

鏈黴菌生物製劑 之應用潛力

撰文/石信德·黃振文

前言

農業永續發展的目標是著眼循環利用資源及維護生態平衡的經營理念，建立一個健全而平衡的農業生態環境，進而生產健康及安全的農產品以提供給消費大眾。微生物種類繁多，土壤生態系中蘊含許多有益微生物，包括細菌、真菌、放線菌、藻類、病毒及具有生物感染力的次單位（如噬菌體、類病毒、立克次體等）。除了具有拮抗植物病原、線蟲及農業害蟲的微生物外，某些真菌、細菌、放線菌及藍綠藻尚具有促進土壤營養元素的利用或增進作物生長的功效。應用有益微生物作為農作物之病、蟲及草害的防治措施與土壤環境管理是永續農業的一環，因其利基在於較具有環境友善的目的因而受到各國政府的重視。本文主要介紹微生物在病害防治中扮演的角色，並以鏈黴菌為例進一步闡述生物製劑的開發策略與施用技術。

生物農藥的研發與產業現況

生物性農藥指可作為植物保護用之天然物質，包括動物、植物、微生物及其所衍生之產品。以種類區分包括 (1) 天然素材：如除蟲菊精、魚藤精等。(2) 微生物製劑：如蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*, Bt)、枯草桿菌 (*B. subtilis*) 等。(3) 生化製劑：如斜紋夜蛾性費洛蒙、甜菜夜蛾性費洛蒙等。根據美國環境保護署之定義，生物防治劑可分成微生物性、植物性及生化性等三大類，它們在植物保護

的領域裡分別被應用於植物病原菌、害蟲、雜草及線蟲之防治工作。目前國外已量產且商品化的生物製劑涵蓋多種微生物，如 AQ10[®] (*Ampelomyces quisqualis*)、Fusaclean[®] (*Fusarium oxysporum*)、SoilGard[®] (*Gliocladium virens GL-21*)、Bio-Trek 22G[®] (*Trichoderma harzianum*)、Trichodex[®] (*Trichoderma harzianum*)、Quantum 400 HB[®]、Kodiak[®] (*Bacillus subtilis*)、BioJect Spot-Less[®] (*Pseudomonas aureofaciens*)、Stealth[®] (*Steinernema feltiae*)、CYD-X[®] (Heliothis Nucleopolyhedrosis Virus, NPV)、Actinovate[®] (*Streptomyces lydicus* WYEC 108) 及 Mycostop[®] (*S. griseoviridis* K61) 等。台灣目前也有登記用於病害防治的 *Streptomyces candidus* Y21007 純白鏈黴菌商品化產品如安心寶[®] (圖一)。此外，國內亦有多種微生物如木黴菌、放

