失的事件層出不窮。但事實上，據專家測試，399種農藥對蜜蜂之毒性，經3萬次試驗的結果，有20%為劇毒，15%為中等毒性，65%為相對無毒或無毒。可見經常使用的農藥對蜜蜂為劇毒或中毒性的不及50%。因此，妥善地運用綜合蜜蜂管理策略，當可減少蜜蜂中毒。

可以朝下列幾項重點進行：(一)建立本省蜜蜂毒性測試方法，提供完備基本資料，供農藥管理及農民用藥之參考。(二)加強相關法規之訂定。(三)利用夜間施藥。(四)使用較低劑量，較低毒農藥，及持效性低之劑型。(五)衡量單劑或混合劑之使用。(六)添加忌避劑。(七)瞭解蜂群放置之安全距離。(八)預估及檢測蜜蜂之農藥中毒。

## 前 言

近年來有關農藥對蜜蜂之影響綜合論述性文章並不多見。Anderson & Atkins (1968) 參考198篇論著撰寫「與養蜂有關的農藥使用」一文，文中將毒性測定方法、不同種類農藥對蜜蜂之毒性，均有說明並論及蜜蜂中毒之原因，和引誘劑、忌避劑之使用，惟文獻較舊。Johansen (1977) 參考1967到1975年之文獻95篇，綜合報導「農藥和授粉昆蟲」，就中毒癥候、製劑選擇性、影響中毒原因、測試方法、造成之損失、賠償，加以說明。Atkins *et al.* (1978b) 在其論文「保護蜜蜂不受農藥為害之害蟲綜合防治策略」中，提綱挈領地說明如何運用防治策略來保護蜜蜂。Atkins *et al.* (1981) 的論作「減少農藥對蜜蜂之危害」，介紹測試方法、毒性分類和綜合蜜蜂管理策略，文章非常精闢，並附有經過測試的農藥等級和估計蜜蜂中毒的方法，極具參考價值。

歐洲方面，Oomen (1986) 已發展出標準測試方法和農藥危害蜜蜂評估之順序決策架構，並表列80種農藥之評估結果供作參考。Adey 等人 (1986) 著作「對蜜蜂安全的害物防治：為熱帶及亞熱帶使用之指導手冊」一書，提供了田間用藥計畫與操作的實物指導。除了基本的蜂群管理操作外，施藥技術、安全、防護等也有說明，並附錄344種藥劑對蜜蜂的毒性分級，還列出避免使用藥劑種類；建議傍晚、夜間或黎明時使用的藥劑及任何時間均可使用的藥劑名稱。

本省在農藥對蜜蜂毒性的評估工作起步較慢，何鑑光等 (1980) 曾評估5種殺蟎劑對蜜蜂的毒性；關崇智及齊心 (1984)，測定6種農藥對蜜蜂的毒性；本所 (1989) 也曾以局部滴加法、噴灑法和餵食法測試9種農藥對蜜蜂的毒性，測試方法簡單方便，可供以後訂定標準測試法之參考；另外，對不同日齡蜜蜂成蟲對農藥的感受性比較亦有測試 (1993)。有關蜜蜂因農藥中毒的綜合論述，張世揚先生於1983年及1988年分別有文章討論，內容相當精闢深入。

本文主要對蜜蜂中毒癥狀及中毒因子和綜合蜜蜂管理策略多加說明，希望對往後蜜蜂

因農藥中毒事件之減少有所助益。

## 中毒癥狀

蜜蜂中毒最普遍的癥狀為蜂巢前出現大量的死蜂，利用陶得死蜂陷阱 (Todd dead bee trap) 可得知，每天 100 隻死蜂是自然死亡的數目，200~400 則為輕微中毒死亡，500~900 為中度中毒死亡，1,000 或 1,000 以上則為高度中毒死亡。靈丹 (lindane) 和有機磷劑可使蜜蜂變得有攻擊性；DDT、有機氯 (chlorinated hydrocarbons) 和有機磷劑 (organophosphorus) 能造成蜜蜂茫然 (stupefaction)、麻痺、不正常的痙攣或迅速的運動和繞尾轉動。蜜蜂受到農藥中毒的影響，也會在蜂巢前的著陸板上跳不正常的傳訊舞。

許多蜜蜂受到加保利 (carbaryl) 和地特靈 (dieldrin) 毒害時，行動緩慢，2~3 天後死亡，老的外勤蜂在田間接觸到加保利的殘毒，會在巢前爬行不能飛；取食到加保利污染的花粉，也會造成剛羽化的工蜂死亡，這些花粉貯藏於巢脾中 8 個月之後仍具毒性；在巢內或巢前有蜂死亡，是標準的加保利和砷化物 (arsenide) 中毒的現象。

蜂王也會受到被污染花粉的影響而行為異常，如產卵不按常軌。當外勤蜂在田間受到污染返回巢中，蜂群變得十分騷動。工蜂常由蜜胃 (honey stomach) 中攜回致死濃度的殺蟲劑返巢。蜂王時常被罷黜，可能是由於蜂王質 (queen substances) 的分泌減少之故，因罷黜和蜂王質的出現與否關係密切。更由於使用多種殺蟲劑的結果導致無蜂王狀態，受到嚴重打擊和無蜂王的蜂群很難過冬。

典型的農藥中毒症狀，據張世揚描述有：

### 一、有機磷劑典型症狀

常有反芻作用 (蜂體潮濕現象)，失去定位能力 (lackadaisical)，許多留在巢內癱瘓及死亡，腹部膨脹，錯亂地清理自體，顫抖、翅呈現脫離，但前後翅仍常鈎在一塊，中毒死亡的比率高。

### 二、有機氯化烴劑典型症狀

動作怪異，活動不正常、顫抖、麻痺、拖著後足，翅離體軀，但仍常保持鈎在一起，不管症狀多嚴重，仍有許多蜂飛到田野，直到垂死邊緣，極高比率死於田野及途中。

### 三、氨基甲酸鹽劑 (carbamate) 典型症狀

具攻擊性、古怪的動作，然後不能飛翔，盲然昏睡像著涼，漸致麻痺至死亡，大部份蜂死於群內。蜂王常停止產卵，恢復產卵前，工蜂開始建造取代王臺。

### 四、雙硝基砒劑 (dinitrophenyl) 典型症狀

與有機氯烴劑相似，但消化道物質常現「逆流」，與有機磷相似，大部份蜂死於巢內。

### 五、植物性的農藥典型症狀

高毒性的除蟲菊 (pyrethrin) 也許會引起「逆流」，古怪的行動，然後不能飛行，從麻痺而昏睡，在短時間內垂死，蜜蜂常客死於途。其餘之藥，正常田間用量對蜂無毒。

