



樹木的隱形敵人與森林演替的推手—木材腐朽菌

文、圖 ■ 張東柱 ■ 行政院農業委員會林業試驗所研究員

一、前言

木材腐朽菌 (Wood decay fungi) 根據其利用木材成分類別之不同，可分為木材白色腐朽菌 (白腐菌) 和褐色腐朽菌 (褐腐菌)。白腐菌可以分解利用木材的木質素和纖維素。木材因含有木質素而呈現黃褐色，因此當木質素被分解利用後，木材將退色或變成白色，於是它們被稱為木材白色腐朽菌。褐腐菌只能分解利用木材的纖維素而留下木質素，使腐朽的木材呈現木質素的褐色，因而稱為木材褐色腐朽菌。自然界中，白腐菌的種類遠多於褐腐菌，褐腐菌多生長於針闊葉，當然也有少數褐腐菌生長於闊葉樹，尤其是殼斗科植物。

木材腐朽菌入侵樹木以傷口感染為主，當然危害根部的根腐菌也可經由根部嫁接 (root grafting) 和根部接觸感染。樹木傷口的來源有非生物性，如溫度、濕度及水份的變化，森林火及閃電均會造成樹皮傷口；或生物性，如昆蟲、野生動物及人類對樹木的直接傷害所造成的傷口。樹木為求自保有癒合傷口的能力，較小傷口癒合的時間較短，被腐朽菌發芽孢子入侵的機會較小；較大傷口癒合的時間較長，被發芽孢子入侵

的機會較大。自然界中非人為傷口，我們無法掌握，但有些樹木的傷口與人類的活動有密切的關係。因此，為了避免樹木遭木材腐朽菌入侵為害，需盡量避免造成人為傷口，尤其在春夏季除草或在樹木周圍施作工程時，應盡量避免造成行道樹、公園樹及校園樹的傷口，這是保持樹木健康與延年益壽的重要秘訣。

木材腐朽菌如根據為害木材的部份，又可分為根腐菌 (Root decay fungi) 和莖腐菌 (Stem decay fungi) 兩大類 (圖1)。

根腐菌又可細分為主要棲息於根部、和棲息於根部與莖基部兩類，根腐菌引起的樹木病害通稱為根基腐病 (Root and butt rot)。大部分的根腐菌以腐生在樹木木材組織為主，但當寄主樹木衰弱時，它們也會表現病原性並緩慢為害活的樹皮組織，導致樹木慢性萎凋。慢性萎凋的根基腐病一般不易察覺，通常自感染樹木至樹木死亡需數年至數十年，一般與樹齡有關，樹齡越大所需時間越長。在臺灣常見的樹木慢性萎凋病以靈芝類根腐菌 (*Ganoderma* spp.) 最常見 (照片 1~4)。另一部份根腐菌具有較強的病原性，它們不但可以腐朽木材組織，同時也會為害

