

樹木褐根病的生態、 發病與防治探討

張東柱（農委會林業試驗所研究員／通訊作者）
傅春旭（農委會林業試驗所研究員）

生態與發病過程

各種樹木病害的經營管理與其病原菌的生物與生態特性息息相關，因此本文先就褐根病菌的生物特性、生態與發病過程做簡單介紹，在就其生物與生態特性，並配合實驗室與林地的相關試驗結果，制定褐根病的經營管理方法。在病害的經營管理方法如涉及農藥的使用，則需先完成農藥推薦使用登記程序，方可於田間與林地使用。

在樹木褐根病發病的地區，常發現病害自一個發病中心逐漸向四周擴散，此現象顯示褐根病的主要傳播途徑是經由根部的接觸傳染，也就是由

罹病樹木的病根傳給鄰近與其接觸的健康樹木根部。另有報導指出褐根病菌的擔孢子可以經由傷口成功感染樹木。因此在自然界，樹木如因外在因素導致樹皮受傷而暴露木材組織，尤其是在樹木的莖基部與根部的傷口，再配合當時有擔孢子降落在傷口處的木材組織，就有可能達成新的感染樹木。擔孢子在褐根病擴展新病害據點上應該是扮演重要的角色。只是褐根病菌在樹木沒有任何傷口且無暴露木材死的組織下，是不可能完成感染入侵的任務。

基本上褐根病菌屬於兼性寄生（Facultative Parasite）的木材腐朽菌，也就是以腐生為主寄生為輔的木材腐朽

菌。通常經由樹木的傷口進入木材組織或經由臨近罹病樹木根部的根接或靠接進入健康樹木根部。初期侵入後主要分解利用樹木木材組織以壯大其生物量，當感染樹木面臨外在環境逆壓如缺水乾旱，或環境適合病原菌生長等不利寄主的因子，配合病原菌已在感染樹木的木材組織生長到足夠的生物量時，褐根病菌就會去危害樹木的活組織，如樹皮與細根，導致影響樹木水分的吸收與輸送。當影響樹木水分的吸收與輸送到達一定的臨界點時，樹木地上部就會出現黃化，落葉，萎凋等缺水徵兆，通常病害發展到這個時候比較會引起人們的注意。但一般而言，當地上部出現上述明顯病徵時，根部已喪失80%以上的水分吸

收與輸送功能。換句話說，具有生理功能的根部已大部分受害，也就是說這棵樹已經病入膏肓難以救治。

褐根病菌為害樹木樹皮與細根等活組織涵蓋的層面較複雜，包含褐根病菌、樹種與環境的相互關係。因此在不同情況下病害的表現會有差異性，如不同樹種間或不同立地環境下其萎凋程度可能就有差異性。褐根病菌除了危害樹木的活組織導致樹木缺水，讓我們知道他生病外。褐根病菌另外一個角色是腐朽樹木的死組織—木材，應該說這是它的主要角色。因為它藉由腐朽木材壯大生物量與提供能量，來當做危害樹木活組織的後盾。褐根病菌腐朽木材比危害活組織較不費力，因為木材組織以死細胞為主，比較不具抵抗力。

綜言之，褐根病菌一旦有機會成功進入樹木的木材組織，就穩定進行腐朽木材建立基地，等到其生長到一定的生物量又遇到外在環境不利樹木的抵抗力，或有些樹種本來抗病性就比較弱，褐根病菌就開始攻擊危害木材周邊的莖基部與根部的活組織，其危害情形則與樹木的抗病性與環境因子有密切的關係。

有一種情形，褐根病菌在一棵感染的樹木上，可以穩定腐朽其莖基部與根部木材組織，但受環境因子或寄主的抵抗使其攻擊危害活組織卻可能裹足不前。這種狀況下，因為受感染樹木的根部的生理活動並未受到明顯影響，以致其地上部樹冠層仍生長良好，外觀更看不出有被感染危害的徵兆。但如果該樹腐朽程度已達