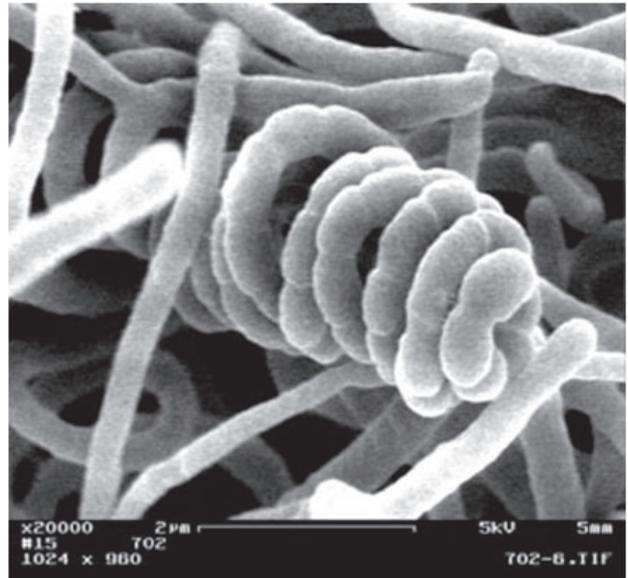


圖一 台灣鏈黴菌生物農藥產品

線菌(鏈黴菌)、枯草桿菌及螢光假單胞細菌等正從事量產研究與商品化之開發。相較於傳統農藥每年為1-2%的成長速度，預測目前全世界的生物性植物保護製劑市場，正以每年10-15%的速度成長中。自1999年以後，美國國內即有1億5千萬美元的市場規模，至2005年8月已有214種有效成分以1,055種產品登記為生物性農藥上市。根據英國作物保護協會(UK Crop Protection Association)的調查顯示，2000年全球農藥產值約為292億美元，而生物性農藥的產值將近1.6億美元。2005年全球生物農藥市場產值為6.72億美元，預估至2010年將超過10億美元，而2020年後生物性農藥的總產值將可達到50億美元。目前生物性農藥在歐洲之年平均成長率為15%，亞洲約為12%。我國由國外進口之生物性農藥產品防治對象主要為害蟲，依農委會統計資料顯示2004年生物性農藥年銷售額約台幣4,918萬元，其中微生物農藥(蘇力菌殺蟲劑)約1,788萬元(占36%)，生長調節劑「勃激素」約1,026萬元(占21%)。另抗生素殺菌劑4,155萬元，而2004年新登記進口之賜諾殺(spinosad)殺蟲劑已遠超過蘇力菌之產值其輸入值達2,100萬元。目前國內已核准登記之生物農藥有效成分計約20餘種；相關產品農藥許可證計約170餘張。依97年度農藥產銷統計結果，生物農藥之銷售金額約為新台幣1.78億元，約占整體農藥銷售金額之3%。

鏈黴菌的植物病害防治研究

放線菌(*Actinomycetes* spp.)是一群形態特殊、分布廣泛的微生物，在土壤、淡水、海水、堆肥、動物及植物等天然或人為的各種環境中均可發現其蹤跡。一般而言，富含有機質的中性土壤，放線菌的數量可達 10^6 - 10^7 cfu/g。土壤中90%以上的放線菌以鏈黴菌(*Streptomyces* spp.)為主(圖二)。依據放線菌的生理、生化及細胞特性，發現其不具有核膜，因此將其歸類於原核生物(prokaryote)(Miyadoh, 1997; Williams *et al.*, 1989)。隨著菌種分離、培養、



圖二 電子顯微鏡下(2萬倍)的鏈黴菌孢子鏈形態

生物化學及形態觀察等技術的發展，新屬或新種的放線菌不斷被發現及被重新歸類。直到目前為止，已接近100個屬被描述(50多個屬被正式承認)，其中鏈黴菌及其相關的屬已超過1000多個種和變種(Miyadoh, 1997; Williams *et al.*, 1989)。

1948年Arnstein等人發現放線菌所產生的抗生素musarin可以抑制香蕉黃葉病菌(*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*)的生長(Arnstein *et al.*, 1948)。1950年代學者們自*S. aureofaciens*分離出四環黴素(tetracycline)，曾用於柑桔立枯病的防治(梅澤, 1953; 廖, 1984)。1958年日本住木諭介自*S. griseochromogenes*分離出保米黴素(blasticidin-S)，用於水稻稻熱病(*Pyricularia oryzae*)的防治(梅澤, 1953; 廖, 1984)。由*S. cacaoi* subsp. *asoensis*分離生產的保粒黴素(polyoxin)用於水稻紋枯病(*Rhizoctonia solani*)、煙草白星病(*Cercospora nicotianae*)及蘆筍莖枯病(*Phoma asparagi*)的防治(梅澤, 1953; 廖, 1984)。由*S. kasugaensis*分離出嘉賜黴素(kasugamycin)用於水稻稻熱病的防治(梅澤, 1953; 廖, 1984)。此外，日本武田製藥公司(1966)自*S. hygroscopicus* subsp. *limoneus*分離



出維利黴素 (validamycin)，用來防治水稻紋枯病(梅澤, 1953; 廖, 1984)。Chattopadhyay 與 Nandi 兩氏 (1982) 利用 *S. longisporus* 防治 *Helminthosporium oryzae* 和 *Alternaria solani*。O'Brien 等人 (1984) 則利用 *S. griseus* 產生的 candicidin 防治荷蘭榆樹萎凋病 (*Ceratocystis ulmi*)。Rothrock 與 Gtottlieb 兩氏 (1984) 以 *S. hygroscopicus* subsp. *geldanus* 產生 geldanamycin 防治 *R. solani* 引起的豌豆根腐病，同時在施用此放線菌的土壤中尚可測得 geldanamycin 的存在。Filonow 與 Lockwood 兩氏 (1985) 利用 *Actinoplanes missouriensis*、*A. utahensis*、*Amorphosporangium auranticolor* 及 *Micromonospora* sp. 粉衣處理大豆種子，發現可以有效降低由 *Phytophthora megasperma* f. sp. *glycinea* 造成的根腐病。Smith 等人 (1985) 以 *S. griseus* subsp. *autotrophicus* 防治 *Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagi* 及 *F. moniliformae* 引起的蘆筍萎凋病及根腐病，並純化出有效的抗生物質 faeriefungin。Bochow 氏 (1989) 於溫室中利用 *S. graminofaciens* 醱酵液防治 *Pyrenochaeta lycopersici* 引起的番茄根木栓化 (corky root) 及 *Phomopsis sclerotioides* 造成的胡瓜根腐病。

