

樹木保護專業人員 培訓考選教材

【高級】



更多資訊



主辦單位：林業及自然保育署

樹木保護專業人員培訓考選教材

高級

第一章	樹木風險評估與實務-----	1
第二章	樹木健康檢驗-----	105
第三章	樹木疫病蟲害健康管理-----	169
第四章	樹木保護用藥及農藥之合理安全施用與實務-----	229
第五章	樹木支撐與避雷系統-----	261
第六章	移植前準備與評估-----	279
第七章	移植施工與養護實務-----	325
	高級樹木保護專業人員培訓考選題庫-----	373

樹木保護專業人員教材

【高級】



第一章 樹木風險評估與實務

張育森/吳孟玲/葉耕帆/陳又嘉



健檢與風險評估

第一章 樹木風險評估與實務

第一節、 樹木風險評估緒論

(一)前言

樹木不僅提供綠蔭、休憩，也是生活環境與品質的保障，更是伴隨民眾成長的共同印記與文化資產；有些樹木還具有生產水果、林產物等功能。

樹木也是生物界中的長者，老樹是歷史的活見，也是綠色的活古蹟；老樹能歷經久遠歲月而存活下來，其對抗環境逆境的適應和智慧，實在值得人們學習。

由於樹木年齡往往超過人類，我們其實對樹木並不夠瞭解，對樹木的研究也相當有限。很多以為是愛樹的行為，例如樹穴鋪面、傷口外科手術、種植過深、不當修剪……等(圖 1-1)，不但沒幫到樹，反而害了樹。

都市樹木常見議題，包含(1)種植、移植樹木成活不良、(2)不當修剪、嚴重影響樹木生育和景觀、(3)受保護樹木與都市開發建設之衝突、(4)樹木風險、造成人員生命財產的威脅、(5)其他(正向報導)，例如金城武樹、植樹減碳增匯……等。其中以樹木風險、造成人員生命財產的威脅影響到每一個人，最受全體國人關注，也是本章所探討的重點。



圖 1-1、不當修剪。



圖 1-2、樹木倒塌。

樹木提供在都市環境生活與工作的人們從生態和經濟到美學和社會的效益，這些效益會隨樹木年齡和大小之增長而增加。同時隨著一棵樹木逐漸增大和老化過程，也可能會發生掉落枝條、產生腐朽或發生其他情況，使斷落(塌壞, Failure)的可能性(Likelihood)也隨之增加(圖 1-2)。因此，在評估與管理樹木上，應該在一棵樹木提供的各種效益以及可能具有的風險間，努力達到兩者的平衡(圖 1-3)。

英國國家樹木安全小組(NTSG)，在 2011 年提出樹木風險管理的五項基本原則如下：(1)樹木可以提供社會各式各樣的效益，(2)樹木是活的生物(有機體)，且會自然地掉落樹枝或傾倒，(3)樹木對人類安全的風險是非常低的，(4)樹木所有人(業主)有法律上的注意責任，(5)樹木所有人(業主)應採取適當的樹木安全管理做法。

嚴重的樹木斷落造成的損害是相對少見的。在「正常」的天氣條件下(例如：梅雨、颱風、午後雷陣雨)，樹木面臨的風險通常可預測、也可預防。但若樹木遇到之外力過強(例如：強風、土石流)，即使是樹勢良好的樹木也會遭破壞或毀損。

因此，樹木所有人(業主/管理者)認為樹木有造成損壞或傷害風險之疑慮時，應進行樹木風險評估(Tree risk assessment)；有時為了評估額外問題的可能性並管理風險，會於一棵或多棵樹木斷落(塌壞)後進行評估。進行評估之關鍵原因是：(1)預見問題、(2)確認風險超過可接受的臨界值(Acceptable threshold)之特定樹木及(3)在斷落(塌壞)發生前的預防損壞。

樹木風險管理者、樹木風險評估者與樹木保護專業人員的預期任務如表 1-1。此外法律顧問能提供注意責任、專業責任歸屬、疏忽(Negligence)、產權與邊界究務及其他問題的建議。所有的建議應該依據產業標準被提出。



圖 1-3、在評估與管理樹木上，應該在一棵樹木具有風險，與個人和社區能從樹木獲取的效益間，努力達到兩者平衡。

表 1-1、樹木風險角色責任表

角色	樹木風險管理者 (樹木擁有者，物業管理 者，管理機構)	樹木風險評估人員 (如工作範疇所定義)	樹木工作者 (如工作範疇所定義)
工作	考慮注意的責任(Duty of care) 定義和傳達樹木風險的管理政策 決定討論中樹木的檢查(Inspection)需求 確定樹木檢查的地理範圍(Geographical limits) 解釋目標區域的使用 確定想要的評估層級(Levels of assessment) 建立預算 決定可接受風險的程度 建立檢查頻度 確立工作範疇(Scope of work) 確認工作的優先順序 從風險緩解選項中進行挑選 提供風險評估者所需資訊	辨別樹木及生育地條件以進行檢查 衡量並分類樹木斷落會影響風險標的的可能性 估計樹木斷落的潛在後果 記錄並向客戶解釋調查結果 必要時，決定並建議進行進一步評估(Advanced assessments) 決定樹木風險提供處理或緩解風險的選項 估算處理後的殘留風險(Mitigate risk) 建議檢查的頻率 撰寫報告(Reporting) 提供所選處置(Treatment)之規範	提供被要求的服務： 樹木工作安全檢查 修剪 移除 支撐系統 雷電保護 樹木健康處理 移植補植 確認後續處理的需求

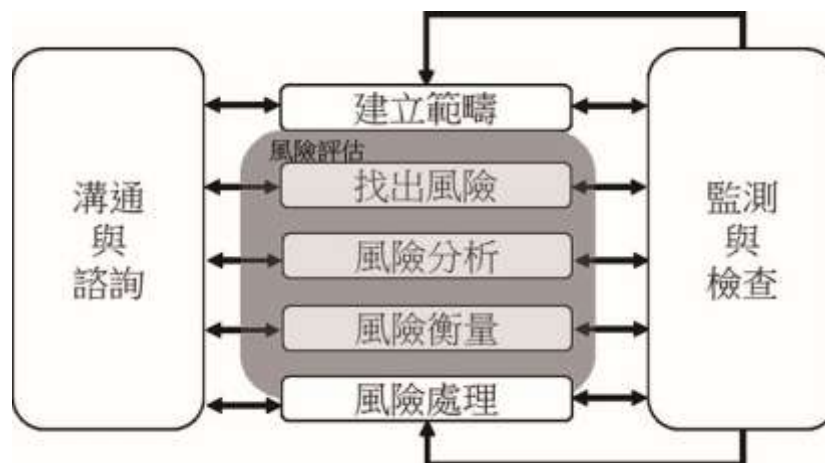


圖 1-4、風險評估在風險管理過程的角色(取自 ISO 31010)。

(二)樹木風險評估的基本術語

1.風險(Risk)：

是一個事件發生的可能性與潛在後果嚴重性的組合。以樹木來說，風險結合了衝突或樹木斷落(塌壞)的發生，與影響標的後引起的後果(包含人員傷亡、財物損害、或活動中止的嚴重性)。

2.樹木風險評估(Tree risk assessment)：

是識別、分析和評估樹木風險的系統化過程。風險可按發生的可能性和後果的嚴重性做分級或量化，以做評估。

3.樹木風險衡量(Tree risk evaluation)：

是將評估出的風險與既定的風險標準作比較，以決定該風險的重要性。風險的大小程度是透過分級或量化的計算，和業主的風險容許度(或其他預先設定的容忍度、法規需求)比較，以決定風險是否可接受。

4.樹木風險管理(Tree risk management)：

是政策、程序和實踐的應用，以辨別、評估、緩解、監控和告知等方式，來調控樹木風險。

5.標的(Target)/風險標的(Risk target)：可能被樹木傷害、損毀或中斷的人、財產或活動。

6.斷落(塌壞)(Failure)/樹木斷落(塌壞)(Tree failure)：

是指樹幹、枝條、根系的破損，或根系失去結構支撐。

7.危害(Harm)：

是人身傷害或死亡，財產損失或活動的中斷。

8.後果(Consequences)：

是事件的作用或結果。在樹木風險評估中，後果包括人身傷害，財產損失，或因事件而活動中斷。

9.可能性(Likelihood)：

指一個事件發生的機會(機率)。

在樹木斷落(塌壞)的情形下，「可能性」可被用來指：(1)一棵樹或是樹木的一部分斷落(塌壞)發生的機會；(2)一棵樹或是樹木的一部分撞擊特定標的物的機會；(3)樹木斷落(塌壞)並撞擊到特定標的物的機會。



圖 1-5、樹木是否需檢測，或是適合哪一層級的評估，應考慮特定條件和環境下何者合理且適當；決定也必須在適當的法律、標準與規範的架構下擬定。

(三)風險評估方法

風險評估前，應先建立任務的內容：內容界定了風險評估的參數，包括目標、風險將如何被評估、溝通流程、相關的政策或法律需求，及風險評估的限制(Limitations)。依據內容和進行風險評估的方法，會決定風險評估步驟如何被應用。

兩個主要的風險評估方法分為量化和質化，都有各自的優點和限制，且各自有適合不同的目標、需求、資源和不確定性。當正確地應用可靠的數據與有效的假設，其量化和質化兩種方法均是有效的。

1. 量化之風險評估

(Quantitative risk assessment)

估計事件的發生機率和後果的數值，然後產生一個風險等級數值，下列為典

型的公式：風險=機率×後果。

此評估方式之優點為樹木風險可與其他樹木相比，也能與其他類型的風險相比，對於必須分配部門間資源的市政決策有其必要性。因風險能被獨立或組合分析，故計算也是從簡單至複雜都有。

風險評估者必須記住計算都只是估計，且其準確度和精確度可能無法與採用的數據和方法達到一致性。因此在樹木風險評估上，完全量化的分析往往無法保證或實行。

2. 質化之風險評估

(Qualitative risk assessment)

對於事件的可能性與後果加以評分，藉此決定風險之等級，並衡量質化標準下的風險等級；通常評分會與矩陣並用來分級風險，是國際上眾多政府和企業認可和推薦之方法。

固有的主觀性和不確定性會限制質化評估方法。因此，提供可能性、後果及風險明確的術語解釋與評分定義，能提高可靠性和應用的一致性。

許多全世界所使用的樹木風險評估質化數值系統，會在特定因子使用數字，以獲取相對風險的估計或排名，可作為工作的優先度之排序。此類系統的數字實際用於分級，但不能藉由相加或相乘來建立整體的相對風險等級，但能被設計估計單一樹木和其他樹木的風險等級，以決定群體內的工作優先度。

3. 風險評估的考慮因素

選定的風險評估方法應該要合於情況，並應考慮目標和可用資源。在內容確定後，再基於下列所述選擇特定的技術：(1)決策者需求和所需細節的程度，(2)可用的資源與合理的成果，(3)信息和數據的有效性，(4)專業需求(程度)，(5)適用的法律或法規。

樹木風險評估通常帶有大量的不確定性，因此應該要理解不確定性的來源，並與風險管理者/樹木所有人溝通。

4.風險評估的影響因素樹木風險評估的主要目標是提供一段時間範圍內某棵樹木會產生的風險等級之資訊。(類似“保固期”)

經由對該樹木評估其斷落(塌壞)和撞擊的可能性後，再考量斷落(塌壞)所造成的後果發生的可能性所得出的結果，這些評估因子由下列決定：

(1)衡量樹木的結構狀況及其可能導致的斷落(塌壞)模式、樹木的潛在負重以及樹木對弱點部位所做的調整，以便決定斷落(塌壞)的可能性。

(2)衡量樹木或樹體斷落(塌壞)會撞擊到人們、財產或中斷活動的可能性。

(3)評估及分級斷落(塌壞)的後果，包括標的造成的潛在傷害或危害的金額。

有了斷落(塌壞)可能性和斷落(塌壞)造成的撞擊可能性與後果，就可預估或分級得知風險等級。

(四)與樹木相關的風險類型

樹木的風險可分為兩個基本類別衝突(Conflict)和結構性斷落(塌壞)(Failure)，本文主要重點在樹木的結構性斷落(塌壞)。

1.衝突：

當樹木與社會功能間產生衝突時，風險就會上升。隨著樹木成長會產生有潛在問題的花、果、根、枝和葉，與路面、周圍建築物及使用樹木的民眾發生衝突。樹木與電線或電纜接觸，可能中斷電力輸送、引發火災傷害甚至可能導致人們死亡。

2.斷落：

當力量作用於一棵樹所造成的壓力，超過樹木結構的強度，或樹與土壤之間支撐樹體的連接，便會發生結構斷落(塌壞)。大部分的樹木結構斷落(塌壞)與多個結構缺陷或狀況的組合有關，例如：腐朽出現或不良結構，及特殊或極端的負重事件(如：一陣強風)。



圖 1-6、隆起的人行道會產生絆倒行人的風險。



圖 1-7、樹木的落葉會導致滑倒的危險，並與社區的人們產生其他衝突。

(五)定義工作範疇

在開始樹木風險評估之前，與樹木所有人(業主/管理者)共同定義工作範疇(Scope of work)是極為重要的。風險評估者通常會在撰寫工作範疇上扮演重要角色，且工作範疇均必需經過雙方審核及同意，才能開始評估作業。

1.確認受評估的樹木或區域

確認一棵樹的位置(例「前院的大榕樹」)或選定的標準(例「主街道上所有直徑大於 30cm 的樹木」)。當為一個城市或公私立機關評估樹木時，要具有明確的地圖邊界和明定的樹木邊界。

2.評估的層級細節

應訂出三個評估層級(第 1 級：有限的目視評估；第 2 級：基本評估；第 3 級：進階評估)的每層級細節。如果選擇最低層級的檢查(有限的目視)，應說明檢查是如何執行以及記錄相關訊息。例如：「檢查程序是步行通過人行道，並尋找任何明顯的地面缺陷」；評估狀況的細節也應包含在工作範疇中。例如：樹木往往有許多小的枯枝存在，但若只關心斷落(塌壞)後會導致嚴重後果的大型枝條；故任務內容可能因評估對象受到限制；例如：「僅記錄直徑大於 5cm 的枝條」。

3.報告的方式

報告和任何額外說明的方式都應加以定義。首選的方法是以書面型式報告。在某些情況該報告可透過口頭報告提出加強說明和緩解建議。一般不建議只有口頭報告，因在日後溝通環節中會有誤解之問題。

4.檢查和報告的時間表

檢查時間期限和調查報告送達時間應明訂。例如：「該協議可能規定在樹木落葉前要完成工作，並於實地調查完成後兩週內提交報告。」

5.風險評等和緩解

風險評估通常包含當下樹木風險評等(Risk rating)、緩解風險的選項及建議，衡量緩解後的殘留風險，以及建議檢查的時間間隔。

6.建立時間範圍(Timeframe)

時間範圍為提供風險等級判斷的重要參考點。所有的樹木最終都會斷落(塌壞)，因此必須將風險評等與時間範圍連繫在一起。「例如：這個風險評估涵蓋三年期間，並基於評估時呈現的狀況所做。」

提供不只一個時間範圍的風險評估，可有助於緩解決策之決策。例如：一年與三年時間範圍下，樹木可能會有不一樣的風險等級。當時間範圍增加時，不確定性的問題也會增加，因此某些評估任務會對不同樹木採用不同的時間範圍。需注意不要將所有評估都訂在一年期間，可能僅適合某些特定樹木，但對所有樹木來說是不切實際的。

(六)樹木風險評估步驟

樹木風險評估的主要目標，是提供一棵樹在特定的「時間範圍」內所造成的風險等級的訊息。可藉由質化之樹木風險評估方法，決定樹木斷落(塌壞)的可能性和後果分級。整體的步驟簡述如下：

- 1.確認潛在標的物。
- 2.評估生育地內會導致風險或緩解風險的因素。
- 3.衡量可能導致斷落(塌壞)、樹木潛在負重的結構或生育地狀況，及樹木對缺陷的反應生長，以判斷斷落(塌壞)的可能性。
- 4.評估一棵樹或樹的一部分撞擊人或財產，或中斷活動的可能性以分級撞擊可能性。
- 5.衡量目標的價值和潛在損害，以分級斷落(塌壞)之後果。
- 6.衡量所評估的風險與業主的風險容忍度(Risk tolerance)。
- 7.報告調查結果，包括建議的緩解選項和其相關的殘留風險。

(七)專業責任與安全

維護職業道德規範(Ethics)和誠信是極為重要的。當一棵樹斷落(塌壞)時，樹木風險管理與法律責任(Liability)管理兩者關係極為密切。

在衡量一個索賠或訴訟案時，法院會考量注意責任(Duty of care)和注意標準(Standard of care)。

樹木所有人(業主)的注意責任意味著業主有一定的責任，以確保樹木周遭的人或財產，在所有人的注意下有合理程度的安全。樹木風險評估者的注意責任，是指在執行工作時，使用普遍接受的注意標準(如：適用標準、最佳管理實務、資格證明和培訓課程中所定義)。

所謂的「注意標準」被定義為「一個合理謹慎的人，在相同或相似情況所應行使的注意程度」；在法律事務上，專家證人的證詞經常被用來建立注意標準，法院會依據個人或團體在既定的情況下，是否有以合理審慎的方式行事。

此外，在風險評估期間，所有人員的安全性也須特別考量。樹木工作者要接近樹木時，應在進入目標區域前自行進行風險評估，領隊需在任何人進入樹木之前，考慮所有地面工人及設備的位置和安全，樹木風險檢查結果應提供給在樹上工作的人員。當要攀爬樹木進行進階的空中檢查，樹木應在攀爬前做基本的風險評估(攀爬前檢查)。

第二節、 樹木風險評估層級

(一)前言

樹木風險評估者，應該向業主解釋評估層級(Level of assessment)之選項。

若樹木的情況無法用指定層級作適當評估，可以建議更高層級或不同類型進行評估。在進行評估之前，應與業主事先確定工作範圍內，指定所要使用的評估層級。

所有層級的評估均會將檢查時所取得的證據作為衡量標的、生育地因子和缺陷之依據。

根據 ANSI A300 標準中樹木風險評估的部分，與美國之《最佳管理實務：樹木風險評估》中，所訂定樹木風險評估分為三個層級：

第 1 級：有限的目視評估(Limited visual assessment)，第 2 級：基本評估(Basic assessment)，第 3 級：進階評估(Advanced assessment)。

(二)有限的目視評估

(Limited visual assessment)

第 1 級評估為透過特定視角，對指定標的旁的單株樹木或樹群(Tree population)進行目視評估，以確定某些明顯缺陷或特定條件。有限的目視評估通常著重於識別樹木有立即性或很可能發生破壞傾倒的潛在性為目的。第 1 級評估不完全可以符合標準的「風險評估」，例如可以不包括分析和個別樹木的評估。

有限的目視評估是最快的，同時也是最不完善的評估方法，主要的目的是用

於大族群的樹木檢查。評估往往是執行在一個指定的日程表(行事曆)中，或者在暴風雨之後，立即快速評估一個樹木族群。樹木資料庫通常認為是第 1 級的評估，除非風險評估有具體的列入清單中。

評估員執行目視評估是透過尋找明顯的缺陷，例如枯樹、大的開放空洞、大的枯死或折斷的樹枝、真菌子實體結構、大的裂縫、和嚴重傾斜等。業主端可以指定為了關注的特定條件下之檢查，例如與根部腐朽有相關致命性的害蟲或症狀。工作的範圍應該指定檢查的觀點或類型(採用方式)。

檢查的類型可以包括下列之一：

1.步巡(Walk-by)：

對樹的單側或多側做有限的目視檢查，以檢查員步行經過樹木的方式執行。檢查員可能需要留在人行道或步道、公共區域上或在地界範圍內。在某些情況下，工作範圍可能會規定必須繞行某些樹木一圈，以更完整觀察，但這不足以讓評估方式提升到第 2 級。工作範圍必須清楚界定，以避免對預期評估層級產生誤判(圖 1-9)。

2.開車巡視(Drive-by, windshield)：

是從一個緩慢移動的車輛執行的樹木一側的有限目視檢查。工作範圍可以指定檢查員在某株樹木四周走動或記錄影像，以驗證或與文件觀察相符與否。進行這種類型的檢查，往往是由市政、公用設施、或其他機構或土地所有者，擁有大族群的樹木及預算有限的狀況時進行。

3.空中巡查(Aerial patrol)：

檢查是以飛機飛越公用設施上方有權限的道路或其他地區。這種類型的檢查是由一些電力公司或其承包商進行，以確定是否威脅到電力傳輸系統。有時更詳細的，基於地面的檢查可以指定為了確認觀察的結果來使用。影像可以記錄作為資料文件觀察用(圖 1-8)。

4.光學雷達(LiDAR)：

是一種利用雷射科技來測量相對於標的樹木大小與位置的遠端遙測方法，使用此方法評估者可能要聚焦在斷落(塌壞)發生時撞擊的可能性。

當在有限的目視檢查中找出問題樹木時，應記錄工作範圍中所指定關於該樹木之相關資訊。記錄內容可包括樹種名稱、樹木大小、檢查到的缺陷或條件，以及處理優先順序。

有限目視評估的優點是可作為評估大量樹群時相對快速的篩選工具。在某些情況下，建議的緩解措施會是明確的(例如，移除枯木或為輸電線路清出空間)，但在某些情況會因缺少進一步檢查，導致無法給予建議。當找出問題樹木時，可建議進行基本或進階等級的檢查並提供額外資訊。

有限目視檢查的限制(Limitations)為從樹的單一面向檢查，可能無法看到某些狀況，且無法看見全年的所有狀況。當第 1 級的風險評估不足以提供判斷風險等級和緩解的選項時，可用來決定哪些樹需要做進一步的基本或進階層級檢查。



圖 1-8、空中巡查是在飛機上飛越公共管線或大面。



圖 1-9、步巡是對樹木的單側或多側作有限的目視檢查，同時輔以簡單器材如鋼棒、膠槌等。

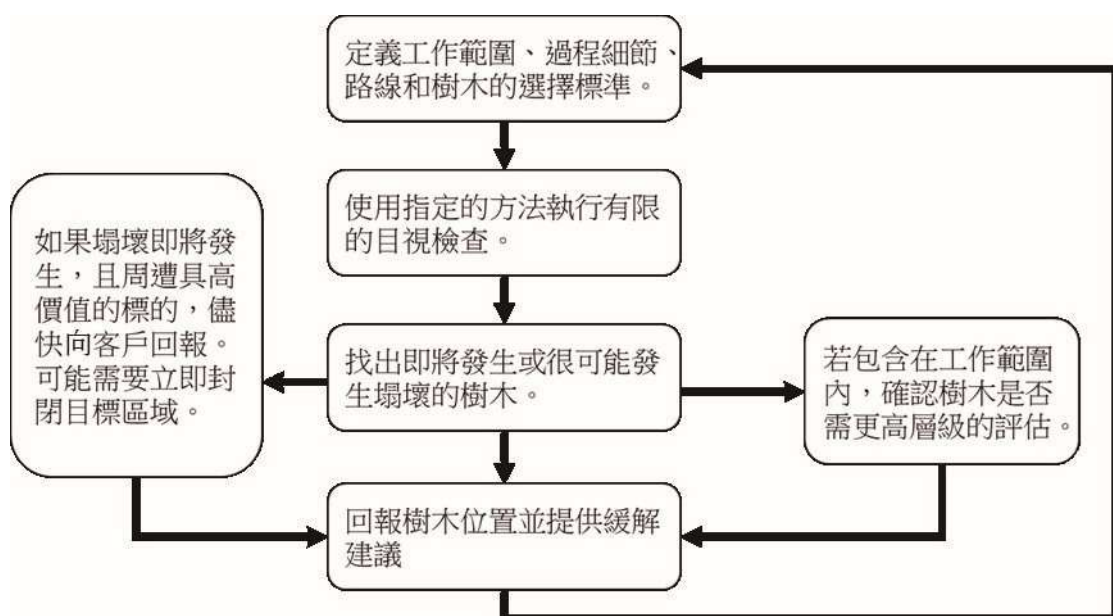


圖 1-10、第一級流程圖：有限的目視評估程序。

第 1 級-有限的目視評估程序(Limited Visual Assessment Process)如下(圖-13)：

- 1.確定樹木的位置或選擇的標準進行評估。
- 2.確定最有效的路線和記錄所採取的路線。
- 3.確認評估目標樹木的方式(例如步巡或開車巡視)。
- 4.記錄工作範圍中目標樹木的資訊(例如重大缺陷或其他問題)，並指出需要更高層級的評估或立即處置的樹木位置。
- 5.衡量具有風險的樹木(可加註其風險程度)。
- 6.提交報告，說明風險等級和緩解選項或建議。

(三)第 2 級：基本評估(Basic assessment)

第 2 級或基本評估是樹木保護專業人員對大部分業主的樹木風險評估需求，所會執行的標準評估，其包括對樹木及其生育地周圍的詳細目視檢查，及整合所收集到的資訊。基本評估是於地面上徹底繞行樹木，並檢視生育地、板根(Buttress root)、主幹和枝條；在一定距離外及近距離都需觀察，以檢視樹冠形狀與周圍的環境，通常使用樹木風險評估表之項目依序進行調查。基本的評估可能包括使用簡單的工具來獲得有關樹木或缺陷的更多資訊。

簡單的工具可用於測量樹木和獲取關於樹木或缺陷的詳細資訊。然而，使用這些工具不是強制性的，除非在工作範圍中有指定。測量工具可包括樹徑尺(Diameter tape)、量角器(Clinometers)或捲尺。其他檢查的工具包括雙筒望遠鏡(Binoculars)、放大鏡(Magnifying glass)、槌子(Mallet)、探棒(Probe)、鏟子(Shovel)等。

- 1.樹徑尺(Diameter tape)、量角器(Clinometers)或捲尺：確定樹木尺寸。
- 2.雙筒望遠鏡：雙筒望遠鏡可以用來檢查一棵樹木的樹冠上部，尋找空洞、巢孔、裂縫、衰弱枝條連接，及其他條件和樹木的反應。基本評估不需要攀樹技巧，僅需使用雙筒望遠鏡就能提供更近的樹木外觀。
- 3.放大鏡：放大鏡(手持透鏡)可以用來幫助識別真菌子實體或蟲害，可能會影

響樹木的整體健康的因子。

4. 槌子：樹幹可以用非破壞性工具敲擊，例如用寬大頭的槌子，有木材、橡膠、皮革或樹脂材質。樹木風險評估員敲擊樹幹的許多個地方，並監聽音調(頻率)變化可能顯示空洞或死的樹皮。
5. 探棒：探棒是一支鋼材且細直徑的桿狀或棒狀物，用以插入空洞開口中，以估計其尺寸和程度，或用來調查腐朽。可以在樹木中任何看到開口的地方使用探棒，於探測中遇到的阻力，可幫助偵測到腐朽之木材。因不是所有的角度都能進入，且可能存在與空洞相鄰的非功能性木材，所以這項評估技術僅能粗估腐朽之程度。
6. 鏟子：使用鏟子、圓鋤或小型鎬可以用來進行小的挖掘，以暴露出根部或根領來檢查。應注意在挖掘過程中，不要損傷根部。更廣泛的根領發掘，認為是一種進階的評估。
7. 指南針：使用指南針來確定樹木、生育地及樹上缺陷或有狀況的方位。有許多智慧型手機和平板電腦的應用程式(APP)具有指南針，有些兼備測量高度與傾斜角的功能。
8. 相機：除拍攝觀察記錄外，相機「放大(Zoom-in)」功能利於觀察樹冠中的狀況。基本評估(第2級)比有限目視評估(第1級)能更全面性地檢查每棵樹木，可增加觀察或測量的資訊與細節，使用基本工具來增強所收集的資訊。基本評估通常已足以評估風險和提出建議，但有時仍需要更進階的評估方式。



圖 1-11、量測調查工具。

基本評估的主要限制是僅包括能從地面檢查到的狀況，其樹木內部、地面下和樹冠頂層的因素均無法得知或難以評估，因此會有部分未檢測或未衡量之部分。

第 2 等級-基本評估程序(Basic Assessment Process)如下(圖 1-12)：

- 1.定位並找出要評估的樹木和樹群。
- 2.確定問題樹木和枝條的標的物及目標區域。
- 3.查看問題樹木生育地的歷史、狀況和樹種斷落特性資料。
- 4.評估樹木與其枝條的潛在負重。
- 5.評估整體樹勢健康狀況。
- 6.使用雙筒望遠鏡、槌子、探棒和鏟子，根據樹木保護專業人員的要求和工作範圍內的規定，進行目視檢查。
- 7.記錄生育地條件、缺陷、可能表示內部缺陷的外在徵兆及反應生長等觀察項目。
- 8.如有必要建議進行進階評估。

9.分析資料來決定斷落的可能性和後果，以衡量風險的程度。

10.制定緩解選項，並估算每種選項的殘留風險。

11.撰寫並提交報告文件，包括重新檢查的時間間隔(時間範圍)的建議。

對樹群的評估可以採用第 1 級評估作為過濾機制，以確定哪些樹木需要進行第 2 級評估。在某些評估樹群的情況下，應優先找出群體中極度風險的樹木，將它們篩選出來並立即處理。

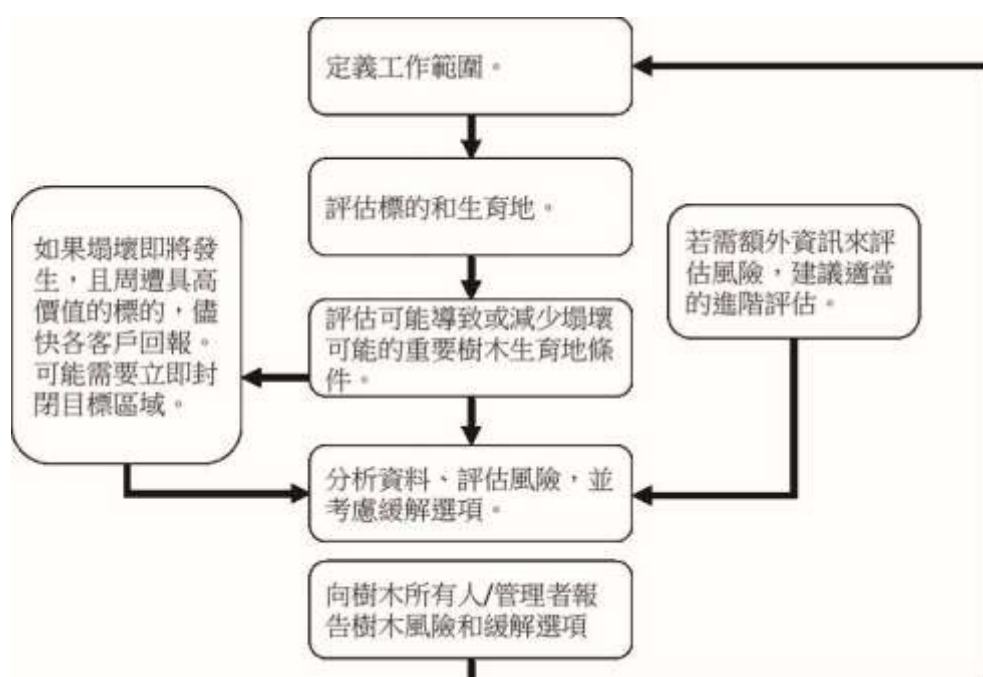


圖 1-12、第二級流程圖：基本評估程序。



圖 1-13、評估樹群時，通常會將具有共同標的或一組標的的生育地作分區。

評估樹群所需的步驟與單棵樹木步驟類似，標的、生育地因子及樹木特徵均需進行衡量。在評估樹群時，通常會將具有共同標的或一組標的(例如道路、電線劃分區域或高爾夫球場球道)的生育地作分區。

無論在基本評估中採用何種方法，都必須系統化且徹底執行，並記錄影響整體風險評估的所有層面。

(四)第 3 級：進階評估(Advanced assessment)

進階評估(Advanced assessment)可提供關於特定樹體、缺陷、標的或生育地條件的詳細資訊，也可提供作為建議樹木保留或移除的額外資訊。

進階評估通常需要特定設備、資料收集分析或專業知識(有時需其他專家協助)，因此進階評估通常會更費時且更昂貴。

然任何的技術均有其限制，可能包括測量的準確性、測量和採樣位置如何呈現狀況，以及如何解釋和衡量風險數據。因此，即使對樹木進行進階評估，也不保證一定可以精確的量測，有可能只會是有限的估計。

第 3 級：進階評估技術(舉例)

第 3 等級-進階式評估技術(Advanced Assessment Techniques)

有許多可以認為是進階的風險評估技術。某些情況下，可以用幾種技術評估。進階評估技術可以包括如下技術，但也不限於此。

1. 空中偵察，並在樹枝結構缺點的評估(Aerial inspection and evaluation of structural defects in branches)

(1)目視檢查(Visual inspection)

(2)腐朽檢測(Decay testing)

(3)載重檢測(Load testing)

2.詳細的標的分析(Detailed target analysis)

(1)財產價值(Property value)

(2)使用和滯留率的統計(Use and occupancy statistics)

(3)各式活動的可能潛在破壞或中斷(Potential disruption of activities)

2.詳細的生育地評估(Detailed site evaluation)

(1)歷史的評估(History evaluation)

(2)土壤剖面檢查，以確定根部的深度(Soil profile inspection to determine root depth) (圖 1-14)

(3)土壤礦物和結構測試(Soil mineral and structural testing)



圖 1-14、土壤剖面檢查。

3.腐朽檢測(Decay testing)

(1)生長錐取樹芯(Increment boring)

(2)用小直徑鑽頭鑽測(Drilling with small-diameter bit)

(3)鑽孔阻抗記錄儀(Resistance-recording drilling) (圖 1-15)

(4)單聲道聲(應力)波(Single path sonic (stress) wave)

(5)聲波斷層掃描法(Sonic tomography)

(6)電阻抗層析影像(Electrical impedance tomography)

(7)輻射(雷達，X 射線和 γ 射線 (Radiation(radar, x-ray and gamma ray))



圖 1-15、鑽孔阻抗記錄儀(Resistance-recording drilling)及聲波斷層掃描儀。

4.健康評估(Health evaluation)

(1)樹木年輪分析(Tree ring analysis)

(2)葉芽長度測量(Shoot length measurement)

(3)詳細的健康/活力分析(Detailed health/vigor analysis)

(4)澱粉評估(Starch assessment)

5.根部檢查和評估(Root inspection and evaluation)

(1)根部和根領的開挖(Root and root collar excavation) (圖 1-16)

(2)根部腐朽的評估(Root decay evaluation)

(3)探地雷達(Ground-penetrating radar)



圖 1-16、根部及根領的開挖。

6.風暴/風負重分析(Storm/wind load analysis)

(1)樹木暴露和保護詳細評估(Detailed assessment of tree exposure and protection)

(2)以工程標準做電腦模擬(Computer-based estimations

according to engineering standards)

(3)在明確的時間間隔內進行風反應監測(Wind reaction monitoring over a defined interval)

7.測量和評估樹幹傾斜的變化(Measuring and assessing the change in trunk lean)

8.負載測試(Load testing) (圖 1-17)

(1)手拉(Hand pull)

(2)測定靜態拉力(Measured static pull)

(3)測定樹木動態(Measured tree dynamics)

(五) 常用進階評估法介紹

1.空中偵察(Aerial Inspection) (圖 1-18)

一個空中偵察(樹冠檢查)是樹木的地上部分由基於地面的檢查，包括上面的樹幹、樹幹的表面、和枝條不可看見的檢查。空中偵察通常包括目視評估缺點、各種情況及生長反應。特別重要的情況，包括檢查顯著枝條接合點、在樹枝裂縫、在樹枝的頂部的日灼，和因鳥類或動物飼養的樹皮損害。此外，空中視察可能包括內部腐朽的評估。

一個空中偵察可以從空拍機、空中升降機、相鄰的建築、階梯、或者透過爬樹來執行。該樹木的風險評估者應確定，進入樹木之前的攀爬作業，其樹木是安全的。使用雙筒望遠鏡從地面的目視檢查是基本評估的一部分。



圖 1-17、樹木負載測試圖。 圖 1-18、以空拍機進行空中偵察。

2.內部腐朽評估(Assessment of Internal Decay)

基本的評估並不容易估計或量化內部木材腐朽的位置和程度。在必要時，更準確地確定腐朽的位置和範圍，以推測實際狀況，可以使用腐朽檢測技術方法，包括鑽孔和使用音響性聲波設備等。

(1)鑽孔法(Drilling) (圖 1-19)

用來評估腐朽的程度通常分為兩種鑽孔類型，分別是手持式電鑽和鑽孔阻抗記錄儀(Resistance recording drill)。兩者皆能透過鑽頭通過木材時的穿透阻力，來區分實木和腐朽木材。

其中一種簡易型的鑽孔裝置是配備有長(通常為 20-45cm)、小直徑(3mm)精密鑽頭、手持式電鑽鑽頭，其裝配有全凹槽深度測量裝置(耳塞、軟木等)以識別鑽入深度。此裝備僅限於檢測空洞和腐朽，且沒有紀錄。使用這種技術來評估腐朽，極需依賴於操作者的經驗和專業知識。

另一種裝置是鑽孔阻抗記錄儀(Resistance recording drill)，其將小直徑的鏟形鑽頭鑽到樹中。當鑽頭穿透木材時，將穿透阻力以曲線圖的方式記錄，此記錄在報告和結果辯護時則具有極大優勢。可從高解析度阻抗鑽頭產生的曲線，估計初期腐朽、區隔化的有效性和反應生長速率。鑽孔阻抗記錄儀的實體記錄準確度比使用簡單的手持鑽具更好，當具有實際訓練和經驗能更加準確判斷並解釋。鑽入

腐朽區可能會破壞 CODIT 壁(特別是第 4 道壁)，過多鑽孔可能會發生腐朽擴散之情形，因此使用任一種方法，都要避免不必要或過度的樹木傷害。



圖 1-19、以鑽孔法評估樹木腐朽的程度

(2) 聲波評估法(Sonic Assessment)

聲波評估儀器係由木材發送音(應力)波，並測量聲波從發送點行進到接收點的時間。如果遇到破裂、樹洞或腐朽等狀況，當聲音通過缺陷處，相較於通過沒有缺陷的木材，會增加從發送點到接收點的傳輸時間(行進時間)。然而，本裝置不能判斷會增加傳輸時間的缺陷之類型(某些腐朽、裂縫、內生樹皮或樹洞)。

聲波評估儀器測量兩個點之間的傳輸時間，透過快速測試顯示它們之間腐朽的存在，但此儀器需要參考值，因單一測試可能會錯過主要缺陷，或高估較小缺陷。未位於測試線方向的破裂處，可能會被忽略或產生誤導結果，需要在額外的點進行測試，以提供更可靠的評估。以兩組點來形成垂直線，被作為檢測中心大型缺陷的最低標準。

聲波斷層掃描儀(sonic tomography instrument)是使用許多點之間的測量，來創建稱為斷層圖像的二維或三維(如果在多個平面上執行)圖像。透過比較所有行進時間測量的結果，電腦程式可繪出主幹內部的圓形。斷層圖像主要顯示出受檢橫截面的剩餘負重承載部分，但不一定能夠區分受損區域內的破裂、腐朽或空隙。斷層掃描(tomography)的解析度取決於所使用的感應器數量。

雖然聲波斷層掃描可以產生內部情況的複雜圖像，但仍有限制因素如下：

- A. 儀器昂貴，且需要適當的操作才能可靠地解釋結果。
- B. 結果僅對測試的平面有效。
- C. 正如鑽孔阻抗記錄儀曲線必須根據受檢物種的特定木材解剖特性來解釋，彩色斷層圖像的解釋也需要培訓和專業知識。

與鑽孔相比，聲波裝置破壞 CODIT 第 4 道壁的風險較小，因此可以聲波斷層掃描與鑽孔結合進行評估。使用腐朽檢測設備收集資訊與結果，通常比簡單目視評估之結果更佳。運用此類方法和撰寫報告時，應考慮如何測量、計算及表示相應結果的國際標準，且需要專門的培訓來正確使用設備和解釋資料。

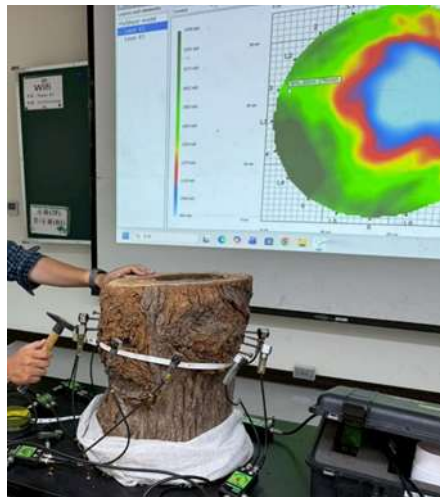


圖 1-20、以聲波評估法評估樹木腐朽情況。

3.根部評估法(Root Assessment)

(1)根部檢查及評估

進行根系檢查最簡單之方法，是從土表上方露出的根系或板根進行目視評估。若根系未外露，需要挖掘覆蓋在根領的土壤或其他物質以進行評估，此過程被稱為根領挖掘(Root collar excavation, RCX)。根領挖掘可找出主要結構根系並檢查，要尋找會影響樹木穩定性的腐朽和傷口；挖掘的位置至少需挖掘結構根系

至水平根系之位置。根領挖掘技術最明顯的限制之一是當所有主要結構根位置，並非接近於地表時則難以進行評估。在挖掘過程中不要損壞根系或樹幹，或去除過多土壤造成樹木晃動。開挖後可檢查根系的切口、損傷、腐朽、反應生長或其他根系狀況。

(2)根部腐朽評估

當衡量根系腐朽時，有時根系腐朽可能是從中間開始，但有時是從底部根系向上發展腐朽，因此鑽孔和聲波技術皆可協助預測腐朽的根系數量，以及個別的內部腐朽程度，但是不能用來量化根系的強度損失量。腐朽菌於根系中可能會破壞 CODIT 的第四道壁，使被區隔化的腐朽擴散，因此鑽孔應於最適當數量(盡量少但足夠)，以評估腐朽的存在和程度。



圖 1-21、對土表上方露出的根系或板根目視評估。



圖 1-22、當衡量根系腐朽時，根系的腐朽可能是從中間開始，但有時是從底部的根系向上發展腐朽。

4.測定傾斜的改變

傾斜不斷變化的角度表示破壞傾倒的可能性更高。有時也難以確定是否一棵樹的傾斜正在改變。數字型或其它裝置可以被用來監視在傾斜角度小的變化。當樹幹角度測量是隨著時間的累積，它是重要的，每次測定可以在相同的位置上。然而，休眠季節期間，當樹木有葉子時的讀數，數字型讀數不能直接與其進行比較。同樣的是在乾旱、雨、雪、或冰凍的時候也是如此，因為樹木自重及承載重量並不相同。

5.載重試驗法(Load Tests)

受過專門訓練的樹木風險評估者使用的負載測試，以協助評估樹木破壞傾倒的可能性。有幾種類型的負載測試法，如手拉、測量靜態拉力、及測量動態載重。負載測試不會嘗試檢測內部腐朽，但是使用變形或撓曲量來檢測結構上的衰弱點和評估以引發破壞傾倒過程所需的負載。

一個手式拉力試驗包括安裝在樹木中的一個輕載的纜線，拉緊和釋放纜線數次來移動樹木或枝條。當測試根部和主幹的安定性，該纜線可以放置在較高的樹冠位置。當纜線拉動時，樹幹和根部板盤的移動可以藉此觀察。樹幹，根部或土壤過度的移動可能表示不安定性。枝條也可以以這種方式進行測試。該纜線移動運行在該枝條和拉動，樹木風險評估者檢查移動和裂縫開口。這種技術是最常用的一種預先攀爬樹木前的檢查。由於樹木或枝條反應的監測只在視覺上，樹木風險評估者要謹慎，並提醒不要過度載重樹木或樹木個體和引發破壞傾倒。在執行這種類型的測試時，樹木風險評估者應該是在傾倒或掉落區域的外側。

在靜態拉力試驗，感應器附著到樹木上以測量在樹幹或枝條的邊緣纖維之應變(拉伸和壓縮力)，或反應於一個受控制拉力中，根部展開部(根盤)的傾斜(角度的變化)。變形和傾斜量，由感應器測得，進行比較於標準參考值，來評估強度或安定性。對於可容忍變形的特殊門檻值之內執行工作是必需的，以避免在負載測試期間對樹木超載。卸載後的感應器讀數應該要確認樹木有返回到其原始

位置。

動態負載測試發生在自然風況或靜態拉力和用於測量單株樹木的移動。感應器放置在樹幹或底部附近，以測量纖維應變或根部根盤的傾斜。目前，這種測試仍在發展階段。



圖 1-23、以樹木拉力測試系統測量樹木載重(Technic, 2020)。

6.其他進階評估

(1)進階的生育地和標的評估：

當需要有關生育地及其相關標的的更多資訊，以強化標的被影響可能性的評估，或是更進一步評估斷落(塌壞)的後果時，可以進行對生育地或標的做更進階的評估。一個例子是測量標的滯留率(例如目標區域內或通過目標區域的交通模式)，以決定在樹木或樹體斷落(塌壞)的情況下，標的被擊中的可能性。其他標的和生育地分析的例子是財產鑑價(透過合格的鑑價者獲得)、生育地歷史調查及土壤測試。

(2)實驗室分析：

有時需要收集樣本進行實驗室分析。例如真菌子實體分析，以確定腐朽菌的種類，進而評估其致病性和預期的蔓延速率。實驗室測試亦可鑑定有害生物、分析土壤或葉片中營養元素含量，及評估木質部澱粉含量，以衡量一般的樹木健康。該資訊可以用於確定樹木對補償強度損失、區隔化腐朽和抵抗逆境誘導因子(如有害生物)之能力。



圖 1-24、褐根病檢體培養分析

(3)天氣分析：

天氣分析可基於歷史，來測量或估計在既定區域中的盛行風向與風力，或極端暴風雨事件的可能性。例如風玫瑰圖(Wind rose chart)能提供關於風向頻率和強度的歷史信息(圖 1-25)。當在不熟悉之地區要進行評估樹木，天氣調查極為重要；天氣分析更能告訴風、雪、冰或大雨等嚴重負重的發生頻率。

第三節、標的(物)評估

(一)前言

在樹木風險評估中，標的(物)(Target)是指樹木斷落時可能會受到傷害的人、可能會遭到破壞的財物、或者可能會遭到中斷(Disruption)的活動。例如人、建築、公共建設、電線、交通運輸工具以及景觀建築等。標的類型直接與影響撞擊的可能性及後果有關。

進行樹木風險評估時，評估可能的標的是風險評估過程的第一個步驟。一旦確認出可能的標的，即可評估出每一個標的被樹木斷落時造成傷害的可能性，並決定可能會造成哪些後果。當評估一個人或財物被傷害的可能性時，應採取實際客觀的評估，而不是去主觀認定一定會發生最壞的狀況。

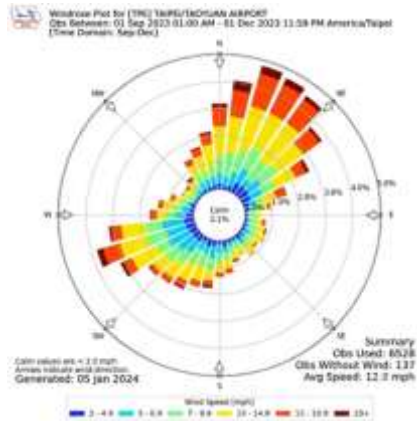


圖 1-25、風玫瑰圖可提供該地盛行風向及風強度的資訊

(二)標的(Target)與目標區(Target zone)

標的(Target)：是指樹木斷落(塌壞)時，可能受害傷害到的人、遭到破壞的財物、或者可能會遭到中斷(Disruption)的活動。簡言之就是，可能受到傷害的人、事、物，例如：人、建築、公共建設、交通運輸工具以及景觀建築等。

目標區(Target zone)：是指一棵樹或樹木的一部分斷裂、斷落(塌壞)時，可能落下的區域範圍。由於樹梢的脆弱枯枝易飛散至遠處，故目標區的半徑一般為樹高的 1.5 倍。需考量到地形、樹形、枝條等，評估方式因狀況而異，例如樹木有不對稱的樹冠或傾斜，可能有形狀不規則的目標區；如果樹木生長在斜坡上，在樹木的下坡側，將典型地具有一個目標區的半徑大於樹木高度。



圖 1-26、樹木斷落可能使步道中斷。



圖 1-27、斜坡上的樹木之目標區的半徑需大於樹木高度。

(三) 標的的種類

標的可以依照其移動或被移動的能力來做分類：

1. 靜態的標的(Static target)

指的是被固定或無法立刻被移動者。例如房屋、公共設施或其他建築物。靜態或不可移動的標的，包括永久或半永久(無法輕易被移動)的建築物，例如房屋、車道(高速公路)以及電線，或是被永久固定於地面、不可輕易拿起或移動的公園座椅等結構物。



圖 1-28、靜態或不可移動的標的包括永久或半永久(不能輕易移動者)的建築物，例如房屋與電線桿。

2.可移動的標的(Movable target)

指的是可被重新安置者，例如雕像、公佈欄、野餐桌、車輛或遊樂區的遊樂器材。可移動的標的可以輕易的移動或被移動。路邊停好的車輛、公園長椅、野餐桌以及流動式廁所，皆為可移動的標的。可移動標的可相對輕易地重新安置於目標區外的地方，因而減低風險等級。

一個可移動標的有可能被移回目標區內，其風險等級會合理地提高，直到管理者可以確保該標的能永久重新安置於他處。舉例來說，人們通常會將野餐桌移到樹下以求樹蔭，而在沒有意識到的狀況下，暴露於較大的風險中。



圖 1-29、可移動標的可移動或相對容易移動。公園長椅以及野餐桌全為可移動標的。可移動標的可以相對簡單地被重新安置至一個遠離目標區的地方，因而減低風險等級。然而，可移動標的若沒有被固定在地面，很可能不久又被移回目標區內。

3.移動中的標的(Mobile target)

指的是正在移動或間接移動者。例如步道、小徑或車道上的行人、腳踏車以及車輛。人們會行走或乘坐交通工具通過目標區，因為移動中的標的會在不同速度下移動，並往往在不同的停留時間停下來，故評估移動中的標的必須考量其在

目標區滯留的時間量(滯留率)。



圖 1-30、移動中的標指的是持續或間歇移動的物體。由於移動中標的以不同速度移動，且有時會停止移動一段時間，移動中標的的評估必須考慮包含其在目標區滯留的時間量。

(四)滯留率(Occupancy rate)

「滯留率」是指一個或多個標的在目標區內的時間量。滯留率是評估一個標的被影響可能性的主要因子。並非所有標的在任何時候都會在目標區內出現。滯留率可分類為持續滯留、經常滯留、偶爾滯留或罕見滯留。



圖 1-31、持續滯留代表一個標的幾乎無時無刻存在。靜態、不可移動的標的例子如建築物或電線桿為持續滯留的例子。



圖 1-32、如果目標區一天或一週內大部份時間被使用，則該使用會被分類為經常滯留。交通量中等的郊區街道、僅白天開放設施的停車場、購物區的人行道以及忙碌的送貨區為經常滯留的例子。



圖 1-33、偶爾滯留的定義為該區域被人們或標的很少或不規律使用。例如鄉村小路、低使用率的小徑以及低使用的公園區域。



圖 1-34、罕見滯留指的是該區域不常被人們使用。窮鄉僻壤的小徑、離該區主要使用區域非常遠的圍籬區、一個房地產之偏遠區域以及工人及遊客基本上很少通過的花園等皆為罕見滯留區域。

靜態的標的，在定義上是屬於「持續滯留」；而可移動的標的與移動中的標的則可以被分類至以下四個類別：

1.持續滯留(Constant occupancy)：

持續滯留代表一個標的幾乎在所有時間都會出現。對靜態、可移動、移動中的標的而言都有可能發生。靜態、不可移動的標的，例如建築物即為一個持續滯留的例子，如果有一個流量固定的移動中標的通過目標區，亦可被分類為持續滯留。例如一個街道或高速公路的高交通流量。每一個交通工具或行走中的人都會短暫的使用到目標區，但是在聚集的時候，也會成為持續滯留。



圖 1-35、主要道路旁的行人過路處會有車輛及行人持續滯留。

2.經常滯留(Frequent occupancy)：

如果一個目標區在一天或一周內被長時間使用，則該使用會被分類為經常的。中等交通量的郊區街道、僅白天開放的建築物停車場、購物區的人行道以及忙碌的送貨區為經常滯留的例子。



圖 1-36、白天的醫院外長期有行人及車輛滯留。

3.偶爾滯留(Occasional occupancy)：偶爾滯留定義為該區域被人們或標的很少或不規律的使用。例如鄉村小路、低使用率的小徑以及低使用的公園區域。但在某些狀況，一個很少被使用的區域可能在短時間內有高使用率。例如公墓、一個被樹木包圍的場地作為特別活動的停車區，或一些當活動舉辦時才會用到的小徑或通道。



圖 1-37、低使用率的公園小徑可被歸類為偶爾滯留。

4.罕見滯留(Rare occupancy)：

這個分類是指不常被人們使用的區域。窮鄉僻壤的小徑、離主要使用範圍非常遠的圍籬區、離房舍偏遠區塊以及工人和遊客通常很少通過的花園等皆為罕見滯留區域。業主或樹木管理者可能制定政策決定該區域的風險非常低而可不必進行風險評估。



圖 1-38、遠離主要區域且使用率很低的小徑可被歸類為罕見滯留。

5.移動中標的的滯留率

移動中標的的評估可能會較複雜，因為其出現有很多變化。例如，晚上穿越市街的行人可能是不頻繁或罕見的，然而在上班時段卻是很頻繁的。

移動中標的在目標區的暴露時間取決於其移動速度、及是否會在目標區內停留一段時間等因素。舉例來說，如果交通工具或人們沿著樹下一個已知路線移動，例如一個小徑或道路，其花費在目標區的時間非常短暫。對於一個典型的行走速度，即每小時 5 公里而言，依照目標區的大小，其暴露時間為 5 到 10 秒。然而，如果行人為了等待交通號誌或閱讀一個標示而停下，其暴露時間將會變得更長。當進行目標區的評估時，可能會影響標的暴露時間的因素都應該被考量進去。

移動中標的在目標區的暴露時間取決於其移動速度、是否會在目標區內停

留一段時間等因素。

台大園藝系最近試驗結果建議：將行人流率和單車流率加權 1.4 倍後相加得最終人流率，以人流率 $x < 0.1$ 、 $1.5 > x \geq 0.1$ 、 $3 > x \geq 1.5$ 、 $x \geq 3 \text{ ped} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 作為滯留率四等級(罕見滯留、偶爾滯留、經常滯留、持續滯留)之級距；而汽車流率 x ，以 $x < 8.8$ 、 $17.5 > x \geq 8.8$ 、 $26.3 > x \geq 17.5$ 、 $x \geq 26.3 \text{ unit} \cdot \text{lane}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 作為滯留率四等級(罕見滯留、偶爾滯留、經常滯留、持續滯留)之級距。



圖 1-39、堅固的建築結構可提供建築物內的人們對外來傷害的保護。

(五)標的被撞擊的可能性(Likelihood of impact)

一種必須在樹木的風險評估中加以考慮的因素，是一個破壞傾倒落或掉落的樹木或樹木部分之一衝擊到關注目標的可能性。為了估計這種可能性，必須估計或以其他方式確定任何目標在區域內的佔用率，破壞傾倒或掉落樹木將會影響到目標區，並且可以保護目標不受到傾倒或掉落樹木或樹木部分之一的影響之任何因素。例如，目標可能是直接一個破碎的枝條之下，但是受到其他樹木或人造結構物的保護不會衝擊到。在這個例子中，佔用率可能是經常不斷的，但衝擊的可能性可能是因為有保護的因素而非常低。衝擊目標的可能性可以使用以下準則進行分類：

1. 非常低(Very low)：

破壞傾倒或掉落的樹木或部分之一衝擊到指定目標的可能性是微乎其微。這是一個很少使用的生育地有充分暴露的評估樹木(罕見的佔用，無保護)或偶爾使用的生育地，部分受到樹木或建築物(臨時佔用，適度保護)保護的情況。例子包括一個很少使用的路徑或路徑端在鄉下地區，或者偶爾使用地區由於被評估的樹木和目標之間有其他樹木的存在時，可以防止遭受樹木破壞傾倒時有一些保護作用。



圖 1-40、禁區內的樹木撞擊標的之可能性非常低。

2.低(Low)：

破壞傾倒或掉落的樹木或部分之一將衝擊到目標，這是不太可能的。這是在偶爾使用區域有完全暴露於評估的樹木，或者在經常使用的地區有部分暴露於所評估樹木，或者經常不斷佔用的目標有很好的保護，遠離評估樹木的情況。例子是一個很少使用的道路臨接評估的樹木，或經常使用的公共街道，在評估樹木之間有另一棵樹木的保護。



圖 1-41、在很少使用的道路臨接評估的樹木撞擊標的之可能性較低。

3. 中等(Medium)：

破壞傾倒或掉落的樹木或部分之一是有可能衝擊到目標，也可能不會衝擊到目標。情況是在一個經常使用的地區，完全暴露於評估樹木的一側，或一個經常不斷佔用地區，有部分保護而遠離評估的樹木。實例包括一個郊區街道毗鄰評估的行道樹，或房子由居間的樹木有部分保護而遠離評估的樹木。



圖 1-42、郊區街道毗鄰評估的行道樹撞擊標的之可能性中等。

4.高(High)：

破壞傾倒或掉落的樹木或部分之一最有可能衝擊到目標。情況是當一個固定的目標是完全暴露到可能出現的破壞傾倒或掉落的樹木下(經常不斷，無保護)，或可能發生破壞傾倒或掉落的情況下，是在一個高使用率的道路或有相鄰的行道樹(頻繁的佔用)的人行道上。



圖 1-43、經常使用的停車區旁的樹木撞擊標的之可能性較高。

(六)斷落(塌壞)的後果(Consequences of failure)

後果為標的的價值以及被斷落撞擊所造成潛在的受傷、損失或受干擾(傷害)量的函數。損失的數量取決於斷落樹木的大小、斷落特徵、斷落距離以及可以保護標的不被傷害的任何因子。本文將書木斷落(塌壞)並撞擊到標的(物)的後果分為四個等級：嚴重、重大、輕微和可忽略。

1.嚴重(Severe)：

牽涉到嚴重的人員傷亡、高價值房產的損害或重要活動的嚴重中斷。例如傷及一名或多名人員導致住院或死亡、非常高單價的車輛損毀、房屋的重大損傷或全毀、高壓電線輸送及分配線路的嚴重中斷。

2.重大(Significant)：

牽涉到實質的人員受傷、中至高價位的房產損害或是相當程度的活動中斷。

例如人員受傷需要就醫、車輛嚴重損毀、對結構物造成高額的損害、主要輸配電線系統的中斷、幹道交通中斷而導致長時間堵車或車輛改道。



圖 1-44、樹木塌壞使主要輸配電線系統的中斷可歸類為重大後果。

3.輕微(minor)：

牽涉到輕微的人員受傷、低至中價位的房產損害或是短暫的活動中斷。例如輕微的人員受傷但毋須專業醫療、損壞一個景觀平臺、對結構物或車輛造成中度金錢損害、次要輸配電線系統如路燈或個別用戶服務的短暫中斷、次要道路交通短暫中斷。



圖 1-45、次要道路交通短暫中斷可歸類為輕微後果。

4.可忽視(Negligible)：

指沒有人員受傷、低價值的房產損害或是可置換或修復的活動中斷。例如撞到人，但只有瘀青或擦傷、損壞草坪或花台、輕微的結構物損壞，但修復費用不高、中斷庭園照明的電力、鄰里巷道交通的中斷。

台大園藝系最近試驗結果建議：將後果嚴重性之財損金額訂為新臺幣 x 元，以 $x < 10,000$ 、 $100,000 > x \geq 10,000$ 、 $1,000,000 > x \geq 100,000$ 、 $x \geq 1,000,000$ 作為四等級(可忽視、輕微、重大、嚴重)之級距。

樹木斷落的後果被認為輕微者指的是標的有相對較低的價值或標的可輕易被修復或取代，例如：附屬建築物或圍籬。另一個極端來看，樹木的斷落可能會導致嚴重的受傷或致命、主要電線管線被破壞或阻礙緊急通道，而產生潛在的嚴重後果。

當評估後果時，要考慮可能斷落樹木或枝條的大小，以及其如何撞擊一個標的。如直徑 4 吋(10 公分)的枝條自屋頂 10 英尺(3 公尺)高的高度掉落到房子上，該危害程度(Degree of harm)可能很低，且屋內的人們都不會預期受到傷害。如果同樣尺寸的枝條自一棵大樹頂梢處掉落，且中間沒有其他枝條可減緩掉落速度，便可能造成更多破壞。如果該樹的下位枝條能減慢或停止該枝條的掉落，則預期的破壞就會變少。

在評估樹木斷落會造成多少傷害時，要考量其可能撞擊標的的相對力量。一棵斷落的樹木在倒下的過程中速度會增加。一般來說，離該樹木越遠的標的，樹木斷落撞擊的力量會越大。如果樹木主幹離一個建築完善、多層樓的房子很近，當樹木斷落時，可能只會傾倒在房子上，造成輕微破壞。另一個方面，如果該距離會使樹木主幹在擊中房子前速度大幅增快，造成的破壞將會更大。如果樹木有下位枝條可以減緩或停止主幹的傾倒，造成破壞則可被減輕。在這個例子中，下位枝條扮演了保護標的的角色。主幹上大直徑、橫向生長的下位枝條亦可影響樹木的倒伏模式。如果枝條比主幹更早接觸地面，該樹木倒伏可以變慢或甚至停下，也可能樹木會因而滾動。

鄰近的樹木也會影響斷落的後果。位於受評估樹木以及標的之間的樹木可能會減少或增加受評估的樹木的目標區。若一棵大樹倒伏在另一個樹上，其影響的力量可能會造成一棵或更多樹木連續倒伏(即骨牌效應)。或在濕潤或飽和的土壤，或是土壤結構不良導致根基不穩，容易發生骨牌效應。在目標區裡，包圍在人們周圍的建築物可保護人們不被樹木或枝條的斷落傷害。堅固的建築結構可提供建築內人們外來傷害的保護。行人、遊樂場內的兒童以及帳篷裡的人們對於樹木斷落，並沒有明顯地被其他堅固遮蔽物保護，因此，他們可能會因小或中等大小的枝條造成嚴重的受傷。

若人在交通工具內於小枝條掉落時，可免於受於傷害。然而，車輛被大枝條或主幹擊中時，會導致相當的傷亡。因此之故，當評估標的時，目標區旁道路與停車區的交通流量、速度、街道配置以及滯留率需慎重考慮。



圖 1-46、堅固的建築結構可提供建築內人們外來傷害的保護。

(七)標的分層化(Stratifying targets)及標的優先次序確立(Prioritizing targets)

標的的分層化(系統性編組)及排定優先次序，是根據其重要性或價值來分類與分級的步驟。地點與標的會被分級為高、中等與低使用或價值。藉此當評估大範圍標的的大規模樹群，或評估擁有許多標的的單一樹木時都是很有幫助的。

對主管機關來說，作為緊急應變管理政策的一部分，分層化可能已經由風險

管理部門完成。雖沒有絕對的規則，但通常最高優先目標區如下：

1.重要場所例如醫院、消防與警察局，以及救護車中心。主要道路或交通運輸中心，例如機場、港口與火車站。

2.連結以上地點的主要道路

在嚴重的暴風雨狀況下，這些地區成為必須保持開放的重要場所與路線。在地方或鄰里住宅區的分層化，通常會將主要道路、繁忙的交叉路口、橋樑、公車站、人行道十字路口及持續或經常使用的區域等建立為高優先地區。為了辨識出較高的樹木斷落與撞擊可能性，時間間隔較短的檢查在這些區域非常合理。



圖 1-47、火車站為最高優先目標區。

第四節、生育地評估

(一)前言

生育地因素對於樹木斷落的可能性和所造成的後果均有重大的影響。生育地的改變或破壞，不論是最近發生或以前發生的，都可能增加或減少樹木本身或部分樹體斷落的可能性，並且影響該斷落撞擊標的機率。

當進行風險評估時，通常以正常的天氣模式和生育地歷史作為評估基準，並估計過去的生育地變化可能如何影響樹木及其斷落的可能性。例如，過去的樹木斷落(整棵樹或枝條)可以提供關於生育地潛在問題的訊息。一個地區的多棵樹木

斷落可能表示該地區有淺層、水份飽和的土壤、壓實或根部疾病的問題。或者，颱風可能已經吹倒了許多樹木，並使其他留下來的樹木不穩定。新的土地開發也是另一個關鍵因素，因為它可能增加生育地的使用，可能造成根部傷害、土壤破壞、土壤水文改變和新的受風模式等影響。

所有這些變化可能會影響樹木的健康和斷落的可能性。可先藉由了解、研究四周環境，以找出與評估任務相關的特點，再將其分析、解讀作成評估的一部分。應同時注意負面和正面的生育地影響因素，因為兩者都將在評估風險等級中發揮作用。