影響樹木的機械支撐力時，則易受外力而倒伏。這就是常在現場看到有些樹木外觀好好的竟然倒伏（圖①）。這種以腐朽木材為主緩慢危害活組織為輔的型態是最具公共危險的受害樹木。另外也有，外在環境不利於寄主的抵抗力或樹木較具罹病性。褐根病菌在危害寄主的活組織則較不受限，病害進展速度較快，寄主吸水與供水動能就容易快速下降，使寄主的樹冠呈現黃化萎凋落葉等萎凋病症狀（圖②）。

一般而言，樹冠呈現萎凋症狀的輕重與根部活組織受害的程度成正相關，但與根部腐朽程度沒有相關性。也就從樹冠的病害程度無法判斷根部木材腐朽的程度。但樹木倒伏的風險與根部木材腐朽有正相關。因此，從樹冠的健康狀況是不能當作樹木倒伏風險的依據。有時可能正好相反，例如該樹有嚴重的根部木材腐朽，但根部的活組織並未嚴重受害。在這種情況下，樹冠越茂盛健康，倒伏的風險就越高。

褐根病菌危害樹木可以從兩個方向來看。首先是為害木材死組織，導致木材腐朽，弱



① 苦楝的樹冠仍生長茂盛，因外力倒伏後，發現褐根病菌嚴重腐朽其主根，但仍有很多健康的小細根。



② 罹患褐根病的榕樹，樹冠明顯落葉萎凋，倒伏時其根部幾乎完全腐朽。

化樹木機械支撐力，這是引起樹木倒伏的主因。因為木材組織沒有扮演關鍵生物功能，因此其受害情形與樹木外觀健康較無關；另一方面是為害樹木較表面的活組織，如莖基部與根部表皮與細根，這些部位主要負責水分的吸收與輸送。該部位一旦受害會導致樹冠層無法獲得足夠的水分而出現萎凋症狀。因為這部位扮演水分吸收與輸送的重要生物功能，其受害情形則與樹木健康致關重要。危害木材部位不受樹木抗耐病影響，因為木材是死細胞

不具抗耐病能力。一旦有機會進入木材組織，褐根病菌則扮演木材腐朽菌的角色。但危害樹木活的表面組織，就要由褐根病菌、寄主樹木與環境因子三方因子的交互作用而定了。因為這是一個發病過程，三方的交互作用比木材腐朽更複雜。

據研究結果顯示，在植栽現場

褐根病經常由殘留在土壤的病根傳播病害，因此殘留在土壤的病根生態與病害的發生有息息相關。褐根病菌存在殘根的活性可持續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1年至10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10年後的木麻黃病根仍有 50% 以上的存活率，可見褐根病菌可以在土壤內的殘根做長期的存活。

在土壤內存活期間如遇到寄主植物的健康根就有機會感染危害。但以選擇性培養基進行褐根病菌分離，病根周圍的土壤則無法檢測到它的存在，可見本病原在土壤的存活主要以殘根為主，單獨以菌體的型態不易在土壤中存活與引起病害。

當前病害防治方法的探討

在防治方法上，本病害仍沒有任何殺菌劑合法登記推薦於防治罹病樹木，僅邁隆推薦使用於罹病區域的土壤燻蒸。然而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劑對本病有某些程度的抑制及治療效果，但因未經完整的試驗結果評估及合法行政程序登記，仍不適合做為推薦防治藥劑。同時，本病菌主要危害根部，藥劑的施用不易達到預期治療效果，因此施與藥劑之成效，不如預期。事實上，褐根病的防治工作，應以預防為主，因本病原菌危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，已為時已晚。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，就可以達到防治效果；以下則是依據上述的原則做為防治的方法。

掘溝阻斷法—限制病害的擴散

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。但仍須將罹病樹木的地上部病殘根移除燒除，以避免地上部病殘根形成子實體而產生擔孢子飛散傳播。本方法可以避免病害往外擴散，但無法根除疫區內的病原菌，僅可當作臨時的權宜施作。

