

生物防治在作物病害管理上的應用與發展

羅 朝 村

臺灣省農業試驗所植物病理系

摘要：生物防治是一極具潛力的作物病害防治策略之一；亦是永續農業發展的重要一環。由整個生物防治的發展史來看，儘管生物防治在定義上有因個人解釋而略有不同，但在病害防治上，均可歸類成去病 (eradication) 或保護 (protection) 的基本理論；在策略上則可解釋成直接或間接利用微生物來降低作物病害程度 (incidence 或 severity)。依據整個植物病原生物防治的進展來看，顯示較具規模的應用與研究，有早期抑病土的發掘與利用；到後來的使用土壤添加物及單一微生物的利用...等。近年來，由於生物技術的引入，使得人們對生物防治機制、拮抗微生物或病原菌生態學上有了更深一層的瞭解，進而加速了拮抗微生物應用與發展。綜合目前生物防治已成功應用的例子，顯示一個成功的生物防治系統，基本上必須具備下列三個條件；(一) 有效的拮抗菌株 (二) 可大量生產的配方 (formulation) 與產品；(三) 可提供拮抗微生物在適當的環境下，維持活性 (viability) 及最低生長濃度的傳輸系統 (delivery system)。

關鍵詞：生物防治，病害管理，傳輸系統，分生標誌，微生物生態。

前 言

植物病害，為作物產量損失的重要因子之一；根據 James 等的報告顯示世界主要作物，如：小麥、水稻、玉米、馬鈴薯、蔬果及糖類作物等，每年總產量因病害而損失之平均值常高達12.5%以上⁽³³⁾。因此如何提高產量或減少作物產量損失，以因應世界人口日漸增多⁽⁴⁴⁾，而導致糧食缺乏的壓力，已成為當今世界各國之農業發展的主要課題。

台灣地處熱帶與亞熱帶地區，氣候高溫多濕，因而作物病害種類繁⁽²⁸⁾。例如土媒性病害的根腐病 (*Fusarium* spp.、*Pythium* spp.、*Rhizoctonia* spp. 及 *Phytophthora* spp 等引起)、基腐病 (*Rhizoctonia* spp. 及 *phytophthora* spp. 等引起) 與萎凋病 (*Fusarium* spp.、*Pseudomonas* spp. 引起) 等^(4,28,29,31,32,45)；其它尚有線蟲病害，病毒病害及各種作物之葉部病害等^(4,18)。

過去由於藥劑在使用上方便且快速有效，因而普遍為農民所用⁽³³⁾。然而在毫無節制的重複或過量使用化學藥劑，往往造成 (一) 病原菌抗藥菌系的產生，(二) 土壤及水源的污染，(三) 降低或減少有益微生物的存活，(四) 其它對人類及動物有害的副作用等^(14,33)。因此如何尋求一無毒害性的人工合成化學藥劑替代品，實為今後吾人應努力的目標。

生物防治是一極具潛力的作物病害防治策略之一；亦是永續農業發展的重要一環^(11,33)。過去雖僅有少數商品化產品；但隨著對拮抗微生物特性的瞭解以及分生技術的引進如 (一) 分子標誌在拮抗微生物生態學上的利用 (二) 生物技術在拮抗菌株的改良 (三) 基因轉殖在生物防治機制的探討以及 (四) 作物抗病性的強化等；目前已陸續有多項生物製劑產品問市 (表一)^(30,33)。因此，為

能配合我農業科技發展的重點，以及解決作物栽培上病害的問題；本文將著重於論述生物防治的發展概況以及生物技術在其未來的應用範圍，以提供讀者之參考。

Table 1: Biological control agents that are or have been commercially available

Control organism	Disease controlled
Viruses	
Mild tomato mosaic virus	Tomato mosaic
Mild citrus tristeza virus	Citrus tristeza
Mild papaya ringspot virus	Papaya ringspot
Bacteria	
<i>Agrobacterium radiobacter</i> K84	Crown gall
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Bacterial and fungal diseases of cereals, cotton and other crops
<i>Streptomyces</i> sp.	Fungal diseases of wheat, cucumber, carnation and crucifers
Fungi	
<i>Trichoderma viride</i>	Damping off, root diseases woody decays
<i>T. harzianum</i>	Damping off, root diseases of truf, beans, corn, cotton, cucumber
<i>T. hamatum</i>	
<i>Fusarium oxysporium</i>	Fusarium wilt
<i>Peniophora gigantea</i>	Annosus root rot
<i>Pythium oligandrum</i>	Damping-off
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	Nematodes