圖 1-48、土壤壓實可能使樹木根部發展不良。

(二)生育地的評估事項

生育地評估的目的是找出可能影響樹木穩定性，以及可能已經影響該樹木的變化或破壞生育地的因素。生育地檢查包括確認和評估下列事項：

1. 先前樹木斷落的模式。
2. 地形(Topography，地景坡度和方向)。
3. 通過較廣的景觀和個別樹木之風的模式(特別是變化)。
4. 土壤特性。
5. 全區和生育地相關的排水模式。
6. 土地破壞(Land disturbances)，如洪水、高程改變(Grade changes)或水文變化。

7.根系生長狀況的限制。

8.目標樹木特徵(樹種、年齡類別、狀態)。

9.土地利用歷史(Land-use history)和樹木的存活期間發生的變化。

10.可能影響樹木健康的因素。

生育地可能的分析活動範例。分為三個層級：有限的目視、基本、進階

表 1-2、生育地分析層級表

第 1 級：有限的目視	第 2 級：基本	第 3 級：進階
觀察總體地形	檢查詳細地型—巨觀(區域範圍內和微觀(樹木附近)	測量並繪製生育地海拔高度和坡度
觀察新的森林邊緣	評估樹木暴露於風的改變	測量風速變化和繪製模式
觀察生育地的重大變化(例如新的結構或新高程)	檢查可見的生育地改變(例如搜尋先前開挖或土地表面處理的改變)	檢查(開挖)生育地變化的區域以決定根系的傷害程度
觀察鄰近樹木的狀態	尋找樹種、樹齡和生育地內位置的相似處或主要不同狀況	辨識、測試和確認不同狀況的原因
觀察先前樹木斷落(全樹或一部份樹體)	辨識全樹斷落的模式、原因(風倒、根部病害、土壤深度、土壤濕度)或部份斷落模式	確定斷落的特定原因，像是根部病害的種類
觀察自然生育地土壤濕度/排水的重大變化跡象	檢查樹基有無 J 形根(土壤隆起)或土壤裂開	使用土壤探棒或挖掘以確定深度、土層、濕度歷史和根系深度
觀察主要植被類型及個別樹木和林分的健康度	分辨木本和草本物種和其健康度作生育地資訊	取樣分析土壤以確認壓實度、酸鹼值、鹽度和有害物質之存在

從生育地的廣泛層面開始著手尤佳。可利用簡單的步行或開車，慢慢地觀察更大的景觀及其脈絡，以了解現場的環境狀況。使用空照圖可以是有用的第一步，以獲得一些對生育地背景和相鄰土地利用模式的概念。如果有一系列多年的圖

像，就可以看到土地利用的不斷變化及其對樹木的影響。某些地區的歷史圖像可在網路上獲取。嘗試估計生育地被破壞多久以前發生(例如一年、兩年、十年以上)，時間經過越久，樹木必須適應或對變化做出反應的時間越多。



圖 1-49、土地用途改變會為樹木生育地帶來影響。

(三)斷落的歷史

樹木過去的斷落有時可以提供幫助評估斷落的可能性。鄰近的樹木可能經歷過類似的天氣模式和生育地變化，對先前斷落的觀察可能是要檢查的生育地問題的指標。搜尋過去斷落的跡象，例如倒下的樹木和樹頭、斷枝或懸垂的樹枝、破碎的樹樁、枝條斷落的痕跡、傾斜的樹木、根部破裂的情形和從土壤中被部份拔出的根系。尋找過去修剪的跡象、支撐系統的安裝或過去可能已經採取的減少風險的其他緩解措施。當樹木斷落時，尋找可能的原因，如根部病害、積水地區、淺薄土壤、地上和地下的施工傷害等。



圖 1-50、根部病害使樹木基部不穩。

(四)氣候

大多數樹木斷落發生在惡劣的天氣下(例如颱風、暴風雪或暴風雨伴隨強風之類的情況)。樹木風險評估是以正常情況和典型的天氣條件來考慮的。

1.風

風是最常見導致樹木斷落的因素之一。了解一個地區和當地的風模式及其與特定生育地條件的潛在相互作用，對於評估斷落的可能性極重要。

盛行風向可能與通常導致最大損傷的風暴不同。樹木已適應立地環境盛行風的風速，正常風速下的樹木斷落，通常與單獨的或併發嚴重的、未經修剪、未緩解的結構缺陷或其他狀況有關。當風速達到蒲福風級的 9 級風是烈風(風速每小時 75 到 87 公里)；這在很多地區是很正常的；在這種風力或更弱的風力下斷落的樹木，通常是因為樹木有缺陷或某些狀況影響了樹木的強度或穩定性。10 級風是狂風(風速每小時 88 到 101 公里)；這在很多地區是很極端的狀況，即使是無缺陷的樹木也可能斷落。11 級風是暴風(風速每小時 102 到 116 公里)；12 級風是颶風(風速每小時 117 公里以上)或是更強的風，在大部份的地區來說都屬異常極端的狀況；在這種風速下，沒有缺陷的樹木也可能大面積的斷落。

氣象局會提供、紀錄來自特定地區氣象站的風力數據(如當地的盛行風模式)。軟體還可用於追蹤和繪製風向和風速(風花圖)，並可用於模擬區域性或當地風的

模式。了解生育地的典型風模式有助評估樹木的適應性生長模式。

風速和方向在不同高度通常有很大的不同。風若持續吹拂，通常會發生超過氣象紀錄中風速的陣風。微爆氣流(局部化，強烈的短時間爆發的風)可能會使樹木倒伏或損傷。龍捲風包含旋轉的風，會扭曲枝條和樹木，留下特別的損傷型式。

有時破壞性的風是從不同於盛行風的相反方向，這些風的傷害事件在樹木風險評估的時間範圍中是不可預測的。在樹木風險評估當中衡量潛在風負重時，應使用該地區的典型天氣狀況；在易受極端天氣條件影響的地區，應該考慮有偶發性但會反復發生的暴風雨出現斷落的可能性。暴雨或異常的暴風實為難以評估預測，針對樹木風險評估目前並沒有現成的臨界風速值。

風往往是造成樹木斷落的另一項因子，以樹木而言，以下兩點應特別注意：
(1)風速隨高度增加，高大的樹木、立於山頂或山坡上的樹木會比矮的樹木或低海拔的樹木受到更強的風力。(2)風流過自然和人造物體，並且與斜坡和其表面相互作用而影響風速和方向。這種變化性使得難以準確地模擬靠近地面的風以及樹木所受的影響。

開放的水域，凍結的湖泊，道路或開放公園區域將產生較少的摩擦(稱為粗糙係數)，因此風速將增加。觀察可能影響風力模式或速度的近期生育地變化。地形的形狀也是一個因素。吹向斜坡的風被向上推動，這增加了風的速度。如果需要更多的生育地特定訊息，可能有必要聘請一個有微觀事件專長的氣象學家，針對風對一個生育地的影響作概略的預測。

在都市地區，樹上的風速隨著風向和結構的位置而不同。例如，在較高建築物的背風側的樹比暴露在開放地區的樹的風要少。此外，高樓層建築物和其他建物通常會改變通過空間的風流。建築物可以創造風洞，並且可能產生具有高速度的局部風模式。不對稱樹冠的長出是連續的風向或風洞的明顯證據。鄰近建築物可能考慮拆除，這將會改變樹木的受風負重。

風環繞樹木移動的方式將取決於幾個因素：樹木的高度、樹冠的形狀、伸展

度和開放性(孔隙率)——有葉子的樹木較少孔隙並且具有更大的拉扯力(空氣阻力)，而沒有葉子的樹木有更多孔隙並且具有更低的拉扯力。通過樹木之風，其風速之影響因素是木材的硬度和相對於其他樹木和附近結構的遮蔽或暴露程度。



圖 1-51、樹冠形狀會影響風的移動方式。

2. 降水量

另一個重要的天氣因素是降水量(雨水、和冰雪形式的降水量)(Precipitation)。水很重；1 公升水重量為 1kg。在長有葉子的枝條上，雨可以增加 25% 或更多的重量；冰可以增加枝條負重至少 8 倍以上。在樹上分佈的降水累積重量有時足以導致枝條(Limb)斷落。

如果累積降水量與風一起發生，則斷落的可能性將進一步增加。冰風暴可以使受影響區域中的大部分樹木損壞，但這些風暴基本上是不可預測的。

然而，如果樹木或枝條的結構穩定性有問題，並且來自雪或冰的高負重在評估時間範圍內是很有可能，則可以考慮建議減緩措施以減少斷落的可能性。

降水量也影響樹根斷落，當土壤含水量飽和時，樹木容易風倒，特別是淺根、土壤不深或有高地下水位。在預測有高降水率或土壤狀況有問題的地區，應在風險評估時考慮潛在的與降水有關的斷落。



圖 1-52、冰可以增加枝條負重至少 8 倍以上。



圖 1-53、當土壤含水量飽和時，樹木比較容易風倒。

4.樹的暴露類型

單棵樹木或一群樹木的暴露程度，直接影響其抵禦惡劣天氣條件的能力。

主要暴露類型如下：

- (1)受保護(最少暴露於風)
- (2)部分暴露(有些受風)

(3)完全暴露(最大暴露於風)

位於一群樹木的中間，在森林的內部部分或被建築物包圍的樹，是受保護的樹的例子。沿著群樹邊緣的樹木，暴露的部分來自未受保護側的風。不與其他樹木或高層建築相鄰的樹木，被認為是完全暴露的。

生長在樹木繁茂地區的樹木以幾種方式受到周圍樹木的影響，包括光照、受風(Wind exposure)和根系重疊。在森林內部生長的樹木，具有和在林緣生長的樹木以及在開放地區生長的樹木不同的穩定度。森林內部的樹木承受較少的負重，並從相鄰樹木得到支撐。當個別樹冠重疊時，受風的搖擺程度將受到限制。由於樹木僅在必要時才使用養分來增加強度，所以這些內部樹木對增加負重的反應能力是不足的，要等到反應生長出現才能穩定。

林分(Foreststand)中的優勢木(Dominant)比較可能遭受強而多變的風，很可能比林下樹木有更飽滿的樹冠和更強的根部系統。等優勢木(Codominant)受其它樹木的保護以減少受風量，但其運動也受到相鄰樹木的限制。它們的根系可能不如優勢木或開放地區生長的樹木發育的良好。移除一棵或多棵樹木可能使其它樹木變得不穩定。亞優勢木(Subdominant)下層林具有較不發達的樹冠和較弱的根系。被壓木(Suppressed)的生物性和結構性較弱；如果突然暴露出來，可能容易斷落。

根系因應它們的環境發展，包括它們承受的結構應力。暴露於來自各個方向的風的開放型生長樹木通常具有良好平衡的根系。相較之下，暴露於單一的，主要方向(盛行風)的樹木可能有不對稱的樹冠和根系。這可以被看作是在迎風側的長繩索狀張力根的網絡，以及在背風側的堅固板根狀根系。如果這些根系已經損傷、切斷或腐朽，則根系斷落的可能性將增加。

當進行生育地評估時，要確定完全暴露的樹木是否一直是完全暴露的。如果它們是最近才由於清除相鄰樹木而暴露，則斷落潛在可能性更高。由於連續暴露，在林緣生長的樹木可以很快地適應盛行風，但突然暴露的內部樹木(例如：因建

物移除、風暴損壞或土地清壅)具有較高的斷落可能性。

成熟的林緣樹木一般具有兩個明顯的特徵：(1)分枝主要在開放側，較少在相鄰樹側。(2)林緣樹木可能由於向光生長而向外傾斜。在某些情況下，傾斜可能因為重的、單側樹冠的影響而加劇，更增加遠離垂直站立的角度。因此在評估傾斜的邊緣樹木時，宜檢查是否有部分根系被拉起。

(五)地形

生育地的地形實體特徵(地形變化)和海拔高度的不同可以影響風負重和土壤濕度等特性，從而影響樹木的穩定性。生長在不穩定的土壤和斜坡上的樹木將隨著斜坡的土壤和地形造成的斷落而跟著斷落。陡坡可能比緩坡更不穩定，並且可能具有更薄的土壤層，其對斜坡上部土壤層(滑坡和土石流)的量體滑動更易受影響。有時可以利用在樹幹基部處查找特徵「J」形狀來檢測正在滑動的斜坡(由於重力的滑坡運動)。通常，斜坡頂部的土壤排水良好，而斜坡底部的土壤則較潮濕，有可能積水，因為斜坡上部的水排出來並積聚在斜坡底部。可以使用常見的土壤探測器來確定土壤的深度和穿透性。

方位(羅盤方向)影響斜坡剖面 and 土壤水文。通常，在北半球，朝北的斜坡(北方)較冷和較濕，因為陽光的直接照射較少。北部和東部方位的斜坡通常具有較薄的土壤和較多的岩石。朝南和朝西的斜坡通常比較熱，比較乾燥，並具有較深的土壤層。他們全年接受較多的直射陽光。土壤和岩石風化過程在南部和西部更加明顯，生長在這些區域上的植被將與在北部或東部生長的植被非常不同。在南半球的情況恰恰相反。土壤和植被的這些差異可能影響根系深度和發育，因而影響樹木的穩定性。具有較深、較廣泛的根系的樹木傾向於更穩定。



圖 1-54、斜坡上的樹木可能隨著斜坡的土壤和地形改變而倒塌。

(六)土壤對根系發育的影響

影響樹木生長和穩定性的關鍵因素之一是土壤。一個發達的根系可以適應支撐樹木的重量和它通常承受的應力。檢查根部系統是很困難的。在目視評估中，我們根據所看到在樹木的基部和生育地條件下對根系發展做出一些假設。一棵健康、生長旺盛的樹木比較能發展反應生長，以保持良好的結構和穩定性。由於根系健康是重要的，我們會尋找生育地狀況是如何影響根系發展的一些指標。

如果一棵幼樹已經長成一棵大樹，我們可以合理的假設它有足夠的土壤體積(以及水，空氣和礦物質)來維持樹木生存至今。下一個問題是，土壤是否可以繼續支持這種大小或更大的樹木，以及持續生長，哪些因素將對持續生長和穩定性產生不利影響？

要考慮的土壤因素有：

- 1.體積
- 2.深度
- 3.濕度
- 4.壓實

5.品質(質地，肥力和酸鹼值)

維持和支持樹木生命所需的土壤體積量取決於樹種、大小、土壤特性和氣候(例如：水分需求、極端高低溫)。過小的土壤體積將限制樹木生長，特別是強健結構根系的發展。這問題在城市地區尤為重大，種植空間通常非常珍貴，並且不良的根部系統和根系被修剪是常見的。不發達的根系不僅在結構上較弱，而且還將大幅的限制樹木生長和健康，這降低了樹木適應其承受的負重的能力。



圖 1-55、城市地區的樹木生長空間不足使根系發展不良。

適當的土壤深度(Soil depth)是產生有效根系結構的另一個重要因素。大多數樹根生長在土壤剖面的上部 20 英寸(50cm)或更薄。在理想的土壤狀況下，許多樹種具有從地面水平均勻向外生長的根系。其他樹種通常產生傾斜根朝所有方向向下傾斜;被稱為散根系統(A heart root system)。很少有樹種在生長數年後還保有單一主(軸)根(A tap root)。

一般來說，具有相對較淺根系的樹木比那些具有較深根系的樹木更容易發生斷落。由於下面的母岩或城市基礎設施，土壤深度可能較淺。淺根系也與水分飽和土壤或過度灌溉的景觀作法相關。排水良好的土壤較易長出深的根系。如果根系深度淺，就需要更廣、更延伸的根系來支撐樹木。由於不容易看到根系，所以很難具體的判斷樹木的穩定性，但了解生育地土壤屬性將幫助你找出可能的

根系問題。根系的發展也受土壤類型、質地和排水能力的影響。土壤質地影響土壤濕度：砂質土壤可以迅速排水，而粘質土壤排水較慢。土壤濕度，特別是浸潤率直接影響根系的發展。這樣的問題將由於土壤壓實(Soil compaction)而加劇。

表面土壤壓實是車輛或行人交通踏壓的常見現象。壓實的土壤減少了土壤顆粒之間的孔隙，因此，存在更少的用於氣體交換或保濕的空間。此外，壓實土壤中的根系可能被實物壓碎，導致受傷和隨後的腐朽或死亡(圖 1-56)。

土壤可以通過探測、實驗室分析、含水量測試，有時透過檢查生育地或開發計劃進行評估。

土壤測試或分析通常不在樹木風險評估中進行，但可能在有風倒或根部斷落顧慮的情況下被要求進行。樹木生物學的基礎知識和風險評估的經驗應提供進行探測、採樣或測試的方向。即使土壤測試無法進行，應該在系統地進行評估時考慮生育地地面下的狀況。



圖 1-56、表面土壤壓實是車輛或行人交通踏壓的常見現象

(七)生育地破壞

任何改變樹木已適應的生育地狀態的活動都有可能影響樹木的穩定性。在新的開發正在進行或正在提出的區域，可能會改變一個或多個因素。考慮的變化包括：

- 1.由於新的建築結構造成的漏斗效應或風阻效應，改變了受風模式和風速(Wind velocity)。
- 2.由於新建築物和相鄰植被的移除或種植，改變了光照量。
- 3.由於壓實、自然水道改道、地下排水管的安裝和高程改變，改變了土壤含水量的狀況。
- 4.由於壓實、高程改變、地下室和地基挖掘以及地下公用管線、服務設施、景觀照明和灌溉系統的安裝而造成的根系破壞。圍繞樹木的新景觀設施經常損壞樹木，雖然損壞可能看不出來。例如重型設備行走在樹根上方、提高或降低現有土壤高程、挖溝以安裝公用管線或灌溉系統以及使用灌溉的行為，可能損壞根部並增加斷落的可能性(圖 1-57)。



圖 1-57、在樹木根域內安裝排水系統會破壞其根系

如果根系被破壞或切斷，樹木的健康和穩定性將會受到影響。能夠明顯影響樹木穩定性。根系損失量隨樹種、成熟度、樹冠大小、健康、生育地條件和氣候而不同。作為一個非常概略的原則，如果一條或多條大的結構根在位於樹幹直徑三倍的距離內被切斷，應另闢新空間以讓新生根系生長或評估是否有根系腐朽情形，以評估樹木是否具有足夠的支撐。超過該距離發生的大結構根，如果有很多條被切斷或破壞時，也可能會有穩定性問題。與穩定性問題無關的根系損失，

仍然可以降低樹木的活力，可能減少樹木的生長和防禦機制。

雖然提高土壤高程可能損害現有的根，如果土壤排水良好，樹木可以透過長出更接近地面的第二根部系統生存。通常，這些不定根系統保持樹木的活力，但它們可能無助於結構的穩定性。由於原有和損壞的根系的腐朽，樹木可能缺乏足夠數量的結構根系來承受正常的風和重力。應該仔細檢查現有樹木附近高程變化是否有改變。

樹木會依照可用的土壤水分含量來發育。如果土壤水分含量由於施工活動而改變，那麼樹木的根系必須隨之調整。一段充足的時間後，並假設樹木具有足夠的儲存養分來使適應性的反應生長發生，樹木可能生存。樹木緩慢的持續衰弱，是因為他們用盡儲存的養分能量以努力保持目前的樹葉量，試圖發展新的根系來尋找更好的水分情況，應該盡可能加強維管以求其樹木生長勢的恢復。

第五節、樹木結構

(一)前言

樹木本身的結構及健康狀態，是進行樹木風險評估過程中重要的參考因子，除依據樹木生長狀態及負重後的生長反應外，亦須與過往的經驗及觀察進行連結。本章節透過解剖學及生理學，探討樹木倒伏的可能性，以及透過結構與力學反應，探討負重及腐朽對樹木生長所造成之影響，藉此學習樹木檢查的方法。

(二)木材結構

在中級樹保人員教材中，我們了解到支撐是樹木木材主要的功能之一，當中的木質部主要承受負重的成分為木質素及纖維素，兩者的結合可使木材堅強卻仍保有彈性：木質素(咖啡色或深色)在受到外力造成之木材壓縮(Compression)時，會提供硬度及承載支撐，而纖維素(白色或淺色)，在外力造成之木材張力(Tension)下，提供彈性及強度。

木質部細胞具數層細胞壁，細胞壁主要功能為保護及維持細胞形狀，依形成

時間及特性，大致可區分為初級細胞壁(Primary cell wall)以及次級細胞壁(Secondary cell wall)。初級細胞壁為剛分裂完成之細胞產生，由纖維素的骨架組成，雖薄但具彈性。初級細胞壁內生成次級細胞壁，由纖維素及木質素組成，屬堅硬之構造，並在受壓縮時提供強度支撐。

沿木質部及韌皮部輻射向生長的特化細胞為射髓，除可橫向運輸養分、儲存能量外，亦能提供機械性支撐，幫助樹木對抗彎曲應力(Bending stresses)以及提供對抗內部腐朽擴散的防禦機制(第二道壁)。

韌皮部不屬於木材結構，但其所屬的樹皮可包覆並保護樹木表面。

上述之解剖學與生理學上之論述，只適用於雙子葉植物。單子葉植物，如棕櫚、絲蘭和竹子，不具形成層，也不產生年輪，而是發展成束的維管組織，每一束皆包含木質部和韌皮部。這種木材的強度主要源自管胞內木質素含量與每束內之纖維素纖維。棕櫚透過分生組織區（初級增厚），在頂端分生組織或在各樹幹周圍的分生組織區域中的次級增厚區，增加新的維管束而增加大小。

(三)生長特性

樹木之生長特性與樹木壽命息息相關。壽命較長之樹種，通常具良好適應力，生長特性上傾向利用較多之資源抵抗負面因子，故相較於壽命短之樹種有較佳之傷口癒合及抗病蟲害之特性。而短壽命之樹種通常以新的生長來克服環境逆境，生長特性上傾向利用較多資源盡可能的生長，如先驅樹種血桐、白匏子等。不同樹種之生長特性，在風險評估上有利於判斷其對環境逆境之可能反應，進一步擬定減少可能造成危害風險的方法。

(四)生長反應

樹木可依據承載負重、環境等因子，藉由新生木材進行適度之反應生長，以補償外層纖維的變形，常見之生長反應為反應木(Reaction wood)及創傷木(Woundwood)。

1.反應木

最常見為壓縮材(Compression wood)及引張材(Tension wood)，主要為對重力、靜態負重所產生之生長反應。

(1)壓縮材常出現於裸子植物，通常在樹幹、樹枝下側發現，生長具有含量較高之木質素及較細小之纖維素木材組織，有助於提供向上支撐強度以對抗重力，通常橫切面可見髓心不在中心，而是偏上方。

(2)引張材常出現於被子植物，通常在樹幹、樹枝上側發現，生長具有含量較高之纖維素以及較少之木質素木材組織，有助於拉拔、拉撐以對抗重力，通常橫切面可見髓心偏下方。

2.創傷木

當形成層受損時，會產生特別之木材增生，成份多來自於細胞分化之木質化組織，稱為癒傷組織。其化學性質與其他木材不同，質地通常更為緊密，可更為有效地阻擋腐朽。但若傷口過大或其他因素無法有效癒合，則常會在傷口邊緣造成向內捲曲生長，而形成俗稱公羊角(Ram's horn)之現象。整體而言，創傷木之生長速度將依據樹種特性、生長勢而有所不同。

(五)健康和活力

風險評估中，樹木的健康與活力是參考的重要指標之一，健康有問題、活力下降之樹木，會減少樹木對結構問題的反應能力。首先，觀察樹木整體葉量密度，若觀察發現葉量稀疏，可能是逆境或衰弱的指標。而頂部枝條回枯，通常是根部功能受損或受限制的病徵。接著，也可透過生長狀態在時間的變化上進行觀察。生長逐漸減緩，可以檢查新生或成熟葉片是否較小、顏色較淡、病斑、昆蟲食痕等，也可檢查主幹或枝條傷口癒合速度是否趨緩，以及新生根毛密度數量是否不高，則可能代表健康有問題。

(六)總結

在檢查樹木過程中，我們應對樹木的木材結構、不同樹種的生長特性、生長反應以及健康活力有基本之了解，以利風險評估中判斷可能斷裂、傾倒之風險。

- 1.樹木的結構和生長反應，是樹木與環境交互作用的結果。
- 2.木材細胞中承載負重的成份是纖維素和木質素為主，纖維素在張力下提供適度的彈性和強度，木質素則提供適度的硬度和壓縮承載能力，纖維素和木質素一起使木材堅硬但仍保有彈性。
- 3.健康的樹不代表結構安全，具結構不安全之樹木，在外觀上可能表現出綠蔭盎然的樣子，常常是樹木本身具有足供應生長之邊材或不定根維持樹木健康生長，但其實在結構上已無法提供足夠的結構支撐，造成生長越是茂盛，斷裂、傾倒的風險就越高。
- 4.一棵健康且充滿生長活力之樹木，能夠有較佳之抵抗腐朽蔓延並產生足夠的木材生長以保持負重穩定性的能力。

第六節、腐朽

(一)前言

樹木與腐朽菌間之交互作用，是風險評估中重要的指標。如果腐朽發生在樹木承載負重之位置，則可能會減弱樹木結構之將度，增加傾倒、斷裂的風險。

造成腐朽之微生物主要以木材為食物營養源，大多數木材腐朽為真菌所造成，而少部分為細菌造成之腐朽。雖然自然界中存在數以千計之木材腐朽菌，但僅相對少數的種類才會影響樹木之結構。在學習判斷腐朽菌種類的過程中，常常需使用顯微鏡或諮詢政府或學校單位之植物病理專家，以減少誤判的可能。

(二)腐朽菌的種類

大部分腐朽菌只分解死亡之細胞，屬於腐生真菌(Saprophytes)，少數會攻擊活細胞，一般這類具病原性之真菌稱為病原體(Pathogen)。而幾乎所有木材腐朽菌皆可以腐生方式存活於死亡木材中一段時間，故具病原性之腐朽菌則可藉此在死亡之木材組織及土壤中保持很長一段時間的活性。腐朽菌的感染方式不同，有些是透過傷口造成感染，有些則僅能侵入受傷的邊材。而無機械外傷及無破損

的樹皮，鮮少病原體可穿越樹皮侵入木質部。

腐朽真菌通常分為白腐(White rot)、褐腐(Brown rot)及軟腐(Soft rot)。不同類群之腐朽菌，因破壞不同木材成份，而對結構強度有不同的影響。

1. 白腐

感染初期病原菌會降解木質素與不同程度的降解細胞壁纖維素及半纖維素，而留下潮濕的、海綿狀之木材，其外觀常為白色或淡黃色。常見之白腐病原菌為靈芝(*Ganoderma* spp.)、蜜環菌(*Armillaria* spp.)等。白腐主要分為兩種形式：

- (1)選擇性脫木質素作用(Delignification)，木質素腐朽速度較纖維素快，留下腐朽較慢的纖維素，通常導致強度的緩慢降低，故保留一點引張強度，但失去其可壓縮性。
- (2)白腐同時分解木質素、纖維素和半纖維素，並導致硬度和引張強度的損失，嚴重弱化木材。

2. 褐腐

褐腐主要分解纖維素和半纖維素，留下木質素，故外觀上通常是褐色的。而彎曲支撐強度的降低，會在腐朽初期即發生，造成因木材較硬且不易彎曲，反應成長較白腐少，因此也較難透過目視外觀辨認具有褐腐的樹木。褐腐主要發生於針葉樹，少數發生在闊葉樹，常見之褐腐菌為檜木抹香腐病菌(*Veluticeps berkeleyi* (Berk. & Curt.) M. C. Cooke)等。

3. 軟腐

軟腐通常先分解纖維素，但也可以分解半纖維素和木質素，引起細胞壁空洞，然而硬度上軟腐不一定比褐腐或白腐軟，且通常傳播速率較褐腐或白腐慢。軟腐效果通常是局部的，會在腐朽區域形成小腐朽區塊，相比周圍的非腐朽區域軟。

軟腐較常在潮濕環境的木材中發現，其主要攻擊闊葉樹。在活樹中最重要的軟腐例子是炭焦菌(*Ustilina*)，其會形成小腐朽區塊並潛在嚴重的結構問題。

(三)樹木腐朽區隔化(CODIT) (圖 1-58)

樹木腐朽區隔化(Compartmentalization of Decay in Trees)，當韌皮部和形成層受傷時，外層木質部會裸露，並引發腐朽區隔化的過程。區隔化的目的是停止或減緩腐朽生物進入健康的木材。傷口周圍的木質部活細胞會經歷生理和化學的變化來阻斷真菌生長。樹木腐朽的區隔化模式為一系統，木材內部生成四道概念性的「壁」或「區域」，用以區隔和限制腐朽的擴散。每個壁用於防止或延緩在特定方向上的腐朽發展。

- 1.第 1 道壁利用堵塞假導管和導管，抵抗沿微管束系統向上和向下擴散的腐朽。第 1 道壁是四道壁中最薄弱的。當第 1 道壁無法停止腐朽發展時，分離的腐朽縱列(源自樹幹上方或下方並沿著樹幹縱軸)常會相連結。
- 2.第 2 道壁抵抗腐朽朝樹木中心的徑向移動。由每個生長輪中的晚材細胞，與該區活細胞產生的化學物質所組成，除射髓細胞徑向通過處外，其在樹周圍是連續的。這通常是第二薄弱的壁。
- 3.第 3 道壁抵抗自樹幹周圍損傷點蔓延的腐朽，其為傷口各側射髓細胞所組成的一系列側壁。射髓中的活體薄壁細胞會產生對腐朽微生物有毒的化學變化。此過程涉及特殊的抗腐朽化合物的產生和積累。由於射髓細胞在木質部中的模式和分佈，第 3 道壁是道不連續但重疊的壁，且能建立相對較強的防禦。
- 4.第 4 道壁也稱為屏障區。損傷後形成的新木質部建立了一個界面，透過物理性的將新舊組織隔離，來防止腐朽向外移動。第 4 道壁是四道壁中對病原體和腐朽最好的防禦，但因新的射髓細胞無法連接到傷口區域中的舊細胞，故在結構上較弱。第 4 道壁處可能發生內部破裂(輪裂)，並於樹木周圍或上下擴散。

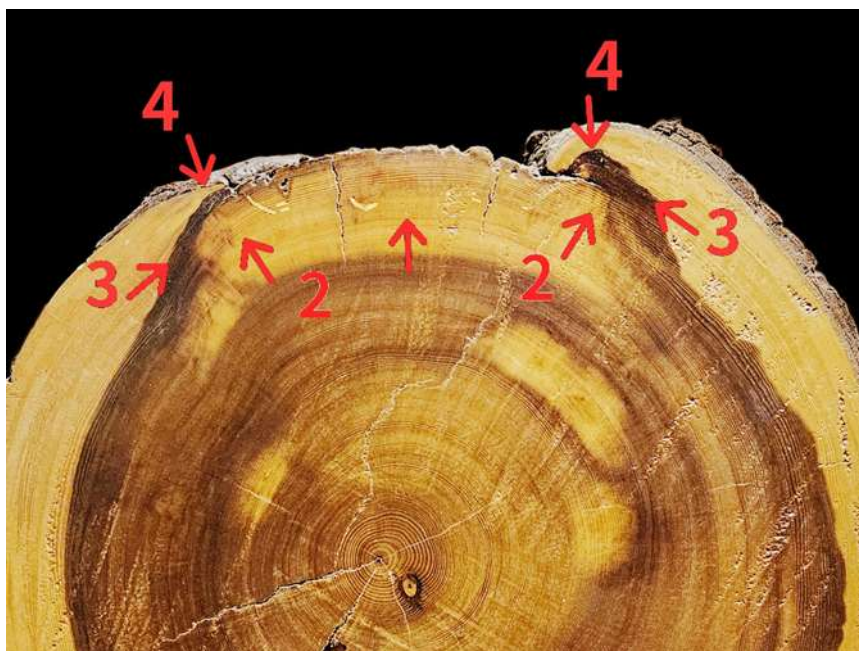


圖 1-58、樹木於傷口生成「四道壁」阻隔或延遲腐朽的擴張。

(四)依據腐朽之位置分類

腐朽可依其在樹中發生之位置分類，如根腐、心材腐朽和邊材腐朽。然而這些分類可能有之重疊區域，或從一個區域轉移到另一個區域。

1.根腐

根腐菌可透過數種方式感染根系，最常見的是經由傷口入侵。一些物種已知會由感染和未感染樹木間的根系嫁接，或經由稱為菌絲束(rhizomorph)的特殊構造進入。菌絲束看起來像小直徑的絲繩或深色的根，並與蜜環菌類的傳播有部分的關聯。菌絲束可直接感染埋入的根領或易感病的根。根腐也靠水或空氣傳播孢子。

在自然環境中，大多數根腐真菌透過小直徑根中的傷口感染，特別是在那些因水分過量或缺水而缺氧的逆境下。在城市環境中，開溝、栽培或挖掘對較大直徑根的損害，會允許根腐真菌進入這些根。根腐有時從根下方開始進行。

許多根腐真菌將繼續生長至樹幹基部的心材，在該處的腐朽會被稱為基腐或板根腐朽。每當在樹中檢測到基腐時，也應當懷疑會有根腐。但是，基腐也可

能與進入樹幹基部或根領區域傷口的腐朽有關。

因為一些根腐真菌會殺死較小直徑的根，吸水和輸送便受到影響。這會產生水逆境，最終出現枯梢或樹冠變薄。樹冠枯梢和變薄因此會變得有用，但也延遲了根部可能問題的指標。

一般來說，根腐難以檢測和評估，因為其程度和嚴重性在基本檢查中不容易看出。許多根腐可以直接導致結構根傾倒或造成風倒。對於一些真菌腐朽菌，唯一明確的腐朽指標是子實體的存在，儘管其存在可能是季節性的，並且在一些情況下，其可能在例行性地面維護期間被清除。其他明確的指標是基部樹洞和下陷的樹皮區域。樹基腫大和融合的樹根是根腐的潛在指標。當腐朽影響水分吸收時，樹冠枯梢或其他活力喪失的病徵（生長減少、小葉、黃葉等）會成為指標。

2. 心材腐朽

位於樹幹或枝條心材之腐朽，腐朽速率會依樹種、環境條件及腐朽菌種類而有所不同。當觀察樹木的橫切面或生長錐時，區分深色的自然心材與因腐朽而變色的木材是很重要的。真的心材存在於許多樹中，並由老化所引發。其在強大的遺傳控制下，會由最老的組織開始，並每年於新的組織中向外發育。其通常會連續貫穿樹木和圓形橫切面。相較之下，與創傷相關的變色木材，會有內部組織暴露於空氣、細菌和真菌中。變色向內進行，其範圍通常會不規則的跨越橫切面，並在樹木中上行或下行。其首先影響最年輕的組織，並被看作是樹木結構中的一個或多個縱裂。

3. 邊材腐朽

邊材腐朽僅限於活或死針葉樹和闊葉樹上的邊材，特別是當樹皮和形成層已被其他原因損傷。由於腐朽、病害或機械損壞造成的邊材損失可能會導致樹木傾倒。對樹幹的強度來說，外層木材的損失被認為比內層腐朽更重要，因外層木質部組織比內層纖維對樹幹強度貢獻要來得顯著。一個邊材腐朽的明確指標是出現但大量但小的子實體。邊材腐朽因強度會快速損失而十分重要。許多常見的

邊材腐朽已知也會入侵健康的木材。

(五)腐朽病徵

腐朽通常是與樹木傾倒相關的「隱藏缺陷」。因此我們需要知道如何評估腐朽的存在和木材腐朽程度，以及評估其對樹木傾倒發生的可能性。一棵看起來健康且結構健全的樹木，仍可能具有嚴重的內部腐朽，故學習常見的腐朽病徵是很重要的。明確的腐朽指標(Definite indicator)僅在腐朽在存時發生。最常見的腐朽指標包括：

- 1.開放性的空洞或開口、生物的巢穴。
- 2.真菌子實體，或附生在樹木上的蕈傘(Mushrooms)、真菌組織(Conks)或支架真菌(Brackets)。
- 3.木匠蟻(Carpenter ants)。
- 4.白蟻蟻巢、蟻道(Tunnels)。

而相對明確腐朽指標，潛在指標(Potential indicator)僅指出存在腐朽的可能性，因其他原因也能造成此現象。最常見之腐朽、強度損失或木材缺失潛在指標包括：

- 1.出現舊傷口或殘枝可能會使腐朽菌進入樹木。
- 2.樹幹或枝條上的反應成長模式如腫大、膨脹凸出、皺摺。
- 3.破裂(Cracks)、接縫(Seams)。
- 4.樹皮滲出液。
- 5.死亡或鬆脫的樹皮或樹皮有不正常之色變。
- 6.樹皮凹陷。

(六)總結

自然界中大多數的木材腐朽皆由真菌引起，大量受腐朽造成之結構受損容易引起傾倒、斷裂之風險。樹木在傷口處引發一系列由木材腐朽區隔化來抵禦腐朽菌之入侵。健康的樹木不代表結構安全，故學習常見的腐朽指標是很重要的。

- 1.自然界中存在數以千計之木材腐朽菌，但僅相對少數的種類才會影響樹木之結構。
- 2.白腐菌感染初期會降解木質素與不同程度的降解細胞壁纖維素及半纖維素，而留下潮濕的、海綿狀之木材，其外觀常為白色或淡黃色。隨著木材彎曲與受負載產生之樹體晃動，常會形成反應成長，有一定機率補償該位置之強度損失，並成為腐朽的明確性指標。
- 3.褐腐主要分解纖維素和半纖維素，留下木質素，故外觀上通常是褐色的。褐腐之危害風險通常被認為比白腐更大，因其木材具強度硬度上之支撐損失，加上缺乏反應成長，無法補足強度並提供腐朽存在的明確性指標。
- 4.區隔化是樹木限制腐朽擴散和維持主要功能的過程，常受樹木之健康與活力影響其區隔化速度。前3道壁為預先存在之木材組織組成，在受傷後改變而有防禦的功能(反應區)。第4道壁(屏障區)由新細胞組成，其在解剖學和化學上皆不同於傷口形成前的細胞。第4道壁是最強大且最重要的防禦區域。

第七節、樹木力學

(一)前言

在進行樹木風險評估時，需了解現況及未來生長及外力上，對負重所造成之傾倒、斷裂的機率。本單元需學習如何透過生物力學來評估樹木所承受的負重。

(二)名詞說明與介紹

- 1.負重(Load)：描述結構上各種力的作用結果，施加負重在樹木上的兩個最重要自然力是重力和風。
- 2.重力(Gravity)：對樹木質量的固定拉力，經由樹木本身重量、樹葉和枝條上水的重量(露水、雨水、雪)或甚至是附生植物產生負重。在養護作業時，重力也會隨攀樹作業人員或設備之重量而暫時增加。
- 3.力矩(Moment)：力乘以槓桿臂的長度以旋轉或彎曲物體。

4.槓桿臂(Lever arm)：施加的力(或力的中心)與物體將彎曲或旋轉的點之間的距離。

5.彎曲力矩(Bending moment)：導致物體彎曲的力。大小取決於力的大小和槓桿臂的長度，因此高而獨立的樹木，或獅尾枝條會經歷強大彎曲力矩所造成的負重。因為風和樹冠的變化性質，故風負重的中心只能用估計的。根據準則，力的中心通常在樹冠中心的上方約 10%處，因此槓桿臂距離可估計為：
彎曲力矩(M)=力(F)x 槓桿臂長度(L)。

6.動力(Dynamic force)：風力產生的動力，會以摩擦力和壓力作用在葉片和枝條上。樹冠內的風力會改變，這是因為當風力移動通過樹冠時，風力能被傳遞到葉片和枝條，導致枝條彎曲和扭曲。

7.拉扯力(Drag)：或稱風阻，為樹木最常見與風力有關的橫向力，由於風力隨風速的平方而變化，風速的少量增加可導致阻力的大幅上升。風速通常隨著離地高度而增加，因此較高的樹木和高海拔的樹木通常受到較高的風力。

8.應力(Stress)：樹上的負重導致內部應力，應力是施加在一個區域上的力，以公式在數學上的定義為：應力=力/面積。其中樹木內有四個基本應力：

(1)壓縮力(Compression)：對物質作擠壓。

(2)引張力(Tension)：對物質作拉伸，與壓縮相反。

(3)風會影響整個樹冠，但其通常以作用在壓力中心單點的力(F)來計算。樹木的彎矩(M)則是由合力乘以從地面(L)到壓力中心的距離來計算。

(4)剪力(Shear force)：發生在當物質元件試圖在引張力和壓縮力之間的界面處彼此滑動時。

(5)扭力(Torsion)：由旋轉、扭轉所產生特殊類型的剪力。

不同類型的應力可以單獨或結合發生。如當重力作用在枝條上使其向下拉動或彎曲時，彎曲力矩在枝條的頂部產生引張力(纖維被拉伸)，枝條的底部受到壓縮力(纖維壓縮)。在枝條的中間處纖維的引張力和壓縮力交接，並試圖在相反

方向上滑動。

9.強度(Strength)：是承受應力和扭力的能力。

(三)樹木應用的力學原理

應力公式顯示，當負重增加或橫切面面積減小時，應力會增加。木材橫切面面積減少是由於腐朽而損失木材。應力也可局部增加在尖銳彎曲、切口、潰瘍或其它條件下，統稱為應力集中點。在負重下，應力集中點可作為傾倒、斷裂起始點。因此，我們應學習如何識別應力集中點，並評估它們如何負重。

1.橫切面強度

許多傾倒臨界值是基於樹洞的橫切面直徑和樹木的直徑的比率，通常會提升到三度空間進行估算。這種方法是從管道的力學公式修改的，簡化後之公式聚焦於圍繞在中心樹洞外的樹幹直徑和實木(外殼壁)厚度。儘管簡化公式不能在所有的情況下使用，但最常見的臨界值允許圓形樹幹中心直徑三分之二的損失，也就是說，如果圍繞內部樹洞的剩餘實木厚度大於樹幹直徑的六分之一(半徑的三分之一)，則會認為該樹在正常天氣條件下不太可能傾倒、斷裂。雖然可以測量和簡單計算，橫截面強度公式和臨界值仍有一些明顯的限制，例如：

- (1) 該公式假設圓形樹幹具有位於中心的樹洞/缺陷，但通常實際上不是這樣。
 - (2)較少量的剩餘實木可能需要大直徑樹木和比一般木材強度更強的種類。
 - (3)沒有考慮任何樹洞開口的尺寸，或可能圍繞樹洞開口的創傷木強度。
 - (4)沒有考慮在外殼壁上的負重，所以高大樹木和矮小樹木、森林樹木和城市樹木都被相同地對待。
 - (5)沒有考慮受傷後可能增加的外殼壁木材強度，因為樹木會補償由於腐朽而造成的強度損失。
-
- (1)該公式假設圓形樹幹具有位於中心的樹洞/缺陷，但通常實際上不是這樣。
 - (2)較少量的剩餘實木可能需要大直徑樹木和比一般木材強度更強的種類。
 - (3)沒有考慮任何樹洞開口的尺寸，或可能圍繞樹洞開口的創傷木強度。

(4)沒有考慮在外殼壁上的負重，所以高大樹木和矮小樹木、森林樹木和城市樹木都被相同地對待。

(5)沒有考慮受傷後可能增加的外殼壁木材強度，因為樹木會補償由於腐朽而造成的強度損失。

因為橫切面公式僅考慮直徑（或半徑）比，所以重要的是要考慮到其他影響因素，例如樹種，其他缺陷和條件、樹高、傾斜和樹冠尺寸、形狀。因此最好應該將外殼壁厚度臨界值視為考慮的起點，而當樹木基本上不是圓形的橫切面、當缺陷不位於中心、或當來自風力或支撐質量的負重很低時，便不應該堅持。

有經驗證據證明樹木可以耐受極大量的內部腐朽，並且仍然保持穩固。已知有超大直徑的樹木，在剩下小於半徑 10% 的外殼壁下，仍保持了幾十年的穩固。如果腐朽以較慢的速率進行，則添加到橫切面上的每個新生長輪都會增加樹木的穩固性。

因為樹木有會在承受負重處生長和形成木材的特性，故其通常在面對負重的方向上是最強的。如果樹木除盛行風外，很少或從來沒有經歷來自不同方向的強風，當負重來自該方向時，其便可能非常容易傾倒斷裂。

2.高度/直徑比(H/D)

應力也與樹高或枝條長度有關，如果所有其他條件相等，由於較長的槓桿臂，較高大的樹木相較於同直徑較矮小的樹木，在樹幹低處會具有較高的應力。尖削度是在樹幹、枝條和樹根上隨著長度的直徑變化。細長和尖削度是機械應力分佈的重要因素，可以透過將樹高或枝條長度除以基部處的樹幹或枝條直徑（H/D）來計算細長的程度。當 H/D 較大時(即樹木或枝條的高度/長度非常細長)，會比具有小 H/D 比的樹更容易發生傾倒。報告指出主要 H/D 值範圍為 50：1 至 90：1，但會有很多變數。實際的應力還要取決於樹幹的形狀、尖削度、木材強度、樹冠構造和風的暴露。因此 H/D 比率很少單獨用於分級傾倒的可能性。

(四)風力

風能需要在樹內消散或轉移到樹根和土壤。在低風速下，樹葉和樹枝的晃動會消耗大部分風能。隨著風速的增加，枝條的晃動也越來越大。當風力大到足以彎曲樹幹時，更大量的能量會經由通過樹幹和樹根系向下傳遞到土壤中。

樹木通過以下方式對風做出反應：

- 1.樹葉、細枝和枝條的流線化。
- 2.減小高度或增加直徑。
- 3.改變樹根生長。
- 4.發育較小的葉和較短的節間。
- 5.形成較厚的枝條連接點。
- 6.形成反應木。

陣風和亂流在樹上以不同的頻率和強度產生負重，導致複雜的動態反應。風用一個看似不協調的方式以不同的方向晃動枝條。這種不協調的晃動用於消散風能並減緩較大枝條的晃動，該過程稱為量體減震，這導致樹幹負重和振盪的減少。具有不同直徑和長度的枝條和細枝透過在不同負重下不同的速度的晃移來增加減震。如果樹木沒有內部或下部枝條，則在樹冠內具有較少的減震，因此更多的力會被傳遞到樹幹，這可能導致樹幹或樹根的更高的應力。

當樹木靠近其他樹木或建築物，或樹冠內有正常的枝條成長時，當樹條相碰撞，能量也會傳遞或消散。樹木還可能在強風中失去樹葉、細枝和枝條，在過程中將能量消散，並透過提供較小的迎風面積來降低風阻。枝條損失可能會不利地降低減震和樹枝碰撞的量，並會造成因損失裸露的枝條遭受額外的應力。

(五)評估負重

我們已經確定負重是樹木傾倒的一個重要因素，當負重超過負重能力時便會發生傾倒。因此我們必須考慮將負重作為樹木風險評估的一部分。有複雜的方法能測量樹上的負重，並透過建模和計算來預測這些負重將如何傳遞和消散，僅有少數樹木風險評估者有如此的工具或知識。已有更實際的負重測試方法（詳述

於第 2 章) 可以用於測試樹木對預測負重的強度。這種測試在一些樹木風險評估中是合理的，然而大多數評估並不涉及進階測試技術，因此我們必須採用更基本的方法來評估潛在負重及其對樹木的影響。

第一步是考慮來自樹本身的負重，以及從風、冰、雪、雨或其他因素預期的負重，然後評估這些負重將作用的區域。考慮樹冠尺寸和形狀、樹葉密度和橫切面面積。尋找應力集中點，如潰瘍、破裂、尖銳彎曲和其他可以放大應力的因子。考慮槓桿臂的長度（樹高、枝條長度），其會增加作用力，特別是那些與應力集中點相關的槓桿臂。尋找不平衡或不對稱的樹冠，延伸超過樹冠的邊緣的枝條可能導致樹木或枝條扭曲，導致其傾倒，這是因為扭轉力使木材易於傾倒。

當有強烈盛行風時，隨著時間的推移，樹木會讓其形狀更符合空氣動力。這種「旗杆」狀的樹木表現出較低的高度、單側的枝條、以及更小的流線型枝條和細枝。

(六)總結

當負重超過負重能力時，樹木具傾倒風險，因此我們必須考慮負重作為樹木風險評估的一部分。而負重導致之應力，具有四種主要類型：壓縮、張力、剪力和扭力。由於我們在數量上評估負重或強度的能力有很大的局限性，我們通常專注於相對強度損失或增加的負重。

- 1.在樹上施加負重的兩種自然力是負重和風力，它們的力量可因槓桿臂的長度增加而放大，因此一株高而獨立生長的樹木或獅尾樹枝則可能需要承受更大的壓力。
- 2.強度定義為承受應力而不失效的能力，一般來說溫帶樹種的木材在壓力下的拉伸強度約為強度的兩倍。
- 3.樹木可以容忍極大量的內部腐朽並仍然保持穩固，由於腐朽造成的強度損失經驗值只是一個考慮的起點當樹木的橫截面基本上不是圓形時，不應該應用腐朽不位於中心或當負重潛在性低的時候。

第八節、樹木檢查與評估

(一)前言

透過基礎評估記錄可能之缺陷，並評估可能增加或減少傾倒之條件及方法。但如何確認在何種狀況下，樹的哪一部分可能會傾倒，需要學習如何透過過往學習之方法判斷何處是必要檢查的。

當執行評估時，要注意樹木、腐朽真菌、缺陷及立地條件之間的變異性。負重估算通常缺乏準確度，而我們沒有絕對的臨界值斷定維持穩定性所需的實木數量和位置，且我們的模式對於預測傾倒仍有限度。因此我們必須認知，有許多不確定性仍存在於我們的評估中，我們必須很實際地看待我們所做評估的可信度，儘管如此，我們能拿到越多的資料，就越有能力理解、審視整個資料，而能越提升評估的準度。這個章描述常見的結構性缺陷及條件，討論影響傾倒可能性的反應成長模式，並提供準則來分級傾倒的可能性。

(二)何謂缺陷

缺陷(Defect)常被定義為減少樹木結構性強度的傷口、生長勢、腐朽或其他條件。缺陷有許多不同的形式，每一種都有其與樹木強度或穩定性間的含意。

(三)分級傾倒斷裂之可能性

傾倒、斷裂是基於缺陷、整棵樹或部分樹體的結構條件、預期所承受的負重、立地條件及天氣評估來分級，各傾倒可能性的定義如下：

表 1-3、傾倒可能性描述表

即將發生	傾倒、斷裂已經開始，而且最近極有可能發生，即使沒有任何強風影響或外在負重的增加。
很可能	在特定時間範圍內，傾倒、斷裂可能會在正常的天氣條件下發生。
可能	在特定時間範圍內，傾倒、斷裂可能會發生，但不大可能發生在正常天氣條件下。
不太可能	樹木或枝條在正常天氣條件下不太可能傾倒、斷裂。且在特定時間範圍內，即使在嚴峻的天氣條件下也不太會發生。

(四)一般性考量

小心衡量樹冠、枝條排列及單一枝條的狀況，可找出大量關於樹的生物力學條件，某些枝條排列及連結形式與傾倒、斷落的可能性有高度相關。

曾歷經枝條斷落的樹木，在未來枝條斷落的可能性極高。我們應找出弱連結、腐朽、衰弱、不當的重量分布，或其他與之前傾倒、斷落相關的缺陷。其他相似結構枝條傾倒的可能性為「可能」至「很可能」。

樹幹的剖面可能提供一些關於內部結構弱點的線索，一個垂直的樹幹，大概是圓柱狀或帶點橢圓形，如果切面是一個不大正常的形狀，通常暗示有主要的內部問題存在而需調查。除了目視可見的缺陷，像破裂、肋狀物(Rib)、膨脹凸出(Bulge)及樹洞(Cavity)外，不正常的樹皮特性通常也暗示內部結構有問題。

鬆脫的樹皮、破裂的樹皮、顏色不正常的樹皮，以及樹液流出或漏出的樹皮皆為潛在缺陷指標而應被檢查，如此現象已存在好幾年，必須調查看在病徵區域後有是否有機械性的損傷或腐朽。

幹基部的平滑區域，可能表示產生纏繞根或生長受阻，例如遇到岩石或地下公共設施。其他根部相關的問題，像是被掩埋的板根可能影響根的腐朽或反應成長，進而影響樹的穩定性，如果根遭截斷、腐爛、斷裂、被破壞或受限制，它們會提供比較少的固定力。除了根的結構問題，有些土壤會造成結構強的根系過度移動，特別是當土壤飽水時，而這也會影響穩定性。

由於根系位於土面下，故若發生問題很難被察覺，相關的傾倒也很難被預測。樹的土壤和立地條件，通常可以提供改變發生的資訊，這些改變會造成根系損傷或影響土壤強度。

(五)枝條連結及相關缺陷

通常當主枝直徑至少需大於分樹枝的 2 倍、枝條間為 U 型連結，且具足夠之木材穩固支撐枝條時，枝條的連結強度最強。等勢幹、內生樹皮及不定枝，都代表一個潛在的脆弱點，特別當結合其他外在因素時，會增加傾倒、斷裂的可能。

1.死亡、斷裂及懸掛枝條

葉片及芽點萎凋、死亡或剝落的樹皮，都是條枝死亡的徵兆。在某些樹種，死亡的枝條可能好幾年仍然維持物理性的穩定。當死亡之部位量體越大，且距離標的物越高，則有越高的危險性。死亡枝條斷落的可能性為「可能」至「即將發生」，端看樹種、枝條重量、腐朽型態與範圍。

斷裂的枝條通常經歷結構性的傾倒，它們可能在斷裂點仍然維持部分與主幹連結，或者可能完全與主幹分離而開始掉落。若斷裂的枝條仍停留在樹冠上，則稱懸掛枝，懸掛枝會持續掉落，端看它如何被支撐及其是否腐朽，大部分懸掛枝斷落的可能性為「很可能」至「即將發生」。

2.不定枝

當枝條與主幹的木材隨著時間一同成長時，便會產生較強之枝條連結。因暴風雨造成的斷裂、獅尾式修剪或截幹修剪產生的不定枝，如徒長枝，則為較弱的連結。因在短時間內，相較於同直徑的正常枝條，其只會產生較少的木材來支撐

枝條。如果這些枝條較靠近毀損枝條的末端，腐朽會從開口產生，然後進一步減少這些枝條的連結強度。如果腐朽並未發生，這些枝條的斷落應該考慮為可能。如果腐朽發生，傾倒、斷落的可能性應該被考慮成很可能，端看負重與重量的分布。如果有大量的支撐木材產生，且沒有腐朽，傾倒、斷落的可能性會減至「可能」或「不太可能」。

3. 等勢枝

兩個樹幹或樹枝有大致相同的直徑，且自相同的點長出稱作等勢。當枝條的直徑小於主幹的 $1/2$ 時，通常會發展出較強壯的枝條連結，當枝條跟主幹的直徑相似，連結度會變弱。樹幹的生長方向、重量分布及枝條形態皆可能會影響連結點的壓力，進而影響斷裂的可能性。

斷裂的可能性也被連結點的形狀、內生樹皮的存在與否所影響。U 型樹幹比 V 型樹幹更加強韌，V 型等勢幹劈裂的可能性通常是「可能」至「很可能」，而 U 型的樹幹連結劈裂的可能性是「不太可能」至「可能」。

內生樹皮位於枝條跟主幹之間，或是在等勢幹之間，其會減少連結的強度。具有內生樹皮的枝條，其劈裂的可能性端看枝條所承載的局部壓力。連結處有破裂現象會增加劈裂的可能性。在連結處出現反應成長，顯示枝條遭受扭曲(變形)。如果有足夠的反應成長，劈裂的可能性會減小，而若破裂現象直接出現在反應木，可能劈裂的可能性會增加。

4. 多重枝條

當許多枝條源自於同一個點長出，將沒有足夠的空間發展木材來提供足夠的支持，這種形式的枝條，相較於大小類似的單一枝條，會有較弱的連結。對某些樹種而言，此時會傾向斷裂，枝條斷裂的可能性應該被考量為「可能」至「很可能」，端看負重、重量的分布以及連結點的形狀。如果破裂或腐朽出現在多重枝條連結點附近，斷裂的可能性會增加。

5. 過長枝條

過長枝條是指長出正常樹冠範圍的枝條。在強風、凍雨及暴風雪下，正常樹冠範圍外的枝條會經歷較高的負重而導致斷裂。在其他條件相同的情形下，水平枝條的連結點會比向上長的枝條強韌。

(六)樹幹缺陷及條件

1.傷口和潰瘍

過去修剪的傷口、洞口、殘枝、傷痕、樹皮缺損或由機械外力、動物、昆蟲所造成的傷口，皆為腐朽菌入侵的潛在點。此區的木材可能會損傷、結構性弱化或整個消失。當發現這些特徵時，即可能存在腐朽。要看到樹木內部的腐朽狀況有時不太可能，但可以試著找尋指標。傷口附近明顯的癒傷組織，即顯示樹有強烈的反應來包覆腐朽。在受傷區域的內部，具明顯的癒傷組織及鬆軟或缺失的木材，可能表示為嚴重腐朽的區域。傷口造成的根部腐朽因為不大容易被察覺，通常會被低估，故需較多的時間來進行進階根系評估。根的腐朽有可能會比初步調查時所顯示的更嚴重。樹基部的腐朽可能表示根部的腐朽，因為大部分會造成樹基部腐朽的真菌，都會從根部開始影響。要在受傷的地方尋找腐朽的病兆，有時會有真菌的子實體結構作為指標。腐朽的病徵則可能包含生長速率的改變、葉色的改變、或樹冠單處或多處的枯梢。

潰瘍(Canker)是指因病害或重複性的機械傷害，所產生的死亡或瀕死木材、形成層或樹皮區域。導致潰瘍的生物會從樹皮的傷口影響樹木，它們傾向會在休眠期時生長緩慢，然後會在活動旺盛期圍繞在新的癒傷組織。擴散性潰瘍較淺，然後會快速的在樹皮變嚴重，通常會超過整棵樹的防禦能力，樹皮在邊緣的部分會變色。如果缺少新木材生長或大量流失邊材，潰瘍可能會影響傾倒、斷裂的可能性，大的潰瘍表面會吞噬大範圍樹幹。依照準則，如果腐朽超過樹幹圓周三分之一，傾倒、斷裂的可能性會增加，端看樹種、暴露的程度、及腐朽是否已出現。一些病害性潰瘍能影響任何階段的樹木種類，而且會殺死樹木，通常會從樹冠開始往下散佈到樹幹。

2.膨脹凸出

膨脹凸出(Bulge)是形狀與其他部分樹木不相符合的明顯生長區域。膨脹凸出通常為反應成長，是對內部腐朽、破裂及傷口的反應。當樹幹中空且殘留的外壁很壁時，樹的重量往下擠壓樹幹而導致局部壓縮傾倒、斷裂，也可能造成鼓起。樹木因為反應移動所生成的新組織也會產生膨脹凸出，所產生多的木材會在較虛弱的地方強化木材結構，類似的效果可以在對外樹洞開口及其周圍的新組織發現。膨脹凸出也常出現在根領，且通常表示兩個問題。其一為根部腐朽導致的木材缺失，延伸至樹幹基部引起反應生長，而加厚腐朽周圍的殘留外壁。或膨脹凸出可能為接觸壓力的反應，於該處樹木會生長對抗並環繞附近的物體如水管、舊的欄杆或岩石。

有些特殊形式的膨脹凸出可以在等勢幹的兩側發現，一旦枝條成長至某個程度，往內生長已不再可能，新的組織通常會在新的一邊生成，形成一個明顯的膨脹凸出橫跨兩個枝條。膨脹凸出總是在兩個枝條的相對側，下方通常有內生樹皮且腐朽可能存在。在生長旺盛階段，通常會看到膨脹凸出破裂，因為兩個枝條往不同方向生長。這個地方通常是高度壓力區，劈裂現象非常常見。在某些例子，特別是兩個或三個樹幹於接近地面處連結在一起並受到壓縮，可以觀察發現側邊鼓起，往外形成一圈繞著樹幹的周圍，這顯示著壓力已經被散佈到整棵樹。

一個橢圓形的樹幹或枝條(在相對側有膨脹凸出或肋狀物)，最有可能具平面剪力破裂，伴隨著新的成長圍繞在破裂周圍。或者在兩個等勢幹下方，新的木材膨脹凸出成長超過兩幹的底部而蓋住破裂，然後包覆內生樹皮。

偶爾可能會在枝條上方或下方連結處發現膨脹凸出，這種形式的膨脹凸出指出內部問題，像是腐朽或破裂。如果膨脹凸出是在水平面，則可能為重力超過了連接點的力量(水平剪力平面形成)，且新的支撐木材已經長成。上部或底部的鼓起可能是垂直的破裂，是由不規則的風造成(側邊移動)所產生。至於其他所有膨脹凸出，需要更仔細的評估，以了解缺陷或條件的嚴重性。

3.皺摺

反應成長及重力影響可能在彎曲的樹幹或枝條造成皺摺，通常在具有光滑樹皮的樹木上更明顯。如果沒有破裂或漏出的徵兆，那皺摺應不會影響傾倒、斷裂可能性。如果皺摺與破裂或彎曲變形相關，或有汁液漏出，則顯示皺摺下方有腐朽。

(七)根部缺陷及條件

1.死亡、腐朽或缺失根

死亡、腐朽或缺失根可以透過根領的樹洞、延伸至土層線的潰瘍、或可見的修剪或破裂殘根來辨認，當斷裂或腐朽的結構根比例增加，可能會使傾倒可能性增加，而反應成長的出現則會減少傾倒可能性。

2.根領異常及樹基腫大

在樹基部大於正常大小的根領，及融合的板根可能表示根部的腐朽。這些狀況都是反應成長的形式，代表缺陷的存在，然而它們又同時增加抵抗彎曲的力量。

3.覆蓋根領

對大部分開放生長的成熟樹木，如果看不見板根，則很有可能土壤已埋住部分樹幹，此現象可能加速邊材或心材腐朽。

4.纏繞

帶子、鍊子、繩索、岩石、水泥或其他物品，緊密擠壓樹基或板根，使生長及反應成長會被纏繞問題嚴重限制，而導致健康及穩定問題。

5 樹幹平滑區域

根領平滑區域可能表示缺失根、纏繞根或根成長受阻，像是遇到岩石或地下公共設施。

6.滲出

從樹幹底部或板根漏出通常與根的疾病有關，根的疾病可能影響樹的健康，如疫病菌(*Phytophthora*)，或影響穩定性，如蜜環菌(*Armillaria*)。

7.不定根

當樹幹被掩埋或失去根功能，不定根會開始發展。它們表示根部的問題，且為一弱點的補償作用。某熱帶樹種，若不定根出現在連結點，可能表示有破裂，應深入調查。

(八)腐朽

腐朽被視為是一個重大缺陷，可能影響枝條、樹幹或根。大量腐朽的木材或缺失的木材可能會減少樹的結構性強度，然而腐朽的出現並不總是代表樹已經被明顯弱化。

(九)破裂

破裂指木材纖維的分離，它們是由於過多壓縮、張力或扭力所形成的局部傾倒。霜害也有可能形成破裂。一些破裂較明顯，其他則較小。破裂為過度負重的指標，應該要被詳細調查，以了解是否影響結構的完整性。

破裂會沿著或跨越根、樹幹或枝條發生，而當經過樹皮時便能發現。沿著枝條或樹幹的縱向枝條破裂稱作平面剪力破裂，常發生在當風、雨、冰雨或雪過度負重於枝條或樹幹時。當枝條或樹幹受到扭轉壓力，或等勢幹連結點的下方劈裂時，也可能產生破裂。不管有沒有腐朽存在，破裂都有可能發生。破裂下方的木材可能完好、腐朽或完全缺失，破裂的種類有：

- 1.表面破裂於樹皮表面開始深入木質
- 2.破裂從木材內部開始而延伸至外部
- 3.破裂延伸至枝條、樹幹及根

一般樹種對於破裂的反應是沿著邊緣製造癒傷組織及創傷木，經過一段時間後，這個反應成長可能會變成開口，創傷木終究會相連而形成肋狀物。如果裂縫兩邊的木層融合，它們就會連接，而破裂會被完全包住。當評估破裂時，我們應該試著決定下列幾點：

- 1.破裂範圍，包含長度及深度

2.腐朽存在與否

3.反應成長存在與否

4.破裂形成的原因

5.傾倒的可能性

剛形成且與腐朽有關的破裂，可能會增加傾倒的可能性，通常為即將發生的層級。無腐朽但穿透整個枝條或幹的腐朽，會大幅提升他壞的能性至很可能或即將發生。有創傷木包圍的破裂，包含破裂的頂點，會有較低的傾倒可能性，破裂發生在根、樹幹或枝條的短軸為深度腐朽，傾倒的可能性是很可能到即將發生。

1.剪切面破裂

沿著或接近長軸(垂直沿著樹幹或沿著枝條)的破裂稱作剪切面破裂。當某個部分被彎曲時，它們會發生在介於引張力和壓縮的過度區間。如果一個明顯破裂只在斷面的一側，可能是由扭力造成。如果平面剪力裂縫在兩側都非常明顯(180度分開)，整個構造(枝條、樹幹或根)則會分離。平面剪力破裂可能由於重力、雪、冰或風的過度負重，使樹幹或樹枝上造成彎曲力所產生。在枝條上，這種現象有時發生在有弧度的枝條。

如果上述的分離並沒有造成完全的傾倒，則將產生兩片獨立的木材，使整個樹幹、樹枝或根的強度減低。如果造成破裂的力量並沒有再發生，則樹木會發展反應成長，會看到皺摺分布在破裂旁邊。小心調查破裂以決定它的程度與內部狀況，在某些例子，因為基部有腐朽，平面上的剪力破裂會出現在樹幹，在這個狀況下，應該要鑑定腐朽菌病原體，且考慮是否具嚴重的根腐問題。在根或枝條，因為平面剪力破裂造成的進一步傾倒非常難預測，傾倒的可能性會是很可能到即將發生。