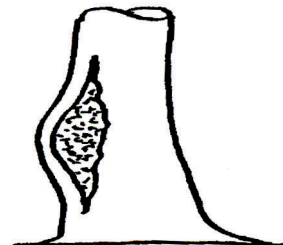
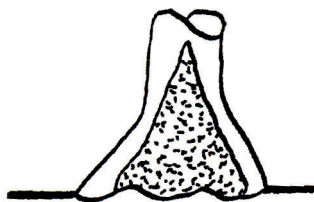
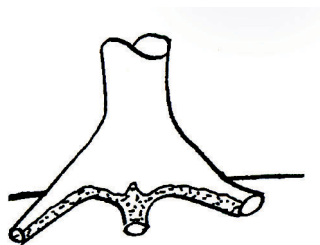
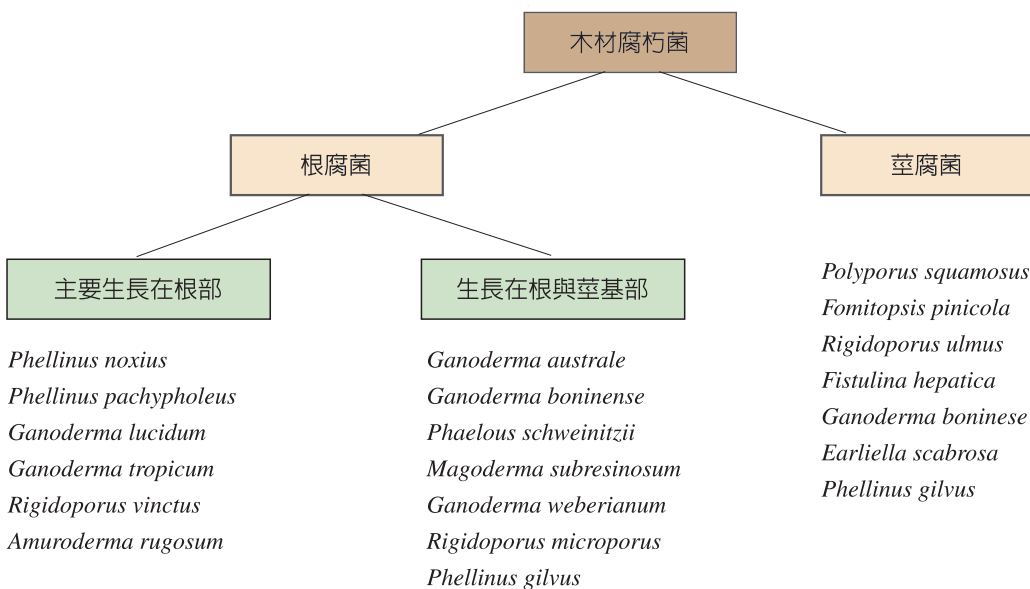


圖1 臺灣常見木材腐朽菌的種類，及根據其為害樹木組織的位置分為根腐菌與莖腐菌，通常根腐菌較具病原性，對樹木的傷害較大。



▲照片1 樹幹基部長出靈芝菇體的相思樹，是禍？是福？應該是無福消受吧！



▲照片2 罹患靈芝根基腐病的榕樹，無預警的倒伏。



▲照片3 罹患靈芝根基腐病的印度黃檀，葉片輕微黃化，且樹冠層變的稀疏。

樹皮的活組織，造成邊材的輸導組織和樹皮環狀壞死，使樹木失去輸導功能，因而導致樹木急性萎凋。罹患急性萎凋根基腐病的樹木，初期地上部也不易出現病徵，但當樹木地上部出現黃化萎凋時，其根部已超過90%以上腐朽受害。現場觀察發現，自地上部出現黃化萎凋至樹木枯死，約數週至數年，樹齡越小枯死的時間越快。在臺灣，有害木層孔菌（*Phellinus noxius*）所引起的褐根病，是樹木急性萎凋病的典型代表（照片5~7）。罹患急性萎凋和慢性萎凋的樹木，其樹根及莖基部的木材均遭根腐菌腐朽，因而失去



▲照片4 罹患靈芝根基腐病的相思樹，樹冠層變的稀疏。

物理支撐機械力，容易風倒及受其他外力倒伏。在公共場所，常常看到外表枝葉茂盛而倒伏的樹木，它們都是因為其根部或莖基部已被根腐菌為害。因此，公園樹、學校樹及行道樹如感染根腐菌，常被稱為「危險樹木」，因為它們可能在無預警情況下倒伏，引發公共危險的可能性。這些危險樹木如仔細觀察，仍可以提早看出端倪，因為感染根腐菌的樹木其根部及莖基部常會生長腐朽菌的菇體，地上部的枝葉有時也會比正常的樹木稀疏或顏色較淡。因此，如果在公共場所的大樹發現這些現象，就要對它們特別小心，因它們可能在無預警下倒伏。



▲照片5 罹患褐根病的黃欖全株黃化落葉。

木材腐朽菌除為害根部及莖基部的根腐菌外，還有部份的木材腐朽菌為害樹幹的木材，這類腐朽菌稱為莖腐菌。一般而言，莖腐菌的病原性比根腐菌還弱，大多腐生於樹木地上部的木材部位，不會為害樹木的活組織，也因為莖腐菌沒有病原性，必須經由地上部樹幹或枝條的傷口感染樹木。因莖腐菌是為害木材組織，受其為害的樹幹也會失去物理支撐機械力，容易因外力而折斷。莖腐菌多僅為害地上部樹幹，其子實體也多在離基部較遠的地上部樹幹形成。換言之，在樹幹上形成子實體的木材腐朽菌，通常對樹木