El-abyad 等人 (1993) 利用拮抗菌防治番茄病害，結果發現 *S. pulcher* 及 *S. carescen* 的培養濾液 80% 濃度可有效抑制萎凋病菌 (*F. oxysporum* f. sp. *lycopersici*)、*Verticillium albo-atrum* 及 *Alternaria solani* 的孢子發芽、菌絲生長和產孢能力，而使用相同濃度的 *S. pulcher* 或 *S. citreofluorescens* 培養濾液則可完全抑制潰瘍病菌 (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*) 及青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*) 的生長。Hwang 等人 (1994) 發現 *S. hygroscopicus* 可以有效地防治 *Bipolaris sorokiniana* 及 *Sclerotinia homoeocarpa* 感染 *Poa pratensis*。 *S. violaceoniger* 分泌一種 tubercidin 的抗生物質可抑制 *Phytophthora capsici*、*Magnaporthe grisea* 及 *Rhizoctonia solani* 的菌絲生長。利用 *S. lycidicus*

WYEC108 菌株做種子粉衣處理，可使豌豆種子免於遭受腐霉病菌 (*Pythium ultimum*) 的威脅，其保護率達 60% 以上。若將 WYEC108 的孢子先以泥炭苔及砂調配後再混入含有 *P. ultimum* 的導病土或消毒土中，試驗結果顯示豌豆及棉花的存活率、株高和鮮重均比對照組為高。研究發現 WYEC108 除了可阻擾 *P. ultimum* 的卵孢子發芽外，亦可破壞其菌絲的細胞壁 (Yuan and Crawford, 1995; Crawford and Suh, 1995)。Mahadevan 等人 (1997) 發現 WYEC108 具有高度分泌幾丁質分解酵素的能力，可能也是其具有拮抗病原真菌的原因。李氏 (1995) 應用 *S. saraceticus* 31 (SS31) 菌株具有分泌幾丁質分解酵素的特性，混合施用蝦蟹殼粉防治南方根瘤線蟲。El-Shanshoury 等人 (1996) 發現 *S. corchorusii* 及 *S. mutabilis* 混用 pendimethalin 及 metribuzin 兩種藥劑，可以防治番茄萎凋病菌和青枯病菌。El-Tarabily 等人 (1997) 採用數種放線菌防治 *P. coloratum* 引起胡蘿蔔之孔斑病 (cavity-spot)，其中 *Actinoplanes philippinensis* 及 *Micromonospora carbonacea* 可以在病原菌的菌絲及卵孢子超寄生，隨後卵孢子的細胞質出現崩解，因而死亡。Khan 等人 (1997) 也利用超寄生菌 *Actinoplanes brasiliensis* 防治 *P. ultimum* 引起的甜菜苗立枯病。種子粉衣或澆灌處理 *S. griseovirides*，對於 *Alternaria brassicicola*、*F. oxysporum* f. sp. *dianthi*、*F. oxysporum* f. sp. *basilici*、*F. oxysporum* f. sp. *narcissi*、*F. culmorum* 及 *Botrytis cinerea* 均有不錯的防治效果 (Lahdenperä, 1987; Lahdenperä, 1991; Tahvonen, 1993; Hiltunen *et al.*, 1995; Minuto *et al.*, 1997)。Chamberlain 等人發現 *Streptomyces violaceusniger* YCED9 菌株可以產生 nigericin、geldanamycin 及 β -1,3 glucanase (Chamberlain and Crawford, 1999)。施用 *Streptomyces violaceusniger* YCED9 孢子至草皮可以防治 *R. solani* 引起的苗床病害及 *Sclerotinia homeocarpa* 引起的 crown-foliar 病害 (Crawford, 1996; Trejo-Estrada *et al.*, 1998)。Sabaratnam 與



Traquair 兩氏 (2002) 利用 *Streptomyces* sp. Di-944 澆灌處理防治番茄立枯病的效果與殺菌劑 oxine benzoate 相當。陳氏 (2005) 發現 *S. griseobrunneus* S3 菌株分泌幾丁質分解酵素與葡萄聚醣分解酵素與其具有超寄生能力有密切關係。鄧氏等人 (2006) 發現 *Streptomyces* sp. RS70 菌株為一可促進番茄生長之根棲菌，經試驗證明其具有誘導番茄產生抗青枯病之能力，進而降低溫室及田間番茄青枯病之發病指數 (表一)。

