

## 植物病害管理的概念與原則

# Plant Disease Management

**Otis C. Maloy**

Department of Plant Pathology, Washington State University, Pullman, WA

沈原民 譯

台灣大學植物病理與微生物學系

植物病害在許多方面給人們造成嚴重損失。例如在愛爾蘭發生的馬鈴薯晚疫病(*Phytophthora infestans*)，演變成爲大規模饑荒與移民潮。而栗樹枝枯病(*Cryphonectria parasitica*)從亞洲傳到美國，幾乎摧毀當地所有栗樹。此外，南方玉米葉枯病(*Cochliobolus maydis*，無性世代爲 *Bipolaris maydis*)直接造成經濟損失，估計年損 10 億美元。許多植物病害每年在世界各地引起不爲人注意的損失，而這些病害的損失加起來對農業是很大的威脅，不僅如此，植物病害還會影響居家庭院、景觀植物的美感與價值。

「植物病害管理(plant disease management)」的目標是降低植物病害對經濟與美感的損害。以往植物病害管理被稱作「植物病害防治」，但「防治(control)」一詞在現行社會與環境潮流下顯得死板而僵化。更多面向的解釋爲「病害管理」、「病害綜合管理(Integrated disease management)」。由於人們態度上的改變，施用農藥、土壤燻蒸、燒毀病株等單一手段不再是最常用的方法。現在，執行病害管理不僅止於病害防治曆與處方，還經常決定於病害預測與病害模式分析。意即病害「管理」是預警行動而病害「防治」是因應行動。不過，實際應用時這兩種概念經常不容易區分。

這篇文章概括植物病害管理或防治的各種方法與策略。其中不包含特殊病害的特殊管理計劃，因爲這往往取決於作物所在的環境、地點、病害嚴重程度、作物管理方法及其他多種因子。美國各州的一些機構如農業推廣部門、州立農業部等，都會整理發佈各種病害與推薦的管理方法。這些機構執行的農藥管制、植物檢疫等工作極爲重要。

在美國植物病理學會的網頁，可以查到特定作物與病害的管理方法，作爲植物病害管理策略之參考，詳見文後之參考網頁[1]。

植物病害管理的實行有賴下列兩項工作：(1)早期預知植物病害 (2)攻擊侵染循環中的弱點(如病害一系列感染過程中較弱的環節)。因此，鑑定病原是正確診斷病害的第一步，以此病原爲目標進行病害管理計劃[2]。徹底瞭解整個侵染循環，以及影響病害環的氣候及其他環境因子、寄主植物栽培的必要條件等。這

些資訊或多或少都能輔助植物病害管理。

用於植物病害管理的策略與技術有很多種，可以歸類成幾種主要的行動原則。這些原則之間的界定並不明確，最簡單的分類系統把他們二分爲：預防及治療。

首要的原則爲：預防。預防包括病害感染前的管理策略，而治療則是植物受感染後所實施的任何方法。預防的例子有加強檢疫措施，防止病原從異地引進到不會出現此病原的地區。

治療運用熱或化學處理植物，如球莖、鱗莖、木材等，以杜絕真菌、細菌、線蟲、病毒等病原在植物體中建立族群。化學治療法應用化學製劑到受感染的植物，阻斷病原侵入。雖然人們試圖加強化學治療法的效果，但鮮少成功，對一些景觀樹木或高價值樹木的病害來說，化學治療法只是緩兵之計，而且每隔一到數年還得重覆施用。舉例來說，人們注入抗生素以減少棕櫚科植物和梨的植物類菌質病害(*phytoplasma*，致死黃化病、梨衰弱病)；注射殺菌劑來降低荷蘭榆樹病的嚴重度(*Ophiostoma ulmi*) (圖一)，但在所有案例中，化學治療藥劑皆需週期地重覆施用。此外還有一些「系統性」殺菌劑能夠擴散一段距離進入植物組織，消除病原的初期感染(如 SBI 固醇類生合成抑制劑和 DMI 去甲基化抑制劑)。