## 影響因子

農藥的殘毒決定一種殺蟲劑在花期是否能安全地使用。乃力松 (naled) 乳劑，在夜間使用，雖然剛使用時的初毒 (initial toxicity) 高，但因對蜜蜂的殘毒期短，仍相當安全。

溫度對殘毒有相當的影響，如夜間的低溫能大大增加美文松 (mevinphos) 對蜜蜂的殘毒作用。炎夏之後不平常的寒夜，能造成葉部產生大量露珠，在此種情形下，殺蟲劑的殘毒增強，第二天就有許多蜜蜂被毒死。某殺蟲劑對蜜蜂的危害，有地區性的差異，多歸因於氣候，例如馬拉松在溫暖的加州，對蜜蜂有燻蒸作用，但在較涼的華盛頓州則無。美文松的殘毒在加州較短，可在蜜蜂不飛翔時使用，但在華盛頓州則整天都造成顯著死亡，在花期使用則不夠安全。

施藥的時間和前述因子有明顯的關係。在傍晚、夜間或清晨，適當施用短殘效性農藥，對蜜蜂之安全性相對提高。如蜜蜂造訪玉米的時間，一般是在每天 8 時至中午，85% 的玉米花藥自雄蕊中推出的時間是早上 4 時至中午，當溫度升高時，雙花藥管底部之開口張開，花粉開始篩出，蜜蜂則進入玉米田採集花粉，所以玉米田於下午 1 時至午夜，施用殘效性短的殺蟲劑，對蜜蜂的毒害最小。

蜜蜂蜂群的強弱對其受到農藥之毒害亦有影響。稠密的蜂群較衰弱的蜂群遭受的損失嚴重，因其有較多的工作蜂暴露於殺蟲劑的殘毒下。死亡情形則與蜂群和處理區的距離成反比。在亞利桑那州的棉花田，施用巴拉松即有此現象。相反地，當缺乏花粉和花蜜時，雖距蜂巢很遠處作處理，蜜蜂中毒仍十分嚴重。這種情形在距離 3 ~ 4 英里仍會發生。

蜜蜂的年齡也影響對殺蟲劑的耐藥性 (tolerance)，如剛羽化的蜜蜂對 DDT、地特靈和加保利敏感，老熟的蜜蜂對馬拉松 (malathion) 和巴拉松 (parathion) 敏感。在不同地區造成中毒問題差異的因子很多，如花粉和蜜源植物的獲得性，主要流蜜期和蟲害防治計畫時間的相關關係，害物為害的嚴重性，需要蟲媒的作物出現時期，作物使用的特殊情況和害物防治的方法、使用藥劑等。

## 綜合管理策略

### 一、測試法之建立

農藥的施用會對授粉昆蟲—蜜蜂產生不良影響，歐美各國在農藥管理上已注意到這個問題，在每種藥劑申請許可登記時，必須測定對蜜蜂的毒性，將其區分等級並於商品標示上註明，以防造成毒害。本省農藥管理法規也已注意及此，農民施藥時應考慮對蜜蜂的毒害。為促使農藥的使用能更安全，且兼顧益蟲保護，建立簡便可靠的毒性測定方法，以提供更完備的基本毒性資料，供農藥管理及農民用藥的參考，自當有其必要性。

荷蘭對評估農藥對蜜蜂毒害，提出一套頗有創意的系統性方法 (圖 1.)，認為農藥對蜜蜂的毒害不僅牽涉到毒性，也受到施用量和其他因子相當大的影響，因此危害分類時，最好將毒性和田間用量同時考慮方才妥當。故要分類一種農藥，要依順序決策架構而行，再依每一層次的問題 (在圖左邊) 和答案 (箭頭)，決定危害的等級 (在右邊)，或需更進一步進行下一層次的測試。每一層次的使用和特別處均有評註。



●例一：第滅寧 (deltamethrin)

第一層次：是

第二層次：是

第三層次：推薦劑量：5 ~ 12.5 g a.i./ha

口服 $LD_{50} = 0.079 \mu\text{g a.i./bee}$

接觸 $LD_{50} = 0.051 \mu\text{g a.i./bee}$

危害比率 =  $LD_{50}^{-1} \times \text{dose/ha} = 12.5/0.051 = 245$ ，而 245 介於 50 和 2,500 間，因此尚不能決定分級。

第四層次：無箱網試驗資料。

第五層次：田間試驗顯示，第滅寧造成的影響相當於或少於無危險性的參考藥劑裕必松 (phosalone)，故第滅寧在荷蘭被分類成對蜜蜂為無危險性殺蟲劑。

●例二：芬佈賜 (fenbutatinoxide)

第一層次：是

第二層次：是

第三層次：推薦劑量：375 g a.i./ha

口服 $LD_{50} > 10 \mu\text{g a.i./bee}$

接觸 $LD_{50} > 8 \mu\text{g a.i./bee}$

危害比率 =  $LD_{50}^{-1} \times \text{dose/ha} = 375/8 = 47 (< 47)$ ，比率小於 50 是為無危險性農藥。

●例三：益多松 (etrimfos)

第一層次：是

第二層次：是

第三層次：推薦劑量：500 g a.i./ha

口服 $LD_{50} = 0.09 \mu\text{g a.i./bee}$

接觸 $LD_{50} = 0.08 \mu\text{g a.i./bee}$

危害比率 =  $LD_{50}^{-1} \times \text{dose/ha} = 500/0.08 = 6,250 > 2,500$ ，故可將之區分為危險類之殺蟲劑。

此外，近年來本所在行政院農業委員會的補助下，發展出局部滴加法(使用原體)、餵食法及噴灑法(使用商品級)，以測定農藥對蜜蜂的急毒性，方法簡便可行，供試藥劑與 Atkins 等人 (1981) 所測的毒性相比較時，除安殺番 (endosulfan) 一種殺蟲劑歸類不同外，其餘均相符合(此方法提供農藥審查之參考)。另協助訂定適當供試蜜蜂成蟲之日齡，測知以 3 日齡成蜂對殺蟲劑感受性最高，且毒性反應穩定，用此作為急毒性測試的供試日齡，符合嚴格把關的原則。

