



# 微生物殺蟲劑

■ 高穗生 曾經洲 蔡勇勝 謝奉家

微生物殺蟲劑僅對  
單一類或單一種害蟲有毒性或病原性，  
不會為害處理區的有益昆蟲、  
野生動物、人類和非標的生物。

近來隨著國際貿易的快速成長和WTO的參與，新病蟲害問題不斷發生，致使農民無藥可施，甚而使用非推薦的化學藥劑進行防治。長期使用相同藥劑，又導致病蟲害產生抗藥性。短期或連續採收的作物，由於採收期間仍有病蟲害發生，被迫噴藥防治，使作物農藥殘留量超過標準。

此外，大量化學農藥的使用尚包括產生環境的污染，對非標的生物的傷害和生態平衡的破壞等諸多副作用。因此不論是站在降低對化學農藥的依賴性，或在有害生物綜合管理的策略應用上，生物農藥都提供了另外一種安全、經濟且有效的選擇。

根據農業委員會的定義，生物性農藥（生物製劑）是指天然物質如動物、植物、微生物和其所衍生的產品，包括「天然素材農藥」、「微生物農藥」、「生化農藥」和「基因工程技術產製的微生物農藥」，可用於作物病原、害蟲、雜草防治或誘發作物抗性的微



生物，或其有效成分經由配方所製成的產品。微生物來源包括細菌、真菌、病毒、原生動物等，一般由自然界分離而得，也可再經人工品系改良，如人為誘變、汰選或遺傳基因改造。生化製劑意指生化農藥，包括以生物性素材經過化學萃取或合成且無毒害的昆蟲費洛蒙等，如甜菜夜蛾性費洛蒙、斜紋夜蛾性費洛蒙等。天然素材是指不以化學方法精製或再加以合成的天然產物，包括菸鹼、除蟲菊精、魚藤精、藜蘆鹼、印楝、素皂素等。上述生物性原料可先經脫水乾燥等方式保存處理，再以壓榨、磨粉、製粒等物理加工程序精製。

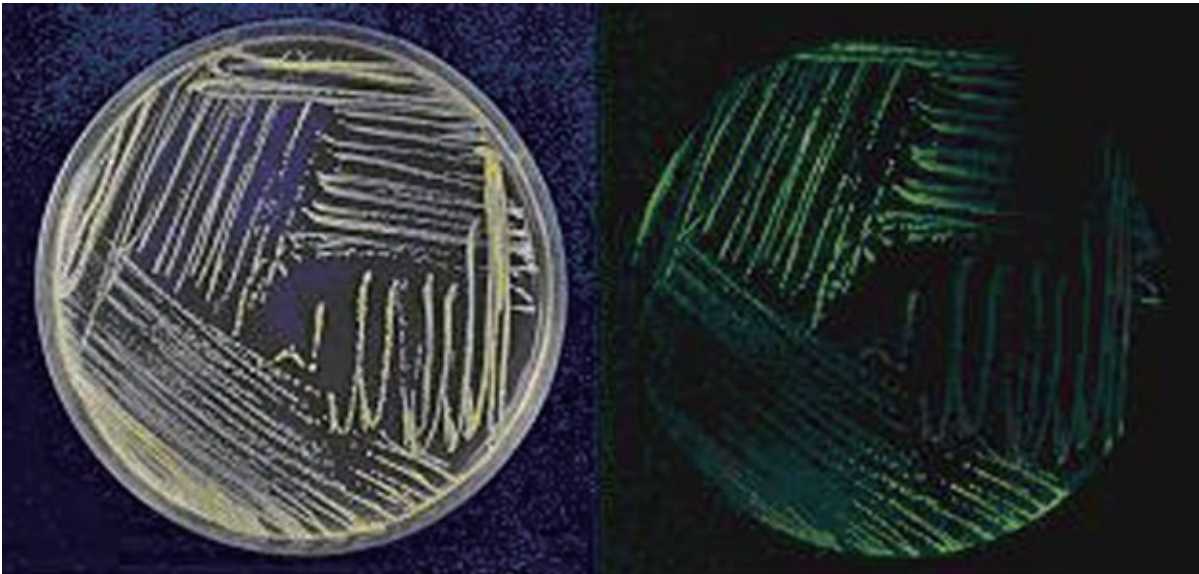
微生物殺蟲劑是微生物農藥的一種，用來防治有害昆蟲，它是由活的微生物（病毒、細菌、真菌、原生動物或線蟲）或這些微生物產生的代謝物質，經製劑配方調製而成。微生物殺蟲劑中使用的微生物，對野生動物、人類、非標的生物不具毒性和病原性，其安全性是強有力的支柱。微生物殺蟲劑僅對單一類或單一種害蟲有毒性或病原性，它的專一性顯示不會直接為害處理區的有益昆蟲（包括捕食性或寄生性天敵）。

