

# 蟲生病原真菌在蟲害防治上之利用

高穗生 蔡勇勝

(接上期)

## 利用昆蟲病原真菌作為蟲害防治劑

利用真菌作為蟲害防治劑有許多有潛力的方法，但截至目前為止，只有少數不完全菌種類被廣泛使用或做商業化之生產（表1。）。

表1. 目前已註冊登記之真菌殺蟲劑

Table 1. Currently registered mycoinsecticides

Active agent	Product name	Producer/Country	Target pest
<i>Aschersonia aleyrodis</i>	Asernija	All union Inst.	White flies and scale insects
	Aschersonin	USSR	White flies and scale insects
<i>Beauveria bassiana</i>	Boverin	Glavmikrobioprom	Colorado beetle, codling moth, pine caterpillars, European corn borer
	Boverol	Czechoslovakia	Colorado potato beetle
	Boverosil	Czechoslovakia	Colorado potato beetle
	—	Mainland China	Lepidopteran, beetle larvae, hoppers etc.
	Naturalis-L	Fermone Co. Inc.	Whiteflies, boll weevil, flea hopper
<i>Beauveria brongniartii</i>	Engerlingspilz	Andermatt	Cockchafer
<i>Hirsutella thompsonii</i>	Mycar	Abbot Labs.	Eriophid mites
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Metaquino	CODECAP	Spittle bug
	Bio-path	EcoScience	Cockroach
<i>Verticillium lecanii</i>	Mycotal	Koppert	White flies, thrips
	Vertalec	Koppert	Aphids
	Verticillin	USSR	White flies
		NPO verctor	White flies and thrips
	MicroGermin	Chr Hansen	white flies, aphids, thrips

發展商業化的真菌殺蟲劑，需要進行相當廣泛的研究，包括以下的步驟：分

發展商業化的真菌殺蟲劑，需要進行相當廣泛的研究，包括以下的步驟：分離、鑑定、生理、病理、品系篩選、與生物和非生物環境的相互作用、生產、製劑和標準化、品質管制和安定性、施用和效果測試、安全、註冊、商品化。最重要的課題如品系篩選、生產、安全或註冊，已有專著討論。此外，利用蟲生真菌作蟲害防治亦應有通盤之考量（表2）。

表2. 利用蟲生真菌作蟲害防治應有之考量

Table 2. Topics for evaluation of entomopathogenic fungi for control of insect pests

A. 真菌特性	1. 特異性（寄主範圍）
	2. 毒力（virulence）
	3. 孢子形成（sporulation）
	4. 分散（spread）
	5. 持效性（persistence）
	6. 大量生產之可能性
	(1) 在寄主或代寄主上
	(2) 在（半）人工培養基上在固體或且液體發酵
	7. 儲藏和製劑之適合性（suitability）
	8. 毒理學和安全觀點
	9. 對天敵的影響
	10. 與殺蟲劑和殺菌劑混合適合性（compatibility）
B. 寄主特性	1. 感受性（susceptibility）
	2. 經濟為害限界（economic injury level）
	3. 年齡分布，密度和空間分布（與施用和引進策略有關）
C. 環境影響	1. 非生物因子：溫度、濕度、日照、降雨、露水、灌溉和風
	2. 生物因子：害蟲寄主植物之品質，作物結構，間作，微生物相互作用（拮抗生物，協力生物），病媒。

本文僅就蟲生真菌的實際應用作一番概略性的說明。

### 一、白粉蝨赤座霉（*Aschersonia aleyrodidis*）

在溫室實施生物防治是一個頗具前瞻性的研究範圍。白粉蝨赤座霉為粉蝨和介殼蟲之病原。此真菌在荷蘭和英國被考慮用來防治粉蝨。以  $2 \times 10^8$  分生孢子 / 植株之劑量，以 ULV 之噴灑方式施用於胡瓜上，能造成 75% 死亡率。此病原非常專一不會影響寄生蜂粉蝨麗蚜小蜂（*Encarsia formosa*）。和幹枝霉相較，其較適應較低之濕度。缺點是溫室粉蝨（*Trialeurodes vaporariorum*）對其具抵抗力，且不能造成再感染（*reinfection*），需重覆施用。

### 二、白殭菌和卵孢白殭菌（*Beauveria bassiana* and *B. brongiaritii*）

自意大利人 Bassi（1935）澄清了家蠶白殭病是因真菌在蠶體增殖的結果後

。1911年 Beauverie 指出其應屬於一個尚未描述的新屬。翌年，Vuillemin 為紀念 Beauveriae 才將該屬命名為 *Beauveria*。目前可承認的白殭菌有 7 種，其中白色白殭菌和蠅孢白殭菌為腐生種，其餘 5 種皆為昆蟲或蜘蛛病原真菌。李增智 (1991) 利用以下檢索表可將白殭菌屬的 7 個種鑑定到種，並對照後面描述的種的特徵予以確定。

#### 白殭菌屬分種檢索表

1a	分生孢子形似小逗號，或鐮刀形，腐生.....	蠅孢白殭菌 ( <i>B. vermiconia</i> )
1b	分生孢子球形，橢圓形，卵形或圓筒形.....	2
2a	分生孢子梗細長，產孢細胞長形至倒棒形，產孢軸細長，具許多突出的疤痕，腐生.....	白色白殭菌 ( <i>B. alba</i> )
2b	分生孢子梗較短。產孢細胞瓶形，基部程度不等地膨大，或在產孢細胞側面的釘狀小柄上產孢，但小柄可合軸式延長；產孢軸具小齒突；蟲生.....	3
3a	產孢細胞瓶形，基部膨大，頸部多合軸式延長並具小齒突.....	4
3b	產孢細胞多在一釘狀小柄上形成一個分生孢子，此柄也可合軸式延長並再育產孢，延長部份偶有明顯的齒突，見於蜘蛛.....	蜘蛛白殭菌 ( <i>B. araneara</i> )
4a	分生孢子外壁多具瘤狀突起，偶光滑，直徑 3~4 $\mu\text{m}$ 外被粘液.....	孢白殭菌 ( <i>B. velata</i> )
4b	分生孢子外壁光滑，無粘液層.....	5
5a	產孢細胞濃密簇生，輪生或單生.....	6
5b	產孢結構較纖細，產孢細胞很少成簇，分生孢子橢圓形，2-3 x 1.5-2.5 $\mu\text{m}$ .....	卵孢白殭菌 ( <i>B. brongniartii</i> )
6a	分生孢子球形或近球形，2-2 x 2-2.5 $\mu\text{m}$ ，極少形成束絲梗...白殭菌 ( <i>B. bassiana</i> )	
6b	分生孢子圓筒形，多一側扁平或微彎曲，3.5 x 1.5-2 $\mu\text{m}$ ，常形成束絲梗，見於鞘翅目.....	多形白殭菌 ( <i>B. amorpha</i> )