二、加強相關法規之訂定

植物保護主管官署適時制定有關法規，立法通過，以保護蜜蜂不受農藥毒害，是養蜂業者所企盼的。一個結合養蜂業者、學者專家和主管官署有關人員組成的公聽會，將是一

切法規草案擬定的基石。作者建議草案中就下列事項進行討論：

(一)訂定農藥對蜜蜂毒性之標準測試法。

(二)建議政府採納 Atkins 等人 (1981) 之農藥對蜜蜂毒性分類法，將蜜蜂相對毒性分成三類：1. 劇毒 ( $LD_{50}=0.001\sim 1.99\mu\text{g}/\text{bee}$ )，2. 中等毒性 ( $LD_{50}=2.0\sim 10.99\mu\text{g}/\text{bee}$ )，3. 相對無毒 ( $LD_{50}>11.0\mu\text{g}/\text{bee}$ )。

(三)加強並落實申請新農藥登記時的毒理審查工作，要求申請廠商提出蜜蜂毒性資料，若無此項資料，應依照標準測試法補做實驗，以補全之。

(四)在核准登記證時，規定依法於標籤上標明農藥對蜜蜂的毒性等級。

(五)制定法規及罰則，嚴格禁止農民於重要蜜源植物 (表 1.) 開花期間使用劇毒農藥。

(六)訂定大規模空中施藥對蜜蜂毒害的相關法規及賠償要點，以明蜜蜂因空中施藥中毒死亡時，責任歸屬問題，如此才能減少而且解決養蜂業者面臨之迫切問題。

表 1. 栽培種蜜源植物

---

糧食作物：水稻、玉米、高粱。

果樹及瓜類：龍眼、荔枝、西瓜、香瓜、梅、草莓、文旦、蓮霧、梨、枇杷、楊桃、番石榴、柑桔等。

油料作物：胡麻。

綠肥作物：油菜、紫雲英、田菁。

其他：油茶、蕎麥。

---

### 三、瞭解和利用蜜蜂行為，適時施藥

田間的溫度在  $13\sim 16^{\circ}\text{C}$  時，蜜蜂離巢外出覓食。當溫度低於  $21.1^{\circ}\text{C}$  時聚集的蜂團 (clustered bees) 就返回巢中，但雖然溫度高於  $21.1^{\circ}\text{C}$ ，由於一陣強風，也可迫使之返回巢中。擁擠的蜂巢中的蜜蜂，比不擁擠者更易在巢外形成蜂團，蜜蜂對一特定作物訪探的時間和強度，因花期豐度和吸引力而定，如苜蓿和棉花可整日吸引蜜蜂，胡瓜則在近午時分具吸引力。高粱、玉米和甜玉米，只能在早晨吸引蜜蜂，若是農民在下午、傍晚和晚上施用農藥，並無蜜蜂在這類作物上出現，而且殘留農藥得以消退，可以使蜜蜂受害減至不明顯的水準。一般而言，夜間施藥可以絕對地減少蜜蜂的損失。整個蜜蜂受農藥的傷害，至少可以降一級 (由中度死亡率降到低的死亡率，或由低到無)。因蜜蜂夜間不出巢，當然也不會受到農藥的傷害。表 2. 指出蜜蜂於 10 種作物上覓食的時間，並提出造成蜜蜂最小傷害的最佳施藥時間，可以做為適時施藥的參考。

另外，也可以利用時間的間隔來減少農藥對蜜蜂的傷害。充分的時間可以使農藥消退或破壞到不再對蜜蜂有毒害的程度。在經過一高毒農藥施用後數日，才將蜜蜂移入處理區，可以減少、避免或阻止蜜蜂受害，可參照表 2. 所列之資料來決定需經過多久的等待之後，才能將蜜蜂移入一經農藥處理之地區。

表 2. 蜜蜂和農藥之毒性：蜜蜂覓食模式與安全施藥之關係

作物種類	蜜蜂覓食時間	施藥最佳時間
苜蓿	7:00—20:00	21:00—6:00
鰐梨	9:00—19:00	20:00—6:00
甜瓜	7:00—19:00	20:00—6:00
棉花	5:00—19:30	20:00—4:00
卡地諾苜蓿	9:00—20:00	21:00—6:00
高粱	6:00—12:00	14:00—4:00
洋葱	7:00—19:00	開花前或謝花後數日
桃	6:00—17:00	18:00—4:00
紅花	6:00—14:00	16:00—4:00
甜玉米	5:00—13:00	16:00—4:00

#### 四、注意農藥之劑量、劑型和施用技術

田間實驗顯示，由於劑量、劑型的使用，會造成對蜜蜂死亡或毒性的差異。一般而言，施用液劑比粉劑安全。可濕性粉劑在噴施時較乳劑或水溶性乳劑危險性高，這種趨勢可能是由於蜜蜂對殘毒的沾取 (pickup) 不同所使然。微膠囊甲基巴拉松 (microencapsulated methyl parathion) 和花粉粒 (pollen grain) 體積相同 (30~50 $\mu$ )，很快地被蜜蜂所沾附，而導致嚴重的蜜蜂中毒，殃及幼蜂和剛羽化的工蜂。但普通甲基巴拉松乳劑在 0.25 1/A 劑量下的毒性卻僅及微膠囊型甲基巴拉松的 1/13。如果微膠囊型甲基巴拉松劑量由 0.5 lb/A 降到 0.25 lb/A，則可使蜜蜂致死率減低 20%。

細噴霧 (fine sprays) 較粗噴霧為低毒。但噴施未經稀釋的工業級農藥 (ULV)，可能比經稀釋過再噴施的毒性高，空中施藥對飛行的蜜蜂，遠較地面施用為危險。含農藥的誘餌，如含有蘋果渣者，會引誘蜜蜂，造成死亡。粒劑的使用，通常是最安全的處理方法。將溶媒和油狀物加入農藥中，可使蜜蜂更安全，如每加侖含 2 磅主成分的滅賜松 (demeton) 製劑，含有二甲苯 (xylene) 之量為每加侖含 6 磅主成分的滅賜松製劑的 7 倍，故較為安全。酸化劑 (acidifer) 能增進三氯松 (trichlorfon) 的效果，但並不會增加對蜜蜂的危害。泡沫添加劑 (foam additives) 用來減少噴藥時漂失 (drift) 產生的問題，也不會增加蜜蜂對測試農藥的殘留危害。所以選用能降低害蟲棲群到經濟為害限界的最低劑量，或選擇造成蜜蜂較低毒性的劑型，均為減少蜜蜂死亡的最佳利器。

