

生物農藥簡介

高穗生 組長

農業藥物毒物試驗所 生物藥劑組

前言

本省地處熱帶與亞熱帶氣候，高溫多濕，病蟲害種類繁多，又因本省農作物複種指數高，集約栽培的結果更導致病蟲害猖獗蔓延。長久以來農民為確保收成，多以施用化學農藥為主，以降低田間病蟲害密度，減少損失，維持作物產量和品質。

邇來，隨著國際貿易之快速成長與 WTO 之參與，新病蟲害問題不斷發生，農民無藥可施，甚而使用非推薦之化學藥劑進行防治；又長期使用相同藥劑，致使病蟲害產生抗藥性，短期或連續採收之作物，由於採期間仍有病蟲害發生，被迫噴藥防治，諸多因子使作物農藥殘留超過標準。

九十二年農業委員會公佈之資料顯示，抽驗田間即將採收及集貨市場蔬菜樣品 6,862 件中，合格率分別已達 98.9% 及 98%，一般水果 6747 件樣品合格率 97.5%，觀光果園採樣 548 件合格率達 94.5%。惟其中少數樣品超過容許量或測得含有「不得檢出」之農藥，引發媒體重視和消費者之疑慮，引起拒買的風波，農民亦遭受嚴重損失。

另外，尚包括農藥對環境之污染，對非標的的生物的傷害和生態平衡之破壞等諸多副作用。因此不論是站在降低對化學農藥之依賴性或在有害生物綜合管理(IPM)的策略應用上，生物農藥均提供了另外一種安全、經濟且有效的選擇。

生物農藥遠較傳統化學藥劑危險性較少；專一性較高。對人、畜、野生動物、害蟲的天敵和有益昆蟲無害；生物農藥使用少量即有效，分解快速，暴露風險低，無污染問題；無殘留量的問題，施用後可立即採收，不需訂定安全採收日期；可以作為有害生物綜合管理（Integrated Pest Management, IPM）的一個方法和化學藥劑搭配使用，可降低化學農藥之使用量；不容易產生抗藥性；研發費

用低，容易登記上市。

根據農業委員會之定義，生物性農藥係指天然物質如動物、植物、微生物及其所衍生之產品，包括「天然素材農藥」、「微生物農藥」、「生化農藥」及基因工程技術產製之微生物農藥。微生物製劑：用於作物病原、害蟲、雜草防治或誘發作物抗性之微生物或其有效成分經由配方所製成之產品，其微生物來源包括：細菌、真菌、病毒和原生動物等，一般由自然界分離所得，惟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：生化農藥則包括昆蟲費洛蒙等以生物性素材經過化學粹取或合成，惟其作用機制無毒害者，如甜菜夜蛾性費洛、斜紋夜蛾性費洛蒙等。天然素材：天然產物不以化學方法精製或再加以合成者，包括菸鹼(nicotine)、除蟲菊精(pyrethrum)、魚藤精(rotenone)、藜蘆鹼(sabadilla, vertine)印楝(azadirachtin)、素皂素(saponins)等。上述生物性原料可先經脫水乾燥等保存處理，壓榨、磨粉、製粒等加工程序，是以凡不以提高有效成分含量為目的之製程，不視為經化學方法精製。

根據美國環境保護署之定義，生物農藥與傳統化學藥劑有明顯的不同，因生物農藥具有無毒性的作用機制，標的的特異性，和在環境中能被生物所生產。若依來源作分類包括了：(一). 微生物農藥(microbial pesticide)，包涵細菌、真菌、藻類、原生動物或病毒。其作用機制可經由毒素的生產(如蘇力菌, *Bacillus thuringiensis*)、侵入寄生(如白殭菌, *Beauveria*)、病原性(如桿狀病毒)和競爭(如病毒用於植物之交叉保護)。(二). 生化農藥(biochemical pesticide)，有四個明顯的生物功能類別(1)化學傳訊素 (2)荷爾蒙 (3)天然植物調節劑 (4)酵素。(三)、植物生產之農藥(plant-produced pesticide)，包括導入植物中之物質，其目的在於將其作為農藥使用者。蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 屬於微生物農藥製劑的一種，而含有蘇力菌殺蟲基因的轉殖作物(transgenic crop)亦屬於植物生產之農藥。

但若依施用對象則可分為生物殺蟲劑 (bioinsecticide)、生物殺菌劑 (biofungicide)、生物殺草劑 (bioherbicide) 及生物殺線蟲劑