H. H. Whetzel 在早期研究中歸納了四種病害防治原則：**排除病原(exclusion)**、**撲滅病原(eradication)**、**保護(Protection)**、**免疫(immunization)** (不過植物不像動物一樣有免疫系統，第四個原則應稱作**植物抗病性(resistance)**更爲貼切)。這些原則現在仍然挺適用，而且被其他研究者進一步延伸，如果讀者想檢視其他學者如 Gäumann, Sharvelle, 或 National Academy of Science 的分類系統，可以參考 Maloy 所著 *Plant Disease Control*(1993)，其中討論到更多病害防治原則。詳見本文末之參考文獻。

## 排除病原 (EXCLUSION)

本原則的定義如下：排除病原指任何手段防止病原(造成病害的因子)進入某地區、農田或栽植區。最基本的概念假定病原菌只能在短距離移動。除非人或其他媒介昆蟲輔助，否則病原菌無法傳播。自然界的阻隔如海洋、沙漠、山脈等，限制了病原的傳播。在許多案例中病原隨著其寄主植物移動，甚至土壤、包裝材料、船運等非寄主物質也能攜帶植物病原菌。當病原已抵達時，進行排除病原可以爭取時間擬定病害管理計劃，但糟糕的是，這種做法往往只延後病原入侵而已。小麥黑穗病(*Tilletia indica*)是個早期發現病原的例子，雖然實行防止引入病原的措施，但小麥黑穗病仍鑽漏洞由印度抵達美國。大豆銹病(*Phakopsora pachyrhizi*)最近於美國東南部發現，有關單位已採取預警行動防止病害傳播。此外，南美葉枯病(*Microcyclus ulei* 引起)對橡膠樹來說是個具毀滅性的植物病害，在印尼主要產區的緊急應變計劃是：一旦發現病原，就在空氣中散佈化學落葉劑，使橡膠樹葉落下，防止南美葉枯病在當地建立族群。

在美國，動植物衛生檢疫局(Animal and Plant Health Inspection Service; APHIS)隸屬於美國農部，負責頒布執行植物檢疫。另外也有一些州立機構負責地方性檢疫業務。在 1951 年，聯合國糧食及農業組織發起國際植物保

護公約，建立八個區域的植物保護組織(plant protection organizations ;PPOs)，1997 年修定包含九個 PPOs，歐洲及地中海地區植物保護組織(European and Mediterranean Plant Protection Organization ; EPPO)是最老的區域性植物保護組織。這些組織不像政府機構有實質上的權力，但身兼多種任務，包括發展防止有害生物傳播的策略、合作使用植物檢疫標準化程序、和確保會員國之間協定之效力。欲知更多關於區域性植物保護組織(PPOs) [3]。

重要的排除病原施行策略是生產無病種子或無病苗木，透過種子或植物營養繁殖體的認證計劃來達到目標，如馬鈴薯、葡萄與其他水果的認證作業。包括隔離產地、田間檢查、移除疑似染病的植物等，都是維持無病種苗的方法。也可以利用組織培養與微體繁殖技術增殖，或圍成網室排除病原和帶病媒介昆蟲，生產無病苗木。排除病原也能藉由簡單的農場清潔設備(圖二)，移除可能潛藏病原菌的植物殘枝與土壤。完成這些工作可以防範 *Verticillium*、線蟲、或其他土棲生物進入未受感染的區域。



圖一、將殺菌劑注入榆樹以防治荷蘭榆樹病



圖二、清潔農場設備以移除土壤和植物殘體

## 撲滅病原 (ERADICATION)

撲滅病原著重在某種病原被引進到一個地區後，在還沒有建立族群或廣為傳播之前，先將病原菌消滅。這能應用在單一植物體、一批種子、田間或某區域，但一般來說在大面積的地理區域上，撲滅病原往往成效不彰。美國撲滅病原的兩大目標是長島和紐約的黃金線蟲項目(*Globodera rostochiensis*)，以及佛羅里達州的柑桔潰瘍病項目(*Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* and pv. *aurantifolii*)。然而，將病原撲滅並不代表最終勝利，病原總是等待機會伺機而入。