微生物製劑開發策略

以開發防治植物病害的微生物製劑為例，生物防治顯然是開發生物製劑所不可或缺的策略。針對

植物病害而言，生物防治係指在自然或人為操控的環境下，透過一種或多種拮抗微生物有效降低病原菌的密度、活力及感染作物的能力，進而達到防治植物病害的效果。應用生物防治的目的在於 (1) 降低感染源的病原在作物上存活、降低病原菌株菌絲生長的速度或減少其繁殖體如孢子的釋放；(2) 降低寄主植物遭受病原的感染及 (3) 減少作物罹病率。

在二十世紀末葉，科學家們熱衷於推動生物防治的研究工作，他們大多利用真菌、線蟲、病毒、細菌及放線菌等拮抗微生物或生物，研發生物防治產品。微生物之所以有效的被應用於作物病害防治，依其作用機制，約略可分為下列五種：(1) 營養

表一 1990年後國際學術期刊報導鏈黴菌防治植物病害的部分案例

菌名	作用機制	防治對象	出處
<i>Streptomyces diastatochromogenes</i>		<i>S. scabies</i>	Liu <i>et al.</i> (1995)
<i>S. griseus</i> subsp. <i>autotrophicus</i>	Faeriefungin	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>asparagi</i>	Smith <i>et al.</i> (1990)
<i>S. lydicus</i> WYEC108 (Actinovate®)	Chitinase	<i>Pythium ultimum</i>	Yuan <i>et al.</i> (1993) Mahadevan <i>et al.</i> (1997)
<i>S. pulche</i>		<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i>	El-abyad <i>et al.</i> (1993)
<i>S. violaceoniger</i>	Tubercidin	<i>Phytophthora capsici</i>	Hwang <i>et al.</i> (1993)
<i>S. violaceusniger</i> YCED-9	Guanidylfungin A Nigerium Geldanamycin Chitinase β -1,3-glucanase	<i>Pythium</i> spp. <i>Phytophthora</i> spp.	Trejo-Estrada <i>et al.</i> (1998)
<i>S. griseovirides</i> (Mycostop®)	Aromatic heptaene polyenes	<i>Alternaria brassicicola</i> <i>Botrytis cinerea</i> <i>F. culmorum</i> <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>basilici</i> <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i> <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>narcissi</i>	Lahdenperä (1991) Tahvonen (1993) Hiltunen <i>et al.</i> (1995) Minuto <i>et al.</i> (1997)
<i>Streptomyces</i> sp. Di-944		<i>Rhizoctonia solani</i>	Stabaratnam and Traquair (2002)
<i>S. padanus</i>	Fungichromin	<i>Rhizoctonia solani</i> <i>Phytophthora infestans</i>	Shih <i>et al.</i> (2003) Huang <i>et al.</i> (2007)

競爭 (competition for nutrients)，直接或間接造成病原菌營養缺乏；(2) 微寄生(超寄生) (mycoparasitism) 或捕食 (predation)，直接用來殺死病原菌；(3) 抗生素的產生 (antibiotic production)，直接殺害病原菌；(4) 產生細胞壁分解酵素 (cell wall degrading enzymes)，即利用分泌之分解酵素直接分解病原菌之細胞壁，以及 (5) 誘導植物產生抗性 (induce systemic acquired resistance)，直接或間接抑制病原菌。

微生物製劑的篩選策略主要應用拮抗微生物所具有與植物病原菌之競爭、微寄生和抗生作用(圖三)。競爭作用係拮抗菌與植物病原競爭養分、生存空間，尤其在作物的根圈部位建立族群優勢而達到抑制病原的生長及存活，間接保護作物免於被病原危害。微寄生作用則是拮抗微生物寄生於病原上，而使其菌絲或生殖構造被破壞甚至死亡，例如超寄生鏈黴菌，它們可以寄生在病原真菌菌絲上分泌幾丁質分解酵素而分解寄主病原菌之細胞壁。抗生作用是指拮抗菌所分泌的代謝物質如抗生物質或酵素可以抑制病原菌的生長，抗生物質可由存活於土壤中的許多微生物如鏈黴菌產生，特別在有機物質充分的培養介質或土壤中。多種微生物均可產生不同種類的抗生物質，例如增加土壤的碳素源有助於抗生物質的產生；另當寄主植物因受刺激而從根圈產生分泌物，通常微生物間為了競爭養分而促使抗