(bionematocide)。

微生物製劑

一、微生物殺蟲劑

蟲生病原，包括細菌、真菌、病毒、原生動物和線蟲。有些病原可在自然界害蟲棲群中造成流行病有些只會引起慢性病，亦有的不會產生流行病，其使害蟲罹病或死亡，亦因蟲種和病原的不同而有所差異。蟲生病原中之線蟲，體型較大肉眼可見一般不把它列為微生物，但總會在微生物殺蟲劑同時列入討論。

細菌殺蟲劑：只有少數昆蟲病原細菌，特別是形成孢子的三種桿狀細菌，蘇力菌、圓形芽孢桿菌和乳白菌有潛力被用做微生物殺蟲劑。

蘇力菌係一種會形成孢子的桿狀細菌，1901年由日本人石渡氏從病蠶體內分離出來以後，陸續在德國由粉斑螟蛾發現相似的菌種，以至後來在美國加州由Steinhaus氏發現成為微生物殺蟲劑，迄今已形成最廣受利用的蟲生病原。蘇力菌是革蘭氏陽性細菌，在產孢過程中，會產生結晶體，此結晶體呈現相當特異的殺蟲活性。大多數品系對些鱗翅目幼蟲具活性，但也有些對雙翅目或鞘翅目有效，有些同時對鱗翅目及雙翅目均有效，但數種產生結晶之品系，則不具毒性。這些結晶即delta-內毒素，由高分子量的蛋白質組成。產生內毒素的基因，可依據殺蟲活性範圍及其所錄譯內毒素蛋白質序列同質性關係將之分成50大類 (*cry1*, *cry2*, *cry3*, *cry4*, *cry5*...*cry50*)，334種明顯的殺蟲結晶蛋白質基因，和2大類細胞溶血因子基因 (cytolytic factor, *cyt1*及*cyt2*) 共24種細胞溶血因子基因 (Crickmore *et al.* 2006)。Thiery and Frachon(1997)依據蘇力菌營養細胞鞭毛H抗原，將之分成50個抗原種類，和63個血清型，可以減少研究人員在種以下分類產生之困擾。亞種和變種，均不如血清型在分類和鑑定上具可靠性。又根據Lecadet *et al.* (1999)和Yu *et al.* (1999)的報告更將蘇力菌分成70個抗原種類和83個血清型。

當蘇力菌的結晶毒蛋白被感受性的昆蟲取食時，受到中腸中的鹼性環境所溶解，釋放出原毒素。這些原毒素再被蛋白質酵素分離成65KD大小的抗蛋白質酵素的胜 即為毒素，經活化後之毒素與中腸上皮細胞刷狀邊膜之高親和性接受器結合。隨後毒素插入質膜，造成孔洞，擾亂了滲透壓，導致細胞的腫脹、解離。中毒的昆蟲迅速停止取食，終至死亡。蘇力菌有許多特質和缺點，與大多數合成的化學殺蟲劑不同，每一獨特的蘇力菌對標的害蟲，有相當高的選擇性，對他種動物和植物不具活性，故對非標的生物包括人類而言，相當安全，因而開發成本低。除具上述優點，亦有一些限制條件，包括生產問題、田間表現缺乏一致性、缺少經改良後之品種。這些問題可藉現代生物技術之應用來加以克服。

乳化病菌：另一種具有實用殺蟲效力的細菌生蟲病原為感染金龜子的乳化病菌，因罹病之金龜子幼蟲，其血液內充滿菌體，因此蟲體呈乳化狀，故稱乳化病。病原菌主要有2種：一為可形成孢子及孢側晶體，由其所感染發生的病為A型乳化病，主要感染日本金龜子；另一雖仍可形成孢子，但不產生晶體，所引起的疾病為B型乳化病，多感染歐洲金龜子類，其中尤以A型病菌較具實用潛力，目前已知70多種昆蟲對其具感受性。雖不能以人工培養基大量生產，但可容易地月金龜子幼蟲繁殖菌體，配製成商品，供金龜子防治之用。目前多種產品問世：Doom, Milky spore, Japidemic 及Grub Attack。

病毒殺蟲劑：昆蟲病毒可分為桿狀病毒科，呼腸孤病毒科，昆蟲痘病毒科，虹彩病毒科，包囊病毒科，雙節雙股RNA病毒科，Caliciviridae，野村病毒科，細小病毒科，微核糖核酸病毒科，Polydnviridae，彈狀病毒科，Tetraviridae，其他無包涵體病毒包括披蓋病毒科，黃病毒科和朋揚病毒科。昆蟲病毒中之桿狀病毒由於對害蟲有致病力，致死力，有儲存性和對環境安全，最適於做為害蟲防治劑。至於桿狀病毒在蟲害防治上之應用，最主要的方法在於將病毒製成殺蟲劑以噴灑方式使用，此外，尚有一些頗具前瞻性的防治法。包括：流行疫病的預測；古典生物防治；半古典生物防治；病毒資源管理；寄生性天敵和捕食性天敵之協助；自動傳染；病毒的早期引進；方格式引進。但由於病毒殺蟲時間長、寄生範圍窄、