2.破裂與腐朽

有時候會發現破裂與內部腐朽問題同時存在。當薄的外壁因為壓力或扭力而破裂，可能會發現破裂出現在樹幹或枝條的單側或多側。單側的垂直壓縮破裂

通常發生在樹的壓縮側。扭力破裂通常是螺旋狀的，而且可能發生在樹的任何一側。表面破裂並沒有延伸進入木材，可能不會是嚴重的結構問題。如果樹木多側發現破裂，代表有嚴重腐朽縱列，且樹幹因負重彎曲或扭曲。想像當一個橡木桶被壓扁時，在壓扁的瞬間，每一個木板都會往外彎，而破裂會出現在每個木板間。在這些案例中，傾倒的可能性應該被考慮為很可能到即將發生。

破裂的深度及周圍中空可以透過探測裂隙的開口而決定，大範圍的腐朽以及剛發生的破裂通常會導致即將發生的傾倒可能性。水平破裂並不常出現在樹幹，當它發生時，樹的木材纖維可能會因為壓縮而毀損，此時容易發生傾倒，但可能需要好多年的時間，或者它可能是一個即將發生傾倒的前兆。

3.霜裂與解凍破裂

在寒冷的氣溫下，樹木暴露在陽光中，可能會造成霜裂與解凍破裂，霜裂會出現在樹幹或枝條的任何一側，然而解凍破裂特別常出現在南側及西側的樹幹(北半球)，或者在枝條的上表面。解凍破裂常出現在極冷氣候下快速升溫時，木材中心完全冷凍，但外部表面會升溫並陸續產生解凍膨脹，而使木材外部表面裂開。霜裂與解凍破裂都會產生明顯的肋狀物，而且有明顯的週期或定期的癒合組織傾倒痕跡。淺表破裂較深入結構的破裂不重要。

4.接縫

接縫為破裂或傷口處的兩塊樹皮邊緣相接，如果接縫後面是實木，接縫所造成傾倒的可能性為不太可能到可能。然而如果接縫掩蓋住舊的腐朽或破裂，端看腐朽的程度、負重的承受及重量的分布，傾倒在接縫的可能性是可能到很可能。

5.肋狀物

肋狀物為新木產生的縱向區域，是對結構弱化產生的反應，它們通常為破裂的指標。經過一段時間，反應成長可能會掩蓋住弱化區域，留下不規則圖案的樹皮、肋狀物或膨脹凸出。如果肋狀物有尖銳邊緣，破裂可能非常靠近表面。如果肋狀物裂開，應該要被視為破裂來衡量。如果樹木產生新木材完全蓋住破裂，將

會產生較鈍化的邊緣，而破裂會被深埋。肋狀物若蓋住封閉的破裂，應該要被視為接縫衡量。肋狀物可能會以螺旋狀的方式圍繞在樹幹，且可能為不連續的，這表示裡面有一個扭力破裂系統。很多樹種有螺旋狀紋理，而容易產生螺旋肋狀物。

(十)樹木結構

樹的成長及枝條特性可影響一棵樹如何在風中移動、如何分配樹冠負重及樹的穩定度。當有不正常的樹木結構，其他結構缺陷的問題將會變得更明顯。

1.傾斜

傾斜是樹幹與地面的垂直角度。對大部分的樹種而言，當鄰近其他樹木或建築物時，樹木會朝向陽光傾斜生長。傾斜的樹木可能會穩定一段時間，特別是它們以反應成長及重新定向樹冠成長，來進行自我矯正。然而傾斜的樹木可能較不穩定，因為樹的重量不均勻地散佈在樹幹及根系，若樹並沒有矯正傾斜角度且位於斜坡，通常會比直的樹木或矯正的樹木不穩定，而土壤不穩或水分過多會使不穩定的狀態變嚴重。

樹木可能因為樹幹下部或根部的傾倒，或土壤條件使過多根系移動而產生傾斜。如果傾斜的角度在短時間內快速增加，應做立即檢查。傾斜面對向側的土壤提高(引張側)或傾斜面的土壤下陷(壓縮側)可能表示著根或土壤正在傾倒。傾斜的角度可透過許多方法決定，包含檢查照片或使用傾斜儀、量角器或數字水平儀。一株傾斜樹木的殘留穩定度可透過負重測試來決定。近期傾斜樹木的傾倒可能性通常是很可能到即將發生。

2.矯正的傾斜樹

矯正的傾斜樹(鏟形樹)通常下半部的樹幹會傾斜，頂端卻是筆直。當樹長在樹群邊緣時可能會產成這種形式。這種樹在一般狀況可保持穩定，但在負重增加下可能會較筆直的樹不穩定。鏟形樹也會發生在樹木因部分傾倒而傾斜，但經反應木成長使樹冠變直的情形。矯正的傾斜樹通常為不可能到可能的傾倒可能性。

3.弓形彎曲

弓形彎曲是樹幹的上部傾斜超過下方主幹，而造成弧狀的傾斜特徵。它們代表樹木材纖維部分的傾倒，通常為雪或冰的負重或強風所造成的結果。傾倒可能性和尖削度有關，具有良好尖削度的樹較不可能變成弓形彎曲。大部分的樹木不大可能從弓形彎曲所造成的傷害中復原。弓形彎曲的樹木應檢查是否有縱向破裂，如果樹木並沒有透過補償作用增加樹幹直徑，弓形彎曲樹木傾倒的可能性是可能到很可能。如果破裂存在，則傾倒可能性為很可能到即將發生，特別是樹木暴露在風、雪或冰凍雨之下。當樹木長在樹群邊緣也可能會發展成為弓形彎曲，這些樹在正常狀況下可能會維持穩定，但在增加負重的狀況下，穩定度會比筆直的樹低。

4.單邊或不平衡冠

理想狀態下枝條會垂直及水平均勻分布於樹幹，有均勻枝條分布的樹傾向能均勻分布負重至樹幹，減少樹幹及根傾倒的可能性。如果樹木靠近其他的樹或建築物、具不均勻的樹冠枯梢、被暴風雨損毀或者被單側修剪，它的枝條可能會因此集中在一邊(不對稱的樹冠)。在大部分的案例，樹木會產生反應木來支撐不對稱的樹冠。當其他問題如當根的固定性降低，不對稱的樹冠會導致傾倒。

5.尖削度、活冠比、高度/直徑比

尖削度是從樹幹、枝條到根部由粗而細的直徑變化，它對平均分散機械式壓力十分重要。尖削程度反映出樹有足夠的能量產生一致的成長，樹冠小且高的樹較不可能產生一致的成長量(與相同高度但樹冠大的樹比較)，因為能量的製造和活冠量有關。

活冠比(Live Crown Ratio, LCR)是樹冠高度除以整株樹的高度，樹種、生長狀況、修剪歷史、枝條傾倒紀錄及枝條自然脫落的程度都會影響樹冠比。當樹木長在密集地區，自然會有較低的活冠比，但也能由樹冠提升所造成。如果樹原本生長在森林條件而最近被暴露在強風的環境下，低活冠比可能會形成問題。通則為如果活冠比少於 1/3，則傾倒的可能性會增加，但是必須要再進一步考量立地

的特性，以決定 1/3 的門檻是否需要被改變。

機械式壓力與樹高或枝條長度有關，在所有其他條件均相同下，若一株高樹與一株矮樹有相同直徑的樹幹，因為力矩較長，高樹在樹幹底部會有較高的壓力。其中一個計算尖削度的方法，是將樹高除以樹幹或枝條的直徑(H/D)，當 H/D 數值較大時，比起有中至高尖削度且 H/D 較小的樹木，可能更容易傾向傾倒。關鍵的 H/D 數值介於 50:1 到 90:1，但是有各種因素影響實際的壓力承受，包含樹幹的形狀、木材的強度、樹冠的型態及風的暴露情形，因此 H/D 比例很少用來單獨作為評估傾倒可能性。

尖削度的問題並不適用評估棕櫚樹或未受干擾的森林地區，因為這些樹被其他樹群圍繞而受到保護，因此免於傾倒及風的影響。某些熱帶硬木樹種，可能不用顧慮低活冠比造成傾倒的可能性。

(十一) 總結

樹木風險評估的一個重要部分是分級枝條、樹幹及根傾倒、斷裂的可能性，目視評估包括檢視並決定缺陷的嚴重程度及結構問題，一些結構缺陷或條件可能會比其他因素更容易導致傾倒，單獨的缺陷或條件可能不會表示一個嚴重的結構問題，但如果和其他條件結合，就可能導致傾倒風險。我們必須認知到評估存在大量不確定性，而要現實的面對我們評估的可信度，蒐集更多的資料能使我們更準確的評估現況，而使預測更準確。

- 1.樹木檢查及評估中我們應考量樹木的缺陷、反應成長及可能增加或減少傾倒可能性的條件。
- 2.缺陷包含受傷、成長模式、腐朽及減少樹木結構強度或穩定度的條件。
- 3.除了常見的缺陷像受傷、破裂、腐朽及不規則的生長，某些特有的枝條排列及連結的型態也與高傾倒率有關。
- 4.樹種、腐朽的程度與位置、是否出現其他缺陷、預期負重及反應成長量，會決定與腐朽相關的傾倒可能性。

5.剛發生且和腐朽相關的破裂、發生橫跨樹木短軸的破裂及穿透全枝條或樹幹的破裂，會大幅增加傾倒可能性。

6.因為樹木的成長和枝條特性會影響負重如何分布，當樹木出現結構異，結構缺失上的問題會變得更重要。

第九節、 資料分析與風險分級

(一)風險分級程序

當樹木已作好檢查，並記錄樹木缺陷狀況及立地的環境條件後，便可將所得的資料進行分級，藉此來推算樹木的風險程度。一般來說，計算樹木風險需考量的因子共有 3 項，其一為樹木在評估時間範圍內發生斷落的可能性，其二則為樹木斷落後撞擊標的的可能性，最後便是斷落後會造成的後果，接著透過計算的流程，便可推導出樹木的風險等級。

表 1-4、生育地因素對斷落可能性影響表

生育地因素	與增加斷落可能性的關聯	斷落可能性因而降低或不影響
風速	超過當地正常最大值的異常風 (例如颶風、龍捲風、微爆)	風速不超過當地正常最大值
土壤水份含量	過度潮濕或積水的土壤	乾燥土壤
土壤深度	淺土，特別是如果容易發生積水	深的土壤
地形	山嶺頂部，新的暴露情況	山谷、受風少、適度的水份含量
暴露	最近暴露的森林中樹木	開放型生長樹木已適應曝露狀態

(二)斷落的可能性

斷落的可能性是指樹木在評估時間範圍內發生傾倒、折損或劈裂等事件的機率，需要考量的因子除了樹木本身的基本結構外，也與樹木的缺陷狀況，反應

生長及負重有關。並非所有的缺陷都會對樹木結構有重要的影響，舉例來說，樹幹傾斜 10 度對大部分樹木都不是太大的問題，但若同時在樹基有一個大型腐朽空洞，空洞周邊缺乏反應生長且樹木又有明顯負重，斷落的可能性便會大幅上升。

在考量斷落的可能性時，氣候因子也是考量的因素之一，如強風、大雨及下雪等，這些因子會改變樹木的負重，造成樹木缺陷處更容易遭到破壞，大部分的樹木斷落通常都會發生在風雨超出當地標準時，無風雨時發生斷落的情形一般較為少見。

在評估斷落可能性時，需先訂定評估的時間範圍，在不同的時間範圍下，評估的結果可能會有所不同，如經評估於 1 年內尚無虞的腐朽枝條，若將範圍拉至 3 年，可能就會有較高的斷裂機率。需注意時間範圍並不能作為風險評估的保證期，因為一些預期外的氣候或人為活動都會大幅影響斷落的可能性。

斷落的可能性依美國的分級方法，可分為不太可能、可能、很可能及即將發生四級(表 1-5)。

表 1-5、斷落可能性分級表

不太可能	在特定時間範圍內，樹木不會在正常氣候下發生斷落，也不會在惡劣氣候條件下發生斷落。
可能	在特定時間範圍內，斷落可能發生，但不太會在正常氣候條件下發生。
很可能	在特定時間範圍內，於正常氣候條件下便可預期斷落的發生。
即將發生	斷落已在發生中，或即使無風或負重增加，也極可能在近期發生，需立即採取行動以避免人員受傷。

(三)撞擊標的的可能性

其次考慮的因子是斷落部分撞擊標的的可能性。主要的評估方式為估算標的於樹木影響範圍內的滯留率，以及任何能保護標的的因子。舉例來說，一輛車長期停放在一根枯腐枝的下方，中間具其他樹木或人工建築物所屏蔽，儘管標的本身滯留的時間相當長，但撞擊的可能性會因有保護因子，有可能降至非常的低。

撞擊的可能性依美國的分級方法，可分為非常低、低、中及高四級(表 1-6)。

表 1-6、撞擊可能性分級表

非常低	代表斷落的樹木或部分樹體撞擊特定標的的可能性微乎其微。通常為完全暴露於受評估樹木的罕見滯留標的；或是偶爾滯留的標的，部分受樹木或建築物保護。如偶有行人的小徑，或離人們活動區域較遠的圍籬內。
低	斷落的樹木或部分樹體不太可能撞擊標的。通常為完全暴露於受評估樹木的偶爾滯留標的；或是經常滯留的標的，部分暴露於受評估樹木；或是受到良好保護的持續性標的。如鄉間小道、或偶爾舉辦活動時才會聚集人群的場所。
中	斷落的樹木或部分樹體可能會撞擊標的。如完全暴露於受評估樹木的經常滯留標的，或是受到部分保護的持續性滯留標的。如中等交通流量之街道，或僅白天開放的停車場、購物區之人行道、或頻繁使用的送貨區等。
高	斷落的樹木或部分樹體具很高的可能性會撞擊標的。通常為完全暴露的固定標的。如高交通流量之要道。

(四)斷落的後果

樹木斷落的後果會根據標的的價值與對其造成的傷害來分級。標的的價值較為主觀，常與樹木業主有關，因有些標的可能沒有明顯的市場價值，卻對樹木業主來說有巨大的情感價值，故評估時必須考量其觀點。

斷落的後果也取決於樹體大小、掉落特性、掉落距離和保護標的的因子。較大的樹體通常會有較大的破壞性，而撞擊的力道也會因距離或高度而增加。一株緊鄰兩層樓房的樹木，向房舍傾倒後可能只會對屋頂和屋簷造成少許的損傷。但同樣的樹木若自較遠的地方傾倒，掉落時的衝力可能會將房舍一分為二，此皆為必須考量的因子。

斷落的後果依美國的分級方法，可分為可忽視、輕微、重大及嚴重四級(表 1-7)。



圖 1-59、樹木傾倒造成交通號誌及車輛毀損，並造成交通中斷，斷落的後果為重大。

表 1-7、斷落後果分級表

可忽視	這些後果僅傷害低價值財產，或其破壞可被取代或修復，且並不造成人員受傷。如損壞草皮或圍籬、結構物些許受損且修復費不高或鄉間小徑內的交通中斷等。
輕微	這些後果造成低至中的財產損失、小幅中斷交通或通訊設施、或極小的人員損傷。如不需就醫的輕傷、結構物的輕微損傷、個別用戶的停電，以及次要道路暫時中斷等。
重大	這些後果造成中至高的財產損失、嚴重的交通中斷或人員的損傷。如人員受傷需就醫、車輛或房屋損毀、結構物高額的損害，以及主要道路中斷或長時間的堵車等。
嚴重	這些後果造成嚴重的人員損傷或死亡、毀損高價財產、或中斷重要活動。如嚴重的人員傷亡、車輛或房屋全毀或高壓電輸送長時間中斷等。

(五)評估風險等級

在將樹木斷落的可能性、撞擊標的的可能性及斷落的後果進行分級後，便可用來計算該樹的風險等級，其中最常見的方法為矩陣法，此方法共分為 2 個步驟，首先是將樹木斷落的可能性與撞擊標的的可能性結合，推算出樹木發生斷落且撞擊到標的的可能性為何，一般分為不太可能、有點可能、可能及非常可能四級，推算方式如下列矩陣所示(表 1-8)。

在得到樹木發生斷落且撞擊到標的可能性後，再與斷落的後果相結合，便可用矩陣推算出該樹的風險等級，風險等級依美國的分級方法，可分為極度、高度、中度及低度四級，推算方式如下列矩陣所示(表 1-9)。

樹木大多具有一個以上的缺陷，並可能具有多個風險標的。舉例來說，一株根部嚴重腐朽的樹，可能同時也有嚴重的枯枝。樹木可能會因根部腐朽而傾倒，而枯枝本身也有斷落的可能。同樣地，樹木傾倒可能會壓到建築，而枯枝則僅會掉在車道上。故當評估一棵樹時，需獨立衡量各個因子，針對各因子計算其可能的風險，最後從所有的組合中，篩選出風險等級最高者，作為這株樹木的整體風險等級。

舉例來說，當一株樹的主幹不太可能發生斷落，但卻可能造成重大的後果時，其以矩陣得出風險等級為低度。但其枯枝非常可能斷落並撞擊標的，雖後果輕微，以矩陣得出風險等級為中度，故最後得出該樹的風險等級應為兩者較高的中度。當以樹群為對象進行樹木風險評估者，便可以用這種評級方式，決定那些樹木應優先採取改善措施。

表 1-8、斷落與衝擊標的可能性分析矩陣

斷落可能性	撞擊標的可能性			
	非常低	低	中	高
即將發生	不太可能	有點可能	可能	非常可能
很可能	不太可能	不太可能	有點可能	可能
可能	不太可能	不太可能	不太可能	有點可能
不太可能	不太可能	不太可能	不太可能	不太可能

表 1-9、斷落與斷落後果的風險等級矩陣

斷落並撞擊可能性	斷落的後果			
	非常輕微	輕微	重大	嚴重
非常可能	低度	中度	高度	極度
可能	低度	中度	高度	高度
有點可能	低度	低度	中度	中度
不太可能	低度	低度	低度	低度

表 1-10、風險等級及建議行動說明表

極度	風險管理者應建議要盡快採取緩解措施，或立即限制進入標的區域避免人員受傷。
高度	樹木風險評估者應建議採取緩解措施，該措施的內容及處置時機，則取決於樹木業主或風險管理者對風險的容忍度。
中度	樹木風險評估者可建議緩解措施及(或)保留並監測，該措施的內容及處置時機，則取決於樹木業主或風險管理者對風險的容忍度。
低度	部分樹木可能需緩解或維護措施，但行動的優先度相對較低，且不須將樹木移除，樹木風險評估者通常會建議保留並監測這些樹木。

(六)風險衡量

雖然樹木風險評估者能透過分析評估並分級出樹木的風險等級，但風險的容忍度及行動臨界值卻因人而異，故必須配合樹木業主的需求，方能決定如何採取相對應的措施。

讓樹木維持完全無風險是不可能的，為了獲取樹木所提供的益處，接受一定程度的風險也就成為必然。可接受的風險是指樹木業主或管理當局所能容忍，或是低於明確臨界值的風險層級。市政當局、公共事業或財產管理者可能具法律、法規或風險管理計畫來定義可接受的風險層級。安全不一定是風險管理者建立可接受風險層級的基準，預算、樹木的歷史或環境意義、美觀等因子都會在作決策時加入考量。

第十節、報告

當執行完樹木風險評估作業，評估者必須清楚地向委託人表達評估的內容、結論及建議，常見的方式為書面報告，有時也會以口頭或影像的方式，或是多種方式相結合。

(一)書面報告

書面報告的形式可以是電子郵件、工作表單或是一份完整的報告書，無論是以何種形式撰寫，基本都應要包含評估的日期、人員、地點及清楚的狀況描述。

一份完整的書面報告，則通常會包含下列要素：

- 1.樹木風險評估人員的姓名、公司名稱以及評估日期。
- 2.本次作業目的。
- 3.被評估樹木的地點。
- 4.評估層級(有限的目視評估/基本評估/進階評估)及執行方法(VTA、木槌或阻抗儀等)。
- 5.描述可能的標的、滯留率、標的受撞擊的可能性、撞擊後的潛在後果等。
- 6.描述樹木的生育地因子，如氣候或土壤條件。
- 7.描述斷落的可能性，如樹木現況、結構缺陷、潛在負重及反應生長等。
- 8.風險評估的結論及樹木的風險等級。
- 9.緩解的建議與時程。
- 10.緩解後的殘留風險。
- 11.建議再次評估的間隔時間。
- 12.本次評估的限制。
- 13.其他委託人/機關所要求之事項，如長期管理計畫。

(二)口頭報告

相較於書面報告，口頭報告具有較佳的即時性，並能很快得到對方的回饋，節省撰寫書面報告及等待接收者閱讀等耗時過程，同時可透過直接的討論與溝通，了解委託人對風險的承受度，及對緩解選項的要求及偏好等，以作為制定風管理計畫的依據。對於雙方於口頭達成的結論與共識，後續可再以書面方式呈現。

在發現重大風險時，以口頭報告告知委託人是重要的第一步，但後續仍應盡速提供書面報告，以確認委託人有被完整告知且充分了解該項風險。

儘管口頭報告迅速、簡單且有效，但亦有其限制。如其中一方可能會對之前口頭約定的內容進行反悔，或在溝通過程中因表達不清，而忽略了一些重要的環節，故在口頭報告後，可用電子郵件或備忘錄進行簡單的書面總結，能有效減少

此項限制。

(三)影像

影像通常為利用影片或照片來記錄樹木的風險問題，作為報告時的附加資訊，除了能幫助評估者更清楚表達評估的內容，當樹木發生斷落需進行調查時，亦能成為輔助的證據。

作為報告的影片或照片，會依據呈現的需求，於上面進行標記或註記，或為了更精確紀錄現地的場景，將影像進行對比度、曝光度或色彩平衡方面的調整，但無論在任何情況下，修改拍攝物的內容都是不被允許的。

(四)樹木風險評估的限制

樹木風險評估的限制來自於評估過程中的各項不確定因素，故在撰寫風險評估報告時，應將評估的限制列入報告中，以下條列報告中常見的一些限制：

- 1.樹木風險評估僅考慮已知的標的和可見的樹木狀況。
- 2.樹木風險評估只能依檢查當下樹木及環境所呈現的狀態進行。
- 3.風險評估的時間範圍不應該被當作是此評估的保證期。
- 4.評估內容僅限於有被列入工作範圍的樹木。
- 5.任何樹木，不論其是否有可見的腐朽特徵或缺陷，如承受超過該樹所能承受上限的外力，都會發生斷落。

(五)檢查間隔時間

檢查間隔時間指每次檢查所間隔的時間，由於樹木的狀態與環境都會隨著時間進行變化，故樹木的風險等級與標的的價值等都會需要再重新評估，隨著檢查間隔時間越長，原有評估的可信度便會越低。

典型的檢查間隔時間一般介於一年到五年之間，但會依據樹木的年齡、風險等級、特定狀況、委託人目標及財力，或當地管理規定而調整。舉例來說，一株中等風險等級的樹木，檢查間隔時間可能為三到五年，而一棵高度風險等級的樹木，檢查間隔時間則可能為一到兩年，但如果是具明顯結構缺陷或是高價值的

樹木，在經歷大型颱風或周邊有建築工程時，便會建議再度進行檢查，以評估環境傷害對樹木狀態所產生的變化。

在規劃檢查間隔時間時，不一定以年作為單位，如將間隔設定為 8 或 16 個月，便能觀察樹木在不同季節的狀況，針對特定的樹木，亦可配合病蟲害或子實體好發的季節，有利評估樹木健康與腐朽發展的情形，而對於都市中鄰近大型電器設備的樹木，也可與設備的例行檢查清理作業相結合。

第十一節、緩解

當樹木完成風險等級的評估後，下一步便是要採取改善行動，以降低樹木可能造成的風險，此行動便稱作緩解。

緩解的措施可以由二個面向來進行，其一是以樹木為主的措施，常見的包含樹木修剪、支架支撐或樹木移除等，其原理為透過降低樹木斷落的可能性來減少風險。另一個則為以標的為主的措施，如將標的移除或圍設警戒區避免人員接近等，即透過標的的管理，降低撞擊標的的可能性及後果。



圖 1-60、褐根病樹透過圍設警戒範圍限制人員進入。

(一)以標的為主的緩解措施

在決定採取何種緩解措施前，尤其是針對一些經評估為極度或高度風險的樹木，標的管理通常會先作為臨時措施，透過暫時性的將標的移除或限制其進入，以求立即性的降低風險，有時基於成本考量或樹木業主的需求，這項措施也會成為永久性的變動。而在一些中度風險及高度風險樹木，將可移動的標的移走，或盡可能降低標的的滯留率，都是管理的選項之一。

(二)以樹木為主的緩解措施

1.修剪

修剪的方式主要包含樹冠清理、疏剪、樹冠減縮及樹冠提升，無論採取何種方式，都要以不影響樹木整體生長勢為前提。

樹冠清理是最常用以降低樹木風險的修剪方法，也就是將樹冠內會產生風險之枯枝、腐朽枝、衰敗枝或是連結不良的枝條修除，透過將具斷落風險或潛在斷落風險的枝條移除，達到降低風險的目的。

透過修剪降低樹冠負重亦為常見的方法，包含以疏剪增加樹冠內部的通透性，或是以樹冠減縮控制樹冠的大小，必要時並可配合支撐系統一起施作，以期有效降低枝幹的負重，但修剪時必須注意修剪切口位置，尤不可進行截幹式修剪，若修剪後傷口無法癒合，造成不定枝叢生或腐朽菌入侵的問題，反而為樹木帶來新的風險問題。

樹冠提升則可將阻礙行人車輛或遮擋視線號誌的下位枝條修除，但注意過度的提升樹冠會破壞樹木的尖削度，降低樹木對風的抵抗能力，反而會因此提升風險。



圖 1-61、透過修剪降低樹冠負重。

2. 支撐系統

透過支撐系統，可藉由限制樹木特定部位的活動性，減少斷落的可能性，常見的包含纜繩、地錨及支柱等。纜繩分為靜態纜繩及動態纜繩，主要設置於樹冠上層，可限制等勢幹或弱連結處的活動性，降低枝幹劈裂的可能性。地錨多用以固定樹木傾斜或腐朽的主幹，支柱或支架則常設置於傾斜枝幹或下位枝條下方，主要目的皆為減少樹木傾倒或斷裂的可能性。

支撐系統雖可降低樹木斷落的可能性，但同時也會改變樹木對於風力負重之反應，舉例來說，於樹冠處設置數條纜繩，雖會降低樹木受風力影響而劈裂的機率，但同時也減少了樹冠吸收風力的能力，造成下位主幹及根的負重增加。故建議在設置支撐系統時，需考慮對樹木全面的影響，而非只針對特定部位強化。



圖 1-62、樹木架設金屬支架。

3.樹木移除

在多數情況下，樹木移除都是最終或最不希望選項，但對於極度或高度的樹木，若無法移動標的或限制標的進入的，且難以依靠其他手段進行緩解，儘管該樹可能具有高度的生態或人文價值，基於公共安全的考量，仍需考慮將其移除。

在一般情況下，樹木通常能透過一或多種的其他緩解選項，將風險降低至可接受的等級，且樹木能提供許多環境、社會或經濟上的效益，故在執行風險緩解時，需於風險和效益間作權衡，應避免為了一味追求極度的安全而去將樹木移除。

4.棲地改良

透過環境的改良，可增加樹木的活力，促進樹木根系生長，改善樹木健康，並能讓樹木能透過反應生長，緩解因缺陷所導致的斷落風險。隨著時間的推移，新生的根系會增加樹木的穩定性，新生的木材也會強化原腐朽之主幹，達到降低風險的目的。常見的施作包含：

(1)以覆蓋物增進土壤條件，促進根系生長。

(2)改善棲地排水，降低樹木於風雨中傾倒的可能性。

(3)移除樹穴周邊鋪面，提供根領及結構根生長空間。

(4)移除樹基部周遭草皮，促進樹木根系生長。

(5)施肥改善元素缺乏狀況。

(6)鬆土以降低土壤壓實，促進樹木根系生長。

然而，以棲地改良作為緩解措施，有可能需要數年甚至數十年才能有明顯的成效，無法快速降低樹木的風險，故在樹木具極度風險的狀況下，並不建議單獨使用棲地改良作為緩解措施。



圖 1-63、移除樹穴周邊鋪面，提供樹木根系更多生長空間。

(三)殘留風險

殘留風險是指進行緩解處理後樹木仍存在之風險，即使是結構上毫無缺陷的樹木，都難免會有一些殘留風險。舉例來說，當樹木被移除後，殘留風險會趨近於零，但即便是樹樁，仍有絆倒行人之風險。故在進行風險評估時，殘留風險之高低需列入其中，以便決定適當的緩解措施。

緩解措施進行的重點，通常為樹木風險等級最高部分，但評估時仍須考量其他部分的緩解措施及其殘留風險，因為當最高風險等級處被緩解時，風險等級次高處常會成為該樹的殘留風險。

殘留風險的計算方式與計算原始風險的方法相同，只是改以各因子於緩解處理完成後的狀況來進行評估。通常在斷落可能性、撞擊標的的可能性與斷落的後果三個因子中，只有一個會受到改變，其中又以斷落可能性最為常見。

殘留風險的高低，需要能被風險管理者或相關人員接受。如果殘留風險超出可接受之風險層級，則該緩解措施就非該特定背景下的最佳行動方案，而須重新擬定。

(四)緩解的優先次序與時程

當維護管理對象的樹木數量較為龐大，如公園樹木、行道樹等，工作的排程是相當重要的，透過風險評估的結果，便可依標的、風險的性質、時間考量及緩解方式等面向，針對任務的需求來制定緩解措施執行的優先次序，同時讓具有類似風險的樹，能得到同樣的緩解處理。

當樹木的風險越高，其所能處理的時效也就越短，故緩解措施處置的方針及優先次序常以樹木的風險等級相連結，一般的建議如下：

- 1.極度風險的樹木應於當天或數天內盡快進行緩解。在某些情況下，應立即圍設警戒區限制進入，避免人員受傷。
- 2.在工作期程或修剪周期允許下，高度風險樹木應盡快緩解處理。時程應在幾周或幾個月內，並需趕在颱風期前完成。
- 3.中度風險樹木可執行緩解和(或)保留並監測。緩解會於預算、工作期程或修剪周期允許下執行，並建議於颱風期前進行。中度風險樹木通常不需要緊急處理，緩解行動在幾個月或幾年內完成即可。
- 4.低度風險樹木通常不需要緩解處理，但應被保留及監測。如有任何緩解處理建議，因其優先次序亦較低，會於預算、工作期程或修剪周期許可時才執行。

樹保高級題庫

第一章、樹木風險評估與實務

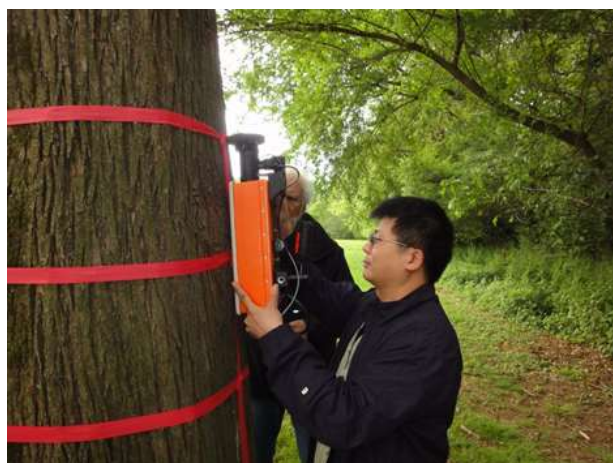
編者註：以下簡答題為作者提供教師與學員授課參考

簡答題：

1.	軟腐通常先分解纖維素，但也可以分解半纖維素和木質素，引起細胞壁空洞。請簡述常見之白腐、褐腐之腐朽分解方式。
答	感染初期病原菌會主要降解木質素，與不同程度的降解纖維素及半纖維素，留下潮濕、海綿狀之木材，其外觀常為白色或淡黃色。褐腐主要分解纖維素和半纖維素，留下木質素，故外觀上通常是褐色的。
2.	樹木腐朽區隔化 (CODIT) 之主要目的為何？ 四道壁中第 1 道壁主要防止腐朽垂直向上或向下擴散，請簡述其他三道壁防禦腐朽擴散之方式。
答	區隔化的目的是停止或減緩腐朽生物進入健康的木材。 第 2 道壁主要抵抗腐朽朝樹木中心的徑向移動； 第 3 道壁主要限制腐朽菌側邊或橫向擴散； 第 4 道壁主要防止腐朽向外移動。
3.	在檢查樹木外觀缺陷的階段，請列舉常見之根部缺陷。
答	死亡、腐朽或根系明顯缺失；根領異常膨大；根領受覆蓋；纏繞根；表面具滲出液；產生許多不定根。
4.	在檢查樹木外觀缺陷的階段，請列舉常見之枝條連結的缺陷。
答	枯枝、折斷枝、懸掛枝條、不定枝、等勢枝、過長枝條。
5.	在生長策略上，壽命長與短壽命之樹種對於環境之逆境有所不同，請比較兩者之差異性。
答	壽命長樹種，通常具良好環境適應力，並傾向利用較多之資源抵抗負面因子，且通常具較佳之傷口癒合及抗病蟲害之特性。 短壽命樹種，通常以新的生長克服環境逆境，並傾向利用較多資源盡可能的生長。
6.	計算樹木風險需考量的因子主要有哪 3 項？
答	樹木發生塌壞的可能性、樹木影響標的的可能性、塌壞造成的後果
7.	列舉 3 種以樹木為主的緩解措施？
答	修剪、支撐系統、樹木移除
8.	列舉 2 種以標的為主的緩解措施？
答	限制標的進入、移除標的
9.	列舉 3 種提供風險評估報告的形式？
答	書面報告、口頭報告、影音

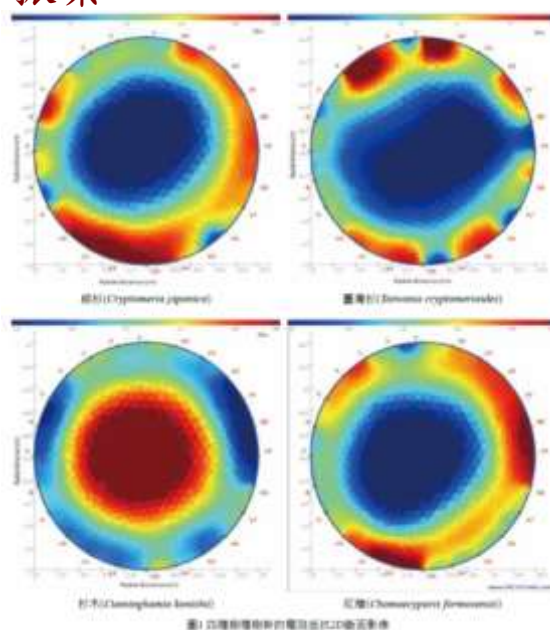
樹木保護專業人員教材

【高級】



第二章 進階樹木健康檢驗

林振榮



健檢與風險評估

第二章 進階樹木健康檢驗

第一節 緒言

都市中的行道樹、公園綠地及都會森林具有多種功能，如遮蔭、景觀、美化、固碳、水源涵養、防塵霾、飛砂防止、生態保全、生物多樣性確保、調節溫溼度、吸附汙染物、防噪音與防火等，這些功能與樹冠、主幹、根系、環境、土壤及生態系統等密切相關，並涉及樹木的生物性與結構性。樹木在時間與空間中展現其外觀與內在整體性，發揮生態效益。

雖然都市樹木對民眾而言利大於弊，但因樹木為生命體，必然隨時間老化、病變與死亡。為確保樹木能持續發揮功能、維持景觀與安全性，須進行健康與安全檢查，透過風險評估加強管理。

目視樹木評估法（Visual Tree Assessment, VTA）以目視檢查外觀表現，評估樹木危險等級及結構弱點。結構問題通常會由樹木內部反映至外觀，檢查可分為樹冠、主幹、根部及環境四部分。國際上以 VTA 及相關技術為主，如美國、日本已制定檢查項目與作業程序，國內亦參考推動，主要評估腐朽木材、根部問題、衰弱枝條連接、潰瘍、不良結構、枯死樹等七大類，或應用「樹木風險評估表」進行檢查。評估可區分為有限制的目視評估（Limited Visual Assessment）、基本評估（Basic Assessment）與進階評估（Advanced Assessment）三種等級。

多數樹木機能與樹冠、枝葉狀態密切相關，樹冠衰弱即功能退化的徵兆。樹木診斷首先測定樹高、樹冠大小、枝下高度與胸高直徑等基本性狀，並觀察枝葉量、延展性及主幹傷口狀態，比較判別健康程度。健全樹木通常具較高環境保全功能，因此綜合診斷的首要目的是正確評估樹木健全性，即其功能展現能力。目視判斷為檢查的第一步，藉由外觀呈現推測生理狀態。

為完整評估樹木潛在危險性，除外觀觀察外，樹木內部木材健全性亦重要。由於目視無法了解內部缺陷範圍及程度，必要時需進行進階的非破壞性檢驗

(Nondestructive Testing, NDT)，以精確掌握危險程度，建立都會林樹木風險管理機制。

因此，樹木基於健康與安全考量，需先以 VTA 法進行初步檢查，再依需要進行進階的非破壞性檢測，並應結合臺灣氣候與樹種特性，參考歐美日等國的較新技術及資訊，制定適用的檢查方法。

表 2-1、判斷樹木強度結構的危險缺點項目準則

樹木危險缺點	特徵項目 ■有檢出 □未檢出
1.腐朽的木材	☐ a腐爛木材 ☐ b真菌子實體 ☐ c空洞中空 ☐ d巢穴 ☐ e內捲裂 ☐ f開放式爆裂 ☐ g木材腫脹 ☐ h其它：材質劣化
2.破裂	☐ a衰弱枝條的劈裂 ☐ b修枝處理造成 ☐ c風力(樹幹損害滲液(脂)) ☐ d垂直的破裂 (☐ d1剪斷式破裂 ☐ d2內捲式破裂 ☐ d3肋骨式破裂) ☐ e水平破裂 ☐ f縫線
3.根部問題	☐ a損害的根部 (☐ a1死根部 ☐ a2缺根部 ☐ a3破裂根部 ☐ a4腐朽根部 ☐ a5傾斜根部 ☐ a6真菌子實體 ☐ a7接近樹幹的根部破裂 ☐ a8環繞的根部 ☐ a9其它：螞蟻危害) ☐ b不適當的根部錨狀支持(面積大小) ☐ c樹冠衰退或枝葉枯萎現象(輕微) ☐ d樹木新的或不正常傾斜 (☐ d1土壤小隆起 ☐ d2土壤破裂 ☐ d3根部舉起)
4.衰弱枝條的連結	☐ a分叉樹幹或枝條 ☐ b有徒長的枝條 ☐ c枝條連結有捲入樹皮 ☐ d其它
5.潰瘍	☐ a潰瘍(樹皮) ☐ b真菌 ☐ c昆蟲(白蟻危害) ☐ d微生物 ☐ e機械損害 ☐ f其它
6.不良樹體結構	☐ a傾斜樹木(幹)或枝條 ☐ b樹幹上有引張及彎曲皺摺現象 ☐ c徒長枝的樹木 ☐ d樹冠重心偏一側 ☐ e其它
7.枯死幹枝	☐ a枯死樹 ☐ b枯死頂部 ☐ c枯死枝條

第二節、樹木檢驗的原因

樹木檢驗的原因，在於樹木因生命限制及外在因素影響，逐漸失去健康性或產生危險性。導致衰退的主要因素可分為：(1)生理機制：基因遺傳及生理內在因素，限制樹木壽命；(2)生態干擾：病原菌、害蟲等生物危害；(3)逆境條件：地質、地形、土壤、氣候、周圍環境等立地因素限制生長；(4)人為危害：如不當修剪、移植、工程活動造成傷害。樹木因衰退而死亡或倒伏，若民眾發現樹木健康問題或公共安全疑慮時，即需進行風險評估檢驗。

經彙整新聞案例，樹木倒伏本身的原因包括：淺根性樹種、褐根病、基部腐朽、靈芝真菌危害、幹部腐朽、白蟻危害及修剪傷害。環境因素則有：颱風、強風、豪雨、小植穴、工程設施障礙、土壤排水不良及硬化。文獻案例也整理出樹木倒伏的特性要因分析，如圖 2-1 所示。

樹木自萌芽起，經歷育苗、幼樹、成熟期，成長速度逐漸減慢，活力下降。成熟後，年輪變窄，若無法供應足夠碳水化合物、水及養分，樹木會進入「緊縮」(Retrenchment)階段，樹冠枯死回縮，高度與展幅減少，圓周長持續增加。緊縮有助於減輕載重，提升穩定性並延長壽命。

最終樹木若無法適應環境，將邁向死亡。年輕、健康樹木因儲能充足，能有效應對逆境、傷口及腐朽；而不健康樹木則活力低落，反應力差。不同樹種及個體的壽命差異大，如櫟樹、松樹可活數百年，森林生態系統中的先驅種僅有數十年。樹木壽命及生命策略與生物學、力學密切相關。

長壽樹種通常具備良好防禦機制以抵禦害蟲、傷害與腐朽，而短命樹種則以快速生長為主，較少投入防禦。了解樹木生命週期及生命策略，對於評估其健康、結構穩定性與可持續性具有重要意義，也有助於預測其未來發展與逆境反應能力。

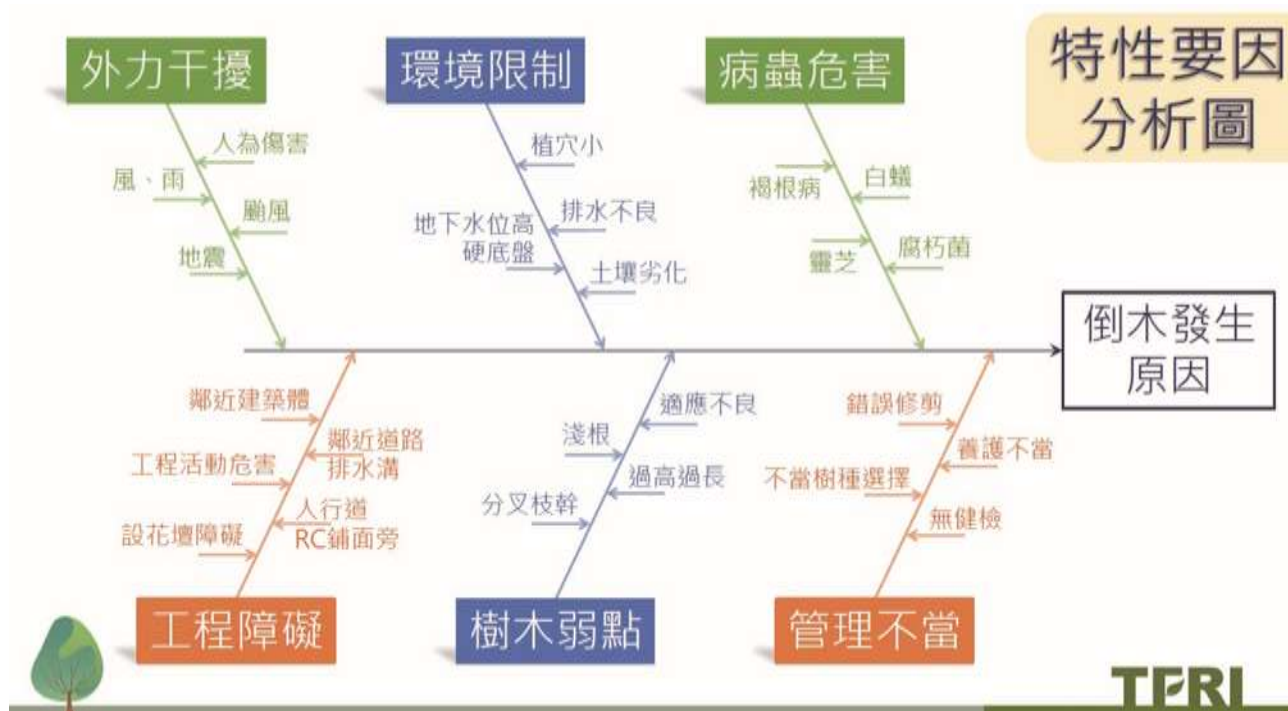


圖 2-1、倒木發生原因之特性要因分析。

第三節、目視樹木外觀診斷

(一)目視樹木風險評估(Visual Tree Assessment, VTA)

1.前言

樹木保護專業人員使用樹木風險評估表格來收集及記錄樹木風險評估的資訊，需要建立共同的指導準則，這個表格比一般性目視檢查(初診)較為詳細，通稱為基本樹木風險評估(複診)，但是仍然沒有達到精密樹木檢查的程度(進階)，表格中有空格的地方是提供做為意見和各種情況的說明，其他表格或要項是不需要另外增加解釋的，在表格中或檢查要項中，都是選擇性的(選項)，並不需要每項都填滿，只有相關的樹木風險評估資訊才要收集，樹木風險評估項目是因應特定的需求，來使用在相對應的項目中。

2.樹木風險評估之項目

(1).建立樹木身分證(如表 2-2)

表 2-2、樹木身分證。

顧客	日期	時間
地址/樹位置	樹木編號	表單頁數
樹種	胸徑	高
評估者	時間範圍	樹冠展開直徑
		使用工具

評估樹木的基本資訊，建立資料庫及報告，這是很具有價值的資訊，對於樹木日後可能發生破壞或傾倒的種種問題時，可以回溯到不同時間歷程的樹木檢查變化，提供最快及最清楚的資訊，以便作出最適當的處置。

- A.申請單位及人員(僱主)：邀請或雇用來評估樹木工作的人員或機構單位(樹木管理者)。
- B.日期：檢查樹木的日期。
- C.時間：檢查樹木的時間。
- D.地址及樹木位置：指地址、GPS 座標、或是樹木的其他位置的描述，和樹木對建築體的相對位置，例如「後院」或者是描述「在走路街道的北側和人行道之間」，一個典型的引導位置可能是「臺北市中正區南海路 53 號，靠近左側車道的大樹」。
- E.樹木編號：如果樹木有號碼的清單標記，應該要記錄，如果有一群樹木沒有標記要進行評估，樹木可能要安排一個序列的號碼。
- F.表單數(頁)：如果有許多張(頁)工作表使用於樹木的評估，或者有一組樹木進行評估，對在工作中使用的紙張頁數和總數量可以記錄。
- G.樹種：包括樹木的俗名及科學名字。
- H.胸徑：在胸高位置(離地 1.3m 樹高位置)的直徑。
- I.樹高：目視估計或測定樹高，使用的測定工具應該要註記。
- J.樹冠展開直徑：估計樹木的樹冠滴水線之平均直徑。
- K.檢查評估者：人名或樹木風險資訊的收集者或職稱。

L.時間歷程：估計樹木可能發生破壞或傾倒的期間，通常在 1 至 5 年間，時間歷程要考慮到評估破壞或傾倒的可能性之等級類別，除了即將發生之外，有一個不同的時間範圍。

M.工具的使用：列出樹木評估使用的工具，例如，槌子或望遠鏡，如果沒有使用工具時，記錄「沒有」或留下空白。

(2)可能打擊目標的評估

潛在打擊目標的評估圖是使用來列出樹木破壞或傾倒時，可能打擊到目標，如人物、財產、或可能受到傷害、損壞或干擾，在樹木體部分的打擊距離(目標區)範圍內之有關的活動，可以提供不同主要方向，其他打擊目標可以列在一個單獨的表格上，打擊目標的資訊要符合於風險等級分類圖。

一般樹木可以生長到約 20m 的高度，所以在步道或車道的 1.5 倍的距離內，大約是 30m 內的樹木，應該要檢查，除非中間有保護阻隔的物體，或者是傾斜地或特殊地點，才考慮增加或減少距離。某地域使用頻率的等級區分通常並不容易，謹慎的提高危機，可能是較好的決定(加權概念)。(表 2-3)

表 2-3、目標評估表

目標評估							
目標數目	目標描述	目標區域			使用率 少 偶爾 有時 經常	可移動目標?	有限制性?
		滴水線內的目標	樹高 1 倍的目標	樹高 1.5 倍的目標			
1							
2							
3							
4							

A. 打擊目標的數量：

很多樹木在目標區域中會有很多的目標，目標數目是提供並表列個別的目標，以方便於包含在風險等級分類圖中的數量，從而使目標的描述並不需要再重寫。

B. 打擊目標的說明：

簡要的說明，例如接近樹木的人或房子、遊樂區、或高流量的街道上，打擊目標的位置，可以依據藉由檢查的某種距離，使描述具有正確性。

C. 目標區域：

確定其中的目標是相關於樹木或樹木的一部分。

a. 在滴水線的範圍：目標是在樹木的冠篷(樹冠)下面。

b. 在樹高 1 倍的距離：目標是在打擊距離內，如果樹木的樹幹或根部系統遭受破壞(樹高的 1 倍距離)。

c. 在樹高 1.5 倍的距離：目標是打擊距離內，如果樹木的樹幹或根部系統出現破壞，並有死亡或脆弱枝條，可能會破碎並從破壞的樹木(體)跳躍打擊到。

D. 使用頻率：

打擊目標是在目標區域內時間的估計量，使用相對應的編號代碼(1-4)。

a. 很少使用：在目標區內要打擊到目標是非常少見的。偶爾使用：在目標區內的目標很少或不規則出現。

b. 頻繁使用：在目標區內的目標是存在的一天或一周中的很大一部分。

c. 經常使用：在目標區內的目標是所有時間中或幾乎都會存在。

E. 有實務性可移動目標？

這是一種選項，如果需要減輕目標受害，是否它是實務性可以移動目標到目標區之外。

F. 限制使用範圍？

這是一種選項，如果它是實務性的可以限制進入目標區域中。

(3).生育地因素

生育地的因素可能會影響樹木破壞傾倒的可能性，樹木檢查要提供應該考慮常見的生育地因素之表列清單，有可能是在一個特定的生育地中，或者應該注意項目，即使沒有填寫表格的關鍵生育地因素，任何這些因素可以在所提供的空格中或在另外的記錄紙上更進一步的描述，影響風力載重的其它生育地因素，應該要標記，這些可能包括生育地海拔、地表面粗糙性、山頂的位置等因素(表 2-4)。

表 2-4、生育地因素。

生育地因素				
破壞的歷史	地形平坦	☐ 斜坡	☐ %	面坡的方向
生育地改變	無 ☐ 土壤增加或減少 ☐ 清除 ☐ 改變的土壤水文 ☐ 切根 ☐ 描述			
土壤狀況	限制性體積	☐ 飽水 ☐ 淺層	☐ 壓實 ☐ 鋪面覆蓋	☐ % 描述
現行風向	一般天氣	強風 ☐ 冰 ☐ 雪 ☐ 強雨 ☐	描述	

生育地的條件可能可以在現場檢查加以記錄，但是歷史資料、平時天候及部份的事實，要藉由訪談管理人員或在地人才能得知。有一個些許麻煩的事，是相同樹木有著不同「護樹人」的處置方式的歷史，如果每一次處置樹木都有詳盡的記錄，那是最好的，然而大部份都沒有，例如樹木防治時有很多下藥的種類及成份，可是有時或大部份是連藥名或成份根本都不知道。又例如修剪作業，未盡詳細的記錄，也不知道修剪的程度及目的，有無傷害到樹木的結果。

A.破壞傾倒的歷史記錄：記錄及說明在生育地上，以前整個或附近樹木破壞傾倒的證據(歷史)，並評估是如何發生的，記錄在最近的時間歷程中。上一次枝條破壞掉落應該記錄在樹冠及枝條的表格中。

B.地形：檢查選項是有關於平坦的或傾斜的地形，傾斜百分比的估計值可以包括在內。

C.方位：以羅盤儀指出面對坡面傾斜的方向。

D.生育地改變：影響樹木的根部系統或樹木對風的暴露改變的因素，選取有的項目。

a. 沒有：沒有證據顯示最近的生育地改變。

b. 地面高度的改變：土壤增加或從生育地中移除。

c. 生育地清理：相鄰的樹木，可以阻礙風力，若移除樹木阻礙風力會顯著降低。

d. 改變土壤水文：已經作了改變，會影響水流進入或流出生育地。

e. 根部修(剪)切：根部系統受到切割或以其它方式顯著受到損壞，要增加根部修剪的資訊，可以在根部與根領(頸)選項中記錄。

E.土壤條件：許多因素會影響到根部系統作為機械強度的支撐樹木，以及樹木的一般健康狀況和生命力的能力，檢查所有的選項。

F.有限的體積(植穴)：土壤容積受限於岩石、地下水位(台)、建築物基礎、容器的大小，或其他因素。

G.飽水：土壤飽水是由於排水不暢、地下水位高、過量灌溉、或位置較低的區域，可能現在是飽和的或者是有淹水的歷史記錄。

H.淺層：生根深度受限於一個或多個因素，包括高水位、岩石壁架、壓實層(土壤板結)、或地下結構，例如停車甲板。

I.壓實(板結化)：土壤是嚴重壓實，限制了根部系統在土壤的深度、擴展、分佈或生長。

J.樹根上的鋪面：混凝土、瀝青、鋪面物、或其他材料會限制根系的生長或水分移動到根部區域，如果存在，鋪面進入滴水線範圍區域的百分比。

K.現行風向：一個典型的、一致的、中度至高度強風，通常是從一個單一的方向，這已經影響到樹冠和根系的發育。

L.常見的天氣：樹木將會適應一些氣候條件，是樹木經常發生的情況，記錄選項。

(4).樹木健康及樹種特性

這個部份提供了記錄任何樹種特定的破壞傾倒模式的機會，在可能懷疑會造成破壞傾倒的影響因素，任何察覺樹種的資訊是很重要的，要記錄下來，任何這些因素可能要進一步描述記錄在空格中或以另外的紙張記錄描述(表 2-5)。

A.活力：樹木的整體健康狀況進行評估，可以分類為低、中、或高。

a. 低：樹木衰弱、生長緩慢、或有在逆境下。

b. 中：依據樹種來看，樹木有平均的活力和生育地情況。

c. 高：樹木生長勢良好，沒有顯著性的健康逆境因素。

B.葉子：葉子的尺寸和顏色是樹木健康的指標跡象，可以與相同樹種在同一地區的健康的樹木進行比較，此部分允許的每個類別的百分比數據收集，或簡單檢查後加以標記的存在。

a. 無（季節性）：落葉喬木已經落下葉子來過冬。

b. 無（死亡）：樹木已經落下葉子，因為樹木已經死亡。

c. 正常：樹種在某地域中，葉子的大小和顏色是正常的。

d. 萎黃：黃綠色至黃色。

e. 壞死：樹冠的一部分或整個有死亡的樹葉。

C.有害生物(害蟲)：昆蟲和疾病可能顯著影響樹木的健康和穩定性。

D.非生物：非生物的問題，可能顯著影響樹木的健康和穩定性。

E.樹種破壞傾倒特性：任何已知的破壞傾倒問題，相關與該樹種在樹枝、樹幹、或根部的危險症狀。

表 2-5、樹木健康及樹種。

樹木健康及樹種										
活力	低	☐	中	☐	高	☐				
葉子	無（季節性）	☐	無（死亡）	☐	正常	☐	%	萎黃	☐	%
							%	壞死	☐	%
有害生物								非生物性		
樹種破壞圖譜	枝條	☐	幹	☐	根	☐	描述			

(5).載重因素

通常，有兩種類型的負載，在樹木風險進行評估時需要加以考慮，動態載重是由風力影響到樹木，而靜態載重是由重力作用在樹木，這兩種負載會相互作用產生，由於影響樹木載重的因素很多，現場量化樹木的載重程度，建立風險等級並不容易(表 2-6)。

A.風力的暴露：影響樹木的風力載重係數，檢查選項。

- a. 受保護的：在該地區的樹木或建築物會顯著降低風速或減少樹木暴露在風中。
- b. 局部的：其他樹木，或附近樹木的建築物，適度減少風力對樹木的影響。
- c. 全部的：樹木完全暴露在風中。
- d. 風力漏斗(風衝作用)：風力可能是「漏斗的」或「隧道的」(藉由建築、峽谷、大樹林)朝著樹木，使得樹木遭受風力速度會增加。

B.相對的樹冠大小：樹木的樹冠大小與樹幹直徑比較，分類為小型、中型、或大型。

C.樹冠密度：樹冠的相對風力穿透性。

- a. 稀疏：樹冠允許很大程度的風和光的穿透，但隨著樹種不同而有差異。
- b. 正常：顯示適度的風和光線穿透。
- c. 茂密：樹冠不允許(難)的光線或風穿透。

D. 內部樹枝：增強抗風能力，但是會抑制枝條/樹木的搖動：

- a. 很少：很少抗風能力和抵抗。
- b. 正常：適度的抗風能力和抵抗。
- c. 茂密：顯著抗風能力和抵抗

E.藤蔓/槲寄生/苔蘚：有檢查的選項(如果有)，在中度至高度等級會增加重量或抗風能力，此項是指附生植物類。

F.最近的或計劃中的載重係數的變化：記錄任何因素的影響，近期或計劃，可

能顯著影響到任何危險缺點症狀的載重。

表 2-6、載重因素。

載重因素
風曝露 保護 ☐ 局部 ☐ 全部 ☐ 風漏斗狀 ☐ 相對冠大小 小 ☐ 中 ☐ 大 ☐
樹冠密度 疏 ☐ 正常 ☐ 密 ☐ 內部枝條 少 ☐ 正常 ☐ 密 ☐ 藤/檉寄生/苔 ☐
載重因素最近或計劃改變_____

(6).樹木缺點及條件影響破壞傾倒的可能性

這個部份提供了一個系統的檢查清單，以評估樹木，可以分為「樹冠枝條」、「樹幹」、和「樹根與根頸(領)」，檢查僅適用於評估樹木的因素，這些因素可能會或可能不會有助於主要的關切點、載重上的缺點、或破壞傾倒的可能性。人為造成樹木的損害，一般有修剪作業、工程傷害、維護管理、植穴太小、土壤逆境等對樹木的樹冠、樹幹、樹根系統造成種種的危害，以致於樹木生長衰退或死亡，或者容易發生危險性的公共安全事件。

A. 樹冠及枝條(表 2-7

- a. 不平衡冠：檢查選項，是否葉子不是均勻分佈的。
- b. 活冠率(LCR)：活樹冠的高度與整個樹木的高度之比[$LCR = (\text{樹冠高度} / \text{樹木的高度}) \times 100$]。
- c. 死枝條：直徑小，枯枝，如果存在檢查選項並記錄百分比，及直徑最大尺寸。
- d. 破碎/懸掛枝條：在樹冠中殘留破碎或修剪枝條，記錄數量和大小(最大直徑)。
- e. 過度延展枝條：檢查選項是否存在枝條延伸超出樹木的冠層，或者是過長有差的尖削度。
- f. 修剪歷史：檢查適當相對應的選項，如果修剪是已知的及有相關的。
- I. 樹冠清理：修剪從樹冠中死亡(枯)、臨死前(老及弱)、患病蟲(病)和損害的折枝(損)。

- II. 疏開樹冠：選擇性移除活枝，以減少樹冠鬱閉度(增加光及空氣的穿透性)，其他修剪類型包括在內，但不限制於結構的、頭狀萌芽的(Pollarding)、牆景型(Espalier)和景觀造型(Vista)，並且可以被包括記錄中。
- III. 提高樹冠：較低枝條的移除為了提供下層的無障礙空間。
- IV. 縮減樹冠：修剪為了降低樹木高度或藉由修剪側生的枝條抑制展開。
- V. 切頂修剪：不適當的修剪技術，使用為了減少樹木大小，其特徵在於節間切口。
- VI. 獅尾修剪：不適當的修剪移除過量的內部或較低的側生枝條的數量。
- VII. 平切修剪：修剪且切口通過(或移除)枝條頸部(領部)，造成對樹幹或留存主枝條不需要的傷害。
- VIII. 其它：記錄任何其它修剪歷史有關可能影響破壞傾倒的可能性施業。
- g. 破裂：樹幹木材分開，縱向破裂(徑向，在木質線細胞方向)，或橫向破裂(樹幹橫向)，檢查選項，假如存在及簡要描述。
- h. 閃電損害：通常由位於邊材破壞樹幹中央的位置線，和在主幹或枝條上的螺旋模式的兩側有剝皮現象的證明，如果存在要檢查選項。
- i. 分叉幹：枝條幾乎相等的直徑從一個共同的連結點產生，缺乏正常的枝條連結，如果存在要檢查選項，並描述。
- j. 內含樹皮：樹皮被包藏在枝條和主幹之間的連結處，或存在分叉幹中，造成衰弱的結構，如果存在檢查選項。
- k. 弱連結：枝條是分叉幹或有內含樹皮或裂縫處在連結點或連結處下方，如果存在檢查選項，並描述。
- l. 洞/巢穴：開口從外部向樹木的心材領域發展，記錄該枝條圓周已經損失木材的百分比。
- m. 過去枝條破壞：檢查選項，如果有以前的枝條破壞掉落的證據，並簡要描述，記錄類似的樹枝存在，如果有相關性。

n. 死/缺樹皮：檢查選項，如果樹枝都死了，或者如果存在死亡形成層的區域，新的木材將不會產生。

o. 潰瘍/癭/樹瘤：檢查選項，是否相關的和記錄值得的關切點。

I. 潰瘍：定位於枝條病變區域，常凹陷或變色。

II. 癭：害蟲造成組織的異常腫脹，可能是也可能不是一個缺點。

III. 樹瘤：生長在樹幹、樹枝、或根部，通常不被認為是缺點。

p. 邊材損壞/腐朽：檢查選項是否在邊材有機械的或真菌的損害，此可能會減弱枝條，或死亡或瀕臨死亡的樹枝腐朽。如果檢查，記錄破壞或腐朽，以指出存在現象。

q. 子實體(香菇、托架)：真菌的子實體的構造，腐爛的共同點，明確的指標，檢查選項，如果存在，並在主要的關切點描述。

r. 心材腐朽：檢查選項，假如存在及描述。

s. 反應生長：反應木材或附加木材生長到增加枝條的結構強度，記錄位置和範圍。

t. 主要關注的問題：在樹冠和樹枝的情況，可能會影響破壞掉落的可能性，需要記錄的主要的關注點，如果沒有關注點，記錄「無」。

u. 載重在缺點上：考慮有多大載重是預期在關心樹木的一部分，記錄為 N/A(沒有)、輕微、中度、或顯著，記錄載重的原因。

v. 破壞可能性：區分四個等級(不可能的、能夠的、可能的、或即將的)在最受關注的樹冠和樹枝，如果有一個主要關注點，這些資訊應該要轉移到風險分類圖中。

表 2-7、樹冠及枝條檢查清單。

樹冠及枝條	
不平衡冠 ☐ 活冠率_____%	破裂 ☐ _____閃電損害 ☐
死枝條 ☐ _____%佔全部 最大直徑_____	分叉幹 ☐ _____內含樹皮 ☐
破碎/懸掛枝條數量____最大直徑_____	弱連結 ☐ _____洞/巢穴_____ %圓周比
過度延展枝條 ☐	過去枝條破壞 ☐ _____相似枝條存在 ☐
修剪歷史：	
樹冠清理 ☐ 疏開樹冠 ☐ 提高樹冠 ☐ 縮減樹冠 ☐ 切頂修剪 ☐ 獅尾修剪 ☐	
平切修剪 ☐ 其他_____	
死/缺樹皮 ☐ 潰瘍/癰/樹瘤 ☐ 邊材損壞/腐朽 ☐ 子實體 ☐	
心材腐朽 ☐ _____	
反應生長_____	
主要關注的問題_____	

載重在缺點上	不適用 ☐ 很小 ☐ 中 ☐ 顯著 ☐ _____
破壞可能性	不可能 ☐ 可能 ☐ 很可能 ☐ 即將發生 ☐ _____

B. 樹幹(表 2-8)：

- 死/缺樹皮：檢查選項，如果樹幹或分叉幹死亡，或者如果有死亡形成層的區域，新的木材將不會產生。
- 不正常樹皮質地/顏色：可能表示有真菌或結構性的問題在樹幹上。若符合則勾選此項。如需密切關注則加上備註。
- 分叉幹：樹幹產生於一個共同的連結處，有幾乎相等的直徑和缺乏正常的枝條連結，需要記錄大小、位置、和數量，如果有相關性，記錄在主要關注點的樹幹空格中。
- 內含樹皮：樹皮被藏在枝條和樹幹之間的連結處，或存在分叉幹中，造成結構衰弱。若符合則勾選此項。
- 破裂：分離的木材在任一縱向破裂(徑向，木質線細胞的平面)或橫向破裂(橫向樹幹)，如果存在時要檢查選項，並描述。
- 邊材損害/腐朽：檢查選項假如有機械的或真菌的損害在邊材，此會衰弱樹