白殭菌寄主範圍廣，而且致病力強，可寄生 15 個目 149 個科的 700 多種昆蟲及蠅類。按種數排列，昆蟲寄主範圍分佈最多的種科依次是夜蛾、瓢蟲、天牛、尺蠖蛾等。白殭菌和卵孢白殭菌為兩種研究較徹底的昆蟲病原真菌。在蘇聯及中國大陸已被大量的使用。捷克斯拉夫有兩種產品，Boverol 和 Boversil。美國則有 Naturalis-L。蘇聯之產品 Boverin 被推薦用來防治不同的害蟲。主要針對馬鈴薯甲蟲 (*Leptinotarsa decemlineata*) 和蘋果蛀心蟲 (*Cydia pomonella*)。大多數都和降低劑量的殺蟲劑混合來增加對標的害蟲的感受性。在中國大陸的白殭菌是除了蘇力菌外，最常使用在微生物防治的病原微生物。在數以百計的生產單位或人民公社生產，用以防治歐洲玉米螟 (*Ostrinia nubilalis*)、松毛蟲 (*Dendrolimus spp.*) 和葉蟬 (*Nephotettix spp.*)。在 1977 年有 40 萬公頃玉米田，以白殭菌處理來防治歐洲玉米螟。蕭 (1982) 指出，當以每公頃 19 公斤含有 5

$\times 10^9$  孢子 / 克之粉劑施用，或以每公頃1,200公升含有  $0.1-0.2 \times 10^9$  孢子 / 毫升來噴灑時，能殺死80%三齡至四齡松毛蟲。近年來在西半球此菌再度引起較大的興趣，被測試用於防治馬鈴薯甲蟲。由於利用液體培養基表面培養 (liquid medium surface culture) 大量繁殖方法之發展，強化了工業界對此真菌的興趣。

在歐洲使用卵孢白殭菌來防治西方五月鰓金龜所做的研究不少。以分生孢子處理土壤或以芽生孢子噴灑成蟲，能使得該病在害蟲棲群中建立，並使害蟲第二世代棲群有顯著的減少。這些測試顯示我們必需考慮到病原真菌對某些害蟲長期的影響。

Hamill *et al* (1989) 從白殭菌之培養濾液中分離出白殭菌素 I (beauvericin I) 對蚊幼蟲和細菌有毒。Suzuki *et al* (1977) 亦自培養液中分離出類白殭素 II (bassianolide II)，能使家蠶幼蟲肌肉呈特異的馳緩症狀，最後死亡。

### 三、蟲霉目 (Entomophthorales)

雖然蟲霉目是一個重要且分佈於全世界的昆蟲病原類，但目前並未能進行商品化之生產以防治害蟲。主要的問題在於如何去生產一有感染性且安定的生物製劑。過去幾年有許多研究在進行以生產暗耳霉 (*Conidiobolus obscurus* = *Entomophthora thaxteriana*) 或毒力蟲霉 (*C. thomboids* = *E. virulenta*) 之休眠孢子 (resting spore) 或新蚜蟲疫霉 (*Eryniaeaphidis* = *Entomophthora aphidis*) 和圓孢蟲疫霉 (*Erynia radicans* = *Entomophthora sphaerosperma*) 之菌絲 / 菌絲體。有關這些休眠孢子之實際應用，所有的實驗結果均不佳。然而另有研究指出，將蚜蟲以人工接種4種蟲霉，再引入豆類植物上能使甜菜蚜 (*Aphis fabae*) 之棲群顯著減少。在澳洲釋放以色列品系之圓孢蟲疫霉來防治車軸草彩斑蚜 (*Therioaphis trifolii* f. *maculata*) 得到很好的結果。

在溫室和田間實際使用蟲霉目之真菌面臨的問題有：(一)使用品系病原性低；(二)接種源活性減少；(三)休眠孢子發芽率不高且不能同時發芽；(四)對不同種之蚜蟲或蚜蟲繁殖系 (clone) 之毒力有所差異。

最近幾年在美國，圓孢蟲疫霉已被當作真菌殺蟲劑來發展，用於鱗翅類之防治。目前生產技術發展的關鍵在於維持菌絲或且菌絲段之安定性，期於噴灑後這些菌絲或且菌絲段仍能在田間產生分生孢子，調製後的真菌可存放數月之久，且其在生長箱中之試驗具有防治效果。

### 四、湯氏多毛菌 (*Hirsutella thompsonii*)

多毛菌已報導記載的有80餘種，經整理後至少有60多個種和變種，它們能寄生多種昆蟲、蠟類和線蟲 (梁1990)。

被寄生致死的柑桔銹蟬 (*Phyllocoptruta oleivora*) 蟲體乾縮，從其前端、後

端和體側生出菌絲體，初期白色，後期變為灰白色，葡生。菌絲體直徑為2.3~3.3 $\mu\text{m}$ ，平均2.8 $\mu\text{m}$ ，有隔膜。分生孢子梗側生，與菌絲體成直角，瓶狀孢子梗長8~12(14) $\mu\text{m}$ ，寬2.5~4 $\mu\text{m}$ ，小梗長2~4(6) $\mu\text{m}$ ，寬0.7~1 $\mu\text{m}$ 。小梗通常為1個，也有2~3個。分生孢子頂生，透明，圓形、個別近圓形至卵形。圓形孢子直徑3~4(4.5) $\mu\text{m}$ ，近圓形至卵形孢子直徑3~4 $\times$ 4~5 $\mu\text{m}$ （陳和陳1991）。

根據該菌型態學上的顯著差異，湯氏多毛菌可分為3個變種：（一）湯氏變種（*H. thompsonii* var. *thompsonii*），菌落帶綠色，瓶梗可再育形成2~6個細長的頸部，分生孢子後期有明顯的疣狀物。（二）紅色變種（*H. thompsonii* var. *vinacea*），菌落呈葡萄酒紅色，其他特徵與前者相似。（三）梗束變種（*H. thompsonii* var. *synnematosa*），菌落呈淡綠色、很快又變成淡肉色或淡奶色的孢梗束，這是與前兩個變種的主要區別（Samson, 1980）。

