

生物農藥產業之現況及應用

高穗生

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：生物性化學製劑，如性費洛蒙等。天然素材：天然產物不以化學方法精製或再加以合成者。

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）和生物殺草劑（bioherbicide）。

本文將針對微生物農藥和生化農藥（以昆蟲性費洛蒙為例）之種類和功能有所著墨，並概述世界生物農藥發展之現況及展望與國內市場之潛力，另外，對生物農藥爾後研發之方向，亦提出管見，就教於同好。

微生物農藥

一、微生物殺蟲劑

感染昆蟲之主要微生物為細菌、病毒、原生動物、真菌和立克次小體。這些微生物會使昆蟲生長發育延緩、降低生殖潛能，或直接殺死昆蟲。細菌為最常使用之微生物殺蟲劑，病毒和真菌次之。

日本金龜子芽孢桿菌 (*B. popilliae*) 和緩死芽孢桿菌 (*B. lentimorbus*) 會造成日本金龜子和其他金龜子幼蟲的乳化病 (milky disease)。需利用活體培養生產困難，成本較高。而蘇力菌不需寄主也能繁殖，可以人工培養基培養，有利於商品化生產。蘇力菌是一種革蘭氏陽性、桿狀、能形成孢子的細菌，在芽孢生殖過程會產生殺蟲結晶蛋白質 (insecticidal crystal protein, ICP) 具有殺蟲的效果。蘇力菌可從許多地方分離出來，包括罹病蟲，昆蟲棲所，各種土壤，不同植物的葉片，植物源的材料，靜水和流水，海水，海和潮間混有鹽味的沖積物，牛犢之墊床和羊毛，哺乳類，爬蟲類和鳥類的排泄物，活化污泥等。1938 年在法國出現第一個蘇力菌產品，至今全世界蘇力菌產品超過 100 種以上，佔生物農藥販售量 90% 以上。因為蘇力菌的專一性和作用機制，被認為是蟲害防治的一種安全的選擇，一直是有害生物綜合管理較佳的防治法。目前主要的蘇力菌產品是由對鱗翅目有活性的庫斯塔基亞種 (*Bt kurstaki*) 和魚占澤亞種 (*Bt aizawai*)、對雙翅目有效的以色列亞種 (*Bt israelensis*) 和對鞘翅目有活性的擬步行蟲亞種 (*Bt tenebrionis*) 所組成。其劑型種類繁多，對農業、森林和衛生害蟲均有良好的防治效果。病毒亦有相當的潛力作為微生物殺蟲劑，超過 1,200 種病毒之寄主為鱗翅目，膜翅目和雙翅目，而桿狀病毒則最為人所知，包括核多角體病毒 (nuclear polyhedrosis virus, NPV) 和顆粒體病毒 (granulosis virus, GV)。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微生物防治劑，是化學防治之替代方案。至於桿狀病毒在蟲害上之應用，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。桿狀病毒適合做為生物性殺蟲劑，噴灑桿狀病毒來防治害蟲成功的例子相當多。到目前為止共有 32 種商品化之病毒殺蟲劑。真菌屬於植物界中的真菌門 (Eumycota) 蟲生病原真菌大約有 90 個屬和 700 種，可分為 5 個亞門：鞭毛亞門 (Mastigomycotina)、接合菌亞門 (Zygomycotina)、子囊菌亞門 (Ascomycotina)、擔子菌亞門 (Basidiomycotina)，和不完全菌亞門 (Deuteromycotina)。但只有少數的接合菌綱 (Zygomycetes) 之蟲霉目 (Entomophthorales) 及線菌綱 (Hyphomycetes) 之鏈孢霉目 (Moniliales) 的種類研究比較深入。主要用於害蟲防治的蟲生病原真菌均屬鏈孢霉目，鏈孢霉科 (Moniliaceae)，如黑殭菌 (*Metarhizium anisopliae*)，白殭菌 (*Beauveria bassiana*)，綠殭菌 (*Nomuraea rileyi*) 及蠟蚧輪枝菌等 (*Verticillium lecanii*)。原生動物體形小、單細胞生物，在許多棲所均可見到。其形狀，顏色，和形態變異頗大。它們具有有性和無性繁殖的現象。經描述 15,000 種中有 1,200 種與昆蟲有關聯，有的更具病原性。蟲生病原原生動物分屬於 6 個門：動鞭毛門 (Zoomastigina)，根足門 (Rhizopoda)，頂複合門 (Apicomplexa)，微孢子蟲門 (Microspora)，單孢子蟲門 (Haplosporidia) 纖毛蟲門 (Ciliophira)。有微生物防治的潛力之微孢子蟲門中，包括了微粒子屬 (*Nosema*)，具褶子孢蟲屬 (*Pleistophora*) 和變態微孢子蟲 (Vairimorpha)。目前只有蝗蟲微粒子病 (*N. locustae*) 一種原生動物登記上市，防治蝗蟲。

