

海岸防風林木麻黃立木健全性檢查及木材反應

◎林業試驗所森林利用組·林振榮 (zzlin@tfri.gov.tw)、李志璇、塗三賢
◎宜蘭大學森林學系·鍾智昕

木麻黃(*Casuarina equisetifolia*)是臺灣海岸地區附近常見的樹木，通常作為防風保安林的主要喬木樹種，因此，樹木常遭受海岸的強風、飛砂、高溫、鹽霧、積水等作用，造成樹木生長、內外部機械性、應力或木材腐朽等危害，可能具有安全性風險。由於氣候變遷對樹木的影響加劇，尤其是生長在海岸地區的木麻黃首當衝擊，未來可能遭受極端氣象(如颱風)高頻率及嚴重程度的危害，為了減少極端氣象對樹木的災害影響，可以考慮增加防風林樹木的調適能力及管理機制。其中，有必要監測樹木健全性，以瞭解樹木生長、耐受狀況、適應變化、或韌性反應等現狀，以作為因應氣候變遷時，海岸防風林樹木調適管理的基礎。本報告以木麻黃為例，提供立木健全性檢查與樹木內部木材及外觀資訊作為參考。

目視樹木檢查

生長在海岸防風林的木麻黃，可能的危害因子，包括風、雨、鹽霧、飛砂、高溫、乾旱(缺水)、積水、海水沖蝕、地層下陷(浸水)等因素，生長在海岸地區的樹木外觀受到氣象災害的影響，有1. 死亡(傾倒、立枯)，或邁向死亡螺旋方向生長；2. 樹木連根傾斜，或樹幹彎曲；3. 主幹或大枝條斷裂或枝梢枯萎；4. 樹冠受損、破缺、枯損；5. 樹木生長產生緊縮策略，或維持樹冠大小；6. 生長勢衰退，或樹高變矮，或可維持樹木生長，或漸漸衰退生長；7. 樹木產生分枝狀、匍匐狀，或產生多數不定枝生長，以適應極端氣象(或嚴峻環境，如強

風豪雨)；8. 根部受損死亡，造成根部支持力不足，或使樹冠冠層枯萎。9. 樹冠受風影響偏向一側生長，重心朝一側，形成不良的樹體結構，風與樹冠形成風切的拋物線形狀。

由颱風發生前後樹木之變化，樹木外觀情形大致可分為1. 正常者：樹木有明顯主幹且無出現基部分叉或基部群生狀況，又樹木主幹的樹梢頂端還存活者；2. 樹梢消失者：樹木有明顯主幹且無出現基部分叉或基部群生狀況，又樹木主幹的樹梢頂端已消失不見者；3. 基部分叉：樹木基部(地表至胸高直徑以下之間)出現兩個以上明顯主幹；4. 基部群生：樹木基部(地表以下之處)出現兩個以上明顯主幹；5. 主幹枯萎：樹木基部(胸高直徑以下之處)出現兩個以上明顯主幹，又其中一主幹已完全枯死而另一主幹依然存活者；6. 頂部枯萎：樹木有明顯主幹且無出現基部分叉或基部群生狀況，又林木主幹的樹梢頂端還存留但已完全枯死，而主幹的其他側枝依然存活者；7. 枯立木：樹木已經死亡但依然豎立；8. 風倒木：樹木已經死亡，且已傾倒在地上；9. 強風傷害木：受風害影響機械性作用造成外傷及腐朽。因位於海岸生長的木麻黃樹木外觀結構缺點有所不同，因此，依據現有目視樹木評估法調整外觀檢查法，以「調適目視樹木評估法」檢查項目(架構)，舉例如表1所示，使用者可以調整樹木外觀檢查項目，或應用於樹木外觀調查積分評估法，並採用不同結構損害時，量化評估樹木健全性等級。