在環境中易受紫外線破壞、毒力低，使得發展受到限制。可借製劑配方和遺傳工程來改善其殺蟲性質。紫外線保護劑、增強因子和佐劑之添加有助於其在田間之表現。另外，利用基因重組技術：可在病毒基因組中插入對昆蟲有一專一性的、激素或毒素的基因；病毒本身基因的修飾；異源病毒之重組等亦能改變病毒的殺蟲範圍和增加殺蟲效果。當包涵體被昆蟲取食後，在中腸鹼性條件下溶解。被釋放的病毒粒子經過昆蟲腸道之圍食膜，感染中腸上皮細胞，特別是柱狀和再生細胞。病毒在這些細胞之細胞核中增殖。易言之，細胞與細胞間之感染和蔓延主要是細胞外病毒之作用。在感染後期，病毒粒子則被包涵體包住形成包涵病毒OV，主導蟲與蟲間之感染(Volkman and Keddy, 1990)。核多角體病毒感染後，體色變黃、發白，行動異常，喪失食慾，最後體內組織液化，皮膚脆弱易破，流出膿狀之體液。一般發病後常向植物移動，倒懸其上而死。但桿狀病毒寄主範圍之特異性高，在自然界能造成流行病，降低昆蟲之棲群。故而，被認為農林害蟲具吸引力的生物防治劑，是化學防治之替代方案。桿狀病毒在全世界曾經成功地被用來防治許多害蟲包括蘋果蛀心蟲，花旗松毒蛾，甜菜夜蛾，松小眼夜蛾，秋粘蟲，甘藍夜蛾等(Vlak, 1993)。本省利用甜菜夜蛾核多角體病毒防治青蔥甜菜夜蛾，以斜紋夜蛾核多角體病毒防治花卉、蔬菜上之斜紋夜蛾均有良好之成果。吸腸孤病毒科中之細胞質多角體病毒，亦為重要的昆蟲病毒之一。此病毒與桿狀病毒之不同，主要在於其遺傳物質為RNA，病毒粒子呈20面體，感染部位為中腸的上皮層，在細胞質內複製。本省在1960年代松毛蟲發生嚴重，經林務局及當時的農復會引進細胞質多角體病毒配合蘇力菌和真菌加以防治，效果非常良好，使松毛蟲在多年來消聲匿跡。

昆蟲病原真菌：超過 400 種真菌為昆蟲之病原菌，許多真菌對鱗類幼蟲，蚜蟲，甲蟲幼蟲，蝗蟲和刺吸口器之半翅類害蟲扮演極重要的自然防治角色。大多數對具有潛力的真菌殺蟲劑研究集中在線菌綱，特別是世界種白殭菌和黑殭菌，另有其他屬真菌，諸如座殼孢菌，幹枝孢菌和多毛菌，這些真菌有著相同的特徵：一般感染是借分生孢於寄主表面，發芽管(germ tube)直接穿入胸腔，孢子形成發生

在真菌殺斃的蟲屍表面，具感染性的分生孢子為抵抗性孢子。雖然個別的真菌具有高度的寄主特異性，但蟲生真菌種類繁多，理論上，應有許多的真菌殺蟲劑對付多種昆蟲，但是僅有少數真菌殺蟲劑被發發出來。黑殭菌最早由梅契尼科夫，從一種罹病死亡之小麥吹粉金龜分離得到，後來經過多人之研究，證實其具有廣泛之致病力。早在日據時代(民國 1914 年)，日人三宅勉自夏威夷攜回寄生於該地甘蔗重要害蟲，夏威夷長象鼻蟲之一種病原真菌—黑殭菌。經安川榮多年試驗，曾於民國 1921 年至 1927 年之間，大量施放於柳營及東港兩地蔗園，對蔗龜之防治具有相當效果。1962—1971 年間，台糖公司進行黑殭菌寄主範圍之測試，並從事蔗田草蟬之防治，面積達 100 公頃。黑殭菌分佈全世界，對 200 種的昆蟲有致病性。本省數種重要害蟲，如紋白蝶、小菜蛾、斑飛蟲、瘤野螟、二化螟、蕉莖象鼻蟲、玉米螟、香蕉弄蝶、蠟蛾、犀角金龜，均易受該菌感染。又可椰子受紅胸葉蟲危害枯死累累，影響椰樹生長及產量至鉅，但不易以藥劑防治，寄生蜂之寄放雖頗具效果，但在某些地區，由於地理和氣候條件中之限制，族群建立不易。屏東技術學院，在潮州、龍泉及林邊地區，將黑殭菌以液狀方式固狀方式處理受害椰子，防治效果良好。另外，農藥所在青蔥上以黑殭菌處理甜菜夜蛾之防治成果卓著，已達推廣應用的階段。