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，葉面病害及在儲藏期收穫後之腐爛。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、抗生素作用、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 (*Candida 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 viriginica*) 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，法國生產 *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*。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。

生化農藥 (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。

世界生物農藥之現況及展望

據華爾街雜誌報導“工業界不預期且不願生物農藥有迅速的景氣，因生物農藥會威脅其化學農藥的銷售”此種看法或許過度地簡化。但許多農藥工業龍頭因不明白生物農藥未來市場如何，而延遲介入此市場也是一個事實。

讓我們看一下，在 1991 年生物農藥在世界農藥市場之佔有率約在 0.5%，銷售量少於一億二千萬美金，但在 1993 年世界農藥市場約達二百五十億美金時，生物農藥佔有率為 1.5%，約為三億八千萬美金，成長速率驚人，達三倍之多。

在 2000 年全球植物保護市場總計為 337 億美元，除草劑，殺蟲劑及殺菌劑扮演最重要的角色，分別佔總市場的 46%，24% 及 15%，基因改造作物及生物農藥約佔 6% 及 3%。估計 2013 年後，植物保護總市場將倍數成長至 636 億美元，其中成長最快為基因改造作物及生物農藥，分別以 7.5 倍及 5 倍的速度大幅度增加。因為改造作物及生物農藥地位的躍升，整體之情形會有很大的變動，除草劑由 160 億美元增加至 210 億美元，保持領導地位，佔總市場 33%，其次則為基因改造作物，由 20 億美元，增加至 150 億美元，佔總市場的 23%，殺菌劑及殺蟲劑分別佔 16% 及 11%，生物農藥則由 10 億美元，成長至 50 億美元，佔總市場的 8% 之高。

為了要和傳統化學農藥競爭，任何生物農藥至少要和其傳統之競爭者一樣，要有效且便宜。但是如果消費者寧願認為環境友善比價格重要時，農藥界就會反應市場的需求，而增加其對生物農藥或其他低環境衝擊有害生物防治技術的重視。農藥界的龍

頭們寧願開發較佳而較安全的化學藥劑而不願進入生物農藥市場，然而拜爾公司最近發現要測試 46,000 種化學物，才只有一種有商業上的應用性。大環境對化學農藥的關心加上開發新化學產品的難度則是開發生物農藥強大動機。大多數農藥界的龍頭現在開始介入生物農藥市場，有的採取購併手段，有的則與很早就從事生物農藥的小公司聯手進入市場。

一般而言，如果任何一個標的市場的價值少於每年四千萬美金就不值得去研發一種新的化學農藥。因市場大小在四千萬美金的額度，才能有足夠的銷售來彌補一種新化學農藥高昂的研發和註冊的花費。如此限制了針對主要作物來開發新的化學農藥。生物農藥在研發和註冊的花費則相當便宜，正因為如此，市場小到一百六十萬美金就足夠讓一種生物農藥獲利。故而，在小利基(niche)市場如溫室作物，生物農藥非常成功。當然溫室環境容易控制，亦是大多數生物農藥可以發揮長處的所在。

生物農藥國內市場之潛力

發現生物農藥包括微生物殺蟲劑已經是一種世界性的潮流，可以維護農業生態的永續經營，台灣在農業生物技術研發高唱入雲之際，當然也不能自外於大勢之所趨。事實上，國內在生物農藥產業上有其獨特的優勢和利基。本省地處熱帶和亞熱地區，有 2/3 的面積為山地，高山聳立，生物相的分佈可自熱帶，溫帶到寒帶，因此有高度龐雜度的蟲生病原微生物資源。而且國內植物保護研究人員致力於生物農業之研發和推動已有相當時日，累積相當多的經驗與技術，有些特定的研究項目成效斐然，距離商品化的地步，就差臨門一腳。根據九十三年之農業年報顯示，目前本省葉菜類及連續採收之果菜類之栽培面積為 102,903 公頃，九十三年十二月之統計有機栽培農作物包括水稻，果樹，蔬菜，茶葉及雜糧等共計 953 戶種植面積為 1,246 公頃，邇來松材線蟲為害松林，疫情相當嚴重，而松樹林面積達 122,903 公頃。這些短期作物，連續採收的作物，有機栽培之作物，水源涵養地區之松林及城市內之行道樹，公園內之觀賞植物，均不適合使用化學農藥來處理，而生物農藥就成為唯一的替代方案。政府對作物之有害生物的綜合管理，亦有政策上之輔導和支援，更強化了生物農藥在 IPM 所