Source: from Maloy S.C. (1993), and Lo, *et al.* (1994)

生物防治的定義

生物防治一詞早在 1900 即有植物病理學家引用，但仍未給予正式定義⁽⁷⁾。直到 1963 以後。Garrett⁽¹⁶⁾ 才給了正式定義；即凡是任何措施使任何的生物體 (人類本身除外) 至使病原菌的存活或活性降低，因而導至病原菌所引起之病害減少的狀況皆稱為生物防治法。但此說明並未包括輪作，肥料施用或任何作物強化的調整。1974 年 Baker 與 Cook⁽⁷⁾ 之定義則較為廣泛；即運用自然的或人為的操作調整環境，寄主植物或拮抗微生物促進一種或一種以上微生物的活性，或大量導

入一種或一種以上拮抗微生物，使存在於寄生或休眠的病原之接種密度 (inoculum density) 或致病能力降低的方法。因此由整個生物防治的發展來看，儘管在定義上，因個人解釋而略有不同，但在病害防治上，則可歸類成去病 (eradication) 或保護 (protection) 的基本理論；在策略上則可解釋成直接或間接利用微生物來降低作物病害程度 (incidence 或 severity)⁽³³⁾。

生物防治的演進與應用方向

對廣義的生物防治定義而言，生物防治的起源，在文獻上可溯至西元384－322的亞里士多德 (Aristotle) 時期⁽⁷⁾。即當時亞氏曾推薦生物性的方法 (biological method) 如作物輪作等。然而從微生物的角度來看；生物防治的發展與應用，則肇於 1874 年 W. Roberts 對微生物間有相互作用關係的發現，並引入拮抗作用 (antagonism) 一詞進入微生物學中^(6,12)。爾後則陸續有微生物的代謝物或抗生素產生的報告，進而刺激了植物病原拮抗微生物的研究。另外如誘捕線蟲之作物；直接引入多種微生物防治作物病害以及抑病土 (suppressive soil) 等均有相當多的研究與發展。惟此一早期的發展並未形成統一化 (unified) 與組織化 (organized) 的生物防治知識 (biocontrol knowledge)；直至 1965 亦即 Carson 「寂靜的春天」出版後，生物防治才正式成立各種生物防治組織或探討各種特殊拮抗微生物的發展功能；並定期召開各種研究成果與未來研究方向的研討會^(6,12)。綜合各方研究資料顯示與微生物有關的生物防治，其在植物病害上的應用與發展方向，約略可分成 (一) 抑病土的探討、(二) 有機物的添加及、(三) 微生物的直接引入等幾個主要方向。由於這方面的相關資料，已有多個專題報告過^(3,6,7,8,10,19,24)，因此在此一節僅簡單敘述其關連性與應用策略。

抑病土的探討：大致而言，抑病土的存在，除少數例外，大都與原已存在的土壤微生物有關^(7,26)。因此其研究與應用的主要方向，則在於如何提高原有的有效微生物或應用抑病土來保護作物，進而達到降低病害的效果。

有機物的添加：根據 Odum 之理論「凡生態體系 (ecosystem) 中任一微生物或族群之出現或持續存在，所必須仰賴的是其養份需求與對環境因子的忍受性 (tolerance)」⁽⁵⁾。因此適當的使用有機添加物，將可增加土壤中原有的微生物或人為引入之拮抗微生物；進而強化該微生物之抑菌功能或強壯作物本身的抗病能力等來減少作物病害的發生。惟添加物的使用，必須注意整個生態體系，如作物病原菌、拮抗微生物及其他微生物間的相互影響，以避免負面作用之產生^(9,30)。

拮抗微生物的直接引入：Hartley 是首位直接引入多種微生物至土中來防治林木苗床病害者^(7,12)。其後儘管有很多對自然界中生物防治發生原因的研究，但對單一拮抗微生物之引入，以為作物病害防治的趨勢，則起始於1980年代⁽⁶⁾。至於如何引用單一拮抗微生物或多種拮抗微生物來防治作物病害，則需要對整個作物，病原菌及拮抗微生物生態的釐清。