▲照片6 罹患褐根病的桉樹快速萎凋，葉片還來不及掉落就枯萎死亡。



▲照片7 罹患褐根病的樟樹，因根部腐朽影響輸導功能而立枯死亡。

不具病原性或僅具有弱病原性。相對地，在根部或莖基部形成子實體的木朽腐朽根腐菌、對樹木多具有病原性。



二、莖腐菌及根腐菌在木材建立菌落的策略

(一) 莖腐菌在木材建立菌落的策略

除了部份具有病原性經由傷口感染的木材腐朽菌外，大部份的木材腐朽菌也都是因為根或莖有較大的受傷，而將心材或成熟材曝露在外，使得腐朽菌有機會感染心材而進入樹木體內。感染機會與傷口之大小成正相關。大部份的木材腐朽菌都屬心材腐朽菌（心腐菌）。心腐菌都有抗環境逆壓建立菌落的特性，如由孢子與菌絲入侵時，可在心材乾燥及缺乏可利用碳水化合物完成建立菌落。

心腐菌的孢子在于實體上形成，並於適當的環境下，自子實體釋放出來，孢子的產生通常與溫度及濕度有關係，釋放的孢子通常由風或水傳播，但有時動物包括人和昆蟲也可協助孢子的傳播。附著在適合基質之孢子，則在適當的環境下可以發芽。孢子的發芽需要水份。一般而言，心腐菌孢子發芽後的菌絲生長緩慢，並可抵抗較低的濕度及養份，且心腐菌可以在環境逆壓下存活很久，這可能與心材缺乏養份較沒有競爭者有關。

木材上除了心腐菌外，另外有一群不完全菌也可在木材建立菌落。它們可以產生大量孢子，孢子可經由空中傳播且很容易發芽，發芽後的菌絲生長很快，它們可自曝露的邊材感染入侵，因為邊材有較豐富的可獲得營養。不完全菌不會改變木材結構，其僅能使邊材色變，一旦邊材的養份用完，立刻產生孢子飛離，並在它處建立新的據點。

修剪大枝條和大側根常使心材或成熟材

曝露在外，是提供根腐菌和莖腐菌感染的好機會。因此，除非有必要，應該盡量避免對樹木進行大枝條和大側根的修剪作業。另外，樹木的任何施作，如有曝露心材或成熟材的情形，例如，對樹木施予外科手術，也要盡量避免，因曝露心材或成熟材是提供木材腐朽菌建立感染的最好時機。但如果一定要施予大修剪，則必須考慮時機，例如，在樹木可以很快癒合傷口的季節或腐朽菌孢子較少出現的季節。在很多研究顯示，塗抹傷口密封劑並非預防腐朽菌感染的好處理，因傷口密封劑並沒有快速使傷口密封，仍然提供傷口給腐朽菌進入的機會。因此，唯有從早期修枝及正確小心的修枝，才是傷口快速癒合的方法。木材防腐劑應避免用於修剪的傷口，因防腐劑會傷害樹木的活組織及形成層，使傷口無法癒合或使傷口擴大。

有人認為火烤傷口，使傷口表面炭化可以避免腐朽菌的感染，但很多研究結果顯示，炭化作用反而提供腐朽菌良好的生長環境。

當腐朽菌產孢的季節，應盡量不要製造樹木傷口，以避免腐朽菌感染，傷口密封劑是否有效，要看密封傷口的受傷程度。氣候的變化也會使經密封劑封密的傷口裂開，如溫、濕度劇烈的變化，太陽的照射。為避免造成傷口以提供腐朽菌感染，最好的方法就是在幼樹時，就需進行適當正確的修枝，因為小枝條的修枝可以很快形成樹皮，使傷口癒合。任何傷口的保護措施，都無法取代樹皮對樹木的保護，因樹皮富含軟木素