湯氏多毛菌為喜溫真菌，雖在5~37 $^{\circ}\text{C}$ 溫度中均能生長，適溫為25~30 $^{\circ}\text{C}$ ，而最適的生長溫度為27~28 $^{\circ}\text{C}$ 。生長的適宜濕度為空氣相對濕度80%以上，若濕度低於80%，菌體難以生長。形成分生孢子要求有98%以上的相對濕度。在直射陽光下，菌體易被殺死，一般要求弱的散射光。紫外光也能殺死菌體和孢子。菌的生長發育要求通氣良好，適宜的酸鹼度為pH7.0（生產上，一般控制在pH6.7），對氮源的要求比碳源更重要（McCoy, 1981）。為抑制雜菌生長，在發酵生產時加入1mg/100ml氯霉素，可有效地抑制細菌生長。斜面培養PDA培養基較適，發酵生產選擇糖蜜（糖廠下腳料）2%、豆餅粉3%、磷酸二氫鉀0.015%、硫酸鎂0.05%的工業生產廉價培養基較適。米飯、米麥糠、馬鈴薯塊等自然培養基均適於該菌的生長（陳等1981, 1983, 1984）。

此菌在美國佛羅里達州研究最徹底。在佛州，此菌為自然發生於柑桔銹蟬之病原。自從1981年後在美國以Mycar之名銷售。此製劑含有活的湯氏多毛菌菌落形成單位（colony forming unit, cfu）。噴灑後附著於植物表面，生長成為小的孢子形成菌落。1981年有超過4,500公斤的Mycar可濕性粉劑賣出，處理超過2,000公頃之柑桔。田間單獨或與油類混合使用，在佛州中部和南部柑桔園中有良好的效果。Van Brussei, 1975年蘇里南應用湯氏多毛菌防治桔銹蟬，結果證明該菌有預防銹蟬發生並把蟲口控制在中等程度的作用。在果實上用0.25%、0.05%和10.1%的多毛菌分生孢子菌絲體懸浮液，進行田間試驗能控制銹蟬蟲口在低水平。

陳等在中國大陸自1972~1976年共用活菌絲體進行21次田間試驗，防治效益為三大類：（一）噴菌後24~72小時內沒有下過雨的，氣溫在25 $^{\circ}\text{C}$ 以上，相對濕度在80%以上有6例，防效為93~98.4%，平均防效96.5%。（二）噴菌當天或噴後48

小時內連續下雨，菌絲體受雨水沖刷共12例，防效為14.7~84.5%，平均防效57.6%。(三)噴菌後連續高溫乾燥，相對濕度在50%以下共3例，防效為49.6~64.9%。有效期可達2個月以上。據1982、1983二年用菌粉防治桔銹蟎核算，單獨使用菌粉區，平均增產14.1%；菌粉與化學藥交替使用區增產18.35%；常用農藥區增產7.4%，菌粉區次年還有後效。

此外，使用菌粉防治桔全爪蟎田間效果也在中等以上。此菌已成功地用於田間防治，這對於減少農藥施用、防治害蟎產生抗藥性有很大意義。該菌容易培養，殺蟎高效，對人畜無毒，對環境無污染，一經施用，能在田間定殖，成為有效地抑制害蟲群體的生態因子，是一種頗有潛力的殺蟎劑(梁及葉，1994)。

### 五、黑殭菌 (*Metarhizium*)

黑殭菌屬不完全菌亞門 (Deuteromycotina, Fungi Imperfecti)，線菌綱 (Hyphomycetes)，鏈孢霉目 (Moniliales)，鏈孢霉科 (Moniliaceae)。郭及陳 (1991) 認為本屬菌應同時具有下列五方面特徵：(一)菌落初期白色，產孢子階段呈不同程度綠色。(二)分生孢子梗單生或者聚集，呈分生孢子梗座。(三)分生孢子以粘液成平行排列的柱狀孢子團塊。(四)分生孢子長形至長橢圓形。(五)屬於昆蟲寄生菌。在此菌分種問題上，僅以菌落顏色分種，以分生孢子大小來區分變種也是不盡完善的。應在以上五方面特徵的異同上，作綜合分析。

黑殭菌屬之菌落初期白色，茸狀。產孢階段菌落中間呈一叢叢具不同程度綠色的分生孢子堆。菌落顏色由綠色變灰綠直至黑色或者保持原來綠色，或者呈翡翠綠色。基質反面色澤呈淡褐色，少數菌種可呈赭色。分生孢子梗單生或聚集，緊密排列，帶狀分枝或幹生體。帶狀枝層次不複雜，1~2層，其頂端分枝，末端為瓶狀小梗，以向基式產生分生孢子。分生孢子單細胞，鏈狀連接。分生孢子以粘液粘成平行排列的柱狀鏈柱，老培養體柱狀孢子鏈柱潰散為菱形或其他不規則形狀的分生孢子團塊。分生孢子長形至長橢圓形，無色，成堆時呈淡綠至橄欖綠色，形體一般較青霉屬孢子為大。本屬系昆蟲寄生菌。

自從 Sorokin (1883) 建立黑殭菌屬以來，已發表10餘個種。茲將已知種的主要特徵檢索表列如下 (郭及陳，1991)。

- 1a 菌落綠色，橄欖綠色，後期變黑色。.....2
- 1b 菌落綠色，暗綠，灰綠或黃綠，始終不變黑色。.....3
- 2a 分生孢子團塊牢固，排列整齊。分生孢子長橢圓形，一端稍細，端連接處的平頂斜度小，分生孢子大小為  $7.5\sim 8 \times 3.1\sim 3.8 \mu\text{m}$ 。.....  
.....黑殭菌 (*M. anisopliae* var. *anisopliae*)
- 2b 分生孢子團塊牢固，排列整齊，分生孢子長形，一端微細，大小平均為  $12.9 (\pm 1.7) \times 3.28 (\pm 0.64) \mu\text{m}$ 。.....大孢變種 (*M. anisopliae* var. *major*)