#### 五、單劑和混合劑毒性之比較

在加州為防治整個害蟲複合體 (pest complex)，常於一次施藥時使用多種農藥，例如覆滅蟎 (formetanate) 和納乃得 (methomyl) 常混在一起使用，來防治採種用苜蓿的長蝽 (lygus)、蚜蟲、鱗翅類幼蟲和蝸類等。Atkins 等人 (1981) 經過 6 年測試 35 種以上的混合 (2~4 種同時使用)，認為農藥混合的危險性，較相同的農藥分別使用，對蜂群的傷害為輕。混合使用農藥，能減少總共的施用花費，減少蜜蜂和農藥的接觸，而不增

加其毒殺蜜蜂的總量，因此對蜜蜂的危害就減少。但是 Johansen (1977) 測試 2 種或 3 種殺蟲劑混合對蜜蜂的毒性，發現所有的實驗中，混合劑的危害遠較單劑為大，因此到底是單劑好，還是混合劑好，需要實際地進行測試才能判定。

#### 六、添加忌避劑以減少毒害

使用忌避劑來減少殺蟲劑的噴灑，對蜜蜂造成的危害，遠在 1970 年代早期 Johansen 已著手研究 (1977)。Atkins 等 (1975 a,b) 在實驗室內測試 143 種化合物，對蜜蜂相對空間及味覺的忌避或引誘性，及對蜜蜂的毒性、揮發性及藥害。並於 1971~1973 年，在田間試驗篩選 12 種化合物，發現葵基胺酸 (decylamine) 以 1.12 kg in 1121 water/ha 的量施於苜蓿花開時，可以使蜜蜂在 5.5 小時內，有 69.6 % 的平均忌避水準。而 2-ethyl-1,3-hexanediol 在 1.12 kg in 112 water/ha 的量，施於花椰菜開花時，7~2 小時內，有 42% 的平均忌避水準。這 2 種化合物可考慮使用作為蜜蜂的忌避劑。至於就化學構造而言，有效的忌避劑多為含有苯甲基 (benzyl)、苯基 (phenyl) 或甲苯基衍生物 (tolyl derivatives)，以不同的短碳鍵來取代。也有含醯胺類的衍生物 (amide derivatives) 和含有麝香草酚類 (thymol-like) 氣味的化合物。

Atkins 等 (1978 b) 將滅賜松加入甲基巴拉松中，作為忌避劑，可使對蜜蜂的危害減少 75%。滅賜松對蜜蜂為中等毒性，但對蝸類和蚜蟲有防治效果。在研究數種合成除蟲菊對蜜蜂的毒性時，顯示百滅寧 (permethrin) 以 0.2 lb/A 的濃度於夜間施用，對蜜蜂有「低」或「無」危害，但可抑制蜜蜂的造訪達 2 日之久。當百滅寧於清晨使用相同的量，可抑制蜜蜂造訪達 5 日之久，反應出其具忌避作用。第滅靈在夜晚、bioethanomethrin 於清晨施用，可抑制蜜蜂造訪 1~2 日而對蜜蜂無危害。此 2 除蟲菊精類可以用來作為具選擇性無毒的 (selectively nontoxic) 蜜蜂忌避劑。

張世揚 (1988) 認為最常採用的忌避劑有 2 種，即碳酸 (carbonic acid) 與丙酸酐 (propionic anhydride)，此外丙酸 (propionic acid) 及醋酸 (acetic acid) 也常被利用。這些忌避劑加入農藥桶內與藥水混合使用，可使蜜蜂厭惡，轉往他處覓食。本省果樹專業區經常施用農藥，花期施藥時若能配合忌避劑，將可減少蜂群損失，有益果花授粉。

#### 七、蜂群的放置及覆蓋

田間測試證實，距離提供了蜜蜂的保護，使不受農藥影響。蜂群置於棉花田與置於處理區的邊緣相比，離開 0.25~0.5 哩死亡率減少 35%，離開 0.5~1 哩減少 60%，離開 2 哩則減少 90%。這些研究指出，為什麼放置蜂箱在距離處理區 1 哩或 1 哩以上，對蜜蜂一般而言較安全的原因。

在清晨施藥時或施藥後，將蜂群用麻布或暗色塑膠布以帳幕形式覆蓋 1~2 小時，可增加保護。如麻布沾濕更可覆蓋 2 或 2 日以上。空中施藥時，覆蓋更形重要。如果是施用長殘效性的高毒性農藥時，最好的方法就是「遷地為良」。

#### 八、預估及檢測蜜蜂中毒

當農藥於清晨噴灑時，表 3. 可用來預測對蜜蜂危害的毒性程度。 $LD_{50}$  ( $\mu\text{g}/\text{bee}$ ) 可直接轉換成田間噴灑於植物上每英畝相同磅數的農藥。如巴拉松  $LD_{50}$  為  $0.175\mu\text{g}/\text{bee}$ ，在處

理時或處理後一段很短時間內的處理區中，我們可以預測 0.175 lb/A 的巴拉松會殺死 50% 的採集蜂。

表 3. 實驗室和田間之測試可決定農藥對蜜蜂之相對毒性

第一類：劇毒農業 (LD<sub>50</sub> = 0.001 ~ 1.99 μg/bee)

(毒性由強而弱依序排列)