幹，假如檢查出可以記錄損害或腐朽以表示存在其中一種。

g. 潰瘍/癭/樹瘤：檢查選項，是否相關的和記錄可能或沒有可能影響樹木結構強度。

I. 潰瘍：定位於樹幹病變區域，常凹陷或變色。

II. 癭：害蟲造成組織的異常腫脹，可能是也可能不是一個缺點。

III. 樹瘤：生長在樹幹、樹枝、或根部，通常不被認為是缺點。

h. 樹液滲出：滲出的液體，可能導致從樹皮下感染病害或蟲害的，可能或不可能影響結構或穩定性。若符合則勾選此項。

i. 閃電損害：通常由位於邊材破壞樹幹中央的位置線，和在主幹或枝條上的螺旋模式的兩側有剝皮現象的證明，如果存在時要檢查選項。

j. 心材腐朽：檢查選項假如存在時，並在主要關注點問題的識別/描述。

k. 子實體/菇(托架)：真菌的子實體結構，當在樹幹腐朽常見，明確的指標，如果存在時檢查選項，並在主要關注點問題的識別/描述。

l. 洞/巢穴：開口從外部向樹木的心材領域發展，記錄該樹幹圓周已經損失木材的百分比及空洞深度。

m. 不良尖削度：直徑改變在整個樹幹的長度方向，對均勻分佈的機械應力是重要的，檢查選項，假如樹幹有不良尖削度。

n. 傾斜度：樹幹的角度從垂直方向測得的，記錄傾斜角度。

o. 調整(適應性)：樹木可能已經能夠「修正」傾斜，在樹木的年輕部分新的生長，記錄傾斜相關條件在提供的空格中。

p. 反應生長：反應木材或附加木材生長為了增加主幹的結構強度，記錄位置和範圍。

q. 主要關注的問題：在樹幹的部分，可能會影響破壞掉落的可能性，需要記錄的主要的關注點，如果沒有關注點，記錄「無」。

r. 載重在缺點上：考慮有多大載重是預期到關注點問題的樹木一部分，記錄

為 N/A(沒有)、輕微、中度、或顯著，記錄載重的原因。

- s. 破壞可能性：等級(不可能的、能夠的、可能的、或即將)在主幹上。如果有一個主要關注點問題，這些資訊應該要轉移到風險分類圖。

表 2-8、樹幹檢查清單。

樹幹		
死/缺樹皮 ☐	不正常樹皮質地/顏色 ☐	
分叉幹 ☐	內含樹皮 ☐	破裂 ☐
邊材損害/腐朽 ☐	潰瘍/癰/樹瘤 ☐	樹液滲出 ☐
閃電損害 ☐	心材腐朽 ☐	子實體/菇 ☐
洞/巢穴 _____	%圓周比 _____	深度 _____
傾斜度 _____ °	調整(適應性) _____	
反應生長 _____		
主要關注的問題 _____		
載重在缺點 不適用 ☐ 很小 ☐ 中 ☐ 顯著 ☐		
破壞可能性		
不可能 ☐ 可能 ☐ 很可能 ☐ 即將發生 ☐		

B. 根部及根領：

- 根領埋入/不可見：檢查選項，如果根頸是不可見的，如果可能，確定並記錄地面以下的深度。
- 樹幹纏勒：限制或破壞樹幹或板狀根，檢查選項，如果它是一個破壞傾倒的關切問題。
- 死亡：檢查選項，如果一個或多個結構支持的根部都死亡。
- 腐朽：檢查選項，如果存在時，並在主要關注點問題識別/形容。
- 子實體/菇(托架)：真菌的子實體結構，腐爛的共同點，明確的指標，真菌的子實體結構遠離樹幹，在草皮或覆蓋物可能是由於菌根真菌的存在，如果是這樣，不會對樹木造成威脅，檢查選項如果存在時，並在主要關注點問題識別/形容。

- f. 滲液：滲入或滲出，可能導致從樹皮下的蟲害或感染，檢查選項如果存在時，並描述。
- g. 空洞：心材腐朽的明確指標，測量開口的大小和記錄在樹木的周圍受影響的百分比。
- h. 破裂：分離的木材在任一縱向破裂(徑向，在木質線的平面)或橫向破裂(樹幹橫向)，檢查選項如果存在時，並描述。
- i. 切/損壞根部：檢查選項如果存在時，測量和記錄從主幹到切口的距離。
- j. 根盤上舉：土壤開裂或上舉表示樹木已經搖擺，通常在強風中，檢查選項如果存在時，並記錄在主要關注點問題上。
- k. 土壤衰弱：檢查選項是否有土壤條件會影響到樹木根系的錨固，如果顯著時，記錄在主要關注點上。
- l. 反應生長：反應木材或增加木材生長，為了增加根部或根領的結構強度，記錄位置和範圍。
- m. 主要關注的問題：在根部和根領(頸)的情況，可能會影響破壞傾倒的可能性，記錄主要關注點，如果沒有顧慮，標記「無」。
- n. 載重在缺點上：考慮有多大載重是預期到關注點的樹木一部分，記錄為N/A(沒有)、輕微、中度、或顯著，記錄載重的原因。
- o. 破壞可能性：等級(不可能的、能夠的、可能的、或即將)在根部或根領。如果有一個主要關注點，這些資訊應該要轉移到風險分類圖。

表 2-9、根部及根部領部檢查清單。

根部及根部領部		
根領埋入/不可見 ☐	深度_____	樹幹纏勒 ☐
死亡 ☐	腐朽 ☐	子實體/菇 ☐
滲液 ☐	空洞 ☐	%圓周比率%
破裂 ☐	切/損害根部 ☐	距幹部距離_____
根盤上舉 ☐	土壤軟弱 ☐	
反應生長_____		
主要關注的問題_____		
載重在缺點 不適用 ☐ 很小 ☐ 中 ☐ 顯著 ☐		
破壞可能性		
不可能 ☐ 可能 ☐ 很可能 ☐ 即將發生 ☐		

(7).風險分類

風險評估表格使用在最好的管理實務之風險分類方法，那就是樹木風險評估，提供的表格中的圖是一個工具，以配合收集表格前面的風險分類過程中的數據，可以分等風險，可能在樹木中可以評估有四種不同的條件，附加的等級可以在附加的表格中，如果只有一個關切點的條件，只需要一行空格便可以完成。

- A. 樹體部分：指定的關注的樹枝、樹幹、或根部，例如，第一個項目可能是破碎的枝條在通過房子上方，第二個項目可能是在車道上的一個枝條，在樹體部分欄位項目將都是枝條，其他選項在這一欄中可以包括樹幹和根部。
- B. 關注點的條件：確定關注點問題，並列出了樹體的一部分，例如有大的且死的枝條在整個房子的上方。
- C. 樹體部位大小：可能會造成破壞傾倒，朝向目標的樹木體部分的特徵，通常這是枝條的直徑，這可以掉落或樹木的胸徑，它可能是適當的，以指示可能影響目標的部分的大小，包括計量單位。
- D. 掉落的距離：如果存在時，記錄樹木或樹體的部分將擊中目標之前掉落的距離，這可能是相關於破壞而掉落、傾倒的後果。
- E. 目標數量：這個數目應該對應於評估表中所列出的目標。

F. 保護目標：記錄任何顯著因素，可以保護目標，因為這可能會影響到衝擊或破壞傾倒後果的可能性。

G. 樹木風險有兩個組成：(1)樹木破壞傾倒打擊到目標的可能性，可區分為破壞傾倒的可能性及衝擊的可能性，(2)破壞傾倒的後果。使用最佳的判斷和可用的資料來評估破壞傾倒的可能性(不可能的，能夠的，可能的，即將發生的)和衝擊的可能性(非常低，低，中，高)，經過這兩個決定的建立，之後，有關選擇破壞傾倒和衝擊可能性(交互作用)的類別，使用矩陣 1 的準則(不太可能，有點可能，可能，非常有可能)。

H. 破壞傾倒的可能性可以使用下面的準則來進行分類：

- a. 不可能：在樹幹或枝條不可能在正常的天氣條件下出現破壞傾倒或掉落，並在指定的時間歷程中的許多惡劣的天氣條件可能不會破壞傾倒或掉落。
- b. 能夠的：可能能夠發生破壞傾倒或掉落，但是它是不可能發生在指定時間歷程內，在天氣條件是正常的狀況下。
- c. 可能的：破壞傾倒或掉落可能在指定的時間歷程內，在正常的天氣條件下，可以預期發生的。
- d. 即將發生的：破壞傾倒或掉落已開始或最有可能發生在不久的將來，即使沒有顯著風或增加的負載。這是一種罕見發生的，在風險評估中遇到，它可能需要立即採取行動，以保護人民免受傷害。

因為這些類別是依賴時間歷程的，在時間歷程中必須加以考慮，時間歷程要記錄在表格上。

I. 影響(衝擊)打擊目標的可能性可以使用下列準則分類(表 2-10)：

- a. 非常低：破壞傾倒或掉落的樹幹或枝條撞擊到指定目標的機會是微乎其微。這是一個很少使用的生育地，充分暴露到所評估的樹木或者是偶爾使用的生育地，部分由樹木或建築物保護的情況下。舉例包括一個很少使用的步道或在農村地區，或者在偶爾使用地區，有一定的保護，防止遭受樹木破壞

傾倒或掉落的打擊，是由於出現其他樹木存在評估樹木和打擊目標之間的保護作用。

- b. 低的：這是不太可能的破壞傾倒的樹木或掉落枝條將衝擊到目標。這是一個偶爾使用區域，有充分暴露到評估樹木的情況，或者有很好的保護的固定目標，可以遠離評估的樹木。舉例包括很少使用的服務道路臨接評估的樹木，或經常使用的公共街道，具有行道樹存在街道和評估樹木之間(保護作用)。
 - c. 中的：破壞傾倒的樹木或掉落枝條可能或不可能衝擊到目標，機會幾乎相等的可能性。這是一個經常使用的區域，是完全暴露在一側到評估的樹木，或有部分保護目標遠離評估的樹木，在固定佔用的區域之情況。舉例包括在郊區街道臨接到評估的行道樹，或房子是部分有保護的遠離評估的樹木，藉由中間的樹木。
 - d. 高的：破壞傾倒的樹木或掉落枝條很可能會衝擊到目標。這種情況下，是當一個固定的目標是完全暴露到評估的樹木，或附近的高使用道路，或人行道有相鄰的行道樹。
- J. 決定破壞傾倒的可能性及衝擊到目標的可能性之後，結合打擊目標的可能性，結合破壞及衝擊目標的可能性，可以加以分類。矩陣 1 可以使用當作準則，相關於這些可能性因素在固定的時間歷程範圍，交互作用結果可能性項目(不太可能，有點可能，可能，非常有可能)是可以定義在使用的表格中，及使用來代表這個發生結合性在矩陣 2 中。
- K. 破壞傾倒後果的部份範圍中，應該可以選擇分類(忽略的，很小的，顯著的，嚴重的)。破壞傾倒的後果是基於傷害或損害對目標的程度量化之估計，其後果取決於樹體部份的尺寸大小。掉落的特性，掉落的距離，及可以保護風險目標遠離損害的任何因素，目標價值的重要性，有貨幣性和其他，是主觀的，且相對於客戶的意義。破壞傾倒的後果可以分類使用如下的準則：

- a. 可忽略的：低價值的財產損害或干擾破壞，可以進行更換或維修，並且不涉及人身傷害。
 - b. 很小的：低到中度的財產損失或小干擾破壞到交通和通信設施。
 - c. 顯著的：中度到高度價值的財產損失，相當大的破壞，或人身傷害。
 - d. 嚴重的：嚴重的人身傷害或死亡，破壞高價值的財產或重要活動中斷。
- L. 部分風險評級(表 2-11)：對指定目標的各個組成部分的風險等級，風險等級的分類採用矩陣 2：風險評估矩陣(綜合樹木破壞、衝擊、後果的可能性)。
- 風險評估等級項目是低，中，高和極高。

表 2-10、矩陣 1 可能性矩陣

	衝擊目標的可能性			
破壞的可能性	非常低	低	中	高
立即性	不會	有些容易	容易	很容易
很可能	不會	不會	有些容易	容易
可能	不會	不會	不會	有些容易
不可能	不會	不會	不會	不會

表 2-11、矩陣 2 風險等級矩陣

	破壞的後果			
破壞及衝擊的可能性	可忽略	小	顯著	嚴重
很容易	低	中	高	極端高
容易	低	中	高	高
有些容易	低	低	中	中
不會	低	低	低	低

表 2-12、風險分類評估表

風險分類																							
情況數	樹部位	關心的情況	部位大小	掉落距離	目標數	目標保護	可能性												後果				部份風險等級 (矩陣2)
							破壞				衝擊				破壞及衝擊 (矩陣1)								
							不可能	可能	很可能的	立刻	很低	低	中	高	不會	有些容易	容易	很容易	可忽略	小	顯著	嚴重	
1																							
2																							
3																							
4																							

(8).注意事項，減輕和限制

一旦評估完成之後，使用本表格部份來說明的潛在問題，並提供風險緩解方案。任何進一步的建議或注意事項應列入本表格中。請記錄、解釋、說明事項，提供表格來描述任何條件或因素(詳細補充)，對於在別處的表格上，沒有得到很好的描述的情況。包括記錄任何需要考慮作出等級或建議的解釋。提供了草圖有關係於樹木或生育地的任何適用的詳細資訊，標記在網格、樹幹、圓形圖板上。

減輕樹木風險的行動方案，其目的在達成降低樹木風險等級到所有人可以接受的水準等級，其緩解樹木風險等級的行動方案有很多的方法，有些是積極的，有些是消極的作法，更有些是防治或治療的過程，不同的處置方法有不同的優缺點或限制性，所以各種處置方法都是選項之一，可能是單選也可能是複選，只要

獲得社區居民的瞭解、認同及共識，都是對樹木適當的處置方案。

- A. 風險緩解方案：列表選項作為減輕每個描述的風險，列出首選建議在第一行(依序)。
- B. 殘餘風險：殘餘風險是提出建議的緩解方案後剩餘的風險，殘餘風險可以是低，中，高，或極高的。
- C. 樹木的整體風險等級：最高風險提供作為關注的樹木和目標的決定，如果有一個以上的部分或目標等級，樹木風險等級是最高的群組。
- D. 工作優先事項：建議用於減緩行動的優先權(順序)，優先權有助於緩解並傳達有迫切需要的個別樹木，這可能是一個數字(例如，1，2，3，4)，或者可以指定的話(例如，立即、盡快，當工作負荷允許，或者立即性、高、中、低)，數字已列入在數據表中，可以用「1」表示為最高優先級。
- E. 在風險分類圖中的空格中，可以用於評估在建議的緩解方案之後的殘餘風險，對於每個緩解行動，評等用同樣的方法，相同如之前的分類風險，經過方案處理之後剩餘的預期風險。
- F. 整體剩餘風險：如果最高風險樹木的部分是有經過緩解行動的剩餘風險。
- G. 建議檢查間隔：建議時間來複檢或檢查頻率。
- H. 資料：使用這些空格來表示這項評估是否為最終的還是只是預備階段(初步)。
- I. 進階評估需要：記錄任何建議的進階評估的原因。
- J. 檢查的局限性：記錄或描述限制檢查樹木或能力的任何因素，或是檢查並“沒有”限制性。

(9).附件

- A. 必要時應用無損檢測技術及檢測樹木儀器檢測的項目、說明及量化結果。
- B. 必要時提供樹木檢查時，發現的危險症狀或關切點的照片等資訊。
- C. 必要時提供社區居民對樹木的關切點項目。
- D. 其它項目的記載或補充說明。

第四節、日本樹木精密診斷

(一)緒言

樹木會對鄰近住家、車輛或人民安全造成危險性風險的影響，因此，危木診斷或腐朽診斷是檢查、評估、判斷危險木或傾倒木的重要技術，出現於樹體的各式各樣缺陷，首先是透過目視檢查評估，但是當需要量化診斷或精密確認缺陷範圍及程度時就需使用某些機器或技術，使用的機器或儀器的診斷稱為精密診斷或機器診斷，基本上是針對腐朽、空洞位置、量化或程度的測量，機器診斷本身是不需要樹木的知識及經驗，即可得到客觀判斷的方法，但以機器或儀器區分健全部與腐朽區、空洞部或以測量數值區分時，受到諸多因素的影響，不完全可以反應實際情況，因此需要具備樹木生理、木材構造、物理、化學或病蟲害學等知識是來輔助正確判斷機器所顯示的數值，或運用檢測出的資訊來解釋結構缺點的質及量，此外取得儀器設備的數值資料僅限於單一目的，而以直接目視檢查所得到的資訊較為豐富且綜合，因此通常要先透過目視樹木評估法(VTA)檢查後，再依據結構缺點及目標，使用儀器設備做精密檢查診斷，絕對不可忽視基於詳細目視檢查的診斷結果。

機器診斷可分為非破壞檢查(Noninvasive, Nondestructive)與半非破壞檢查(Quasi-noninvasive, Semi-nondestructive)，一般非破壞性檢測的儀器價格高昂、大型且受限多，傳統廣泛使用的半非破壞檢查儀器由於是間接測量方式，需注意判斷結果，不僅在腐朽或空洞大小、特別在初期腐朽，判斷腐朽程度及力學強度也很重要，所以有時候不能完全可以依據機器測量值資訊，就表示出腐朽類型(白色腐朽、褐色腐朽、軟腐朽)或強度值，當解析度高的精密測量於不均質、不完整的樹木檢測較為困難，依據樹種不同，隨著木材腐朽程度變色及木材密度降低，腐朽木材的含水率變化等，可能造成測量儀器的限制性。

腐朽診斷中，有無腐朽、面積擴展、腐朽進行程度、腐朽部材質強度等可從不同角度診斷評估，例如在木製電線桿使用時期，因電線桿會逐漸腐朽與汰舊更

新交換期為公共設施上的問題，所以首先投入相當的相關研究與試驗，這包括木材腐朽或保存處理等研究較多，後續現場實用性需求增加，才將研究成果導入野外判斷評估使用。

Mattheck 提議使用目視樹木評估法(Visual Tree Assessment, VTA)作為公共樹木危險度診斷，其標準程序為(1)首先進行目測觀察，(2)以肉眼觀察推測缺陷及異常時，接著使用機器詳細調查，(3)將機器顯示的數值與標準值進行比較作最後判斷。

(二)目視診斷

1.目視樹木評估法(VTA)基礎

當樹木內部出現腐朽、空洞、裂痕等缺點時，為了修復傷口及力學上支撐補強，自行促進部分木材增加生長達成樹體結構平衡作用，腐朽嚴重時與樹木生長反應會出現不規則的變形，Mattheck 認為樹幹內部的木材缺陷與腐朽現象或多或少會在樹體外觀表現出痕跡或徵兆的結果。VTA 是基於 Mattheck 提出樹木以最低限度的應力反應並成長的理論，腐朽可分為褐腐(Brown rot)、白腐(White rot)、軟腐(Soft rot)等三種，這些腐朽類型、腐朽程度、空洞形狀及大小會影響樹幹外觀的變形或傾倒度。

2.目視的診斷順序

首先以目視調查樹勢、樹形、生長狀況等，再以木槌或鐵棒(鋼棒)調查樹幹內部或樹基的腐朽、空洞狀況，接著才使用鑽孔抵抗儀(Resistograph)或打擊檢測計(Impulshammer)這類機器進行精密診斷等依序步驟檢查樹木。

(三)微量取樣與機器診斷

1.生長錐鑽取樹芯試材

生長錐可以鑽取樹芯試材，以瞭解腐朽位置進行調查，由於鑽孔診斷手法產生小孔口，可視為半非破壞檢查法，雖然鑽孔為微取樣，但仍可能引起木材變色、腐朽等負面影響，非必要時盡量不使用生長錐，或最少最低限度的使用，鑽取樹

芯朝向樹幹的髓芯方向進行，以評估樹幹外觀檢查與實際樹幹內部的樹芯作比較及驗證。

2.內視鏡

配合內視鏡的直徑並於樹幹由外向內開孔引入檢查管線，或於現有的小開口部位直接觀察內部或拍照，內視鏡的外視野的方向、影像角度、纖維種類或相機也有各種類型，開口徑小時，會因樹脂、木屑阻礙拍攝較困難，需預先去除木屑，自開孔觀察的木材、開孔階段所取得的訊息，並推測腐朽狀況及種類仍是需要相當的熟練技巧。

(四)測定物理性能的機器診斷

1.測定強度、抵抗值

過去所開發釘子(或螺釘)保持力的測定器是將釘子打入(或螺釘鑽入)目標木材一定程度(深度)，並測定拔出時所需拉力強度的拔釘方法。另外有應用 Pilodyn 探測儀，將衝擊針釘以固定壓力打入木材的方法，測定釘子打入深度表示表面腐朽程度，研究指出打入深度數值與抗彎強度有極高關係，藉此做為木材腐朽度診斷。

鑽孔式是以電動鑽等鑽孔，並測定記錄物理抵抗及迴轉數變化，有如木柱腐朽判定器，以 DmP(Digital microProbe)測定迴轉數的變化，而抵抗的變化測定有鑽孔抵抗儀，有固定轉速、前進速度等，以抵抗高低測定腐朽位置及程度，一般自木材徑向往髓心方向鑽孔，可判斷內部空洞、腐朽的位置及大小，穿孔數量在行道樹多以四方向(北東南東)定位較多，當目標樹木直徑較大時，則需增加穿孔數，由於攜帶方便、同時也可自斜角貫入檢測樹幹基部與地下部腐朽，但是因為鑽孔較深產生開放洞口，使衰退樹木具有腐朽入侵危險性，特別是鑽孔在邊材內層容易引起材變色、腐朽，因此，建議非必要時盡量減少鑽孔檢測。

2.電磁波應用

使用電磁波也有可能為完全非破壞檢查，放射線所使用的診斷方法為電磁

波之一種 X 線或 γ 線的穿透量能源，X 線是以 X 射線管產生各種輻射源，而 γ 線是因為以放射性同位素發生，特性依據核種類，另外常研究的使用是以其他放射性同位元素或軟 X 線等解析年輪年代學或腐朽，使用生長錐鑽取的樹芯試材、縱向紋理及材面資料的解析，野外生立木無法直接測定，而另外目前使用以應用管內附著物檢查裝置，以微弱 γ 線(線源為 3.7MBq 的銻 137)透過量檢出樹幹內部的腐朽，然而檢測會受到樹幹內部水分狀態的影響，針葉樹的心材部測定是需要足夠經驗及技巧。

電磁波掃描是自反射波掌握目標物位置或形狀的方法，當對象物與周邊之間有充分密度差或明確界面時(不同介質)，可取得明顯的反射波且精度高，但實際上許多反射波不明瞭且受水份影響，不易判識，不同於其他非破壞檢查法的檢測，相較於密度是為電磁波的性質，空洞檢出的可信度高，但是對於腐朽的敏感度較低。診斷使用的雷達周波數為 200MHz~1.5GHz 程度，一米以上的地底探查深度或行道樹診斷為 700~900MHz 左右，周波數越高天線小，解析精度愈好，但透過性(測定深度)易衰減，以 1.5GHz 的解析精度為 2cm 左右，以相同機器也可兼用地底探測雷達(Georadar)及樹木診斷，作為行道樹等初期診斷裝置的利用可能性高、精度、便利，但是表示方法、判讀難度等，從研究轉成現場實用上還在克服，該評估的特色為可以完全非破壞檢查。

(五)音波、振動の利用

音波聽取範圍約 20Hz~20kHz，比波長更短(周波數高)為超音波，實際上使用腐朽檢出為可聽域的應力波(打擊振動波)或發振波兩者，而超音波則為發振波，發振波若選擇特定的周波數領域或波形，即使有其他雜音也無法收取。音的利用上，目前被使用有共振周波數、音響放射(Acoustic Emission, AE)、傳播速度等。應用於木柱使用音響振動並測定纖維方向的速度時，以木材密度及音速為指標，可以評估腐朽的衰減值。

1.共振周波數

可以將木材以共振周波數(共振頻率)測定並求得楊氏模數(動彈性模數)，另外將此運用於生立木的空洞腐朽檢出為橫向打擊共振法，當樹種等材質相同時，樹幹的共振周波數(共振頻率)Fr 與直徑 D(或圓周長)的乘積定值，與腐朽空洞間有密切相關性，藉此檢測推估打擊部位橫向斷面的腐朽程度或大小。推測樹幹內的腐朽、空洞以外，也可以使用於無腐朽樹木的心材含水率。但是因各個樹種材質的不同，而共振周波數的改變是需要各個樹種的木材標準值，依據樹種測定可能的範圍為直徑 20 公分到 70~110 公分為止，自地表 1m 以下為止是不易正確測定，且於枝節、腐朽的開口部等形狀不工整部位附近有測定困難的限制。

此法是以橡膠槌或木槌打擊樹幹，僅分析打擊音周波數的簡便方法，周波數分析使用以 FFT 分析儀，但是也可透過平板電腦等攜帶式工具診斷，例如收音解析器(Ponta 製品)，極為簡便，利用於林業野外或併用於外觀診斷，也有可能診斷整體樹木。

2.音響放射(Acoustic Emission, AE)

「當物質變形或破壞時，內部儲存的彈性能量以音波釋放的現象，或為彈性波。」為 AE 的定義，如同樹木斷裂、瓶子放入熱水所發出裂痕時的聲音等。有的是可聽域但主要是以超音波(不可聽到)，即使為木材，也有很多是以高周波領域的 AE 為對象，使用 AE 計測試能測定木材的楊氏模數，也能適用於立木，因系統輕便且價格低，但因為感應貼至形成層有造成傷口的缺點。

不同於強度及腐朽診斷，有使用共振周波數 150kHz 的 AE 感應器，使 AE 測定白蟻食害的音響，不須擔心此周波數的環境雜音背景。另外也嘗試以 AE 計測樹幹形成層輸水性，並求得樹木整體活力，也有使用市面上販賣的測試儀，調查罹有松材線蟲病的松樹通水機能低下的案例。

3.聲音的傳播速度

腐朽轉變成空洞時，聲音的傳播速度並不只是空氣中的音速，也有完全無法透過，因為腐朽初期階段因纖維素鏈的切斷、木質素分解使剛度降低、傳播速度

變慢、衰減變大，此時檢測音響的傳播速度時，收取腐朽空洞部迂迴的音響，相較於音響直進(最快的路徑)的健全材的速度(音速較高)會有較慢的現象(音速較低)，故依此速度的降低可以推測腐朽空洞程度的方法。因縱向的音速較快，但腐朽或空洞以縱向迂迴的音響信號可能受到影響而有誤差，優點是比起電磁波的使用方法，較難受到水份影響，不需考慮邊心材之間或材變色腐朽部的含水率變動。

金屬的非破壞檢測發展，可使用稱為 10MHz 高周波數的超音波，但因木材是不均質材料，依木材方向性不同而傳播時間的變化或音波衰減變大，較難使用於定向性良好的高周波檢測技術。而使用以槌敲打產生應力波的簡便機器，如衝擊槌(Impulse Hammer)(目前機種名 Micro Hammer)、Electronic Hammer 等各式各樣製品。Mattheck 提出的 VTA 法，關於健全木的標準判斷基準，顯示各個樹種的木材徑向(直徑方向)標準值，大致為 900~1,500m/秒的速度，縱向最大高達 5,000m/秒，當腐朽、空洞變大速度降低，嚴重腐朽為 50%以下為標準，在日本，已經陸續擴大到 7 科 34 種的樹種測定資料，受到樹種影響以外，當直徑變大時於同一樹種內有變快趨勢，變異大主要使用目的為推測大致的腐朽、空洞大小。

在歐洲使用應力波、超音波的機器持續研發，也涵蓋藉由縱向音速測定的材質判斷，其他機器有應力波 Microsecond Timer(徑向)、Tree Sonic(縱向)、於超音波有 Sylvatest(周波數 22kHz，縱向徑向)、Ultrasonic Timer(周波數 45~90kHz，縱向)等。

4.簡易 CT 的音傳播速度

有使用超音波，以 CT 法進行內部腐朽及活節的檢出，但是目前尚未開發實用超音波型 CT 診斷機器，有取代使用以斷層攝影儀診斷裝置(Sonic Tomograph)，利用應力波的傳播速度，並推測彈性波於樹幹斷面的 2D 腐朽形狀，近年來已有商業化儀器廣泛使用，原理上與衝擊槌相同，將感應器按照順序排列於樹幹周邊的組合，並敲擊以測定應力波速度，為簡易 CT 圖像的合成，因為以斷面內的健

全部為基準，不同於單方向音速測定法，故不需與健全部對照的優點，直徑大的樹木誤差變大，但只要增加感應器的數量即可，應力波能到達的直徑便能測定(目前直徑為 5m 左右)。

5. 音波相關的測定問題

音波傳播於樹幹橫斷面的徑向最為快速，但自徑向移動的測定點之間並非幾何學上最短距離，推測是捕捉到通過最快速傳播的路徑，非破壞檢查所發展的木質材料與金屬均質材料明顯不同，隨著科技發展某些性狀也逐漸瞭解，音波或 AE 計測並非如同 X 線具危險性，且因裝置輕量簡單具未來性，但是相較於木材內部，樹皮本身為傳播不良物質，因此明顯妨礙於音波或 AE 計測，非破壞檢查時須於材內打入固定釘為一體的感應器測定，AE 是完全要將樹皮移除並於露出材面與感應器接合，因此有其限制性。

利用音波的簡易 CT，計算斷面各部位的外在音速並以數值表示腐朽程度，因此當材質不均質、夾皮或龜裂時則會改變測定值，因為音波在傳播速度測定原理上的限制，要正確描述複雜形狀的腐朽、空洞斷面影像是非常困難，因此目前先不考慮細節準確性，而應先優先思考斷面整體腐朽程度的判斷。

(六) 電阻抵抗(值)的利用

最早開發 Shigometer 是較多使用案例，將材內穿孔使電擊插入振動電流以測定電阻值，商業用電阻儀，藉由直流抵抗值進行腐朽部位的測定，並顯示與振動電流具同效性，使用 Shigometer 檢測木材變色、腐朽部位，由於腐朽部位存在鉀、鈣、鎂等陽離子的累積，而檢測出較低的電阻值，陽離子的累積是因真菌作用於樹木的反應及菌分泌物產生，如食用木材腐朽菌椎茸的腐朽材，其電阻值也有較低的現象。

利用電阻值的木材水分計，因電阻值易受到水份影響，而須注意 Shigometer 的測定環境或條件，此外，探針於木材的接觸狀況也容易產生變化，因為直接將探針插入腐朽部以計測抵抗值，因為檢測需要先穿孔，因此屬於半非破壞性檢測，

也有不累積陽離子的樹種，電阻值並沒有降低的狀況，故需注意適用範圍，因許多木材變色部位的強度並沒有降低，而抵抗值有降低的現象，即使腐朽診斷也嘗試使用簡易 CT，方法如同使用應力波 CT 法一樣，以固定釘作為電極打入樹幹周圍以測定阻抗，商業化 PiCUS Treetric 系統可以使用，影像結果的解釋是需要專門的知識，以應力波與阻抗的兩種不同方法檢測相同斷面的影像，其診斷精度會更加提升。

(七)溫度、紅外線

許多案例報告使用樹冠、樹幹、枝葉的一部份溫度，作為森林或樹木整體的健全度指標測定，因使用熱感應電阻或輻射熱溫度計，或採用紅外線熱影像儀攝取圖像案例，以檢查樹體溫度與健全性樹木溫度作為比較，評估作為樹木整體的代謝生理結果，有關腐朽部與局部健全溫度測定兩者差異的案例，在野外使用攜帶型紅外線熱影像儀，可檢出空洞及缺陷部位，以嚴重的腐朽部位為主要檢出目標，檢查方式是找出樹幹或根株的缺陷簡單檢出，以作為進階檢查的應用，但是紅外線檢測法測定容易受到環境背景雜訊影響。

(八)危險度判定

當檢查、檢測樹木取得診斷、腐朽、空洞情況，並評估危險度結果，接著就必須決定樹木的處置，珍貴樹木是以保留樹木做處置，行道樹因具危險性而需伐除，樹木危險度等級及立即性危險判定，考慮以下面幾個方法並實施為原則。

巴特萊特樹木實驗室(The Bartlett Tree Research Laboratory)將樹木直徑與心材腐朽直徑以計算式將強度損耗率算出，並將腐朽，空洞區分有無開口狀況，無開口時心材腐朽、空洞直徑為樹幹木質部直徑 77%以上(腐朽空洞率以斷面積佔 59%以上，強度損耗率 45%以上)為危險區域(立即性危險)，58%以上(腐朽空洞率佔 34%以上，強度損耗率 20%以上)時為警告區域(中度危險)，另外樹木若有傾斜或龜裂等缺點時，使危險率升高，特別也要考量當有開口時強度損耗率的大幅提升。

Mattheck 指出在心材腐朽，以樹幹半徑 R 對健全厚度 t (殘存厚壁)比例為 t/R ，提出 30%以上比較不會發生樹幹斷裂危險，反之，在 30%以下時，具有斷裂危險性較高，在日本與此數值相同程度的腐朽面積，其指標為樹幹斷面積的一半(50%)作為標準。若當樹幹空洞開口角度於 120 度以上時，易發生樹幹彎曲的斷裂。除了以上的指標外，尚須考慮到其他的安全性要素，例如，許多案例中當樹冠較小時，即使 t/R 為 20%以下，樹幹也不斷裂，但是在樹冠及大徑木 t/R 即使 30%以上，發生樹幹斷裂的機率會變高。此外具腐朽、空洞的部位，特別在樹幹基部，如果樹木本身為了補強而增加反應木材生長，外觀部位即使 t/R 率低，實際上已有充分支持樹木的厚度 t ，故變得較為安全。危險度提升要素有樹木傾斜、龜裂、開口部等，當樹幹空洞的開口角於 120 度以上時，容易發生因彎曲的樹幹斷裂，而 120 度以下的開口角即使 t/R 達到一般兩倍的 60%基準，也比較不易斷裂。但是危險程度因各式各樣條件而有所變動，這些基準一律無法全體適用，應配合目的及現場狀況而做適切判斷，再者不僅判斷目前樹木狀況，也要預測之後樹木癒合生長(增加安全性)及腐朽進行狀況、腐朽菌種類等(增加危險性)考慮危險度並處置。

當判斷無腐朽健全木傾倒的危險度時，另外設計簡單判斷的方式，在健全孤立木形狀比 H/D (樹高/直徑)50 以上，顯示傾倒的危險度增高。樹木連根倒引起傾倒危險性的判斷中，於根分布範圍(直徑)為胸高直徑 36 倍以上(一般超過樹冠範圍)的簡便規範，或參考以大徑木配合胸高直徑為數倍、小徑木為數十倍的 Mattheck 規範基準。

第五節 臺灣樹木診斷手法與精密儀器

樹木是我們環境中重要的組成，是一種生命體，會經歷生、老、病、死，也可能在立木階段遭受人為、生物及環境因素的影響，樹木會破壞掉落或傾倒，其原因是樹木的結構存在缺陷，使得樹木失去平衡的支持力量，於是造成公共安全

上的危險性，樹木危險性檢查及評估成為樹木經營管理的重要項目。經營照顧樹木的樹木技師，可以學習有關樹木危險性檢查及評估的檢測工具及儀器的知識、經驗及技術，以完整性的照顧樹木，其中，樹木內部充滿著木材，瞭解木材的特性及反應是重要的一部分。

除了知識及經驗之外，科技發展愈來愈快，新型檢查樹木的儀器及技術陸續發展，檢查樹木的科技技術也將陸續升級調整。所有的樹木檢查、儀器使用、技術應用等，是依據樹木的狀況及檢查的目的而選擇及決定的，檢查技術、方式及判斷，也是有其經驗性及專業性，所有儀器及技術有其優點也有其限制性。

(一)目診法

以眼睛檢查樹木的外觀，調查樹木結構性的危險缺點項目，評估及判斷樹木危險的等級，目視檢查每一棵樹木的整體狀況，可採取走路式、駕車式、高空式的檢查法，按照制式檢查表格，逐項評估樹木的樹冠、大枝條、樹幹、樹根及環境因素。判斷樹木強度結構的危險缺點項目，並建立檢查表，至少包括七個項目分別為(1)腐朽的木材(Decayed wood)、(2)破裂(Cracks)、(3)根部問題(Root problems)、(4)衰弱枝條的連結(Weak branch unions)、(5)潰瘍(Cankers)、(6)不良樹體結構(Poor tree architecture)、(7)枯死幹枝(Dead trees, tops or branches)。

(二)觸診法

可利用小工具接觸樹木體，以探知樹木體表面硬度強弱，例如金屬推桿是直徑 0.95 公分的檢測桿，可以使用去探測樹幹及樹根組織是否正常或腐朽程度，為了檢測樹幹空洞的大小、破裂的深度、或者進階腐朽的存在，假如樹幹或樹根組織是嚴重的腐朽時，樹幹或樹根的質地會改變(強度減弱)，因此容易使用金屬桿檢測到強度的減低現象。

(三)打診

可使用木槌或橡膠槌以手持敲擊樹幹的樹皮上，或是敲擊在已經暴露的木材表面上，操作者要憑著聽力經驗，並可以解釋產生的聲音是否為中空、嚴重的

腐朽或是健全的木材部位，這個方法是高度的主觀性，並且依據操作者的經驗及解釋技巧，當樹木內部腐朽存在時，藉由打擊樹幹上的樹皮判斷，注意不要誤判聲音的特性，這個方法擁有非入侵式的、便宜的、好攜帶的、不需要維護的等優點。

以木槌打擊立木樹幹橫斷面，可借助儀器或內建軟體判斷音響性質，使用收音解析器(如 Ponta, World Enterprise, Japan)，獲得共振頻率，以 $D(\text{直徑}) \times F(\text{共振頻率}) = D \times F(\text{m Hz})$ ，作為評估健全標準值，又稱為橫向打擊共振法。

(四)生長錐法

生長錐的組成，包括一個中空的管子，然後外部末端有一個螺旋紋，藉由螺旋可以轉進樹木中，並抽出一個直徑約 5mm 的樹芯，在橫切面的這個樹芯可以檢查是否有存在變色或腐朽位置，腐朽的存在可以用手繪製沿著樹芯的長度和相對位置，樹幹的周圍有很多的鑽孔，依據取樣樹芯的長度位置，可以提供一個判斷木材內部健全程度的測定。生長錐是不貴、容易攜帶但有需要一些維護的工具，而且評估的方法是入侵到樹木內部，通常這個工具一般在使用的時候，造成腐朽檢測的最大直徑傷害。樹木有內部腐朽的時候，生長錐會打斷(破壞)樹木中存在的阻隔帶(Barrier zone)，有可能使木材腐朽區域擴散到未損害的木材中。最後，假如鑽孔的尖端變鈍時，這個工具可能會塞住，移出樹木是困難的，有時腐朽部位的樹芯試材會破碎而不容易完整抽出，而造成阻塞或損害生長錐的現象。

(五)表面腐朽檢測法

可使用木槌或橡膠槌以手持敲擊樹幹的樹皮上，或是敲擊在已經暴露的木材表面上，操作者要憑著聽力經驗，並可以解釋產生的聲音是否為中空、嚴重的腐朽或是健全的木材部位，這個方法是高度的主觀性，並且依據操作者的經驗及解釋技巧，當樹木內部腐朽存在時，藉由打擊樹幹上的樹皮判斷，注意不要誤判聲音的特性，這個方法擁有非入侵式的、便宜的、好攜帶的、不需要維護的等優點。

(六)穿孔儀法

穿孔儀器是以鑽針高速度旋轉推進木材時，穿孔儀會記錄所遭遇抵抗值，由抵抗值來評估材質的強弱現象，此類儀器包括有可攜式鑽孔機(Portable drill)、阻抗圖譜儀(Resistograph)、賽伯腐朽檢測穿孔儀(Sibert DDD 200)、鑽孔抵抗儀(IML)等，一般是主要使用做為腐朽檢測的儀器，所有這些儀器評估木材的力學抵抗的改變，為了定量瞭解腐朽的程度及相對位置，穿孔儀器可以評估腐朽的基本條件，是基於木材在腐朽的過程中，木材密度會降低，而相對的木材的硬度和鑽孔的抵抗值會下降，因此，健全的木材密度和硬度較高，鑽孔抵抗值也較高，相反的，嚴重的腐朽木材有較低的密度，較低的硬度，鑽孔抵抗值會較低。

1.可攜式鑽孔機(Portable drills)

鑽針是由電池可以支援電力者進行鑽孔，當樹木被鑽針穿入時，藉由降低的抵抗值圖譜，可以顯示腐朽的位置及程度，鑽針穿入木材時，每間隔一定距離可推移出鑽孔的木材殘屑，木材屑片可以評估是否存在變色、腐朽質地改變、產生氣味等特徵，作為木材腐朽的指標，可攜式鑽孔機的優點是檢測鑽孔腐朽時獲得的這些殘屑片，提供腐朽存在及位置的直接證據，藉著檢查在一定間隔的木材屑片，操作者可以手繪沿著鑽孔路徑長度上正確的變色、腐朽、孔洞位置，這個工具是相對的不貴、容易攜帶、僅需要一些保養的。但可攜式鑽孔機的缺點，是可能在定量腐朽方面發生主觀上的誤判。研究顯示可攜式鑽孔機可以有效的檢測中後期及進階式的腐朽(木材的重量損失率超過 20%以上時)，尤其有經驗的操作者使用時，可靠性較高。對於早期到中期的腐朽(木材的重量損失率小於 20%以下)的檢測，就算是有經驗的操作者，可能也沒辦法完全的檢測出來。

2.阻抗圖譜儀(Resistograph)

阻抗圖譜儀是相對較新的設備，容易操作和使用，有許多不同的機型，使用電池操作而驅動的馬達，在固定的前進速度下驅動鑽針鑽入木材中，在鑽針的鑽孔阻抗是透過轉換齒輪箱的機制，成為一個鑽孔抵抗值的指標，鑽孔阻抗圖譜可

由儀器的頂端看見，也可由防水蠟紙印刷輸出顯示圖形，當鑽針穿入木材時，阻抗值可以測定並記錄，阻抗圖譜的改變模式，可用來決定是否存在腐朽，例如，相對高阻抗的圖譜表示健全的木材，而低的圖譜表示腐朽或缺點，有些機種可藉由連接的電腦螢幕顯示，並由影印機印出資料分析，也可以透過微軟軟體將資料進一步處理。

阻抗圖譜儀的優點，除了可攜式的鑽針可獲得定量的結果，圖譜紀錄可以印出圖形資料分析之外，進階腐朽和空洞，可以檢測出來，腐朽和空洞可以從鑽孔路徑(深度)的橫斷面，繪製定位腐朽空洞的位置，它的缺點是整體儀器會增加重量及大小，使得難以運輸及作為野外使用，另外一個缺點是儀器的鑽針頭是尖銳，不是鈍的，使用久之後會變鈍，需要定期更換鑽針。賽伯腐朽檢測鑽孔儀(Sibert decay detecting DDD 200)相似於阻抗圖譜儀的原理跟檢測腐朽的機制，透過可攜式的鑽針，在固定向前鑽孔的速度下進行鑽孔檢測，它的結果也可以定量，並且也可以藉由列印得到資料。

3.鑽孔儀器的限制因素

可攜式鑽孔機及阻抗圖譜儀在實驗室中，研究木材密度的測定及目視檢查的腐朽評估，具有評估的可靠性。當測定的木材密度值在門檻值以下時，表示木材腐朽的存在，然後比較阻抗圖譜儀的讀值，與可攜式鑽孔機的結果相符，這兩個儀器可以有效的檢測中期到後期、進階腐朽及孔洞的存在；然而，早期到中期階段的腐朽，卻不能夠有效的檢測出來，在一些案例中，早期到中期腐朽發展在圓柱形的樹幹內部時，鑽孔儀可能會低估存在腐朽的量，有一個顯著性安全的問題，是因為木材可以承受某些強度的損失，所以在早期腐朽的階段很難去檢測。腐朽檢測裝置的另外一個限制是，木材抵抗值的變異性以及缺少特定樹種的圖譜基本資料，健全木材的抵抗模式，在不同的樹種有很大的不同，而且在一棵樹木內部可能就存在很大的變異，這些變異因素是樹木生長模式的速率不同、樹脂存在、反應材、心材及邊材不同等，會影響鑽孔抵抗圖譜，因為鑽針鑽孔時產生

的摩擦力作用，可能因為鑽孔深度越深時，造成鑽孔抵抗值增加，摩擦力變強而會使抵抗值變太高，因此妨礙腐朽木材的檢測。因為這些誤判的理由，所以熟悉這些木材的抵抗模式存在於不同的樹種之間及樹木的內部是很重要的，這樣才可以正確的解釋是否存在腐朽。而操作者應該具有標準參考資料，從結構上比較並評估在每一個樹種沒有腐朽或健全木材的差異，做為比較的標準。成本是另外一個必須要考量的問題，阻抗圖譜儀跟賽伯 DDD 200 是很昂貴的儀器。

(七)電阻導電計法

Shigometer(電阻導電計)是由 Shigo 於 1980 年代發明的，法國有修正此儀器變成 Vitalometer，並且開發做為市場使用，方法是以 3mm 直徑的孔洞鑽孔進入樹幹中，深度是 30cm，插入電極，測定每隔 1cm 間隔的電阻抵抗值，單位為歐姆公尺，樹幹內部自由離子的量，因木材不同而不同，自由離子的量越多，電阻值越低，腐朽木材比健全木材有比較多的自由離子，所以電極使用在腐朽的木材時，電阻計的電阻抵抗會突然的改變(偏低)。當腐朽木材檢測時，電阻抵抗值會下降至 50%以下(比較於健全材)，即顯示木材有腐朽的存在。

有些因素會限制電阻導電計在野外的有效性使用，例如，鑽孔的頭容易破碎，而且容易拉斷，另外解釋電阻抵抗結果是困難的，因為木材的含水率小於纖維飽和點時，特別是木材內部有樹脂的時候(樹脂會形成絕緣的作用)，或當鑽孔的洞，充滿水分的時候，會影響腐朽檢測的判斷，因為水分使木材變色。但是沒有腐朽時，也會有較低的電阻抵抗值，造成操作者高估木材腐朽量。

目前較新的電阻抵抗值的測定，可藉由 Tretronic 儀(Picus)來檢測樹幹橫斷面的電阻抵抗值，並繪製 2D 影像圖觀察電阻抵抗的變化，通常健康樹木的橫斷面，有固定的電阻抵抗值範圍，當低於或高於標準電阻抵抗值時，顯示樹幹內部有異常現象，這個異常現象可能需要進一步檢查是否具有危險缺點的存在。因此，可以作為輔助危險樹木的檢查及確定的技術之一，然而此技術的限制是有許多因素(含水率、離子量、邊心材、自重(樹木本身自我的重量，樹木的支持作用)、

反應材等)會影響電阻抵抗的測定，造成沒有經驗的操作者有可能誤判。

(八)音響性檢測法

音響性檢測法包括應力波及超音波系列的儀器有很多種，都具有檢測危險樹木腐朽及空洞的效力，其中介紹音響性設備(應力波計時檢測器)，包括 Mertigard stress wave timer(應力波檢測針)及 Sound impulse hammer(音響性打擊檢測針)，應力波或打擊波傳播通過樹幹橫斷面的時間，所有的音響性設備是藉由音波在一個物體的傳播特性加以判斷，傳播性質與物體的密度有關，損害的木材通常密度較低，因為木材受真菌腐朽或是昆蟲咬食成孔洞，假如部份樹幹的損害或密度降低時，聲音的傳播時間會比健全木材長，當存在嚴重的缺點時，其標準是音速降低至健全木材的 70%以下。

應力波檢測器(2 探針)雖然可以檢測樹幹內部的缺點是否存在，例如腐朽、破裂、孔洞，然而主要缺點是應力波檢測器不能繪製、定位和定量樹幹內部缺點的範圍，另外，應力波檢測器不能檢測確定腐朽的種類。例如，使木材腐朽時可能變脆的狀況。在木材密度降低時，會導致音速降低。腐朽導致變脆的狀況時，而降低木材密度及彈性模數，但是，檢測的音速卻沒有改變，因此可能會誤判。最近幾年，結合計算法及影像法可以使用多個探針(2 個以上)來檢測樹木，可以大致定位及定量，經由調整校正的模式，可以建立有效的影像。

超音波檢測器的檢測跟應力波的測定是相似的原理，但是，測定傳播時間是由發射端探頭跟接收端探頭之間獲得，探頭必須直接接觸木材，並確定良好的接觸樹木，所以，需要移除樹皮進行檢測。與應力波檢測器相似，超音波檢測器可以檢測缺陷的存在與否，但是不知道缺陷的種類，也無法區分強度損失的程度；因此使用這些設備，操作者無法測定樹幹健全外殼的厚度，也不能繪製缺陷的位置和範圍。從一些研究指出，這個應力波及超音波的檢測值，需要用標準參考值去做比較及評估。超音波裝置可以協助應力波檢測器不能檢測的木材是腐朽變脆的類型(訊號消失的缺點)。不像應力波裝置，超音波裝置不能使用在大直徑的

樹木上，因為音波信號在木材中會快速的衰減(與頻率有關)。目前藉由斷層影像軟體研發，多探頭的應力波或超音波等音響性的檢測，已經由 1D 發展成 2D 甚至 3D 影像的階段，對於危險缺陷的位置及範圍，更能快速且較精準的預估，其儀器包括有 Sylvatest 超音波、Fakopp 應力波、Arbotom 應力波、Picus sonic 等，可以結合斷層影像技術(Tomograph)，樹幹橫斷面的腐朽判斷以音速影像分析是一個很重要的解析。

(九)微破壞儀法

微破壞儀(Fractometer)是一種可以決定木材強度的儀器，試材採用生長錐鑽取直徑 5mm 的樹芯，檢測縱向抗壓強度，破壞強度的測定，在較弱的樹芯區域，可以依據樹幹的橫斷面位置加以繪製，抗壓強度的測定及數值是評估樹幹內部健全木材或腐朽木材的重要依據。

使用微破壞儀，有幾個限制因素，有些樹種的樹芯並不適合這個儀器的檢測，因為樹芯是不正常的狀況(如破裂或壓縮區域)，因此不能得到真實的測定結果，另外，操作者必須知道壓縮強度的標準強度值，因此，需要知道某些樹種的健全木材的強度值，或者事先建立不同樹種的強度資料，以作為比較及評估，除了樹種因素之外，木材也會受到地理位置以及樹種內變異的影響，因此，操作者必須取樣及檢測沒有腐朽樣本的強度，而不能全部依賴標準值的結果。比較於其他的腐朽檢測裝置來看，使用生長錐取樣樹芯試材，是比較入侵式樹木的方法，另外，生長錐必須保持銳利，必須通過樹木的髓心，使樹芯跟樹木主軸成垂直的角度，假如樹芯偏離越嚴重就會導致檢測錯誤的結果，但是可以透過樹芯的目視檢查及檢驗，獲得破壞性的驗證確認。

(十)拉伸測試法

拉樹的方法可區分為靜態及動態方式，是模擬風的力量，用一條鋼索綁在樹上一頭，一頭通過絞盤連接到測力計(Stress gauge)，通過外加的力使樹木壓縮及伸張，測定拉伸的長度。並記錄此時根伸張及樹幹的開合傾斜狀況，以此來判斷

樹木的承載力。進一步的方法可以在樹木的不同位置安裝加速度計，以探討樹木在受風力作用下的振動特性及頻率，以了解樹木受風載重時的狀況及推估樹木承受力。目前商業化的儀器工具有 Picus Tree QinetiC 拉樹測量系統(Argus electronic gmbh, Rostock, German)，ArwiLo 風載分析(Wind load analysis)及 DYNATIM 記載樹木動態行為。

(十一)其他腐朽檢測的裝置

腐朽檢測裝置多為入侵式，需謹慎使用，因鑽針或探頭附著會造成樹體傷害，可能破壞阻隔帶並加劇腐朽。雖然小傷害是否促進腐朽擴散尚不確定，但這些損傷不應被忽略，應依樹木狀況限制使用。腐朽檢測主要為評估破壞傾倒風險，尤其需了解不同高度橫斷面的腐朽情形，因此，最小化傷害與干擾是基本原則。

檢測時，只需取得關鍵資訊，應減少鑽孔數量及範圍，先透過目視調查推估腐朽位置，再選擇鑽孔確認，且應集中於健全木材外殼最薄或危險缺陷最嚴重處，如根張間或內捲破裂區。選擇檢測設備須依樹木及現場狀況而定，低成本儀器如攜帶式鑽孔機可偵測中度腐朽；應力波與超音波可偵測腐朽存在，但無法定量範圍，常需繪製缺陷圖。鑽孔裝置可測量外殼厚度，以評估危險等級，應避免過度取樣。

不同檢測儀器各有優缺點，可能誤判，因此應搭配使用並瞭解各儀器局限，並參考不同樹種標準資料作比較。未來理想的腐朽檢測裝置應更簡便、非入侵、能快速提供腐朽位置、類型與範圍資訊。隨科技進步，如探地雷達、X光、斷層掃描、熱影像、高頻影像及核磁共振等技術逐漸成熟，有望成為未來低影響、高效率的樹木危險檢測工具，例如探地雷達可無損偵測地面下根部及樹幹結構，並適合重複調查。

第六節、行道樹危險性調查及判定

1995 年東京都正式執行行道樹診斷，1998 年度製作初版的「行道樹診斷手

冊」，後來，東京都委託一般社團法人行道樹診斷協會編印的 2013 年版本，此外國土交通省也編印「行道樹傾倒對策手冊」，作為道路管理者的技術參考資料。

(一)行道樹診斷目的及必要性

行道樹診斷是期望能早期發現活力衰退的樹木及傾倒木、樹幹折損、枝條折損等危險性樹木，以此實施適當的處理，以維護樹木的健康並防止意外事故。行道樹依據日本的「道路法」，屬於「道路的附屬物」，但因其也和生物一樣，會發生老化及病蟲害，造成衰退、腐朽、傾倒及落枝等，有可能危及車輛、沿道設施及行人等。為預測這樣的風險並將事故防範於未然，以保持更安全、安心且舒適的道路空間，行道樹診斷在道路綠化措施中，就成了最重要的管理作業，而行道樹診斷也被稱為「行道樹的管理」。

(二)行道樹診斷者的資格

在東京都，行道樹診斷需由東京都認可，並參加過行道樹診斷講習的樹木醫來進行，而針對災害時，以特定緊急運輸道路及聯絡道路上大徑級樹木為對象的行道樹防災診斷，因需要專業及正確，故限定具五年以上的實務經驗，且在東京都具實績經驗的行道樹診斷士進行。

(三)安全管理

行道樹診斷作業包含遵守相關法令、確保行車安全及確保作業員的安全。

(四)行道樹診斷對象

1.行道樹診斷的對象

原則上為樹圍為 60cm 以上之樹木，槐樹及柳樹則為樹圍 50cm 以上，但如為較稀有樹種或必要時，即使未滿 60cm 也可為之進行診斷。

2.路線與診斷的優先順序

根據現場調查，能判斷受傾倒木影響可能性高的路線及樹種、配合實施「地域防災計畫」的各個指定路線、其他指定樹種及生長狀態。若為防災重要路線，或是樹圍 90cm 以上的大樹徑行道樹，則需優先診斷。

(五)行道樹診斷種類及順序

行道樹診斷分為「初期診斷」及「專門診斷」。「專門診斷」主要以「外觀診斷」為主，必要時會採用「精密診斷」，「精密診斷」包含了「腐朽診斷」、「根株診斷」及「地下根系調查」。

1.初期診斷

初期診斷除了能迅速發現危險性高的樹木，以早期進行適當處理，並可篩選出必須進行專門診斷的樹木，初期診斷的判定包含專門診斷的必要性、緊急處置的必要性，以及修剪等處理的必要性。

2.專門診斷

(1).外觀診斷

樹木的外觀診斷包含目視及藉由樹木診斷工具的綜合診斷，這需要高度的專門知識及經驗，依據檢查手冊所訂定的行道樹診斷基準，診斷項目包含：活力判斷、部位判定、外觀診斷判定基準，與外觀診斷判定。行道樹診斷書(例)詳如圖 2-2 所示，行道樹診斷病例表詳如圖 2-3 所示。

(2).精密診斷

根據特殊的樹木診斷儀器，對腐朽狀態及腐朽程度作定量的測定，並紀錄各機器的精密診斷結果。

A. 「腐朽診斷」為根基部、樹幹或粗枝的腐朽狀態與程度測定。

B. 「根株診斷」為在地下根系的腐朽狀態及量的測定。

C. 「地下根系調查」為設想根分布區域，精密診斷的判定為基於外觀診斷結果，再記錄精密診斷結果與行道樹診斷結果後作出綜合判定，精密診斷必須於外觀診斷實施後，必要時再進行。

(3).腐朽診斷與根株診斷的判定

當樹幹內部腐朽的空洞率超過斷面 50%時，因斷落及傾倒的機率極高，故於精密診斷中，若空洞率出現超過 50%以上的數值時，便為健全度 C：不健全

(健全度等級)。這是因為為當 t/R 率低於 0.3 時，樹木發生傾倒可能性高，若將此面積換算為腐朽空洞面積的比例，即為斷面積的 50% 以上。

(六)專門診斷的綜合判定

實施行道樹外觀診斷的診斷結果，會由診斷者在進行綜合判定後，紀錄於診斷書內。

1.綜合判定：

根據道路條件、步道寬度及植栽環境等外觀診斷判定，加上精密診斷的腐朽度判定，進行綜合的診斷(外觀診斷判定基準，腐朽度判定基準)。

2.判定理由：

記載綜合判斷的根據，並貼附異常部位的照片供參考。

3.處理：

如有進一步處理的必要性時，應填寫處理內容。

4.緊急性：

如具有緊急性為「有」時，應記載其根據及急迫性。監督員應及早報告危險的狀況及對策等。

(七)基於綜合判定的處理方針

基於專門診斷的綜合判定，行道樹會遵照手冊所訂立的方針來進行處理。但是針對具特別歷史價值的行道樹，則另有其他應對方式。

(八)處理方法

基於綜合判定來考量樹木的健全度及特性，並以手冊為準則決定出處理的方法。外觀診斷及腐朽度判定基準詳如表 2-13、14 所示。

1.健全度 A(高度健全)：除了局部的處理，原則上不需特別處理。

2.健全度 B1(應注意)：有初期危害，需配合狀況作簡單處理。

3.健全度 B2(明顯受害)：有嚴重腐朽等危害，需進行必要的處理。

4.健全度 C(不健全)：進行伐除，若主因是根系腐朽則需拔根、客土及土壤改

良。

(九)行道樹的展望及課題

以 1992 年樹木醫會為開端，1998 年初版行道樹手冊的發行與成立行道樹診斷協會，自東京都展開的行道樹診斷服務，現今全國的其他地區也已跟進實施，並成為樹木醫的主要業務。目前手冊可自東京都的網頁輕易取得，診斷書也更加精簡化，讓樹木醫的作業能更具效率。

但是經驗不足的樹木醫，也會發生診斷品質不足及誤診的案例。由於高度成長期所種植的都市樹木樹徑大，加上異常氣候導致樹木傾倒或斷落的事故增加，以安心、安全為目標的「樹木危機風險管理」就更為重要了。由於往後樹木醫的任務會再擴大，樹木醫的道德、倫理與技術品質便更形重要。因此樹木保護人員制度可參考歐、美、日等國的作法，逐漸建置一套有招募、訓練、考試、管理、教育等系統的專業人員。

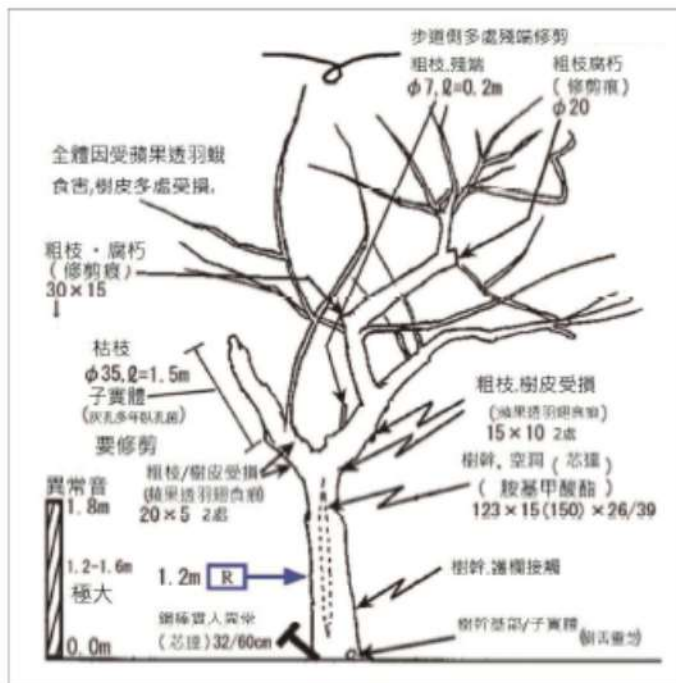
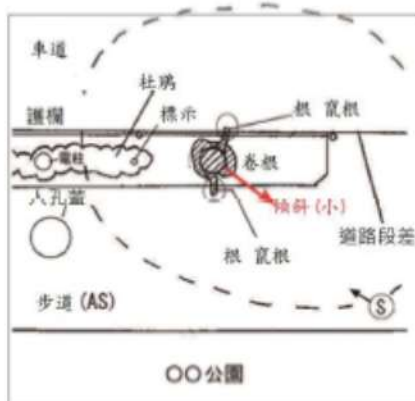
No. 1		行道樹診斷書				事務所名 ○○○○		
路線名	特○○號	樹木醫	○○ ○○	診斷日	20 ○○年○月○日			
	L-○○○	H= 8.1m	C= 165 cm	W= 10.2 m	(根元周 = cm)			
樹種名	櫻樹	植栽形態	☐ 植栽穴 ☒ 植栽帶 ☐ 綠地內 ☐ 其他	支柱	☐ 良好 ☒ 無 ☐ 破損			
活 力 診 斷	樹勢	枝伸長量，枝條先端枯損，葉密度，葉大小，葉色等		良 ← ☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 → 不良				
	樹形	主幹等粗枝枯損，枝條密度及配置等。		☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5				
	所見	枝條先端枯損多，步道側的枝條較少，成為偏崎樹型。						
	活力判定	☐ 大致無 (A) ☒ 今後觀察 (長期周期) 需要 (B1) ☐ 今後觀察 (短期周期) 需要 (B2) ☐ 撤去 (改植) 需要 (C)						
	診斷內容	部位	幹					
	樹皮枯死・欠損・腐朽 (周圍長比例)	☒ 無 ☐ 1/3 未滿 ☐ 1/3 以上	☐ ☒ 1/3 未滿 ☐ 1/3 以上	☐ ☐ 1/3 未滿 ☒ 1/3 以上				
	到達芯的開口空洞 (周圍長比例)	☒ 無 ☐ 1/3 未滿 ☐ 1/3 以上	☐ ☒ 1/3 未滿 ☐ 1/3 以上	☒ ☐ 1/3 未滿 ☐ 1/3 以上				
	不到達芯的開口空洞 (周圍長比例)	☒ 無 ☐ 1/3 未滿 ☐ 1/3 以上	☒ ☐ 1/3 未滿 ☐ 1/3 以上	☒ ☐ 1/3 未滿 ☐ 1/3 以上				
	上紀三大項目，最大被害部位的周圍長比例	被害部幅 被害部周圍長 周圍長比例 / = %		被害部幅 被害部周圍長 周圍長比例 / = %		枯枝 ☐ ☒ (大・中・小)		
	子實體	☐ 無 ☒ 有 ()		☐ 無 ☒ 有 ()		☐ 無 ☒ 有 ()		
外 觀 診 斷	木髓打診 (異常音)	☐ 無 ☒ 有 ()		☐ 無 ☒ 有 (GL1.2-1.6m 極大)		☒ 無 ☐ 有 ()		
	分枝部 / 根的異常	☒ 無 ☐ 有 ()		☒ 無 ☐ 有 ()		☒ 無 ☐ 有 ()		
	樹幹等異常	☒ 無 ☐ 有 ()		☒ 無 ☐ 有 ()		☒ 無 ☐ 有 ()		
	蟲穴、蟲糞、汁液	☐ 無 ☒ 有 ()		☐ 無 ☒ 有 (蘋果透羽蛾)		☐ 無 ☒ 有 (蘋果透羽蛾)		
	樹幹搖晃度	☐ 無 ☒ 有 (小)						
	鋼棒貫入異常	☐ 無 ☒ 有 (32 / 60cm)						
	捲根	☐ 無 ☒ 有 ()						
	根株顏色	☒ 可見 ☐ 不可見 ()						
	露出根	☐ 無 ☒ 有 ()						
	不自然傾斜	☐ 無 ☒ 有 (小)						
所見	需精密診斷 (GL=1.2m)，有異常音，(GL=1.8m 為止，1.2-1.6m 極大) 樹幹空洞填充樹脂 123×15×26/39cm，範圍廣並伴隨異常音。 有枯枝 (φ=35cm L=1.5m) 需修剪，也有超過建築限制界線 (GL4.0m，超過 100cm) 樹幹基部有出現子實體，也有貫入時的異常，需在短期間內進行檢查。 整體因蘋果透羽蛾的食害，樹皮欠損也多。 粗枝的腐朽有惡化傾向，也有粗枝修剪殘枝。 粗枝遮擋標示為看不見的狀態，需要修剪，步道側的修剪殘枝多。 有纏繞根，步道側也出現寬根現象。							
部 位 判 定	判定	部位	根元	幹				
	大致無異常 (不需處置) (A)		☐	☐	☐			
	今後觀察 (長期周期) 需要 (B1)		☐	☐	☐			
	今後觀察 (短期周期) 需要 (B2)		☒	☒	☒			
	撤去 (改植) (C)		☐	☐	☐			
	須修剪		☐	☐	☒			
需精密診斷		☐	☒	☐				
外觀診斷判定	☐ A：接近健全 ☐ B1：應注意可見到的被害 ☒ B2：可見嚴重的被害 ☐ C：不健全							
判定理由	異常音 (樹幹的一部份)。幹空洞到達芯部							
精 密 診 斷	測定	部位 (GL1.2m) 空洞率：31.2%		部位 () 空洞率： %				
	腐朽度判定	☐ 應注意被害 (B1) ☒ 嚴重被害 (B2) ☐ 不健全 (C)						
	判定理由	樹幹有 123×15(150)×26/39 的到達芯空洞，空洞的規模有 31.2%						
總和判定	☐ A：健全或接近健全 ☐ B1：應注意可見的被害 ☒ B2：可見嚴重被害 ☐ C：不健全							
判定理由	精密診斷的結果，空洞率為 31.2%							