(suberin) 及含有少量纖維素，軟木素具有抗菌作用，並可保護樹木免於過度水份蒸發和機械傷口。

修剪大枝條而造成之傷口，是腐朽菌最常感染的位置，傷口處不但是感染點，也是腐朽菌出離的通道 (escape routes)，因為產生孢子的子實體也多在傷口處形成。當木材的養份漸被腐朽菌消耗殆盡時，它們就會形成子實體並產生孢子，以便傳播到新的基質上，因此傷口處不但是腐朽菌進入的入口，也是它們出離樹木的出口。

並非所有的腐朽菌都經由根或莖的傷口進入，例如，有些腐朽菌是感染小枝條並存活於小枝條，然後主幹逐漸生長並將小枝條包入樹幹內，腐朽菌因而順利進入心材，然後生長繁衍，如 *Echinodontium tinctorium* 和 *Fomitopsis pinicola* 可能是經由此方法進入樹木的心材。有些腐朽菌是經由昆蟲傳播進入木材組織，如 *Stereum sanguinolentum*。

(二) 根腐菌在木材建立菌落的策略

由於根腐菌主要活動於土壤的根部，因此關於它們如何感染樹木並建立菌落的策略，並不是非常清楚，目前只知道經由孢子發芽感染衰弱的根部，或經由帶菌的病根與健根接樹感染，或有些根腐菌可以形成菌絲束 (Rhizomorph)，菌絲束可以在土壤中生長延伸而感染健康根部。

另外，有些外在環境因子可以提昇根腐菌成功的感染，其中有生物性的的因子，如樹木年齡，在行道樹中，樹齡越高感染之

機會隨之增加；土壤養份缺乏也會導致樹木易受根腐菌感染；有些根腐菌的感染有協力作用，也就是一種根腐菌先感染，另一種就比較容易感染；昆蟲的危害也可以協助感染。也有非生物性的因子，如受傷，受傷的樹木易受根腐菌感染；環境逆壓也會導致樹木容易受根腐菌感染，如土表覆蓋水泥或柏油面和土壤浸水等。

三、各種真菌引起樹病的病徵

樹木的樹冠如出現異常，可當作樹木健康活力出現問題的指標。影響樹木健康活力的因子包括非生物因子、木材腐朽菌和很多其它病原真菌。真菌除了木材腐朽菌引起之根腐及莖腐病外，另外可以引起樹木其它四類病害：葉部、枝條、樹皮和維管束萎凋病。每一類的病害都有其典型的病徵。本文要特別強調如何區別根腐菌所引起病徵与其它類真菌所引起樹木病徵的不同。

葉部病害的主要病徵

罹病葉片一般可以觀察到小型的真菌子實體，引起葉片色變和壞死情形，最後可能提前落葉導致樹勢衰弱，根基部組織則沒有任何病徵，不會出現全株性枯萎。

維管束萎凋病的主要病徵

萎凋的病徵自樹冠頂梢開始，並逐漸往基部枯萎，通常自樹冠的部份枝條開始，邊材最外圍的水份輸導組織會有環狀色變壞死，維管束萎凋病會導致樹木全株快速死亡，但樹木的機械支持力不受影響。



枝條與樹皮病害的主要病徵

個別分枝的枯萎與死亡，樹皮潰瘍發生於局部樹幹，同時鄰近的邊材會色變，不會出現全株性枯萎。

根莖腐病的病徵

木材腐朽菌侵害樹木，是唯一可以導致支撐的機械力衰弱的真菌，它們為害心材或成熟材，但它們不太會影響樹木的正常生理，尤其是為害地上部的莖腐菌，在腐朽樹木的初期外表都看不出任何病徵，且樹木也看不出明顯的受害，但可以發現樹幹上的傷口或子實體的生長。為害根基部的根腐菌，例如有害木層孔菌和靈芝，初期雖看不出明顯病徵，但當樹木衰弱或為害時間長時，可以為害邊材及活的輸導組織，因而影響樹木的正常生理作用，除了根部腐朽與壞死外，地上部也會出現全株性的葉片生長稀疏，黃化萎凋，並自樹冠頂端枯死。根腐菌引發之樹木病害之常見病徵如表1及圖2。