必要時，微生物殺蟲劑可和合成化學殺蟲劑合併使用，因為在大多數情況下，殘

**不論是站在降低對化學農藥的依賴性，或在有害生物綜合管理的策略應用上，生物農藥都提供了另外一種安全、經濟且有效的選擇。**



微生物殺蟲劑是微生物農藥的一種，用來防治有害昆蟲，它是由活的微生物或微生物產生的代謝物質，經製劑配方調製而成。



光桿菌的一般菌落形態與綠色生物光

留的化學殺蟲劑並不會對微生物殺蟲劑造成不良的影響。作物接近採收時，仍可使用微生物殺蟲劑，因它的殘留量對人或其他動物無害。又病原微生物可在害蟲的棲群或棲所定殖，能夠對害蟲後續數季或世代提供防治效果。

## 細菌

大多數用於害蟲防治的細菌是桿菌，能形成孢子，形狀呈桿狀，通常存在於土壤中，而且大多數殺蟲的品系來自土壤樣品。細菌殺蟲劑必須經害蟲取食才有效，它們不是接觸性殺蟲劑。由單一桿菌種類組成的殺蟲劑，可能對整個目的昆蟲或少數種類有效，例如蘇力菌庫斯塔基亞種對許多蝴蝶和蛾類的幼蟲有殺傷力，而金龜子芽孢桿菌雖能殺死日本金龜子，對草坪上常見的近緣種類害蟲則無效。

蘇力菌是自1960年之後，美國廣泛使用的微生物殺蟲劑，可以用發酵槽進行工業化的生產。在適當的發酵條件下，細菌能夠生長和繁殖，且每一細菌產生一內生孢子和伴孢晶體（又稱為內毒素）。大多蘇力菌商品含有

孢子和伴孢晶體，也有僅產生伴孢晶體的。

當一感受性害蟲取食蘇力菌後，它的內毒素被昆蟲腸道內的鹼性條件和蛋白質分解酶所活化。被活化後的毒素的毒性，視昆蟲腸壁的特殊接受器的有無而定。這種毒素和接受器的配合，能決定蘇力菌亞種和分離株的殺蟲範圍。當活化的毒素和接受器結合後，麻痺並破壞昆蟲的腸壁細胞，使得腸道內含物進入體腔和血流中。中毒的昆蟲因為毒素的作用迅速死亡，或於2~3天內因敗血症死亡。雖然造成死亡需要數天的時間，但害蟲一旦取食蘇力菌產品後就停止取食，當然也就停止為害。

蘇力菌在環境中並不會增殖或再循環，它們會在受感染的寄主昆蟲體內增殖，但不會生產許多的孢子或內毒素。當感染的害蟲死亡後，很少或根本不會有感染單位釋放到環境中，因此，蘇力菌的施用和合成殺蟲劑十分相似。蘇力菌的失活在戶外相當快（在一天或數天之內），對某些害蟲而言，重複的施用是必要的。