發病區域的處理—清除感染源

發病區域的土壤存在很多病殘根，這些病殘根是重新栽植的褐根病感染源，栽植前只

要可以把它們清除乾淨，疫區就可以轉變成無褐根病菌的乾淨區，將來再種植樹就不會感染褐根病。

1. 利用燻蒸劑處理病區：

由於燻蒸藥劑仍然無法完全殺死存在主根或較大根內的褐根病菌，燻蒸前仍須將受害植株的主根掘出，撿起與燒燬。根部撿拾乾淨後，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為偏中性及鹼性。此方法可以殺死仍然存留在土壤中細根的病原菌。此方法尤其對鹼性土壤更有效。

另外，土壤燻蒸劑「邁隆」則是推薦於褐根病罹病區的土壤處理的藥劑，其施用方法可參考政府公告之建議方法，一般用量為每立方米土壤以50—100公克邁隆拌入土中加水後覆蓋塑膠布2星期以上進行燻蒸，邁隆的施用效果較不受土壤酸鹼度影響，是目前較為廣泛使用的燻蒸劑。

2. 淹水處理病區：

施作前也需將土壤中的病殘根盡量挖出、撿拾與燒除且

該地區具有灌溉系統，則可進行1個月以上的浸水，以殺死存活於殘根的病原菌。此方法可以當做發病區域土壤燻蒸的替代方法。但施用地點須為較平坦且土壤保水較佳地方較建議施作。

3. 熱蒸氣燻蒸處理病區：

熱蒸氣在有空氣的環境下有熱氣傳導擴散不均勻的問題，因此使用熱蒸氣處理疫區土壤時，其殺菌效果經常不穩定。有鑑於褐根病菌在土壤的分布範圍比一般農作物的病原菌深廣，應用熱蒸氣燻蒸的成效更顯不易。

治療—罹病樹木的救治

治療罹患褐根病的樹木是目前最受關注的議題，目前有幾個不同方法都宣稱其療效，但從施作的結果看來，成功的案例並不多，且都未見較科學性的試驗結果報告。要探討不同施作方法是否有效，就要先了解褐根病的基本生物與生態特性。這方面本文的前面有做了一些基本敘述，以下僅就與病害防治相關的部分再整理說明，以作為評估目前不同施作方法的可行性。褐根病菌是一

種腐生在樹木莖基部與根部的木材腐朽菌，當其棲息的樹木在抵抗力比較弱的時候，褐根病菌會去危害樹木的表面活組織引起根腐病。褐根病菌會完全占領樹木的木材組織，木材組織是褐根病菌的大本營，也可以說是它的避難所。任何病害防治的施作如果可以直達木材組織殺死褐根病菌，才有可能達到救治的效果。任何防治的方法如果無法達到消除罹病樹木木材組織中的褐根病菌，防治施作終究要失敗，因為褐根病菌可以在木材組織中等待攻擊樹木活組織的時機。即使都沒有機會攻擊活組織，假以歲月樹木也會因為木材腐朽到達一定程度而倒伏。

感染的木材組織是防治的最大障礙，因為幾乎所有的防治方法都無法完全到達木材組織以消滅褐根病菌，除非以物

理的方式將其切離。另外值得注意的是樹木是一種長年的植物，要評估防治的有效性也要用長年的角度去看，不能只用一般短期作物的思維去評估防治效果。

1. 外科手術：

初期罹病樹木，根系再生能力強的樹種及具有價值的樹木可進行外科手術，施作時需確實切除患部及將土壤移地燻蒸為施做原則。較大棵樹木施做外科手術須預防樹木倒伏，須做好必要的支撐支架。外科手術主要是將罹病組織完全自罹病樹木切除，使樹木恢復到無褐根病菌危害的健康狀態，是有效確實的救治方法（圖③④）。