撲滅黃金線蟲包括移除病土、染病農地土壤燻蒸。萬一還是沒效，最終手段只好放棄馬鈴薯田，把土地用來蓋房子或作其他用途了。而撲滅柑桔潰瘍病須移除並燒毀生病的果樹，而在某些案例中，藉毀掉整個柑桔園與苗床(圖三)來達成目標。即便病原明顯被消滅，同樣的病原仍可能捲土重來，新的撲滅病原計劃又要重新啟動。[4]



圖三、燒毀感病柑桔園以撲滅細菌性潰瘍病



圖四、施用殺草劑殺死農田周圍的雜草

撲滅病原也可以小規模地執行。像移除被細菌性火傷病 (*Erwinia amylovora*) 感染的蘋果或梨樹枝條，或修剪移除白松泡銹病 (*Cronartium ribicola*) 所感染之白松枝條。再者，也能藉移除感病花器、球莖、鱗莖、根莖以達撲滅病原。其他例子還有用熱水來處理穀類種子，殺死種子上帶有的黑穗病菌菌絲，或是果樹嫁接前先以熱處理，消滅病毒。

下列兩項計劃並非撲滅病原，但同樣藉由「撲殺」的手法有效保護植物。例如撲殺小蘗可以減少小麥莖銹病 (*Puccinia graminis*)，而撲殺茶藨子屬植物 (*Ribes*) 可以防止白松泡銹病的侵染。這些策略消除植物病害循環中的中間寄主 (alternate host)，除去次要寄主植物之後，經濟價值高的主要寄主植物就不容易遭病原菌侵染。這兩個例子之所以在此提及，乃因為他們經常在「撲殺」手法中被引用。小麥莖銹病在銹孢子期寄主於小蘗，在除去小蘗之後，雖然能防止或減少特定病原性銹病對植物的侵染，小麥莖銹病仍然能以夏孢子形態在小麥-小麥之間互相傳染。白松泡銹病是一種多年生於松樹體內的真菌，除去其中間寄主只能保護未受感染的樹，但並不一定能把病原從一個區域內完全消滅。此外，撲殺手法也能藉清除雜草來完成，除草的同時也一併將殘存的病原與帶病昆蟲消滅 (圖四)。而清除田間淘汰掉的馬鈴薯堆 (圖五)，可以有效撲滅越冬的晚疫病病原。



圖五、丟除的馬鈴薯堆可能為晚疫病的初始感染源

土壤燻蒸是另一種常用的撲滅病原策略。這項技術使用氣體農藥在土壤中殺死目標病原，如二硫化碳、溴化甲烷、氯化苦等。不過，此技術具殺死土壤中有益生物、農藥毒性、污染地下水等副作用，使人們對這項病害管理方法的信心大打折扣。施用揮發性燻蒸劑 (如溴化甲烷)，要先注射到土壤內再蓋上塑膠布密閉 (圖六)。有些水溶性燻蒸劑 (如斯美地)，可以注射到土壤內，把寬鬆的土壤壓緊後就能形成密閉燻蒸環境 (圖七)。

作物輪作法在田間常用來降低病原的量，常應用於土棲病原生物。例如小麥全蝕病(*Gaeumannomyces graminis*)和大豆包囊線蟲(*Heterodera glycines*)(圖八)，這兩類病害可由短期輪作在 1~2 年內作有效控管。當然，在輪作小麥的同時，還得清除易感病的雜草才能確實管理小麥全蝕病。[5][6]



圖六、土壤蓋上塑膠布後施用溴化甲烷



圖七、施用斯美地後壓密土壤



圖八、(後)玉米/大豆輪作以控制大豆包囊線蟲  
(前)持續種植大豆



圖九、燒毀荷蘭榆樹病病枝以殺死病原菌和帶病甲蟲

燒毀病株是個有效的撲滅病原方法，也是處理許多病害的不二法門。如受荷蘭榆樹病感染的植株(圖九)[7]、受柑桔潰瘍病感染的柑桔(圖三)[8]或是受葉斑細菌(*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*)感染的大豆田，都常用燒毀病株法來管理病害。丙烷火焰能撲滅薄荷田中的 *Verticillium* 屬病原的微小菌核(圖十)[9]，而在收穫前以火焰處理馬鈴薯莖，可防止晚疫病菌的感染(圖十一)[10]。不過，焚燒產生的煙霧可能影響人體健康與環境，目前對燒毀整塊農田仍存有爭議。