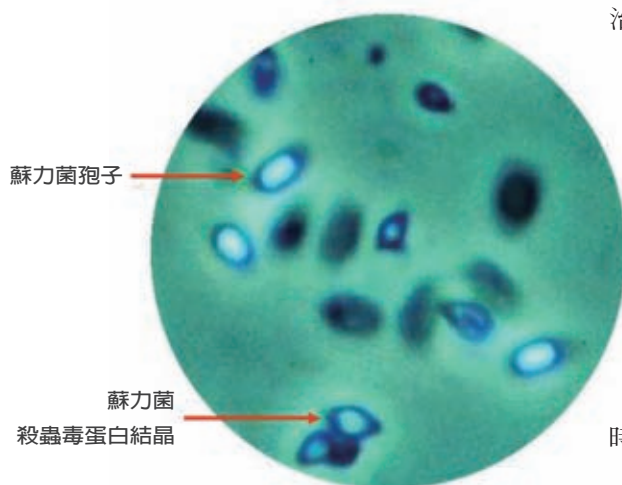
直到1980年代的早期，蘇力菌產品僅對毛毛蟲（鱗翅目的幼蟲）有效，近年來，

作物接近採收時，仍可使用微生物殺蟲劑，  
因它的殘留量對人類或其他動物無害。

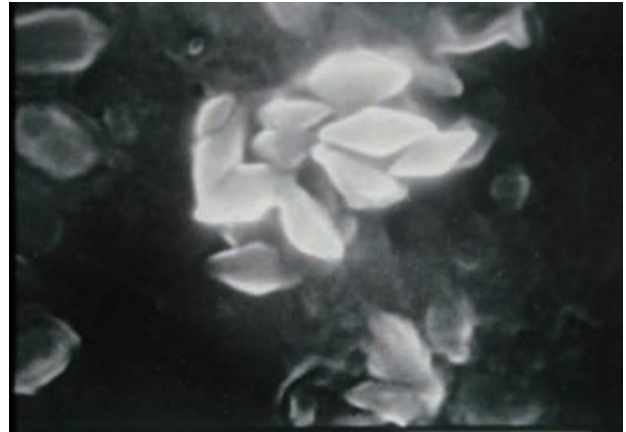
能防治其他種類害蟲的分離株逐漸被鑑定且開發成商品。蘇力菌內毒素的性質，隨蘇力菌亞種和分離株而異，特別的內毒素的特性決定了每種蘇力菌產品的殺蟲範圍。蘇力菌製劑的產品有下列主要的項目：

殺毛毛蟲（蝶和蛾類的幼蟲）的蘇力菌製劑—最為人所知、用途最廣的蘇力菌產品，是蘇力菌庫斯塔基亞種分離株，僅對蝴蝶和蛾類幼蟲具病原性和毒性，這類產品針對食葉性的毛毛蟲，包括蔬菜、林木和倉庫中的害蟲。還有一種蘇力菌鮎澤亞種製劑，用來防治蜂巢上的蠟蛾。殺毛毛蟲的蘇力菌並不能防治其他類型的害蟲，如蚜蟲、甲蟲、蠅類或其他蟲種。這類蘇力菌對某些生活在土壤中或鑽到植物組織中的毛毛蟲，防治效果也較差。

殺蚊子、蚋和蕈蠅幼蟲的蘇力菌—1980年代早期開始生產的蘇力菌以色列亞種，可殺死某些雙翅目幼蟲。蘇力菌以色列亞種的主要標的是蚊、蚋和蕈蠅幼蟲，並不能防治家蠅、厩蠅和麗蠅幼蟲，對蘇力菌最具感受性的種類包括斑蚊屬和鱗蚊屬。瘧蚊屬和家蚊屬的防治則需使用較高的劑量。



光學顯微鏡下的蘇力菌孢子和殺蟲蛋白結晶



電子顯微鏡下的蘇力菌殺蟲蛋白結晶

當防治以社區為範圍，地區滅蚊小組人員是執行人員時，利用蘇力菌以色列亞種防治蚊、蚋幼蟲的效果最佳。蘇力菌以色列亞種的製劑可以用噴施或粒劑的方式施用。以玉米穗軸製成的粒劑，能穿透且均勻地吹進車胎堆中，且殘效防治效果佳，用來防治孳生於車胎或其他人工容器中的蚊類幼蟲相當有效。