生物質的產生也相對地增加。由於抗生物質具備十分多樣的化學特性，所以可以非常專一性地影響特定或者是廣大範圍的微生物。通常抗生物質可以影響病原菌產孢的能力、降低孢子的發芽率及使其菌絲停止生長，所以具有產生抗生物質能力的微生物因而特別適合被篩選開發成為生物防治劑，作為作物在農地工作系統中防治病害的工具。開發成功的生物製劑的條件包括：重視微生物資源的調查、篩選、鑑定和菌種改良；瞭解生物製劑的作用機制；工業量產平台技術之建立及新製劑配方的研發及改進等。例如鏈黴菌具有廣泛抑制植物病原真菌的功效，筆者認為開發鏈黴菌所需重視的課題即 (1) 深入研究鏈黴菌的生態與生理特性；(2) 探討鏈黴菌與農作物及栽培基質的親和性；(3) 明瞭作物病原菌與鏈黴菌在寄主植物生長環境中的消長，藉以確定施用鏈黴菌防治病害的關鍵時機；(4) 評估鏈黴菌對於逆境(如殺菌劑、殺蟲劑、除草劑等)環境的抗感性；(5) 追蹤鏈黴菌生長與繁殖的必備條件等等。此外，亦要探討它於田間的施用技術，及不斷的修正與改良配方的儲架壽命，進而將其導入農業生態體系中，作為生物防治用的菌種，以研製具有防病功效與實用性的植物保護製劑。

鏈黴菌生物製劑的研製

筆者從台灣各地農田及栽培介質中分離獲得 200 株放線菌，196 株屬於鏈黴菌屬 (*Streptomyces*)，其餘 4 株放線菌分屬於 *Actinomadura* sp.、*Microbispora* sp.、*Herbidospora* sp. 及 *Streptosporangium* sp.。取鏈黴菌 PMS-101、PMS-502 及 PMS-702 菌株分別與 *Acremonium diospyri*、*Colletotrichum gloeosporioides*、*Fusarium oxysporum* f. sp. *conglutinans*、*F. oxysporum* f. sp. *niveum*、*F. oxysporum* f. sp. *lactuctum*、*F. oxysporum* f. sp. *raphani*、*F. proliferatum*、*Pestalotiopsis eriobotryfolia*、*Pythium myriotylum*、*P. aphanideratum*、*Rhizoctonia solani* 等 11 種植物病原



左：試驗組；右：對照組

圖三 鏈黴菌具有拮抗立枯絲核病菌的效果

真菌進行對峙培養測定，結果發現 PMS-702 菌株具有最佳的拮抗能力。進一步取 PMS-702 再與其他 20 種植物病原真菌與 9 種植物病原細菌進行對峙培養測定，結果顯示 PMS-702 對於各種植物病原真菌均具有不同程度的拮抗能力，但是對於白絹病菌與植物病原細菌則均不具有拮抗能力。利用傳統鑑定方法發現 PMS-702 菌體的細胞壁含 L-二氨基庚二酸 (L-diaminopimelic acid, L-DAP)，全細胞中不含特殊醣類，屬於 Chemotype IC 型，是 *Streptomyces* 屬內的一個種。它在 ISP2 (International Streptomyces Project Medium 2)、ISP3 及 ISP4 培養基上生長及產孢情形良好，在 ISP2 及 ISP4 培養基上可以產生黃色色素，但不產生黑色素；其營養菌絲呈灰黃色至橘黃色，而氣生菌絲為灰黃褐色或淺灰色。在掃描式電子顯微鏡觀察 PMS-702 菌株，發現孢子鏈生呈螺旋狀排列，孢子數目超過 20 個，表面平滑。PMS-702 菌株可利用的醣類有：D-glucose、D-fructose、D-xylose、D-mannitol、cellulose；可分解 starch、casein 及 hypoxanthine。將 PMS-702 菌株之形態、生理、生化特徵及 16S rRNA 全長度基因序列與 *S. padanus* 標準菌株的特性比對後，確定 PMS-702 菌株為 *Streptomyces padanus* Baldacci. *et al.*。