- 2c 分生孢子團塊牢固，排列不整齊。分生孢子長橢圓形，兩端連接處的平頂明顯不在同一中心軸上。分生孢子大小為  $6.7\sim 7.3 \times 3.0\sim 3.4 \mu\text{m}$ ..... 貴州黑殭菌 (*M. guizhouense*)
- 3a 菌落綠色至灰綠色。分生孢子團塊大，粗細大小超過20個並列的分生孢子以上，排列整齊，分生孢子長橢圓形，兩端對稱。分生孢子鏈的連接點基本上在同一中心軸上。分生孢子大小為  $5.5\sim 7.0 \times 1.5\sim 2.5 \mu\text{m}$ ..... 平沙黑殭菌 (*M. pingshanense*)
- 3b 菌落灰黃綠色，最終呈淡灰橄欖色，分生孢子團塊大，排列整齊。分生孢子長橢圓形，大小為  $7\sim 9 \times 4.5\sim 5.5 \mu\text{m}$ ..... 黃綠黑殭菌 (*M. flavoviride*)
- 3c 其特徵描述同黃綠黑殭菌。分生孢子大小為  $4.5\sim 7 \times 2\sim 3 \mu\text{m}$ ..... 綠黑殭菌小孢變種 (*Metarhizium flavoviride* var. *minus*)
- 3d 菌落鮮綠至暗綠，分生孢子團塊很細，粗細僅由4~8個分生孢子並列組成。在同一個分生孢子梗上，開始產生小型分生孢子，大小為  $5.4 \times 2.7 \mu\text{m}$ ，接著產生香蕉的柱形分生孢子，大小為  $17.2\sim 19.7 \times 2.5\sim 3.7 \mu\text{m}$ ..... 柱孢黑殭菌 (*Metarhizium cylindrosporae*)
- 3e 菌落開始白色，產孢區始終保持翡翠綠色，分生孢子鏈連接較鬆散，團塊不緊密。分生孢子長橢圓形，連接處呈壇口狀，大小為  $4\sim 6 \times 1.8\sim 2.4 \mu\text{m}$ ..... 翠綠黑殭菌 (*Meiarhizium iadini*)

此外，尚有戴氏黑殭菌 (*M. daii*) 在蟲體上形成孢梗束，菌落墨綠色，分生孢子兩端圓或一端稍細尖，  $7.8\sim 9.6 \times 2.5\sim 3.0 \mu\text{m}$ ，偶有雙細胞；有性型為一種子囊殼傾斜埋生的蟲草菌，戴氏蟲草 (*Cordyceps daii*)。雙型孢黑殭菌 (*M. biformispore*)，分生孢子有兩型：柱狀大型孢  $16\sim 18 \times 2.5\sim 3.5 \mu\text{m}$ ，卵圓形小型孢  $5\sim 7 \times 2.5\sim 3.0 \mu\text{m}$ ；瓶梗柱狀；菌落橄欖綠色。另有白色黑殭菌 (*M. album*) 一種 (Rombach, 1987)。

黑殭菌分佈於全世界，可能是自然土壤植物區系 (flora) 的一部分，可以由昆蟲自土壤餌集此一蟲生病原真菌。自德國 Darmstadt 地區不同的群落生境 (biotope) 選取100個土樣，可分離出40株黑殭菌菌株，而黑殭菌大孢變種則侷限於南太平洋之犀角金龜子。黃綠黑殭菌很少被發現在西歐，但時常自罹病的非洲蝗蟲上分離到。黑殭菌類可以用不同的選擇性培養自土壤中輕易地分離到。

由於黑殭菌分佈廣，也就是說很容易從許多昆蟲上分離得到。Veen (1968) 調查黑殭菌的寄主範圍，發現能寄生分屬7個目，超過200種以上的昆蟲。主要寄主為鞘翅目，共有134種昆蟲，主要為象鼻蟲科、叩頭蟲科，和金龜子科，至於雙翅目和膜翅目則少受感染。而 Moore 和 Prior (1993) 則指出可自包括鱗翅目、鞘翅目、直翅目和半翅目之300種昆蟲分離鑑定出黑殭菌來。黑殭菌品系不同，寄主範圍差異甚大，如果要針對一特殊的標的害蟲做防治時，必需要進行生物檢定以便篩選出毒力最強之品系。

自從 Metschnikoff 和 Krassiltschik 之古典防治調查之後，有許多有關利用此真菌做為生物防治劑之實例。Muller-kogler 報導棕櫚害蟲犀角金龜 (*Oryctes rhinoceros*) 可以用此真菌來防治。目前在許多太平洋群島和東南亞已經很成功地利用黑殭菌來防治犀角金龜。此菌可以用簡單的方法生產，並和一種桿狀病毒 (baculovirus) 一起使用，是一種在綜合防治計畫中很重要的工具。

有五目 (order) 的昆蟲可以利用黑殭菌來防治，包括白蟻、蝗蟲、蜚蠊、沫蟬、金花蟲、象鼻蟲、金龜子和甜菜夜蛾、小菜蛾等。大多數的這些害蟲分佈廣，且具經濟重要性。有時以傳統的化學殺蟲劑難以防治，不滿意或有著不良的環境副作用。或使用生物防治方法如病毒、蘇力菌或釋放幼蟲和卵寄生蜂來防治標的害蟲時，或者防治不易或防治不佳時，黑殭菌就成為最佳候選者。

文獻中以本真菌防治甲蟲類包括金花蟲、象鼻蟲和金龜子，已所在多是。目前以黑殭菌或黃綠黑殭菌來防治白蟻、非洲沙漠蝗及非蟻已受到相當的重視。在巴西，此菌大量地用在牧草和甘蔗害蟲如沫蟬 (*Mahanava posticata*) 之防治。本菌之產品 "Metaquino" 用在數個特區，幾千公頃的田地上。由於此菌以粉劑之劑型增加其產量，致使在1980年以黑殭菌來防治甘蔗田沫蟬之面積增加67%，而以化學藥劑防治面積大約只有20,800公頃，僅佔需要防治總面積的18.4%。近來黑殭菌針對不同的土壤害蟲，如澳洲的牧草金龜 (*Aphodius tasmaniae*)、美國之核桃象鼻蟲 (*Curculio caryae*)、歐洲之葡萄黑耳喙鼻 (*Otiorhynchus sulcatus*)，已被視為潛力頗佳之防治劑。在許多情形下，此真菌的防治效果與現在正在使用的化學殺蟲劑相當甚或略勝一籌。

黑殭菌在澳洲被用於防治長鼻白蟻 (*Nasutitermes exitiosus*)，初步田間試驗結果相當不錯。在本省此菌用來防治青蔥上之甜菜夜蛾和可可椰子之紅胸葉蟲 (*Brontispa longissima*) 成效斐然。此菌可以用殺菌過的白米、燕麥或小麥糠來大量生產，有分子孢子懸浮液、乾粉或粒劑等劑型。目前有 Metaquino 和 Bio-path 兩種產品，前者用來防治沫蟬，後者則用來防治蜚蠊。