圖 2-2、行道樹診斷書(例)

No. 1 L-○○○

行道樹診斷病例表

處置	必要性	□ 無	□ 有	緊急性	□ 無	□ 有
內容	☐ 必要觀察 (長期週期) ☐ 枝條修剪 ☐ 施肥 ()	☐ 必要觀察 (短期週期) ☐ 去除枯枝 ☐ 修剪處理 ()	☒ 必要觀察 (短期週期) ☐ 撤離・改植 ☐ 撤除支柱 ☐ 其他 ()	☐ 支柱繩結修正 ☐ 支柱再設置 ☐ 防止踐踏 ☐ 土壤改良 ()		



診斷概要圖



樹木全景



樹幹隆起, 預測有空洞, 精密診斷為必要。



卷根狀態, 根系露出

其他
特記
事項

本樹的幹周較粗，樹冠大的樹，樹幹內部有較大的空洞，樹幹具折損的危險。
 自立地場所的狀況可知，無法適當的配置支柱。
 靠近公園的入口處以強剪修整伸展的樹枝，取得樹木整體的平衡同時，盡可能降低2 / 3的樹高，
 樹幹基部出現樹舌靈芝，超出建築界線（車道側）。
 枯枝要修剪，遮蔽標示牌的粗枝也要切除。

圖9-7b 行道樹診斷書填入案例。

圖 2-3、行道樹診斷病歷表(例)

表 2-13、外觀診斷判定基準

健全度	判定	外觀
A	健全或接近健全	樹勢及樹形的活力度為1或2，無其他異常項目，或輕微腐朽，局部異常或輕微，目前不須處置。
B1	應注意	樹勢或樹形的活力度為3，被預測今後活力會下降，腐朽進行中，或有其他須注意的可見受害微狀。
B2	嚴重受害	樹勢或樹形的活力度為4，或樹幹、根的腐朽嚴重，可見受害症狀如不進行處置，恢復的可能性低。
C	不健全	樹勢及樹形的活力度為5，樹幹及根嚴重腐朽、極為不健全且無法恢復，或具有傾倒及斷落的危險。

表 2-14、腐朽度判定基準

腐朽空洞率	判定
30%未滿	應注意(B1)
30%以上 50%未滿	嚴重受損(B2)
50%以上	不健全(C)

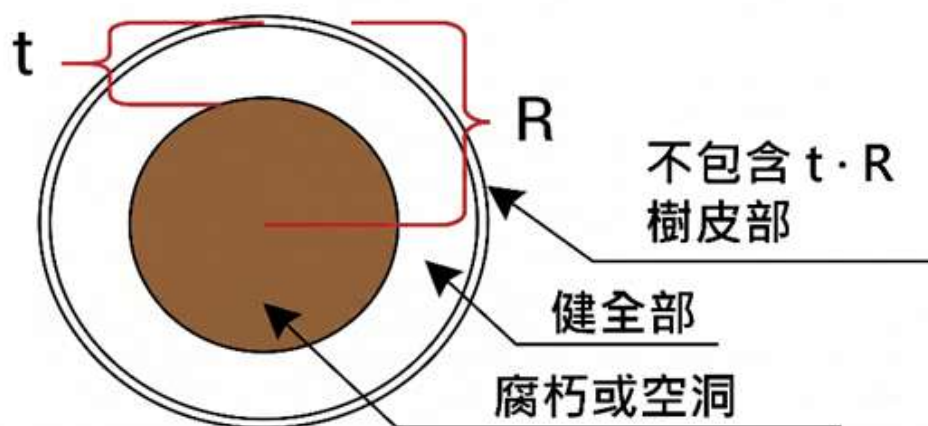


圖 2-4、健全部與腐朽空洞的比例。(t/R)

第七節 綜合診斷與處置建議

(一)綜合診斷書紀錄方式

整理診斷報告書時依照如表 2-15 項目，經整體觀察將明確之處簡單整理並記述。

1.周圍環境的影響

關於調查對象木是處於怎樣的環境生長、詳細觀察周邊狀況並整理結果。同時記錄周圍地形、傾斜度或傾斜方向、日照狀況、表層地質、樹林或建築物的有無、距離，樹冠受壓迫的狀況、主風向或慣性風等的風環境。

2.根系、樹幹基部土壤狀況

觀察對象木根系及樹幹基部土壤狀況的結果進行整理。例如：是否有落葉清掃、受到車輛或人為踩踏、過去有無切斷粗根、根系竄起有無等紀錄並明確問題所在。

3.粗枝・樹幹狀況

重點觀察對象木的粗枝、樹幹並紀錄整理。紀錄內部腐朽、損傷、病蟲害、枯枝、掉落可能性的危險枝幹等。

4.枝葉狀況

觀察對象木樹冠的狀況並整理結果。紀錄枝葉量、梢端枯萎、病蟲害被害、修剪有無及程度等評估其影響。

(二)減輕樹木風險處置

1.前言

緩解是採取減少風險的操作。應用相關措施來減輕風險是基於樹木為主，以減少破壞傾倒的可能性或衝擊的可能性，或者是基於目標(物)，以減少衝擊或後果的可能性。無論哪一種方式，規定的措施必須是實用而有效。對於每個緩解辦法，也應該估計會保留在工作完成後的風險，也就是剩餘風險。緩解措施通常表示為一組選項(許多選擇)，給樹木的管理者或風險經理，這是最終的擁有者有責

任去選擇實施的選項。

因此，此目的在討論樹木風險減緩選項措施，包括對樹木及目標物的選項。描述減緩選項的措施及如何減少風險問題。評估實施減緩風險行動之後的剩餘風險。說明考慮建議減緩選項給樹木管理者。

2.目標管理(Target Management)

目標區域內移動的目標，有時可以臨時或永久地搬遷。考慮是否移動目標，如行人或車輛交通可以從新路進入，或者進入目標區域的限制。如果樹木保存是一個主要的管理目標，通常考慮將對樹木有最低的影響，並且通常要有優先的解決方案。

有時，基於目標的減緩方案被用作臨時措施，以立即減少風險，直到可以採取其他措施。其他時候，風險改變的措施是永久性的。目標管理選項可以加以限制，此視成本或管理者的願意來執行措施處理。

限制接近到目標區，應當考慮為極端風險樹木和高風險的樹木狀況。此外，重新安置可移動目標或減少的移動目標的佔用率，可能在有危險的任何等級，是一個可行的選擇，不過這些選項都應該考慮更多中等和高風險的樹木本身的問題。

3.緩解處理

緩解處理是指那些可以應用在樹木的方式，以減少樹木破壞傾倒和損壞的風險。在大多數情況下，應該要確定，在評估其行動或操作時，可以採取減少風險的最快時間。可能採取的行動包括以下內容：基於樹木的處理行動：1.修剪(Prune)以移除或減少對樹體各部位可能破壞傾倒的載重。2.鋼纜(Cable)，橫向支架(Brace)，或支柱(Prop)提供衰弱部部位的支持。3.移除樹木，包括移植或伐除，如果有合適的替換樹木。4.調整生育地以改進對樹木的環境情況。5.使用樹木生長調節劑，以延長緩解的有效時間。基於目標的處理行動：1.移動目標。2.排除或限制在目標區域內使用。

(1).修剪

樹冠清理(Crown cleaning)是切除破壞，死亡，死亡前，有缺點的，和衰弱連接枝條，會造成不可接受風險水準的枝條，可以按照或參考引用適用的國家修剪標準完成，與例如參照美國的最佳管理實務規範：樹木修剪。修剪移除主要的危險枝條，從而顯著降低殘餘風險的等級，往往與潛在枝條破壞掉落有關，當樹木不是在嚴重衰退時的首選處理方法。

修剪減冠(Reduction)，樹瘤造型修剪(Pollarding)，到有限的程度，樹冠疏修(Thinning)可以執行以減少載重來自於重力，風力，或降水。切頂(Topping)不建議，因為它會產生弱芽和木材腐朽進入的長期問題。在某些情況下，修剪可以與樹木支撐系統(Tree support system)組合設置，以充分降低風險並避免樹木移除。修剪以減少載重可能是任何的危險等級，作為適當的常用建議。

提升樹冠(Crown raising)能切除那些較低的樹枝，枝條會破壞結構或妨礙安全通行的行人或車輛交通，或模糊及障礙標誌和視線。這種修剪類型並不一定會與減少樹木破壞傾倒相關的風險。過度樹冠升起會降低尖削度的發展，並限制樹木的阻尼(緩衝、減振)動態風荷載的作用能力，從而實際上增加風險。任何修剪需要加以考慮，如在樹木的整體健康和活力的情況下，以及是否樹木能容忍建議修剪。

考慮樹木的能力：1.區隔化作用(Compartmentalize)並從修剪的切口會限制腐朽。2.從葉面積的損失中恢復。3.從潛生休眠芽中(Latent buds)發芽生長和發展新葉面積。4.樹木反應於修剪要按樹種，活力和曝光性來決定。樹種狀況應該要予以考慮。

(2).安裝結構性支持系統

結構支撐系統(Structural support systems)可以安裝，以限制某些樹限木組成部份的搖動。各種類型的五金硬件的使用，要考慮到目的。實例包括：1.鋼纜(彈性支撐)(Cables(Flexible braces))是安裝在樹冠上部，限制衰弱接合部(分叉幹)或

共優勢幹(Codominant stems)的搖動。2.橫向拉桿(剛性支撐)(Brace rods(Rigid braces))是安裝在靠近或通過衰弱的接合部(分叉幹)，或者通過分裂的部位。3.引索(guys)是安裝以改善錨固和穩定傾斜，通常一端是樹木，一端是地面或錨固點。4.支柱(props)是安裝為了支持傾斜的樹木和從下方支撐某個較低的樹枝。

雖然結構支撐措施可以減少特定部位破壞傾倒的可能性，但是它們也會改變樹木對風載重的反應。當建議支持系統的安裝，不僅考慮具體的樹木部位的增強，而且要考慮在樹木上的總體影響。例如，安裝一些鋼纜(Cables)或橫桿(Rod)會降低樹冠的吸收風的能力，並從而增加在樹木下部樹幹和樹根的載重的能力。當採用這個選項時，相關標準和美國的最適管理實務應該查閱並參考。

(3).安裝防雷閃電保護系統

在某個位置容易發生雷電，大樹下，暴露的樹木，在高架生育地的樹木，並靠近水體的樹木可能被擊中。受到雷擊的樹木可能遭受的損害很小，或者樹木可能被殺死，或結構上損壞，或甚至樹木分離，構成任何潛在目標的風險。大樹或明顯的樹木都有可能被擊中，或某些位置的樹木容易受到影響，有顯著和嚴重後果，可以透過安裝一個雷電保護系統避免受雷擊破壞。

這些系統的設計進行雷擊的電荷接地，以防止顯著損害樹木，所以是一種預防性的措施比緩減風險處理。安裝雷電保護系統在樹木上，還可以最大限度地減少側閃到附近結構物(建築)的風險。採用這個選項時，相關國家標準和美國的最佳管理實務應該查閱並參考。

(4).樹木移除

樹木移除(Removal)可能在某些情況下，是一個顯而易見的選擇，但是，在其他情況下，它應該是最後和最不希望的選擇。樹木移除應考慮對於最高和極端危險樹木是不恰當的保留，或許如野生動物棲息地或作為老齡樹木，以及在其中目標不能移動或限制的情況。樹木可以提供許多環境，社會和經濟效益，並降低風險的選項，這需要降低風險並權衡這些利益的損失。緩減風險措施中不是只有

伐除樹木的選項，常常有其他選項是可用的，也可以單獨或組合式的進行配置緩減風險選項，將風險降低到可以接受的水準。避免不必要的失責，以藉助移除樹木來減低風險達成最終安全。移除樹木是指將樹木移(走)出原地，所以移除包括移植或伐除等選項。

(5).變更生育地條件，以改善樹木健康

在某些情況下，樹木周圍的生育地現場條件可以改善，以增強樹木穩定性。一個常見的生育地為基礎的措施是改善土壤條件，促進健康的，充滿活力根系生長和功能。透過生育地現場改造以增加樹木的生命力，可以有多餘的時間讓樹木的生長反應，以減輕破壞傾倒的風險，是由於各種樹木地上部或地下部的缺點和條件。隨著時間的推移，新根的發展增加了樹木的穩定，以及新材的發展以強化有內部腐朽的樹幹。

生育地緩解風險選項方案，以減少樹木風險可能包括：1.應用覆蓋物(Mulch)，以改善土壤條件，作為根系生長。2.在潮濕的土壤中改善排水系統，以減少樹木在風中破壞傾倒。3.除去填土緊靠在樹幹周圍，以減少主幹基部的疾病和腐朽的發生率。4.建立風力緩衝區，以減少風的力量對樹木的影響。5.支撐岸邊或斜坡，以減少樹木下方的侵蝕和斜坡崩塌。6.擴大種植開孔(植穴)在鋪面區，允許主幹基部展開部(根張、根領)和結構性根部的發展。7.除去樹木基部周圍的草皮，以提高樹木根系生長。8.施肥修正缺乏的營養物質。9.對某些容易發生根部和根領疾病的樹種，修正灌溉系統，以避免工作期間浸濕的樹幹。10.減少土壤壓實，使更多的根系發育。

生育地改善可以與生育地的限制措施結合起來，以減少目標的佔用率。在極端風險的情況下，生育地改善不應該是唯一的緩減風險措施，因為它是不可能可以迅速降低樹木風險等級。處理以改善立地條件，減少樹木破壞可能需要許多年或幾十年才有效。

(6).使用樹木生長調節劑

樹生長調節劑 (Tree growth regulators, TGR) 改變樹木內部的生長激素和應用於降低樹幹的生長率。當樹木生長調節劑是與修剪一起使用時，有可能延長在公用設施和結構物旁的樹木，減小風阻或清理間隙(空間)好幾年。在一些情況下，應用一定的 TGR，也可能增加根系發育，其可最終改善樹木健康，增加樹木的穩定性。

使用的 TGR 後，因為有處理及其效果之間，會存在時間延遲(差)，它們的使用可能是最適當的在低和中等風險樹木，或與其他緩解風險措施中的組合使用。

4.創造野生樹木或很老的樹木保留

在一些低使用地點，死亡和腐朽的樹木可保留給野生動物作為棲息地。選擇和保留適合樹木作為野生動物棲息地，必須考慮到在短期和長期有目標的接近，因為它會影響風險等級。樹木作為野生動物棲息地有顯著的目標應該要進行監測。理想情況下，這些樹木將是沒有顯著目標，在目標區域內，或僅有低估用率的目標區域。

很老的和成熟的樹木在自然環境中可以重新配置(Reconfigure)，因為樹木隨著年齡的增長而劣化(Deteriorate)，這個過程有時也稱為自然緊縮(Natural retrenchment)。樹幹的直徑可能會繼續增長，而枝條死亡和破壞掉落，以減少樹木的總高度並增加穩定性。在此樹木風險是一個關注問題，樹木保護專業人員可以透過模仿這個過程，藉由採用保育(自然保護)的樹木栽培法，使用的特定的樹冠降低技術。這些樹木的一個管理策略是保持自己的樹高，要比最接近的目標距離要短一些。一些樹木被緊縮有幾十年而一直保持穩定。然而像野生樹木應該要加以監測。

5.剩餘的風險

剩餘風險(Residual risk)是緩解風險處置之後剩餘的風險。總有一些殘餘的風險存在。隨著樹木移除，例如，剩餘風險會降低到接近零，然而，即使殘端(Stumps)

可能會造成一些殘餘的風險，如被絆倒。殘餘風險的等級應該是報告的一部分，這樣可作為關於緩解方案一個明智的決定。而最高危險的因素經常是採取補救措施的重點，建議緩解辦法應該作為每個情況的評估，並估計在這些操作之後的剩餘風險。如果最高風險有緩減，剩餘風險會降低到下一個風險等級中。

殘餘風險的計算採用相同的方式，原始風險計算除了破壞傾倒的可能性之外，衝擊的可能性，和後果因素要被估計，作為規定的緩減處置完成之後的存在情況。通常，只有這三個因素之一會改變，所以計算上會簡化。它通常是樹木破壞傾倒的可能性是會降低的。殘餘風險的等級需要可以被管理者或擁有者所接受。如果剩餘風險超過了可以接受的風險等級，在這種特定情況下，處理的選項並不是採取處理中最好的辦法。

6.提出建議緩解選項

在大多數情況下，作為樹木風險評估者，你需要 1.為降低風險的建議或推薦的選項。2.提供關於緩解處置相關的剩餘風險的資訊。3.提出緩解風險處置的時間架構。4.建議對緩解風險工作的優先級，如果有許多正在評估的樹木。

緩解風險處置可能涉及多項操作處理。基於最高風險因素的樹木風險等級，分配在一個樹木的整體風險(最大缺點制度)，但是通常也應考慮有其他因素，如果樹木將被保留，這可能需要額外的處置。一旦最高的風險因素已經緩解，樹木風險等級下降到下一個等級風險因素。當建議處置例如有鋼纜，橫向拉桿，防雷電保護系統的安裝，應該建議這些措施要按照或參考行業公認的標準來實施，例如美國國家標準協會（ANSI）或美國最適管理實務。

緩減處置：大多數的樹木風險評估者會提出以下建議：1.極端風險的樹木，應盡快採取緩解處置。立即採取措施，可能需要限制進入目標區域。2.高風險的樹木，在實務可行時，如工作時間表或修剪週期是允許時，應該盡快緩解處置。3.中度風險樹木可以緩減處置或保留及監測。當有預算時，工作時間表，或修剪週期允許時，最好在季節性風暴發生之前，緩解處置可以執行。4.低風險的樹木

應該保留和監控（如適用），或當預算，工作日程表，或修剪週期允許時，如果認為有必要實施減輕處置。

7. 注意安全

對於某些極端危險的樹木，在移除樹木之前，緩解風險處置可以涉及到目標區域內使用的立即性直接限制。安全移除樹木可能需要使用起重機或高空升降，因為在樹上增加了載重，例如攀樹者的體重或較低的枝條，這可能導致樹木破壞傾倒。

那些對高或極端危險的公共樹木，可能對指定給減輕風險的工人，有更高的風險。開始工作之前，樹木工作者應該評估這種樹木帶來的風險。在某些情況下，對風險評估報告進行溝通具體危害，對於有關樹木的工人，可能要對樹木處置以減輕風險，避免對實施的工作員有安全問題。

8. 提出建議緩解優先事項

有時可能不需花費更多的時間和金錢調查的具體問題，所以不一定能由風險管理者提供所有尋求的答案。在這種情況下，要注意到報告的限制，或建議一種進階的評估，並讓風險管理者決定如何進行。

對單一私人樹木，需訂定緩解工作的優先順序，由所有者決定減緩方案及日程。對樹木群（如城市或公用設施），排定優先順序更為重要，評估報告常列出需接受相似緩解處置的樹木清單。

建議可依生育地與環境條件，提出優先區域與任務，協助風險管理。優先排序取決於目標、風險性質、時間急迫性及緩解選項（如短期或長期限制），並應考量法令規範，且說明建議合理性。

也應考量緩解措施的短期與長期影響，如移除樹木後立即補植，有助於新樹木快速建立；設置圍欄限制進入，則可爭取處理其他問題的時間。

若發現極端風險，應儘速通知業主採取行動，以減少傷害風險及避免責任。在少數情況下，如樹木破壞傾倒正在進行，需即時通知並限制進入目標區。

若無法即時提供所有解答，應在報告中註明限制，或建議進行進階評估，由風險管理者決定後續行動。

9.緩解處置時間表

緩解處理的實施時間取決於風險程度，風險越高，應越快行動。樹木風險評估者應提出以下建議：

- (1).極端風險：應立即或數天內緩解，必要時限制目標區以保護人員安全。
- (2).高風險：應儘快處置，通常在數週至數月內完成，最好在下一個風暴季來臨前。
- (3).中度風險：可安排緩解或保留並監測，若有預算與時間，宜於季節性風暴前完成，也可在數月至數年內依計畫實施。
- (4).低風險：通常無需立即處置，可保留並監控。如有建議措施，應列為低優先級，於預算與日程允許時執行，多數可納入多年期樹木管理策略。

10.結語

緩解處理是指在應用措施時，降低樹木破壞傾倒或損壞風險。通常需要評估行動的種類、時間及其效益，並估算各方案的剩餘風險。對於極高風險的樹木，緩解處置可能包括在移除前，於目標區域施加直接限制。行動方案由樹木所有者或管理者根據可接受風險決定。

緩解措施可分為基於樹木或基於目標。樹木方面包括修剪、安裝支撐系統、雷電防護、生育地改善及使用生長調節劑延長緩解效果；必要時，移除樹木也是選項，但評估者應避免將移除視為預設立場。目標方面則為移動目標或限制進入生育地，常用於野生動物樹木或古樹管理，並可搭配現地限制。

緩解後的剩餘風險需達到管理者或所有者可接受的等級。若仍高於可接受標準，該方案即不適用。當面對樹木群體時，應依生育地和環境條件排定優先順序，提供風險管理者進一步指引。

表 2-15、綜合診斷書

周邊環境影響	
根系、樹幹基部的土壤狀況	
粗枝、樹幹狀況	
樹冠、枝葉狀況	
其他	
考察	
綜合判斷	

實施緩解處置的時間表，以降低風險程度，其變化隨著風險存在的程度各不相同，風險越大，愈緊急時，期立即行動的時間要越短。在極端危險的樹木，應該建議趕快行動。對於高風險的樹木，當工作時間表或修剪週期允許，應該根據實際情況盡快實施減緩處理。摘要減輕樹木風險的方法詳如表 2-16 所示，降低倒木對策管理之特性要因分析詳如圖 2-5 所示，基於樹木的緩解風險方案之具體樹木缺點，具有關注的目標。也可以考慮基於目標的緩解風險方案，如移動目標或限制在目標區域內的進入。樹木缺點類型及緩減風險方案詳如表 2-17 所示。樹木處方箋(例)詳如表 2-18 所示。

表 2-16、摘要減輕樹木風險的方法

減輕風險的方法	處置
1.病蟲害防治	病害防治、蟲害防治、傷害治療、維護管理
2.環境及棲地改善	環境清理、土壤改良、促進生長、減少逆境
3.修剪作業	除害修剪、疏修、縮冠、昇冠、安全修剪
4.樹木支持加固作用	引索、橫向拉桿、鋼索、支柱、地下支架(地錨式、磐地式)
5.限制使用的傾倒範圍	圍籬、柵欄或植栽、標示引導、限制進入
6.移走目標	移走人、車、設施
7.移走樹木(移除)	移植、伐除

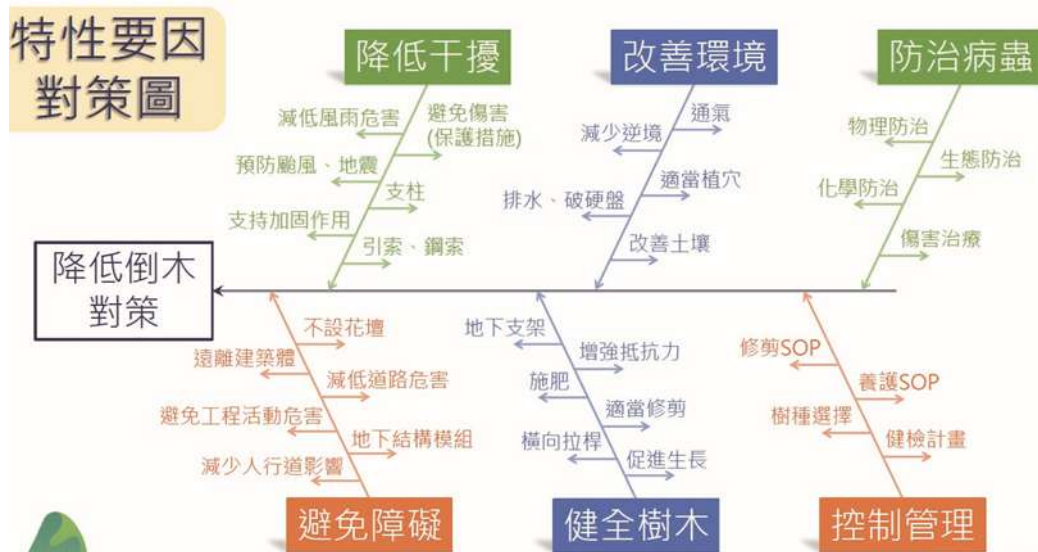


圖 2-5、降低倒木對策管理之特性要因分析。

表 2-17、樹木缺點類型及緩減風險方案

缺點類型	緩減風險方案 (可能組合使用)	情況及理由
樹幹或根部腐朽	修剪	有低到中等腐朽時，以修剪以減少樹冠部的載重和尺寸，以減少對衰弱部位的應力。顯著縮冠（樹冠降低）可能是一種選項。
	移除	其中腐朽是缺乏廣泛和反應生長，移除可能是合理的。
	支撐系統	鋼纜佈線(Cabling)通常不會減緩缺點。支撐柱(Propping)可能是可行的，如果樹木嚴重傾斜。
枝條破裂或腐朽	修剪	對於低到中等的腐朽，修剪以減少枝條的負載和尺寸。
	支撐系統	如果有損害是廣泛的，鋼纜(Cable)設置在健全木。如果枝條破裂，安裝橫向拉桿(Brace rods)可能是一種選項，與鋼纜結合的安裝，以減少搖動。不建議鋼纜佈線在腐木。
	移除	如果修剪或安裝支持系統不是一個選項，枝條移除應該建議。
水平枝條尖削度差，末端過重	修剪	第一個選擇是進行修剪，以減少重量和擴展的枝條。

	支撐系統	如果修剪不能適當的減少對枝條的應力，支柱或鋼纜(Propping or cabling)可以考慮，可能與修剪組合。如果可行，移動目標，並讓低樹枝延伸到地面。
不良尖削度樹幹，最新暴露，具有很高的樹高：直徑比和低活樹冠比	移除	該樹木移除或移動目標。修剪疏除(Thinning)很少會緩解這種情況。
	限制進入	隨著時間的推移，有活力的樹木將發展尖削度和枝條適應於邊界暴露情況，風險將降低。
傾斜中的樹木	保留和監測	頂部已經成長垂直(自我修正)，不需要處理。
	修剪	對於中度傾斜，修剪以減少的載重，枝條長度，或樹高。
	移除	對於最近的傾斜，有隆起土丘或破裂的土壤在傾斜之後，移除通常是必要的。
	支撐系統	支柱或引索(Propping or guying)可以組合修剪。
由於內含樹皮(Included bark)、V型連結或共優勢勢(Codominant stems)的衰弱枝條的連結	修剪	修剪以減少重量在衰弱連接的枝條，樹幹下的小枝條，或移除樹幹之一。
	支撐系統	考慮安裝鋼纜(Cable)，橫向拉桿(Brace)或支柱(Propping)系統。
	移除	考慮移除，如果修剪或支持系統的安裝將不能充分地降低風險時。
由於風暴或修剪使頂部的損失，造成衰弱	修剪	修剪以減少載重及再生長的長度。枝條及疏修後的再生長以提供間隔，保留生長芽有最好的附著。
連結的再生長	TGR	TGR的應用可以減少樹幹的生長。
接近樹幹附近的根部切斷	修剪	修剪以減少樹冠的載重及和大小(縮冠)(Crown reduction)。
	移除	如果根部損失顯著和樹木暴露在強風中，可以考慮移除。
	支撐系統	引索(Guying)可能在某些情況下。
死亡枝條或懸掛	修剪	修剪清理樹冠。

表 2-18、樹木處方箋(例)。

周邊環境整備 (圖示)	
土壤改良與發根促進 (圖示)	
樹幹部的處置 (圖示)	
修剪	
設置支柱 (圖示)	
柵欄設置 (圖示)	範圍
	方法
其他	
特記事項	
保全計劃 (五年)	緊急項目
	中、長期項目
	其他必要的項目

樹保高級題庫

第二章、階樹木健康檢驗

編者註：以下簡答題為作者提供教師與學員授課參考

簡答題：

1.	橫向打擊共振法檢驗樹木健康的簡單原理
答	健全樹木與有腐朽或空洞樹木，因敲擊樹木聲音的頻率不同，有腐朽或空洞樹木聲音的共振頻率較健全樹木聲音的共振頻率低。
2.	超音波或應力波法檢驗樹木健康的簡單原理
答	健全木材音速較快，腐朽空洞木材音速較慢，以健全部或腐朽空洞的音速值作為評估標準值。
3.	鑽孔抵抗法檢驗樹木健康的簡單原理
答	鑽孔抵抗值在健全材較高，腐朽空洞材較低，可藉由鑽孔抵抗圖譜(量變曲線)高低判斷樹木橫斷面的健全、腐朽、空洞位置及範圍。
4.	電阻抵抗法檢驗樹木健康的簡單原理(腐朽及空洞狀況)
答	腐朽木材比健全木材有比較多的自由離子，而且通常有較高的含水率，所以電極使用在腐朽的木材時，電阻計的電阻抵抗會降低；當樹幹中有空洞時，會限制導電作用的性質，因此，電阻抵抗強度會增加。
5.	微破壞儀法(Fractometer法)檢驗樹木健康的簡單原理
答	以生長錐取樣樹芯為試材，檢測木材的縱向抗壓強度，以健全部的抗壓強度為標準值作為比較。
6.	輻射線法檢驗樹木健康的簡單原理
答	木材強度及密度較高時，木材吸收射線強度的能力較高，反之，木材密度較低，吸收射線強度的能力較低，可從感應負片可顯示差異，以瞭解健全、腐朽、空洞位置及範圍。
7.	聽診器檢測法檢驗樹木健康的簡單原理
答	在昆蟲生物於樹幹內部活動時，可利用聽診器或相關儀器設備監聽昆蟲活動的聲音，藉此加以判斷是否有無生物危害及其嚴重程度，昆蟲活動主要是移動及覓食。
8.	木材表面腐朽檢測(Pilodyn法)檢驗樹木健康的簡單原理
答	應用木材表面腐朽檢測儀(Pilodyn)的探針穿入木材的深度作為指標，主要是穿透深度與材料的密度間有密切的相關性存在。穿透深度愈深，木材密度愈低，穿透深度愈淺，木材密度愈高。
9.	紅外線(熱)影像法檢驗樹木健康的簡單原理
答	藉由測定物體的紅外線輻射量，便可以知道物體的溫度，以瞭解樹體不同溫度差異，評估樹木異常部位。

樹木保護專業人員教材

【高級】

第三章 樹木疫病蟲害健康管理

孫岩章/吳孟玲



疫病蟲害防治

第三章 樹木疫病蟲害健康管理

第一節、前言

樹木與人類長久以來一直維持著密不可分的關係，舉凡家庭庭園、學校校園、公園綠地及交通道路處處可見，甚至環保意識高漲的今天，讓臺灣本島森林維護更行重要，這些樹木的健康與否完全依賴我們的經營與管理。

植物診療師或植物醫師三大作業或工作內容之首，即為「病因診斷」。其診斷方法及技術在各植物醫學相關之「植物保護學」、「植物病理學」或「植物病因學」教科書中皆有介紹。而從科學的因果關係角度觀之，「病因診斷學」的目的，即在探求各類植物疫病蟲害的「病因」或「害因」。又一般已知會造成植物生病之「病因或害因」主要有病害、蟲害、草害、藥害、營養不良或過量、逆境因子等。

植物病因的診斷是非常重要的，因為診斷如果錯誤，後續的防治處方就失去意義，也會造成錯誤的防治，其結果不僅無法預防或治療疾病，也會喪失最佳防治之時機。又因植物的疫病蟲害多屬不可逆性，不像人或動物有「醫學美容」恢復外觀的機會，所以造成的經濟損害會十分嚴重。

植物醫學上的「診斷學」，其實不是只為「簡單」的比對病徵、尋求病名，相反地，就像人醫有千百種診斷方法及等級一樣，植醫及樹醫對植物「疫病蟲害」的診斷亦可依其目的、尺度或方法、精確度或品質等，分成下列各大類別，如表 3-1。

人類對於新發生病害或未知病因病害之病因診斷學，最基本的依據，即是用以判定「因果關係」之病理學法則，此與人醫相同，即為人類醫學在 1850 年代歷經啟蒙而逐漸成熟的「柯霍氏法則」(Koch's postulates)。這是勞勃柯霍(Robert Koch)在 1883 年首先提出、經後人增加第四條而完成的。該法則是一整合的邏輯法則，也是一切診斷學、病因學、病原學的基礎，在植物醫學及樹木醫學上它

也居同樣的地位，故將它連同英文敘述摘錄如下：

- (一)可疑疾病之病原必出現於每一寄主病株體內(The suspected causal agent must be present in every diseased organism examined)。
- (二)可疑病原必可從病株寄主分離並可純種培養(The suspected causal agent must be isolated from the diseased host organism and grown in pure culture.)。
- (三)已純種培養之可疑病原接種入健康植株必能再生該特定疾病(When a pure culture of the suspected causal agent is inoculated into a healthy susceptible host, the host must reproduce the specific disease.)。
- (四)人工接種發病之病株必可再分離培養出該病原(The same causal agent must be recovered again from the experimentally inoculated and infected host.)。

上列「柯霍氏法則」四條條文比勞勃柯霍在 1883 年首先提出者多了第四條。其目的及意義是要更慎重其事，要求可以重複驗證。而如果缺少第四條，會有可能在第三條完成之後，卻仍是錯誤的因果。其原因是有些疾病的病徵可能很相像，結果在人工接種時都會生病，但再分離卻分離不出原先假設的那種病菌。

故當一位植物醫師或樹木醫師，面對各種「疫病蟲害」進行各種診斷作業或職掌時，都必須時時刻刻思考：當下的診斷論說是否符合上述的「柯霍氏法則」，如果符合，則必不會出錯，如果不符，則應再繼續重新探討、研究或驗證，以求重新完成上述法則四條文的成功驗證。

表 3-1、植物及樹木醫學診斷作業的分類（摘自孫岩章 2018 植物醫師指南）

依目的分類	依尺度或方法分類	依精確度或品質分類
1.新疫病蟲害的診斷鑑定：對新發生疫病蟲害或未經柯霍氏法則驗證過者之診斷、檢驗、研究或鑑定。	1.宏觀診斷：依據田間、宏觀上農林植物群體之受害分佈、發生期間變化、流行型態等進行之診斷。	1.初步診斷：只依據田間分佈、病徵等進行之初步診斷。
2.初始或潛伏病徵診斷：每年或每季對疫病蟲害最早出現或仍屬潛伏期的初始病徵進行之檢驗、調查或診斷鑑定。	2.巨觀診斷：依據近距離目視觀察農林植物單株或各器官受害之病徵、分佈、病兆等進行之診斷。	2.確定診斷：已確定病因、確定其因果關係之診斷。
3.健康檢查診斷：依合約、事先或例行性對特定區域農林植物進行之健康檢查、檢驗或診斷。	3.微觀診斷：利用顯微鏡對農林植物受害組織進行解剖、胞器病變觀察、病原觀察、呈色反應等進行之診斷。	3.快速診斷：依據較為快速之診斷科技所進行之診斷，如快速鏡檢、膠金抗體診斷等。
4.死亡害因診斷：對因疫病蟲害造成枯死的植物進行死亡害因之檢驗、調查或診斷。	4.分子診斷：利用分子生物學技術如抗體、基因序列、生化反應等進行之診斷鑑定。	4.早期診斷：依據病程發展之早期或初期進行，以求早期防治之診斷。
5.解剖診斷：指利用解剖學方法對染患疫病蟲害的植物進行全株或局部性之解剖、檢驗或診斷。	5.化學診斷：指利用化學檢驗或特定化學技術等進行之診斷。	5.篩檢診斷：利用特定生化反應等對大量農林植物族群或樣本進行之抽查篩檢或診斷鑑定。
6.損害量診斷：對農林植物因疫病蟲害造成受害損害量之檢驗、調查、評估或計量。	6.免疫學診斷：指利用免疫學或相關特定技術等進行之診斷。	6.指標病徵診斷：指利用非直接證據之指標技術等進行之診斷。
7.進出口檢疫診斷：對進出口農林產品等進行檢疫目的之檢驗、調查或診斷。	7.生物檢定診斷：利用特定生物反應或指標生物等進行之檢測、檢驗或診斷鑑定。	7.非破壞性診斷：指利用對農林植物本身不會造成傷害之技術或設備進行之檢驗或診斷。
8.流行病學診斷研究：在時間及空間上對田間疫病蟲害進行嚴重度變化之診斷、調查或研究。	8.培養診斷：指利用特定選擇性培養基等對病原微生物進行培養鑑定之檢驗或診斷。	8.嗅覺診斷：指利用嗅覺或電子鼻等進行之診斷。
9.藥害鑑定診斷：對用藥後出現之特定藥害病因進行之檢驗、調查、或診斷。	9.光學掃描診斷：指利用光學儀器或設備等進行之檢驗或診斷。	9.聽覺診斷：指利用耳朵聽覺或聲波技術等進行之診斷。
10.污染公害鑑定診斷：對因環境污染造成之特定公害病因進行之檢驗、調查、鑑定或診斷。	10.空拍診斷：利用高空飛行或照相設備從農林植物群體上空拍照等進行之診斷。	10.整合性診斷：指利用各種可行之診斷方法全面進行，以求完整性之診斷。

第二節、樹木健康的定義及判定

(一)樹木的器官：分成根、莖、葉、花、果、種子。

葉片一般有上表皮、氣孔、柵狀組織、海綿組織、葉脈、下表皮等結構，部份樹種之葉片外表尚有葉毛、腺體等。葉片形態甚多元，依單生或複生可分成單葉、羽狀複葉(一回至三回)、掌狀複葉、三出複葉、單身複葉等；依其在莖上着生位序則可分成互生、對生、輪生。完全葉一般有葉片、葉柄、托葉，輸送水分及養分之維管束會依葉脈之分佈而完整地配置，一直到達葉緣或葉尖的水孔，此些水孔亦是過多水分及溶質排放之孔口。葉脈常可分成網狀脈、平行脈、針葉樹的單脈、銀杏的二叉葉脈。樹木葉片氣孔的分布以下表面為多，每一氣孔由 2 新月形保衛細胞組成，當保衛細胞進水充足即會膨脹彎曲而使氣孔打開，當失水或因空污逆境時即會失壓而使氣孔關閉或減少孔口面積，其關閉之反應速度最短約在 3 分鐘以內。葉片中 3 種含葉綠素之細胞是在柵狀組織、海綿組織及保衛細胞。葉部所含葉綠素，是地球最重要的生產者，經由光合作用，將大氣中的二氧化碳固定為碳水化合物，即經由葉脈輸送至莖及根部，以纖維素之形態，成為木材或材積最主要的成分。為避免日光中紫外線長期照射對細胞及胞器之傷害，不同樹木會演化產製大量抗紫外線、抗氧化的防禦物質，配置於上下表皮或其他組織細胞之中，構成多種顏色之樹葉、花、果及種子，此些二次代謝產物統稱為植化素(Phytochemicals)，已知的化合物達 2 萬種以上，也是人類攝取蔬果用以防病防癌的關鍵防禦物質。

種子則是最小的器官，一般由種皮、胚和胚乳所組成，胚是種子中最主要的部分，常可分成胚芽、胚軸、子葉、胚根等結構，萌發後即由此長成新的莖及根部。

根部是樹木吸收水分及養分最重要的器官，具功能之根其末端可分成 4 區，即根冠、分生區、伸長區及帶根毛的根毛區，根毛區是功能最高的部位。根部的橫切面則可分成三種結構，外為根表皮，中有皮質，內則為中柱，在初生根生長

之後，中柱內具增生能力之中柱鞘會向外增生次生韌皮部，向內增生次生木質部，外加增生薄壁細胞，使根部增粗，具有物理支撐能力。而初生根表皮在次生根階段也會脫落，並增生出木栓形成層，產生木栓層保護根系。

莖部是根系以外最重要的支撐器官，其初生結構一樣有表皮、皮層、維管束及髓，在次生階段，具增生能力之維管束形成層會向外增生次生韌皮部，向內增生次生木質部，外加增生薄壁細胞等，使莖部增粗，而表皮在次生階段也會脫落，由皮層增生出木栓形成層，產生木栓層。在被子植物之針葉樹與雙子葉之闊葉樹，其木質部有甚大的差異，針葉樹主要的水分輸送是由邊材區的管胞(Tracheid)群負責，其為兩端斜尖之多孔口死細胞，闊葉樹的水分輸送則除了管胞以外，尚有更連通之導管(Vessel)，其為上下堆疊、多孔口、兩端有孔板之管狀死細胞，其水分輸送效率遠比管胞為優。木質部之管胞及導管之四周，亦圍繞著大量纖維細胞及薄壁細胞，前者具物理支撐的功能，後者則具維生之功能。

至於形成層外之次生韌皮部，主要由篩管(Sieve tube)及伴細胞所組成，另亦圍繞著纖維細胞及薄壁細胞，篩管負責光合產物之輸送，其兩端有多孔之篩板。伴細胞則為活細胞，以原生質絲與篩管分子聯繫，維持篩管之滲透壓，並提供營養和能量。

花及果實是樹木有性繁殖後代的必要器官，花的花芽分化(Flower bud differentiation)常由季節之溫度變化或日照長短變化所調控，因此依日照長短變化可分成「短日植物」、「長日植物」、「短夜植物」等。而花芽分化之後即逐步抽苔、開花，其抽苔開花的位置甚多元，可在莖頂或多元之部位。一般花器含花柄、花托、花萼、花瓣、雌蕊、雄蕊等結構。雄蕊主要含花藥及花絲，由花藥內之花粉母細胞經減數分裂產出花粉。雌蕊則有柱頭、花柱、子房之結構，子房含有子房壁、皮層及 1 至多個胚珠，每一胚珠有珠被、胚囊、珠孔之結構，胚囊內有經減數分裂產出之卵細胞、2 個極核，各與花粉管伸入之精子結合，即成為種子之胚及胚乳(3n)，而珠被即發育成種皮，珠孔即成為未來發芽之芽孔。子房及子房

壁在精卵結合之後，則逐漸因生長激素之作用而有豐厚的增生及營養物質的配置，成為果實，包含果皮、果肉等結構。在針葉樹之裸子植物，因無子房之結構，其胚珠一開始即是裸生，直接在毬果中產生種子，而缺乏果實之結構。

(二)樹木的物理結構：

分成樹冠、樹幹、樹根、生育地。因演化之結果分成針葉樹、闊葉樹、棕櫚樹、子遺樹種等。喬木和灌木在初生生長結束後，根莖中的維管束形成層開始活動，向外長出次生韌皮部，向內發展出次生木質部，即是俗稱之木材。故木材是維管束形成層每年向內增長出次生木質部的統稱，包括木質部和放射薄壁細胞。喬木類及灌木類的樹木之樹幹因有不斷分裂之形成層，分裂產生之木質部含有纖維素、半纖維素、木質素等，構成強韌之心材及邊材，是樹木抗風、支撐、向上增長的主要結構。但棕櫚科樹木則無維管束形成層，故在初生生長結束後不再增生，其維管束亦含有韌皮部及木質部，但維管束是分散在樹幹莖平面中，四周被極強韌之纖維及一些薄壁細胞所包夾，構成極富彈性、消滅風壓之物理結構。與棕櫚科類似的有禾本科竹亞科之竹類。竹類是世界上生長速度最快的植物，其地上部分的空心莖每天最快可增高 40 公分，而其維管束亦是分散在外圍竹材之平面中，四周被極強韌之纖維及薄壁細胞所包夾。

(三)樹木的化學組成：

含 16 或 17 種必要元素及甚多非必要元素，主要有碳水化合物、蛋白質、脂肪、核酸、植化素、生長激素、礦物質、二次代謝物。樹木的莖、根及樹枝，經由次生生長構成最大的生質物質，即為木材，其為複雜的有機體，成分中含碳約 44%，氫 6%，氧約 43%，氮約 0.5%，其成分中有約 1%之其他金屬或稱灰分元素，包括鈣、鉀、鎂、鈉、鐵、錳、鋅、鋁等，另也含有少量的硫、氯、矽、磷等鹽基。從工業應用之角度觀之，乾燥木材的主成分有三，即纖維素、木質素及半纖維素。纖維素是葡萄糖單糖之高密度聚合物，約佔木材總成分之 41 至 43%。半纖維素則是葡萄糖、五碳糖及其他糖分子的低密度聚合物，較易被酵素水解，

其在闊葉樹木材中含量約佔 20%，在針葉樹中較高約佔 30%。木質素則是沉積於纖維素及半纖維素四周之酚類物質，含有苯環而具疏水、抗菌之功能，其在闊葉樹木材中佔約 27%，在針葉樹木材中佔約 23%。因針葉樹木材含半纖維素高，含木質素低，故使其結構較不堅硬，俗稱為軟木。又工業中紙漿的製程，即在以硫酸鈉等對木材進行蒸煮，使纖維素和木質素分離，取其纖維素成為紙漿。

(四)樹木的顯微組成：

各器官由多種組織所組構而成，每一組織則由多種細胞組建，如有 6 器官各 10 種細胞，則有至少 60 種以上之細胞。

例如葉片有上下表皮透明細胞、葉毛細胞、氣孔保衛細胞、含葉綠體的柵狀組織細胞、海綿組織細胞等，其中的葉脈則由維管束鞘細胞包圍，內有篩管細胞、伴細胞、管胞細胞、導管細胞、纖維細胞、薄壁細胞等至少 12 種不同之細胞。

莖部則可以形成層細胞為界，向外有篩管細胞、伴細胞、纖維細胞、薄壁細胞、皮層細胞、木栓母細胞、木栓細胞、皮孔細胞等。向內則有管胞細胞、導管細胞、纖維細胞、薄壁細胞、橫向射髓細胞、莖部中央之心髓細胞等，至少 15 種的細胞。但木材中的細胞尤其是木質部之管胞細胞、導管細胞、纖維細胞等，都已不帶細胞核，成為一種支撐性的產品。在根的方面，其細根階段有特別的結構即根冠、分生區、伸長區及帶根毛的根毛區（成熟區），因此在根尖區有根冠母細胞、表皮母細胞、皮質母細胞、中柱母細胞等，不斷地分裂出根冠細胞、表皮細胞、皮質細胞、中柱內的篩管細胞、伴細胞、纖維細胞、薄壁細胞、管胞細胞、導管細胞等。而在帶根毛的根毛區，則另有根毛細胞及卡氏帶相關細胞。至於經次生生長變粗之粗根，則與上述之莖部類似，含有除了皮孔細胞及心髓細胞以外的各種細胞。

在花及果方面，自花的花芽分化，到花梗的抽苔，形成花柄、花托、花萼、花瓣、雌蕊、雄蕊等結構，即各含不同功能之細胞群，估計細胞有 20 種以上，其中有甚多只有極短的生命週期，例如穗花棋盤角的花冠是傍晚生成，約 12 小

時後即完成開花授粉的歷程，並即凋謝、脫落。唯雌蕊原有柱頭、花柱、子房之結構及細胞，其子房含有子房壁、皮質及胚珠，每一胚珠有珠被、胚囊、珠孔之結構及細胞，胚囊內有經減數分裂產出之卵細胞、極核細胞，各與花粉管伸入之精子結合，即成為種子之胚及胚乳($3n$)，各含細胞群。又當雌雄授粉完成，含 1 至多個胚珠之子房即因生長激素之作用開始逐步膨大、生長成果實，子房壁及皮質乃分別發育為果皮及果肉，各含細胞群，其中有些細胞會特化為果肉細胞、雜色細胞、石細胞等。

在種子方面，當雌雄授粉完成，子房內之各胚珠即逐步發育成種子，其珠被即發育成種皮，受精卵發育成胚，2 極核受精後發育成 $3n$ 之胚乳，珠孔即成為未來發芽之芽孔，最終之種子含種皮、胚和胚乳 3 結構，各含細胞群。胚是種子中最主要的部分，含有胚芽、胚軸、子葉、胚根等結構及細胞群。

(五)樹木的微生物伴隨組成：

葉表及莖部外表常有真菌、細菌、放線菌、酵母菌、藻類、地衣等。樹幹內部常有昆蟲或微生物自傷口之入侵，造成「菌朽蟲蛀」之生態系。樹木根部及根圈外表微生物相、浮游生物相、無脊椎動物相十分多元且複雜，大多是腐生性微生物、浮游生物或無脊椎動物。有約 10 種土壤媒介病原菌或線蟲可能出現，另有共生之菌根菌或根瘤菌扮演互助互利之角色。一般土壤每 1 公克約有 108 個微生物個體存在。

(六)樹木的生理程序：

主要生理程序自種子發芽開始，可分成生長、同化、代謝、生殖、反應、調適等。光合作用及呼吸作用是每日必需的基本生命程序，對於低溫或高溫之反應及調適則隨著四季之季節而輪動。花芽分化及雌雄配子之交配、開花結果、產生種子、繁衍後代則是生存演化之必要程序。另樹木對疫病蟲害、逆境因子、外傷等，則可藉由過敏化反應、抗菌素之產生等，進行圍堵、封鎖、區隔化反應(CODIT)等抗敵或禦敵之反應。

(七)樹木健康的定義：

健康狀況是自種子發芽開始，皆依循著正常之生理程序，進行生長、同化、代謝、生殖、反應、調適等而言。健康狀況必可表現於 6 種器官，其物理結構、化學組成、顯微組成、微生物伴隨組成、生理程序等，也都可呈現正常狀態。樹木健康的狀態是可經由觀察及記錄的，而不健康之程度，則可依健康的標準狀態加以比對及量化評估。

(八)影響樹木健康的因子：

主要影響樹木健康的因子，包括疫病蟲害、逆境因子、外傷等，在實際作業上可以分成病、蟲、草、藥、營養、逆境等 6 大害因。詳見孫岩章(2018)植物醫師指南。

第三節、樹木健康程度的量化及分級

對於各類植物疫病蟲害發生的疫情，除了病因診斷之外，植醫及樹醫都需要進一步估計或量測它們的嚴重度或造成之損失率。而一般疫情嚴重度的估計或量測可分成下列四種：

(一)發病率(Incidence)：

指依據發病株數或個體占總體株數或個體計算所得之比率，一般以%表示。

(二)疾病嚴重度(Disease severity)：

指對植物葉片或全株可能造成減產損失之疫情嚴重程度或嚴重比率，過往又稱「罹病度」。因葉片是植物最主要經營光合作用之器官，故常以葉面積受害之比率或總體失綠程度作為疾病嚴重度之估計值。但因總體失綠程度很難精確量化，故植物病理學界多先設定 0 至 4 級或 0 至 5 級之疾病指數(Disease index)(又稱罹病指數，其最高級別之 4 級或 5 級皆代表 100%無收穫之級別，其他級別則依比例類推)，用以快速概估每一植株或對象之總體失綠程度，再彙整、統計各抽樣植株之疾病指數，計算成具田間代表性之疾病嚴重度，其單位亦是%。

(三)產量損失率(Yield loss)：

指實際量測或估計某一疫病蟲害造成該作物產量之減少比率者，單位亦是%。但因實際量測十分困難，且受到甚多其他害因的干擾十分嚴重，故很難精確得知單一害因的產量損失率。也因此，植物病理學界多會轉而利用上述之「疾病嚴重度」取代之。

(四)經濟損失率(Economic loss)：

即等於上述產量損失率 $\times$ 產品價格所得之值。該經濟損失率常是估算植醫及樹醫每次醫療或防治成本及效益之依據，也是醫療或防治決策的主要依據。但因各類農林產品的價格是變動的，所以經濟損失率也經常隨著波動及變化。

第四節、非傳染性害因之診斷

生物性病害的因果關係，其驗證程序主要是依據上述的柯霍氏法則。但在非傳染性病害方面，因為是由非生物性病因(Abiotic causal factor)所引起的「不健康狀況並顯現特定病徵或現象者」。其病因不是微生物，也無法培養，故因果關係之驗證法則，有需要加以修正成如下之「修正版柯霍氏法則」(Modified Koch's postulates)，茲將它連同英文敘述如下：

(一)病害應有明確病徵，且可疑病因必與該特定病害具正相關性(The disease must have specific symptoms, and the suspected causal factor must be positively correlated with the specific disease.)。

(二)可疑病因必可從病體檢驗得到，但經證明該病因無法累積者除外(

The suspected causal factor must be detectable from the diseased organism, except that the suspected causal factor can not accumulate in the diseased organism.)。

(三)將可疑病因接引或處理健康個體必能再生該特定疾病(When the suspected causal factor is introduced or treated to a healthy susceptible organism, the organism must reproduce the same disease.)。

(四)人工接引或處理發病之病體必可再檢驗得到該病因，但經證明該病因無法累積者除外(The same causal factor must be re-detectable from the experimentally treated and diseased organism, except that the suspected causal factor can not accumulate in the diseased organism.)。

上述「修正版柯霍氏法則」一樣有四條文，也一樣要求嚴謹的驗證，其目的及精神，也一樣在追求：「科學要能放諸四海而皆準」。

第五節、十大土媒病害之初步診斷（實作）

所謂十大土媒病害，是指具有致命性的植物土壤傳播病害。詳如表 3-2 中前 10 名。對於十大土媒病害，希望樹醫們要更專業地了解病菌及病害，進而更深入地加以「診斷、檢驗、健檢、醫療、預防、管理」等。

表 3-2、植物十大土媒病害及其它重要病害

病原名稱	病原學名	病害名	寄主	發生生態	備註
1 腐霉菌	<i>Pythium</i> sp.	根腐病	多犯性	好發於淹水期及苗期	
2 疫病菌	<i>Phytophthora</i> sp.	疫病	多犯性	好發於淹水期，但不 限於苗期	
3 立枯絲核菌	<i>Rhizoctonia solani</i>	立枯、 莖枯	多犯性	好發於潮濕區域，由 菌絲傳播	
4 镰孢菌	<i>Fusarium</i> sp.	萎凋、 黃葉	多犯但屬專一性	好發於疫區，厚膜孢子具長期殘存能力	
5 菌核病菌	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	菌核病	多犯性	好發於冷涼潮濕區域，具黑褐色菌核	
6 白絹病菌	<i>Sclerotium rolfsii</i>	白絹病	多犯性	好發於潮濕區域，具褐色圓形菌核	
7 褐根病菌	<i>Phellinus noxius</i>	褐根病	樹木類多犯性	好發於潮濕區域，主 由病根傳染	
8 軟腐病菌	<i>Erwinia</i> sp.	軟腐病	多犯性	好發於溫暖傷口部位	
9 青枯病菌	<i>Ralstonia</i> sp.	青枯病	多犯性	好發於疫區，具長期殘存能力	

續下頁

承上頁

10 根瘤線蟲	<i>Meloidogyne</i> sp.	根瘤病	多犯性但屬專一性	好發於疫區，造成連作障礙	
11 灰黴菌	<i>Botrytis</i> sp.	灰黴病	多犯性	好發於冷涼潮濕區域，含花瓣	
12 炭疽菌	<i>Colletotrichum</i> sp.	炭疽病	多犯性但屬專一性	全年發生，堆噴濺傳播	
13 鏈隔菌	<i>Alternaria</i> sp.	黑斑病	多犯性但屬專一性	好發於潮濕區域，由孢子傳播	
14 黃色單胞菌	<i>Xanthomonas</i> sp.	葉斑病	多犯性但屬專一性	好發於風雨溫暖區域，由風雨傳播	
15 葡萄座腔菌	<i>Botryosphaeria</i> sp.	流膠、潰瘍	多犯性	好發於溫暖潮濕區域，由孢子傳播	
16 靈芝菌	<i>Ganoderma</i> sp.	根基腐	多犯性	好發於潮濕區域，由孢子傳播	
17 硬孔菌	<i>Rigidoporus</i> sp.	根基腐	多犯性	好發於潮濕區域，由孢子傳播	
18 白紋羽菌	<i>Rosellinia necatrix</i>	白紋羽病	多犯性	好發於冷涼潮濕區域，造成枯死	
19 松材線蟲	<i>Bursaphelenchus xylophilus</i>	松樹萎凋	松屬樹種	由松斑天牛傳播	

利用快速診斷之「彎嘴尖鑷」技術，可對樹木十大土媒病害進行快速之鏡檢及診斷。因為染病之根系常可立即觀察到是否有「立枯絲核菌、鐮胞菌、軟腐細菌、腐霉菌、疫病菌、根瘤線蟲」等之存在。

但選擇性培養基的培養技術，對於十大土媒病害之分離及培養仍屬必要，相關之培養基如 MA+4、V8+3、V8+6、K2、TTC 等，可參考孫岩章(2018)植物醫師指南。

第六節、樹洞及腐朽之診斷（實作）

樹木內部之腐朽害因，主要包括病、蟲、外傷、逆境因子等。此些腐朽有

些具有對外之開口，如外傷、雷擊、風倒傷害等，但有甚多不具對外之開口，即屬心材之腐朽。

因為樹木的莖部及根部形成層，不斷對外生成韌皮部，對內生成木質部，即是俗稱之木材。而木材主含纖維素、半纖維素、木質素等，是腐朽菌賴以維生的營養來源。從工業應用之角度觀之，纖維素是葡萄糖單糖之高密度聚合物，約佔木材總成分之 41 至 43%。半纖維素則是葡萄糖、五碳糖及其他糖分子的低密度聚合物，較易被酵素水解，其在闊葉樹木材中含量約佔 20%，在針葉樹中較高約佔 30%。木質素則是沉積於纖維素及半纖維素四周之酚類物質，含有苯環而具疏水、抗菌之功能，其在闊葉樹木材中佔約 27%，在針葉樹木材中佔約 23%。因針葉樹木材含半纖維素高，含木質素低，故使其結構較不堅硬，俗稱為軟木，亦較易被腐朽菌所分解。

木材腐朽之病徵，因經過真菌酵素之分解，會產生木材顏色及質地之變化。故在木材之橫切面或縱切面上一般可觀察其顏色或質地與健康對照組之差異而判定之。另因腐朽部位必含有真菌之菌體，故應可經鏡檢，觀察其菌體之存在。

樹木根部及莖部之腐朽，一般可分成 3 類：褐腐（Brown rot）、白腐（White rot）及軟腐（Soft rot）。褐腐一般是指腐朽菌無法分解木質素，致在顏色上呈木質素殘留之褐色或棕色。白腐則因腐朽菌可以分解木質素，致其木質素之褐色或棕色消失而呈灰白色。至於軟腐的類別較模糊，可能與潮濕及感染導致軟化或崩壞之徵狀。俗稱為軟木，亦較易被腐朽菌所分解。

通常木材腐朽菌大多是擔子菌及子囊菌，在台大植醫研究室有 2 位碩士生即以腐朽菌之研究為碩士論文，其一是對產生子實體之菌類，多為擔子菌。另一位是對颱風倒伏之樹木進行診斷及病菌分離，所得之菌即以子囊菌居多。

因超過一半之腐朽菌是不易產孢的，故不容易只依據其形態學進行診斷及鑑定。是以仍須借重 PCR 等技術進行基因序列之比對鑑定。所以在「木材腐朽

菌」之「診斷、檢驗、健檢、醫療、預防、管理」是十分不易之工作，也因此需要更多之研究。

第七節、樹木疫病蟲害之確定診斷

樹木疫病蟲害之診斷常可分成「初步診斷」及「確定診斷」。初步診斷是指依據田間分佈、病徵等進行之初步判斷，而確定診斷是指已能確定病因、確定其因果關係之診斷。通常樹木疫病蟲害之確定診斷至少需有：(1)病徵學確認，及(2)病原菌分離成功或害因檢驗確認等，共 2 大項證據。

針對樹木之疫病蟲害，如須進行確定診斷，自須進行病菌之分離及培養，必要時應增加對病原菌之分子生物學鑑定。而對可疑分離株之病原性，也應考慮進行「病原性檢定」，以求完成「柯霍氏法則」之驗證。而對非傳染性病害，則宜有害因檢驗之確認。在樹木疫病蟲害之「初步診斷」及「確定診斷」中，如遇到混淆性病徵，常會使診斷發生困難，此時即需更多之佐證證據，以求正確之診斷。例如傷口的腐朽及根腐、萎凋，其混淆情況十分普遍，即有賴更多之病原菌分離或害因之檢驗。

第八節、常見百大疫病蟲害之診斷（實作）

臺灣植物及樹木醫學學會是於 2015 年透過集體討論，發表綠化樹種百大疫病蟲害及景觀樹種百大疫病蟲害。並於 2018 年修正收錄於孫岩章(2018)「植物醫師指南」一書中。該等資料是一位樹木保護專業人員或樹醫應該優先學習診斷及治療之對象名單，茲引用列如表 3-3 及表 3-4。

表 3-3、臺灣植物及樹木醫學學會版綠化樹種百大疫病蟲害

Ptms 版景觀樹種百大疫病蟲害								
樹種	1	2	3	4	5	6	7	8
小葉南洋杉	褐根病	白蟻	木材腐朽					
肯氏南洋杉	褐根病	白蟻	木材腐朽					
濕地松	松材線蟲	木材腐朽						
落羽松	立枯							
琉球松	松材線蟲							
大王椰子	褐根病	芽腐病	紅胸葉蟲					
黃椰子	褐根病	紫蛇目蝶	黑星弄蝶					
海棗		紫蛇目蝶	黑星弄蝶					
榕樹	褐根病	南方靈芝	石牆蝶	膠蟲	黑斑擬燈蛾	青黃枯葉蛾	介殼蟲類	螺旋粉蝨
	榕樹薊馬	榕透翅毒蛾						
垂榕	褐根病	金花蟲	木材腐朽	圓翅紫斑蝶				
印度橡膠	褐根病	木材腐朽						
雀榕	褐根病	木材腐朽						
菩提樹	褐根病	黑脂病						
樟樹	褐根病	輪斑	樟白介殼蟲	樟葉蜂	樟巢螟	黑翅土白蟻		
牛樟	褐根病	捲葉蛾	炭疽病					
台灣檫	褐根病	天牛						

續下頁

承上頁

光蠟樹	褐根病	腐朽	茶 角 盲 椿 象	介殼蟲				
印度紫檀	褐根病	葉蟬類						
楓香	褐根病							
烏心石	褐根病							
台灣欒	褐根病	荔枝椿 象	紅 姬 緣 椿 象					
欖仁樹	褐根病							
小葉欖仁	褐根病							
白千層	褐根病							
木麻黃	褐根病	南 方 靈 芝	黑 角 舞 蛾	星天牛	介 殼 蟲 類	大 避 債 蛾	蝙蝠蛾	木蠹蛾
苦楝	褐根病							
水黃皮	褐根病	癌腫病						
雨豆樹	木材腐 朽							
茄苳	白翅葉 蟬	黑 角 舞 蛾	青 枯 葉 蛾					
鳳凰木	褐根病	南 方 靈 芝	鳳 凰 木 夜蛾					
泡桐	簇葉病	瘡痂病	葉蟬類					
相思樹	褐根病	銹病	狹 長 孢 靈芝	毒蛾類				
榔榆	褐根病							
羊蹄甲	褐根病							
艷紫荊	褐根病	螺旋粉 蝨						
九芎	白粉病							
阿勒勃	褐根病	淡黃蝶	水 青 粉 蝶					
台灣土肉 桂	褐根病	浸 害 立 枯						
陰香	褐根病							

續下頁

承上頁

大花紫薇	木材腐朽							
鐵刀木	木材腐朽							
水柳	褐根病							
柳樹	褐根病	二點葉蟎	紅擬豹斑蝶					
烏柏	木材腐朽							
杜英	木材腐朽							
木棉	褐根病	潰瘍病						
美人樹	褐根病							
蒲桃	褐根病							
青剛櫟	褐根病							
莉桐	褐根病	紬小蜂						
黑板樹	褐根病							
桉樹	褐根病	角斑病						
青楓	褐根病							
石栗	褐根病							
麵包樹	木材腐朽							
槭葉翅子木	褐根病	潰瘍病						
黃楊樹	褐根病							
桃花心木	褐根病	莖潰瘍	流膠病					
無患子	褐根病							
錫蘭橄欖	褐根病							
海欖果	褐根病							
盾柱木	褐根病	木材腐朽						