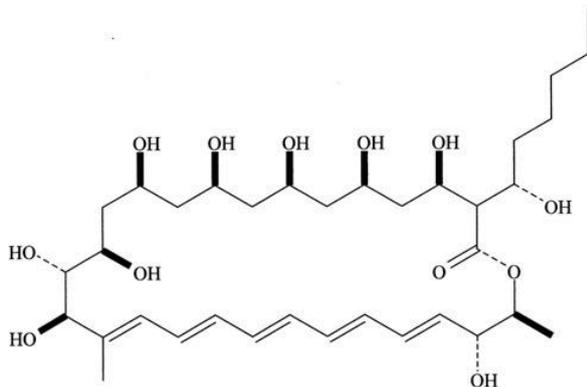
為了有效利用 *Streptomyces padanus* PMS-702 防治植物病害，必需探討拮抗菌株與不同營養資材間的親和性，因此筆者針對 6 種不同營養配方比較它們培養 PMS-702 菌株的效果差異，結果顯示 SMG 配方培養 PMS-702 之生質量最佳。進一步選用香蕉黃葉病菌生物分析 PMS-702 在不同配方組合中的抑菌功效，結果顯示 SMG 配方所培養 PMS-702 經過 7 天或 14 天的濾液對黃葉病菌孢子的抗生活性最佳，故利用 SMG 配方培養 PMS-702 研製製劑產品。在室內，取植株或切離葉生物檢定分析 PMS-702 生物製劑的防病功效，證實 *S. padanus* PMS-702 生物製劑可以抑制 *Acremonium lactucum*、*Colletotrichum gloeosporioides*、*Peronospora brassicae*、*Microdochium*

panattonianum、*Phytophthora citrophthora* 等植物病原菌。進一步，在田間測試 PMS-702 製劑防治番茄晚疫病 (*Phytophthora infestans*) 的效果，結果顯示 PMS-702 製劑確實可以有效防治番茄晚疫病，並可提高番茄的果實產量 (圖四)。



圖四 鏈黴菌生物製劑之開發流程

由 PMS-702 菌株培養濾液系列萃取的抽出物對植物病原真菌亦具有相似的抗生活性。利用分光光度計及薄層色層分析 PMS-702 培養濾液，發現其含有多烯類大環內脂 (polyene macrolide) 的抑菌物質。*S. padanus* PMS-702 之培養濾液經由矽膠管柱層析 (Silica Gel Chromatography) 分離，再以不同比例溶劑萃取，分別得到 PM-1~PM-4 等 4 個沖提區。進一步，以薄層色層分析與矽膠管柱層析分離純化後，可由此 4 沖提區分別純化出具有抑菌活性的化合物。利用紫外光吸收光譜、紅外線光譜、核磁共振光譜及質譜儀等相關圖譜資料分析，將此化合物鑑定為治黴色基素 (Fungichromin) (圖五)。Fungichromin 是 PMS-702 濾液中，主要抑制 *R. solani* 的抗菌物質。利用掃描式電子顯微鏡觀察處理過 *S. padanus* PMS-702 培養濾液的立枯絲核菌菌絲，會有破裂及壞死的現象。這些現象顯示 *S.*



圖五 治黴色基素的立體分子結構

padanus 分泌的抗生物質 fungichromin 可能與 *R. solani* 菌絲被破壞有著密切的關係。

生物製劑施用技術

一般而言，源自微生物的生物製劑在實際應用上所面臨的問題例如不易推廣或其防治效果不若化學農藥明顯等，通常與氣候及時間、施用環境及微生物種類及施用時機等限制因子有關。如何將病蟲害綜合防治觀念融入作物栽培管理的一環是生物製劑施用技術所必須要考慮的課題，其施用技術要點包括：(1) 注意施用生物製劑時的氣候及施用時間；(2) 注意生物製劑的施用環境；(3) 選擇適當微生物種類及施用時機等。

結語

過去數十年裡經過高產作物品種和雜交品種的推廣，農業產生了廣大的發展和經濟增長。雖然開發中國家在解決糧食安全問題上已取得豐碩的成果，然而其集約化農業的投入，依賴於更多化學肥料及化學農藥的使用，對於整體的永續性農業系統已造成一些環境的有害及不良的影響。因此，為解決這一全球關注的問題，廣泛地使用生物農藥和生物肥料顯得越來越重要。近年來，世界各地均陸續積極推展有機農業的栽培管理法，其主要的手段就是不使用化學肥料與化學農藥，並採用



