

都市林木與褐根病害管理

張東柱 研究員
農委會林業試驗所森林保護組
電子郵件：ttchang@tfri.gov.tw

前 言

樹木褐根病是亞洲、澳洲與非洲熱帶及亞熱帶地區林木、多年生果樹、特用作物與都市林木重要根部病害，本病引起根部腐敗而導致全株萎凋死亡。在東南亞及印度主要為害之經濟木本或多年生植物如橡膠樹、茶樹、油椰子、椰子及速生相思樹等 (Pegler and Waterston, 1968)。在台灣，早在 1928 年日本人澤田兼吉已報導在樟樹、龍眼、月橘等樹木之根部有褐根病菌 (Sawada, 1928)。之後，雖然有兩篇報告報導褐根病菌，但都只限於病原菌的記錄，並未對病理及病害防治有較深入的研究。直到近年來，其已明顯為害多種果樹及樹木，才逐漸受到重視。本所自成立森林保護系 (1990) 以來，在所有林木病害的通報案件中，每年約有 30-50% 的個案與褐根病有關，可見褐根病對林木的健康有明顯的影響。

病 原 菌

褐根病菌 (有害木層孔菌) (*Phellinus noxius* (Corner) Cunningham) 的分類地位為擔子菌門 (Basidiomycota)，層菌綱 (Hymenomycetes)，無褶菌目 (Aphyllophorales)，刺革菌科 (Hymenochaetaceae)，木層孔菌屬 (*Phellinus*)。在早期文獻記錄中發現，本病原菌曾有下列同物異名：*Hymenochaete noxia* Berk. ex Cke., *Poria setulosocrocea* Clel. et Rodw., *Poria cacao* Pat., *Fomes cacao* Pat., *Fomes lamaoensis* (Murr.) Sacc. et Trott 和 *Fomes noxius* Corner 等。直到 1965 年本病原菌才正式使用目前的學名 (Cunningham, 1965)。刺革菌科的主要特徵為子實體褐色且滴上 3-5% KOH 將變成黑色，菌絲不具扣子體，具或不具剛毛，不具小囊狀體，本科共有 10 個菌屬。木層孔菌屬是刺革菌科最大的菌屬，木層孔菌內的菌種全部均為木材白色腐朽菌，多數營腐生或具有弱病原性，少數菌種具有較強的病原性，尤其以褐根病菌的病原性最強。褐根病菌在自然界感染的植物鮮少形成完整的子實體，在正式的文獻記載中，在 96 種寄主中，僅在 9 種寄主植物發現子實體，分別是木麻黃、樟樹、榕樹、印度橡皮樹、山刈葉、龍眼、荔枝、

番荔枝、鳳凰木 (Chang and Yang, 1998; Ann *et al.*, 1999)，但近年來卻發現子實體的出現頻度有增加的趨勢，值得注意。在鋸木屑太空包培養可形成子實體。在植物上的子實體從平伏至反轉菌蓋，但在木屑培養基上則為平伏。雖在植物上及木屑培養基形成之子實體外觀上有些差異，但其微細構造則相似。於子實體表面滴上 3-5% KOH 永久變成黑色。菌孔表面灰褐色至淡褐色。菌絲為二次元系統，含有不具扣子體的生長菌絲 (generative hyphae) 及骨骼菌絲 (skeletal hyphae)，生長菌絲直徑為 2-4 μm ，無色至黃色，骨骼菌絲黃褐色至深褐色，直徑為 3-6 μm 。菌體基質剛毛菌絲深黑褐色，直徑達 13 μm ，長達 450 μm 。擔孢子平滑無色，寬卵形至次球形，大小 3-4×4-6 μm 。