有效生物防治必備的條件

一個成功的生物防治，必須具備下列三個條件：(一) 首先是需擁有優良有效的菌株 (superior strain)，至於菌株的獲得則可利用篩選 (selection)，原生質融合 (protoplast fusion) 或基因轉殖 (gene manipulation) 等方法^(19,20)。(二) 可大量生產 (biomass) 並擁有長時間在室溫存活的能力即所謂的架上存活時間 (shelf life)。生物製劑的產生，必須要在價格上能夠與化學藥劑競爭，因此必須儘量開發較為便宜的材料與縮短醱酵時間；而其產品必須能擁有在室溫下耐儲存，耐乾燥…

…等特性。(三)擁有一套傳送體系 (delivery system) 亦即建立一套能使此一微生物擁有一最低有效的基本生物量及最高活性的生物族群體^(11,24,33)。以 *Trichoderma harzianum* KRL-AG2, or Bio-Trek 22-G (TGT.) (Geneva,) (NY,) (USA) 商品為例。此一菌株是經由原生質融合而得的菌株，具有抑制腐敗病菌 (*Pythium* spp.)、立枯絲核菌 (*Rhizoctonia* spp.)、鏽胞菌 (*Fusarium* spp.) 白絹病菌 (*Sclerotium* spp.)、菌核病菌 (*Sclerotinia* spp.) 等所引起的病害^(20,21,30)。在特殊醱酵配方下培養，可獲得高達每克土壤中含 5×10^8 的分生孢子 (conidia)；並擁有達八個月以上的架上存活能力⁽²⁴⁾。至於施用方法則依作物生態而略有不同；例如玉米田的施用，則必須依靠種植麥草 (ryegrass) 來維持此一菌株在無玉米作物下的存活並作為下一季之接種源。

生物技術在生物防治上的應用實例及潛能

以往在植物病害防治的研究中，因傳統技術對於生物防治機制，不易了解與突破，但近年來由於遺傳工程技術的發展，已有部分因藉由基因操作而得到解決^(28,39)。且由於利用基因轉移技術來證明生物防治機制，已較傳統的相關性推測精確，故目前已被廣泛利用^(3,28)。目前在生物防治機制研究主要有抗生、競生及超寄生等三方面。

抗生作用的研究

在抗生作用的研究主要證明抗生素與抑病效果的關係。方式有二：一為生化方法直接純化抗生素來使用，但常因不易從土壤中粹取到抗生素，或因粹取之抗生素量太低或未能施用於感染點，而無法獲得好的結果。二為利用基因分析技術，此技術可解決上述問題。應用步驟如下：(a)會產生抗生素拮抗微生物應該會抑制病原菌或降低病害發展，(b)若將會產生抗生素的基因去除而獲得不產生抗生素的變異菌株，則其將喪失或降低對病害或病原之抑制能力，(c)當具有產生抗生素基因導入變異菌株後，應可恢復其抑制能力，(d)依同樣原理亦可應用病原菌的測定（如產生對生素不敏感菌株等）。由於若獲得正相關則表示生物防治之效用與抗生素有關。反之則無關。最明顯的例子：

- (A) Agrocin 84：它是由 *Agrobacterium radiobacter* K84 菌株（帶有 PAG84 plasmid）所產生，可抑制 *A. tumefaciens*（帶有 Ti- plasmid）引起雙子葉植物之腫瘤病 (crown gall)。證明方式為 (i) 當傳送 PAG84 進入細胞內，即可產生 agrocin 84 而有抑制能力。反之若去除 PAG84 則失去產生 agrocin 84 的能力進而降低它的生物防治能力 (ii) 當 *A. tumefaciens* 之菌株對 Agrocin 84 有抗性時，K84 菌株即不能抑制病原之感染 (iii) 當直接以部份純化 agrocin 84 處理於傷口可完全抑制 *A. tumefaciens* 為害⁽³⁵⁾。另外由於基因轉移技術的利用又證明 agrocin 84 雖然在防治上是重要的，但並不是有效防治的唯一機制^(19,37)。如 Coodsey & Moore 顯示帶有已修復 PAG 84 的菌株僅能防治病害達 40~50%⁽¹³⁾。Schroth and Moller 則認為 K84 菌株之所以有效，尚與 *A. tumefaciens* 競爭感染點及營養有關⁽⁴¹⁾。
- (B) *Pseudomonas fluorescens* strain 2-27 與 *Gaeumannomyces graminis* 之間的關係。此 2-27 菌株抑制小麥根腐病的主要機制有二，除產生 siderophore 外，另一機制為抗生素。在抗生方面，則以利用 Tn5 變異菌株（不產生 phenazine 抗生物質者）證明，抗生素與病害抑制不完全有關。Poplawsky *et al*⁽⁴⁰⁾ 發現當 Tn5 基因殖入變異菌株內 (Ill strain)，會增強抗生素量的產生，而其濃度大小與抑制病原菌生長效果成正比。