2. 化學藥劑防治：

藥劑的施作有兩大盲點，也就是時間與空間覆蓋率不足

的障礙；藥劑是有時效性（時間障礙），一旦採取藥劑防治就必須長期一段時間施用一次藥劑，另外藥劑是無法完全達到褐根病菌棲息的場所（空間障礙），尤其是木材組織內的褐根病菌。時間障礙可以採用持久戰克服，也就是每隔一段時間施藥一次。空間障礙就很難克服，因為藥劑就是到不了木材組織的褐根病菌。假設持續性的施藥可以有效保護樹木表面活組織，以維持樹木正常健康生物活性，但藥劑就是無法到達木材深處的褐根病菌，它可以不受藥劑影響持續腐朽木材，即使藥劑防治有效，罹病樹木也常因倒伏收場。以下施藥方法是經由試驗證實具有短期療效（圖⑤），或可施用於發病周圍的健康樹或發病初期的林木，一旦採取藥劑防治就需間隔一段時間施藥一次以維持長期藥效，但長期效益仍

③ | ④

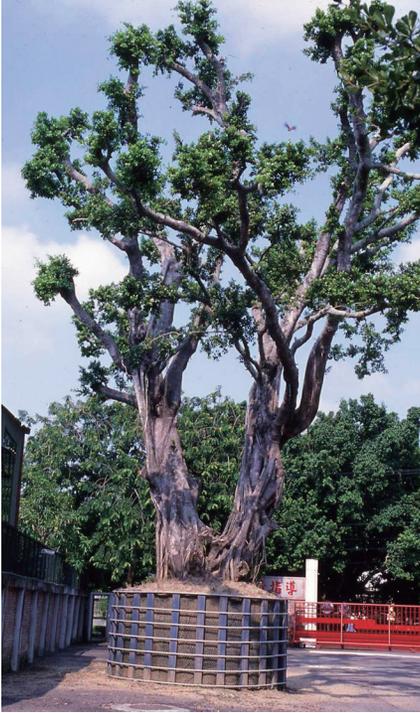


③ 墾丁熱帶植物園內罹患褐根病的銀葉板根，外科手術前。



④ 罹患褐根病的銀葉板根，外科手術後6年。

⑤ | ⑥ | ⑦



- ⑤ 罹患褐根病的樟樹，經淹水2個月後，樹勢生長良好。
⑥ 嚴重罹患褐根病的榕樹，經含有藥劑的土壤包覆莖基部達1公尺高，處理4個月後恢復生長，後來因颱風倒伏。
⑦ 罹患褐根病的榕樹，施用宣稱有療效的生物製劑達1年以上，但樹木最後仍然枯死。

有待觀察；藥劑混土覆蓋法和藥劑稀釋灌注法，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部及周圍之土表，厚度約

3—5公分，範圍則依樹冠大小而定盡可能函蓋樹冠，覆土完畢後將土表淋濕，如處理地點易浸水，可先將表土刮出3—5公分，但盡可能不要刮傷樹根。

(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。

除了上述施作方法外，另也有使用壓力點滴灌注法或一般針筒注射法施用藥劑，這兩種方法同樣面臨藥劑的時間與空間雙重嚴重障礙，因此施用成效不彰。

3. 罹病樹木的淹水

病殘根經由1個月以上的淹水可以殺死其中的褐根病菌。樹木淹水1個月以上也可能缺氧而死。曾在林務局南澳工作站有一個初步試驗，將初期感染褐根病的樟樹各2棵分別淹水1及2個月。試驗後，4棵樟樹都還生長良好（圖⑥），經取樣原來的病根分離褐根病菌，未檢出存活的病菌。此結果顯示，淹水處理可以殺死病根的褐根病菌但並未影響樟樹的生存。這可能只是單一個案，需要更多的試驗才能推廣，尤其淹水對樹木的負面影響，需進一步的了解。但如果希望能為罹病樹木盡一份力量，又無適當的治療方法可以施用，或許可以不妨一試。

4. 生物防治

有報告報導在實驗室，木黴菌可以有效抑制褐根病菌的生長，但仍未經實際的病害防治試驗證實其效果。一般而言，生物防治主要有兩個作用機制：(a)提升寄主的抗病性，這部分主要作用是保護樹木的活組織，免於受褐根病菌為害。如果施用的生物製劑是屬於這一類型，木材組織仍然逃不過褐根病菌的危害，因為木