黑殭菌之培養物含有黑殭菌素 (destruxin) A, B, C, D, E 和脫甲基黑殭菌素 B (desmethyldestruxin B)。黑殭菌素曾被視為新世代殺蟲劑 (Vey et al., 1987)。將黑殭菌素接種到大蠟蛾 (*Galleria mellonella*) 幼蟲時，造成破傷風性的麻痺。亦在受真菌感染的幼蟲中產生，對病徵的發展頗為重要。在幼蟲中迅速產生黑殭菌素會使昆蟲致死。黑殭菌素被取食時對昆蟲有毒，經體壁則無。

此毒素不僅對鱗翅類具毒性亦對雙翅目幼蟲，包括蚊子幼蟲有毒，蚊子幼蟲中腸消化孢子時毒素已被釋出。中腸細胞發生細胞病理變化，粒線體和內質網狀構造發生改變，且細胞核固縮。在神經肌肉上並無組織病痕 (lesion)。中毒病



微和蚊子幼蟲死亡的開始與幼蟲取食總共的孢子數目有相互關係。二次代謝產物（如黑殭菌素 E）有免疫抑制劑（immunosuppressant）的作用，能抑制寄主的細胞或且體液的防禦反應。此外，黑殭菌亦產生有毒的蛋白質分解酵素。實驗並證實純化後之黑殭菌素 E 較黑殭菌素 A 或 B 有較強的殺蚊效果（Riba *et al.*, 1986）（表3）。

表3. 三種蚊類幼蟲對純化後黑殭菌素感受性之比較

黑殭菌素	LC <sub>50</sub> (ppm)		
	尖音家蚊	斯氏/虐蚊	埃及斑蚊
E	2.5-3.2	20.4-29.3	17.8-23.8
A	7.1-9.4	83.2-108.3	69.8-92.0
B	58.4-95.8	212.4-700	72.5-105.8

## 六、綠殭菌 (*Nomuraea rileyi*)

綠殭菌亦稱為萊氏野村菌。綠殭菌屬報導記載有 3 個種：（梁及葉 1994）

- 1a 分生孢子廣，擬橢圓形或柱形；不形成孢梗束.....2
- 1b 分生孢子球形至橢圓形，一般直徑 3~4 μm；形成孢梗束；菌落大多淡灰綠色；分離至土壤.....灰綠綠殭菌 (*Nomuraea anemonoides*)
- 2a 分生孢子廣，擬橢圓形至柱狀，3.5~4.5 x 2~3 μm；主要寄生鱗翅目昆蟲.....綠殭菌 (*Nomuraea rileyi*)
- 2b 分生孢子柱狀，微彎曲，4~6 x 1.2~1.5 μm；菌落紫色；寄生蜘蛛；柱形蟲草 (*Cordyceps cylindrica*) 的無性型 (Greenstone 等, 1987).....紫色綠殭菌 (*Nomuraea atypicola*)

綠殭菌能自然發生於許多鱗翅目害蟲上，寄生於 30 多種鱗翅目害蟲，特別對夜蛾科害蟲的致病力更強，且常引發流行病 (Ignoffo, 1981, 1982; Grant 1982)。美國應用該菌作微生物殺蟲劑，誘發流病及生態系統調節等途徑，防治危害大豆的夜蛾類幼蟲，取得顯著的效果 (Ignoffo, 1981; Boucias, 1982)。日本研究人員認為，該菌廣泛分布於水田，適宜防治雜食性的斜紋夜蛾等害蟲 (淺山, 1980)。

綠殭菌在害蟲防治中的真正重要意義還在於流行性病的誘發調整，及通過調節生態系發揮其在綜合治理中的自然控制作用。Ignoffo 經研究提出了綠殭菌自然流行的循環過程：

- (一) 在土壤中越冬存活的分生孢子，早春時使豆苗和新生多年生雜草帶菌。

(二)取食帶菌植株的敏感幼蟲被感染。

(三)感染幼蟲爬行移動將病原擴散到全植株。

(四)初感染幼蟲死亡，蟲屍上形成的分生孢子增加了田間分生孢子量和侵染源。

(五)在春末和夏季，感染反復發生，孢子量不斷增加，由於風的擴散夏季流行病發生。

(六)夏末秋初敏感幼蟲群局部被消滅。

(七)死亡幼蟲及其形成的分生孢子重新使土壤帶菌。

綜合上所述，越冬孢子的數量，早春的有效寄主，適宜的感染條件和擴散條件等，是決定綠殭菌自然流行性病發生和發展的重要因素 (Ignoffo, 1981)。

在過去幾年對綠殭菌做過不少的研究，此菌可作為日後微生物殺蟲劑的候選者。然而根據 Ignoff (1981) 之報告指出，有 4 種不利的因子需要調查，來評估綠殭菌實際使用之可行性：(一)致死的速度太慢，不能遏阻害蟲造成之損失；(二)需要游離水才能發芽、生長和產孢；(三)溫度範圍在 15~30°C；(四)為了要把綠殭菌當作殺蟲劑來使用時，針對稚齡幼蟲需要高劑量的孢子。

#### 七、蠟蚧幹枝菌 (*Verticillium lecanii*)

蠟蚧幹枝菌是為人熟識的節肢動物之病原真菌。最早於 1861 年被描述粉蝨、蚜蟲和介殼蟲。此外梁 (1984) 記錄尚可寄生綿褐帶卷蛾 (*Adoxophyes privotama*) 和茶刺蛾 (*Iragoides faseiata*) 等。

本菌為歐洲第一個商品化的真菌。英國自 1981 年起即以 Vertalec 之名來防治蚜蟲，後來以 Mycotal 為名，防治溫室中之粉蝨。第一次實驗是在菊花上進行，防治的對象為數種蚜蟲，包括桃蚜 (*Myzus persicae*)。後來又證實本菌亦可使用於食用作物，如胡瓜或茄子上蚜蟲之防治。

芽生孢子和分生孢子同樣有效，但安定性較差。由於潛伏期 (incubation period) 較長大約 10 日，故必須及早將病原引入正在增長的害蟲棲群中去。此引入方式，使得施用 1~2 次之後，真菌能建立起來並有數週的高防治率。此真菌和一種營養基質混合調製，能誘發發芽和部份在葉表之腐生生長。如此蠟蚧幹枝菌可宿存於棲群中，並可攻擊其他健康的蚜蟲。每天至少有 10~12 小時，溫度在 15~25°C，相對濕度在 85% 以上，才能得到有效的防治。配合其他植物保護方法，如殺菌劑之施用亦屬必要。