褐根病菌很容易分離培養，其在 PDA (potato dextrose agar) 和 MEA (malt-extract agar) 培養基生長良好。依據 Stalpers (1978) 的方法研究其純培養特徵為：在 25°C 14 天菌絲生長直徑大於 70 mm，菌落前緣菌絲氣生至平伏，菌落初期白色至草黃色，後變成琥珀褐色至黑褐色，氣生菌絲棉生至被粉粒生，形成段生孢子和毛狀菌絲 (trichocysts)。生長菌絲不具扣子體。褐根病菌產生 laccase 和 peroxidase 之細胞外氧化酵素，但不產生 tyrosinase。依據 Stalpers 設定的代碼，褐根病菌之培養特徵代碼為 1, 3, 5, 12, 13, (14), (18), (19), 21, 22, (25), 28, 30, (31), 34, 35, 38, 46, 48, 52, 53, (54), 61, 67, 84, 89, 90。台灣分離之褐根病菌純培養特徵與 Stalpers 的報導大致符合，唯 Stalpers 並未觀察到褐根病菌的節生孢子。台灣分離到的菌株及自荷蘭菌種中心購買之菌株 (CBS 170.32) 均具有節生孢子。筆者於 1997 年初前往印尼分離之褐根病菌也具有節生孢子。在木層孔菌屬中，目前僅知褐根病菌可在人工培養基中形成毛狀菌絲和節生孢子，因此可做為純培養時的鑑定依據。在病組織上可發現毛狀菌絲，但在病組織上未發現或鮮見節生孢子。在台灣自 15 種寄主分離之菌株，對生長溫度的反應相似；最適生長溫度近 30°C，最高溫達 36°C，最低溫 10-12 °C，但其生長速度有差異，直線生長介於 3.4 公分/天至 0.8 公分/天。菌絲生長 pH 值介於 3.5 至 7.0，高於 7.5 則不能生長 (Ann *et al.*, 1999)。

病徵與寄主範圍

褐根病菌在自然界雖不易發現子實體，但有很特別的病徵，仔細觀察不難診斷。在接近地際部主莖及根部的發病樹木往往有黃色至深褐色的菌絲面 (mycelial mat) 包圍其表面，在根部之菌絲面常與泥沙結合而不明顯，上述病徵是現場鑑定本病害的主要依據。其引起植物地上部全株初期黃化萎凋，最後枯死。褐根病菌從黃化到枯死只需一個月至三個月，但有些較大棵植株或根系較深廣的樹種從發病到死亡可能需數年的時間。本病之所以造成萎凋的主要原因是褐根病菌可以直接為害樹皮的輸導組織，導致水份及養份之輸送遭受阻礙而死亡。本病原菌除為害樹皮外，也可造成木材白色腐朽。受感染之內側木材組織具不規

則黃褐網紋。在腐朽木材與健康木材間常有黑褐色帶隔離。腐朽末期木材變輕、乾和海棉狀。由於本病菌可以為害木材組織，導致木材白腐朽，因此受害樹木較易風倒，具有潛在公共安全的危險性，需特別注意。

褐根病菌為害的寄生範圍廣泛，早期澤田氏已記錄 18 種寄主。近年來在台灣中低海發現很多木本植物為褐根病菌的寄主，目前有超過 100 多種寄主被發現，且陸續在發現新寄主中。其寄主木本植物包括多種珍貴老樹、公園行道樹、海岸防風林和果樹，如樟樹、榕樹、楓香、桉樹類、相思樹、鳳凰木、木麻黃、南洋杉類、桃花心木、龍眼、荔枝等。褐根病菌除為害木本多年生植物外，也發現四種草本一年生植物受其為害，如茵陳蒿、馬鞍藤和山萮苣。在田間與林地的觀察，筆者發現褐根病菌似乎沒有特定寄主，一旦與病原接觸均可受其為害。筆者報導分離自 12 種寄主之褐根病菌，將每一菌株都接種到 12 種寄主，發現每一菌株都可引起 12 種寄主植物發病，但有兩種植物（相思樹和柳樹）具有較低的發病率，此結果顯示褐根病菌不具病原生理小種，但不同寄主間存在不同程度之感病性 (Chang, 1995)。Ann *et al.* (1999) 檢定台灣 101 品種(含 92 種)園藝作物對褐根病菌之抗感病性。結果顯示，極為感病之植物共有 13 種，包括果樹 5 種：枇杷、軟枝番荔枝、可可、百香果、破布子。極感病觀賞植物 8 種：茉莉花、黃槐、黃花夾竹桃、金露花、西洋杜鵑、聖誕紅、櫻花、黃金風鈴木，於接種六個月內全數死亡。抗(耐)病者有蘋果、蓮霧、圓滑番荔枝、扁櫻桃等 7 種：而柑橘(酸橘、柳橙、苦柚)、愛文檬果(砧木為在來種)、及黑板樹則對褐根病極為抗(耐)病，於接種一年內均無發現死亡情形。