蘇力菌以色列亞種在防治混濁水和含有有機質污染物中的蚊子幼蟲時，效果並不佳，但可以有效地防治在溫室中和菇床上的蕈蠅幼蟲，使用時，可以把以色列亞種灌注於盆栽土或培養基質中。然而，並不是所有的蘇力菌以色列亞種都可用來防治蕈蠅幼蟲。

此外，圓形芽孢桿菌對家蠅蚊屬、鱗蚊屬和絨蚊屬特別具有活性，對斑蚊的活性則有變異。刺擾斑蚊非常具感受性，但埃及斑蚊（黃熱病和登革熱病媒蚊）和白線斑蚊則否。圓形芽孢桿菌在實驗室測試時能殺死瘧蚊的幼蟲，但田間測試效果不佳，因為瘧蚊幼蟲是真正的表面取食者，這種細菌要能在水面維持一段時間才能發揮效果。

除了能感染和蘇力菌以色列亞種不同的蚊子蟲類外，圓形芽孢桿菌對在靜水或

混濁水中的蚊類幼蟲都有效果，可以說是具有潛力的微生物殺蟲劑，它在環境中還能再循環。

殺甲蟲幼蟲的蘇力菌製劑—蘇力菌擬步形蟲亞種對某些甲蟲幼蟲有毒，但鞘翅目中的種類對這亞種的感受性有差異，可能是由於昆蟲腸壁中的接受器的差異所導致的。有時和標的甲蟲同一科或亞科的種類，並不具感受性。

其他的細菌殺蟲劑，包括使日本金龜子幼蟲受感染後變成乳白色的兩種病原，分別是金龜子芽孢桿菌及緩死芽孢桿菌。這二種桿菌不能以發酵方法生產，僅能以活蟲接種培養。如果在施用時環境中有其他幼蟲存在時，能再循環。當罹病幼蟲死亡後，可把細菌釋出，孢子在不受干擾的草坪下可存活15~20年，因此草坪不需要每年施用這類細菌。

## 病毒

許多昆蟲會受到病毒的傷害，但病毒寄主範圍窄，僅對單一的種類或單一屬的昆蟲有效。最具微生物防治潛力的病毒是桿狀病毒科，包括核多角體病毒屬和顆粒體病毒屬。超過400種昆蟲，大部分是鱗翅目，是

桿狀病毒的寄主。

病毒和細菌類似，經取食後才能感染寄主。膜翅目的昆蟲如鋸蜂，病毒的感染僅局限於寄主的腸道，病徵不如毛毛蟲明顯。毛毛蟲受到感染時，病毒粒子會穿過腸壁感染身體其他組織。在感染的過程中，毛毛蟲內部器官會液化、表皮褪色，最後破裂。因病毒感染而死亡的毛毛蟲，呈現柔軟而黏濕的狀態，時常附著在葉片或枝條上達數天之久，並釋出病毒粒子，感染其他取食的蟲隻。病毒可藉這方式傳播到整個棲群中，或藉雌蟲產下病毒污染的卵來傳播。此外，病毒會被紫外線破壞，因此陽光直射會妨礙其散播。

病毒殺蟲劑的開發受到一些限制，它不像蘇力菌一樣可以用發酵的方式生產，必須以活蟲來生產，因此耗時而昂貴。因為病毒對蟲隻的屬或種有專一性，每一種病毒殺蟲劑的市場都受到限制。這些經濟因素加上某些病毒殺蟲劑效果比合成殺蟲劑差，因此開發受到限制。但森林害蟲是病毒殺蟲劑的良好目標，因為不變的森林環境有利於病毒的循環（可從一世代傳播到下一代），森林的冠層也可以保護病毒的粒子不受紫外線的破壞。