在田間使用此菌之所以效果不佳，則因不適當的濕度條件使然。本菌在捷克有更一步的利用，在蘇聯則以 Verticillin 之名在利用。1988 年荷蘭 Koppert 公司亦加入生產，其產品經測試，防治溫室中之胡瓜及番茄之溫室粉蝨成效卓著。

經測試，其對菸草粉蝨 (*Bemisia tabaci*) 1~3齡之若蟲均能造成90%之死亡率。

## 環境對蟲生病原真菌潛能之衝擊

蟲生病原真菌之潛能主要受到環境的影響。環境條件對某一病原之發展、安定性和效果，可能有正面或負面的影響，或無關。當我們考慮到品種或且品系選汰、製劑、施用技術和在田間實驗要獲得恆定且具再現性的結果時，環境因子對蟲生病原衝擊之知識就更形重要。圖1.顯示出病原真菌和無生物及生物環境因子可能的相互作用。

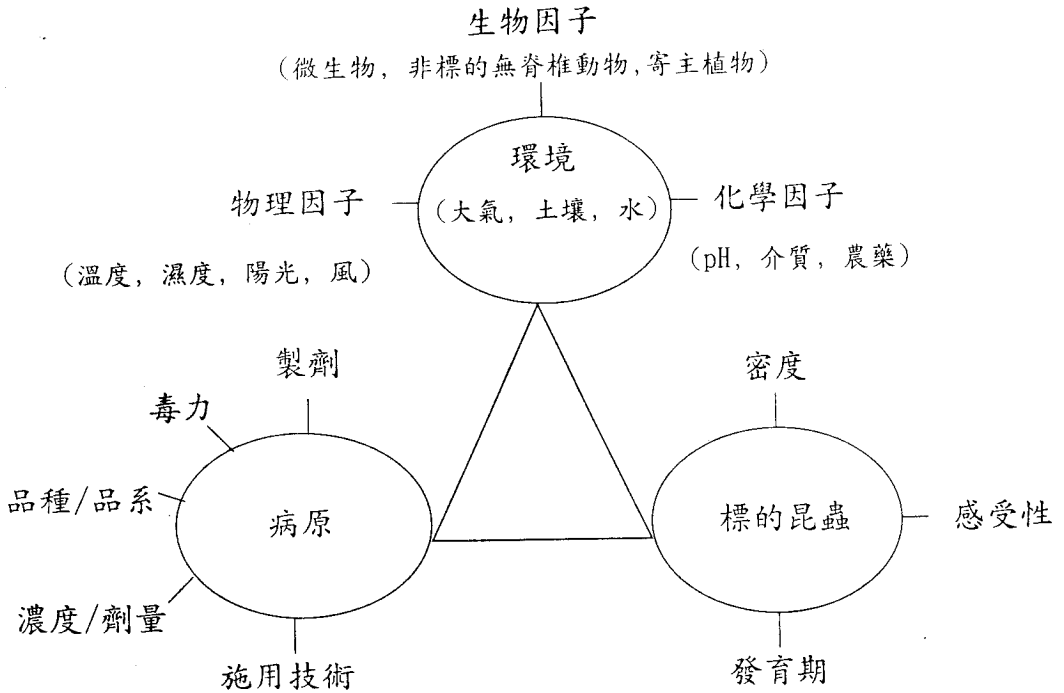


圖1. 影響蟲生真菌在田間效果表現之因子

吾人參考最新研究結果，在此討論最重要因子如下：

### 一、物理因子

(一)溫度：文獻上有許多對真菌病原發芽、生長和產孢之最適、最高和最低溫度的數據。但溫度不但影響真菌，亦影響標的寄主昆蟲，如對一病原菌是亞適溫 (sub-optimal temperature)，可能對寄主昆蟲亦然。

真菌平均最適溫度在20~25°C間，最高大約35°C，最低大約5~10°C。大多數的有關蟲生病原真菌種類在15°C和25°C間有最大活性。長期處於此類溫度卻可能限制甚或阻止感染或流行疫病之啓動 (initiation) 和發育。

超過35°C之溫度是溫室內處於營養期 (vegetation period) 之真菌的限制因子。如果溫度超過35°C數小時，則蠟蚧幹枝霉之活性和分散會受到極大的傷害。Zimmermann (1982) 指出，黑殭菌對較高溫度之抗性明顯地受到大氣濕度

條件的影響，在40°C到80°C之抗性實驗發現愈乾燥愈具抗性。在一特定溫度之發芽速度，亦對流行疫病之潛能有很大影響。這就是蠟蚧幹枝霉之快速發芽的大孢子品系，比發芽速度慢的小孢子品系，較有實際應用價值的原因。在36°C或36°C以上溫度生長的真菌，則必須考慮其安全性（因其和人類的體溫相近）。黑殭菌是土棲害蟲生物防治最具潛力的候選者，其最適發芽和生長的溫度大約在25~28°C。溫度似乎成爲室外應用此病原的限制因子之一。

最近有研究在篩選具低溫臨界的品系，亦有成功的例子。很有趣的是，在熱帶地區的品系，出人意料之外，時常有較低的最適溫度。最近的調查指出溫度對分生孢子（conidia）和芽生孢子（blastospore）亦有不同的作用。蚊子病原彎頸霉（*Tolyocladium cylindrosporium*）其分生孢子和芽生孢子之最適發芽和生長溫度在24~27°C。然而芽生孢子在12°C和25°C時感染和殺死寄主幼蟲，均較分生孢子爲快。主要是由於芽生孢子有較快之發芽率。

(二)濕度：相對濕度爲影響真菌之關鍵因子，一般分生孢子在相對濕度100~90%發芽。黑殭菌在控制之相對濕度94~92%時，分生孢子停止發芽，而在100%時發芽菌絲（germination hyphae）最長。對許多蟲霉目而言，飽和或接近飽和的空氣是發射分生孢子和隨後之發芽所必需的。濕潤條件有利於蟲霉之流行疫病，已有多項研究報告。