原生動物：目前已知約有 210 種以上的原生動物可感染昆蟲，但大部分具有用於微生物防治潛力的種類，均屬於微粒子蟲科。這類原生動物的生活史複雜，可行無性及有性世代，亦可形成孢子(spore)，故在傳播及保存上有其優點。由於其為絕對寄生，故無法在生體外培養繁殖。另因其可經卵傳播，在實際用於害蟲防治上頗具價值。在目前為止，尚無原生動物的微生物殺蟲劑出品，但有兩種可有效地應用於害蟲防治法：一為 *Nosema locustae*，已被測試用於防治蝗蟲類；另一為 *N. pyrausta*，在美國玉米生產區廣受研究用於感染歐洲玉米螟，頗具制其棲群密度之效力，若能研究出適當的繁殖方法以及有效的使用方式，則具實用價值。

昆蟲病原線蟲：世界上至少有 25 種斯氏屬和異小桿屬線蟲數百個分離株，異小桿屬和斯氏屬種類的感染幼蟲能找尋昆蟲，穿透自然孔或骨間膜進入胸腔。線蟲含有

特殊的共生細菌異桿菌，能釋放到昆蟲血液中引起敗血症，一天左右昆蟲隨之死亡，此細菌對昆蟲病原性強，能提供線蟲主要的營養分，能產生抗生素，在線蟲增殖時保存昆蟲屍體不使腐敗。在兩週內感染幼蟲從昆蟲屍體遷出，能存活數月或立即感染昆蟲寄主。許多昆蟲皆受昆蟲病原線蟲感染，但昆蟲的感受性及線蟲的感染性變異相當大，並沒有單一的線蟲種類對大多數昆蟲種類均有極高的感染性，雖然蟲病原線蟲之寄主範圍廣，但其用於生物防治時卻侷限於土棲或鑽孔的昆蟲，因為線蟲需要一水膜方能遷移，在這種情形下，則有較微生物及殺蟲劑更明顯的優點，因其可主動找尋寄主昆蟲，線蟲對昆蟲專一性高，對脊椎動物或植物無害，美國環境保護署並不要求註冊登記。直到最近由於大量生產和大量貯藏的方法成熟，才使得昆蟲線蟲能以商業化的方式防治害蟲，目前為止，商業化使用僅侷限於小面積、高價位的作物，但在西方國家以斯氏線蟲已能經濟地防治葡萄黑耳喙象；甜菜夜蛾；朝鮮薊羽蛾；茶蔗透翅蛾；紅帶透翅蛾；刺槐木蠹蛾。上述案例線蟲均以淹沒式方式釋放，雖然線蟲在寄主棲群中會有再循環的現象發生，但是只要有新害蟲猖獗時仍需再施用。

二、微生物殺菌劑

植物之病害乃是由於病原菌、感受性寄主和環境相互作用之結果。因此，在防治之本質上，生物防治劑是以病害過程和病原菌做為標的。防治病害過程（指治療）之策略與防治病原菌是有差別的。能夠寄生和破壞病原菌的微生物，應在種植作物之前施用。微生物如其作用在於與病原菌競爭營養之供應和空間，或以分泌對病原菌有害之代謝產物（具抗生作用）阻礙病原菌之生長，這類拮抗微生物（antagonist），在種植時施用。與病原菌相競或直接攻擊病原菌之拮抗微生物可與土壤混合加到畦裏，進行種子處理，或做葉面或果實噴灑。微生物殺菌劑在設施作物和收穫後為害之處理較具成效，因環境因子較易控制。在防治農藝和園藝作物病害時，微生物殺菌劑和化學殺菌劑彼此互補之作用，故應和化學殺菌劑整合使用。根據微生物殺菌劑施用之標的，可將其分成三類：土媒病原菌，葉面病害及在儲