圖十、在薄荷田使用丙烷燄，殺死 *Verticillium* 的菌核 圖十一、在馬鈴薯田使用丙烷火焰防止馬鈴薯晚疫病感染

讀者在此可能注意到「撲滅病原」這個原則與其他基本原則的矛盾，原因如下：首先是上述例子中有些能以「保護」原則輕鬆取代，另外，完全撲滅病原實在難以達成，尤其在大面積的區域更是如此。

## 保護 (PROTECTION)

這項原則的精髓是在病原與寄主植物(或是寄主植物的感病部位)之間建立屏障。大家往往以為就是化學屏障，例如農藥。但這些屏障也可以是物理、空間或時間間隔。運用這項策略的假設是：如果沒有人為干預或保護手段，病原菌會存在並順利感染植物。舉例來說，香蕉在採收前套袋(圖十二)是爲了防止果腐真菌等多種有害生物。

保護措施常涵蓋一些可調整環境的耕作法。如耕地、排水、灌溉或改變土壤 pH 值，也包括更動播種季節或深度、調整種植株距、修剪、疏枝或其他任何方法，避免植物受感染或減輕發病嚴重度。提高植物苗床(圖十三)使土壤排水能力更佳，這項耕作方法可用來管理根腐或莖腐等植物病害。



圖十二、香蕉套袋防止有害生物與果腐菌



圖十三、爲了甜馬鈴薯增產而提高苗床

人類使用殺菌劑已超過百年，而且持續進行新藥劑研發[11]。最早廣泛使用的殺菌劑是波爾多液，主要殺菌成份爲硫酸銅，直到今日仍以不同形式應用在病害管理上。早期的殺菌劑由簡單的元素(如硫)或金屬化合物(如銅或汞)組成，一般將它們歸類爲無機殺菌劑。直到二十世紀中期，逐漸發展出有機殺菌劑，如益穗、蓋普丹、雙二硫代氨基甲酸鹽類等，人們用這些廣效的保護型殺菌劑防治多種真菌性病害。1960 年代，「系統性」殺菌劑問世，但大部份都有其移動限制，無法運達整株植物，常是局部傳導，在植物受感染後仍發揮作用。大多數系統性殺菌劑靠植物維管束由下往上運輸，不過近來發展出一種能在植物體內雙向運輸的殺菌劑(福賽得)，稱得上真正的「系統性」殺菌劑。除了一開始提到的 SBI 固醇類生合成抑制劑與 DMI 去甲基化抑制劑，最近另有一群史托比類殺菌劑問世[12]。有些殺菌劑應用範圍較狹窄，主要防治特定類群的病害，如露菌病(霜霉

病)、銹病、黑穗病、白粉病等；另外有些殺菌劑可以廣效對抗多種植物病害。

針對特定病害的殺菌劑，其化學作用點較單一，也就是說由單一或少數基因調控其專一性，這種狀況有利於病原菌產生對農藥的抗藥性。目前有許多管理策略可扭轉病原菌對藥劑的抗藥性，包括混合使用單一作用位點與多作用位點之殺菌劑、交替使用機制不相同的殺真菌劑、當用藥時始用藥，而不是季節到了就施用殺菌劑，另外，依處方或建議劑量施藥，不因節省經費而減量使用，或為達速效而超量使用。

殺菌劑有許多施用方法：如地面噴灑(圖十四)、飛機(圖十五)、或藉由灌溉系統，不過要恰當地使用才能真正發揮效果。首先，該藥劑必須經合法註冊程序，列為欲保護植物及防治目標病害之登記藥劑。同一種作物或同一種病害下可能註冊許多種不同化學藥劑，在比較不同殺菌劑效果、價格、方便程度、安全性之後，如果都差不多，則最關鍵的因子就在施藥的時間。如果太早施用，在效果發揮之前就有許多藥劑浪費掉了；如果施用時間點太晚，效果將會非常差；恰當地施用殺菌劑，效果顯而易見(圖十六)。另外，農藥噴在植物上的分布情況很重要，噴出的小水滴愈微細愈能遍佈植物表面(圖十七)，不過極小的液滴會形成霧狀，容易隨風飄散。