在台灣，已開發出斜紋夜蛾核多角體病毒和甜菜夜蛾核多角體病毒，用來防治斜紋夜蛾和甜菜夜蛾，效果良好。然而因生產成本的關係，至今尚未上市。大多數病毒的寄主專一性高，僅對害蟲的幼蟲有效，農民一定要清楚分辨正確的蟲種才能對症下藥。此外，病毒易受紫外線破壞，因此須在黃昏或陰天使用，才能確保效果。

## 真菌

真菌和病毒一樣，時常扮演重要的自



受到斜紋夜蛾病毒感染死亡的斜紋夜蛾幼蟲





被病毒感染瀕死的甜菜夜蛾幼蟲

然防治角色，能夠限制害蟲棲群的成長。雖然不同真菌在不良環境、乾燥和紫外線照射下，呈現不同的存活力，但對某些昆蟲而言，仍是造成死亡的主要原因。

真菌的分生孢子能直接在昆蟲體表發芽，而且產生特化的構造，使得真菌能穿透表皮進入昆蟲身體，不需被害蟲取食才能造成感染。在大多數的情況下，在感染的過程中，受感染的昆蟲是被真菌毒素所殺死，而非因寄生造成的慢性作用致死。真菌感染害蟲的種類和生活期也有所不同，有些重要真菌的種類能攻擊許多害蟲的卵、幼蟲和成蟲，有些真菌則對幼蟲的種類具專一性。

許多因子限制了真菌殺蟲劑的開發，且大多數真菌殺蟲劑的量產仍是瓶頸。目前農業藥物毒物試驗所已經克服這困境，開發出液態自動化接種系統，省時省工又經濟，已獲得中華民國的專利。以4條生產線工作8小時的產量，可提供5,000公頃施用一次的劑量，而且生產線是可調整的，可隨需要而放大。另外，真菌殺蟲劑的製劑配方和櫥架壽命，是極需投入研發的重點。如果施用時環境條件合適，如高濕度和降雨時，真菌殺蟲劑會有很好的效果。主要的真菌殺蟲劑包括下列幾種。

白殭菌一是常見的土壤真菌，有較廣的寄主範圍如許多甲蟲和火蟻，能感染許多昆蟲的成蟲和幼蟲。在台灣的白殭菌，對小菜蛾、棕櫚象鼻蟲和入侵紅火蟻都有殺蟲效果。

綠殭菌一在美國東南部的大豆田中，綠殭菌自然發生的疫病能造成食葉性害蟲棲群戲劇性的減少。在台灣，綠殭菌於秋季和春季在中南部的蘆筍田、大豆田和花生田，也會造成夜蛾科幼蟲的流行疫病。