表1 調適目視樹木評估法的檢查項目

樹木危險缺點	特徵項目 <input type="checkbox"/> 有檢出 <input type="checkbox"/> 未檢出
1. 腐朽的木材	<input type="checkbox"/> 主幹枯萎 <input type="checkbox"/> 枝幹枯萎 <input type="checkbox"/> 腐爛木材 <input type="checkbox"/> 真菌子實體 <input type="checkbox"/> 空洞中空 <input type="checkbox"/> 穴 <input type="checkbox"/> 內捲裂 <input type="checkbox"/> 開放式爆裂 <input type="checkbox"/> 木材腫脹 <input type="checkbox"/> 其它：材質劣化
2. 破裂	<input type="checkbox"/> 樹梢斷裂消失 <input type="checkbox"/> 衰弱枝條的劈裂 <input type="checkbox"/> 修枝處理造成 <input type="checkbox"/> 風力(樹幹損害 滲液[脂]) <input type="checkbox"/> 垂直的破裂 <input type="checkbox"/> 剪斷式破裂 <input type="checkbox"/> 內捲式破裂 <input type="checkbox"/> 肋骨式破裂 <input type="checkbox"/> 水平破裂 <input type="checkbox"/> 縫線
3. 根部問題	<input type="checkbox"/> 損害的根部 <input type="checkbox"/> 死根部 <input type="checkbox"/> 缺根部 <input type="checkbox"/> 破裂根部 <input type="checkbox"/> 腐朽根部 <input type="checkbox"/> 傾斜根部 <input type="checkbox"/> 真菌子實體 <input type="checkbox"/> 接近樹幹的根部破裂 <input type="checkbox"/> 環繞的根部 <input type="checkbox"/> 其它：螞蟻危害 <input type="checkbox"/> 不適當的根部錨狀支持(面積大小) <input type="checkbox"/> 樹頂枯萎(根部引起) <input type="checkbox"/> 樹冠衰退或枝葉枯萎現象(輕微) <input type="checkbox"/> 樹木新的或不正常傾斜 <input type="checkbox"/> 土壤小隆起 <input type="checkbox"/> 土壤破裂 <input type="checkbox"/> 根部舉起
4. 衰弱枝條的連結	<input type="checkbox"/> 分叉樹幹或枝條 <input type="checkbox"/> 有徒長的枝條 <input type="checkbox"/> 枝條連結有捲入樹皮 <input type="checkbox"/> 其它
5. 潰瘍	<input type="checkbox"/> 潰瘍(樹皮) <input type="checkbox"/> 真菌 <input type="checkbox"/> 昆蟲(白蟻危害) <input type="checkbox"/> 微生物 <input type="checkbox"/> 機械損害 <input type="checkbox"/> 其它
6. 不良樹體結構	<input type="checkbox"/> 基部分叉 <input type="checkbox"/> 基部群生 <input type="checkbox"/> 傾斜樹木(幹)或枝條 <input type="checkbox"/> 樹幹上有引張及彎曲皺摺現象 <input type="checkbox"/> 徒長枝的樹木 <input type="checkbox"/> 樹冠重心偏一側 <input type="checkbox"/> 其它
7. 枯死幹枝	<input type="checkbox"/> 枯立木(死樹) <input type="checkbox"/> 枯死頂部 <input type="checkbox"/> 枯死枝條

表2 擇選不同的非破壞性技術作為木麻黃樹木危害的評估參數(標準值)

項目	方法	評估參數
1	目視樹木檢查法(visual tree inspection)	目視檢查表(tree inspection form)
2	應力波2D影像法(stress wave device 2D tomogram)	樹幹橫向音速(transversal stress wave velocity, m/s)
3	橫向打擊共振法(lateral impact vibration)	直徑x頻率(diameter x frequency, mHz)
4	生長錐法(increment borer)	目視(visual observation of core)
5	微破壞儀法(fractometer)	縱向壓縮強度(green crushing strength, MPa)
6	X射線掃描木材密度法(X-ray wood density profile)	氣乾密度(air dried density, kg/m ³)

非破壞性檢測

非破壞性檢測隨著科技導入有許多的應用模式，目前有許多不同的非破壞性技術可以擇選，例如目視樹木檢查可透過無人機拍攝影像作為調查及監測手段，並作為木麻黃樹木危害的評估參數(標準值)。舉例如表2所示，經調查非損害樹木樹幹內部的木材，其橫向打擊共振法的平均直徑x頻率值為358.0 mHz，

微破壞儀法的平均縱向壓縮強度為34.4 MPa，X射線掃描木材密度法的平均密度為875.8 kg/m³，應力波2D影像法的平均樹幹橫向音速為1636–2539 m/s，外觀或判斷有損害木材的平均樹幹橫向音速為1404–2570 m/s，因應不同狀況擇選檢測方法，以上標準數值提供參考。

樹幹內部木材反應

樹木生長受到氣象危害會造成外觀的變



木麻黃樹木連根部的傾斜及樹幹上的破損腐朽(張婕瑜 攝)



木麻黃樹木樹冠部的枯頂(張婕瑜 攝)

化，同時也使樹木內部的木材受到轉變，透過樹木外觀檢查及樹木內部解剖觀察發現，樹木外觀出現傷口、枯死枝條、癒合組織、腐朽等情況下，樹木體內的木材有明顯的非正常木材現象，主要是樹木受到環境氣象(如溫度)影響，或發生機械式外力(如強風)作用，樹木也產生生長逆境抵抗及防禦機制反應，在樹幹內部產生木材變色反應區、癒合組織、生長輪反應變化，甚至腐朽空洞等，目前由文獻及觀察結果可歸納如下。