農藥 (商 品 名、普 通 名)	實 驗 室 資 料 (註1)				殘毒對蜜蜂毒性之 田間測試資料(註2)	
	斜律值	LD <sub>10</sub>	LD <sub>50</sub>	LD <sub>90</sub>	天 數	危 害
tepp	0.68	>0	0.002	0.197	0.5 (H)	ML
bioethanomethrin	3.95	0.017	0.035	0.074	0.5 (H)	L
resmethrin	4.17	0.031	0.062	0.126	—	—
第滅寧 decamethrin, Decis®	4.88	0.037	0.067	0.124	1.5 (H)	NIL
護賽寧 Pay-Off®	3.37	0.035	0.078	0.172	0.5 (M)	NIL
陶斯松 chlorpyrifos, Lorsban®, Dursban®	10.17	0.083	0.110	0.147	2-3.5 (H)	M-MH
甲基巴拉松 methyl parathion	5.13	0.063	0.111	0.197	0.5 (H)	H-VH
加保扶 carbofuran, Furadan®	6.14	0.092	0.149	0.241	3>5 (H)	M-H
百滅寧 permethrin, Ambush®, Pounce®	5.52	0.094	0.159	0.272	>5(VH)	L
巴拉松 parathion	4.96	0.098	0.175	0.321	1 (H)	H-VH
撲滅松 fenitrothion, Sumithion®	5.75	0.105	0.176	0.294	—	—
大滅松 dimethoate, Cygon®, De-Fend®	5.84	0.115	0.191	0.316	1-3.5 (H)	M-VH
滅大松 methidathion, Supracide®	8.48	0.167	0.237	0.335	2.5 (H)	MH
一品松 EPN <sup>1</sup>	4.31	0.119	0.237	0.469	1.5-3 (H)	H
甲基巴拉松(微膠囊劑) methyl parathion, encapsulated, Pennacap-M®	5.13	0.136	0.241	0.428	>5 (H)	H-VH
益多松 etrimfos, Ekamet®	2.52	0.082	0.264	0.850	—	—
mexacarbate, Zectran®	4.87	0.165	0.302	0.553	3 (H)	H
雙特松 dicrotophos, Bidrin®	15.86	0.253	0.305	0.367	2-4 (H)	M-MH
美文松 mevinphos, Phosdrin®	7.77	0.209	0.305	0.446	<1-1.5 (H)	M-H
芬殺松 fenthion, Baytex®	6.14	0.197	0.319	0.515	—	—
繁福松 fensulfothion, Dasanit®	4.78	0.182	0.337	0.624	—	—
亞速靈 monocrotophos, Azodrin®	8.31	0.250	0.357	0.509	2-3.5 (H)	MH-VH
大利松 diazinon, Spectracide®	8.03	0.258	0.372	0.538	1-2 (H)	H
滅賜克 methiocarb, Mesuro <sup>1</sup>	3.35	0.154	0.372	0.896	—	—
芬化利 fenvalerate, Pydrin®	4.46	0.211	0.408	0.791	1 (L)	NIL
famphur, Famophos®	4.85	0.225	0.414	0.759	—	—
谷速松 azinphos-methyl, Guthion®	7.43	0.288	0.428	0.637	5 (H)	M-VH
免廠克 bendiocarb, Ficam®	3.28	0.174	0.428	1.05	—	—
乃力松 naled, Dibrom®	16.43	0.406	0.485	0.581	<1-1.5 (H)	MH-VH
二氯松 dichlorvos, DDVP, Vapona®	8.61	0.356	0.501	0.705	—	—
亞芬松 isofenphos, Amaze®, Oftanol®	6.61	0.388	0.606	0.947	—	—
丁基加保扶 carbosulfan, FMC-35001	4.69	0.362	0.678	1.270	3.5 (H)	ML
馬拉松 malathion, Cythion®	7.83	0.490	0.726	1.60	1-2 (M)	L-MH
乙基谷速松 azinphos-ethyl, Ethyl Guthion®	7.92	0.661	0.958	1.39	—	—
安美加 aminocarb, Matacil	3.61	0.494	1.12	2.53	—	—
益滅松 phosmet, lmidan®	3.55	0.495	1.13	2.60	3.5 (H)	MH-VH
歐殺松 acephate, Orthene®	8.26	0.841	1.20	1.72	2.5 (H)	M-MH

農 藥 (商 品 名 、 普 通 名)	實 驗 室 資 料				殘 毒 對 蜜 蜂 毒 性 之 田 間 測 試 資 料	
	斜 律 值	LD <sub>10</sub>	LD <sub>50</sub>	LD <sub>90</sub>	天 數	危 害
納乃得 methomyl, Lannate®, Nudrin®	2.39	0.374	1.29	4.42	1.5 (H)	L-M
安丹 propoxur, Baygon®	3.23	0.537	1.34	3.33	—	—
達馬松 methamidophos, Monitor®	10.61	1.04	1.37	1.81	1 (M)	LM
樂本松 stirofos, Gardona®	13.96	1.13	1.39	1.72	3.5-5 (L)	LM-M
芬滅松 fenamiphos, Nemacur®	5.25	0.81	1.43	2.50	—	—
福賜米松 phosphamidon, Dimecron®	12.74	1.15	1.45	1.83	2-5 (M)	M-VH
加保力 carbaryl, Sevin®	3.04	0.59	1.54	4.05	3-7 (H)	M-VH
必克蠟 bufencarb, Bux®	4.95	0.91	1.65	2.99	—	—
百粉松 pyrazophos, Afugan®	3.48	0.79	1.85	4.32	—	—
砷劑 arsenicals	1.22	2.47	27.15	299.04	—	—

第二類：中等毒性農業 (LD<sub>50</sub>=2.0 ~ 10.99 μg/bee)

(毒性由強而弱依序排列)

農 藥 (商 品 名 、 普 通 名)	實 驗 室 資 料				殘 毒 對 蜜 蜂 毒 性 之 田 間 測 試 資 料	
	斜 律 值	LD <sub>10</sub>	LD <sub>50</sub>	LD <sub>90</sub>	天 數	危 害
亞培松 temephos, Abate®	2.56	0.44	1.40	4.42	0-3 (M)	L
demeton, Systox®	10.02	1.27	1.71	2.29	1 (L)	L
trichloronate, Agritox®	4.28	1.00	2.00	3.98	—	—
crotoxyphos, Ciodrin®	15.42	1.92	2.31	2.78	—	—
Pyramat®	5.08	1.47	2.62	4.68	—	—
滅多松 oxydemeton-methyl, Metasystox-R®	2.49	0.88	2.86	9.35	0.5 (L)	M-H
佈飛松 profenofos, Curacon®	5.96	2.11	3.46	5.68	—	—
托福松 terbufos, Counter®	3.54	1.78	4.09	9.42	—	—
ethylan, Perthane®	4.01	2.19	4.57	9.57	—	—
普伏松 ethoprop, Mocap®	4.66	2.95	5.56	10.5	—	—
樂乃松 ronnel, Korlan®	2.11	1.39	5.62	22.6	—	—
二硫松 disulfoton, Di-Syston®	1.19	0.52	6.12	72.7	1 (L)	NIL
ethiofencarb, Croneton®	1.99	1.48	6.85	31.6	NIL	NIL
硫敵克 Larvin, thiodicarb	3.52	3.08	7.08	16.3	NIL	NIL
sulprofos, Bolstar®	5.53	4.43	7.22	12.3	—	—
大福松 fonofos, Dyfonate®	4.87	4.74	8.68	15.9	—	—
氯丹 chlordane	2.34	2.50	8.80	30.9	—	—
裕必松 phosalone, Zolone®	3.67	4.02	8.97	20.0	—	—
formetanate hydrochloride, Carzol®	4.21	4.57	9.21	18.6	2 (L)	L
福瑞松 phorate, Thimet®	1.27	1.00	10.25	104.8	<1-1 (L)	L
歐殺滅 oxamyl, Vydate®	5.81	6.17	10.26	17.0	3-4 (H)	VH
加芬松 carbophenothion, Trithion®	2.78	4.51	12.99	37.5	<1 (M)	L
加保力 carbaryl, Sevin® SL	1.57	2.07	13.72	>100	6 (MH)	H
比加普 pirimicarb, Pirimor®	2.87	6.71	18.72	52.2	0.5 (L)	L
加保力 carbaryl, Sevin® XLR	1.14	1.33	26.53	>100	>6 (H)	M
福化利 fluvalinate, Mavrik®	1.85	13.36	65.85	324.5	0.5 (L)	L-ML