表 3-4、臺灣植物及樹木醫學學會版景觀樹種百大疫病蟲害

Ptms 版綠化樹種樹木百大疫病蟲害								
樹種	1	2	3	4	5	6	7	8
蘇鐵	白輪盾介殼蟲	東陞蘇鐵小灰蝶	咖啡硬介殼蟲					
黑松	松材線蟲	葉震病	松毛蟲	松綠葉蜂	松斑天牛	介殼蟲(針枯)	大象鼻蟲	吉丁蟲
	東方松蚜							
五葉松	松材線蟲	東方松蚜						
廣葉杉	柳杉赤枯病							
龍柏	莖腐病	枝枯病	木材腐朽	葉蟎				
真柏	立枯							
肖楠	褐根病	銹病						
側柏	枝枯病	靈芝	大蚜					
羅漢松	羅漢松蚜	橙帶藍尺蛾						
大花紫薇	褐根病							
唐竹	嵌紋病	銹病	細菌萎凋病	盲椿象	捲葉蟲類	蚜蟲類	象鼻蟲	
杜鵑	立枯	褐斑病	白粉病	餅病	葉蜂	葉蟬類	軍配蟲	
九重葛	炭疽病	細菌性葉斑病						
金露華	棉絮粉蟲	赤衣病	角蠟介殼蟲					
桂花	褐斑病	立枯	銹病					
馬拉巴栗	莖基腐							
月橘	輪盾介殼蟲							
流蘇	木材腐朽							
竹柏	羅漢松蚜							
風鈴木	褐根病	棉絮粉蟲						

續下頁

承上頁

福木	咖啡硬介殼蟲							
緬梔	銹病							
油桐	褐根病							
黃槐	褐根病							
玉蘭	褐根病							
櫻	浸害立枯	流膠病	白紋羽病	穿孔性褐斑病	木材腐朽			
白水木	逆境立枯							
朱槿	褐根病	茶角盲椿象						
山茶(茶)	枝枯病	咖啡木蠹蛾	茶蠹	捲葉蛾類	蝻蟬類	茶毒蛾	避債蛾	尺蠖
	小綠葉蟬	木材腐朽	台灣白蟻	金龜子類	薊馬類			
穗花棋盤腳		金龜子						
筆筒樹	萎凋病							
咖啡	褐根病	根腐立枯						
椰子	芽腐							
柑桔	立枯病	蚜蟲類	黑星病	鋸腐病	潰瘍病			
	介殼蟲類	葉蟬	木蝨	椿象	捲葉蛾類	星天牛	鳳蝶	潛葉蛾
芒果	褐根病	炭疽病	白粉病	黑斑病	螟蛾(鑽骨)	薊馬類	介殼蟲類	葉蟬類
	木蝨	柑毒蛾						
梨	褐根病	衰弱症	白紋羽病	黑星病	黑斑病	赤星病	梨木蝨	
	介殼蟲類	蚜蟲類	星天牛	捲葉蛾類	輪紋病	葉蟬類		
番石榴	立枯病	介殼蟲類	粉蝨類	薊馬類				
蘋果	莖潰瘍	黑星病	葉蟬類	蚜蟲類	捲葉蛾類	白紋羽病		

續下頁

承上頁

桃	白紋羽病	縮葉病	穿孔病	流膠病	銹病	螟蛾(鑽骨)	葉蟬類	桃蚜
	捲葉蛾類	介殼蟲類	葉蟬類					
李	白紋羽病	桃蚜	葉蟬類	介殼蟲類	葉蟬類			
梅	褐根病	白紋羽病	白粉病	介殼蟲類	葉蟬類	捲葉蛾類	黑星病	
柿子	褐根病	灰霉病	長金龜	小白紋毒蛾	柑毒蛾	角斑病		
蓮霧	褐根病	捲葉蛾類	蓮霧細蛾	毒蛾類	介殼蟲類			
楊桃	褐根病	細菌性斑點	毒蛾類	花姬捲葉蛾				
荔枝	褐根病	膠蟲	銹病	銹蟬	荔枝椿象	黑角舞蛾		
釋迦	褐根病	疫病	斑螟蛾(果蛀)	神澤葉蟬	介殼蟲類			
枇杷	褐根病	白紋羽病	葉蟬類	毒蛾類				
棗	毒蛾類	輪班病						
龍眼	褐根病	膠蟲						
楊梅	褐根病							
桑樹	褐根病							
橄欖樹	褐根病	黑翅土白蟻						

第九節、樹病防治八大策略

針對樹木「病、蟲、草、藥、營養、逆境」各類害因之診斷及治療，是樹木保護專業人員或樹醫的最主要工作職能。在診斷方面如表 3-1 列有各類之常規診斷及專業診斷，其最核心的目標是在求「因果關係」的建立。而在治療或防治方面，最核心的目標是在求防治率或益本比的最大化。

在樹木病害及蟲害的防治上，參考「植物醫師指南」一書，概可分成下述之「八大策略」。

(一)法規防治：

指依據法律及政府單位之律令，進行有關植物疫病蟲害之預防、隔離、緊急防治、杜絕等之作為。主要可分成下列二項：

1.進出口之檢疫（Quarantine）：

係為防範國外或國際間疫病蟲害之入侵及擴散者，故各國對進口之農林產品都採取事前申請及許可之制度。

2.國內疫病蟲害之監測（Inspection）、隔離（Isolation）、滅絕（Eradication）、緊急防治處理等。

(二)避病防治：

指在時間及空間上設法避免或減輕疫病蟲害之發生者。主要可分成下列二項：

1.時間上避病防治：

例如，選擇在病蟲繁殖力較低的季節進行農林作物之種植，則可大幅度避免或減輕疫病蟲害之發生。

2.空間上避病防治：

例如，選擇在未有特定病蟲的地區進行農林作物之種植，亦可大幅度避免或減輕疫病蟲害之發生。

(三)免疫及抗病育種防治：

指利用類似疫苗（Vaccine）原理構成農林植物對特定疫病蟲害產生抗性，或利用親本之交配，選育完全抗病之農林品種者。主要可分成下列四項：

1.免疫或疫苗防治：

例如利用弱毒病原系統，注入植物產生對強毒病原之交叉保護（Cross protection）、抗性或免疫者。

2.抗病育種防治（Resistance breeding）：

例如由具有抗病基因之親本，透過雌雄親本之雜交，選出具優良農園藝特性，

且能抵抗或忍受特定病蟲之品種者。

3.後天誘導之系統性抗病防治 (Induced systemic resistance)：

例如施用能使農林植物產生系統性抗病之物質或生長激素，因而可避免或減輕疫病蟲害之發生者。

4.轉基因抗病育種防治 (Transgenic resistant breeding)：

指利用現代生物技術，將抗病、抗蟲、抗殺草等基因，轉入農林植物體內，並可因此長期擁有抗病、抗蟲、抗殺草之能力者。

(四)物理防治：

指利用物理學方法避免或減輕疫病蟲害之發生者。主要有下列各種：

1.光線或輻射照射處理 (Radiation treatment)：

利用紫外線或電磁輻射之照射，達成避免或減輕疫病蟲害之發生者。

2.熱療 (Heat therapy) 及熱處理 (Heat treatment)：

利用高溫達成避免或減輕疫病蟲害之發生者。例如，以蒸汽進行之土壤消毒、滅菌，及利用太陽能照射之消毒或滅菌者。

3.低溫及冷凍處理：

利用低溫或零下溫度達成避免或減輕疫病蟲害之發生者，例如運輸中之農林產品常需利用低溫或冷凍，以避免或減輕病蟲之危害。

4.乾燥處理 (Dry treatment)：

降低溼度，達成避免或減輕疫病蟲害之發生者。例如採收後之穀類作物常需利用乾燥處理，以避免或減輕病蟲之危害。

5.淹水防治 (Flooding control)：

利用淹水方法，達成避免或減輕疫病蟲害之發生者，此為輪作中最常用之病蟲防治方法。

(五)化學防治：

指利用化學物品或藥劑，滅除或減輕疫病蟲害之發生者。此些藥劑一般可分

成下列各種：

1.保護性藥劑（Protective chemical）：

主要施用於植物表面，保護植物避免病蟲危害者。

2.系統性藥劑（Systemic chemical）：

主要具有植物體內移行特性，使該藥劑能夠移行到重要部位，達成防治疫病蟲害者。

3.治療性藥劑（Therapeutic chemical）：

主要是指該藥劑能夠殺滅特定病蟲，能使疫病蟲害得到治療者，通常都是系統性藥劑（Systemic chemical）。

4.植醫用藥：

是指經過植物醫師審慎挑選，用於農作物，屬於藥效高、較安全、對環境較友善之藥劑。

5.樹醫用藥或樹木保護用藥：

是指經過樹木醫師審慎挑選，用於樹木，屬於藥效高、較安全、對環境較友善之藥劑。

(六)生物防治：

指利用微生物製品或生物製劑，滅除或減輕疫病蟲害之發生者。例如，細菌、捕植蟎、天敵、超寄生生物（Superparasitism）等有益生物，皆可滅除或減輕疫病蟲害之發生，常用之生物防治製劑如蘇力菌。

(七)耕作防治：

指在農業耕作之同時，利用耕作作業滅除或減輕疫病蟲害之發生者。例如無菌種苗（Pathogen-free seedlings）之使用、田間衛生作業（Field sanitation）、輪作（Crop rotation）、土壤添加物（Soil amendment）、土壤覆蓋（Soil covering）、淹水處理等。

(八)預防及整合性防治：

指利用病蟲之監測、預測模式、預警系統、防治曆策略、成本效益分析等，進行疫病蟲害之整合性預防及防治之最佳策略者。此亦為植物醫師及樹木醫師應該擁有及精進之最佳策略。

第十節、樹木保護常用殺菌劑（實作）

在樹木保護用藥或樹醫用藥方面，目前學術單位之研究成果極有限，但因病菌與農作物之植物診療師或植醫多相似，故在選藥上可參考下列植醫常用的殺菌劑，其類別如下：

（一）無機銅劑：

如波爾多液(Bordeaux mixture)、氫氧化銅等共 20 種。

（二）有機銅劑：

如快得寧(Oxine copper)。

（三）無機硫磺劑：

如可濕性硫磺(Wettable sulfur)、石灰硫磺(Lime sulfur)。

（四）有機硫磺劑：

1934 美國首出，含二硫代氨基甲酸(Dithiocarbamic acid)，可作用於 SH 基而殺菌，屬非系統性保護性藥劑，用量最多。如鋅錳乃浦(Mancozeb)、富爾邦(ferbam)，免得爛(Metiram)等，多低毒。

（五）汞劑：

早期有昇汞(Hg Cl₂)供為種子消毒，另有有機汞，但皆有污染之虞而被停用。

（六）有機砷劑：

如鐵甲砷酸銨(Neo Asozin)、滅紋(Mon)、甲基硫化砷(Asozin)等，供治紋枯病，但易引起水稻不孕現象，且皆有污染之虞。

（七）有機氯劑：

如四氯異苯腈(Chlorothalonil)、大克爛(Dicloran)、賓克隆(Pencycuron)，屬非

系統性殺菌劑，多低毒，四氯異苯腈供治炭疽、黑斑等，大克爛供治白絹、菌核，賓克隆供治紋枯病。

(八)有機磷劑：

如護粒松(Edifenphos)、福賽得(Fosetyl-aluminium)等，護粒松主要防治稻熱病。福賽得為系統性殺菌劑，主要防治露菌病及卵菌。

(九)氨基甲酸鹽(Carbamate)類：

如普拔克(Propamocarb HCl)，供治卵菌如疫病、露菌病。

(十)抗生素類：

如保粒黴素(Polyoxins)、保米黴素(Blasticidin-S)、四環黴素(Tetracycline)、鏈黴素(Streptomycin)、嘉賜黴素(Kasugamycin)等，前二者皆來自放射線菌(*Streptomyces*)。

(十一)生物製劑(Biopesticide)：

如枯草桿菌(*Bacillus subtilis*)、鏈黴菌、哈氏木黴菌(*Trichoderma harzianum*)。

(十二)史托比(Strobilurin)類：

史托比(Strobilurin)為擔子菌產生之抗菌物質，如亞托敏(Azoxystrobin)、克收欣(Kresoximmethyl)、三氟敏(Trifloxystrobin)、百克敏(Pyraclostrobin)，皆低毒(LD₅₀>5000mg/kg)、廣效、系統性，抑菌作用明顯，施用後另有促進生長之綠化效果。本藥對子囊菌、擔子菌及卵菌類都有效，單一藥劑可同時防治多種真菌病害，故被誇稱為「廿一世紀的藥劑」。但易誘發抗藥性，對敏感作物也有藥害，1999年起佔殺菌劑總用量10%以上，目前上市的約有九種。

(十三)免賴得(Benzimidazole)類：

如免賴得(Benomyl)、腐絕(Thiabendazole)、貝芬替(Carbendazim)、甲基多保淨(Thiophanate methyl)等。皆屬重要系統性殺菌劑，但容易誘發抗藥性。主治子囊菌及不完全菌，如葉斑病菌(*Alternaria*、*Cercospora*)、黑星病菌(*Venturia*)、炭疽病菌(*Collectotrichum* spp.)、枝枯病菌(*Phomopsis*)、房枯病菌(*Botryosphaeria*)、

镰胞病菌(Fusarium)等。

(十四)麥角醇合成抑制劑(Ergosterol biosynthesis inhibitors)：

主要作用為抑制麥角醇的合成，而麥角醇合成是子囊菌及擔子菌特有的代謝循環，對卵菌類無抑制效果。如(a)三唑類(Triazole)之三泰芬(Triadimefon)、菲克利(Hexaconazole)、得克利(Tebuconazole)、平克座(Penconazole)、邁克尼(Myclobutanil)、比多農(Bitertanol)、護矽得(Flusiconazole)等，皆屬系統性保護兼治療之殺菌劑。(b)雜環類之撲克拉(Prochloraz)、賽福寧(Triforine)、芬瑞莫(Fenarimol)、依瑞莫(Ethirimol)等，亦屬系統性保護兼治療之殺菌劑。這類藥劑是目前用量領先的一群殺菌劑，全球年用量超過 20 億美元，約占殺菌劑總用量之 30%。雖然其作用位置專一，室內試驗也顯示極易發生抗藥性，甚至於有交互抗藥性的產生，但在田間抗藥性似乎不容易發生。這類藥劑主治炭疽病、黑星病、葉斑病、白粉病等。又其略具植物生長調節劑之功能，故過量使用會有抑制生長之藥害。

(十五)卵菌類用藥：

卵菌類包括疫病菌(Phytophthora)、腐霉病、猝倒病及苗腐病菌(Pythium)、露菌(Downymildews, 約 8 屬)、露疫病菌(Peronophythora)等。其主要防治藥劑有：(a)醯基苯胺類(Phenylamides)之滅達樂(Metalaxyl)、本達樂(Benalaxyl)、毆殺斯(Oxadixyl)等，皆屬系統性保護兼治療之殺菌劑。滅達樂是前 CibaGeigy 公司最早研發成功用於防治卵菌類的系統移行性藥劑，主要抑制卵菌類核糖核酸的合成，可抑制菌絲的發育與生長，但不能抑制游走胞囊的釋放及游走子的發芽，且非常容易產生抗藥性，若一旦對其中一個藥劑產生抗藥性，也會對其它相類似的藥劑有交互抗藥性。(b)雜環類之依得利(Etridiazole)，主要抑制呼吸作用，具易被根吸收之系統移行性，可治苗期或種子傳播之疫病或腐霉病。(c)脂肪族類之克絕(Cymoxanil)，為局部系統性，對茄科晚疫病及葡萄露菌病有良效，但對其它卵菌類病害較不穩定，本藥在田間分解迅速，在寄主上僅殘存數天。(d)有機磷類

之福賽得(Fosetyl-aluminium)，在植物體內滲透吸收迅速，具強抗病性，主要機制為促進植物合成抗菌物質，對卵菌類效果佳。(e)嗎琳類之達滅芬(Dimethomorph)，屬局部系統性，作用機制是抑制細胞壁的合成，故不會與滅達樂類發生交互抗藥性。(f)史托比(Strobilurin)類之亞托敏(Azoxystrobin)，具滲透移行性，主要抑制真菌的呼吸作用，具保護效果，治療效果較差。

(十六)灰黴及菌核病菌用藥：

灰黴病菌(Botrytis)於罹病組織或殘體上可形成菌核，其他會形成菌核的有菌核病菌(Sclerotinia)、白絹病菌(Sclerotium rolfsii)、立枯絲核菌(Rhizoctonia)等。主治藥劑有：(a)醯亞胺(Acid imide or dichlorophenyl dicarboximide)類之依普同(Iprodione)、免克寧(Vinclozolin)、腈硫醯(Dithianon)；(b)醯基苯胺類(Phenylamides)之撲滅寧(Procymidone)、滅普寧(Mepronil)、福多寧(Flutolanil)等；(c)有機氯劑之大克爛(Dichloran)；(d)有機磷劑之脫克松(Tolclofos-methyl)等。上述依普同及免克寧等，主要為抑制粒線體及細胞壁的合成，常易產生抗藥性，有報告若栽培中連續用藥超過4次必然有抗藥性之形成。

(十七)擔子菌類用藥：

擔子菌類主要為銹病菌(Rust fungi)、黑穗病菌(Smut fungi)、褐根病菌(Phellinus)及餅病(Exobasidium)等。主要防治藥劑有：(a)有機硫磺劑之鋅錳乃浦(Mancozeb)、富爾邦(Ferbam)；(b)醯基苯胺類(Phenylamides)之嘉保信(Oxycarboxin)，為呼吸作用抑制劑，對銹病、黑穗及立枯絲核菌有效。(c)麥角醇合成抑制劑如三泰芬(Triadimefon)、菲克利(Hexaconazole)、得克利(Tebuconazole)、比多農(Bitertanol)等，(d)史托比類如亞托敏(Azoxystrobin)等。

(十八)細菌類藥劑：

防治細菌性病害的藥劑種類稀少且效果有限，須於病菌侵入前施用，才能有滿意效果。主要藥劑有：(a)抗生素類如四環黴素(Tetracycline)、鏈黴素(Streptomycin)、鏈四環黴素、嘉賜黴素(Kasugamycin)等，其中鏈四環黴素為鏈黴

素與四環黴素的混合劑。鏈黴素屬於 aminoglycosides 抗生素，具抑制革蘭氏陰性細菌的效果，作用機制是對細菌核糖體 30S 次單位的 S12 蛋白質，阻礙蛋白質合成的轉譯；四環黴素為廣效型抗生素，對革蘭氏陰性及陽性細菌皆有效，作用機制是抑制細菌蛋白質的合成；(b)銅劑如波爾多液、嘉賜銅(Kasugamycin + copper oxychloride)、亞納銅(Nonylphenol copper sulfonate)、銅快得寧(Oxine-copper + copper hydroxide)、三元硫酸銅(Tribasic copper sulfate)、氧化亞銅(Cuprous oxide)、嘉賜快得寧(Kasugamycin + oxine-copper)、鹼性氯氧化銅(Copper oxychloride)等，銅劑主要機制為在細胞表面，與細胞膜上之幾丁質或蛋白質的 H^+ 、 Mg^{+2} 、 K^+ 等離子置換，致使細胞過度氧化、SH 系酵素功能受阻，細胞因而無法進行正常的生理作用。又在銅離子滲入細胞後，可與酵素蛋白質結合，形成錯化合物，阻礙細胞正常的生理作用。(c)抗病誘導劑，如目前我國核准使用的有醯基苯胺類(Phenylamides)之克枯爛(Tecloftalam)及雜環類之撲殺熱(Probenazole)，克枯爛在生體外無殺菌作用，但進入植物體後會抑制細菌的增殖及其在導管內的移轉，減低致病力，故可供治白葉枯病及甘藍黑腐病菌，效果良好；撲殺熱作用機制為激發水稻抗病基因的表現，增加水楊酸的產生，因而獲得系統抗病性

(Systemic acquired resistance、SAR)，故可供治水水稻熱病及白葉枯病。

第十一節、樹木保護常用殺蟲劑（實作）

在植醫用藥及樹木保護用藥方面，常用的殺蟲劑或農藥，依其歷史可分類如下：

(一)第一代農藥：

約 1890 至 1940 年代，多為無機物及植物成分者，如硫酸銅、石灰硫磺、除蟲菊、魚藤、菸草、波爾多液、氟、汞等。許多第一代藥劑目前仍被使用中。

(二)第二代農藥：

約 1940 起，為有機合成藥劑之時代，其藥效高、用量少(約為第一代之 1/10)，但殘毒、污染問題亦大增。主要如下：

- 1.有機氯劑 DDT 在 1939 年由德國 Muller 發現殺蟲優異效果，用以消滅瘧疾，故 1948 年 Muller 榮獲諾貝爾獎。
- 2.有機磷劑自 1942 年被發明，首為 TEPP，1944 年發明巴拉松（劇毒，已禁用），1950 年出現馬拉松（低毒）。
- 3.氨基甲酸鹽(Carbamate)類在 1947 年首先出世，1956 年有加保利量產。
- 4.除草劑在 1940 年有 2,4-D，1958 年 ICI 首先製出巴拉刈，1969 年孟山都出產丁基拉草，1971 年孟山都出產嘉磷塞。巴拉刈已因毒性高而禁用。
- 5.抗生素劑在 1960 年有嘉賜黴素、保粒黴素、保米黴素。
- 6.生長調解劑在 1930 年代漸出促根劑如 IBA、分裂素如萘乙酸鈉(NAA)，促開花劑如益收，抑芽素如 MH 等。
- 7.殺鼠劑在 1940 年有弗拉倒(Fratol)，1944 年有殺鼠靈(Warfarin)。

(三)第三代農藥：

約自 1962 起，為降低污染而開發高效、低毒、低殘留之藥劑。

- 1.1962 年發現培丹(Cartap)，具殺蟲優異效果。
- 2.1973 年開發出百滅寧(Permethrin)、賽滅寧(Cypermethrin)、第滅寧(Deltamethrin)等。但對水生物之毒性仍高。
- 3.1987 年開發合理設計農藥(Biorational design pesticide)，或仿生農藥(Biomimetic pesticide)，如依芬寧(Etofonprox)。

(四)第四代農藥：

約自 1970 起，為高專一性、無毒之激素製劑。

- 1.1970 年發現幼年激素(Juvenile hormone)。
- 2.另有腦激素(Juvenile hormone)、蛻皮激素(Molting or ecdysone hormone)、抗幼年激素(Anti-juvenile hormone)等。

3.性費洛蒙(Sex pheromone)。

(五)第五代農藥：

約自 2000 起，為分子時代新期代之分子調控制劑，但似乎尚未成熟。

第十二節、環境用藥及樹木保護用藥

查農作類之「植物診療師」與樹木類之「樹木診療師」，其社會所需求之職能工項在「公共安全要求」、「藥劑施用邏輯」及「工程規劃設計監造及施作」三大面向存有甚大差異。簡言之，農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。但樹木保護類的「樹木診療師」在用藥上會要求長效、高效、無藥害下之最大濃度、多用複方等，目前世界各國亦多朝向環境友善之樹木藥劑注射，兼可使用對付白蟻及蛀蟲之環境用藥及其他跨物界或中立性之化學品等。又在農作物診療方面一般沒有樹木倒伏之公共安全問題，但在樹木保護方面，務須考慮到樹木倒伏之公共安全，即以不造成樹木倒伏、妥善支撐、風險預防等為優先要求。

因農作類植物疫病蟲害的用藥，多需考慮到食安、環保等之負面影響，故一般不能使用到「環境用藥」。相對地，樹木類疫病蟲害的用藥，則不會有影響食品安全的憂慮，且如白蟻、蠹蟲、天牛、蟻蟥等蛀食性害蟲在植物保護手冊或資訊系統中並無推薦藥劑，反而是市售之環境用藥具有害蟲防治之功能，故在樹木保護方面常常會有使用到「環境用藥」或跨界藥物的機會。

所謂跨物界藥物是指在農林植物使用人醫用藥、動物用藥，或一般化學品等。因為農作類植物疫病蟲害的用藥，多需考慮到食安、環保等之負面影響，故一般不宜使用到「跨物界藥物」。相對地，樹木類疫病蟲害的用藥，則不會有影響食品安全的憂慮，且如白蟻、蠹蟲、天牛、線蟲等害蟲在植物保護手冊或資訊系統中並無推薦藥劑，故在樹木保護方面會有機會使用到「跨物界藥物」。例如吾人會在樹木藥劑注射中，使用到人醫使用的抗細菌藥物、抗線蟲藥物等。

用藥濃度的思考差異：查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。即以「能不用就不用」為上策。其藥物之選擇多以分解快、濃度低、安全採收期短者為優先。但樹木保護類的「樹木診療師」在用藥上，例如樹木藥劑注射，如果全樹之濃度不足，將無法達成防治之目的，更有可能造成害蟲及害菌抗藥性的產生。其影響是雙輸之局面。所以必須要求長效、高效、在無藥害下使用最高濃度、並多使用複方等。此與人醫使用抗生素要求要施用足夠藥量及天數之邏輯相同。

複方用藥的思考差異：查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。即以「能不用就不用」為上策，一般自然不太鼓勵使用複方。但樹木保護類的「樹木診療師」在用藥上，例如樹木藥劑注射，因為多須同時針對「害菌及害蟲」加以防治，且為免單方容易產生「抗藥性」，故多建議使用複方。

藥效追求的思考差異：查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。過往在產、官、學界，多不太注重藥效之追求，也因此常無法進行植醫經濟效益之估算或預估。但樹木保護類的「樹木診療師」在樹木保護用藥方面，例如樹木藥劑注射等，吾人務必了解其藥效之高低，否則若藥效過低即等於做虛功，不只浪費時間及人力物力，也會造成延誤時機、或使病情惡化之嚴重後果。

農藥殘留與安全的思考差異：查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。故在農藥殘留與安全方面，有極高之要求，也常須進行農產品農藥殘留之抽查及檢驗。但樹木保護類的「樹木診療師」在樹木保護用藥方面，例如樹木藥劑注射等，吾人不太需要關心農藥殘留與安全問題，反而需要進行藥物動力學之探討，即希望目標藥物能維持在高濃度，並達一定的時間，使害菌及害蟲得以受到長期有效之控制。例如以益達胺注射刺桐防治紬小蜂，其高濃度可達約 1 年。

公共安全的思考差異：查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。其施作場域多為局限性的農場、林地或果園，其農林植物一般不會對人體及車輛構成公共之危險或風險。但樹木保護類的「樹木診療師」，其診療的對象常是高大的行道樹或公園樹木，若防治對象發生風倒或斷枝，都可能釀成人員或車輛之公共危險，故在用藥上需同時思考以不造成人員之接觸藥劑及避免發生樹木倒伏之公共危險為首要思維。故例如吾人在對樹木褐根病進行 BR5 藥劑注射防治時，皆會要求設立安全警示範圍並要求做好樹木之安全支撐。

(一)、環境用藥與農用藥劑之互通

查「農藥管理法」與「環境用藥管理法」，其防治的對象有相同的類別，例如昆蟲、蟎類、細菌、病毒、老鼠等。如全面比較，相異的類別是少數，應只有「污染防治劑」。

因此，環境用藥的有效成分與農用藥劑有甚多是相同的，簡言之，環境用藥的「殺蟲劑、殺蟎劑、殺鼠劑、殺菌劑」，與依農藥管理法登記之「殺蟲劑、殺蟎劑、殺鼠劑、殺菌劑」，甚多是相同的有效成分。

茲以常用環藥殺蟲劑為例，如表 3-5，可知與農藥中的殺蟲劑近乎雷同。

表 3-5、環境衛生殺蟲劑的殺蟲機制

殺蟲劑類別	殺蟲劑名稱	主要作用部位
除蟲菊精類 Pyrethroids	百滅寧、賽滅寧、亞滅寧等	神經系統
氨基甲酸鹽類 Carbamates	安丹等	神經系統
有機磷類 Organophosphate	亞特松、撲滅松等	神經系統
惡二嗪 Oxadiazine	因得克等	神經系統

新 尼 古 丁 類 Neonicotinoid	益達胺等	神經系統
吡唑類 Pyrazole	芬普尼等	神經系統
氨 基 胍 Amidinohydrazone	愛美松等	能量代謝
青 春 激 素 Juvenile hormone	美賜平、百利普芬、芬諾殺	內分泌系統
苯 甲 醯 基 脲 類 Benzoyl urea	二福隆、三福隆	幾丁質生成
微生物殺蟲劑 Microbial pesticide	蘇力菌、圓形芽孢桿菌、白殭菌、黑殭菌	腸道系統
無機類 Inorganic	硼酸、矽藻土等	體液平衡系統

(二)、重要環境害蟲種類

依據「環境用藥病媒防治業施藥人員訓練教材」2017 年版，重要環境害蟲種類有：蚊、臺灣缺蠓、蠅、蟑螂、跳蚤、螞蟥、白蟻、火蟻、衣魚、蛾蚋、臭蟲、蟎等。

(三)、重要害菌種類

依據環保署 101 年 11 月 23 日公告之「室內空氣品質標準」，9 項室內空氣品質如下：二氧化碳(CO₂)為 1000ppm(八小時平均)、一氧化碳(CO)為 9ppm(八小時平均)、甲醛(HCHO)為 0.08ppm(一小時平均)、總揮發性有機化合物(TVOC，包含：十二種揮發性有機物之總和)為 0.56ppm(一小時平均)、細菌為 1500 CFU/m³(菌落數/立方公尺)(最高值)、真菌為 1000CFU/m³(菌落數/立方公尺)(最高值)(但真菌濃度室內外比值小於等於 1.3 者不在此限)、PM₁₀ 為 75 μ g/m³(二十四小時平均)、PM_{2.5} 為 35 μ g/m³(二十四小時平均)、臭氧(O₃)為 0.06ppm(八小時平均)。

由此可知一般環境中易有細菌及真菌的孳生，應予預防或防除。重要的環境真菌有枝孢菌(Cladosporium)、青黴、黑黴、麴菌等。

另對健康直接有害的微生物病菌，則有仙人掌桿菌(Bacillus cereus)、大腸桿

菌(*Escherichia coli*)、綠膿桿菌(*Pseudomonas aeruginosa*)、沙門氏桿菌(*Salmonella choleraesuis*)、金黃葡萄球菌(*Staphylococcus aureus* subsp. *aureus*)等。

依據 2016 石豐銘碩士論文，對台灣中部室內真菌之調查，最常出現的真菌為：尖孢枝孢菌 (*Cladosporium oxysporum* Berk. & M.A. Curtis)，芽枝枝孢菌 (*Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) G.A. de Vries)，黃麴黴 (*Aspergillus flavus* Link)，黑麴黴 (*Aspergillus niger* van Tieghem)，煙 麴 黴 (*Aspergillus fumigates* Fresenius)，草 酸 青 黴 (*Penicillium oxalicum* Currie & Thom) 及 短 密 青 黴 (*Penicillium brevicompactum* Dierckx)。

(四)、重要環境害蟲殺蟲劑

依據「環境用藥病媒防治業施藥人員訓練教材」2017 年版，重要環境害蟲殺蟲劑分列如表 3-6：

表 3-6、環境衛生殺蟲劑的殺蟲機制

殺蟲劑類別	殺蟲劑名稱	主要作用部位
除蟲菊精類 Pyrethroids	百滅寧、賽滅寧、亞滅寧等	神經系統
氨基甲酸鹽類 Carbamates	安丹等	神經系統
有機磷類 Organophosphate	亞特松、撲滅松等	神經系統
惡二嗪 Oxadiazine	因得克等	神經系統
新尼古丁類 Neonicotinoid	益達胺等	神經系統
吡唑類 Pyrazole	芬普尼等	神經系統
氨基胍 Amidinohydrazone	愛美松等	能量代謝
青春激素 Juvenile hormone	美賜平、百利普芬、芬諾殺	內分泌系統
苯甲醯基脲類 Benzoyl urea	二福隆、三福隆	幾丁質生成
微生物殺蟲劑 Microbial pesticide	蘇力菌、圓形芽孢桿菌、白殭菌、黑殭菌	腸道系統
無機類 Inorganic	硼酸、矽藻土等	體液平衡系統

(五)、重要環境用殺菌劑

依據環保署毒物及化學物質局「環境用藥許可證及病媒防治業網路查詢系統」，目前登記許可使用之「環境用殺菌劑」，列如下述：

1. 酚類(石炭酸類)：如鄰-苯甲基對氯酚、氯化正烷二甲苯甲基胺、鄰-苯基苯酚。
2. 氯類：如二氧化氯等。
3. 醛類：如戊二醛。
4. 界面活性劑類：如四級胺界面活性劑。

另傳統上使用者有漂白水、75%酒精、石碳酸、氯氣、二氧化硫等，亦屬殺菌類別。

(六)、重要環境消毒藥劑

一般環境消毒之需求以公共場所、公共交通工具、醫療院所、染特殊病害之場所等。其消毒之防治對象當因診斷之不同而各有其對象。

例如捷運、公共廁所、高鐵車箱、旅館、飯店等之定期消毒，多以針對細菌及病毒為主要對象。故常用之藥劑可如上一節(五)之所列。

環保署於 2009 年 2 月 5 日發布「環境消毒作業要領」，述明「為於平日防治蚊蟲孳生源或於颱風等天然災害，因豪雨造成地區淹水，會將帶有病原菌、寄生蟲等之化糞池污水、排水溝污水以及廢棄物等污穢物散佈污染環境，造成傳染疾病之發生，基於維護民眾健康及環境清潔，配合環境整頓進行災後環境消毒，特訂定本要領。」

(七)、樹木白蟻之防治用藥

依據「環境用藥病媒防治業施藥人員訓練教材」2017 年版，重要的白蟻藥劑有：

1. 有機磷類：如亞特松等。
2. 吡唑類：如芬普尼。

3.餌劑類：如六福隆、諾福隆等。諾福隆是美國研發之第4代幾丁質合成抑制劑。

(八)、樹木保護用藥及跨物界藥物的使用原則

查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸，其用藥之法規依循是為「農藥管理法」。而樹木保護類的「樹木診療師」在用藥上會要求長效、高效、無藥害下之最大濃度、多用複方等，其用藥之法規依循一部分是為「農藥管理法」，另一部分則是「環境用藥管理法」。但查在「土地使用區分」方面，「農藥管理法」多限使用於農地或林地，「環境用藥管理法」則多以生活環境或公共區域為範圍。而在樹木保護方面，則是以「森林以外之樹木區域」為範圍。例如目前之「農藥管理法」多規定「非農地及林地以外不得使用農藥」，依據此一規定則「公園、校園、行道區域、社區、住宅區、保護區等」的樹木基地即不可使用農藥。為此，因為「環境用藥管理法」是以生活環境或公共區域為其施用範圍，似較能涵蓋「公園、校園、行道區域、社區、住宅區、保護區等」的樹木基地範圍，但「環境用藥管理法」的施用，其屬「一般環境用藥」者是沒有限制使用者之資格，但專業性的施用則須取得「病媒防治業」之證照始得施行。又目前已登記為「環境用藥」的種類仍屬太少，無法滿足目前「樹木保護用藥」之需求。未來的解決之道，建議樹木保護主管機關應洽「環境用藥管理法」主管機關，依據「環境用藥管理法」第23條之規定，羅列及通過「專供試驗研究、教育示範、專案防治或申請登記用之環境用藥」，以滿足樹木保護用藥之需求。

另對於跨物界藥物應用於樹木保護用藥的使用方面，只要此些藥物合乎「科學、合理、經濟、環保」之原則，自可依據已發表之科學報告，由樹木保護主管機關核可認定之。

第十三節、樹木保護用藥施用方法

常用的植醫及樹木保護用藥施藥方法，可列如下：

(一)噴霧法(Spraying)：

如用噴霧器、動力噴霧車者。

(二)撒粉法(Dusting)：

如用噴粉機、動力噴粉機者。

(三)撒粒法(Granule application)：

用手工或撒粒機。

(四)微滴撒布法(Mist spraying)：

可加濃 10 倍加界面活性劑空中噴撒，達低量使用(Low volume concentration, 15-20mist/cm²)或超低量使用者。

(五)燻蒸法(Fumigation)：

如在燻蒸室用二氧化硫、氯化苦者。

(六)燻煙法(Smoking)：

如蚊香者。

(七)塗佈法(Painting)：

塗佈藥劑於樹幹。

(八)粉衣法(Coating)：

對種子或球根浸藥乾燥者。

(九)浸漬法(Dipping)：

對根、莖、種子、球根等浸藥者

(十)土壤灌注法(Soil injection)：

將藥液注入土壤者。

(十)混土法(Soil treatment)：

將藥劑與土壤混合者。

(十二)誘餌法(Baiting)：

將藥劑與香餌混合者。

(十三)誘殺法(Attractant method)：

以色板或光色誘引再加毒殺滅者。

(十四)灌溉法(Irrigation method)：

將藥劑加入灌溉水混合者。

(十五)水表布施法(Water surface application)：

將藥劑加於水表使其展開者。

(十六)滴灌法(Drip method)：

將藥劑以點滴或滴灌系統施用者。

(十七)忌避法(Repellent method)：

以忌避劑趨除害蟲者。

(十八)清創處理法(Debridement method)：

腐朽傷口施藥處理。

(十九)傷口處理法(Wound treatment)：

針對修剪傷口進行塗藥保護者。

(二十)樹木注射法(Treeinjection method)：

將藥劑以注射針筒注入樹木者，常需加壓。

(二十一)採收後處理法(Postharvest treatment)：

對採收後農產品用藥處理者

(二十二)微注射法(Micro-injection method)：

將藥劑以微細注射針頭施用者。

(二十三)袋劑法(Bag application)：

將藥劑施於套袋內表以防病蟲者。

(二十四)藥籤法(Stick method)：

將藥劑以藥籤或紙籤吸收再施用者。

(二十五)緩釋法(Slow release method)：

將藥劑與緩釋劑混合使其緩釋者。

第十四節、樹木保護土壤施藥方法

藥劑土壤施用方法，在樹木診療中居有重要地位。例如樹木褐根病的土壤藥劑注射，即被列為一大選項，所用的藥劑有三泰芬、三得芬等。而土壤之灌注宜使用高壓注入法，如下圖，以提高效率。

另傳統之混土法(Soil treatment)，即將藥劑與土壤混合者，亦是使用邁隆滅菌的常用方法。但其成本約每 1 平方公尺 1000 元，一分地需 100 萬元，實屬昂貴。若已確定土中之褐根病菌無法傳播病害，則應選擇「自然復育」之模式，只需檢除 1 公分以上之病根，其餘可讓其自然消滅於土壤多元的微生物相中。

土壤之藥劑灌注方法及設備甚多，如下圖是常用的灌注器。



圖 3-1、土壤藥劑灌注器。

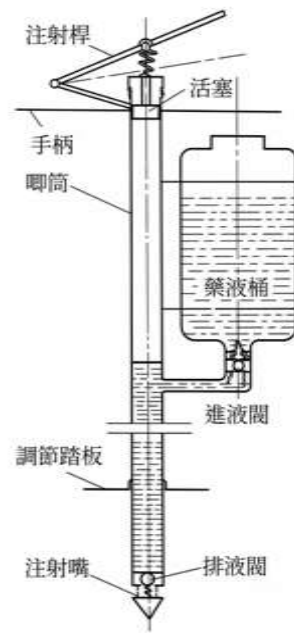


圖 3-2、土壤藥劑灌注器。

第十五節、樹木保護電動噴霧器

由於樹木常有一定的樹高，在發生疫病蟲害之施藥防治時，一般手動之噴藥設施多無法將藥劑噴到樹頂之高度，且施用者與藥劑接觸的機會也會增加。故如有「高壓噴藥器」或「電動噴霧器」可以具有此一「高點施藥」功能，當屬十分合用。

過去台大植醫研究室即參考樹木業者之經驗，配置「電動噴霧器」，以協助進行高位枝條之施藥，其噴藥之高度一般可達 6 至 10 公尺。若再加上 A 型木梯或鋁梯之協助，當可對更高之樹冠進行樹頂之施藥。



圖 3-3、電動噴藥器實例。



圖 3-4、高位噴藥之實例。

第十六節、樹木保護注射防治

(一)樹木注射概論

有關樹幹注射的歷史已很久遠，文獻報告中最早在義大利由達文西（西元 1452~1519）首先做過樹幹填充藥物之實驗(Roach, 1939)，而正式的應用是在 1970 年代因大量榆樹染患荷蘭榆樹病(Dutchelm disease)之後，在 1969 至 1973 年期間陸續有多種樹木注射的方法及設計被推出，用以處理荷蘭榆樹病及其他之病害

及蟲害(Doccola and Wild, 2012)，發現樹幹注射之藥效比其他方法更高。

因為該荷蘭榆樹病是一種小蠹蟲昆蟲傳播長喙子囊殼菌造成的系統性嚴重枯萎疾病。而美國之榆樹每年有數十萬株受害，橫跨都市與鄉村地區，因此樹木注射防治之觀念也隨之萌芽及興起。而在亞洲，松材線蟲造成之系統性松樹萎凋病，嚴重度也是不遑多讓。也因此為了對付松材線蟲及松斑天牛，科學家也研發了「藥劑注射」的技術。

近年來在台灣，因為刺桐紬小蜂嚴重危害各地之刺桐及同屬之樹木，學者也引進類似「藥劑注射」的技術，並選擇適當的藥劑，研究出「刺桐紬小蜂益達胺注射防治法」。依據行政院農業部農業藥物試驗所公告於「植物保護手冊」之注射防治法，該法係針對每一株刺桐，於胸高位置之莖部，每隔 20 公分，以電鑽鑽出直徑 10mm 之孔洞，孔洞與樹幹之角度約為 45 度角，每洞口注入 9.6% 益達胺溶液 5mL，完成後再以矽膠封口即可。

所以上述將殺蟲劑、殺菌劑、營養成分等注入樹木體內的相關技術發展已久，其工具也甚多元，包括套組化的商品等。此些「樹木藥劑注射」的優點主要有：(1)、環境友善，因為一般噴灑化學藥劑常可能帶來環境的污染與人畜的健康風險。(2)經濟及便利，因為對付高大的喬木，只需於接近地面之莖基部，即可注入藥劑，讓藥劑運送至全株或全身。(3)、藥效提高，因為注射到導管及篩管之藥劑，更有機會直接被運送、接觸到致病的病原真菌、細菌或昆蟲等，而其他非注射型之藥劑噴灑、土壤灌注等，則可能無法有效進入樹木體內，自然無法達到合乎理想的藥效。

在上述對付荷蘭榆樹病之樹幹注射，其藥物多數是打入木質部之邊材區域，如圖 3-5 之淺色區 1 至 2 環區域。

而樹幹注射的用途，慢慢地擴大，也有包括營養劑、殺蟲劑(如歐殺松 Acephate)、殺線蟲劑、預防性藥劑等的應用(Doccola and Wild, 2012; Kuhn, 2011)。

高壓注射法於 1973 年已被研發發表，其基本設備如圖 3-6。



圖 3-5、荷蘭榆樹病之樹幹注射位置在 1 至 2 年生之邊材區（圖中淺色之 1 及 2 環區）。

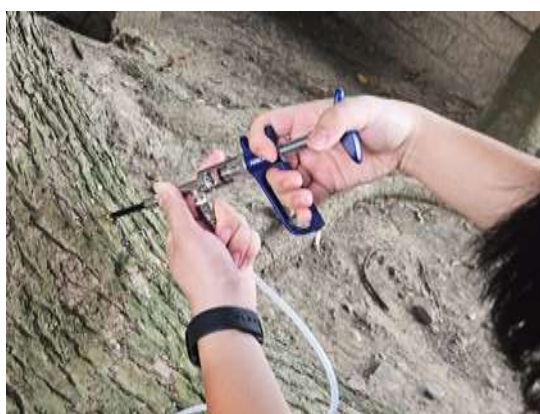


圖 3-6、樹幹高壓注射法之設備。

(二)藥劑注射之藥物動力學

因樹木一般由導管及篩管輸送物質，其中導管負責水分或礦物質之向上輸送，篩管則負責自葉片將同化後之營養向下輸送。因褐根病菌主要侵犯根部及莖基部，故藥劑如要用以防治褐根病，先決條件是可向下輸送。故台大植醫研究室即試驗於 4 株大榕樹，對每 1 株選擇於 1.3 米高之處，以淺孔注射法注入 5 毫升之防治藥劑，內含普克利及待克利系統性殺菌劑各為 10000ppm，且不加殺蟲劑、抗生素、營養劑、界面活性劑等。注射封口後，即於第 5、10 及 15 天時，以電鑽配置 5 毫米鑽頭，對原注入點之向左、向右、向上、向下各 15 公分及向下 30

公分處，共 5 點進行垂直鑽取 5 至 7 公分之樹皮樣本，對這些樣本進行藥劑濃度之檢驗。

本項結果，列如表 3-7。發現普克利及待克利在注入 5 至 15 天時，皆有向下移行之現象，且其濃度甚高，足以具有抑菌功效。又在注射完 70 天後，對注射點下方 1.6 公尺處之根部採樣，亦發現各有 2.6 及 2.4ppm 之普克利及待克利。以上足以證明本研究所用之淺孔注射，可以讓藥劑向下移動，達到抑制病菌、治療病害之功效(圖 3-7)。

表 3-7、榕樹於莖部注入待普克利後依不同日數對上下左右不同距離之採樣點
檢驗普克利之濃度結果

自各採樣點檢驗普克利之濃度(ppm)					
注射待普克利 後之天數	P1(向上 15cm)	P2(向左 15cm)	P3(向右 15cm)	P4(向下 15cm)	P5(向下 30cm)
5 天	14.2	3.0	1.0	43.7	69.8
10 天	8.0	12.7	0.1	20.4	7.1
15 天	9.6	7.0	9.6	12.7	16.7
三次平均值	10.6	7.6	3.6	25.6	31.2



圖 3-7、榕樹於莖部注入待普克利後依不同日數對上下左右不同距離之採樣點
位分布圖（注射點為中央白色封口點位）。

有關田間以因滅汀注射樹木後之藥物動力學，研究亦甚多。基本上該藥注射的目的是向上移行至全株，而目前之研究證明因滅汀可以很安定地輸送到全株，盡到防蟲、滅蟲之功用，甚至於可殘留 3 年以上，連其落葉也帶有甚高之殘留，堪稱是最耐久的防治劑。

在台灣進行之「刺桐紬小蜂益達胺注射防治法」，依據林試所等之研究，其藥劑之輸送及殘留約可維持 1 年左右。

(三)樹木淺孔注射之原理及方法

查樹木一般由導管及篩管輸送物質，其中導管負責水分或礦物質之向上輸送，篩管則負責自葉片將同化後之營養向下輸送。故樹木淺孔注射之原理，當是使藥劑注射之位置能接觸到樹木之韌皮部、形成層及木質部。如此才有機會讓藥劑隨著韌皮部向下輸送。

此一淺孔注射之要領，是藥劑本身須能與「樹液」具親合性，或無藥害現象。這一親合性或無藥害現象，可從「藥物動力學」及藥害測試法加以驗證。其藥劑注射之藥物動力學數據，已列如上一節。

而「淺孔注入殺菌劑混合物用於治療樹木褐根病之研究」論文已於 2020 年正式被發表於「植物醫學」期刊（孫岩章等 2020），是國內外首先用於治療褐根病之突破性技術，利用該技術除可預防健康株之感染，亦可對初期發病者發揮治療的效果。

(四)樹木褐根病之藥劑注射（實作）

台大植醫研究室，是自 2011 年開始針對肆虐於台港澳粵四地之「樹木褐根病」，研究「藥劑注射防治」之技術，至 2015 年，終於在田間試驗出「褐根病治療性藥劑」配方。此一配方內含 5 種主要成分：包括普克利或待克利其中之 1 種系統性殺菌劑（最終濃度 7200~10000ppm）、丁基加保扶或芬普尼或益達胺其中之 1 種殺蟲劑（最終濃度 4000ppm）、安比西林或四環黴素其中 1 種抗生素（最終濃度 300ppm）、花寶 4 號營養劑（最終濃度 150ppm）、Tween20 介面活性劑

(最終濃度 1500ppm)。該複合藥劑配方須於注射前調配，並置於一塑膠滴油瓶中，該瓶附有一長嘴滴管，方便注入淺孔中。

本研究所謂之樹幹及根部淺孔注射，所用的器械如圖 3-8。其操作程序如下：

- 1.以 75%酒精對擬注射之菌絲面四周區域進行表面消毒。
- 2.以手提電鑽配備 8 至 10 毫米之鑽頭，於菌絲面四周區域每隔 10 至 15 公分鑽出一深度 5 至 8 公分之淺孔，且使其角度儘量與地面垂直。
- 3.淺孔鑽孔後，立即複合藥劑配方自塑膠滴油瓶嘴注入淺孔，使至填滿淺孔。
經過半小時，宜再補充注入一次或一次以上。
- 4.經注入完成，即以耐溼性填充劑或矽膠對淺孔封口，但須自淺孔外圍 1 公分處開始填加矽膠並向中心旋繞多圈至完全密封且不觸及藥液。
- 5.注射完成後即定期觀察生長中菌絲面之變化，證明是否被抑制或呈結痂狀。

在 2014 年以此複合藥劑配方對發病初期或中期、已出現「菌絲面」之榕樹及鳳凰木進行多點注射，發現約 1 個月內即可讓生長中的「菌絲面」萎縮或「結痂」，證明這複合藥劑配方確實具有「田間治療」之實際療效。如圖 3-9 是鳳凰木，圖 3-10 是榕樹。



圖 3-8、樹木褐根病淺孔藥劑注射之器械。



圖 3-9、鳳凰木染樹木褐根病之根出現菌絲面(左)，經淺孔注射 2 週後即呈結痂狀(右)。



圖 3-10、榕樹染樹木褐根病之根基部出現菌絲面(左)，經淺孔注射 4 週後即呈結痂狀(右)。

(五)松材線蟲之藥劑注射防治

有關松材線蟲之注射防治藥劑，早期有摩朗得(Morantel)注射劑，近幾年丁基加保扶及因滅汀已被試驗出可用於注射松樹，應具有殺滅松材線蟲之效果。

依據日本學者 Takai 等之研究，抗生素類之阿巴汀、因滅汀、密滅汀等，皆具抗線蟲之藥效，外加有機磷殺蟲劑 Mesulfenfos、左美素(Levamisol hydrochloride)等。

又在田間實測上，葡萄牙學者 Sousa 等曾使用因滅汀(4% SL 水溶液)3種劑量，對田間松樹注射，發現每一胸高直徑1公分注入有效成分0.032g、0.064g、0.128g(a.i)者，在注射後26個月都能達到100%之防治率，未注射者則有33%的

病死率。一般 22 公分胸高直徑者約打 2 點位，超過 33 公分者打 4 點位，設備為高壓注射器「Arborjet pressurized version (press “TreeI.V.”, with 4bar/60psi)」。

注射孔為 0.95 公分，有放入塑膠墊片，防止松脂流出。注射後，從松樹枝條可檢驗到因滅汀的殘留劑量，檢驗的是 1~3 年生上位樹枝，以電鑽取其樹枝木屑 5 克，進行濕式萃取及 HPLC 檢測，結果 3 種劑量注射之松樹枝條皆可驗出自 0.48 至 12ug/5g 之殘留，其濃度與原劑量呈正比。而依據日本學者 Takai 等之研究，因滅汀之 95%抑制濃度為 0.031ug/g。故上列之殘留高於此 IC95 濃度，映證其具防治藥效。

第十七節、藥效及防治率之簡易估算

有關樹木保護用藥之藥效及防治率之估算，一般可分成實驗室內藥劑抑菌能力之估算、木材腐朽程度在施藥後之防治率估算、樹病經藥劑注射防治後之發病率估算等。

有關實驗室內藥劑抑菌能力之估算實例，較為常見。而以木片進行之藥劑防治腐朽之藥效估算實例，則如表 3-8 及 3-9。

表 3-8、六種藥劑於木片上對韋伯靈芝 OG12 菌株之抑制效果（呂凱珮 2016）

OG12 菌株	普 克 利 10ppm	待 克 利 10ppm	菲 克 利 10ppm	得 克 利 10ppm	貝 芬 替 10ppm	免 賴 得 100ppm
抑 制 率 (%)	38.8bc	90.8a	56.6ab	54.9ab	12.7c	15.3c

表 3-9、六種藥劑於木片上對南方靈芝 OG03 菌株之抑制效果（呂凱珮 2016）

OG03 菌株	普 克 利 10ppm	待 克 利 10ppm	菲 克 利 10ppm	得 克 利 10ppm	撲 克 拉 10ppm	貝 芬 替 100ppm
抑 制 率 (%)	81.1a	80.6a	97.5a	80.6a	-8.7b	4.3b

* 相同字母表示以最小顯著差異法檢定無顯著差異(P<0.05)。

第十八節、樹木清創處理

(一)樹木清創處理的定義

樹木清創處理，基本上是向人醫及獸醫的「外科手術（operation, surgery）」學習而來。而人醫的外科，是指「透過器械，經外科醫生的操作下，進入人體或其他生物組織，以外力方式排除病變、改變構造或植入外來物的處理過程。」在樹木清創處理，一樣是「透過器械，以外力方式排除病變、改變構造或植入外來物的處理過程」。

因樹木的結構與人體及動物不同，故處理方法也大大不同。人醫外科在專業分工上已越來越細，目前包括「普通外科、心臟外科、胸腔外科、血管外科、神經外科、耳鼻喉/頭頸外科、泌尿外科、整形外科、重建外科、骨外科、小兒外科、結腸直腸外科、移植外科、泌尿外科、口腔頷面外科等」，外加廣義的「眼科、婦產科、牙科等」。人醫外科經常處理的問題，主要有創傷、各種胸腹部急症、先天及後天性畸形、惡性腫瘤、器官移植等。其操作應用上，需與麻醉學、特級護理學、病理學、放射學、腫瘤學等醫學專科密切配合。雖然隨著藥物學、早期診斷技術、其他醫療科技的進步，加上手術費之昂貴，許多人體疾病的治療都走向非外科治療，但外科手術仍然是這些治療無效或產生併發症時最後一線的醫療。又近年開啟的外科微創手術（內視鏡手術），也增進外科學的優化，讓外科更能蓬勃發展。

因樹木清創處理主要對象為樹木的樹冠、樹幹及樹根。而樹幹及樹根最主要是樹皮及其內部之皮層、韌皮部、形成層、木質部及髓。又因樹木並無心臟及全身性循環系統，取而代之的是可分割化、可區隔化之「根、莖、枝、葉」器官系統。換言之，一株大樹東、西、南、北四方位的「根、莖、枝、葉」器官系統是可分割、可各自獨立生存的。樹木連體嬰的切割，因此比人或動物連體嬰的切割相對較為容易。

例如有甚多的樹木種類有氣生根、易長出不定根的特性，使得單一枝條即具有「可分割化、可區隔化」之特性，其清創處理、創傷恢復，相對會十分容易。

又樹木傷口的感染與人體及動物亦迥然不同，故在人醫手術上的麻醉醫學、感染醫學，自然與樹醫完全不同。

(二)樹木清創處理之沿革

樹木清創處理在園藝、盆景、植栽業界早有經驗及操作，此在歐美、日本、中國、台灣等皆然。例如在果樹的「接穗嫁接、創傷修剪」等，皆屬「透過器械，以外力方式排除病變、改變構造或植入外來物的處理過程」。

在日本的「樹木醫」及歐美的「樹藝學」，早期亦有「樹幹傷口清創、樹洞消毒及修補、樹皮重建」等處理。但其成效一直有所爭議。至 1977 年美國 Schigo 發表「木材腐朽的區隔化反應」(CODIT, Compartmentalization of decay in trees) 之後，甚多學者即普遍認為樹木會有 4 個層次抑制腐朽菌擴張之防禦機制，可以防制腐朽菌，並認為人為之「傷口清創、樹洞修補、樹皮重建」等，反而無益於樹木的自我防禦。故隨後有學者將先前之處理稱為「樹木古典外科手術」，並對此有所修正及調整，即配合上述之自我防禦機制，發展出所謂「現代版樹木清創處理」，其目的在於順應自我防禦之機制，輔助樹木進行傷口的保護及物理學之支撐。

但吾人應知歐美及日本皆屬溫帶地區，其威脅樹木健康之病菌及害蟲與熱帶及亞熱帶地區者差異極大或幾近完全不同。當熱帶及亞熱帶的闊葉樹種面臨致病力或致害力極強之真菌、白蟻、蠹蟲、天牛等之時，CODIT 的自然防禦機制未必可以有效封殺害蟲及害菌之擴展。例如 White&Kile(1994)即觀察到 2 種桉樹的腐朽菌會突破 CODIT 的 4 層防禦區隔。另如樹木褐根病菌的入侵，常在 1 至 2 年內殺死樹木並造成根系之白腐、喪失支撐能力而無風自倒。在此些染患褐根病之 200 種以上的樹種中，皆不可能等到 10 年後 CODIT 防禦區隔化之保護。

在人醫外科手術方面，隨著手術微創化、抗生素藥劑的推陳出新，外科仍是現代醫學的主流之一。而在樹木醫療方面，隨著「治療褐根病、靈芝菌、硬孔菌等新藥劑及微創、淺孔注射方法」之研發及成熟，樹木清創處理搭配高效藥劑之施用，應該是現代樹木醫學實際可行的醫療策略。

(三)樹木清創後的腐朽防治方法（實作）

目前有關樹木傷口腐朽防治之施作訴求，主要為染患褐根病、靈芝根基腐病、菌朽蟲蛀等 3 大類。故在除菌除蟲之藥劑，主要即針對「褐根病菌、靈芝菌、腐朽擔子菌、白蟻、天牛幼蟲、蟻蟻」等。

有關對付上列「褐根病菌、靈芝菌、腐朽擔子菌」之藥劑，可參考台大植醫團隊呂凱珮及梁臻穎 2 位碩士生之碩士論文（呂凱珮 2016、梁臻穎 2018）。主要之殺菌劑即有普克利、待克利、菲克利、得克利等。

而對付上列「白蟻、天牛幼蟲、蟻蟻」等之藥劑，則可參考「環境用藥病媒防治業施藥人員訓練教材」所列之藥劑。其主要之藥劑為芬普尼、合成除蟲菊、安丹等。

(四)傷口塗佈劑種類

樹木修剪或清創處理後的傷口保護，藥劑的塗佈常是必要的。這在亞熱帶或熱帶地區，因腐朽菌之猖獗，故比緯度高的歐美地區更加需要。

在市面上，日本有「切口保」膏劑之商品化使用。在台灣，台大植醫室亦曾自行調配傷口保護膏劑，其基底成分是凡士林，藥劑則有硫磺粉或加殺菌劑、殺蟲劑等。

有關樹木修剪後之傷口保護藥劑方面，台灣李碧峰君曾發表三泰芬加入石灰之塗佈劑技術，而在呂凱珮(2016)的論文，則使用待克利、普克利等加入 AB 膠、水泥漆等做為塗佈劑，證明皆有傷口保護之實效。

另台灣室多綠公司曾發表一「波爾多加強劑」，可供對修剪後之傷口噴施或塗佈，目前已有實際之應用。

而國外曾有使用木黴菌加黏着劑對傷口塗佈之生物防治報導(Schubert et al., 2008)，但其木黴菌塗佈後係經由傷口採樣「再分離」才證明其存在，不似一般可用目視觀察之。類似此一生物防治之方法亦經由臺灣植物及樹木醫學學會在 2021 年 8 月進行田間試驗，即將 3 種優選之木黴菌與 0.1% 洋菜混合，並添加促進木黴生長之微量營養，用以對 10 種樹木之新鮮傷口進行傷口噴施，結果於塗佈後皆觀察不到木黴菌之生長或纏據，經過 1 個月後與不噴施木黴菌者在外觀上全無差異，說明木黴菌在田間之實戰能力實屬有限，推測的可能原因是陽光中的紫外光對木黴菌具極強之抑菌或殺菌能力，導致噴到傷口之木黴菌無法生長及發揮作用。

(五)樹木清創處理之支撐

樹木清創處理之對象，都屬發生腐朽之根、莖、樹冠。在安全第一的大原則下，進行清創處理之大樹一定需要安全之支撐。其主要目的在預防風倒或倒伏。

又如以根部清創處理為主之作業，如染患樹木褐根病之清創工法，需把全樹架高，脫離土壤，方能進行所有根系之清瘡、施藥、除菌、除蟲等作業。則其對全樹之「頂底支撐」，需使根系全部露出，以供逐一之診斷及清瘡、除菌作業。此一「頂底支撐」作業，十分耗用人力及物力，也是最昂貴的施作，而對樹木本身之傷害也屬嚴重，故建議應由試驗有效藥劑注射取代此一弊大於利之「頂底清創處理」。

有關樹木清創處理的支撐方法，主要需考慮結構力學，並兼顧到不傷害樹皮及樹幹。詳細方法可參考「簡易支撐」及「專業支撐」之技術說明。前者是屬臨時性之支撐，後者是指永久性之支撐。

第十九節、木材腐朽菌種類（實作）

通常木材腐朽菌大多是擔子菌及子囊菌，在台大植醫研究室有 2 位碩士生即以腐朽菌之研究為碩士論文，其一是對產生子實體之菌類，多為擔子菌。另一

位是對颱風倒伏之樹木進行診斷及病菌分離，所得之菌即以子囊菌居多。

經查相關文獻及台大植醫研究室 2 位碩士生碩士論文之報告，已知重要之木材腐朽菌擔子菌類分列如下：

(一)靈芝類(*Ganoderma* spp.)：

依據「台灣常見樹木病害」一書，可知台灣常見之靈芝有「南方靈芝」、「普通靈芝」、「熱帶靈芝」、「韋伯靈芝」、「狹長孢靈芝」、重傘靈芝 (*Ganoderma multipileum*) 等。

(二)假芝菌(*Amauroderma* spp.)：

具病原性，子實體中型，具長柄，單生或叢生。

(三)黑漆假芝(*Amauroderma exile*)：

具病原性，子實體中型，一年生，具長柄，硬木栓質，呈黑色光滑，單生或叢生。常見於朴、榕、樟、相思樹、鳳凰木、洋玉蘭、楓香、茄苳、黃連木、橡膠樹等。

(四)木層孔菌(*Phellinus* spp.)：

子實體多平伏，或有反捲。一年生至多年生，密孔。

1.褐根病菌(*Phellinus noxius*)：為最重要樹木病害。

2.櫻生木層孔菌(*Phellinus prunicola*)：子實體平伏，0.3~0.6cm 厚、暗褐棕色。

常見於櫻、梅、樟樹。

3.卡馬木層孔菌(*Phellinus kamahi*)：子實體平伏，醬紅褐色。常見於櫻樹。密孔為 6~7/mm。

(五)硬孔菌(*Rigidoporus* spp.)：

子實體大型，多覆瓦生，常相連。一年生至多年生，密孔 5~7/mm。

1.榆硬孔菌(*R. ulmarius*)：子實體單生或覆瓦生常相連，大小寬 20cm、厚 2cm，表面多瘤狀突。常見於樟、朴、鳳凰木、榕、紅楠。

2.小孔硬孔菌(*R. microporus*)：屬多患性，具病原性，子實體單生或覆瓦生常相

連，一年生，上表面有環帶。常見於朴、榕、樟、相思樹、鳳凰木等。

- 3.平伏硬孔菌(*R. vinctus*)：具病原性，子實體平伏至小反捲，一年生至多年生，木栓質，常見於龍柏、側柏等。

(六)栓菌(*Trametes* spp.)：

腐朽力強，子實體中型，多半圓形，單生或群生，一年生，密孔 3~4/mm。

- 1.絨毛栓菌(*T. pubescens*)：子實體中型，半圓形，單生或群生常側連，一年生，大小寬 6cm、厚 0.8cm。表面有細絨毛及環帶。常見於榕、朴等。
- 2.毛栓菌(*T. hirsuta*)：子實體中型，半圓形，四季可見，單生或群生，一年生，大小寬 2~6cm、厚 0.2~0.3cm。表面有長絨毛及環帶。
- 3.東方栓菌(*T. orientalis*)：子實體中大型，半圓形，單生或群生，一年生，大小寬 20cm、厚 2cm。表面初期有絨毛，後期無毛，有環帶。

(七)多孔菌(*Polyporus* spp.)：

子實體多中型，多肉質如菇類，單生或群生，一年生。

- 1.寬鱗多孔菌(*P. squamosus*)：子實體中大型，肉質如菇類可食，單生、群生或覆瓦生，一年生。大小寬 20cm、厚 3cm。表面有暗色鱗片。
- 2.大孔多孔菌(*P. alvelarius*)：子實體中型，軟革質，單生或群生，一年生。菌柄基部有凹陷。
- 3.漏斗多孔菌(*P. arcularius*)：子實體中型，肉質，單生或叢生，一年生。大小寬 5cm、厚 0.3cm。

(八)擬革蓋菌(*Coriolopsis* spp.)：

子實體中型，多覆瓦狀疊生，一年生。

- 1.血紅擬革蓋菌(*Coriolopsis sanguinaria*)：子實體中型，黃褐色鮮艷有環帶，多群生，一年生。常見於鳳凰木、榕等。
- 2.黃褐擬革蓋菌(*Coriolopsis neaniscus*)：子實體中型，黃褐色，初期平伏，後期反捲，多群生，一年生。常見於強剪枝莖，如榕、朴、橡膠樹等。

(九)多年臥孔菌(*Perenniporia* spp.)：

子實體中型，多覆瓦狀疊生，一年生，密孔 4~6/mm。

1.白蠟多年臥孔菌(*Perenniporia flaxinea*)：子實體中型，多覆瓦狀疊生，一年生，日本常見於櫻樹。

2.台灣多年臥孔菌(*Perenniporia formosana*)：子實體中型，多覆瓦狀疊生，一年生，可見於榕、梅、朴等。

(十)蜂窩菌(*Hexagonia* spp.)：

子實體多中大型，多半圓形，一年生。菌孔大而似蜂窩。

1.薄邊蜂窩菌(*Hexagonia tenuis*)：子實體多中大型，多半圓形，暗褐色具環帶，單生或疊生，大小寬 4~10cm、厚 0.1~0.3cm。菌孔大似蜂窩六角形，1~2/mm。