1. 深色心材的形成是邊材轉變為心材的正常生理代謝機制，而心材的形成通常受到樹木年齡、環境等的影響；一般而言，邊材透過木質線組織將二次代謝物轉移到心材中，心材因有這些二次代謝物而具有抵抗外來腐朽菌的能力。因此，理論上來說，樹木受到較大的生長環境逆境時，會產生較多的化學物質累積；另外，樹木也會產生生長緊縮作用，生長速度較慢，進而影響心材形成(面積大小)及內容物(化學成分、顏色)。
2. 偽(假)心材不是真的心材組織，可能受到生長環境逆境或受傷時產生假的心材顏色變化，於是木材內部產生較多二次代謝物與抽出成分，因而具有抵抗外來腐朽菌與

逆境的能力。

3. 反應木材包括引張材(拉拔材)、癒合組織、彎曲木材等3項。因此，產生較多的纖維素、二次代謝物等化學物質，具有緩解樹木不良結構應力、平衡樹木生物力學反應，及保護損害傷口等作用。反應木材是樹木內部受到應力刺激而增生的適應性反應機制。
4. 分離式變色木材看似找不到連結的傷口或來源，然而樹木在生長的過程中，受到風力搖動、震動、或應力時而影響到樹木內部細胞，而產生木材顏色變深組織的反應區，簡單來說是一種樹木防禦機制(compartmentalization of decay in trees, CODIT)的表現，木材在三個方向的CODIT反應強度機制是弦向>徑向>縱向，而形成層的防禦能力最好。
5. 文獻指出木麻黃最適當的年降雨量是1000–1300 mm/年，雨量太多或太少時會影響樹木的生長，生長輪寬度會變窄，雨量太大時主要受到颱風的綜合性效應影響；另外幼齡期木麻黃樹木生長受到雨量的影響較低，但大於30年生之後的木麻黃，生長輪寬度變窄，其生長速率有急速下降的情形，可能是樹木衰老化的現象；



木麻黃樹木樹幹彎曲(張婕瑜 攝)



木麻黃左邊樹幹是健全的，右邊是枯死的樹幹(張婕瑜 攝)

當樹輪生長緩慢或停滯時，產生如缺輪、窄輪等現象，會有較高木材密度。

6. 樹幹橫斷面有不規則現象(非正圓或橢圓形)：當樹木受到生長重力或重心偏一側影響，產生應力或生長激素作用，會發生較多的反應木材，以支撐樹體，或形成類似板根的樹腳，樹木外觀上可見受風力影響，偏一側生長，所以橫斷面產生較多的不規則增生木材，樹幹內部形成生長應力。
7. 木麻黃樹體受到環境風力搖動影響，使樹體內部木材受到機械式受傷，包括外部及內部機械式傷害，後續再受到腐朽真菌侵蝕而腐朽，產生複合式危害的木材反應現象。腐朽與防禦機制兩者間互相作用，產生不同的腐朽顏色及變化結果。
8. 樹木樹幹有形成層的樹皮外部有傷口，有枯死枝條，破裂現象，樹皮捲入，有突起癒合組織木材等，受到真菌感染，可能發生變色、腐朽、破裂等現象，樹木受到損害時，可能受到腐朽真菌腐朽危害，或與腐朽菌共存。
9. 樹幹產生向外抵抗力，如生長錐較難鑽入木材，鑽孔抵抗力提高，細胞組織產生較多的木質素成分，或導管中有較多的填充

物或內容物，也可能是樹木內部木材有明顯的防禦機制保護(包括細胞內部、物理性、化學成分轉變抵擋腐朽擴大)；樹木細胞耐受抗風、防鹽機制作用，如產生較多的矽物質，或細飛砂埋入木材中。

10. 樹幹內部木材無法耐受各種環境氣象因素影響，最後可能造成組織破壞、細胞枯死，或發生真菌腐朽木材狀況，以產生隔離的保護層作用。

結語

海岸防風林具有保護海岸國土安定，維護後端農業、產業、社區居民安全之作用，而木麻黃是臺灣海岸防風林重要樹種，為因應未來氣候變遷極端氣象的影響，以減少災害損失，瞭解木麻黃的健全性以作為防風保安林樹木的調適性經營管理顯得至關重要。然而不同樹種具有不同的反應，不同海岸防風林地域也有其特性，本報告提供海岸防風林木麻黃健全性檢查及木材反應為例，以提供維護防風林樹木管理參閱。永續海岸保安林生態如何維護、推動並提案調適管理經營，有待廣續集思廣益。🌳