第三類：相對無毒 (LD<sub>50</sub> 11.0 μg/bee以上) (依字母排列)

殺蟲劑和殺蟎劑 (商品名、普通名)

Acaraben®, chlorobenzilate	Murvesco®, fenson
亞烈寧 allethrin, Pynamin®	三亞蟎 Baam®, amitraz
美賜平 Altosid®, methoprene	蘇力菌 Bacillus thuringiensis, Bactur®, Bactospeine®, Bakthane®, Dipel®, Thuricide®
Birlane®, chlorfenvinphos	尼古丁 nicotine
Comite®, propargite	Omite®, propargite
cryolite, Kryocide®	得氯蟎 Pentac®, dienochlor
Delnav®, dioxathion	比加普 Pirimor®, pirimicarb
Dessin®, dinobuton	天然除蟲菊 pyrethrum (natural)
二福隆 Dimilin®, diflubenzuron	魚藤精 rotenone
三氯松 Dylox®, trichlorfon	sabadilla
愛殺蟲 ethion	Sayfos®, menazon
Fundal®, chlordimeform	加保力 Sevin® SL, carbaryl
Galecron®, chlordimeform	加保力 Sevin® XLR, carbaryl
玉米穗蟲核多角體病毒 Heliothis polyhedrosis virus	Smite®, sodium azide
大克蟎 Kelthane®, dicofol	得脫蟎 Tedion®, tetradifon
福化利 Mavrik®, fluvalinate	Tetram®
methoxychlor, Marlate®	普硫松 Tokuthion®, prothiophos
三亞蟎 Mitac®, amitraz	得拉松 Torak®, dialifo
蟎離丹 Morestan®, oxythioquinox	Zardex®, cycloprater
百蟎克 Morocide®, binapacryl	

殺菌劑 (商品名、普通名)

百粉松 Afugan®, pyrazophos	copper 8-quinolinolate
得恩地 Arasan®, thiram	copper sulfate
三泰芬 Bayleton®, triadimefon	多寧 Cuprex®, dodine
免賴得 Benlate®, benomyl	cupric oxide
波爾多混劑 Bordeaux mixture	氫氧化銅 cupric hydroxide, Kocide®
四氯異苯腈 Bravo®, chlorothalonil	腈硫醌 Delan®, dithianon
copper oxychloride sulfate®	大脫蟎 Dessin®, dinobuton
納乃浦 Dithane® D-14, nabam	四氯丹 Difolatan®, captafol
錳乃浦 Dithane® M-22, maneb	百蟎克 Morocide®, binapacryl
鋅錳乃浦 Dithane® M-45, manzeb	邁隆 Mylone®, dazomet
鋅乃浦 Dithane® Z-78, zineb	嘉寶信 Plantvax®, oxycarboxin
三苯銜錫 Du-Ter®, fentin hydroxide	免得爛 Polyram®, metiram
Dyrene®, anilazine	滅達樂 Ridomil®
ferbam	Sisthane®, fenapanil
固歐寧 glyodin	殺蟎多 Smite®, sodium azide
護粒松 Hinosan®, edifenphos	可濕性硫黃 sulfur
Indar®, butrizol	得恩地 thiram, Thylate®

Lesan<sup>®</sup>, fenaminosulf  
蠟離丹 Morestan<sup>®</sup>, oxythioquinox

thyfural  
Vitavax<sup>®</sup>, carboxin  
ziram, Zerlate<sup>®</sup>

### 殺草劑、落葉劑和乾燥劑 (商品名、普通名)

草脫淨 AAtrex<sup>®</sup>, atrazine  
拉草 alachlor  
納得爛 Alanap<sup>®</sup>, naptalam  
Alopex<sup>®</sup>, clofop-isobutyl  
比達寧 Amex<sup>®</sup> 820, butralin  
克攔本 Amiben<sup>®</sup>, chloramben  
amitrole  
Ammate<sup>®</sup>, AMS  
Aquathol K<sup>®</sup>, endothall, dipotassium  
Avenge<sup>®</sup>, difenzoquat  
倍尼芬 Balan<sup>®</sup>, benefin  
Banvel<sup>®</sup>, dicamba  
本達隆 Basagran<sup>®</sup>, bentazon  
貝殺寧 Basalin<sup>®</sup>, fluchloralin  
DEF<sup>®</sup>  
Desiccant L-10<sup>®</sup>, arsenic acid  
滅落脫 Devrinol<sup>®</sup>, napromamide  
dichlorprop, 2,4-DP  
達諾殺 dinoseb<sup>®</sup>, dinitrobutylphenol  
diquat  
莫多草 Dual<sup>®</sup>, metolachlor  
endothall, sodium salt, Accelerate<sup>®</sup>  
Eptam<sup>®</sup>, EPTC  
Eradicane<sup>®</sup>, EPTC+safener  
草殺淨 Evik<sup>®</sup>, ametryn  
Evital<sup>®</sup>, norflurazon  
Folex<sup>®</sup>, merphos  
三氯比 Garlon<sup>®</sup>, triclopyr  
復祿芬 Goal<sup>®</sup>, oxyfluorfen  
Hoelon<sup>®</sup>, diclofop-methyl  
Hydrothol 191<sup>®</sup>, endothall monopotassium salt  
克草 Hyvar<sup>®</sup>, bromacil  
Igran<sup>®</sup>, terbutryn  
IPC<sup>®</sup>, propham  
達有龍 Karmex<sup>®</sup>, diuron  
Kerb<sup>®</sup>, pronamide  
拉草 Lasso<sup>®</sup>, alachlor  
理有龍 Lorox<sup>®</sup>, linuron