黑殭菌一在台灣，用來防治小菜蛾、甜菜夜蛾和椰子樹的紅胸葉蟲，成效卓著。

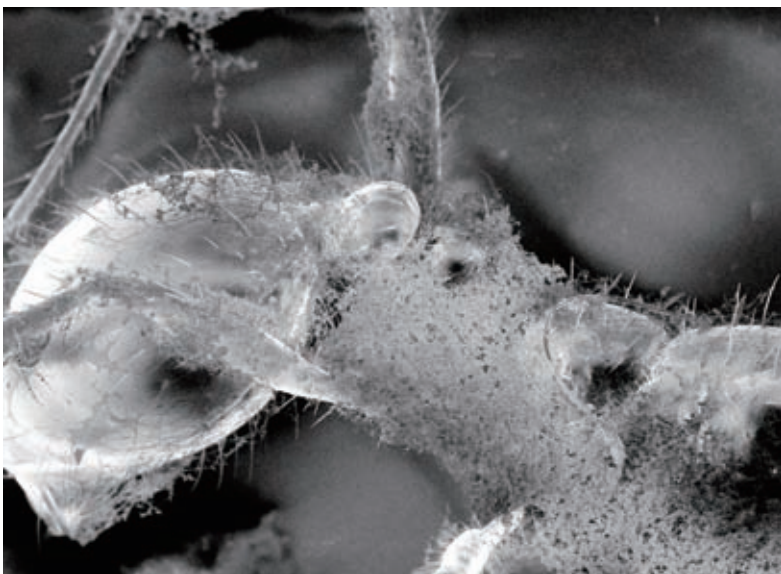
蠟蚧輪枝菌一可用來防治蚜蟲、薊馬和粉蝨。

大鏈壺菌一這種水生真菌對某些蚊子屬具有強感染性。它在水域環境中，雖然蚊蟲密度低，仍能有效地循環（受感染幼蟲產生的孢子具持效性，且能感染後續世代）。它的效果在高溫時則受到限制。

湯氏多毛菌一是柑桔銹蟬的病原菌。



液態自動化接種系統



入侵紅火蟻屍上長滿白殭菌

### 原生動物

在自然情況下，原生動物可感染相當多的昆蟲寄主。雖然這類病原菌能殺死昆蟲寄主，但更重要的是它的慢性作用會使寄主衰弱。受感染昆蟲後代的減少，是原生動物感染後的一個重要且常見的結果。

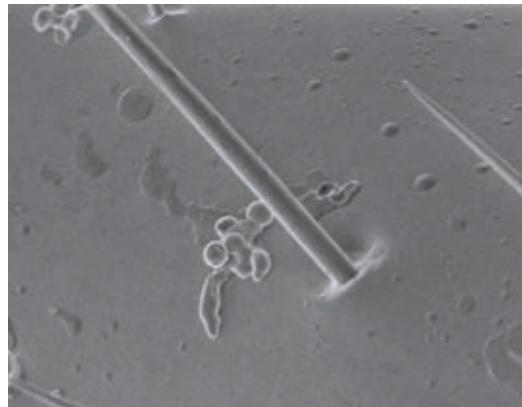
雖然原生動物在害蟲棲群的自然限制上扮演重要的角色，但鮮少適合開發成殺蟲劑。微粒子屬和變形微孢子屬似乎有潛力當作殺蟲劑使用（防治蝗蟲和相關的害蟲），當蝗蟲的若蟲取食後，就能有效地受到控制。然而感染的進程緩慢，在受到感染後3~6周才能殺死蝗蟲，且並不是所有受感染的蝗蟲都能被殺死。



被綠殭菌感染死亡的夜蛾科幼蟲



被黑殭菌感染死亡的楓蠶



白殭菌在入侵紅火蟻體壁上發芽

微粒子屬和變形微孢子屬原屬於原生動物界微孢子蟲門，但因為缺乏典型的粒線體、過氧化氫體和中心粒，並具有原核特徵的70S核糖體，已被重新歸類為真菌界微孢子門，認為微孢子是原始的眞核生物。

### 昆蟲病原線蟲

昆蟲病原線蟲會主動尋找寄主，侵染率及致死率高，寄主範圍廣，對人畜和環境安全，可以利用發酵法大量生產，施用方便，能以施用化學藥劑的器械施用，目前已廣泛用於鑽孔性、土棲性等隱蔽性害蟲的防治。

用於害蟲防治的昆蟲病原線蟲，有斯氏線蟲科的斯氏線蟲屬和異小桿線蟲科的異小桿線蟲屬。這二科線蟲的寄主範圍廣，含鱗翅目32科、鞘翅目18科、雙翅目20科，還有直翅目、等翅目、半翅目、同翅目、脈翅目、等翅目等。

這二種線蟲能形成特殊的侵染期幼蟲（包在第二齡幼蟲蛻皮殼內的第三齡幼蟲），能主動侵染寄主昆蟲，可經由昆蟲的口、肛



缺點或限制並不會妨礙微生物殺蟲劑的成功使用，  
了解特殊微生物的限制條件，  
有助於使用者採取有效的產品和必要的步驟以達到預期的效果。

門、氣孔或薄的體壁處進入昆蟲體內。一旦進入後，能迅速釋放共生細菌，不斷繁殖，把蟲體內的物質轉化為線蟲生長發育所必需的物质。同時造成昆蟲的敗血症，在24～48小時內殺死寄主昆蟲，並產生抗生物質，使昆蟲腸道內的微生物和土壤微生物的生長受到限制。