生理、生態與分佈

在北美洲西北地區針葉樹最重要病害之一薄層根腐病 (laminated root rot) 的病原菌 *Phellinus weiri*，已知因缺乏分泌硝酸還原酵素 (nitrate reductase) 的能力而無法利用硝酸鹽中的氮源。在該地區有一種赤楊 (*Alnus rubra* Bong.)，因其與共生根瘤菌可以固定空氣的氮，使其森林土壤含有較多的硝酸鹽。此種赤楊林地相當不利 *P. weiri* 的發病。其原因可能是土壤中高濃度的硝酸鹽存在的效果。因此在發病嚴重地區利用赤楊輪作，應可以降低病害的發生。褐根病菌經測定，同樣具有選擇性氮源同化作用，即褐根病菌缺乏分泌硝酸還原酵素的能力 (Chang *et al.*, 1994)。吾人或許可以考慮此生理特性加以利用，結合於病害綜合防治策略。如發病地區施用硝酸鹽氮肥或種植豆科一年生植物以增加土壤硝酸鹽濃度，但仍需經由田間試驗以評估其效果。

在褐根病發病的林地，常發現病害自一發病中心逐漸向四周擴散，此現象顯示褐根病的傳播主要經由根部接觸由病根傳給健根。雖然有報導證明擔孢子可以成功感染植物，但因褐根病菌在自然界不易形成子實體，因此經由擔孢子做長距離傳播的機會較少，但近年來卻發現子實體的出現頻度有增加的現象，因此，擔

孢子在病害發生的角色，值得注意。由於本病主要經由殘留在土壤的病根傳播病害，因此殘留土壤病根的生態與病害的發生有息息相關。筆者發現褐根病菌存在殘根的活性可一直到病根完全腐爛為止。經調查田間三種寄主植物（瓊崖海棠、木麻黃與樟樹）之殘留病根發現，自死亡後一年至十年的病根均可以分離到褐根病菌，死亡年代愈短病原存活的比率愈高，但在死亡十年後的木麻黃病根仍有 50% 以上的存活率 (Chang, 1996)，可見褐根病菌的殘根可以在土壤內做長期的存活，在土壤內存活期間如遇到寄主植物的健根則有機會感染為害。但對病根周圍的土壤利用選擇性培養基進行分離則無法檢測到褐根病菌的存在，可見本病原在土壤的存活主要以殘根為主。在溫室中，將感染褐根病菌的木材、節生孢子、擔孢子與菌絲放入不同含水率的土壤中。節生孢子和擔孢子在五個月後於各種含水率的處理中，則無法檢測到褐根病菌的存在，菌絲則在十二個星期後，於各種含水率的處理中無法檢測到褐根病菌的存在，然而感染褐根病菌的木材除浸水的處理外，經過兩年仍有高達 80% 以上的存活率。但浸水處理之木材一個月則無法檢測到褐根病菌的存活。上述結果也顯示褐根病菌以殘根做為主要存活的處所，此結果與田間的試驗相符合，然而在浸水的情況下則可加速褐根病菌的死亡。此結果或許可以應用在防治的策略上，如果感染林地或果園在環境許可下，可進行一個月以上的浸水，以達到降低或殺死感染源的效果。