圖六 田間施用鏈黴菌生物製劑防治青蔥疫病效果

栽培防治法，施用有機添加物及推展生物防治法等技術，達成作物病蟲害綜合管理 (integrated pest management, IPM) 的永續經營目標，藉以維護農作物生產的安全 (圖六)。相較於化學農藥，利用微生物開發成生物製劑具有低毒或無毒、不污染環境以及不易產生病蟲害之抗藥性等優點，被人們稱之為環保 (綠色) 農藥。如何減少化學農藥的使用，並尋得無毒性或低污染之化學藥劑替代物，已成為農作物健康管理所重視與研發的重點政策 (圖七)。台灣位處於亞熱帶地區，擁有的生物遺傳資源極為豐富，因此瞭解、保護並永續利用這個島嶼上的微生物遺傳資源，對於農業永續經營與利用、國民健康及生態安全將可提供重大的貢獻。

AgBIO

石信德 行政院農業委員會農業試驗所 植物病理組
副研究員

黃振文 國立中興大學 農業暨自然資源學院 教授兼院長



圖七 田間萵苣健康管理施用鏈黴菌生物製劑之推廣觀摩會

參考文獻

1. 李明達 (1995) 應用幾丁質分解性放線菌防治南方根瘤線蟲。國立中興大學植物病理學系碩士論文。
2. 陳泰元 (2005) *Streptomyces griseobrunneus* S3之非無菌增量培養及於腐霉菌與立枯絲核菌危害防治之作用機制。國立中興大學植物病理學系碩士論文。
3. 廖龍盛 (1984) 實用農藥。華成印刷廠。
4. 梅澤純夫 (1953) 抗菌性物質。培風館。
5. 石信德、黃振文 (2003) 研製鏈黴菌植物保護製劑防治作物病害。植物病理學會特刊，新一號：103-116。
6. 石信德、黃振文 (2005) 保護植物的重要菌源--鏈黴菌。科學發展，391:22-27。
7. 石信德、黃振文、謝廷芳 (2009) 台灣生物性植物保護製劑之應用價值。創新深耕-生技研發成果產業化季刊，頁21-28。
8. 鄧雅靜、曾國欽、徐世典 (2006) 促進植物生長之根棲細菌*Streptomyces* sp. RS70誘導蕃茄對青枯病之系統抗性。植物並理學會刊，15:107-116。
9. 陳保良、李木川、黃德昌、葉瑩 (2005) 生物性農藥管理與未來展望。農業生技產業季刊，4:54-59。
10. Arnstein, H. R. V., Cook, A. H., and Lacey, M. S. (1948) *The inhibition of Fusarium oxysporum var. cubense by musarin, an antibiotic produced by Meredith's Actinomycetes*. J. Gen. Microbiol 2:111-122.
11. Bochow, H. (1989) *Use of microbial antagonists to control soilborne pathogens in greenhouse crops*. Acta Hortic. 255:271-280.
12. Chamberlain, K. and Crawford, D. L. (1999) *In vitro and vivo antagonism of pathogenic turfgrass fungi by Streptomyces hygroscopicus strains YCED9 and WYE53*. J. Indu. Micro. Biotech. 23: 641-646.
13. Chattopadhyay, C. K., and Nadi, B. (1982) *Inhibition of Helminthosporium oryzae and Alternaria solani by Streptomyces longisporus (Krasil'nikov) Waksman*. Plant and Soil 69:171-175.
14. Crawford, D. L. (1996) *Use of Streptomyces bacteria to control plant pathogens*. United States Patent 5527526.
15. Crawford, D. L., and Suh, H. W. (1995) *Use of Streptomyces WYEC108 to control plant pathogens*. United States Patent 5403584.
16. Filonow, A. B., and Lockwood, J. L. (1985) *Evaluation of several actinomycetes and the fungus Hyphochytrium catenoides as biocontrol agents for Phytophthora root rot of soybean*. Plant Dis. 69:1033-1036.
17. El-Abyad, M. S., El-Sayed, M. A., El-Shanshoury, A. R. and El-Sabbagh, S. M. (1993) *Towards the biological control of fungal and bacterial diseases of tomato using antagonistic Streptomyces spp.* Plant and Soil 149:185-195.
18. El-Shanshoury, A. R., El-sououd, S. A., Awadalla, O. A. and El-Bandy, N. B. (1996) *Effects of Streptomyces corchorusii, Streptomyces mutabilis, pendimethalin, and metribuzin on the control of bacterial and Fusarium wilt of tomato*. Can. J. Bot. 74:1016-1022.
19. El-Tarabily, K. A., Hardy, G. E. St. J., Sivasithamparam, K., Hussein, A. M. and Kurtböke, D. I. (1997) *The potential for the biological control of cavity-spot disease of carrots, caused by Pythium coloratum, by streptomycete and non-streptomycete actinomycetes*. New Phytol. 137:495-507.
20. Filonow, A. B., and Lockwood, J. L. (1985) *Evaluation of several actinomycetes and the fungus Hyphochytrium catenoides as biocontrol agents for Phytophthora root rot of soybean*. Plant Dis. 69:1033-1036.
21. Hiltunen, L. H., Linfield, C. A., and White, J. G. (1995) *The potential for biological control of basal rot of Narcissus by Streptomyces sp.* Crop Prot. 14:539-542.
22. Huang, J. W., Shih H. D., Huang, H. C., and Chung, W. C. (2007) *Effects of nutrients on production of fungichromin by Streptomyces padanus PMS-702 and efficacy of control of Phytophthora infestans*. Can. J. Plant Pathol. 29: 261-267.
23. Hwang, B. K., Ahn, S. J., and Moon, S. S. (1994) *Production, purification, and antifungal activity of the antibiotic nucleoside, tubercidin, produced by Streptomyces violaceoniger*. Can. J. Bot. 72:480-485.
24. Khan, N. I., Filonow, A. B., and Singleton, L. L. (1997) *Augmentation of soil with sporangia of Actinoplanes spp. for biological control of Pythium damping-off*. Biocontrol Sci. Tech. 7:37217.
25. Lahdenperä, M. L. (1987) *The control of Fusarium wilt on carnation with a Streptomyces preparation*. Acta Hortic. 216:85-92.