材是死細胞，沒有抗病能力。(b)抗菌微生物直接為害病原菌（褐根病菌），如果是這種生物製劑就須具備與褐根病菌相似的生態棲位，才有機會接近褐根病菌進而危害它，同時也要對褐根病菌具有很強抑制或殺生作用，才能全面性遏止褐根病菌的活動，以達到有效的防治。在自然界不容易發現這種微生物，或可以說不可能存在。生物防治具有高度專一性，需投入較多的科學研發，才有機會達到有效的田間防治效果，尤其是植物病害的生物防治比蟲害的生物防治更加困難。目前也有使用所謂的生物製劑來防治褐根病，一般都使用現有用於其他病害防治的生物製劑（圖⑦），這個方式如果有效，就未免把生物防治的研發當兒戲了。事實上，目前仍沒有生物防治褐根病較具體的研究報導，期望將來有專門針對褐根病防治的生物製劑問世，這將是一件難能可貴的研發成果。

5. 棲地改良

所謂的棲地改良，應該就是應用園藝或育林技術來改良樹木生育不良的環境，使樹木因為棲地的改善讓原本生長不

良情況得以恢復生機，且在樹木生長良好後可以提升其抗病蟲害的能力。使用棲地改良可以救治一棵罹患褐根病的樹木嗎？正確的棲地改良確實可以恢復樹木的生長，但不一定會提升對褐根病的抵抗力，要有研究數據來說話，目前沒有看到相關的科學報導，自然現象不能用一廂情願。假設棲地改良是可以提升樹木對褐根病的抵抗力，會有救治效果嗎？這個問題又要回到褐根病菌的生態特性，它是以腐生棲息在木材死組織的木材腐朽菌，樹木的抗病效力不及於木材內的褐根病菌，所以褐根病菌仍然可以在木材中快樂的生長，樹木終究會熬不過褐根病菌的危害（圖⑧）。

結語

褐根病菌可以危害樹木根基部的活組織，導致樹木萎凋死亡。它同時也腐朽根基部的木材組織，導致樹木容易倒伏。因此，受其為害的樹木最後非死即倒，這是自然法則不是詛咒。褐根病菌的重要微棲息地是土壤的病殘根與罹病樹木的感染木材組織，因此在防治上，只要有效抑制或消除

重要微棲息地的褐根病菌就可遏止病害的發生。土壤中的病殘根可以利用土壤化學燻蒸與淹水處理，達到清除褐根病菌，使疫區變成健康區的效果。罹病樹木的防治有兩個主要方向：第一是快刀斬亂麻式的外科手術，完全將病原自寄主抽離，這是最有效的方法。手術後寄主就可以完全擺脫病原的糾纏。但手術過程會切除部分木材組織，影響樹木的支撐力，須做好安全防護施作，

進行手術切除前，也應該對該罹病樹木樹勢及安全健康進行檢查，以評估罹病樹切除部分木材組織後之存活機率。罹病樹木的淹水處理也有類似完全抽離病原的效果。另外其它治療方法都屬於藕斷絲連式的與病原和平共存。事實上，褐根病菌可沒有那麼浪漫多愁善感，它一旦進入樹木體內就是要生活下來，要履行它的生態角色。除了化學防治有時間與空間的障礙外，生物防治、棲

地改良與自然療法一樣都存在相同的障礙。這些方法都有一個共同的主軸說法—促進寄主生長良好，提升抗病力。就算這種說法是確實存在，還是無法達到治療效果。因為樹木的抵抗力會隨著外在環境改變而變動，例如遇到環境逆壓如乾旱，樹木的抵抗力就會降低，樹木不可能因為這些施作就可以一直處於抗病狀態，總會讓褐根病菌有機會的時候，這就是時間障礙。另外，樹木的抵抗力是不及於木材組織，褐根病菌仍然可以腐朽木材組織，這就是空間障礙。或許「與狼共舞」是美麗的憧憬，但是要小心，恐怕會變成「養虎為患」的悲慘哀愁。🌲



⑧ 施予棲地改良的罹患褐根病榕樹，持續黃化萎凋，最後枯死。