圖十四、在蘋果園以地面噴灑法施用殺菌劑



圖十五、飛機噴灑殺菌劑防治香蕉葉斑病



圖十六、(後)殺菌劑防治馬鈴薯晚疫病  
(前)未噴殺菌劑之馬鈴薯



圖十七、蘋果葉上乾燥後的殺菌劑液滴

許多耕作方法稍作調整後有助於管理植物病害。包括選擇適當的種植地點、在適當的耕地掩埋罹病植物殘體、與非寄主作物輪作、使用無病植物繁殖體、規劃種植方位以獲得好的受光與通氣、以修剪或疏枝排除感染源並提高感病植株週遭的通氣性、管理植物與土壤中的含水量、合理施肥、合適的耕作法促進根部發育、避免植物受傷、保持田間健康環境並清除初級感染源。適當使用這些小技巧，可減輕植物病害嚴重度、降低發病率、甚至在種植區內完全不出現特定病害。

生物防治法使用活生物體來防範另一種生物，這項管理技術在近年來備受矚目。然而，已註冊使用之生物防治劑少之又少，成功的案例不多，其應用限制在集約管理與高價值作物上。以下列舉兩個有效生物防治的例子：運用 *Peniophora gigantea* 真菌接種在伐倒的樹木殘幹，防止木材腐朽菌 *Heterobasidion annosum* 感染並藉由根部傳染給相鄰的健康樹木。另外，在種植果樹前施用非病原性(不造成腫瘤)的 *Agrobacterium radiobacter* 可預防細菌性癌腫病(*Agrobacterium tumefaciens*)之侵染[13]。

## 植物抗病性 (RESISTANCE)

如果抗病植物的品質佳、適應當地種植環境、某種程度上又帶有持久的抗病性，那使用植物本身的抗病性來管理植物病害還真是個理想的方法。種植抗病植物可以減輕植物病害造成的損失，省去使用其他防治方法的麻煩，除非其他病害興起才會造成損失。抗病植物通常由標準育種程序選擇或雜交而得，也有些抗病植物藉 x 光照射或化學藥劑誘變而來。目前有些化學物質稱作「植物活化劑」，可誘導抗性(systemic acquired resistance; SAR)或是誘發抗病性。近年來，人們也藉遺傳工程來發展植物抗病性(如木瓜輪點病毒之抗病性)。[14]

選擇抗病植物可將植物置於高感病壓力的環境中(圖十八)，再以殘存活下的植株作抗病植物的來源。植物在病害壓力很大的條件下能存活下來，在基因層次常具有抗病能力，能夠直接增殖利用，也可以當作植物抗病基因的來源發展抗病植物。如果植物具優良的農藝、園藝性狀，卻容易感染病害，利用雜交法，將抗病植物與帶有優良性狀卻感病的植物雜交，則有機會得到植株大小、產量、味道、美感等特徵令人滿意，又具有抗病性的植物。



圖十八、商業化番茄育種時，在受晚疫病感染的農田內只有少數植株存活，這些植物可能帶有抗病性

「避病」發生於感病植物因為某些原因避開疾病侵染。為什麼病害無法侵染感病植物呢？這可能與植物的解剖或物理特徵有關，如植物具毛、角質層厚、有特殊構造的氣孔等。避病也可能與環境因素有關，在特定環境條件下不利病害發展和傳播。雖然解剖特徵上有效避病可能是偶發事件，但一連串複雜的避病機制，常是發展抗病植物的重要過程。