Betanal<sup>®</sup>, phenmedipham  
Betanex<sup>®</sup>, desmedipham  
氟乃淨 Bladex<sup>®</sup>, cyanazine  
亞喜芬 Blazer<sup>®</sup>, acifluorfen  
丁基拉草 butachlor  
butam  
cacodylic acid<sup>1</sup>  
Cambilene<sup>®</sup>, 2,3,6-TBA  
Caparol<sup>®</sup>, prometryn  
二氯苯腈 Casoron<sup>®</sup>, dichlobenil  
Chloro IPC<sup>®</sup>, chlorpropham  
可奪草 Cotoran<sup>®</sup>, fluometuron  
二、四—地 2,4-D  
普拔根 Milogard<sup>®</sup>, propazine  
必芬諾 Modown<sup>®</sup>, bifenox  
甲基砷酸鈉 MSMA  
邁隆 Mylone<sup>®</sup>, dazomet  
益覆滅 Nortron<sup>®</sup>, ethofumesate  
Paarlan<sup>®</sup>, isopropalin  
巴拉刈 paraquat  
滅殺草 Planavin<sup>®</sup>, nitralin  
Pramitol<sup>®</sup>, prometon  
福泰芬 Preforan<sup>®</sup>, fluorodifen  
草滅淨 Princep<sup>®</sup>, simazine  
Probe<sup>®</sup>, methazole  
施得圃 Prowl<sup>®</sup>, pendimethalin  
雷蒙得 Ramrod<sup>®</sup>, propachlor  
Randox<sup>®</sup>, CDAA  
樂滅草 Ronstar<sup>®</sup>, oxydiazon  
嘉磷賽 Roundup<sup>®</sup>, glyphosate  
Sancap<sup>®</sup>, dipropetryn  
滅必淨 Sencor<sup>®</sup>, metribuzin  
silvex, 2,4,5-TP  
Sinbar<sup>®</sup>, terbacil  
歐拉靈 Surflan<sup>®</sup>, oryzalin  
拔敵草 Sutan<sup>®</sup>+, butylate  
2,4,5-T  
Telvar<sup>®</sup>, monuron

滅落寧 Maloran®, chlorbromuron  
 MCPA  
 Methar®, DSMA  
 Tolban®, profluralin  
 畢克爛 Tordon®, picloram  
 三福林 Treflan®, trifluralin

Tenoran®, chloroxuron  
 多谷 TOK®, nitrofen  
 Turf Herbicide®, endothall, disodium  
 Vegadex®, CDEC  
 Zorial®, norflurazon

### 殺線蟲劑和其他 (商品名、普通名)

endothall  
 Exhalt® 800  
 勃激素 gibberellic acid  
 普伏松 Mocap®, ethoprop

邁隆 Mylone®, dazomet  
 N-Serve®, nitrapyrin  
 甘磷塞 Polaris®, glyphosine  
 Sustar®

註 1：以原體局部滴加處理蜜蜂

註 2：危害程度 L：低；M：中；H：高；LM：中低；MH：中高；VH：非常高。Nil：危害，—：缺資料

一般而言，斜律值為 4 或 4 以上時，只要稍微降低劑量，就可以使蜜蜂更安全。相反地，如果僅提高一點劑量，則造成頗高的危害。例如有一農藥其 LD<sub>50</sub> 為 1.0 μg/bee，如一般施用劑量在 0.5~1.5 lb/A，而其斜律值為 4，若此農藥施用劑量為 0.5 lb/A，就會造成 12% 死亡率；在 1 lb/A 則有 50%；在 1.5 lb/A 時，會造成 72% 死亡。

表 4. 更指出 LD<sub>50</sub> 為 1 μg/bee 時，不同之斜律值和施用量下，蜜蜂死亡率的期望值。任何已知斜律值 (或近似值) 的農藥，在不同的田間施用濃度下，可由表來預估蜜蜂死亡率。如一農藥施用濃度為 1.75 lb/A，其斜律值為 2 時，蜜蜂死亡率預估值為 68%。如斜律值 4 時，則死亡率為 82%，而斜律值為 6 時，死亡率為 97%。但非常重要，有些農藥的危險性可能比我們由實驗室資料而得的預估值高或低，就要看農藥是長效性或短效性而定。

表 4. 當農藥致死中量為 1 lb/A 時，在不同斜律值和不同劑量下蜜蜂死亡率的期望值

斜律值	在 不 同 劑 量 (lb/A) 之 死 亡 率									
	0.1	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	3.0	10.0
	低 於 致 死 中 量				LD <sub>50</sub>	高 於 致 死 中 量				
2	3	12	28	42	50	57	64	68	82	97
4	—	1	12	32	50	66	72	82	96	—
6	—	—	2	17	50	76	91	97	—	—
16	—	—	—	3	50	93	—	—	—	—

另外列線圖解 (nomogram) 的方法，較表 4. 的方法更能迅速地預測田間施用農藥造成蜜蜂的死亡率。這個方法也可預測當施用農藥防蚊或作森林、牧地和遊憩地區及居家庭院害物防治時，對蜜蜂的影響。

巴拉松之 $LD_{50}$ 為  $0.175\mu\text{g}/\text{bee}$ ，斜律值為 4.96，如果我們要施用巴拉松的劑量為 0.25 lb a.i./A 來防治害蟲，而防治區內有蜂群在為作物授粉，假使施藥期間蜂群未受保護，也未遷至安全處，此種劑量下的巴拉松對蜜蜂的危害性究竟是如何？讓我們看圖 2. 說明，在 A 框找出 $LD_{50}$ 為 0.175 lb a.i./A 的位置，在 B 框找出 0.25 lb a.i./A 的位置，由 A 框和 B 框標定出在 C 框的位置為 1.5 x，將 1.5 標定於 D 圖之左側垂直線上，再將斜律值標定於近 5 的橫軸上（因巴拉松之斜律值為 4.96），以尺將左側縱軸的劑量係數在 1.5 處和橫軸上的斜律值 4.96 連接，延長並使之和右側縱軸相交，交點處為死亡率 78%，故可推測 0.25 lb a.i./A 巴拉松可造成 78% 蜜蜂的死亡率。

另外，對蜜蜂因農藥中毒的檢測，也是十分重要的題課，可以使我們瞭解中毒的真正原因，而能及時採取適當的因應措施，以降低蜜蜂中毒的機會，減少蜂農損失。西德對蜜蜂中毒的檢測十分重視，1975 年全年有 400 件檢體，1984 年則近 1,000 件，檢測點遍及全國。美國也十分重視蜜蜂中毒，已分別發展出分析蜜蜂中含有機氯和有機磷劑、加保扶及納乃得的方法，可提供參考。