褐根病是亞洲、非洲與紐澳熱帶地區的病害，美洲及歐洲均未發現報導。以亞洲、非洲與紐澳赤道附近的陸地及島嶼為主，南自南半球紐澳，北至日本琉球群島，太平洋上的島嶼也常有發現。在台灣，每個縣市均有發現，以西部台中以南和東部和平以南較常發現。從發病次數的記錄，發現本病較常發生於海邊沙質土壤，其它地區的黏質土壤偶而發生。此現象可能與土壤含水力有關。褐根病菌在浸水狀態的殘根存活能力較差，在含水較少的狀態殘根存活能力較好。沙質土壤含水力及含水持久性不及黏質土壤，因此較易保持土壤於相對乾燥的狀態，因而有利於褐根病菌的存活。而黏質土壤處於高濕度的狀態較長久，因而不利於褐根病菌的存活。經檢測罹患褐根病寄主植物根圈土壤之酸鹼值，結果顯示土壤 pH 值介於 4-9 均可發現褐根病，其中以 pH5-8 的比例較多 (Chang and Yang, 1998)。

在自然界，褐根病菌鮮少出現子實體，表示利用擔孢子做長距離的飛散傳播並不是主要病害傳染途徑。同時，其主要為害根部及莖基部，因此，褐根病菌的主要活動範圍被限制在土壤，在病害的屬性上較屬於土傳性病害(soil-borne diseases)。一般而言，土傳性病害較不易在短時間內造成大面積的病害，因其傳播速度受到限制。近年來，發現褐根病有擴大發生的現象，這種情形似乎不符合褐根病菌的基本生態特性。會造成這種現象可能有兩個原因，第一是褐根病菌受到環境的影響，較易形成子實體與擔孢子，擔孢子的產生可以增加長距離的飛散與建立新病害據點。第二是人為協助傳播，如將病株或病土移動到沒有病菌的場所。第二種可能情形在實際情況常常發現，如帶菌樹木的移植或利用病殘體做有機肥，將病害擴散出去。第一種可能需再做仔細的觀察與研究，才能下此結論。

病害管理

在實驗室對病原菌之測定及林地初步試驗之結果顯示，三得芬、三泰芬、護矽得、硫酸銅、快得寧、銅快得寧、撲克拉、滅普寧、4-4式波爾多液及尿素等藥劑對本病原與病害有某些程度的抑制及治療效果，但未經完整的田間試驗評估，因此仍無法瞭解上述藥劑在實際病害防治效果。同時，本病菌主要為害根部，藥劑的施用不易達到預期治療效果，因此施用藥劑之成效，常受樹種與環境影響。利用藥劑(含化學與生物)防治褐根病最大的困難在於褐根病菌的特性與多年生寄主有關。由於褐根病菌可同時棲息於樹木的活組織(樹皮)與死組織(木材)，具有寄生與腐生廣生態棲位特性。當寄主抗病性較強或有藥劑保護樹木活組織時，病原可以棲息活動於木材死組織中；當寄主抗病性較弱或沒有藥劑保護時，病原則可自木材危害樹皮活組織。病原平時可棲息深藏於木材組織內行腐生以維持其生存，藥劑則不易深入木材組織有效殺死病原，因此，樹木一旦染病不易以藥劑達到良好防治效果。再者，罹病樹木為多年生植物，施用藥劑通常無法完全殺死病組織上的病原，一般只有部分殺死或抑制在樹皮周邊病原的活性，在這種情況下就可看到防治效果，但當藥劑失效時病原則再次活動為害，因此就必須間隔一段時間施藥一次才能達到防治效果。但潛藏活動在木材深處的病原通常藥劑不易到達，因此他持續腐朽木材以弱化木材的機械支撐力，以增加樹木公共危險度。因此藥劑防治初期常看到有成效，但罹病樹木最後仍逃不掉死亡或倒伏，因為施藥很難完全殺死罹病樹木中的病原，尤其病原對木材的腐朽危害是不會間斷。