2.亞蜂窩菌(*Hexagonia subtenuis*)：子實體多中型，多半圓形，暗褐色，單生或疊生大小寬 4~6cm、厚 0.1~0.15cm。菌孔似蜂窩六角形，1~2/mm。

(十一)小孔菌(*Microporus* spp.)：

子實體多中大型，革質，多平伏或小反捲至半圓形。

1.黃柄小孔菌(*Microporus xanthopus*)：子實體中型，革質，一年生，菌蓋漏斗形，具短柄。上表黃褐色具同心環帶，下表灰至白。

(十二)韌革菌(*Stereum* spp.)：

子實體中型，革質，單生或叢生，花瓣形至圓形，一年生。

1.蠔韌革菌(*Stereum ostrea*)：子實體中型，革質，單生或叢生，花瓣形至圓形，一年生，大小寬 7cm、厚 0.4~0.7cm。常見於榕、茄苳、橡膠樹等。

(十三)裂摺菌(*Schizophyllum* spp.)：

子實體小型，似雞毛狀，折菌摺摺緣縱向分裂，表面白色至灰白，具白絨毛及粗毛。

1.裂摺菌(*Schizophyllum commune*)：子實體小型，似雞毛狀，俗稱雞毛菌，菌摺摺緣縱向分裂，表面白色至灰白，具白絨毛及粗毛。為最常見多患腐朽菌。

(十四)側耳菌(*Pleurotus* spp.)：

子實體大型，肉質似菇類，單生或叢生，扇形至平展形，一年生。

- 1.側耳(*Pleurotus ostreatus*)：屬世界性分佈，子實體大型，肉質似菇類，單生或叢生，扇形至平展形，一年生，菌柄側生，似蠔菇。偶見於刺桐、榕樹。
- 2.囊狀側耳(*Pleurotus cystidiosus*)：屬東亞及北美分佈，子實體大型，肉質似菇類，單生或叢生，扇形至平展形，一年生，菌柄側生至中生，長 3~5cm，似蠔菇。偶見於刺桐、榕樹。

(十五)赤衣菌(*Erythricium* spp.)：

具強病原性，易與皮革菌混淆，子實體平伏，膜革質，灰白至淡粉紅，可無限伸展，為害枝及莖部。

- 1.赤衣菌(*Erythricium salmonicolor*)：具強病原性，稱赤衣病 (Pink disease)，易與皮革菌混淆，子實體平伏，膜革質，灰白至淡粉紅，可無限伸展，為害枝及莖部。

(十六)皮革菌(*Hypochnicium* spp.)：

具普遍性分佈，子實體平伏，膜革質，白色至乳白，可無限伸展，為害枝及莖部。

- 1.皮革菌(*Hypochnicium geogenium*)：具普遍性分佈，似赤衣菌，子實體平伏，膜革質，白色至乳白，可無限伸展，為害枝及莖部。

(十七)巨大口蘑(*Tricholoma* spp.)：

具普遍性分佈，子實體肉質，白色至乳白，常叢生，菌柄初期基部粗壯。

- 1.巨大口蘑(*Tricholoma giganteum*)：具普遍性分佈，子實體肉質，大小 8~32cm，白色至乳白，常叢生，菌柄初期基部粗壯，長 8~45cm。常見於榕樹、雀榕、鳳凰木基部。

(十八)虎皮香菇(*Lentinus* spp.)：

具普遍性分佈之褐腐菌，子實體白色至棕色，漏斗狀，常叢生，表面具棕色

角狀突起及粗毛，菌柄長 1.2~2cm，偏生或側生。常見於榕及楓香之落枝。

(十九)木耳菌(*Auricularia* spp.)：

具普遍性分佈，子實體膠質，紅褐色至棕褐色，淺圓盤形、耳形或不規則形，常叢生。

1.木耳(*Auricularia aricular*)：具普遍性分佈，子實體膠質，紅褐色至棕褐色，淺圓盤形、耳形或不規則形，常叢生。

2.毛木耳(*Auricularia polytricha*)：具普遍性分佈，俗稱黑木耳。子實體膠質，紅褐色至棕褐色，淺圓盤形、耳形或不規則形，背面具灰褐色長絨毛，常叢生。

至於子囊菌類之腐朽菌，目前已報告者有：

(一)白紋羽菌(*Rosellinia* spp.)：

具普遍性分佈，無性世代具分生孢子，有性世代為子座。

1.白紋羽菌(*Rosellinia necatrix*)：具冷涼地區普遍性分佈，無性世代具分生孢子，有性世代為子座。本菌會造成木材白腐朽。

(二)叢赤殼菌(*Nectria* spp.)：

具冷涼地區普遍性分佈，最常在腐朽的木材上作為腐生菌，但某些種是樹木的病菌，尤其是果樹和許多其他闊葉樹。如蘋果潰瘍病，樹木萎凋病等。在溫帶歐洲和北美無處不在。

1.紅球叢赤殼(*Nectria haematococca*)：具冷涼地區普遍性分佈，台灣 2017 見於楓香風倒木 (Sa74-1)。

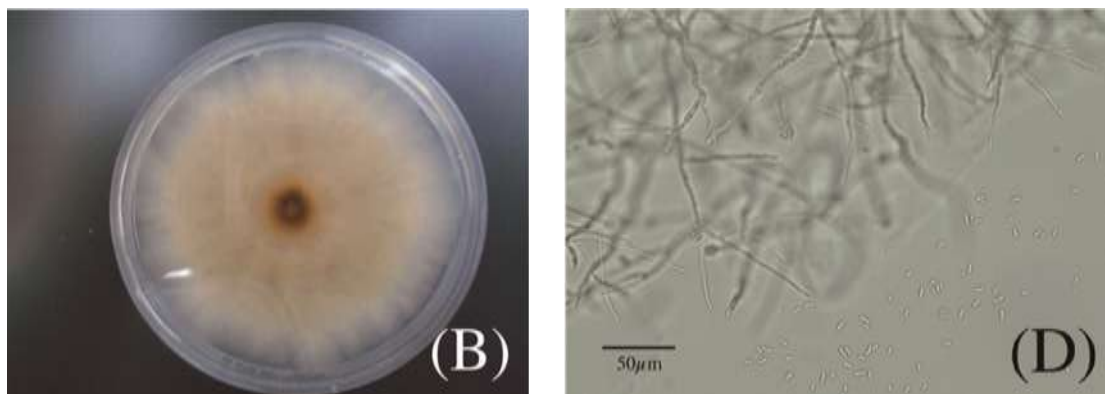


圖 3-11、紅球叢赤殼菌在 PDA 14 天。圖 3-12、其具分生孢子柄並產小孢子。

(三) 莢胞腔菌(*Sporormiella* spp.):

子囊殼接近球形，無剛毛，頸部短圓柱形或乳頭狀。子囊圓柱棒狀，內含八個子囊孢子。

1. 未命名莢胞腔菌(*Sporormiella leporina*): 台灣 2017 見於台灣欒樹風倒木 (Sa43-1)。子囊殼接近球形，無剛毛，直徑約 $450 \times 280 \mu\text{m}$ 頸部短圓柱形或乳頭狀(Furuya and Udagawa, 1972)。子囊圓柱棒狀，大小長約 $150 \times 15 \mu\text{m}$ ，從頂端逐漸向下變細，內含八顆大小相約之孢子。孢子 4 核，呈棕色至深棕色，圓柱形，大小約 $34 \times 5 \mu\text{m}$ 。

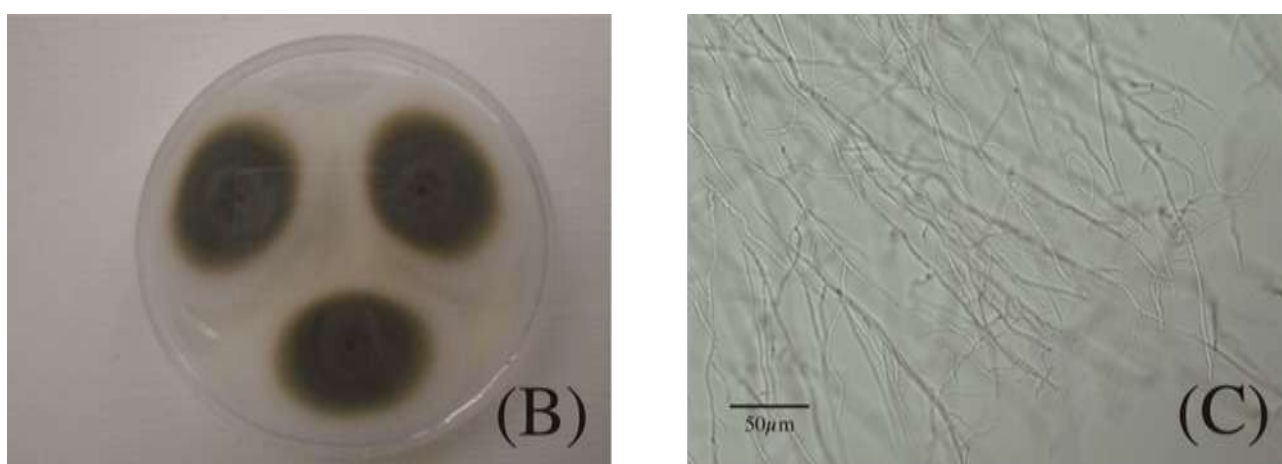


圖 3-13、未命名莢胞腔菌在 PDA 7 天。圖 3-14、其僅見菌絲，未見產孢。

(四)毛蜜孢菌(*Chaetomella* spp.)：

樹木保護專業人員教材

【高級】



第四章

樹木保護用藥及農藥之合理 安全施用與實務

許如君/鍾嘉綾/孫岩章

疫病蟲害防治

第四章 樹木保護用藥及農藥之合理安全施用與實務

第一節、環境用藥及樹木保護用藥

查農作類之「植物診療師」與樹木類之「樹木診療師」，其社會所需求之職能工項在「公共安全要求」、「藥劑施用邏輯」及「工程規劃設計監造及施作」三大面向存有甚大差異。簡言之，農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。但樹木保護類的「樹木診療師」在用藥上會要求長效、高效、無藥害下之最大濃度、多用複方等，目前世界各國亦多朝向環境友善之樹木藥劑注射，兼可使用對付白蟻及蛀蟲之環境用藥及其他跨物界或中立性之化學品等。又在農作物診療方面一般沒有樹木倒伏之公共安全問題，但在樹木保護方面，務須考慮到樹木倒伏之公共安全，即以不造成樹木倒伏、妥善支撐、風險預防等為優先要求。

因農作類植物疫病蟲害的用藥，多需考慮到食安、環保等之負面影響，故一般不能使用到「環境用藥」。相對地，樹木類疫病蟲害的用藥，則不會有影響食品安全的憂慮，且如白蟻、蠹蟲、天牛、蟻蟥等蛀食性害蟲在植物保護手冊或資訊系統中並無推薦藥劑，反而是市售之環境用藥具有害蟲防治之功能，故在樹木保護方面常常會有使用到「環境用藥」或跨界藥物的機會。

所謂跨界藥物是指在農林植物使用人醫用藥、動物用藥，或一般化學品等。因為農作類植物疫病蟲害的用藥，多需考慮到食安、環保等之負面影響，故一般不宜使用到「跨界藥物」。相對地，樹木類疫病蟲害的用藥，則不會有影響食品安全的憂慮，且如白蟻、蠹蟲、天牛、線蟲等害蟲在植物保護手冊或資訊系統中並無推薦藥劑，故在樹木保護方面會有機會使用到「跨界藥物」。例如吾人會在樹木藥劑注射中，使用到人醫使用的抗細菌藥物、抗線蟲藥物等。

用藥濃度的思考差異：查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。即以「能不用就不用」

為上策。其藥物之選擇多以分解快、濃度低、安全採收期短者為優先。但樹木保護類的「樹木診療師」在用藥上，例如樹木藥劑注射，如果全樹之濃度不足，將無法達成防治之目的，更有可能造成害蟲及害菌抗藥性的產生。其影響是雙輸之局面。所以必須要求長效、高效、在無藥害下使用最高濃度、並多使用複方等。此與人醫使用抗生素要求要施用足夠藥量及天數之邏輯相同。

復方用藥的思考差異：查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。即以「能不用就不用」為上策，一般自然不太鼓勵使用復方。但樹木保護類的「樹木診療師」在用藥上，例如樹木藥劑注射，因為多須同時針對「害菌及害蟲」加以防治，且為免單方容易產生「抗藥性」，故多建議使用複方。

藥效追求的思考差異：查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。過往在產、官、學界，多不太注重藥效之追求，也因此常無法進行植醫經濟效益之估算或預估。但樹木保護類的「樹木診療師」在樹木保護用藥方面，例如樹木藥劑注射等，吾人務必了解其藥效之高低，否則若藥效過低即等於做虛功，不只浪費時間及人力物力，也會造成延誤時機、或使病情惡化之嚴重後果。

農藥殘留與安全的思考差異：查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。故在農藥殘留與安全方面，有極高之要求，也常須進行農產品農藥殘留之抽查及檢驗。但樹木保護類的「樹木診療師」在樹木保護用藥方面，例如樹木藥劑注射等，吾人不太需要關心農藥殘留與安全問題，反而需要進行藥物動力學之探討，即希望目標藥物能維持在高濃度，並達一定的時間，使害菌及害蟲得以受到長期有效之控制。例如以益達胺注射刺桐防治釉小蜂，其高濃度可達約 1 年。

公共安全的思考差異：查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸。其施作場域多為局限

性的農場、林地或果園，其農林植物一般不會對人體及車輛構成公共之危險或風險。但樹木保護類的「樹木診療師」，其診療的對象常是高大的行道樹或公園樹木，若防治對象發生風倒或斷枝，都可能釀成人員或車輛之公共危險，故在用藥上需同時思考以不造成人員之接觸藥劑及避免發生樹木倒伏之公共危險為首要思維。故例如吾人在對樹木褐根病進行 BR5 藥劑注射防治時，皆會要求設立安全警示範圍並要求做好樹木之安全支撐。

(一)、環境用藥與農用藥劑之互通

查「農藥管理法」與「環境用藥管理法」，其防治的對象有相同的類別，例如昆蟲、蟎類、細菌、病毒、老鼠等。如全面比較，相異的類別是少數，應只有「污染防治劑」。

因此，環境用藥的有效成分與農用藥劑有甚多是相同的，簡言之，環境用藥的「殺蟲劑、殺蟎劑、殺鼠劑、殺菌劑」，與依農藥管理法登記之「殺蟲劑、殺蟎劑、殺鼠劑、殺菌劑」，甚多是相同的有效成分。

茲以常用環藥殺蟲劑為例，如表 4-1，可知與農藥中的殺蟲劑近乎雷同。

表 4-1、環境衛生殺蟲劑的殺蟲機制

殺蟲劑類別	殺蟲劑名稱	主要作用部位
除蟲菊精類 Pyrethroids	百滅寧、賽滅寧、亞滅寧等	神經系統
氨基甲酸鹽類 Carbamates	安丹等	神經系統
有機磷類 Organophosphate	亞特松、撲滅松等	神經系統
惡二嗪 Oxadiazine	因得克等	神經系統
新尼古丁類 Neonicotinoid	益達胺等	神經系統
吡唑類 Pyrazole	芬普尼等	神經系統
氨基胍 Amidinohydrazone	愛美松等	能量代謝
青春激素 Juvenile hormone	美賜平、百利普芬、芬諾殺	內分泌系統

苯甲醯基脲類 Benzoyl urea	二福隆、三福隆	幾丁質生成
微生物殺蟲劑 Microbial pesticide	蘇力菌、圓形芽孢桿菌、白殭菌、黑殭菌	腸道系統
無機類 Inorganic	硼酸、矽藻土等	體液平衡系統

(二)、重要環境害蟲種類

依據「環境用藥病媒防治業施藥人員訓練教材」2017 年版，重要環境害蟲種類有：

蚊、臺灣蜾蠃、蠅、蟑螂、跳蚤、螞蟥、白蟻、火蟻、衣魚、蛾蚋、臭蟲、蟎等。

(三)、重要害菌種類

依據環保署 101 年 11 月 23 日公告之「室內空氣品質標準」，9 項室內空氣品質如下：二氧化碳(CO₂)為 1000ppm(八小時平均)、一氧化碳(CO)為 9ppm(八小時平均)、甲醛(HCHO)為 0.08ppm(一小時平均)、總揮發性有機化合物(TVOC，包含：十二種揮發性有機物之總和)為 0.56ppm(一小時平均)、細菌為 1500 CFU/m³(菌落數/立方公尺)(最高值)、真菌為 1000CFU/m³(菌落數/立方公尺)(最高值)(但真菌濃度室內外比值小於等於 1.3 者不在此限)、PM₁₀ 為 75 μ g/m³(二十四小時平均)、PM_{2.5} 為 35 μ g/m³(二十四小時平均)、臭氧(O₃)為 0.06ppm(八小時平均)。

由此可知一般環境中易有細菌及真菌的孳生，應予預防或防除。重要的環境真菌有枝孢菌(Cladosporium)、青黴、黑黴、麴菌等。

另對健康直接有害的微生物病菌，則有仙人掌桿菌(Bacillus cereus)、大腸桿菌(Escherichia coli)、綠膿桿菌(Pseudomonas aeruginosa)、沙門氏桿菌(Salmonella choleraesuis)、金黃葡萄球菌(Staphylococcus aureus subsp. aureus)等。

依據 2016 石豐銘碩士論文，對台灣中部室內真菌之調查，最常出現的真菌

為：尖孢枝孢菌 (*Cladosporium oxysporum* Berk. & M.A. Curtis)，芽枝枝孢菌 (*Cladosporium cladosporioides* (Fresen.) G.A. de Vries)，黃麴黴 (*Aspergillus flavus* Link)，黑麴黴 (*Aspergillus niger* van Tieghem)，煙 麴 黴 (*Aspergillus fumigates* Fresenius)，草 酸 青 黴 (*Penicillium oxalicum* Currie & Thom) 及 短 密 青 黴 (*Penicillium brevicompactum* Dierckx)。

(四)、重要環境害蟲殺蟲劑

依據「環境用藥病媒防治業施藥人員訓練教材」2017 年版，重要環境害蟲殺蟲劑分列如表 4-1：

(五)、重要環境用殺菌劑

依據環保署毒物及化學物質局「環境用藥許可證及病媒防治業網路查詢系統」，目前登記許可使用之「環境用殺菌劑」，列如下述：

- 1、酚類(石炭酸類)：如鄰-苯甲基對氯酚、氯化正烷二甲苯甲基胺、鄰-苯基苯酚。
- 2、氯類：如二氧化氯等。
- 3、醛類：如戊二醛。
- 4、界面活性劑類：如四級胺界面活性劑。

另傳統上使用者有漂白水、75%酒精、石碳酸、氯氣、二氧化硫等，亦屬殺菌類別。

(六)、重要環境消毒藥劑

一般環境消毒之需求以公共場所、公共交通工具、醫療院所、染特殊病害之場所等。其消毒之防治對象當因診斷之不同而各有其對象。

例如捷運、公共廁所、高鐵車箱、旅館、飯店等之定期消毒，多以針對細菌及病毒為主要對象。故常用之藥劑可如上一節(五)之所列。

環保署於 2009 年 2 月 5 日發布「環境消毒作業要領」，述明「為於平日防

治蚊蟲孳生源或於颱風等天然災害，因豪雨造成地區淹水，會將帶有病原菌、寄生蟲等之化糞池污水、排水溝污水以及廢棄物等污穢物散佈污染環境，造成傳染疾病之發生，基於維護民眾健康及環境清潔，配合環境整頓進行災後環境消毒，特訂定本要領。」

(七)、樹木白蟻之防治用藥

依據「環境用藥病媒防治業施藥人員訓練教材」2017 年版，重要的白蟻藥劑有：

- 1、有機磷類：如亞特松等。
- 2、吡唑類：如芬普尼。
- 3、餌劑類：如六福隆、諾福隆等。諾福隆是美國研發之第 4 代幾丁質合成抑制劑。

(八)、樹木保護用藥及跨物界藥物的使用原則

查農作類之「植物診療師」是以食安、少用農藥、精準用藥、早期診斷早期防治、增進農作產量及品質為主軸，其用藥之法規依循是為「農藥管理法」。而樹木保護類的「樹木診療師」在用藥上會要求長效、高效、無藥害下之最大濃度、多用複方等，其用藥之法規依循一部分是為「農藥管理法」，另一部分則是「環境用藥管理法」。但查在「土地使用區分」方面，「農藥管理法」多限使用於農地或林地，「環境用藥管理法」則多以生活環境或公共區域為範圍。而在樹木保護方面，則是以「森林以外之樹木區域」為範圍。例如目前之「農藥管理法」多規定「非農地及林地以外不得使用農藥」，依據此一規定則「公園、校園、行道區域、社區、住宅區、保護區等」的樹木基地即不可使用農藥。為此，因為「環境用藥管理法」是以生活環境或公共區域為其施用範圍，似較能涵蓋「公園、校園、行道區域、社區、住宅區、保護區等」的樹木基地範圍，但「環境用藥管理法」的施用，其屬「一般環境用藥」者是沒有限制使用者之資格，但專業性的施用則須取得「病媒防治業」之證照始得施行。又目前已登記為「環境用藥」的種類仍

屬太少，無法滿足目前「樹木保護用藥」之需求。未來的解決之道，建議樹木保護主管機關應洽「環境用藥管理法」主管機關，依據「環境用藥管理法」第 23 條之規定，羅列及通過「專供試驗研究、教育示範、專案防治或申請登記用之環境用藥」，以滿足樹木保護用藥之需求。

另對於跨物界藥物應用於樹木保護用藥的使用方面，只要此些藥物合乎「科學、合理、經濟、環保」之原則，自可依據已發表之科學報告，由樹木保護主管機關核可認定之。

第二節、農藥管理法概述

國內林木如有害物的危害或要調節林木生長，要用農藥(Pesticide)時，是必需依照「農藥管理法」的規範來使用。因在「農藥管理法」第五條「(一)用於防除農林作物或其產物之有害生物者及(二)用於調節農林作物生長或影響其生理作用者」都屬於農藥管理法範疇中的農用藥劑(簡稱農藥)。「農藥管理法」其中第四章有規範販賣及使用，其中第 33 條提及使用的規範，「使用農藥者，應使用經中央主管機關核准之農藥」。因此，可知國內的林木用藥除了上一節環境用藥、樹木保護用藥及跨物界藥物的使用以外，在農藥之使用係受到「農藥管理法」的管轄，依規定只有核准之農藥才可以使用於核准的範圍，並應依據林木的作物別及害物的類別選擇藥劑。農藥是預設來殺生的物質，本身就會有毒性。本章節會從農藥毒性開始介紹、並依續介紹農藥的安全性及合理使用及施用等實務。

第三節、農藥的急性毒性分級及潛在風險

「農藥管理法」中第二章登記，第九條「農藥之製造、加工或輸入，除本法另有規定及經中央主管機關公告不列管之農藥者外，應經中央主管機關核准登記，並發給許可證」。可見國內的農藥，除屬動植物防疫檢疫署公告的不列管農藥有效成分外，其餘都要經過登記才可輸出入及販售使用，不列管農藥亦需繳交

相關資料取得許可證號才能列出其防治的功效販售。

不列管農藥稱為免登記植物保護資材，其使用範圍，可分為用於防除有害生物、調節農林作物生長或影響生理功能，是以正面表列有效成分的類別公告可做為不列管農藥。目前公告如屬「食品安全衛生管理法第三條第一款食品」為此類不列管農藥，除食品外並公告有 18 個有效成分類別圖 4-1。除了序號 2 褐藻類及 17 的壬酸為調節農林作物生長或影響生理功能外，其它含 17 序號的共 17 類別的不列管農藥都具備防除有害生物的功能。

除了不列管農藥相對一般農藥的毒性較低視為安全性較高，未於農藥標示中分級外，列管農藥的急性毒性可依 WHO 農藥急性毒性分類分為極劇毒、劇毒、中等毒、輕毒及低毒，其危害級別亦參考「化學品全球分類及標示調和制度」(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals GSH)危害級別以大鼠為試驗動物依口服半數致死劑量(LD50)及皮膚 LD50 分類編制如表 4-2 的五級及未分級等。其中因極劇毒的毒性極高，國內目前沒有農藥的急性毒性屬此一級別；而劇毒農藥亦因毒性高，國內亦禁用了大部分農藥，只有少部分沒有替代性的劇毒農藥流通使用，其使用、儲存及販售亦有較嚴格的要求。



圖 4-1、免登記植物保護資材第一點附表之 18 種主要成份。

表 4-2、國內農藥急性毒性分類

農藥急性毒性分類			
急性毒性分類	毒害級別	口服 LD(mg/kg body weight) ₅₀	皮膚 LD(mg/kg body weight) ₅₀
極劇毒	第一級	≤ 5	≤ 50
劇毒	第二級	$> 5 \sim \leq 50$	$> 5 \sim \leq 200$
中等毒	第三級	$> 50 \sim \leq 300$	$> 200 \sim \leq 1000$
	第四級	$> 300 \sim \leq 2000$	$> 1000 \sim \leq 2000$
輕毒	第五級	$> 2000 \sim \leq 5000$	$> 2000 \sim \leq 5000$
低毒	未分級	> 5000	> 5000
備註： 成品農藥應依其成品急性毒性值分類。 本項農藥急性毒性分類係參考 WHO 農藥急性毒性分類，危害級別係參考 GHS 危害級別分類編制。(試驗動物為大鼠)			

第四節、農藥的危害風險

國內成品農藥分成劇毒、中等毒、輕毒及低毒，並以紅色、黃色、藍色及綠色等標示背景帶來區分毒性(圖 4-2)，其中中等毒涵概的毒性劑量範圍較大，因此，中等毒再細分成第三及第四級。食鹽的 LD₅₀ 為 3000mg/kg 大鼠體重，為第五級屬輕毒的毒性，等同農藥毒性是標註藍色背景帶。毒性最低為低毒性，其標示為綠色背景帶的。標示背景帶上列有危害防範圖示，在其配製藥和施藥所需使用的相關防護，分列於左邊及右邊；在紅、黃及藍色所代表的毒性亦需加註動物或水生生物毒性的危害防範圖示(圖 4-3)。



圖 4-2、農藥標示管理辦法第十二條圖四危害防範圖式之背景帶圖例。



圖 4-3、危害防範圖示。

「農藥標示管理辦法」在 108 年 8 月已修法通過，標示需依照國家標準 CNS15030 的「化學品分類及標示」中進行相關危害圖式、警示語、危害警告訊

息等標示，此標準參考 2005 年聯合國“化學品全球分類及標示調和制度”(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals，編號 ST/SG/AC.10/30/Rev.1)之規定訂定。如前所述，屬中等毒性的劑量的農藥範圍較廣，為區分毒性較高的第三級，農藥如具中等毒第三級以上的毒性，分類之口服 LD50 數值若為 300mg/kg 以下，需再標註骷髏頭急毒性的危害圖式。農藥如具腐蝕/刺激皮膚 (Skin corrosion/irritation)、嚴重損傷/刺激眼睛 (Serious eye damage/eye irritation)、呼吸道或皮膚過敏

(Respiratory or skin sensitization)、吸入性危害 (Aspiration hazard) 及特定標的器官系統毒性 — 單一暴露 (Specific target organ systemic toxicity-Single exposure) 則需在罐上標示急性健康危害。如屬生殖細胞致突變性 (Germ cell mutagenicity)、致癌 (Carcinogenicity)、生殖毒性 (Reproductive toxicity) 及特定標的器官系統毒性 — 重複暴露 (Specific target organ systemic toxicity-Repeated exposure) 則需在罐上標定慢性健康危害。

農藥對水生物毒性屬 CNS 一五〇三〇之水環境危害物質慢毒性第一級、第二級或急性毒性第一級、第二級者，應標註對魚類危險或有害之危害防範圖式，在農藥標示及使用方法中亦會另加註「勿使用於自來水水質水量保護區、飲用水水源水質保護區或飲用水取水口一定距離內之地區」之警語。新版的農藥標示管理法較以往添加毒性的標示，讓用藥人選擇農藥時可有更好的遵循，不過，新法剛上路有三年轉換標籤的緩衝期，到了 111 年 8 月就會看到所有農藥產品換新標示。

蜜蜂是人類重要的授粉昆蟲，近年來被發現蜂群衰竭失調症 (Colony collapse disorder，簡稱 CCD) 和殺蟲劑類尼古丁類的特定農藥之使用有關，CCD 的特徵是造成西洋蜂羣之外勤工蜂大量的消失，但在巢周圍並未發現屍體。因此，為了保護授粉蜂不被農藥傷害，政府也要求對蜜蜂毒性較高的第一(對每隻蜜蜂的半數致死劑量小於 2 微克)及第二類別(對每隻蜜蜂的半數致死劑量於 2 到 11 微克

之間)的農藥需要標註危害圖式(表 4-4)，分別為對蜜蜂劇毒及有毒，在有這些授粉蜂活動或蜜源植物開花時要特別注意不使用此等類別農藥。林木作物在會比農作物更有機會有授粉蜂的造訪，在選用農藥上，尤其是殺蟲劑對蜜蜂的毒性要特別注意。

表 4-3、CNS15030CNS15030 化學品分類及標示

危害性	危害圖式	危害分類
健康危害		急毒性 (Acute toxicity)
		腐蝕/刺激皮膚 (Skin corrosion/irritation) 嚴重損傷/刺激眼睛 (Serious eye damage/eye irritation) 呼吸道或皮膚過敏 (Respiratory or skin sensitization)
		吸入性危害 (Aspiration hazard)
		特定標的器官系統毒性～單一暴露 (Specific target organ systemic toxicity-Single exposure)
		腐蝕/刺激皮膚 (Skin corrosion/irritation) 嚴重損傷/刺激眼睛 (Serious eye damage/eye irritation) 呼吸道或皮膚過敏 (Respiratory or skin sensitization)
		吸入性危害 (Aspiration hazard)
		特定標的器官系統毒性～單一暴露 (Specific target organ systemic toxicity-Single exposure)
環境危害		水環境危害 (Hazardous to the aquatic environment)

表 4-4、農藥對蜜蜂急性毒性分類

危害級別	分類標準 (蜜蜂成蟲接觸急性毒性)	標註危害圖示	警示語	危害警告訊息
第一級	$LD_{50} \leq 2\mu\text{g}/\text{bee}$		警告	對蜜蜂有劇毒
第二級	$2\mu\text{g}/\text{bee} < LD_{50} \leq 11\mu\text{g}/\text{bee}$		警告	對蜜蜂有毒
第三級	$LD > 11\mu\text{g}/\text{bee}$	無	無	相對無毒

第五節、農藥的合理安全使用

農藥依使用對象可分為殺蟲劑(Insecticides)、殺蟎劑(Acaricides)、殺菌劑(Fungicides)、殺線蟲劑(Nematicides)、除草劑(Herbicide)、植物生長調節劑(Plant growth regulators)、殺螺劑(Molluscicides)及殺鼠劑(Rodenticides)等類別，在國內有登記的主要成份的種類數分別為 125、23、125、5、59、16、2 及 3 種，總數為 358 種(表 4-5)。其中廣義的殺蟲劑包含殺蟎劑，殺菌劑包含殺細菌的抗生素及除草劑包含植物生長調節劑，此三類為較大類別的農藥。在製劑配方中，這些農藥除了以單劑存在外，亦會以混合劑的型式存在。

表 4-5、國內現有農藥的類別及數量

農藥代號	殺蟎劑	殺蟲劑	殺菌劑	除草劑	植物生長調節劑	除螺劑	殺線蟲劑	殺鼠劑	總計
種類數(種)	23	125	125	59	16	2	5	3	358

註:2021 年動植物防疫檢疫署網址(<https://pesticide.baphiq.gov.tw/>)。

(一)農藥的合法使用

農藥需先經過向政府登記的過程，取得許可證才能販售及供使用，如何知道何物種林木或是害物可以使用何種農藥呢？這在成品農藥的標示中都可以找到相關的資訊。政府單位，包括主導農藥管理的行政單位「動植物防疫檢疫署」及技術單位「農業藥物毒物試驗所」都有相關資訊資料的揭露，前者是建構農藥資訊網(<https://pesticide.baphiq.gov.tw/>)，後者則是建構如圖七的植物保護資訊系統(<https://otserv2.tactri.gov.tw/PPM/>)。以林木用藥在「農業藥物毒物試驗所」植物保護資訊系統整理的用藥資訊系統為例，主要的林木登記是在森林的作物項下，再細分為病害和蟲害。在雜草的部分則是以造林地雜草有登記用藥(圖 4-4)。



圖 4-4、植物保護資訊系統的網頁圖示。

森林病害有分為杉木、柳杉及松樹項下的病害，如杉木幼苗立枯病或杉木芽枯病，此屬單一作物害物範圍的登記用藥。以目前登記的森林用藥可能無法滿足現有林木，尤其是都市林害物的發生，而登記用藥所需耗費的時間、人力和金錢都讓廠商卻步。近幾年來，「動植物防疫檢疫署」公告作物暨害物品項分類指引(動植物防疫檢疫署 105-1 版(105.12.12 更新之防治)，將作物依作物品項、科別、類別及大類等群組化作物，簡併用藥。常用都市林的植物可列為花木類及果樹類，

以依據其登記用藥來合法使用農藥(表 4-6)。

如樹木褐根病，則是泛指不同種類樹木皆可能會得到褐根病，其用藥的登記方式為群組作物範圍的用藥。在森林蟲害的部分亦相同，有單一品項用藥的松樹松毛蟲或是松樹綠葉蜂；也有群組化作物的刺桐屬植物之刺桐紬小蜂防治；害物的群組化的部分則如臺灣欒樹椿象類或臺灣欒樹薊馬類的害物防治。

表 4-6、國內現有登記林木用藥是以森林及花木病害、蟲害及雜草為類別登記

森林病害	森林蟲害	雜草	花木病害	花木蟲害
杉木幼苗立枯病(幼苗猝倒病)	松樹松毛蟲(臺灣松毛蟲)	造林地雜草	花木幼苗疫病	花木小菜蛾
杉木芽枯病	松樹綠葉蜂		花木疫病	花木夜蛾類
柳杉赤枯病	木麻黃星天牛(桑斑天牛)		花木露菌病	花木斜紋夜蛾
松樹松材線蟲	杉木苗圃夜盜蟲		花木白粉病	花木甜菜夜蛾
樹木褐根病疫病區土壤薰蒸消毒	刺桐屬植物刺桐紬小蜂		花木炭疽病	花木薊馬類
泡桐根瘤線蟲(參考資料)	桉屬植物桉樹枝瘿紬小蜂		花木黑斑病	花木蚜蟲類
	臺灣欒樹椿象類		花木褐斑病	花木粉蝨類
	臺灣欒樹薊馬類		花木葉斑病 花木灰黴病	花木盾介殼蟲類 花木葉蟎類 花木根蟎類

(二)農藥的合理使用

樹木病蟲害或雜草等害物發生時，農藥並不應是防治的唯一解決方法；相反的，為了環境及生態的永續，針對疫病蟲害發生都是以窮盡一切可能方法處理後，只有在害物密度達到經濟為害水平(Economic injury level)時，才會採用農藥來進行防治。針對害物的發生，可以先採用預防的方式、之後害物發生後才會採行干預的作法，只有在族群密度發生量達到行動閾值(Economic threshold)時，才會進行施用農藥的行動。這就是害物整合管理(Integrated pest management, IPM)的作

法(圖 4-5)。



圖 4-5、害物整合管理(IPM)的作法，包括預防、監測，達到經濟危害水平才進行農藥的防治。

在進行疫病蟲害的防治時，可以有很多類別的防治方法，包括耕作防治、物理防治、生物防治及化學防治。這些防治方法的使用時機或是權重，符合金字塔形式的作法，會以耕作防治先進行預防疫病蟲害的發生，找尋這些害物的弱點，針對其弱點來進行預防性的防治，如氣候環境、土壤的健康、造林移植地的選擇、行株距及施肥等。另外、針對特定疫病蟲害發生，可以採用機械方式的物理防治，如土壤燻蒸方式；亦可採用顏色的誘引或遮避方式來防治害蟲；在樹幹上可有些阻隔，避免蝸牛爬行到標目區為害或是避免天牛進行取食或產卵為害；有些燈光搭配誘捕器的架設亦可誘殺害蟲。再來可採行生物介入性防治，如天敵的釋放或是維持天敵可以發生的環境；另外，增補微生物進入環境的微生物農藥或肥料也是現今常見的拮抗疫病發生的消滅方法。上述防治方法都無法壓制疫病蟲害的發生，且預期害物危害會造成經濟危害水平情況下，這時才是化學農藥可以施

用的時機。依造這些程序和作法，才能達到合理使用農藥。

農藥的施用要參照標示上的濃度，也就是稀釋倍數來進行。不當的稀釋濃度會造成防治無效、殘留、過量使用農藥或是抗藥性提早發生的風險。這也是為何農藥的施用要先取得登記，政府依據詳好的設計規範來進行的田間藥效試驗來核准登記用藥，才能維持有效及安全用藥。

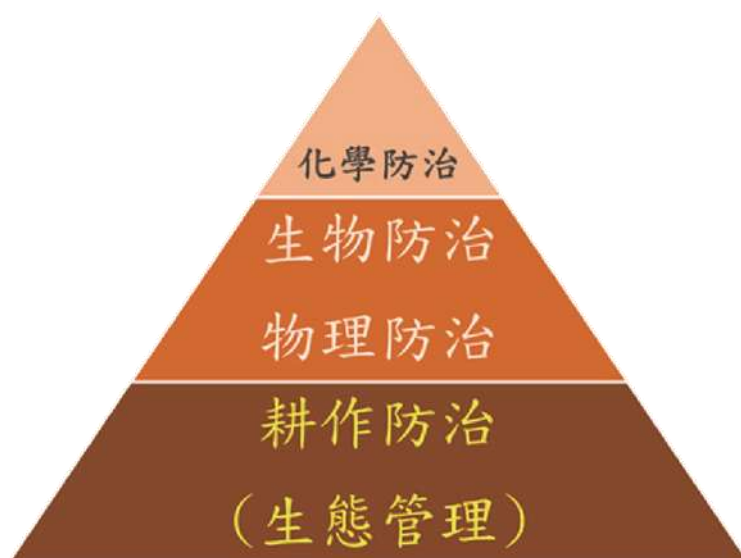


圖 4-6、農藥是防治害物的最後手段，防治的方法可依金字塔堆疊方式來進行。

(三)農藥的安全使用

農藥是預期用來殺生的物質，依造其短時間的致死劑量可以評估其急性毒性，較長期的測試，則可評估其慢性毒性，包括致癌性、腫瘤、畸胎或是生殖毒性等。農藥如有特定毒性的部分會有危害標示，這些資訊在農藥的標示中都有揭露，可讓我們在選擇農藥時可參酌。不過，任何化學物的毒性是取決於曝露到的劑量，就算再毒的物質，如果沒有曝露量也就不會有風險。

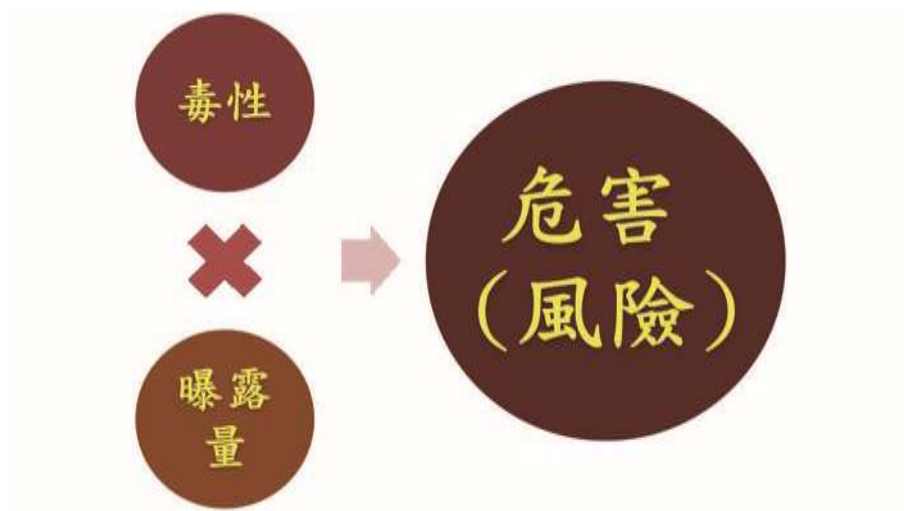


圖 4-7、危害來自於毒性和曝露量的加乘。

在接觸農藥的過程中，消費者接觸到的濃度是遠低於農藥的使用者。農藥使用者會有配製時的接觸及施用時的接觸，其中通常以配製時的接觸濃度遠高於施用時的濃度，差距可達數千倍、而施用的濃度又遠高於消費者接觸到的農藥殘留，差距也可能達數千倍。以松樹的松材線蟲為例，松樹可使用 15%福賽絕 (Fosthiazate)乳劑，使用於要稀釋 25 倍，依施藥量及施藥方法施用(表 4-7)。針對農藥施用者，他可能接觸藥劑的濃度會是一般人可能碰觸到林木的 25 倍以上的濃度，這也是為什麼在農藥的標示帶中，左邊會有配製藥品的防護，右邊是施用時的防護建議。可參照圖 4-3 危害防範圖示中有關個人防護措施。包括眼睛、口及鼻的防護、如護目鏡、面罩、口罩及防毒面具，可以因應不同毒性或需求(具呼吸毒之農藥)之防護；還有長袖衣物、手套、靴子等針對皮膚接觸的防護；必要時還會穿著全套衣和圍裙來進行配製藥劑時的防護。

表 4-7、防除松樹松材線蟲登記用藥

藥劑名稱	作用機制代碼	每公頃施藥量	稀釋倍數(倍)	施藥方法	注意事項
15% 福賽絕 (Fosthiazate) 乳劑	IRAC1B	胸徑小於 15 公分之植株施用 16 公升，植株胸徑每增長 5 公分，增加 10-25 公升。	25	於松樹休眠期，將稀釋藥液依樹木胸徑大小之用量，距樹基部 1-1.5 公尺處，以高壓灌注器將藥液灌注土壤中，每年施藥一次。	限於移植當日施藥。 對水生物、鳥類、蜜蜂毒性強。

使用農藥後的人員要進行沖洗，在操作場所要準備肥皂或液態皂及至少 12 公升以上的清水、並準備單次使用的紙巾及一套換洗的衣物。接觸農藥的過程，如有滴漏或噴濺，可用一次性的紙巾進行擦拭；隨時覺得有污染之虞時，要利用肥皂來進行清洗；噴完藥後要用肥皂來進行簡單的清洗，並置換成乾淨的衣物後，才能有取食的動作。在農藥的曝露途徑中，經口曝露的毒性最高，操作完農藥有清洗及置換乾淨的衣物，這樣就不會經口曝露到農藥，施用時經皮膚的接觸也會在有手套及長袖衣物的保護下可降低很多曝露量。

不過，手套的種類及材質很多，哪種材質的手套才會具有較好的防護效果？一般的棉質手套如同棉質衣物會有吸附汗水的功能，無法阻絕皮膚對液體的吸收，沒有防護效果，不適合作為農藥施用時的穿著或是防護工具。乳膠或聚氯乙烯(PVC)或 PE 塑膠手套也沒有抗有機化學腐蝕性的能力，要施用農藥建立要採用橡膠等材質的手套，化學合成的亦可採用丁基、丁晴、氯基橡膠材質的一次性手套來進行防護。才能隔絕腐蝕性的化學藥劑的接觸。另外，手套的厚度也會影響隔絕的效果，越厚越好，不過，這也會和操作的方便性有權衡的作用，最薄不

可低於 0.3556mm 也就 14mils 的厚度才有抗化學溶劑的效果。

除了使用者在施用的安全防護外，林木用藥因不若食用作物會有農藥殘留容許量的訂定，會在上市前有查驗農產品的農藥殘留，如未達政府要求，超過容許量會被究責，除了罰責外，因生產的農產品不符會安全衛生會被全部銷毀。但在未作為食用作物的林木用藥，要如何規範其用藥呢？在每個林木病蟲害需要用藥才會有登記用藥供選用，而用施用時要參照施用方法來進行用藥，如施用的部分位及施藥的頻度，而施藥量則會在每公頃施藥量中告知，並要求遵照注意事項來使用。因為這些資訊都是政府因田間藥效試驗審核過的結果，如果不遵照使用，可能會造成防治效果不佳，或是造成藥害，使林木植株受損，更嚴重是會影響到鄰田，造成公害事作導致別人的損失，也是會被求償，得不償失。對本身施藥的人健康上的危害更是得不償失。尤其林木高大，噴藥時對自己由上而下的噴濺，如果霧化太嚴重，讓自己處於藥液的細霧中，如果藥劑還有呼吸毒性的特定時，又增加呼吸毒性的曝露，加大中毒的風險。

第六節、農藥施用實務

(一)用藥的選擇要以標示使用範圍為主

成品農藥標示上都會列出針對標的害物進行使用方法的說明，當然如上所述，可透過「動植物防疫檢疫署」及「農業藥物試驗所」網站找到，下面列出花木夜蛾類用藥及花木疫病用藥二個表來進行解釋。確認要用藥防治害物時，我們必需先確認是什麼作物上的害物，如屬觀賞花木類，可選擇花本群組來查找用藥，再來是進行診斷鑑定確認為害的害物，如果本身沒有此鑑定能力，可付費請求國立臺灣大學、興大、嘉大及屏科大等四校植物教醫院的服務來鑑定；或是農業部轄下的試驗改良場所的診斷鑑定服務來請求協助。近三年，農業部推行植物醫師的制度，透過動植物防疫檢疫局計畫資助，亦有接近 80 位儲備植物醫師可以協助，他們服務地點以申請的農會或公所為主。

我們假設要用藥的花木是受到斜紋夜蛾或是疫病的危害，就應用下表來決定要採用的藥劑來進行防治。基本上殺蟲劑或是殺菌劑有其作用的藥理，如屬於廣效性的殺蟲劑，就會對同屬於昆蟲的害物都有效，如有其他殺蟲發生可選擇可以一起用的殺蟲劑一起施用，或是分主要和次要蟲害，以主要蟲害的用藥來兼防次要害蟲。如我們花木有夜蛾為主要為害，也有其它毒蛾、薊馬次要為害，那我們可優先選擇對夜蛾和薊馬都有登記的殺蟲劑來使用，如克凡派、亞滅培或賽洛寧等殺蟲劑擇一來使用(表 4-8 及表 4-9)。



圖 4-8、斜紋夜蛾。

(二)抗藥性管理的預防作法

國內目前登記的殺蟲劑有 125 個有效成分，可依其作用機制的不同，依照作物永續協會(Crop life)的殺蟲劑抗藥性行動聯盟(Insecticide Resistance Action Committee, IRAC)的分類，將全球現有可歸類於殺蟲作用的化學物或生物資材，分為 32 類，另包括未知作用機制部分。這 32 個類別分別給於阿拉伯數字為代號易於使用者作為區別。

在標示上要求需列出作用機制，內容應包括殺菌劑抗藥性行動委員會(Fungicide Resistance Action Committee, FRAC)、殺蟲劑抗藥性行動委員會(Insecticide Resistance Action Committee, IRAC)、除草劑抗藥性行動委員會(Herbicide Resistance Action Committee, HRAC)等國際組織所定之作用機制代碼，以花木夜蛾和薊馬都可使用的亞滅培有效成分為何，其作用標的及代碼可看

圖例(圖 4-9)。這些作用機制如屬同一類，就代表連續使用時會造成連續的選汰壓，讓防治的害物產生抗藥性。因此，為了抗藥性管理，我們不混合相同作用機制的農藥亦不輪替使用相同機制的農藥。為了方便使用者辨別這些作用機制，農藥管理單位就依國際權威分類農藥之代碼來區別，供使用者在用藥時，不使用相同代碼的農藥來施用以落實抗藥性管理。以上述克凡派、亞滅培或賽洛寧殺蟲劑以例，這三個主要成分各屬於不同作用機制，代碼不同，可以輪替使用。

表 4-8、花木夜蛾類用藥

(https://pesticide.baphiq.gov.tw/web/Insecticides_MenuItem5_5_B.aspx?tp=1&id1=E&id2=A0102&sign=X)

普通名稱	含量(%)	劑型代碼	每公頃 每次用 藥量	稀釋倍 數	使 用 時期	施 藥 間隔	施 用 次數	注 意 事 項		
因滅汀	5	SG	0.2-0.6 公斤	4,000	害 蟲 發 生 時 始 藥	7	最多 3 次	限 觀 賞 花 卉 使 用 ， 使 用 前 宜 先 進 行 小 面 積 藥 。 避 免 於 開 花 期 使 用 。		
克凡派	10	SC	0.6-2.5 公升	1000		7				
亞滅培	20	SP	0.2-0.8 公斤	3,000		7	最多 2 次			
美氟綜	22	SC	0.6-2.5 公升	1000		7				
祿芬隆	50G/L(5%W/V)	EC	0.4- 1.(7 公 升)	1,500		7	最多 2 次			
	4.4									
賽洛寧	2.5,2.8, 2.46	ME,EC,CS,Sc	0.6-2.5 公升	1,000		7	最多 2 次			
撲滅芬普 寧	46.5	EC	0.6-0.8 公升	1500		7				
賽洛安勃	150G/L(15%W /V)	ZC	0.2-0.6 公升	4,000	害 蟲 發 生 時 始 藥	7	最多 2 次	限 觀 賞 花 卉 使 用 ， 使 用 前 宜 先 進 行		

								小面積藥。
賽速安勃	300G/L(30%W/V)	SC	0.2-0.6公升	4,000			最多 2 次	避免於開花期使用。

表 4-9、花木薊馬類用藥

(https://pesticide.baphiq.gov.tw/web/Insecticides_MenuItem5_5_B.aspx?tp=1&id1=E&id2=A06&sign=X)

普通名稱	含量(%)	劑型代碼	每公頃每次用藥量	稀釋倍數	使用時期	施藥間隔	施用次數	注意事項
克凡派	10	SC	0.6-2.5公升	1000	害蟲發生時開始施藥	7		限觀賞花卉使用，使用前宜先進行小面積藥害測試。
亞滅培	20	SP	0.2-0.8公斤	3,000		7	最多 2 次	
賜諾殺	11.6	SC	0.1-0.6公升	4500		7		
賜諾殺	2.5	SC	0.6-2.5公升	1000		7		
賜諾殺	80	WP	0.02-0.08公升	32000		7		
賽洛寧	2.46,2.5,2.8	CS,ME,EC	0.3-1.3公升	2,000		7	最多 2 次	



圖 4-9、農藥有效成分作用機制標示圖例。

(三)農藥的施用倍數及使用量

當我們決定用藥種類後，就要依造標示來使用，要知道施用的面積有多大，換算每公頃每次施藥量或是每株用藥量來計算農藥成品的使用量。再來是看稀釋倍數來進行藥劑的稀釋，如果施釋倍數是 1000 倍，每個藥桶的體積是 16 公升，如果是液態成品農藥，那我們就會加入 0.016 公升(較精準是採用重量)也就是 16 毫升的藥液，再加水到藥桶 16 公升處的高度來定容體積。如果是固態成品農藥，較精準我們會建議以重量來取量，再定量到 16 公升，過濾後再加入藥桶中。那如果同時要混用二種農藥呢？那麼要先決定施用面積要使用的每公頃用水量，再以此水量及稀釋倍數反應每個藥的用藥量，進行配製。所以，混用越多農藥會造成稀釋液中的總農藥量越高，增加不同農藥間不相溶的風險。如有混用農藥的需求時，千萬不要超過 5 種不同品項的混合，包括液態肥料及展著劑。

噴用農藥時，要詳讀農藥標示，會告知注意事項，如不可施用的水域或是有藥害的警告。目前花木作物涵蓋的作物範圍很廣，並沒有每種林木或是每個時期都測試農藥稀釋液是否會對其產生藥害，所以施用前要進行小面積藥害測試。尤其是較敏感的花、嫩梢、嫩葉及苗等都要特別注意。

農藥的施用也會有告知施用的次數，有時因為藥劑的特性或是害物的特性，一次用藥並無法達到滿意或是完全消滅的效果，因此，會建議連續施用藥劑的次數及施用的間隔。這些數據，都是參照當時農藥在登記時的藥效數據，提供我們用藥的指引。

表 4-10、花木疫病用藥

(https://pesticide.baphiq.gov.tw/web/Insecticides_MenuItem5_5_B.aspx?tp=1&id1=E&id2=B29&sign=X)

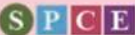
普通名稱	含量(%)	劑型代碼	每公頃每次用藥量	稀釋倍數	使用時期	施藥間隔	施用次數	注意事項
亞托敏	23 250G/L(25%W/V)	SC	0.6-2.5公升	1,000	發病初期開始施藥	7	最多2次	觀賞花卉使用，使用前宜先進行小面積藥害測試。
亞托敏	10	SC	1.5-6.3公升	400		7	最多2次	
亞托敏	50	WG	0.3-1.3公斤	2,000		7	最多2次	
依得利	35	WP	0.4-1.8公斤	1,400		7	最多2次	
依得利	25	EC	0.6-2.5公升	1,000		7	最多2次	
曼普胺	250G/L(25%W/V)	SC	0.2-1公升	2,500		7	連續3次	
普拔克	66.5	SL	1-4.2公升	600		7	最多2次	
普拔克	39.5	SL	2-8.3公升	300		7	最多2次	
達滅克敏	18.7	WG	0.4-1.7公斤	1,500		7	最多2次	
達滅芬	500G/L(50%W/V) 50	SC, WP, SC	0.2-0.8公斤	3000	病害發生初期開始施藥，每株灌藥500公撮於病株周圍。	7		

殺菌劑的選擇也可參照這裡以花木疫病為例所列出的殺菌劑清單(表 4-10)。殺菌劑在農用藥劑內的清單達 125 種，亦有殺菌劑抗藥性行動委員會針對殺菌劑列出各個類別並給予代碼，可供進行抗藥性管理。一樣的，除草劑及殺線蟲劑也都針對抗藥性管理將有效成分進行作用機制的分類。施用時，可避免同一代碼的同時或輪替用藥，進行抗藥性的管理就可降低藥效無效的發生機率以延長有效使用的期限。

(四)農藥的特性

農藥亦可依其是否會移動分為接觸性(Contact)和系統性(Systemic)二大類，所謂接觸性是病害在農藥噴佈到的範圍才有毒性，沒有接觸到就沒有毒性；但系統性的農藥具備移行性，植株接觸到藥劑後，藥劑可以進入植株大部分藉由輸導作用移行到植株的其他部位。所以系統性農藥以由下往上的移行較為常見。

農藥會因不同作用部位才表現出其功能性，如殺蟲劑可區分接觸性和胃毒性二類，前類指接觸到害蟲體上會產生毒性，胃毒性則是要透過取食到消化道才會有毒性。不過，現今的殺蟲劑類別大多兼具接觸性和胃毒性的毒性，只有如微生物用藥(如蘇力菌)及硼酸等類別只具有胃毒性，蟲體吃下去才有毒但單單接觸時是沒有毒性。病原菌在侵染作物時是有過程，首先需有孢子存在，然後孢子會著生出孢子座固著於植株表面，再來因濕度適合時，孢子萌芽再侵入植株的表皮細胞，並發展出營養體掠食植株的營養，最後產生生殖階段而有產孢能力，形成一個生命環。殺菌劑因應病原菌這些生長過程，會有在孢子發芽前的預防感染的預防型藥劑，如鋅錳乃浦、銅劑或是四氯異苯腈等；或是影響到菌絲生長的治療性藥劑以及可以在危害比較嚴重時，到達繁殖期時可以有作用的除滅性藥劑。當然，有些藥劑兼具多種特性，如具備預防、治療及除滅性質；有些則僅有單一功能或兼具二種功能的藥劑(如圖 4-10)。

作用機制	標的部位	FRAC	化學分類及有效成分名稱
G-膜的固醇合成 (Sterol biosynthesis in membranes)	G1-固醇合成之C14 去甲基酶 (C14-demethylase in sterol biosynthesis (<i>erg11/cyp51</i>))	3 中	咪唑類 (imidazoles) 依滅列 (imazalil)  披扶座 (pefurazoate)  撲克拉 (prochloraz)  賽福座 (triflumizole)  三唑類 (triazoles) 三泰芬 (triadimefon)  三泰隆 (triadimenol) 

 系統性
  保護性
  治療性
  除滅性
  蜜蜂危害

圖 4-10、殺菌劑的作用部位及功能性。

(五)農藥的施用

針對林木害物，可以施藥的方式有四種，常見是地噴、一種是無人飛行載具的空噴、第三種是澆灌，第四種是注射法。其中，如要進行無人飛行載具的空噴，要先取得代噴人員無人飛行載具的空噴證照及民航局的無人飛行載具操作的專業證照，並以法人名義申請操作。空噴因受限於空中施藥的藥液施藥量受限，又要有一定的覆蓋率所以採用的施藥劑水量和地噴的會有十倍以上的差距，不同水量但為了達到有效用藥，一般會採用單位面積用藥量來進行施作的參考用量，不過，目前仍沒有針對林木用藥的空噴用藥的建議。

地噴要注意配製的藥品是固體或是液體，如是固體注意不要塞住噴頭及管線，使藥液不均，造成防治的死角或是濃度太高有藥害的問題。地面噴藥，長久的使用亦可能會造成噴嘴的磨損，有更多的藥液漏出，噴藥的前區有較大的藥量，後區就沒有藥，這一樣也會造成田區藥液不均的問題。噴藥時，噴出固定粒徑的液滴時。越多的藥液量會有越多的液滴數，可由圖 4-11 中噴藥的流量看出。但如固定的藥液量時，液滴大小和液滴數目成反比(圖 4-12)，適量的著藥量即可對害物有效，過多的藥液會造成浪費。

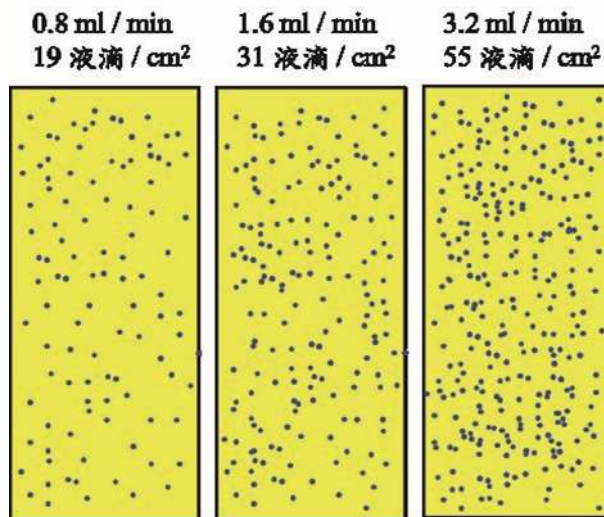


圖 4-11、噴出固定粒徑的液滴時，越大流量的液滴數越多。



圖 4-12、一個液滴可裂解成 8 個直徑減半的液滴。(採用 Wolf 教授等的簡報資料)

另外，液滴粒徑會影響沉降時的飄移距離，越小的液滴會飄移得更遠，也更容易蒸發，使得沉降到目標區的藥液量反而減少，浪費藥液。影響液滴大小為噴嘴型式及採用的壓力大小，所以我們要選擇適當大小的液滴，以臺灣的溫濕度環境，地噴時要採用中等大小液滴，粒行為 223-325 微米間，飄散距離約 40 公分為較適合的液滴粒徑。

第三種針對林木的用藥技術則是採用澆灌，適合澆灌的農藥以具系統性特性的為主，澆灌時藥液會往乾燥的地方擴散，所以林木澆灌時土壤不能太乾，要保持適當濕度但不能飽合，而澆灌後怕藥液被稀釋，二天內不要澆水。樹木的大

小會影響需要澆灌的藥液量，一般以農藥標示為主。如果用藥僅有告知胸高直徑(Diameter at breast height, DBH)單位寬度的液體量時，那我們就需採用建議的稀釋倍數，再量測樹木的週長隔以 3.14 換算成胸高直徑。施用時，澆灌時要將稀釋藥液靠近主幹以發展的根圈為主，因在樹根周圍挖一條深 5-8 公分、寬 10 公分的溝渠。如果有徑流(Run off)的可能性，或者土壤是重粘土或緊實，則需挖得更深。澆灌主要靠根吸收藥液，再經輸導作用到達病蟲害為害的上層葉或莖區域，需要些時間，因此，一般建議樹木在春天時是適合的施藥時機。如果病蟲害的發生已算嚴重，單靠澆灌可能緩不濟急，還需搭配地噴或注射的方法。

有人認為樹幹注射農藥是防治病蟲害發生最有效及快效的方法。注射的藥劑通常為成品原液或較高濃度的稀釋液，利用正壓製透滲透壓將其注射到樹幹內，再以壓力迫使其到達輪導組織，透過木質部傳送到更高的位置以防治病蟲害。實際的操作一樣需量測樹木的胸高的寬度，再除以 5 公分後之間距作為注射的位點。每個位點的注射量以 15 到 20 毫升為主，可注射的樹要有一定的樹齡以上且執行注射的季節也是在春天較合適，不要在冬天進行注射。注射後也要處理注射的傷口，不要造成樹木的二次感染。

(六)農藥混用的技巧

在施用農藥時，有時為了減少施藥的人力，會採用肥料及多種農藥同時混用，不過，每種農藥在登記前評估的藥效都以其成品單劑來進行，因此，混用農藥的風險要自己負擔。使用者混用農藥時通常希望能省工或是增加藥效，但不適宜的混用會有降低藥效甚至增加藥害的風險。非不得已要進行混用時，可把握幾個原則，如肥料要在農藥前先加，粉狀劑型要較液狀劑型先加，乳劑要最後加，如有展著劑可在乳劑後加，需混用的肥料及農藥的總數不要超過 5 個。混用時要確認是否有不相容現象，如沒有不相容現象，也要進行小規模試噴試驗，觀察五天確認沒有藥害再進行大規模施用。

要和農藥混用的肥料以葉用肥為主，要混用時要用約 500 毫升的燒杯來進

行小規模測試，加藥時要加入 1/3 的水，再依稀釋倍數的量依序加入藥劑，採用粉狀、液狀(水懸劑>溶液>乳劑)及展著劑，如廠商有建議自家產品混用順序以其為主。每加一次藥，先在小燒杯內加些微水混合均勻，再加入大燒杯，混合均勻後再加入下一藥劑，逐一加入後再定容至 500 毫升，混合均勻後，靜置五分鐘後觀察。如沒有沉澱或不相容的現象可再靜置到 30 分鐘，仍沒有不相容現象，即這些組合及混拌方式可進行混用；相反的，如五分鐘後觀察有不相容現象，則表示這些組合不適合混用。如果，五分鐘觀察這些組合為相容，但 30 分鐘為不相容，則表示施用時要持續攪拌，以避免施用時不相容現象發生，阻礙噴霧造成施藥不均。

農藥是必要之惡，農藥是做為防治的武器或是造成污染的兇器，這端靠使用者對農藥的瞭解，才能合理安全的施用，讓它的效益最大化。本章節描述農藥的特性、毒性、安全性、合理性及施用技術，希望能更深入的掌握農藥的特性，合理安全的施用農藥以達到施用效益最大化。

樹保高級題庫

第四章、樹木保護用藥及農藥之合理安全施用與實務

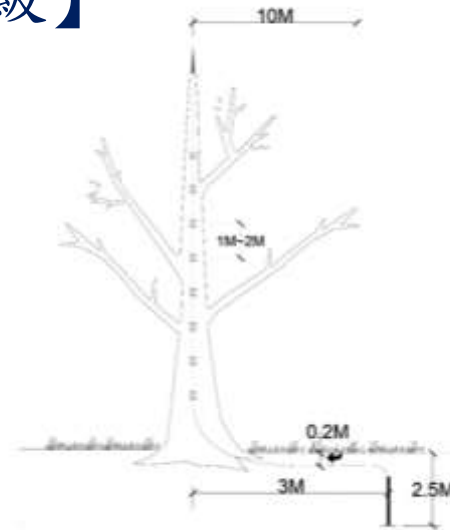
編者註：以下簡答題為作者提供教師與學員授課參考

簡答題：

1.	農藥的急性毒性分級依 WHO 標準分成哪五級？
答	農藥急性毒性分類分為極劇毒、劇毒、中等毒、輕毒及低毒。
2.	請列出五種不列管農藥的作用類別及每類別各一例有效成分。
答	害蟲：檸檬烯、矽藻土、苦楝油、皂素、脂肪酸鹽類 害菌：次氯酸鹽類、碳酸氫鈉、二氧化矽 線蟲：幾丁質 雜草：壬酸 節調：褐藻
3.	請列出五個農藥的危害防範圖示的例子。
答	鑽孔抵抗值在健全材較高，腐朽空洞材較低，可藉由鑽孔抵抗圖譜(量變曲線)高低判斷樹木橫斷面的健全、腐朽、空洞位置及範圍。
4.	農藥依使用對象可分為哪幾類？
答	殺蟲劑 (insecticides)、殺蟎劑 (acaricides)、殺菌劑 (fungicides)、殺線蟲劑 (nematicides)、除草劑 (herbicide)、植物生長調節劑 (plant growth regulators)、殺螺劑 (molluscicides) 及殺鼠劑 (rodenticides) 等類別。
5.	害物整合管理 (IPM) 的作法，包括哪四部分？
答	包括預防、監測、達到經濟危害水平、防治。在達到經濟危害水平時才可使用農藥。