## 結 論

現代的耕作方法對蜜蜂中毒和授粉的影響相當顯著，殺草劑對蜜源植物的破壞，也是一個主要的原因。由於農作物上禁用長效性有機氯殺蟲劑，而以有機磷和氨基甲酸鹽來取代，對蜜蜂的危害更形嚴重。使用短效性的殺蟲劑會造成次要害蟲的問題，致使必需於開花期用藥。然而發展殘效性較長的有機磷劑，會造成其他問題，如馬拉松的 ULV、甲基巴拉松的微膠囊製劑等，對蜜蜂的危害更甚於一般的製劑。

發展選擇性殺蟲劑、有效的蜜蜂忌避劑和綜合防治計畫，能緩和這些問題，同一般殺蟲劑不同的劑型，對蜜蜂危害差異頗大，故選用正確的配方和適當的殺蟲劑，以及施用時間，能消除蜜蜂中毒。教導農民、蜂農和藥劑的施用者，如何來避免和減少問題的推廣教育，亦應重視。此外，農藥對蜜蜂毒性測試方法的建立，保護蜜蜂不受農藥毒害的相關法規訂定，也是主管官署當務之急。

A. 農藥之致死中量 lb a.i./A	B. 田間要施用之劑量 (lb a.i./A)								
0.175	0.04	0.09	0.13	0.175	0.22	0.26	0.31	0.35	
0.30	0.08	0.15	0.23	0.30	0.38	0.45	0.53	0.60	
0.40	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	
0.50	0.13	0.25	0.38	0.50	0.63	0.75	0.88	1.0	
0.70	0.18	0.35	0.53	0.70	0.88	1.00	1.23	1.4	
1.00	0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.0	
1.25	0.31	0.63	0.94	1.25	1.56	1.88	2.19	2.5	
1.50	0.38	0.75	1.13	1.50	1.88	2.25	2.63	3.0	
2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
2.5	0.63	1.25	1.88	2.5	3.13	3.8	4.4	5.0	
3.0	0.75	1.5	2.25	3.0	3.75	4.5	5.25	6.0	
4.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	
5.0	1.25	2.5	3.8	5.0	6.3	7.5	8.8	10.0	
6.0	1.5	3.0	4.5	6.0	7.5	9.0	10.5	12.0	
7.5	1.9	3.8	5.6	7.5	9.4	11.0	13.0	15.0	
10.0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5	20.0	
	C 使用劑量是LD <sub>50</sub> 的多少倍								
	0.25 x	0.5 x	0.75 x	1.0 x	1.25 x	1.5 x	1.75 x	2.0 x	

### D 預 報 圖

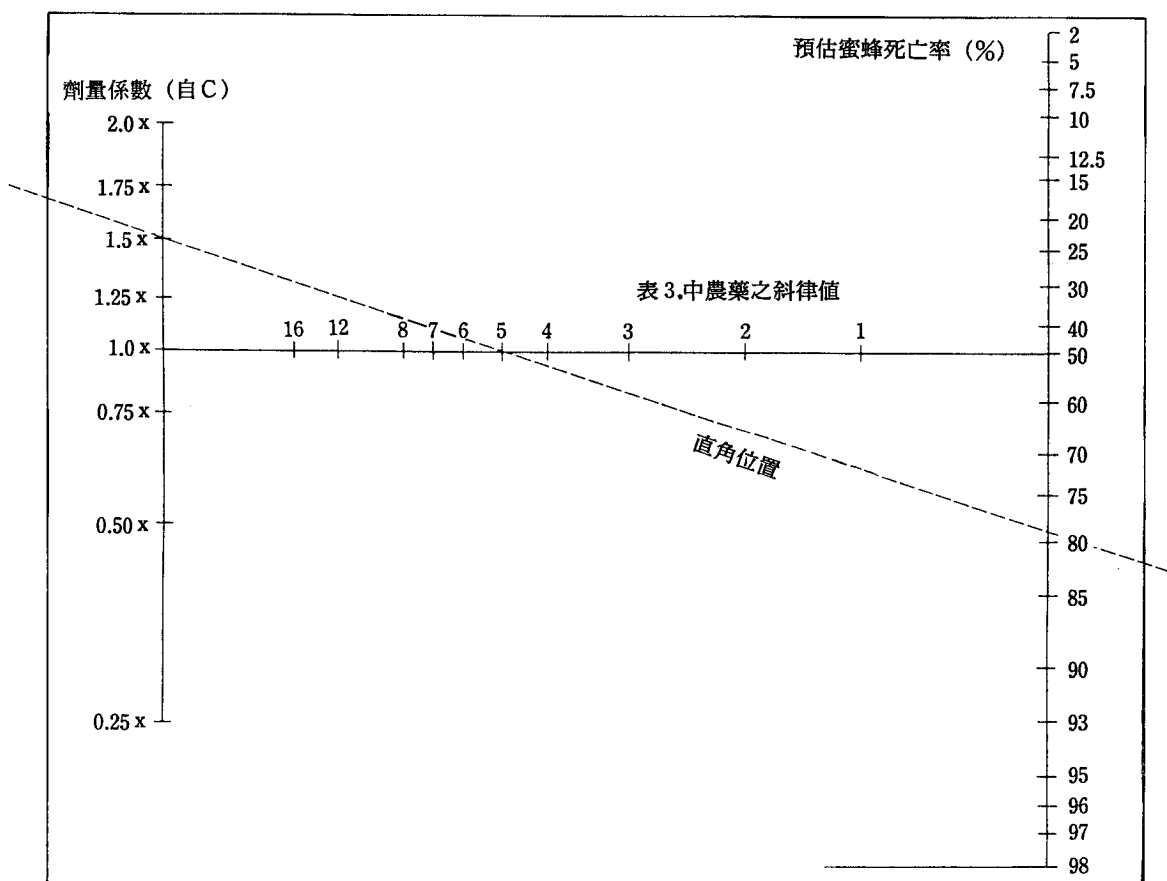


圖 2. 蜜蜂死亡率估計圖

- 一、在表 3. 中找出你要用的農藥的致死中量。在 A 框中找出其數值或近似值。
- 二、在 B 框中找出你要在田間實際使用之劑量或近似劑量。
- 三、從實際之劑量 (B 框)，從上而下在 C 框找出你施用之劑量是致死中量的幾倍，標定於 D 圖的左側縱軸上。
- 四、在表 3. 中找出你要用的農藥的斜律，並標定於 D 圖的橫軸上。
- 五、以尺連接左側縱軸上劑量係數和橫軸的斜律值，延長並使之和右側相交，在交點可讀出蜜蜂的估計死亡率值。

(資料提供：高穗生、曾經洲)