事實上，褐根病的防治工作，應以預防為主，因本病原菌為害植物初期地上部沒有任何病徵，一旦地上部出現黃化萎凋時，根部已有 80% 以上受害，在此情況下如欲進行治療處理，為時已晚。本病原菌主要傳染的來源是病殘根，其傳播途徑主要靠病根與健康根的接觸傳染。因此在預防的考慮下，只要可以阻止病根與健康根的接觸，及殺死或除去土壤中的感染病殘根(清園)，就可以達到防治效果。以下的防治方法則依據上述的原則 (Chang, 2002; Chang and Chang, 1999)。

1. **掘溝阻斷法**：在健康樹與病樹間溝深約 1 公尺，並以強力塑膠布阻隔後回填土壤，以阻止病根與健康根的接觸傳染。
2. **發病地區再植前的土壤處理**：將受害植株的根部掘起與檢拾並燒燬，該地區須進行土壤燻蒸處理以消滅未檢拾完全的病殘根，可施用尿素並覆蓋塑膠布 2 星期以上，尿素的用量約為每立方米 2-4 公斤。如該土壤偏酸性可配合施用石灰調整土壤偏中性及鹼性。此方法可以殺死土壤中細根的病原菌，尤其在鹼性土壤更有效。另外可以考慮使用燻蒸劑邁隆粒劑(Basamid granular)，以每立方米 50-100g 拌入土中加水後覆蓋塑膠布 2 星期以上，進行燻蒸。

3. 發病地區如不便將主根掘起且該地區具有灌溉系統，可進行 1 個月的浸水，以殺死存活於殘根的病原菌。此方法可以為 2 的替代方法。
4. 發病初期以外樹木外科手術法切除感染部位後以三得芬及銅快得寧稀釋 500 倍淋洗傷口及灌注周邊土壤。
5. 藥劑防治發病周圍的健康樹或發病初期的林木可用 a. 藥劑混土覆蓋法和 b. 藥劑稀釋灌注法，兩方法任選一種處理：
 - a. 藥劑混土覆蓋法：將下列藥劑：0.4 公斤（升）的三得芬（克利生）或三泰芬或新星（護矽得），0.4 公斤（升）的銅快得寧或快得寧或撲克拉，2 公斤的尿素和 0.3 公斤石灰（如為中、鹼性土壤不用加）與 1 立方公尺（公噸）土壤混合，將混和藥劑的土壤覆蓋在樹幹基及周圍之土表，厚度約 3-5 公分，範圍則依樹冠大小而定盡可能涵蓋樹冠，覆土完畢後將土表淋濕，處理後最好再覆蓋塑膠布一個月，如處理地點易浸水，可先將表土刮出 3-5 公分，但不要刮傷樹根。半年後再處理一次。
 - b. 藥劑稀釋灌注法：將以下藥劑加水稀釋，500 倍的三得芬或三泰芬或新星，500 倍的銅快得寧或快得寧或撲克拉，100 倍的尿素和 200 倍的石灰（如為中、鹼性土壤不用加），將上述稀釋藥劑最好加壓灌注土壤，或淋灌於表土，施用藥量以每平方公尺用 10-15 公升的藥劑，施用範圍則依樹冠大小而定，盡可能涵蓋樹冠以下之土壤，處理後最好覆蓋塑膠布一個月，間隔三個月再處理，共處理三次。如處理之林木生長於貧瘠地可適量施用有機肥，以增加樹木抵抗力。
6. 如沒有足夠經費處理土壤的病殘根，至少要把病死樹的地上部完全移除以避免殘留在土表的莖基部產生子實體，增加擔孢子長距離飛散傳播機會。或改變地景，將受害土地內較大片之病殘根檢除後，不再種植木本多年生植物，因褐根病菌主要為害木本植物的木材，如改種草本一年生植物讓病原族群在土壤慢慢消失，不過時間可能要數年以上。