相對來說，一年生與兩年生植物比多年生植物容易發展出有效的植物抗病

性，因為多年生植物需要更多時間來發展並測試其子代的抗病能力。多年生木本植物如果樹、觀賞樹木、林木等，尤其不容易由育種學家發展出有用的植物抗病性。例如栗樹枝枯病和荷蘭榆樹病毀滅了兩類高價值原生樹種，在這兩個案例中，學者都努力發展樹木抗病性，以外來栗樹或榆樹雜交原生樹木，選擇出具抗病性的植物。很不幸，這些抗病植物普遍缺乏人們喜愛的性狀，如樹型或栗子的風味都比不上原生樹種。另一個引進的病害是白松泡銹病，同樣對原生樹木帶來衝擊。學者從存活下來的樹木中選擇，試圖增加松樹抗銹病的能力，這項密集的工作持續超過 50 年！現在這些帶有抗病性的植物已用於重新造林，但在這個研究計劃結束之前，還要在等另一個 50 年或更久，這些小樹成熟為林木之後，才能得知這些研究者的努力有沒有白費。

過去發展抗病植物最成功的就是對抗高專一性的病原菌，如銹病(圖十九)、黑穗病、白粉病與病毒。但對於廣泛侵染的病原菌，如引起焦枯、潰瘍、根腐、葉斑病徵的病原，往往選用抗病植物的成效有限。

抗病植物所遇到最大的問題就是：植物的抗病性選擇出隨寄主植物分化的病原生理小種。因此，許多育種計劃都是長期的工作，持續育出具抗病性的植物品系。如果藉由單一主要基因表現抗病性，他們專一地針對病害的生理小種，則這種抗病性稱作「專一抗性」或「垂直抗性」。這種抗病形式常常不穩定，萬一出現了能夠攻擊此基因型的病原生理小種，病原菌將完全克服植物的抗病性。另外一類抗病性稱作「普遍抗性」或「水平抗性」，由許多不同的基因來表現植物抗病性與其他效應，能更穩定、更持久地對抗病原菌。

現在已經有一些策略來避免植物抗病性失靈或減少病原生理小種發展。其中一種方法叫作基因部署：避免種植單一相同基因型的植物，在一區域內分散、點綴式地種植不同基因型的作物，或是混合種植不同品種的植物，以確保目標作物會持續表現抗病能力[15]。

最近，也是最具爭議的發展植物抗病性技術，乃將基因從其他生物體插入植物基因中，過去如將 *Bacillus thuringiensis* 細菌的基因插入植物的基因，藉以抵抗昆蟲危害，插入這些基因的植物稱作轉基因生物體(GMOs)。轉基因植物可能對人有害或產生人們始料未及的影響，例如不經意地將過敏原轉移到植物上。不過，傳統育種法也可能有預期之外的影響，如馬鈴薯品種 *Lenape* 的育出，部分是因為具有抗 *Potato virus A* 和抗晚疫病感染的能力，但在推廣後人們發現這個品種的馬鈴薯含有大量毒性植物鹼 *solanine*。另一種小麥品種 *Paha* 可以抗小麥條銹病(*Puccinia striiformis*)，但卻對稈黑粉病(*Urocystis agropyri*) 非常感病，因此上述兩例作物都在生產線上迅速遭淘汰。

目前人們想藉基因工程手段來產生抗病植物，在一些病毒病害已有初步成果，最有名的就是木瓜輪點病的抗病性(圖二十)。這個方法在植物病害管理上有可能蓬勃發展，尤其像小麥、玉米、水稻、大豆等廣泛種植的作物。但轉基因植物技術只有在克服社會、法律、經濟等層面的問題後，才可能大量推廣用於植物病害管理。



圖十九、(左)抗銹病大豆品種 (右)感病品種 圖二十、(右)抗輪點病木瓜品種 (左)感病木瓜品種

## 病害綜合管理

### (INTEGRATED DISEASE MANAGEMENT)

病害綜合管理(IDM ; Integrated Disease Management )的概念是由有害生物綜合管理(IPM)而來，該系統是昆蟲學家為了防治昆蟲和蟎類而研發。IDM 病害綜合管理在恰當的時間有機地結合使用多種策略來管理病害。包括選擇適合的種植地點、利用抗病品種、運用耕作方法，像是改善排水、灌溉、修剪，疏枝、遮蔭等…，必要時施用藥劑。但除了這些傳統方法外，監測環境因子(溫度、濕度、土壤 pH 值、養分等)，病害預測(disease forecasting)及建立經濟臨界值(economic thresholds)是更重要的病害管理綱要。這些管理手段必需以最適當的方式整合，才能達到最大的效益。例如均衡的施肥與灌溉，可以促進植物的優勢並保持植物健康。