(C) *Pseudomonas fluorescens* strain Hv37a 抑制 *Pythium ultimum* 引起的棉花猝倒病。James and Gutterson 曾報告 Hv37a 可產生至少 3 種抗生素去抑制生 *P. ultimum* 長⁽²³⁾。Gutterson et al (1986) 曾引入一種 cosmid clone bank 到不產生抗生素之變異菌株中去篩選抗生素活性被阻礙的菌株。這一 cosmid clones 可被一種 transposon 誘變而這 transposon 再被引入野生型菌株中，以作為改變的標誌 (marker exchange)，再經過 thin layer chromatography 培養測定，證實無生長抑制與降低病害能力之變異菌後，經纏化於根，仍然發現有抑病能力⁽¹⁷⁾。顯示變異株可和病原競爭養份或感染點而抑制病害，根據利用變異菌株之結果顯示在此一病害防治的機制是超過一種以上的。

營養競爭的研究

利用競爭能力強的微生物，主要在於減少可利用之特殊物質 (如鐵，氮，碳，氧或其他適宜病原生長的微量元素) 而限制病原菌之生長、發芽或代謝。由於營養競爭很難以變異菌株證明，且添加物質可改變病害的發生，亦不能有結論性的證據顯示防治的機制是與競爭養份有關⁽³⁹⁾。因此目前有顯著證明者僅在鐵離子的競爭而這又與能產生 siderophores 的微生物有關。

土壤微生物所產生的 siderophores 曾被證明與抑制鐮胞菌的厚膜孢子發芽及發芽管伸長有關⁽³⁹⁾，例如對 *F. oxysporum* f. sp. *lini* 或 *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* 的導病土，可因加入 B10 菌株 (可產生 siderophores) 或 pseudobactin (siderophores 的一種) 而變成抑病土⁽²⁵⁾。這顯示土壤的抑病作用部份是由於病原菌與土壤微生物競爭 Fe^{+3} 之結果。Bakker et al 曾利用 transposon element 誘變 *Pseudomonas putida* 去產生 siderophores 的變異菌株 (sid⁻)，發現當其與野生菌株混合處理於土壤中，其菌落增加量較單獨處理於土中者多，而從 *Ps. fluorescens* 病原獲得的 sid⁻ 之菌株與 *Ps. putida* 的 sid⁻ 之菌株與 *Ps. putida* 野生菌株混合則其族群量顯著的降低⁽⁹⁾。此一結果被進一步證明顯示，來自 *Ps. putida* 的 sid⁻ 變異株會利用 *Ps. fluorescens* 的產生的 siderophores，反之則不能⁽¹⁰⁾。

透過分析不但有助於營養競爭作用機制的了解，且可將之直接應用於農業栽培上。例如利用基因生物合成一種不平常的 siderophores (不為有害菌所利用者)，則可適當的引入存活在一特殊寄主根圈的細菌，或利用基因轉移 (genetic manipulation) 去改變拮抗微生物的外蛋白質細胞膜，而能廣泛的利用土壤中微生物分泌的 siderophores^(19,27)。

超寄生作用研究

超寄生作用的研究，雖有很多例子，但已經利用在植物病原之生物防治則甚少^(3,38)。然而有關超寄生微生物的寄生過程 (如 attraction, recognition 等) 則有助於未來生化或遺傳上的研究^(18,38)。至於有關基因操作的應用，則有 Howell 證明 *Gliocladium virens* 的超寄生是否與 *Rhizoctonia solani* 引起的棉花猝倒病有關⁽²²⁾ (因為 *G. virens* 除可寄生病原菌之菌核外，尚與抗生素 viridin 和 gliotoxin 有關)，經利用無寄生作用，但會產生抗生素的變異菌株，發現其除生長較慢外，仍與野生菌株具有同樣的防治效果。此說明了 *G. virens* 的超寄生作用不是生物防治的主要機制。而此一結果提供了變異菌株分析是研究生物防治的良好例子，以及證明依靠外在表現出來的相關性 (如抑制作用與寄生作用)，去推論生物防治機制是危險的⁽¹⁸⁾。