生物防治是當今植物病蟲害防治的趨勢，因為生物防治較沒有化學防治造成的環境問題。但生物防治有很多限制因子，目前田間成功的例子並不多。Kothandaraman et al. 發現土壤根圈中的放線菌 (actinomycetes) 可以抑制 *P. noxius*，但未有進一步的防治應用試驗。這是目前對 *P. noxius* 僅有之生物防治報告。

後記

褐根病本來只是一個學術名詞，只有特定領域的人才會接觸到。現在，褐根病已變成普遍名詞，因為大眾傳播媒體的普遍報導，一般民眾也已習以為常。這個現象表示褐根病已經進入我們的生活了，對我們的生活多少有些影響。它的最直接影響是樹木會死亡，在沒有預警下樹木會倒伏，可能造成公共安全的危險。

性。褐根病已成為我們生活周遭事物的一部份，政府與民間也都注意到這種情形，政府部門在立法與行政的共同努力下，已著手研議如何有效經營管理褐根病，讓它對我們的負面影響降到最低。在民間也看到充滿活力的力量來對抗褐根病的發生與蔓延，在政府與民間的努力下，期望不久的將來，褐根病只是個中性名詞。

主要參考文獻

- 傅春旭 張東柱 孫銘源 胡寶元 蕭文偉 2003 以農用燻蒸劑-邁隆進行褐根腐病害區之土壤燻蒸 台大實驗林研究報告 17(3):153-158.
- Ann, P. J., Lee, H. L., and Tsai, J. N. 1999. Survey of brown root disease of fruit and ornamental trees caused by *Phellinus noxius* in Taiwan. Plant Pathol. Bull. 8: 51-60.
- Ann, P.J., Chang, T.T., and Ko, W.H. 2002. *Phellinus noxius* brown root rot of fruit and ornamental trees in Taiwan. Plant Disease 86:820-826.
- Chang, T. T. 1995. Decline of nine tree species associated with brown root rot caused by *Phellinus noxius* in Taiwan. Plant Dis. 79: 962-965.
- Chang, T. T. 1996. Survival of *Phellinus noxius* in soil and in the roots of dead host plants. Phytopathology 86: 272-276.
- Chang, T. T. 2002. The biology, ecology and pathology of *Phellinus noxius* in Taiwan. pp 87-99 in: Tropical Mycology Vol. 1 Macromycetes. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- Chang, T. T. , Chiu, W. H., and Young, W. W. 1994. Selective nitrogen assimilation by *Phellinus noxius* and related fungi. Plant Pathol. Bull. 3: 230-233.
- Chang, T. T., and Chang, R. J. 1999. Generation of volatile ammonia from urea fungicidal to *Phellinus noxius* in infested wood in soil under controlled conditions. Plant Pathol. 48: 337-344.
- Chang, T. T., and Yang, W. W. 1998. *Phellinus noxius* in Taiwan: Distribution, host plants and the pH and texture of the rhizosphere soils of infected hosts. Mycol. Res. 102: 1085-1088.
- Cunningham, G. H. 1965. Polyporaceae of New Zealand. N. Z. Dep. Sci. Indust. Res. Bull. 164: 221-222.
- Pegler, D. N., and Waterston, J. M. 1968. *Phellinus noxius* No. 195 in : Descriptions of Pathogenic Fungi and Bacteria. Commonw. Mycol. Inst., Kew, England.
- Sawada, K. 1928. Camphor tree decline. Descript. Catal. Formosan Fungi 4: 86-91.
- Stalpers, J. A. 1978. Identification of wood-inhabiting Aphylophorales in pure culture. Studies in Mycol. 16: 1-248.