滅期收穫後之腐爛。至於一般拮抗微生物防治病害的主要機制，可被歸納成；競爭作用、抗生作用、寄生作用、細胞壁分解酵素以及誘發植物產生系統性抗病能力。用於土媒病害防治的細菌和放線菌類 (Actinomycetous) 之微生物殺菌劑，是以枯草桿菌 (*Bacillus subtilis*) 放線農桿菌 (*Agrobacterium rabiobacter*)，螢光假單孢菌 (*Pseudomonas fluorescens*)，*Burkholderia cepacia*，產氣腸桿菌 (*Enterobacter aerogenes*)，和淺灰綠鏈黴菌 (*Streptomyces griseoviridis*) 為主。空氣傳播植物病害之微生物殺菌劑：

哈茨木黴菌 T-39 之商品為 Trichodex®，可以防治葡萄之菊花灰黴病。*Ampelomyces quisqualis* M10 之商品名品為 AQ10®，螢光假單孢菌 A506 其商品名為 Blight Ban A506®，可以防治梨和蘋果的火疫病 (*Erwinia amylovora*)。

蔬果收穫後病害之微生物殺菌劑：丁香假單孢菌 (*Pseudomonas syringae*) ESC11 此拮抗細菌能有效地防治受傷的梨、蘋果和柑桔果實之擴展青黴菌 (*Penicillium expansum*)。亦可防治梨之菊花灰黴病。其商品名為 BioSavell®。Aspire®是以親油假絲酵母菌 (*Canadida oleophila*) 為主之產品施用到柑桔、梨果、葡萄和蘋果，保護傷口不受病原真菌的入侵。

三、微生物殺草劑

微生物殺草劑為植物病原菌、源自植物病原菌或其他微生物之植物毒素 (phytotoxin) 做為防治雜草之用。整個雜草生物防治之基礎，在於營造有利病原菌之生態平衡，促進疾病進行。故應篩選合適的病原菌或可在多樣性環境中有作用的病原菌。美國亞培公司註冊了一種棕櫚疫病菌 (*Phytophthora palmivora*) 用來防治柑桔園的莫倫藤 (*Morrenia odorata*)，其商品名為 DeVine®。阿肯色大學，美國農部和 Upjohn 公司合作開發出 Collego®，含有皂角長孢炭疽菌 (*Collectotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene*) 乾燥孢子。該菌為兼性腐生菌，

當接種到維州皂角 (*Aeschynomne virginica*) 時會造成寄主致命的莖和葉部之萎凋。加拿大沙斯卡頓市 (Saskatoon) 之 Philom Bios 生技公司開發出 BioMal® 的真菌殺菌劑。僅能感染加拿大西部雜草圓葉錦葵 (*Malva pusilla*) 並能非常有效地殺死它。

四、微生物殺線蟲劑

已知有兩類真菌具有殺線蟲的能力，第一類為線蟲捕捉真菌如 *Arthrobotrys*, *Dactylella*, *Monacrosporium* 及 *Nematoctonus* 等屬。會因線蟲存在的刺激產生捕捉構造 (predacious organs)，不同的線蟲捕捉真菌所產生之捕捉構造亦不同，以其菌絲特化所產生的粘著網、粘著球、收縮環或非收縮環等捕捉構造來捕捉線蟲。當線蟲在土壤中鑽行時，會被捕捉構造黏住，或是鑽入捕捉構造中，誘發捕捉細胞在短的時間內膨大，將線蟲緊緊的勒住而無法動彈。接著真菌便分泌酵素溶解線蟲體壁，吸收其養分供真菌生長之用。雖然捕捉線蟲的真菌確實對線蟲有防治的潛力，但土壤的環境複雜，往往所施用的真菌因為各種因素，例如真菌孢子在土壤中無法順利發芽、生長較慢等，使得線蟲捕捉真菌並不能發揮防治的功能，對於使用線蟲捕捉真菌來防治線蟲，仍有待更多的研究。但是，亦有商品上市，如法國生產之 *A. irregularis* (Royal 350) 及 *A. robusta* (Royal 300) 來防治根瘤及洋菇線蟲。第二類為線蟲內寄生真菌如 *Harposporium* 及 *Drechmeria conispora*。其孢子被線蟲取食後，在線蟲體內腸道發芽繁殖，使線蟲致死。此外台大應用真菌研究室也發現一種台灣特有之內部寄生性真菌，可寄生於松林線蟲體內，已命名為 *Esteya vermicola*。此真菌之生物學以及其生物防治之潛能，已被釐清，並且業已獲得美國及歐盟中之英、法、德、荷四國之專利，目前已於淡水之高爾夫球場、內湖之碧山巖露營區、苗栗法雲寺之黑松、琉球松或五葉松、二葉松於林間進行防治松材線蟲測試，以便發展成為生物防治劑。另有線蟲卵寄生菌淡紫青黴菌 (*Paecilomyces lilacinus*) 之產品。試驗結果證實細菌中之穿透巴斯德