另外由於細胞融合技術 (protoplast fusion) 的開發，也提供了寄生真菌在生物防治上的應用，例如 Stasz and Harman 報告 *T. harzianum* 在不同菌株之核融合中，篩選出的菌株，有些是較具有

防治 *P. ultimum* 的效果⁽⁴²⁾。因此生物技術的應用不僅有助於生物防治機制的探討，而且可產生較有效的生物防治用之微生物⁽⁴³⁾。

基因轉殖技術 (gene manipulation) 在防治上的應用

拮抗菌在田間常受環境因子影響而降低其防治的效果，使得其防治成本過高。基因轉殖技術主要為選殖具有防治效應的基因或殘存能力較強的基因，然後轉移至作物或適合於存活在植物根圈內的微生物（或葉表微生物）來達到防治效果^(19,38)。在美國於植物表面分離一種黃色細菌 (*Erwinia herbicola*)，其中有些菌株會製造對梨火燒病 (*Erwinia amylovora*) 的抗菌物質，有些具有高纏化率 (colonization)，利用基因轉殖技術將高纏化力基因轉移至會產生抗生物質的菌株中，而增強這些拮抗菌在田間的殘存能力和抗生能力⁽²⁾。目前雖然尚無轉殖菌株實際應用在作物病害防治者，但由於其在病害防治上的應用深具潛力，且鑑於在醫藥、發酵工業、細菌、病毒已有成功的例子，實值得吾人研究發展的目標。

結 語

生物防治成功與否，由於牽涉到病原菌、拮抗微生物、寄主及環境條件等多項因子的相互作用，因此它的應用與施行首應具備管理病原菌病害所須有的知識，尤其應先透晰病原菌本身生物學與生態學的全貌，同時也得明瞭作物及拮抗微生物生態，才能確保生物防治的成功^(1,16,34)。最近國外有關拮抗微生物應用於防治土壤病害、葉部病害或儲藏蔬果病害的研究甚多，尤其基因操作技術在生物防治機制或生態學上的探討，更有助於生物防治策略的擬定與突破。

近年來，生物防治的研究已較為國人所重視，尤其在經費及人力上的投入已較往年為多，惟如何在這既有的基礎下，繼續研究發展有效的生物製劑，以取代或減少化學藥劑在植物保護上的使用，實為吾人今後應努力的目標。

參考文獻

1. 張和喜。1978。植物病害的生物防治。科學發展 2 (8) : 18-22。
2. 劉世東。1988。利用 *Erwinia herbicola* 當防治植物疾病的生物製劑。國科會生命科學研究推動中心專刊第十六集 p.169-176。
3. Adams, P. B. 1990. The potential of mycoparasites for biological control of plant diseases. Ann. Rev. phytopathol. 28:59-72
4. Ann, P-J., Lo, C-T., and Hsieh, T-F. 1992. Phytophthora blight of *Lilium* spp. in Taiwan. Plant Prot. Bull. 34:64-69.
5. Atlas, R. M., and Bartha, R. 1993. Microbial Ecology: fundamentals and applications. 3th edition. The Benjamin/Commings publishing Company, Inc. Redwood City, CA.
6. Baker, K. F. 1987. Evolving concepts of Biological control of plant pathogens. Annu. Rev. phytopathol. 25:67-85.
7. Baker, K.F., and Cook, R.J. 1974. Biological Control of plant pathogens. t. Paul:Am. Phytopathol.

Soc. 433pp.