研究亦指出，許多昆蟲在相當寬廣的相對濕度水準下亦受到感染。蠹蟲（*Scolytus scolytus*）幼蟲在相對濕度低到51%尚可能受到白殭菌和黑殭菌的感染。Ferron（1977）指出，白殭菌分生孢子發芽需在相對濕度爲91%時，但此菌不論周圍相對濕度如何，均能感染大豆象（*Acanthoscelides obtectus*）。白殭菌對麥長椿象和蠅霉對家蠅（*Musca domestica*）感染時亦得到相似之結果。

這些數據顯示，必需將大氣、大環境相對濕度和最接近昆蟲表皮或植物表面之子環境相對濕度分清楚。無疑地，在實用上，相對濕度是影響蟲生真菌潛能一個重要的非生物因子；故要特別針對製劑技術作更一步的研究。

然而，在耕種之土壤中，當使用病原真菌來防治土棲害蟲時，含水狀況或相對濕度之重要性不大，或根本不重要。除了表層外，整個菌絲被包在有著99%相對濕度之土壤中，故雖然對中生高等植物（mesophytic higher plant）而言，土壤含水量已達永久萎凋點 pF 4.2（相當於相對濕度98%），真菌仍有可能發芽和生長。但蟲生真菌在土壤中之活性和安定性則受到其他生物及非生物因子的影響極大，有些因子會在以後討論到。

(三)陽光：可見光和紫外線對微生物之影響是很重要的。光輻射可能會刺激、或有害於真菌的活性或與之無關。在發芽、生長或產孢的過程中，光線有時是

絕對必要的非生物因子。Alves 等人 (1984) 在大量生產黑殭菌時，測試12種溫度和光週期之組合，發現溫度28°C和16小時的光照對其菌株最適合。高等 (1989) 則指出黑殭菌 Ma2 最適溫度為28°C，但需要24小時之光照對菌株最有利。相反地，分子孢子則因曝光而壽命大減 (Clerk 和 Madelin, 1965)。

真菌在田間葉面上之活性和持續性受到陽光的影響頗大，陽光亦改變葉圈 (phyllosphere) 之組成。陽光對真菌有害之影響已有數位研究人員描述過。Ignoffo (1982) 指出，綠殭菌分生孢子在大豆葉上之平均半生期為2~3天。但 Gardner 等人 (1977) 記錄在同樣大豆葉片上之半生期為5~10天。與其他病原相較，真菌對紫外線抗性似乎較強。

比較顆粒體病毒 (GV)、核多角體病毒 (NPV)、蘇力菌和白殭菌等 4種蟲生病原對紫外線之敏感性時，發現在近紫外線 (285~380nm) 下，白殭菌的分生孢子之抗性居首。UVA 和UVB (均為太陽光譜之組成分) 對黑殭菌不利的影響如下 (Zimmermann, 1982)：在6和12分鐘的人工太陽光輻射曝露下，分生孢子活力有顯著的下降，24分鐘之後，所有的孢子均不活化。由於燈泡產生的輻射強度是天然日光的10倍，以外插法可得知半生期為2~3小時。為了要保證真菌繁殖體在田間有較長的安定性，可以用紫外線保護劑來保護其不受陽光的影響。另外，特別的施用技術，如葉背噴灑，亦可提供附加的保護作用。

## 二、化學因子

蟲生病原真菌用於蟲害防治或多或少受到殺蟲劑、殺菌劑甚或殺草劑之不良影響。如果要將病原真菌納入綜合防治體系中，則其與現存防治方法之適合性應作調查。一般而言，殺菌劑最危險，但有時殺蟲劑和某些殺草劑也會抑制某些真菌種類。然而，在推薦濃度下許多農藥對病原無或僅具低或中度之抑制作用，故農藥仍可與生物防治聯合使用。Ignoffo (1981) 測試44種農藥來決定綠殭菌分生孢子對其感受性。發現真菌在測試的 8種殺菌劑中有 7種，25種殺蟲劑中13種，殺草劑11種有 4種，受到抑制。然而農藥在田間的影響時常不如實驗室之嚴厲，尤其是某些在葉面上持續性低的農藥。實際上，蟲生真菌和農藥之適合性常受施用時機以及生物與化學防治是否同時發生之影響頗大。

## 三、生物因子

除了非生物環境因子外，蟲生真菌之效果和安定性可能亦受到生物因子，如微生物、非標的無脊椎動物或寄主植物之影響。

(一)微生物：生物製劑施用於作物葉表面，或施於土壤上或土壤中，故時常和其他微生物在葉圈或根圈 (rhizosphere) 作直接接觸。植物表面上之表生微生物相 (epiphytic microflora)，由細菌、酵母菌和其他腐生或植物病原真菌

組成，微生物之間有許多的相互作用。勿庸置疑的，蟲生真菌亦可能受到這些存在於葉表之微生物所影響。當然蟲生真菌以相當高的量施用，或常與營養物調配，以提高其在葉片上之發芽生長和產孢，故可克服其他微生物之衝擊。但在此方面之研究尚欠缺，我們只能臆測其最終之相互作用模式。

如果蟲生真菌施用到土壤上或土壤中，則土壤微生物對其活性之影響就十分明顯了。故數位研究人員調查，土壤中真菌繁殖體（propagule）受生物因子之影響，結果顯示：白殭菌和黑殭菌能在殺菌過之土壤中發芽、生長，未殺菌者則否。顯然土壤微生物相，如放線菌（actinomycetes）、其他真菌或細菌抑制了蟲生真菌。有一案例是青黴菌（*Penicillium urticae*）能產生水溶性之抑制劑，而對白殭菌有靜菌作用（fungistatic effect）。另外，蟲生真菌亦對不同的一般腐生菌（saprophyte）有抗生性質。

另一種生物因子之影響，是寄主昆蟲表皮常有真菌和細菌污染物。此污染物會影響發芽和感染過程。如白殭菌在松灰樹皮象鼻蟲（*Hylobius pales*）發芽情形差，當以表面消毒方法除去明顯之抗生物（antibiotic principle）之後，可得到高的發芽率。

（二）非標的無脊椎動物：非標的節肢動物或其他無脊椎動物亦可能牽涉到蟲生真菌的活性和分散。在土壤中，黑殭菌的分生孢子，能受到小型節肢動物，主要是彈尾目（Collembola）和蜘蛛（Acari）之被動輸送。數種攜播蟎類（phoretic mite）亦能攜帶真菌繁殖體，本身亦受此病原之感染，而有利於建立接種源。考慮到蟲生真菌可能用於難以到達的土壤或蛀食木料害蟲之防治時，這些發現就值得注意了。