參考文獻

26. Lahdenperä, M. L. (1991) *Streptomyces*- A new tool for controlling plant diseases. *Agro-Food Ind. High-Tech.* 2:25-27.
27. Mahadevan, B., and Crawford, D. L. (1997) *Properties of the chitinase of the antifungal biocontrol agent Streptomyces lydicus WYEC108.* *Enz. Microbial Technol.* 20:489-493.
28. Minuto, A. Minuto, G. Migheli, Q. Mocioni, M. and Gullino, M. L. (1997) *Effect of antagonistic Fusarium spp. and of different commercial biofungicide formulations on Fusarium wilt of basil (Ocimum basilicum L.).* *Crop Prot.* 16: 765-769.
29. Miyadoh, S. (1997) *Atlas of Actinomycetes. The Society for Actinomycetes.* Japan. Asakura Publishing Co., Ltd. 223 pp.
30. O'Brien, J. G., Blanchette, R. A., and Sutherland, J. B. (1984) *Assessment of Streptomyces spp. from elms for biological control of Dutch elm diseases.* *Plant Dis.* 68:104-106.
31. Rothrock, C. S., and Gottlieb, D. (1984) *Role of antibiosis in antagonism of Streptomyces hygroscopicus var. geldanus to Rhizoctonia solani in soil.* *Can. J. Microbiol.* 30:1440-1447.
32. Sabaratnam, S. and Traquair, J. A. (2002) *Formulation of a Streptomyces biocontrol agent for the suppression of Rhizoctonia damping-off in tomato transplants.* *Biol. Control* 23: 245-253.
33. Shih, H. D., Liu, Y. C., Hsu, F. L., Mulabagal, V., Dodda, R. and Huang, J. W. (2003) *Fungichromin: A substance from Streptomyces padanus with inhibitory effects on Rhizoctonia solani.* *Journal of Agric. Food. Chem.* 51: 95-99.
34. Smith, J., Putnam, A. and Nair, M. (1985) *In vitro control of Fusarium diseases of Asparagus officinalis L. with a Streptomyces or its polyene antibiotic, faeriefungin.* *J. Agric. Food Chem.* 38:1729-1733.
35. Tahvonen, R. (1993) *The disease suppressiveness of light coloured sphagnum peat and biocontrol of plant diseases with Streptomyces sp.* *Acta Hortic.* 342:37-42.
36. Trejo-Estrada, S. R., Sepulveda, I. R., and Crawford, D. L. (1998) *In vitro and in vivo antagonism of Streptomyces violaceusniger YCED9 against fungal pathogens of turfgrass.* *World J. Microbiol. Biotechnol.* 14:865-872.
37. Williams, S. T., Goodfellow, M. and Alderson, G. (1989) *Genus Streptomyces. Pages 2452-2492.* In: *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology Vol. 4.* Williams, S. T., Sharpe, M. E. and Holt, J. G. (Eds.) Williams & Wilkins. Baltimore.
38. Yuan, W. M. and Crawford, D. L. (1995) *Characterization of Streptomyces lydicus WYEC108 as a potential biocontrol agent against fungal root and seed rots.* *Appl. Environ. Microbiol.* 61:3119-3128.