8. Baker, R. 1988. *Trichoderma* spp. as plant-growth stimulants. CRC Critical Reviews in Biotechnology. Vol. 7 :97-106.
9. Bakker, P. A. H. M., Lamers, J. G., Bakker, A. W., Marrugg, J. D. Weisbeek, P. J., and Schippers, B. 1986. The role of siderophores in potato tuber yield increase by *Pseudomonas putida* in a short rotation of potato. Neth. J. Pl. Path. 92 :249-256.
10. Bakker, A. W., and Schippers, B. 1987. Microbial cyanide production in their rhizosphere in relation to potato yield reduction and *Pseudomonas* spp. mediated plant growth-stimulation. Soil Biol. Biochem. 19: 451-457.
11. Cook, R. J. 1993. Making greater use of introduced microorganisms for biological control of plant pathogens. Ann. Rev. Phytopathol. 31:53-80.
12. Cook, R. J., and Baker, K. F. 1983. The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens. American Phytopathological Society, St. Paul, MN. 539 pp.
13. Cooksey, D. A., and Moore, L. W. 1982. Biological control of crown gall with an agrocin mutant of *Agrobacterium radiobacter*. Phytopathology 72 :919-921.
14. Detweiler, A. R., Vargas, J. M. Jr., and Danneberger, T. K. 1983. Resistance of *Sclerotinia Homoeocarpa* to iprodione and benomyl. Plant Dis. 67:627-630
15. Fry, W. E. 1982. Principle of plant disease management. Academic Press, 378pp.
16. Garrett, S. D. 1970. Pathogenic Root-infecting Fungi. Cambridge Univ. Press. 293 pp.
17. Gutterson, N. I., Layton, T. J., Ziegler, J. S., and Warren, G. 1986. Molecular cloning of genetic determinants for inhibition of fungal growth by fluorescent pseudomonad. J. Bacteriol. 165: 696-703.
18. Handelsman, J., and Parke, J. L. 1989. Mechanisms in biocontrol of soilborne plant pathogens, in : Plant -Microbe Interactions : Molecular and Genetic Perspectives, Vol.3 (T. Kosuge and E. W. Nester, eds.). pp.62-83, Macmillan, New York.
19. Harman, G. E., Hayes, C. K., and Lorito M. 1993. The genome of biocontrol fungi: Modification and genetic components for plant disease management strategies. American Chemical Society Chapman and Hall: 347-354.
20. Harman, G. E., and Nelson E. B. 1994. Mechanisms of protection of seed and seedlings by biological control treatments: Implications for practical disease control. In: T. Martin, ed, Seed Treatment-Progress and Prospects. British Crop Protection Council. PP283-292.
21. Harman, G. E., Taylor. A. G., and Stasz, T. E. 1989. Combining effective strains of *Trichoderma harzianum* and solid matrix priming to improve biological seed treatments. Plant Dis.73:631-637.
22. Howell, C. R. 1987. Relevance of mycoparasitism in the biological control of *Rhizoctonia solani* by *Gliocladium virens*. Phytopathology 77 : 992-994.
23. James, D. W. JR., and Gutterson, N. I. 1986. Multiple antibiotics produced by *Pseudomonas fluorescens* HV37a and their differential regulation by glucose Appl. Environ. Microbiol. 52: 1183-1189.