芽孢菌 (*Pasteuria penetrans*) 和放線菌之薩臘賽鏈黴菌 (*Streptomyces saraceticus*) 對南方根瘤線蟲族群之發展有抑制作用。國內之巴斯德芽孢菌至少應用三種，一種為穿透巴斯德芽孢菌，另一種為 *P. thornei*，另外孢子大小為 5-6 μm 者，則有待命名。調查顯示，茛花、芋頭、苦瓜等作物之根域土壤鄰近之根瘤線蟲 *Meloidogyne* spp. 普遍被穿透巴斯德芽孢菌感染，其中尤以屏東社皮茛花園內根瘤線蟲 *Meloidogyne javanica* 之感染頻率最高。巴斯德芽孢菌為線蟲絕對寄生菌，目前只能以寄主繁殖，但具絕佳之寄主專一性，以及可以耐受各種惡劣環境之壓力，故仍應繼續探究其人工培養可能性，以便發展成為生物防治劑。

生化製劑（以性費洛蒙為例）

地球生物間廣泛存在「氣味」的溝通，維繫著許多的關係與現象如昆蟲與寄主、天敵與害蟲、雌蟲與雄蟲等之關係，科學家將這種生物間用來傳遞訊息之化學傳訊素 (semiochemicals)；依其作用於同種及不同種間導致行為改變者，分為兩大類即費洛蒙及異種作用素。費洛蒙為指一種由生物個體分泌出體外，可引發或刺激其他同種個體，產生某種行為反應的揮發性化學物質。其中由雌或雄成蟲分泌吸引異性前往交配以達繁衍子代目的者稱之為性費洛蒙 (sex pheromone)，如鱗翅目昆蟲性費洛蒙多由雌蟲分泌。目前，約有 1200 種以上昆蟲種類的費洛蒙組成份經鑑定，以鱗翅目昆蟲居多，約佔 60%。據 1990 統計已商品化之費洛蒙產品約有 270 種，包括蜚蠊目、雙翅目、同翅目、膜翅目及鱗翅目等，應用技術以監測者最多，其次為大量誘殺和交尾干擾法，分別施用於田間作物、蔬菜、果樹、森林等。台灣自 1983 年起至今，政府為降低殺蟲劑使用量，積極研發及推廣教育農民使用性費洛蒙綜合防治害蟲，費洛蒙種類包括楊桃花姬捲葉蛾、甘藷蟻象、茶姬捲葉蛾、斜紋葉蛾、甜菜葉蛾、二化螟、番茄夜蛾、蕪菁夜蛾、亞洲玉米螟和大豆擬尺蠖等重要害蟲性費洛蒙，以監測及大量誘殺技術，

分別應用於楊桃、甘藷、十字花科蔬菜、青蔥、落花生、大豆花卉、玉米及茶等作物。昆蟲性費洛蒙具無毒性、種別專一性、微量(0.1mg-50g/ha)即有效，具安全性、經濟有效、不污染環境的優點。其應用技術與產品正持續開發，目前以監測、大量誘殺、交尾干擾法等三種技術較為純熟。

基因轉殖植物在抗蟲上之應用

首先將蘇力菌殺蟲結晶蛋白質基因表現於植物上，而達到防蟲之效果是在1987年。當將菸草天蛾(*Manduca sexta*)初齡幼蟲放置於經轉殖之菸草葉片上，菸草產生足夠之內毒素，足以將之殺死。蘇力菌之殺蟲結晶蛋白基因可借腫瘤農桿菌(*Agrobacterium tumefaciens*)、粒子撞擊(particle bombardment)和電穿孔(electro-poration)的方法轉殖入植物染色體，從而產生含殺蟲結晶蛋白基因的轉殖植物。

孟山都將cry1Ac基因導入棉花，此基因轉殖之棉栽培品種商品名為Bollgard，對玉米穗蟲(*Helicoverpa armigera*)、菸蚜夜蛾(*Heliothis virescens*)和棉紅鈴蟲(*Pectinophora gossypiella*)有防治效果。含有Bollgard基因的轉殖棉栽培品種NuCOTN33B和NuCOTN35B，在1996年於美國栽培面積達1,800萬畝。

在澳洲，1996-1997轉殖棉花栽種面積大的有8萬公頃。主要為聯邦科學和工業研究組織(CSIRO)透過棉花種子銷售公司所經銷的品種，亦有少數為Delta and Pine Land seed所銷售的品種。