扮演的角色。再加上獨特的血緣和地緣關係與類似的耕作系統，使得台灣得天獨厚，有潛力成為亞太地區生物農藥之研發，產銷及應用技術中心。政府在台南設置台南科技工業園區農業生物技術產業專業區，亦在竹南科學園區設置生物技術產業專業區同時在屏東設立農業生物科技園區，並輔導，促進研究發展，運用民間科專及主導性新產品開發計畫補助研發經費。在推動投資方面，可運用行政院開發基金 200 億參與投資，推動成立生技創投公司。其目標在於建立農藥商品化生產技術及設備規劃，設廠；本土性生物農藥新產品開發；推動生物農藥之試量及生產工廠；生物農藥之註冊登記和推廣和應用。預期績效在期望新產品建立後，可減少進口數量，預估十年後產值達新台幣 50 億元；關鍵技術之建立將可促進相關工業升級；取代化學農業之使用，減少農藥殘留造成之社會問題；改善化學藥劑長期使用所造成之污染問題及對天敵和非標的生物之副作用，以提升大眾生活的環境品質和生態品質。論及生物農藥發展期程，據農業委員會九十一年十二月農業生技產業短中長期發展目標建議，近程（1-3 年）：本土微生物製劑之研發及量產配方技術之改進；中程（3-5 年）：篩選並改進本土微生物及量產方技術基因轉殖之研發；長程（5-10 年）：應加強基因改造之微生物農藥之研發。國內在真菌殺蟲劑之使用經驗已有 89 年（日據時代即開始）；蘇力菌有 45 年的使用經驗；桿狀病毒則有 25 年的使用經驗。前兩種微生物殺蟲劑可以使用發酵槽來產製，桿狀病毒則以活體培養的方法量產。目前農用微生物製劑之管理法規成熟，且農委會於八十七年四月八日完成部份條文修訂，將生物性農藥設廠納入管理。評估上述三種微生物殺蟲劑發展之潛力，競爭狀況，及國內已有之生物技術，法令規章，產銷能力，政策配合度，我們認為有優先開發之必要。在可行性規劃上應包括：技術特色；製造成本分析，製程，原料，人工，設備需求，廠房，工業區土地需求，水電，污染防治，運輸，倉儲，包裝，利懸；銷售通路及其費用；投資報酬率，現金流量，投資組合等之可行性；中長期新產品研發進度及未來市場潛力；經營團隊人力需求；上、中、下游相關產業之影響；週邊支援體系與產值評估。依據此規劃內容。就國內外有興趣投資之單位作一評估，並選其最具執行能力之單位進行初步接洽，以瞭解其投資意願及可能需協助之項目及方式。必要時亦可邀集數家單位共同合作以涵

蓋資金，銷售，生產，研發等不同層面之需求（張天鴻，1996）。以台灣中小企業強烈之企圖心和經營、行銷之能力，日本除外亞太地區的農藥市場（約 2,567 億美金，1997 年 BAA 之調查），將是國內生物農藥業者馳騁縱橫的疆場，50 億新台幣的產值，在未來（十年內）將不是一個夢。

結論

由於生物農藥對天敵，人，畜，植物安全無毒，選擇性強，不會污染空氣、水域和土壤，具有保護環境品質的特性和優點，開發成本低，病蟲害亦不易產生抗性，某些害蟲病原微生物和病毒和某些細菌（乳菌）尚具有長期防蟲的作用，是頗值重視的一種非農藥防治技術，但生物農藥並不能完全取代其他防治，單獨應用生物農藥也有其不足之處，因此與化學防治等其他措施不應相互排斥，而必須相互密切配合，裁長補短相輔相成，在有害生物綜合管理體系中共同發揮應有的協調作用。

雖然近年來生物農藥在本省有突飛猛進的成果，但不容諱言的，本土性生物農藥之工業化、標準化和商品化生產問題仍待解決，突顯產品量少，滿足不了農民需求之瓶頸。同時面臨西方高科技生物及遺傳工程產品之衝擊。對國內生物農藥之研究發展方向吾人有下列數項期許提供同好共勉：

- 一.重視本土性微生物資源之調查、篩選、鑑定和品系改良。
- 二.加強分子生物學及遺傳工程之研究。
- 三.瞭解微生物製劑的作用機制。
- 四.建立微生物製劑田間施用技術。
- 五.建立大量生產流程之技術。
- 六.開發新製劑配方和品質管制的研究。
- 七.加強昆蟲性費洛蒙之研發。