然而，理想的目標總是難以達成，「病害管理」可能淪為只運用單一方法，如同先前提到的「病害防治」一般。無論如何，綜合病害管理不管應用哪種策略，種植者必需善用耕作方法來達到管理植物病害的目的。

## 參考文獻 REFERENCES

Arneson, P. A. 2001. Plant Disease Epidemiology.

[www.apsnet.org/education/AdvancedPlantPath/Topics/Epidemiology/Epidemiology.htm](http://www.apsnet.org/education/AdvancedPlantPath/Topics/Epidemiology/Epidemiology.htm)

Fry, W.E. 1982. Principles of Plant Disease Management. Academic Press, New York.

Jacobsen, B. 2001. Disease Management. Pages 351-356 in: Encyclopedia of Plant Pathology, O.C. Maloy and T.D. Murray, eds. Wiley, New York.

Maloy, O.C. 1993. Plant Disease Control: Principles and Practice. Wiley, New York.

Maloy, O.C. and A. Baudoin. 2001. Disease Control Principles. Pages 330-332 in: Encyclopedia of Plant Pathology. O.C. Maloy and T.D. Murray, eds. Wiley, New York.

The author thanks Drs. Debra Inglis and Tim Murray for providing and scanning pictures and for reviewing the manuscript.

## 參考網頁

- [1] [APSnet Education Center online plant disease lessons](http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/Top.html)  
<http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/Top.html>
- [2] [Introductory topic: Plant Disease Diagnosis](http://www.apsnet.org/education/IntroPlantPath/Topics/plantdisease/Top.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/IntroPlantPath/Topics/plantdisease/Top.htm>
- [3] [www.eppo.org/WORLDWIDE/worldwide.htm](http://www.eppo.org/WORLDWIDE/worldwide.htm).  
<http://www.eppo.org/WORLDWIDE/worldwide.htm>
- [4] [Citrus canker disease lesson](http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/CitrusCanker/Top.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/CitrusCanker/Top.htm>
- [5] [Take-all disease lesson](http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/TakeAll/mngmnt.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/TakeAll/mngmnt.htm>
- [6] [Soybean cyst nematode disease lesson](http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/SoyCystNema/Top.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/SoyCystNema/Top.htm>
- [7] [Dutch elm disease lesson](http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/DutchElm/Top.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/DutchElm/Top.htm>
- [8] [Citrus canker disease lesson](http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/CitrusCanker/Top.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/CitrusCanker/Top.htm>
- [9] [Verticillium wilt disease lesson](http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/Verticillium/top.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/Verticillium/top.htm>
- [10] [Late blight disease lesson](http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/Lateblit/top.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/Lateblit/top.htm>
- [11] [Introductory topic: What are fungicides?](http://www.apsnet.org/education/IntroPlantPath/Topics/fungicides/default.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/IntroPlantPath/Topics/fungicides/default.htm>
- [12] [Advanced topic: Q<sub>o</sub>I \(strobilurin\) fungicides: Benefits and risks](http://www.apsnet.org/education/AdvancedPlantPath/Topics/Strobilurin/top.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/AdvancedPlantPath/Topics/Strobilurin/top.htm>
- [13] [Crown gall disease lesson](http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/CrownGall/default.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/LessonsPlantPath/CrownGall/default.htm>
- [14] [APSnet Feature: www.apsnet.org/education/feature/papaya/top.htm](http://www.apsnet.org/education/feature/papaya/top.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/feature/papaya/top.htm>
- [15] [Advanced topic: Cultivar Mixtures](http://www.apsnet.org/education/AdvancedPlantPath/Topics/cultivarmixtures/top.htm)  
<http://www.apsnet.org/education/AdvancedPlantPath/Topics/cultivarmixtures/top.htm>