法國國家農業研究院(INRA)為了防治玉米穗蟲和海灰翅夜蛾(*Spodoptera littoralis*)，將蘇力菌結晶蛋白基因和蛋白酵素抑制劑基因轉殖到棉花中，希望含有兩種基因的棉花能延遲或阻止這些害蟲抗性的產生。

將經修飾過cry1Ab基因，於玉米之優良雜交種中表現，能對歐洲玉米螟(*Ostrinia nubilalis*)提供極佳的保護效果。此轉殖玉米與其他表現殺蟲結晶蛋白的玉米不同，因其含有玉米最適化基因(maize-optimized gene)和具組織

特異性的啟動子(tissue-specific promoter)，其cry1Ab蛋白質僅在與防治玉米螟蟲有關的組織中生產。在1996開始商業化的種植，生產種子。

表現cry1Ab基因的轉殖玉米雜交種，於1996年經Mycogen（產品為NatureGard）和Novartis（產品為Maximizer）公司開始售與農民，以防治歐洲玉米螟蟲。但含cry1Ab基因之轉殖玉米雜交種於1997年起才由數家公司大量的提供給農民。美國環保署已准許3種基因轉殖玉米：Mycogen event 176、Northrop King event BT11、和Monsanto event MON 810上市。Mycogen event 176在穗和穗絲上之表現低，而Northrop King event BT11和MON 810因利用CaMV35為啟動子，故整株植物均表現蘇力菌殺蟲結晶蛋白質而有較佳之殺蟲效果。

源自擬步行蟲亞種(*Bt tenebrionis*)之經修飾cry3A基因已轉殖到馬鈴薯上。此轉殖之馬鈴薯商品名為Newleaf™，是首次被美國環保署許可上市含蘇力菌殺蟲結晶蛋白基因之轉殖作物，能抵抗科羅拉多馬鈴薯甲蟲(*Leptinotarsa decemlineata*)之為害。

經修飾之cry1Ab基因已轉殖到梗稻，對2種主要害蟲瘤野螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)和二化螟(*Chilo suppressalis*)具有抗性。

借腫瘤農桿菌將源自蘇力菌擬步行蟲亞種之殺蟲結晶蛋白基因轉殖至番茄植株上，經轉殖之番茄表現殺蟲蛋白質(74kDa)，對科羅拉多甲蟲具有活性。中國大陸之科學家將CMV-cp基因轉殖到番茄，使之能對病毒具抗性，亦轉殖了蘇力菌殺蟲結晶蛋白基因，因而同時對害蟲也具抗性。

利用微彈丸撞擊(microprojectile bombardment)，將合成之cry1Ac基因和與HPH基因相連之35S啟動子基因，轉殖到大豆植株上。這些植株對玉米穗蟲、大豆夜蛾(*Pseudoplusia includens*)、菸芽夜蛾和黎豆夜蛾(*Anticarsia gemmatalis*)呈現不同程度之抗性。

豇豆(cowpea, *Vigna unguiculata*)之胰蛋白酵素抑制劑基因(Cowpea trypsin inhibitor gene, CpTI)已被分離出來，且經選殖轉入許多作物，能對抗害蟲之為害。譬如轉殖入菸草以防治菸芽夜蛾，馬鈴薯和番茄以對抗番茄蛾

(*Lacania oleracea*)，稻米對抗大螟(*Sesamia inferens*)和二化螟(*Chilo suppressalis*)，草莓以對抗葡萄黑耳喙象(*Otiorrhynchus sulcatus*)，萵苣以對抗澳洲日野黑蟋蟀(*Teleogryllus commodus*)，油菜以防鞘目害蟲，蘋果以防蘋果蠹蛾(*Cydia pomonella*)。

番茄抑制劑II基因表現於菸草，番茄抑制劑II和馬鈴薯抑制劑II基因(POT-II)於菸草和樺樹，腺花翼菸草(*Nicotiana glauca*)蛋白酵素抑制劑基因(NaPI)於菸草，以及來自水稻之半胱氨酸蛋白酵素抑制劑基因(OC-I)和來自大豆之雙頭絲氨酸蛋白酵素抑制劑基因(CII)，於油菜和白楊均能對害蟲之攻擊具抗性。

嵌合型豆凝集素基因(Chimeric pea lectin gene, P-Lec)，轉殖到菸草，可抵抗菸芽夜蛾之攻擊。石蒜科雪花蓮凝集素 (*Galanthus nivalis* GNA)對同翅目之害蟲有頗高之活性。GNA對褐飛蝨(*Nilaparvata lugens*)和黑尾葉蟬(*Nephotix cincticeps*)非常有效，對蚜蟲亦有效，能減低桃蚜 (*Myzus persicae*)之生長速率和降低雌蟲之產卵率。