24. Jin, X., Hayes, C. K., and Harman, G. E. 1991. Principles in the development of biological control systems employing *Trichoderma* species against soil-borne plant pathogenic fungi. Pages 174-195. in: *Frontiers in Industrial Mycology*. G. C., Leatham. ed. Chapman and Hall, Inc., London.
25. Klopffer, J.W., Leong, J., Teintze, M., and Schroth, M. N. 1980. *Pseudomonas* : a mechanism explaining disease suppressive soils . *Current Microbiol.* 4 : 317-320.
26. Ko, W. H. 1971. Biological control of seedling root rot of papaya caused by *phytophthora palmivora*. *Phytopathology* 61 : 780-782.
27. Leong, J. 1986. Siderophores: their biochemistry and possible role in the biocontrol of plant pathogen. *Ann. Rev. Phytopathol.* 24:187-209.
28. Lin, Y-S., and Lo, C-T. 1988. Control of *Pythium* damping off and root rot of cucumber with S-H mixture as soil amendment. *Plant Prot. Bull.* 30:223-234.
29. Liu, S. D. 1991. Biological control of adzuki-bean root rot disease caused by *Rhizoctonia solani*. *Plant Prot. Bull.* 33:63-71.
30. Lo, C-T., Nelson, E. B., and Harman, G. E. 1994. Biological control of *Pythium*, *Rhizoctonia*, and *Sclerotinia* incited diseases of turfgrass with *Trichoderma harzianum* 1295-22. (Abstr.). *Phytopathology* 84:1372
31. Lo, C-T., and Lin Y-S. 1989. Mechanisms of calcium cyanamide on controlling fusarium wilt of garden peas. *Jour. Agric. Res. China* 38(3):365-373
32. Lo, C-T., and Lin Y-S. 1992. Inhibition of *Pythium aphanidermatum* by volatile substances from soil amended with S-H mixture. *Plant Pathology Bulletin* 1: 206-209.
33. Maloy, O. C. 1993. *Plant Disease Control: Principles and Practice*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
34. Mew, I-pin, C. 1975. Antagonism of soil-borne microorganisms. *Plant Prot. Bull.* 17 : 173-186.
35. Moore, L. W. 1988. Use of *Agrobacterium radiobacter* in agricultural ecosystems *Microbiol. Sci.* 5 : 92-95.
36. Moores, J. C., Magazin, M., Ditta, G. S., and Leong, J. 1984. Cloning of genes involved in the biosynthesis of pseudobactin, a high-affinity iron transport agent of a plant growth-promoting *Pseudomonas* strain. *J. bacteriol.* 157: 111-115
37. Papavizas, G. C. 1985. *Trichoderma* and *Gliocladium* : biology, and potential for biocontrol. *Ann. Rev. Phytopathol.* 23 :23-54.
38. Papavizas, G. C. 1987. Genetic manipulation to improve the effectiveness of biocontrol fungi for plant disease control, in : *Innovative Approaches to Plant Disease control* (I. Chet, ed.), pp. 193-212, Wiley, New York.
39. Park, C. S., and Choi, J. S. 1983. Ecological relationship between soilborne plant pathogens and rhizosphere microorganisms. I. Effects of *Pseudomonas putida* on the suppression of microconidia and chlamydospore germination of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. *J. Plant Protect. (Korean)* 22(3): 186-192.
40. Poplawsky, A. R., Peng, Y. F., and Ellingboe, A. H. 1988. Bacterial Tn5 mutants affected in

- antibiosis to *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*. *Phytopathology* 78 : 426-432.
41. Schroth, M. N., and Moller, W. J. 1976. Crown gall controlled in the field with a nonpathogenic bacterium. *Plant Dis. Rept.* 60 : 275-278.
 42. Stasz, T. E., and Harman, G. E. 1987. Improved biocontrol strains of *Trichoderma harzianum* developed by protoplast fusion. *Phytopathology* 77 :1771-
 43. Stasz, T. E., Harman, G.E., and Weeden, N. F. 1988. Protoplast preparation and fusion in two biocontrol strains of *Trichoderma harzianum*. *Mycologia* 80 : 141-150.
 44. The American Phytopathological Society. 1986. Long-range research goals for plant pathology. *Phytopathology News* 20(3) :105-116.
 45. Wu, W. C. 1991. Control of sclerotinia rot of sunflower and chrysanthemum. *Plant Prot. Bull.* 33: 45-55.

Development and Application of Biological Control on Crop Disease Management

Cahur-Tsuen Lo

Department of plant pathology, Taiwan Agriculture Research Institute

Abstract

Biological control is an attractive alternative strategy for the control of crop diseases. It also provides practices compatible with the goal of a sustainable agricultural system. Despite the many definitions accorded biological control, it is a strategy for reducing disease incidence or severity by direct or indirect manipulation of microorganisms. The principle may be eradication of protection, depending on specific tactics involved in promoting biological control. According to evolving concepts of biological control of plant pathogens, there are three main categories including (1) suppressive soils, (2) organic amendments, and (3) introducing single microorganism in application and development of biological control of crop diseases. Recently, we have gotten more data of the mechanisms of biological control of plant pathogens and of ecology of pathogens and antagonists due to introduced biotechnology. These results lead us to the successful biological control of crop diseases. Taken most successful biological control cases together, the basic requirements of a successful system of biological control of plant diseases of other pests are (a) effective biocontrol agents, (b) production and formulation methods that give rise to high yields of biomass consisting of appropriate efficacious

propagules of high viability and stability, and (c) delivery systems that provide a conducive milieu and minimize growth of competitive microflora.

Key words: biological control, crop disease management, delivery system, ecology of pathogen.