（三）寄主植物：甚至寄主植物本身能直接對真菌病原有所影響，或間接影響寄主昆蟲而影響真菌病原。Zimmermann（1984）以黑殭菌防治葡萄黑耳喙象時，發現病原在櫻草屬植物（cyclamen）較在其他植物種類之效果差，顯示真菌受到植物直接之傷害。Hare 和 Andreadis（1983）描述植物對病原之間接影響，他們發現馬鈴薯甲蟲對白殭菌的感受性，因害蟲之寄主植物種類和植物年齡而有所不同。

## 結論及展望

雖然蟲生真菌為人所知已150年，但實際上成功地被使用例子仍不多。在不同種作物上，許多田間試驗由於環境條件不同而有不同的結果。雖然過去20~25年做了不少的基礎研究，但仍存在許多問題：如選擇合適的品系，工業化大量生產，儲藏條件，調製提高安定性或且使該病原不受環境因子影響之製劑等。在溫

帶地區篩選低溫臨界之真菌品系就相當重要，可以減少潛伏期，亦可增加在10~20°C時之效果。生物技術或遺傳工程之新技術，亦可能有助於發展高毒力或對環境條件有較佳適應性之真菌品系。

最近真菌病原在溫室和土壤害蟲防治的效果卓著。特別是在溫室，對真菌而言，環境條件更適合，此外，害蟲棲群之發展亦較能預測，故病原可以及早引進到正在增長的害蟲棲群去。至於真菌在土壤中之應用，應就其行爲、安定性和其與土壤微生物相及寄主植物之相互作用，進行更一步的研究。

真菌殺蟲劑在已開發國家商業化的生產受到侷限，有許多因素存在：在與化學殺蟲劑相較，其寄主範圍窄；現行醱酵技術使得量產之成本相當高；在櫥架和田間相當不安定；在田間需要非常高的含水環境；殺蟲速率慢（達2到3週），未來生物工程的發展有助於解決部份問題，特別是生產、安定性和殺蟲速率等方面。

論及生產和製劑，大多數有關的真菌均可利用天然物，如米和小麥行固體醱酵而大量生產，其分生孢子期被調製成真菌殺蟲劑。近來的進展可利用液體醱酵來生產較脆弱的芽生孢子或菌絲，這些芽生孢子或菌絲，可用來生產分生孢子或直接成爲製劑。可借系統化地篩選田間品系，和經由原生質體融合的方法來結合有利之生長（或其他）特徵，改善固體和液體培養的表現，最近在分生孢子和菌絲之製劑上有相當的進展，能改善櫥架壽命，特別是萎凋法（marcescence）已獲得專利，此法能將菌絲乾燥、製粉，當遇到潮濕時，分生孢子即可在作物之原位（*in situ*）產生。

大多數真菌殺蟲劑在田間遇到的兩個主要的問題是：（一）在其持續和感染需要非常潮濕的條件，和（二）其殺蟲速率慢。前一個問題限制了真菌殺蟲劑的使用範圍，使其侷限於溫室、土壤和水生昆蟲，甚至在相對濕度十分高的溫室，對蠟蚧幹枝孢菌卻是太乾燥而不能成功地展開而進行蚜蟲防治，但是若能利用適當的誘餌，不論外在的濕度如何，可在口器部份感染昆蟲，此法可擴展真菌殺蟲劑可能的用途。

論及殺蟲速率之緩慢，仍有改善之法，可借原生質體融合技術，慎選天然的變異種，將之合併到商業化的品系之中。然而利用遺傳工程技術來改善其毒性則相當困難。對某些真菌而言（包括黑殭菌），基因轉移技術之發展進步神速，但是什麼基因能被有效地轉移尚不清楚，因爲殺蟲速率之緩慢的基因未明且複雜。

由於許多真菌的生產容易且相當便宜，施用容易，建議可在開發中國家作爲生物防治劑來使用。利用此法有助於減少昂貴且有毒的殺蟲劑之進口，故而應發展涵括真菌治蟲的熱帶害蟲之防治策略。（續完）

小啟：38期11頁，大量飼育之昆蟲不受真菌之攻擊，.....或「白粉克」.....。以「蓋普丹」防治.....。上列兩種殺菌劑業已禁用，特此註明。





▲受黑殭菌感染死亡之甜菜夜蛾幼蟲體表滿佈墨綠色分生孢子



▲不同品系之黑殭菌



▲黑殭菌之分生孢子柄

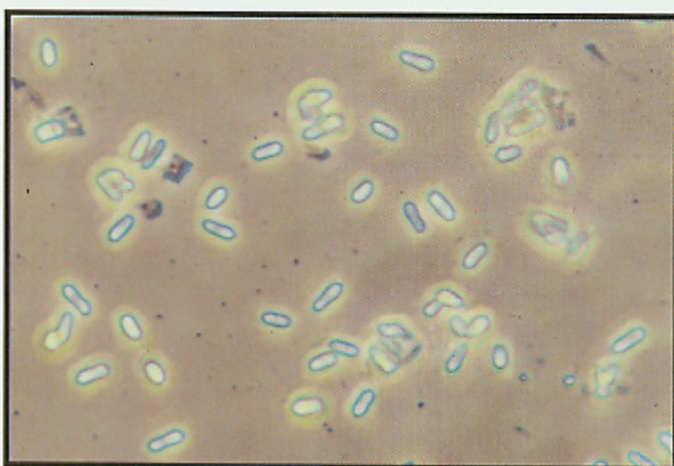


▲在人工培養箱中培養之黑殭菌

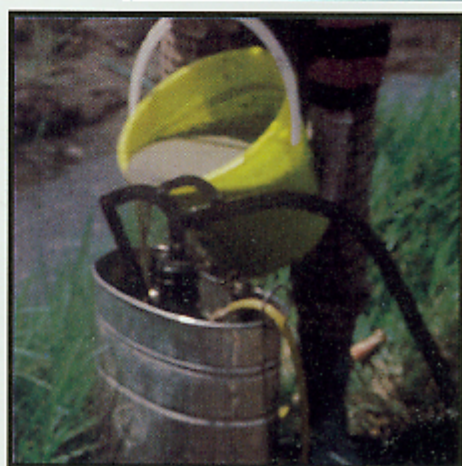


▲米飯表面滿佈黑殭菌孢子

▼將米飯中之黑殭菌孢子洗出



▲黑殭菌之分生孢子



▲將黑殭菌孢子懸浮液倒入噴藥桶即之噴灑防治害蟲