能產生GNA之基因已轉入數種作物，轉入馬鈴薯後能抵抗馬鈴薯蛾為害，亦能防治馬鈴薯蚜蟲(*Aulacorthum solani*)。若將GNA基因與具韌皮部專一性之表現基因(phloem-specific expression gene)連結，對同翅目防治效果有顯著之增加。

源自四季豆(*Phaseolus vulgaris*)之 α -澱粉酵素抑制劑(α -amylase inhibitor)引入馬鈴薯和豆類，能抵抗害蟲之攻擊。經轉殖之菸草對球莖夜蛾(*Agrotis ipsilon*)具抵抗力。在澳洲CSIRO昆蟲組之研究人員，成功地將來自玉米穗蟲矮化病毒(*H. armigera*, stunt virus)之基因物質引入菸草和燕麥原生質體(protoplast)，下一步則包括將病毒基因引入整株植物。將昆蟲病毒基因表現於植物中，以前並無報導，此種嘗試能克服昆蟲病毒在田間作為生物防治劑之限制。此外，利用控制植物之二次代謝之基因來轉殖作物，亦是可行之方向。又，將編譯(coding)具不同作用機制之蛋白質基因堆積(stack)，可呈現

較佳之殺蟲效果。將經CpTI轉殖之菸草和經豆凝集素基因轉殖之菸草交配，可將CpTI和豆凝集基因結合，其害蟲損失可降低90%，而單獨之轉植株則僅降低50%。將CpTI和 Bt表現基因結合亦在於菸草上呈現協力之效果。將馬鈴薯中堆積GNA和豆類幾丁質酵素(bean chitinase)，亦能顯著地增加對馬鈴薯蚜蟲之保護效果。

結論

長久以來由於對化學殺蟲劑的過份依賴及不當使用，造成許多副作用，包括對環境的污染，昆蟲抗藥性產生，對非標的生物的傷害，殘毒問題和對人的危害和生態的平衡的破壞，罄竹難書，因此，要降低對化學殺蟲劑的依賴性或整合性之植物保護策略，不失為可行之道。所謂的整合性作物保護是以作物生產系統為主體，整合應用病、蟲、草、鼠等有害生物的防治技術，使其成為可行性的、整套的作物保護技術。強調防治技術之整合，必需合乎生態平衡原則，和妥善應用系統性的管理技術，以期安全、經濟、有效地防治有害生物。因此，整合性作物保護事實上是以整合性有害生物管理為基礎。所謂整合性有害生物管理，是針對有害生物進行系統性管理的體系，以農業生態系之整體作考量，以預防為主，充分發揮自然控制因子的作用，並因時因地制宜，協調應用安全、經濟和有效措施，將有害生物的棲群控制在經濟為害限界之下，期兼顧社會和經濟效益、環境品質，並確保農業之永續利用。

整合性有害生物管理的基本原則：

- (一)整合性有害生物管理是以生態學為基礎，故需考慮到農業生態系的複雜性和穩定性。對害物與作物、天敵、環境間之相互關係要有通盤瞭解，使防治措施對農業生態系的衝擊減低至最少。
- (二)要有容忍和共存共榮的觀念。由徹底消滅害物的策略應用發展到系統化的科學管理，釐訂關鍵害物的經濟為害界限，把害物控制在經濟為害水準以下，並不趕盡殺絕，可降低防治成本，並達到充分利用自然控制因子的調節作用。

(三)對防治對象和防治策略要有整體性和系統性之考量。防治對象範圍廣，包括病、蟲、草、鼠和其他有害生物，害物之間又有相互影響的特性，針對各別的有害生物所實施的防治措施，對整體系統會產生不同大小的影響。因此，要選擇和整合各項防治方法，使這些方法的協調和運用能夠達到最化，減少顧此失彼，相互抵消的缺失。

(四)加強有害生物的監測系統。發展診斷技術和調查技術與資訊系統，進行有害生物之預測和預報。

(五)節制用藥，合理地使用化學農藥。必要時選擇具有高度選擇性、生物分解性之藥劑，以免誤傷天敵和破壞生態環境。

整合性作物保護是符合永續農業的植物保護策略。作物病蟲害種類繁多，其生態各異，防治技術也多樣，應將這些資訊、知識與，技術，以作物為核心加以整合，經過評估，使成整套的作物保護措施，供農民使用。當前作物保護的發展應以非農藥防治技術和生物殺蟲劑為主，合理安全使用化學殺蟲劑為輔的整合性病蟲害防治策略，以便能標本兼治。