線蟲則在寄主昆蟲體內發育，待發育成熟就交尾，並在同一寄主體內繁殖2～3代，形成侵染性幼蟲，逸出體外侵染其他昆蟲。一般而言，斯氏線蟲在感染6～11天，異小桿線蟲在感染12～14天，才離開寄主昆蟲。線蟲的共生細菌，在斯氏線蟲是異桿菌屬，在異小桿線蟲則是光桿菌屬。本土光桿菌兼具殺蟲、殺菌、殺蟎和殺植物病原線蟲的功能，可開發成微生物製劑。

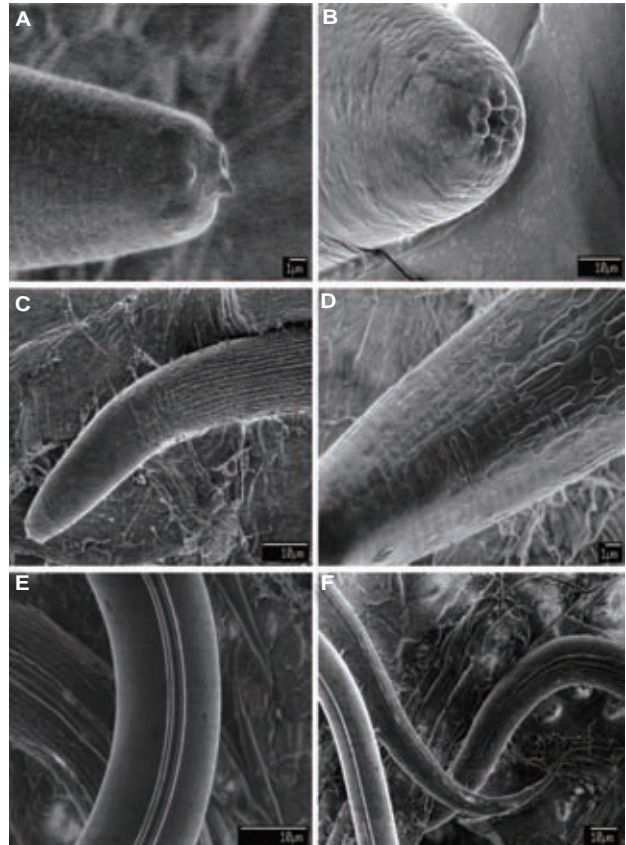
## 展望

缺點或限制並不會妨礙微生物殺蟲劑的成功使用，了解特殊微生物的限制條件，有助於使用者採取有效的產品和必要的步驟以達到預期的效果。因為單一的微生物殺蟲劑僅對特定的害蟲或一類害蟲有作用，一次施用到田間、花園或草坪，只能防治一部分的害蟲，如其他種類的害蟲也在處理區出現，則仍能存活且造成損失。事實上，傳統的化學殺蟲劑也不能對所有的害蟲都有相同的效果。然而選擇性的負面效果，在微生物殺蟲劑上較受到重視。

熱、乾燥或暴露於紫外線照射時，會減少微生物殺蟲劑的效果，適時的施用和施用技術就顯得格外重要。



被蠟蚧輪枝菌感染死亡的蚜蟲



短尾異小桿線蟲各部位的電子顯微鏡圖

某些微生物殺蟲劑須有特殊的配方和貯藏程序，雖然這些程序會使得某些產品的產製和配銷複雜化，但對容易取得的微生物殺蟲劑而言，儲藏的需求並不會嚴重限制它的買賣。然而，因為數種微生物殺蟲劑具有殺蟲特異性，所以潛在市場有限，研發、註冊和生產的花費，造成某些產品不易取得或價格較高(如數種昆蟲病毒產品)。

高穗生 曾經洲  
蔡勇勝 謝奉家

農業藥物毒物試驗所生物藥劑組