四、發病特性與生態角色

由於根腐菌對樹木具有微弱的病原性，且主要經由傷口入侵或病根與健根接觸傳染，因此它們的發病與傳播速度都非常緩慢，不易讓人察覺。然而受感染樹木一旦出現徵狀，都已非常嚴重，不易進行救治工作。另外，具有較強病原性的木材腐朽菌，如有害木層孔菌引起之林木褐根病，其發病與傳播的速度也非常緩慢，因此這類的病害不會在短時間內造成大面積的流行病。由於它們發病緩慢，初期的為害都不太受到

表1 根基腐病引起樹木的病徵

△感染初期全株葉片變淡綠色至黃綠色
△樹冠上層葉片小葉化
△未成熟葉片提前落葉
△整個樹冠變的稀疏
△株高及樹莖生長量降低
△根部受傷處是感染點
△莖基部表皮變鬆或裂開
△莖基部局部樹皮潰瘍
△邊材最外圍的維管束沒有出現環狀色變
△莖基部腫大
△莖基部流膠
△菇體在根部及莖基部形成
△出現死或部份腐朽根
△生長大量菇體
△自樹冠頂端往下枯死

註：地被類合計280類物種，含樹高 < 100 cm 之喬木類或灌木類幼苗。

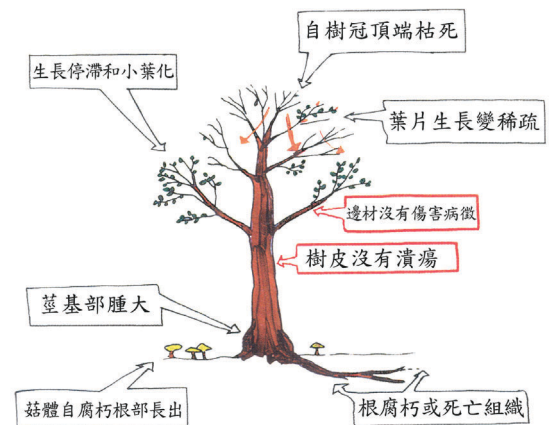


圖2 樹木罹患根腐病的可能病徵。

注意，它們的危害可以說是在不知不覺中進行，但如持續為害數年後，受害面積也非常可觀。以臺中港木麻黃防風林褐根病為例，

目前受害面積已達30公頃。根基腐病主要感染源是存活於病根的根腐菌，根腐菌可以存活於病根直到病根完成腐朽為止，通常需數年或更長時間。因此樹木一旦罹患根腐菌就不易根治，即使生病的林地進行再植也不易成功，因為土壤施藥不易達到效果且樹根體積龐大藥劑更不易完全到達根部所有地方，再者，感染殘根在土壤中不易清除，除非完全換土或全面性土壤燻蒸處理。

以森林生態演替的觀點而言，木材腐朽菌是推動森林演替的重要推手。根莖腐菌可以導致樹木樹幹折斷或死亡倒伏，使森林形成新的孔隙地，讓森林中的小樹苗或種子，因而獲得較大的生存空間及足夠的光線，

得以有機會生長。由於木材腐朽菌的為害非常緩慢，因此在短時間內不會對天然造成過大的孔隙地，不會有土壤流失的問題。木材腐朽菌在致死林木後，它們可以持續分解利用保存在枯立倒木中的木質素與纖維素，使蓄積在枯立倒木體內的養份釋放出來，同時因木材的腐朽分解，改良當地土壤的物理與化學性質，使土壤更適合種子的發芽及提供小樹苗良好生長的環境及養份。木材腐朽菌創造森林孔隙及分解木材改善土壤環境，是營造不同齡級森林，多層次森相及多樣性森林的重要推手之一。由此可知，木材腐朽菌對森林生態演替的貢獻是不言可喻。🌱



(圖片 / 高遠文化 攝影 / 林文集)