樹木保護專業人員教材

【高級】



第五章 樹木支撐與避雷系統

李勝倫 / 廖偉健



移植復育與支撐

第五章 樹木支撐與避雷系統

第一節、支撐系統

(一)支撐目的與適用情境

樹木支撐是風險緩解的手段之一，當樹木經由風險評估，被診斷出具有枝條折損、主幹斷裂或倒伏等風險時，除了將枝條、主幹切除或將樹木移除，在環境條件許可的情況下，也可以透過支撐來減緩上述風險，藉以保存樹木的枝幹，避免砍除樹木，延長樹木的壽命與保全其價值。

樹木支撐不會是緩解樹木風險的唯一選項。對同一棵樹而言，支撐的方法通常不只一種選擇，在實際執行之前，樹木保護專業人員需要與業主（樹木持有人或管理者）充分溝通，確認雙方清楚了解樹木的現況、潛在的風險及支撐的目的，認知支撐的功能與限制，以及後續檢查與維護的必要性，達成共識以後，才開始規劃支撐計畫及執行。

需要支撐的情境通常是因為樹木有一些結構上的缺陷，例如等勢幹、枝條過長、腐朽及樹洞、根系缺陷等。

當樹木的主幹或枝條具有兩個以上直徑相近的分岔時，便會發展為等勢幹或等勢枝。具有內夾皮的等勢幹及大型等勢枝是都市樹木景觀中最危險的情況之一。一般而言，若出現內夾皮，分岔連結就不會有木質互相交疊的情形。內夾的枝條形成層會互相抵靠生長。隨著枝條變粗就會產生互推的力量，加上木質無法互相交疊，就會造成分岔連結弱化，進而產生裂縫甚至自連結處撕裂折損。

腐朽對樹木的安定性是一種重要的影響因素，因此，腐朽是危險樹木重要的評估因子，當樹木的枝幹發生內部腐朽，會逐漸使實心的樹幹或枝條變成中空或形成樹洞。樹木保護專業人員需要注意因腐朽發展導致的木材強度變化，以及造成樹木破壞傾倒的可能性。枝幹的強度損失可以從空洞的開口與圓周的比例、殘存外殼厚度與枝幹直徑的比例來估算。樹洞周圍是否有癒傷材(Wound wood)及

反應材形成，也會影響影響枝幹的強度。

研究顯示，當枝條的長度與直徑超過一定比例時，枝條折斷的發生機會將大幅上升。因此針對過度細長的枝條，可以透過修剪及支撐等方式來降低其折斷的風險。



圖 5-1、枝條過長加上連接處腐朽，無法支撐自身重量而折損。(上&下圖)

當樹木的根系切斷、盤根或腐朽，造成強度損失而不足以支撐樹木整體的重量時，便可能發生倒伏，針對這種狀況，可以透過修剪減少樹體的重量，或透過支撐來降低樹木倒塌的風險。

無論是以上哪種情況，支撐前都需要審慎評估並制定周詳的計畫，必要時配合修剪減少樹木結構缺陷的負重，或透過棲地改良及其他養護作為，維持或改善樹木的生長勢，以促進樹木持續生長並區隔腐朽，減緩樹木結構劣化的速度。

設置支撐系統時，除了須考慮支撐強度、對樹木後續生長的影響以外，也必須考慮景觀以及對周圍交通動線的影響。在造型設計上宜配合周遭環境進行設計，維持整體景觀的一致性，在不影響動線安全的情境下，可採用黑色或其他不顯眼的顏色以降低視覺干擾；若支撐系統鄰近步道或車道且有碰撞疑慮時，則需以醒目顏色警示，如黑橘或黑黃相間。



圖 5-2、支撐系統的造型設計須兼顧美觀，配合周遭環境進行設計，無碰撞疑慮時，宜採用黑色等不顯眼的顏色。



圖 5-3、針對有碰撞疑慮的支撐系統，須採用醒目顏色標示以避免碰撞。

(二) 支柱

1. 特性及設置時機

支柱指的是在地面和枝條或主幹間安裝堅硬的結構物，材料包括木材、鋼材、水泥或其他材料，使枝條或主幹離開建築結構或地面，通常用來支撐向下生長的枝幹。

針對具有氣生根的榕屬植物，可透過人工導引氣生根的方式，藉由介質的輔助而將氣根引導生長至地面，逐漸發展成為新的主幹形成天然的支柱。



圖 5-4、增加支柱與枝幹的接觸面積，可分散受力，避免應力集中於單點。

2.設置要點

國內外對於支柱的設計並無統一的規範，其設計的重點是避免限制枝幹未來的生長，並具備足夠的強度以支撐枝幹本身的重量及枝條擺動所形成的荷重。



圖 5-5、支架強度不足而變形。

隨著時間經過，金屬材料可能會生鏽、竹木材料可能會腐朽而削弱支撐強度，因此需要定期檢查並於必要時進行更換。

為避免樹木枝幹從支架落下，並減少摩擦造成的樹皮損傷，支柱必須牢牢固定在地上，避免隨著枝幹移動。若在地上挖洞來固定支柱時，必須盡可能避免破壞工程範圍外的樹根。



圖 5-6、支撐材料的強度可能隨著時間經過而減弱，例如使用竹、木作為支撐材料時，須注意支架可能因腐朽導致強度減弱而斷裂。

(三) 支架

1. 特性及設置時機

支架指的是針對樹木因根系未能支撐樹木整體而設置的暫時性支撐。其目的是為避免樹木移植後、根系發生病害及腐朽的期間，因風力或其它外力影響使其倒伏、或鬆動根球部而損傷新生根生組織，進而影響其生長發育。必須於覆土定植之後立即施以，或樹木已知有根系病害或損傷而有倒塌之疑慮，但仍有救治可能或暫時無法移除，應考慮設立臨時支架。

2. 設置要點

支架固定作業應力求綁紮穩固，以免風吹動搖植栽而導致新生根系組織斷裂，進而影響植栽後續生長發育，或因水分養份供輸中斷以致死亡。

支架材料種類建議使用桂竹或孟宗竹…等等竹材為支架的主要材料，兼具

生態與環保的雙重助益，且具有易取得性、便利性。若使用杉木時可盡量不剝皮使用；此可於冬季作為病蟲害之寄宿處，將可於翌年換立支架時棄之燒毀以達到防治病蟲害之效果。若翌年無法換支架，則需去除剝皮使用較佳。支架材料除特殊考量需要之外，盡量不要以焦油或瀝青柏油或防腐劑塗布，以免造成二次環保公害污染。

對於受保護樹木，當量體較大且可能超出竹木材料的負荷時，則建議使用鋼材作為支撐材料。支架固定位置以樹木全高的 2/3 以上支撐效果最佳，至少應於植栽全高度的 1/3 以上位置。採三角支架定時，支架固定之立地角度宜以 45～60 度間，將能有效的抵擋風力的吹襲。支架架設之平面角度則宜成等邊三角形即成 120 度夾角，其中一角須迎向風面。為讓支架穩固支撐，埋設於土壤中之支架，須達土壤層下方 50 公分以上，且經搖撼、拔出不易為其原則。

支架固定時，其與樹幹或枝條之接觸部位，須加墊布塊或草蓆環、麻布塊或不織布…等軟質襯物以隔離保護固定之，以防樹木幹部的接觸性傷害。

植栽幹部的「護幹包裹材料」可以麻布質料之護幹包裹材或 PE 防水透氣膜包覆保護之。暫時性支架的捆綁繩材料宜以布繩或麻繩或粗棉繩等，原則上以兩年內可堪用的可自然分解性材料為之。

(四)樹木彈性纜繩

1.特性及設置時機

樹木彈性纜繩是專門為支撐樹木而設計的纜繩，通常是由聚酯纖維、聚丙烯、聚酰胺等纖維材料編織而成的空心繩索，並具有一定的延展性(5-26%)，安裝時會保有一定的空間，容許纜繩隨著樹木枝幹的加粗而延展。

裝設彈性纜繩的目的是為了透過繩索的延展性來緩衝樹木枝幹擺動時的應力，藉以降低樹木折損的機會；或於折損時懸吊住斷裂的枝幹，以避免砸落造成災害。不同製造商生產的纜繩會有不同規格、使用建議及年限，裝設前選擇合適的規格並詳閱說明書。

彈性纜繩的優點包括：

- (1)具彈性，容許樹木枝條適度擺動並產生反應生長。
- (2)可隨著時間因應樹木的變化而調整。
- (3)適當安裝時(張力適中並裝設防摩擦保護套)，可將對樹木傷害減到最小。

彈性纜繩的缺點包括：

- (1)需要較高頻度的檢查與更換（根據使用手冊建議之間隔頻率）。
- (2)可能因摩擦或松鼠啃咬而受損。



圖 5-7、彈性纜繩的缺點是可能因松鼠啃咬而受損，需要定期檢查與更換。

2.設置要點

依據目的不同，樹木彈性纜繩以下三種不同的架設方式。

(1)動態固定(Dynamic breaking/cabling)

為避免枝條在擺盪中因過度拉伸而斷裂，可將繩索搭配衝擊吸收器一起使用，衝擊吸收器通常是由橡膠製成的短棒，能塞入空心的纜繩中，提高系統的延展性。如此既不會阻礙樹冠的日常擺動，同時可以溫和地緩衝強陣風造成的極端

負荷。安裝時應該根據樹木和環境情況選用適合的繩索和衝擊吸收器的規格。繩索的抗張強度越大、繩索與衝擊吸收器的延展性越小，這個系統就越堅固，負荷的極端值也會越大。

(2)穩態固定(Static breaking/cabling)

若樹體已有缺陷產生(例如裂痕)，宜使用低延展性的纜繩，不搭配衝擊吸收器。藉由讓特定目標點固定不動，可以防止裂痕擴大，或避免枝條斷裂。

(3)支撐固定(Load/support cabling)

若有維護交通和行人安全的需要，要避免斷裂的枝條墜落砸下，可使用此支撐方式。安裝時應盡量接近垂直，不用搭配衝擊吸收器。枝條掉落時，繩索才能有效拉吊斷枝。此時，唯一的加速度僅限於繩索的拉伸，因此，衝擊力將被降低甚至消失。不論繩索或是固定點都要夠強壯，才能負荷枝條的重量。

(五)鋼纜

1.特性與設置時機

相較於樹木彈性纜繩，鋼纜的延展性更低(小於 2%)，屬於穩態支撐，適用於有明顯缺陷、撕裂風險高的枝幹。裝設的目的是為了穩固的支撐枝條，提供一定的張力，避免枝條因缺陷而折損。針對樹木缺陷而設置的鋼纜原則上屬於永久性支撐。設置的位置及固定點的強度皆需要審慎評估，固定點一般採用地錨的形式。

鋼纜支撐的優點是提供非常穩固、安全的支撐；但包含以下缺點

- (1)容易對樹木造成傷害。
- (2)需要定期調整與更換。
- (3)視施作方式，可能造成侵入性傷口。
- (4)可能改變樹木枝幹的應力分布。

2.設置要點

為了要提供穩固的張力，鋼纜支撐需要確保適度的緊繃程度，因此不建議以

直接將鋼纜環繞枝幹的方式設置，否則鋼纜與枝條間的摩擦力將隨著樹木的生長而加劇，使得樹皮被鋼纜切割受壓迫而形成不必要的損傷。

鋼纜與枝條間應設置緩衝材料、以套管或板狀構造物來增加受力面積，以分散應力。

若地錨位於草地或鋼纜鄰近車輛或行人動線時，須以醒目顏色標示，以避免草皮維護作業或人車通行時發生碰撞。

(六)檢查與更換

無論採用何種支撐系統，皆需要定期檢查，確保支撐的穩固性。在設計支撐系統時，樹木保護專業人員需要與業主（樹木持有人或管理者）充分溝通並達成共識，使業主了解後續檢查與維護的必要性，並說明各項支撐材料的使用年限及建議檢查頻率。

定期檢查是為了確認支撐材料是否損壞、與枝幹接觸面有無樹皮損傷及腐朽，若接觸面有腐朽且傷口並無癒合跡象時，需要考慮調整支撐位置，以免該位置形成新的結構缺陷。

隨著樹木的成長，可能需要更換支撐位置或設置新的支撐以達到良好的效果。由於支撐材料的強度是固定的，受支撐的樹木需要定期修剪以確保枝條的重量在預設的荷重範圍內。當支撐材料劣化或到達製造商所建議的使用年限時，即需要更換。更換時，應先設置好新的支撐系統，才將舊的拆除。

樹木與支架綁紮處應每年調整位置，以免因樹木生長將綁繩勒緊，造成樹木損傷。

第二節、避雷系統

樹木防雷系統安裝的目的，是在為雷電提供一個通往地面較佳較短路徑，保護樹木免於雷擊損壞，以減少因閃電擊中樹木而造成損害及相鄰樹木損害其結構的風險和造成樹木旁房屋損害的風險。

(一)閃電對樹木的影響

閃電是自然界非常強大的和普遍的力量，當雲塊的電壓高到足以讓空氣的絕緣崩潰時，所發生之急速放電是雷。在臺灣每年閃電達百萬次以上，當樹木被雷擊時，可造成永久性傷害或發生森林大火。被雷擊中後主要3種呈現方式：

1.直接雷擊

所謂直接雷擊，是指雷電直接電擊在建築物、構架、樹木、動植物上，造成建築物等損壞以及人員傷亡。

2.側邊閃電(Side flash)

側邊閃電指的是閃電擊中較高物體後，傳導給旁邊的人體或物體。例如閃電發生時，如果躲在空曠區域中的大樹底下，也有可能遭到雷擊，因為旁邊較矮的物體會形成一種短路的效果，原本閃電應該經由大樹傳導到地表，結果因為短路，而經由旁邊的人體再傳到地表。

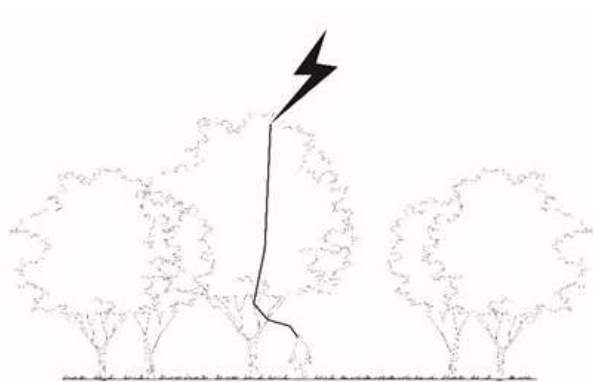


圖 5-8、側邊閃電。

3.地面電流(Ground Current)

地面電流是造成最多人或動物死亡的一種雷擊。當閃電擊中樹時，閃電通常經由根部離開，消散在土壤中。電荷消散時，會在土壤表面產生明顯的電位差，如果人或動物的雙腳跨站在該區域，電位差造成的致命電流就會通過身體。

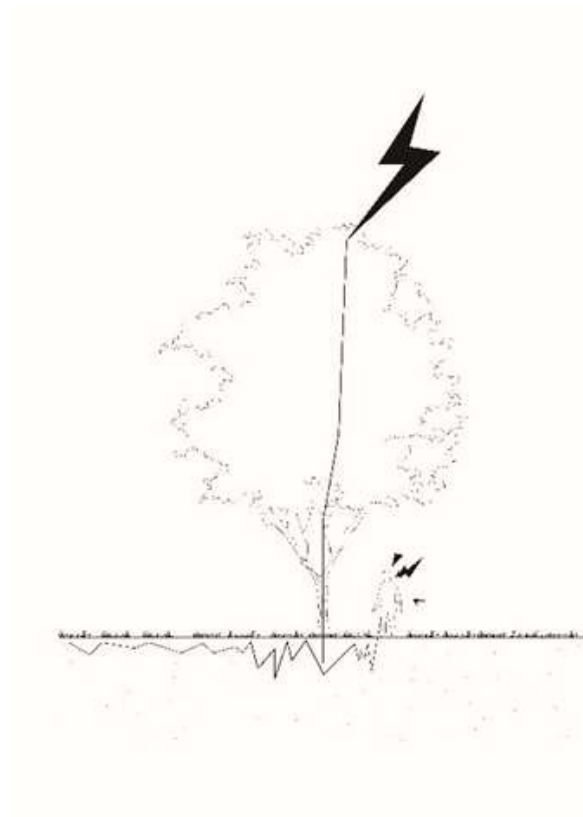


圖 5-9、地面電流。

當一棵未受保護的樹被閃電擊中，閃電會沿著樹幹通行一段距離後離開樹木。過程中，樹內的水會瞬間蒸發，受雷擊導致養份和水分運輸的中斷，樹木可能已傷害到維管束系統、逆境增加、啟動無效率的防禦機制。未來可能使樹木「樹身洞開」，容易遭受蛀蟲、產生腐朽及未來結構上的退化。

安裝在樹上的避雷系統可以有效的減少雷擊對樹木產生的風險及傷害。避雷系統提供閃電替代的路徑到地面以保護樹木，原理是建築物上的避雷系統。導體(Conductor)使閃電不會穿透樹木，而從樹頂直接傳到地面上。適當的安裝和維護避雷系統可防止樹木遭受嚴重損害，樹木的系統只會保護樹木，與建築物上的避雷系統無關。



圖 5-10、閃電對樹木的影響。

(二)保護對象

樹木遭受雷擊的機率取決於它的位置和高度。閃電很容易擊中樹群中最高、位在空曠地點的高物。位於公園、高爾夫球場、比大樓高的樹木，或有歷史意義、高經濟價值、其他人潮聚集處的樹木，應考慮安裝避雷系統。

(三)避雷系統

避雷系統一般由銅製的導體構成，由樹木的最高點頂端延伸向下到分枝和樹幹，並連接到土壤中接地系統，提供一條電阻較低的路徑，引導雷擊的電荷。樹木的避雷系統，雖無法規的限制，但正確設計、正確安裝，才能確保避雷裝置發揮效能，避免「有形無效」的施工。

1. 避雷針

在樹木避雷系統的頂端以攔截雷擊。為了避免避雷針以上的分枝或主幹遭受雷擊，所以避雷針的位置安裝得越高越好。需要固定在樹木頂端幹，必須選擇強壯的枝條。

若樹冠的半徑小於 10 米(全樹冠 19 米內)，只需要使用一套避雷針。樹冠半徑大於 10 米需二套避雷針。

2. 導體(銅線)

由一條連接避雷針的銅線，連接主要分枝及主幹。使用符合標準的連接裝置，需固定於木質部(圖九)，連接點之間的距離一般 1 至 2 米將銅線固定在樹上。導體的設定路徑應根據樹木的自然形態而決定，避免將銅線扭彎、打結或叉開。

應注意事項：

- (1).採用 14mm² 以上之銅線。
- (2).安裝導線時，轉折角半徑必須大於 20 公分以上，且不得大於 90 度。
- (3).避雷針導體間的連接，應避免導線連接，若必須連接時，應採用銅焊或銀焊（熱銲劑法），不能僅以螺絲連接。

3. 接地端

接地是避雷系統的最重要的一部份，應預先設計將導體接到地面的位置。如使用接地端接地棒應插入土層 2.5 米，底部鋪設土壤改良劑，接地板厚度 0.6 毫米以上，表面積至少為 0.19 平方公尺。如在乾燥、砂質、或是礫石/岩石類的土壤環境中接地設計需重新估。接地體與建築物的距離不宜小於 1.5 米，接地端應遠離樹基部 3 米以上，最理想位置超出滴水線（樹冠的最外層），為了盡量減少或防止極端電擊導致根部損傷。挖掘地溝時，應避免破壞直徑大於 5 公分的樹根，導體埋入地溝深度最少 20 公分。

接地端有三種基本類型：

- (1)單接地棒，使用長度在 2.4 米(材質須為銅棒或銅包鋼棒)。
- (2)多重接地棒，(通常使用於乾燥、砂質或礫石地區)，需用總長度 4.8 米以上，亦可以以 2 支 2.4 米接地棒並聯使用，2 支接地棒距離應小於 5.5 米。
- (3)水平接地(平板)系統，其厚度應為 0.6mm 以上，銅板的頂部應與地表面有 1.5 公尺以上的距離。

(4)接地電阻應在 10 歐姆以下，接地電阻未達到規定值時，可使用土壤改良劑。



圖 5-11、連接裝置。

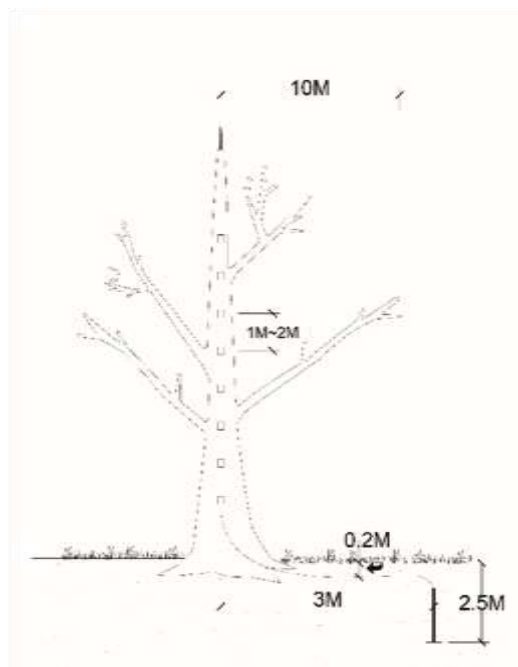


圖 5-12、樹木避雷系統之接地端安裝示意圖。

(四)檢查與維護

與架設纜線及支撐桿相同，避雷系統應定期檢查。當樹枝長高到超越避雷針高度時，導體和避雷針應適當延長。如果導體沒有重新固定，樹可能會長大到包圍覆蓋連接裝置。即使是樹體包覆避雷系統，只要導體無中斷就有避雷功能。定期檢查所有的接頭和連接點（例如，快速生長的樹木每年檢查一次，緩慢生長的樹木每兩到三年檢查一次），以確保系統正常運作。

應檢查項目如下：

- (1) 避雷針是否維持在樹木最高點。
- (2) 固定五金是否有防礙樹木生長。
- (3) 連接器是否有牢固及有無鏽蝕。
- (4) 導體有無斷裂、損傷及鏽蝕。
- (5) 接合導體處有無鏽蝕。
- (6) 接地裝置是否正常。
- (7) 埋設導體有無露出。

樹保高級題庫

第五章、樹木支撐與避雷系統

編者註：以下簡答題為作者提供教師與學員授課參考

簡答題：

1.	請簡述避雷系統運作
答	避雷系統一般由銅製的導體構成，由樹木的最高點頂端延伸向下到分枝和樹幹，並接地到土壤中接地系統，提供一條電阻較低的路徑，引導雷擊的電荷。

樹木保護專業人員教材

【高級】

第六章

移植前準備與評估

曹明利/蔡宜修/李佩蓉

移植復育與支撐

第六章 移植前準備與評估

第一節、前言

樹木常因種植過密、位置不理想、買賣、贈與…而需要進行移植。但不是隨時、隨地、隨便人都可以把樹移活、移好。移植樹木是一門高深的學問。移植前應先了解樹木特性、環境因素、與移植技術。並以適齡之小樹進行移植較易成活。大型樹木尤其是受保護樹木、珍貴老樹以原地保留為原則。如若需要辦理移植，需經過移植評估及移植規劃設計程序。仍需有移植需要時，需提送「移植與保育計畫書」送請地方政府主管機關審查通過後再依計畫執行。

第二節、移植評估(可行性與必要性)

就移植樹木現有棲地環境、枝樹冠面積、樹木結構、樹木健康及定植地點之氣候、土壤、水源水質等因素進行綜合評估，確保樹木本身健康程度適合移植及定植地之生長環境適宜移植，方可行之。

在工程規劃設計階段，應優先進行基地內樹木調查，確認須原地保留之樹木。若無特殊原因，工程規劃設計應以原地保存既有樹木為原則，以樹冠投影面積為保留區域。若設計規劃時，無法迴避所有樹木，應優先保留樹體較大者、樹型優美者，或就基地內尋找可移植之棲地。

符合下列情形之一者，應避免移植：

- 1.經公告指定之特定紀念樹木。
- 2.樹齡達一百年以上。
- 3.離地一點三公尺處（以下簡稱胸高），闊葉樹之樹幹胸高直徑達一點五公尺以上或胸高樹圍達四點七公尺以上；針葉樹之樹幹胸高直徑達零點七五公尺以上或胸高樹圍達二點四公尺以上。
- 4.樹冠投影面積達四百平方公尺以上。

5.珍貴稀有或具地方特色、特殊景觀，或具生態、生物、地理、文化或區域人文歷史之代表性。

6.經直轄市、縣（市）主管機關認定並公告者，為受保護樹木。（達公告標準未掛牌列管者亦為受保護樹木。）

經審慎評估再辦理樹木之移植：

1.需移植之樹木，應優先考慮於基地境內移植，或緊鄰基地之土地，以避免樹木搬運過程之傷害，並增加不必要的花費。申請移植前應進行適切性評估。

2.經評估 a.沒有原地保留之替代方案且確實需要移植、b.樹木本身健康度經得起移植、c.定植點環境適合移植且土地所有權人願意接受並繼續保護樹木、d.移植路線沒有障礙、e.移植技術沒有困難、f.移植經費足夠。且應提送「移植與復育計畫書」向地方政府主管機關申請移植，經審核通過後始得為之。

(一)相關法令

1.森林法

第五章之一樹木保護第 38-3 條

土地開發利用範圍內，有經公告之受保護樹木，應以原地保留為原則；非經地方主管機關許可，不得任意砍伐、移植、修剪或以其他方式破壞，並應維護其良好生長環境。

前項開發利用者須移植經公告之受保護樹木，應檢附移植及復育計畫，提送地方主管機關審查許可後，始得施工。

前項之計畫內容、申請、審核程序等事項之辦法，及樹冠面積計算方式、樹木修剪與移植、移植樹穴、病蟲害防治用藥、健檢養護或其他生長環境管理等施工規則，由中央主管機關定之。地方政府得依當地環境，訂定執行規範。

第五章之一樹木保護第 38-4 條

地方主管機關受理受保護樹木移植之申請案件後，開發利用者應舉行公開說明會，徵詢各界意見，有關機關（構）或當地居民，得於公開說明會後十五日

內以書面向開發利用單位提出意見，並副知主管機關。

地方主管機關於開發利用者之公開說明會後應舉行公聽會，並將公聽會之日期及地點，登載於新聞紙及專屬網頁，或以其他適當方法廣泛周知，任何民眾得提供意見供地方主管機關參採；其經地方主管機關許可並移植之受保護樹木，地方主管機關應列冊追蹤管理，並於專屬網頁定期更新公告其現況。

第五章之一樹木保護第 38-5 條

受保護樹木經地方主管機關審議許可移植者，地方主管機關應命開發利用者提供土地或資金供主管機關補植，以為生態環境之補償。

前項生態補償之土地區位選擇、樹木種類品質、生態功能評定、生長環境管理或補償資金等相關辦法，由地方主管機關定之。

2.各地方政府樹木保護自治條例中樹木移植相關規定(詳參各縣市相關規定)。

(二)必要性

移植樹木仍會有移植失敗的機會，不當的移植更可能導致樹木枯死，尤其大型樹木移植困難度更高。如非必要，原地保留最好。當樹木有移植之需求時，需先評估有無可以原地保留之替代方案。例如開發建設避開樹木，讓樹木保留充足的生長空間，或就基地內辦理區內移植。然而在時空環境不允許該樹木續存於現有棲地，則必須先行評估其移植的必要性。評估必要性的內容如下：

1.樹木基本資料：

包含受保護樹木之種類、樹胸徑、樹高、樹冠面積、樹木結構、樹木健康、及現有棲地之氣候、土壤、水源水質等綜合評估，以掌握樹木移植前的詳細資料。

2.工程開發：



圖 6-1、樹木棲地調查與評估。



圖 6-2、樹木健康與結構調查評估。



圖 6-3、樹木棲地環境調查。

因房屋建築、道路開發、興建機場、捷運開發、鐵路地下化、興建地下停車場…等原因而需要進行樹木移植時，應先考慮有無原地保留之替代方案，與基地內有無適當空間辦理移植，或鄰近區域可供移植地的評估。

(三)可行性



圖 6-4、樹木根系與設施結構物評估。



圖 6-5、樹木移植及棲地評估。



圖 6-6、建築工程設施避讓或工法替代評估。



圖 6-7、保護樹木應優先考慮就地保護與維護。

移植樹木評估除須有「必要性」之外，還要有「可行性」。也就是要有成功移植健康存活的十足把握。首先是樹木健康狀態要經得起移植工程過程中對樹體的傷害，其次要有理想適合樹木生存的新空間，且移植路徑沒有障礙才有考慮之機會。

再而要有完善的計畫、充足的經費、精湛的技術、有經驗的團隊，可以將樹木健康美麗的由現棲地移植到定植點，並繼續健康存活。

1.樹木健康狀況

樹木移植並非易事，移植工程在修剪挖掘必然受到損傷，不健康的樹木無法承受移植過程中的損傷。因此須先了解樹木特性並評估樹木健康狀態。

A.樹木調查與量測：

- (1) 辨別樹木種類
- (2) 了解樹木特性
- (3) 量測樹木高度、樹冠寬幅、胸高直徑與胸圍。
- (4) 生育地環境調查

(5) 樹木整體評估：樹木活力、樹形、葉色、地質環境、偏向傾斜、棲地地勢、受風情況、降雨量…。

B.樹木健康檢查：

- (1) 樹型:整體樹型、活冠比、樹冠枝葉、樹幹分枝、樹木基盤。

(2) 樹勢:樹木活力評估、有無病蟲害、有無不正常的型態、有無枯腐枝、腐朽樹洞、裸露木質部、缺損的樹皮。根領是否明顯、有無浮根、板根、根系分布及有無受損。

(3) 現場目視評估(VTA):根部評估、枝幹評估、樹冠評估。

樹木健康評估包括樹木的外觀、結構及生長活力。在進行樹木健檢時，我們常藉由樹木的病徵及病兆來確定樹木是否罹病並找出病因。如發現移植前之受保護樹木與其相鄰樹木或移植預定地已感染或存在重大疫病蟲害，應立即由樹木保護專業人員進行評估及建議，並採取適當處理措施。

2.樹木現棲地環境

評估樹木原生地氣候與環境調查，包含雨量、日照、土壤質地、排水、強風、妨礙生長之結構物(如鋪面、牆基、溝渠…)、植生覆蓋等。

A.雨量:依據生態氣候圖或中央氣象局設置於當地附近氣象觀測站數據參考。

B.日照:依現地氣象資料調查、方位及有無遮蔽物…等情形推估。

C.土壤質地:觀察記錄樹木現棲地土壤環境及採樣檢測，如土壤物理性、化學性及 pH 值檢測，土壤土層與質地。

D.坡度排水:觀察地形及根系發展及實地量測坡向坡度。

E.季節風:風向、頻率及強度。

F.根球完整性:評估根球周邊土壤性質、根系生長方向、有無障礙物影響根系分布情形。



圖 6-8 受保護樹木現況生育情況調查。

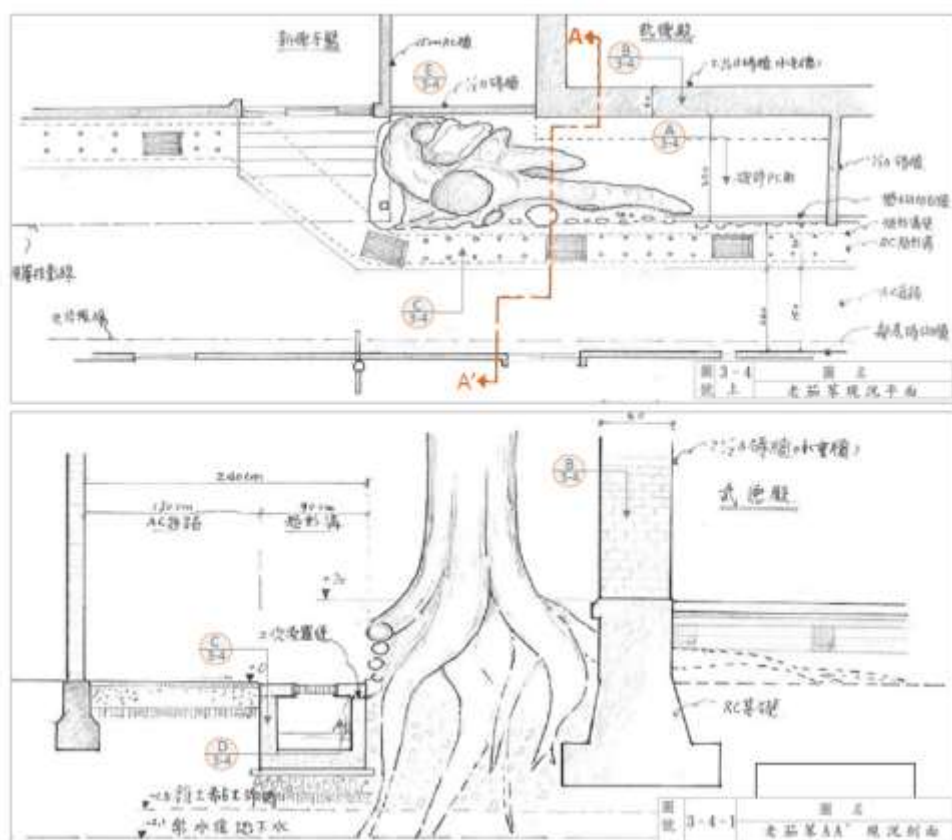


圖 6-9、受保護樹木地上部及周邊測繪調查資料。



圖 6-10、觀察樹冠分布情形。



圖 6-11、觀察樹根領是否明顯。



圖 6-12、觀察樹幹生長情形。



圖 6-13、觀察樹根分布情形。

樹種名稱。	榕樹。		地理位置：浩然敬老院。	
樹高(m):8。	樹冠直徑(m):7。	胸高直徑(cm):63。	胸高周長(cm):201。	
外觀診斷。	1.樹皮缺陷(☐ 有 ☒ 無)。	缺陷位置: ☐ 根領 ☐ 主幹 ☐ 骨架粗枝。		
	2.腐朽(☐ 有 ☒ 無)。	缺陷位置: ☐ 根領 ☐ 主幹 ☐ 骨架粗枝。		
	3.空洞(☐ 有 ☒ 無)。	缺陷位置: ☐ 根領 ☐ 主幹 ☐ 骨架粗枝。		
	4.主幹有無傾斜(☐ 有 ☒ 無)。	缺陷位置: ☐ 根領 ☐ 主幹 ☐ 骨架粗枝。		
真種子實體。	☐ 有 ☒ 無。	☐ 根領 ☐ 主幹 ☐ 骨架粗枝。	←良.....劣→	
活力度。	樹勢(枝葉伸展量、樹梢枯損、樹枝枯損、樹葉密度、樹葉大小、葉色等)。		☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5。	
	樹形(主幹、主結構粗枝、枝條等的枯損及損傷、樹枝密度與配置等)。		☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5。	
樹木結構安全診斷。	盤根、內生樹皮、V字夾角、筍芽枝、枝條相連、根部腐朽、嚴重腐朽等。		☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5。	
不良枝。	懸枯高枝、垂不定枝、 ☐ 萌蘗枝、 ☐ 平行枝、 ☐ 垂斷裂折枝、 ☐ 下垂枝、 ☐ 內生枝、 ☐ 其它。			
其他備註(等級分類)。	該樹生長勢樹尚可，枝葉茂密，內生枝多。 (樹木分級:3級)。			
☐ 東面 ☐ 西面 ☐ 南面 ☐ 北面。		樹木細節照片。		

圖 6-14、樹木現場目視評估表填寫範例

3.定植點環境條件評估

A.氣候條件:現棲地環境與定植點之氣候差異(日照質量、風向風量、氣溫差異、雨季雨量、空氣溼度)。

B.生育空間:樹木生長發育所需要的空間。包含地上部與地下部的生育空間。

(1)地上部生育空間:樹幹以上枝葉花果的生長空間及通風日照情形。

(2)地下部根系發展所需要的生長空間及土壤保水、排水、營養情形。

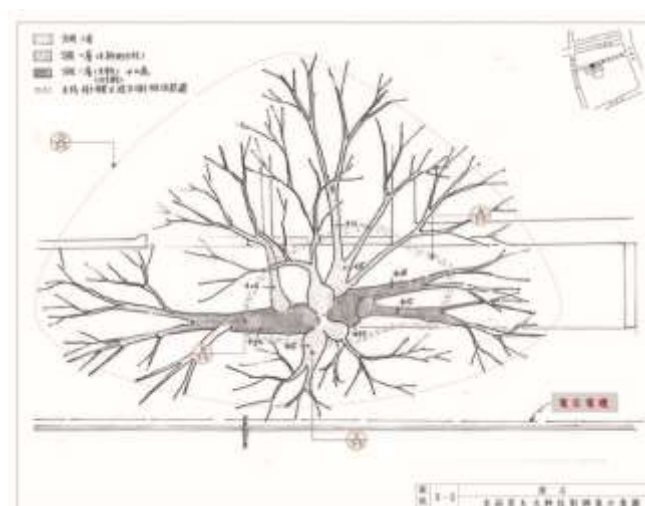


圖 6-15、受保護樹木現況主次幹投影調查圖。



圖 6-16、受保護樹木基地內遷移地點選址評估。

(3)運輸路線:現棲地與定植點之間的距離、載運路線與路幅寬度、吊運方式，有無天橋、電線、牌樓、隧道、地下道、立體交叉等障礙物影響吊運。

4.移植後存活率評估

A.施作季節:是否在移植適期進行相關移植作業，在非適宜季節時間進行移植施作的策略評估。

B.施作方式:修剪、斷根、養根、挖掘、吊運、移植、支撐、養護…方式，以對樹木生長最有利，最友善的施作方式及最能提高移植成活率。

C.施作團隊:豐富的施作經驗、充分的準備、適當的機具車輛、熟練技術的施工人員。

第三節、 移植前的準備

(一)移植計畫：

受保護樹移植，需先撰寫「移植與復育計畫書」送請地方政府主管機關經專家審核通過後，依計畫書記載之施工方式與步驟確實執行，以利移植成功及移植後樹木養護與健康成活。

移植計畫內容包含：

- 1.樹木現況調查與量測。
- 2.樹木棲地情況。
- 3.必須移植之原因。
- 4.基地開發建設計畫(計畫簡介、平面圖、立面圖、開挖範圍)。
- 5.定植點環境調查(空間大小、土質、排水與保水、日照、風)。
- 6.移植路線與吊運方式。
- 7.樹穴整備(土壤改良、施肥、排水、透氣)。
- 8.施工步驟(修剪、斷根、養根、挖掘、吊運、移植、支撐)。
- 9.移植後養護(灌溉、除草、施肥、病蟲害防治、支撐架檢查)。

10.預定進度。

11.預算經費。

12.施工團隊。



圖 6-17、樹木棲地調查與評估。



圖 6-18、受保護樹木移植計畫說明會。

(二)移植適期

樹木依其分類有針葉樹、闊葉樹、常綠樹、落葉樹，每種樹木都有獨特的個性，也有其專屬的生長旺期、修剪適期、移植適期。樹木移植最好要在植適期來施作對樹木移植最為有利。一般樹木移植之最佳時機為春天。但經過評估後仍需在非移植適期辦理移植，則須評估最佳移植工法及養護方法。

一般而言針葉樹、落葉樹於早春(1-3 月)，樹木生長停滯之時，樹液開始流動之前為移植適期。闊葉樹於晚春(3-4 月)樹木儲備能量充足準備發芽生長之時，樹液開始流動初期為移植適期。

春天移植的好處在於氣候清涼、雨水充足(春雨、清明雨、梅雨)，涼爽的氣溫加上充足的雨水，且樹木的根系處於快速萌發伸展狀態相對有利樹木生長，最適合樹木移植後的滋長。

夏天(6-9 月)不適合移植的原因，在於氣溫過熱，水分散發速度極快，灌溉補水不易，又有颱風、午後雷陣雨、冰雹等極端氣候，為顧及生育條件不適因此不宜輕易移植。

若無法於移植適期進行移植之各種工項，則須有其他促進樹木成活之補償性方法，(例如利用空氣盆養根法加速細根生成縮短養根時間、利用蒸散抑制劑減少水分蒸散、移植過程加強防曬與保濕、定期定量自動灌溉與噴霧保濕設施、完善的養護管理方式……等)以確保樹木移植後繼續成活與健康。

第四節、移植前作業

(一)移植前修剪

植前樹木修剪首先要清理樹冠，剪除樹冠內部枯腐、老化、病蟲、衰弱、殘敗折損的枝條。不健康的枝條移植前作一次測底檢查與枝條清理。樹木移植能夠帶走的樹根土球規格有限，剛移植的根球吸收水分的能力也打折扣，為了水分的供需均衡，所以枝葉要進行補償修剪。

然而樹葉為樹木進行光合作用的生產工廠，修剪太多會影響樹木的營養生產與養分的儲存。修剪太粗的枝條(截剪)枝幹上會產生多枝不定芽的雞爪狀細弱簇生枝。因此必須控制移植前枝葉的修剪量，以不超過枝葉總量 25~35% 為宜。

移植前修剪目的與原則：

1. 為了提高植栽移植或種植的成活率，應於植栽移植作業時，考量植栽吊搬裝載運送的動線空間之需求、或為減少植栽水分蒸散量，進行植栽「補償修剪」作業，修剪首先須運用「不良枝判定修剪法」之後，再實施「疏刪」、「短截」修剪，將各部枝條的老葉摘除，末梢則應留有小枝及枝葉，不可修剪過度造成僅有粗大枝條的「裸幹」狀態，如有新生嫩芽呈現萎凋時亦應即時摘除，若遇有開花或結果時，其花與果應經評估後是否剪除。



圖 6-19、移植前斷根階段修剪作業。

2.修剪幅度以不超過樹冠之 25~35%為原則，並應保持該樹種良好之樹型，如樹木因病蟲害、斷根期程短及公共安全等因素，需加強修剪幅度時，應會同專家學者辦理現勘並確認有其必要性，才可提高修剪幅度。

3.配合原樹型並於斷根前作適當整枝修剪，剪去過密之枝條、病蟲害枝、衰弱之下垂枝、折裂枝、徒長枝及主幹 2 公尺以下之枝條。

4.修剪方法

枝條直徑 6 公分以上者，為粗枝，使用三刀修剪法；如為細小枝條，無造成樹皮撕扯疑慮者，可採用一刀法修剪自脊線到領環外移一公分下刀的修剪方式。修剪時修剪位置應剪至枝領，並且修剪過程應確保切口平整，避免造成撕裂傷造成日後成為腐朽菌入侵之傷口。

植栽修剪作業之作業動線、作業區域之空間範圍，應適時進行局部或全部的定期性或臨時性的工地安全防護預作準備作業，若因工程樹木為行道樹鄰近道路，在進行修剪作業時將以交通錐圍出工作範圍，且以交通維護車在工作範圍後警戒，並派遣人員指揮現場車流及交通動線。

進行修剪作業前，應派員檢查施工人員之安全防護措施，確保個人施工安全防護裝備的確實穿戴：如安全帽、護目鏡、工作服、反光背心、工作用手套、工作鞋、安全背帶、工具佩掛腰帶袋具等。

5.標樹型修剪

進行剪枝時，以使樹形完整、均衡、穩定、美觀等目標進行，避免破壞樹形之粗魯截剪。但基於運輸的可行性考慮，以樹冠保留的最大範圍為限。以下簡述「目標樹型修剪」與其作業方法：

(1)提高移植木存活率進行「補償修剪」

植栽進行移植作業時，由於在挖掘苗木時，必須切斷了植栽的主根、側根及許多其他次生根...等，也因此會造成樹體短暫性的缺乏水分輸送及營養供應機能的平衡失調。在受保護樹木進行斷根作業時，應立即進行「補償修剪」使樹體的

地上及地下兩處樹體部份能保持相對的「吸水速率與蒸散速率的平衡」，來提高移植作業的成活率。保護樹木進行的「補償修剪」主要從判定為「不良枝」著手處理，包含樹冠清理之枯、老、病、弱、殘枝修除，其次生長不良的包括徒長枝、交叉枝、平行枝、病蟲害枝、分蘖枝、逆行枝等一併處理。採用疏剪方式，可將內生枝與不合樹形的枝條除去。

(2)配合定植地整體景觀目的之「理想樹形」與運送目的之「可行樹型」

須配合定植點環境、空間、與整體景觀需求進行「理想樹形」修剪。且樹木移植須經過吊搬運送等移動運輸作業程序，避免移植運送過程中樹木受損或再度修剪使其外觀受損，影響生長美觀而進行「可行樹型」修剪。

(3)減少樹冠過密進行「疏刪修剪」

「疏刪修剪」來保持樹體的營養均衡，減少耗費樹體過多的養份，並使樹冠內部的透光、通風良好、避免病蟲害的滋生與寄宿。

(4)修剪枝幹切口處理:

一般正確修剪後的傷口，因植物的形成層細胞會在傷口周圍產生更多新生的傷口癒合組織，將傷口包覆；而新形成的樹皮將保護內部，避免遭受外來的病菌感染。而藥劑的塗佈，目前使用消毒藥劑拌合石灰或樹脂，攪拌均勻後塗佈在傷口部位形成保護層來隔絕降低外界感染因子。

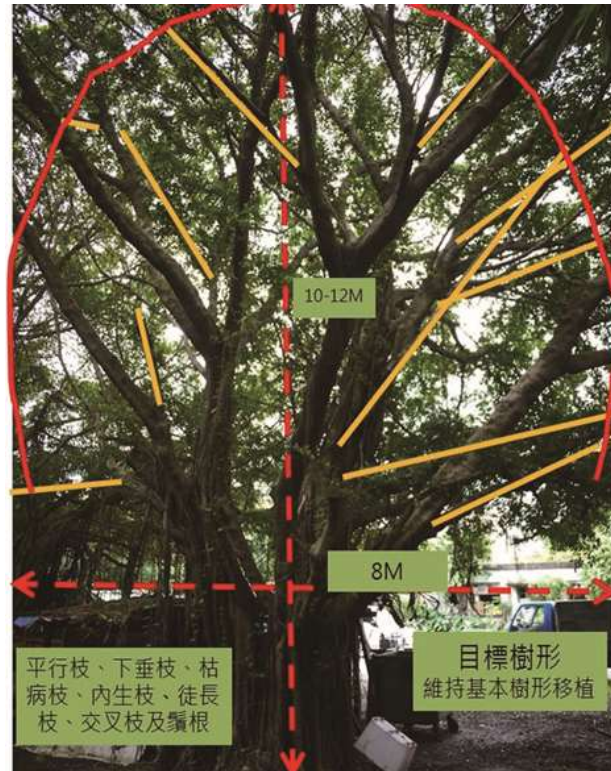


圖 6-20、大型榕樹移植修剪示意圖

(二)斷根(工法與材料、支撐)

一般而言，樹冠有多大樹根就有多廣。而樹木的根系由內向外分別為位於主幹下方的主根、向外擴張的側根。粗根有儲存養分、固定土壤、與支撐樹木的作用。細根有吸收水分、抓住土壤、吸收養分的功能。

樹木移植經過挖掘後能夠帶走的根系不多，如不特別處理，隨著樹木移植挖掘而散落，可帶走的細根更少。這樣一來根系吸收能力受限，影響樹木移植甚鉅。因此，大型樹木移植前必須進行斷根。以促進根球表面長出足量細根。來幫助新移植的樹木吸收水分和養分的能力。

移植前樹木斷根需先計算要保留多大的根球，一般大型樹木移植以樹幹基部直徑的 3-5 倍為根球直徑。一般樹木斷根僅斷側根，不斷主根(底根)。以保留樹木尚有主根(底根)可以吸收水分，維持生命。

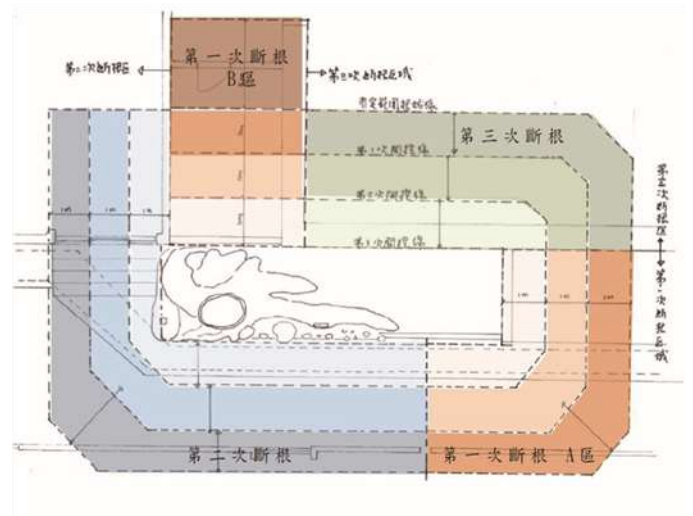


圖 6-21、大型榕樹移植修剪示意圖。 圖 6-22、受保護樹木移植斷根規劃。

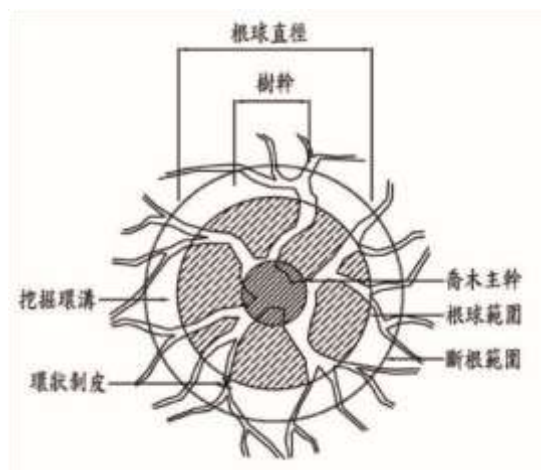


圖 6-23、斷根作業與土球規格。

斷根作業、斷根挖掘範圍及根團保護措施

1. 根球直徑：

為確保移植後樹木生機復原良好，盡量保持較大根球為佳，但常因運輸工具可承載的極限及都市地區運輸的可行性考量而縮減斷根之規格。



6-24、斷根範圍及挖溝示意圖。

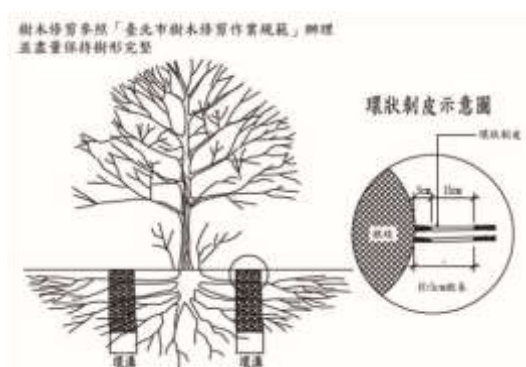


圖 6-25、環溝與環狀剝皮示意圖。

2. 斷根作業：

斷根之方式有一次環斷法(根球四周一次全部斷根完畢)，及二階段分區斷根法(於預留根球的外框圓周等分為 4、6、8 等份並做連續編號，分二階段進行斷根，第一次斷根奇數區部位，第二次斷根偶數區部位。

斷根時將預留根球的範圍標示於樹木基盤上，清除範圍內雜物及地表土壤後，依樹幹為軸心，依預留根球範圍標示線往外剝出 30cm 以上寬度，深度 30-120cm 環溝，2cm

以重機械挖土機協助挖掘時，可先由機具先行挖鬆作業環溝後，再由人力進行修整土球、切剪根系…等方式，逐一將根球挖掘成型。

為保持樹木直立的支持拉力，可保留四個方位或至少於南北方向之主要粗根各一，及根球底部向下之主根，以維持穩定免受風倒伏。凡切口務必平整俐落，破碎切口需都重新剪切平順。保留未斷的側根應進行環狀剝皮以促進發根。斷根範圍依移植計畫挖掘根球之大小而定。



圖 6-26、土球斷根作業(放樣及斷根挖掘)。

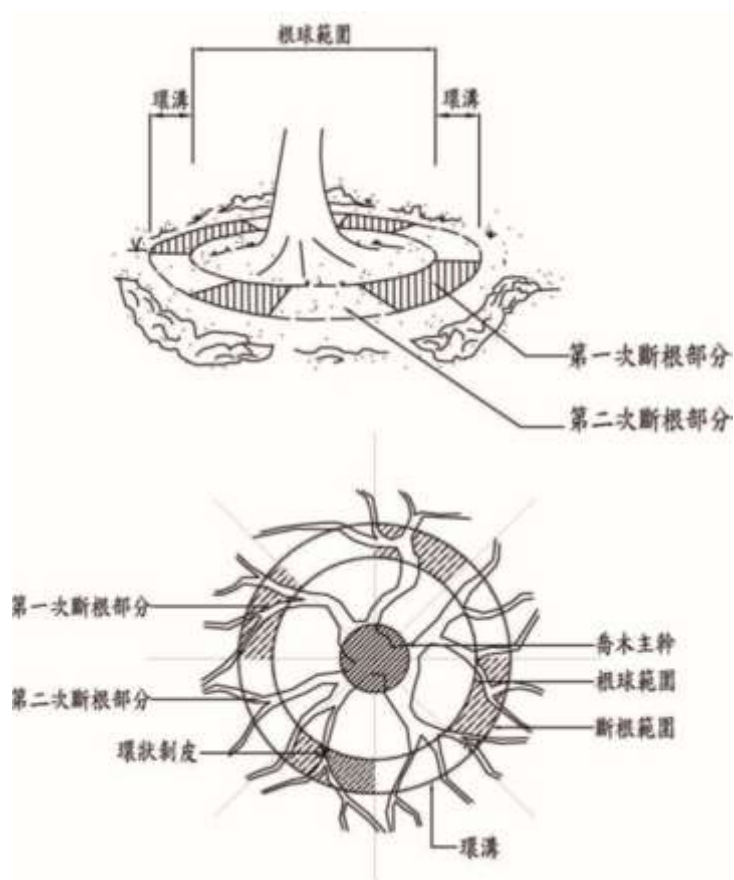


圖 6-27、二次斷根操作示意圖。



圖 6-28、斷根挖掘作業。

3.斷根切口處理：

根端切削處理後，其切口過大部位以「消毒藥劑調和石灰或樹脂塗料」，即「三泰芬 5%」稀釋 500 倍水溶液混合石灰或樹脂調勻後塗佈。

4.地表根系包覆石塊的斷根處理方式：

斷根後，於根系包覆石塊這一側挖除石塊後，埋入預防樹木開挖時再度傷及新根之保護措施，並回填拌合營養介質之鬆軟沃土促進生根。



圖 6-29、斷根消毒及殺菌作業



圖 6-30、斷根環刻處理(二次性斷根)。



圖 6-31、土球斷根及環刻處理(一次性斷根案例參考)。



圖 6-32、斷根回填及土球處理(案例參考)。



圖 6-33、斷根回填養根材料。

斷根後回填肥沃壤土，以利新根養成。每次斷根後以等待 2-3 個月做為養根期，待兩次斷根及兩階段的養根期之後，再進行移植的挖掘與種植。

斷根後根球四周會長出新根，有些材料(例如工業用保鮮膜、不織布、導根板、遮光網…)可以保護新長出的細根。並避免或減少於移植挖掘時細根受損。



圖 6-34、斷根土球發展判斷處理(案例參考)。

(三)養根(工法與材料)

1.傳統養根方式

在斷根後回填肥沃壤土，以利新根養成。每次斷根後等待 2-3 個月做為養根

期，待兩次斷根及兩階段的養根期之後，經評估養根成果後再進行移植的挖掘與種植。

2. 養根及護根資材

用以保護根球並且可以促進細根快速生長，是養根利器。施作方式為：

- A. 以養根護根資材包覆於根球外側並以鋼筋或鋼管插入於根球外側使養根護根資材與根球保持 10 公分之距離並於此 10 公分之間隙內填滿肥沃壤土。
- B. 斷根後的作業溝不回填土壤。
- C. 斷根後的樹木須做支撐。
- D. 斷根後養根期需經常灌溉或做定時滴灌以保持根球濕潤。

在這種情況下根球有充足的水分及肥沃壤土的養分滋養下就會滋生新根。在養根護根資材保護下，新根導向外凸的小孔洞生長，細根長到孔洞之處遇到空氣，細根遇空氣因缺水分並受光線破壞而乾枯縮回，縮回後產生分生組織，細根分生後在有水分及養分滋養更為茁壯。如此不斷滋長、引到孔洞、乾枯縮回、分生滋長。這樣良性循環之下，新生細根產生的速度與數量勝過其他配套的養根方式。

以此法進行養根作業可加速新根生成速度與數量，唯移植開挖前須檢視新根生成比例與密度，新根數量決定移植成活，必須謹慎。



圖 6-35、受保護樹木斷根後支撐作業。



圖 6-36、檢視判斷土球根系狀態。

(四)可移植樹況判斷

斷根養根之後可以局部開挖或拆開根球保護材料，檢視細根生長情形，若根球外圍細根生長旺盛，則移植成活率必能增高。



圖 6-37、檢視養根後細根生長狀況。



圖 6-38、移植前土球準備與保護。

(五)植穴整備

樹木定植地點須先做土壤檢查，包括 1.酸鹼度 2.導電度 3.土壤顆粒分析 4.有機質含量分析。如有不適合種植樹木之情形，應盡速進行栽植地土質改良。

植穴土壤改良，首先撿除植穴挖出之磚瓦石塊與垃圾，拌入 5-10%之有機肥料或泥炭土(若土壤偏鹼性，使用泥炭土可以酸鹼中和)。若土壤質地偏黏或偏砂，可以更換或拌合客土的方式來改良基盤。

植穴排水為左右樹木成活的重要關鍵，因此，定植點須先挖洞進行排水測試。若排水不佳，須設法改善土質以利排水。若因為地形無法改善排水，則需考慮另尋其他定植地點。也可於較低處埋設集水陰井，並自樹穴旁挖溝引管將樹穴積水排至集水陰井，再設法排出，以免積水。或以堆高種植法種植，以免樹木因積水而致死。

第五節、 移植前樹木目視評估診斷 (VTA)

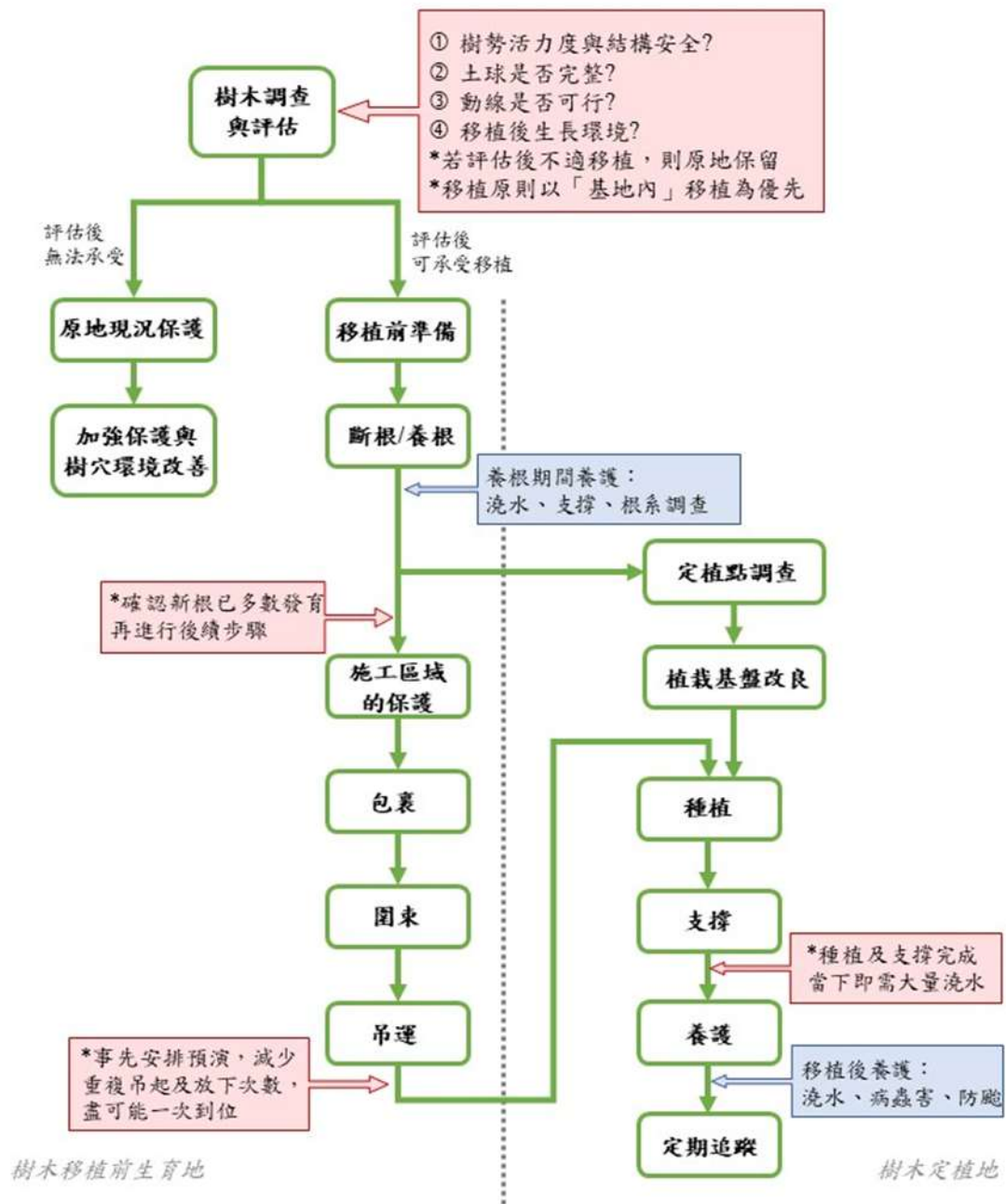
基地內受保護樹木需決定現地保留或移植至基地其他位置時，應先評估其健康狀況是否適合長期生存或能耐受移植過程，其評估方法一般會以樹木目視評估法(Visual Tree Assessment, VTA)進行。VTA 法係由德國學者 Claus Mattheck

提出，由生物學與力學兩面判斷樹木健康度與樹體力學結構強健程度，藉由不同之檢查項目判斷樹木之樹勢、缺陷症狀與風倒安全性，檢測出有問題之樹木，並可建議進一步進行精密儀器檢測，藉以評估是否適合移植之重要依據。

移植前，應對基地內現有樹木進行位置點測量，並進行樹木調查與評估後建立紀錄表。調查與評估項目包含：

表 6-1、樹木調查與評估項目表

調查項目	調查內容
樹木基本資料	樹木編號、樹種鑑定、樹木規格（樹高、樹寬、米徑）、現況照片等。
外觀診斷 活力度診斷及 判定	樹皮枯死、受損、腐朽診斷 深達樹心開口空洞診斷 未達樹心開口空洞診斷 菌菇類診斷 木槌敲診（異常音）診斷 分歧部及底部的異常診斷 幹生枝枯萎等病狀診斷 蟲洞、蟲糞診斷 鋼棒貫入異常診斷 不自然傾斜診斷 根領診斷 樹枝伸展量、樹梢枯損、樹枝枯損、樹葉密度、樹葉大小、葉色等。



受保護樹移植流程圖

圖 6-39、受保護樹移植流程圖圖。



圖 6-40、未達樹心的開空洞診斷。



圖 6-41、鋼棒貫入異常診斷。

第六節、樹木地下部評估項目與資料建立

(一)根系生育地土壤質地分析

樹木移植工程前，應就樹木原生育地之土壤質地進行檢測。

土壤質地與含礫石百分比與移植時根球之完整性有密切相關。砂質 (Sand) 或石礫含量較高之土壤組成之根球，排水性佳、斷根後容易發根，但因結構較鬆散，容易於吊運過程崩解；反之，若土壤質地黏粒 (Clay) 含量較高，排水不易，但結構較易成團，吊運過程中較能保持根球完整性。



圖 6-42、砂質（Sand）或石礫含量較高之土壤組成之根球，排水性佳、斷根後容易發根，但因結構較鬆散，容易於吊運過程崩解。



圖 6-43、若土壤質地黏粒（Clay）含量較高，結構較易成團，吊運過程中較能保持根球完整性。

(二)根系調查

根系調查應以盡可能對根系傷害最小方式進行，例如以導根挖掘設備（Air Spade Excavation）或水刀等方式。

1.根系調查範圍

若損失 $1/2 \sim 1/3$ 根系基盤量，則樹木恐有枯萎之風險，故根系調查範圍建議不超過根系基盤之 $1/4$ 為佳，空氣挖掘之範圍應以根系分布末端之深度與長度為主。

2.根系分布調查

移植前需先了解樹木根系生長範圍，並預估應挖掘之根球尺寸大小。樹木根系生長範圍因樹種不同，或因土壤質地、土壤硬度、石礫含量、地下水位等生育

地條件而有所差異。

以榕樹為例，榕樹為常綠闊葉喬木，通常分布於亞熱帶至熱帶南部，屬易移植的樹種，對於生育地環境的惡劣條件耐受力較強，其根系型態屬氣根發達的水平根系，故常常可見分布極廣的根系範圍，然而榕樹根系不易向下生長，故普遍認為榕樹屬淺根系樹種。

一般而言，生長勢最佳、具吸收功能的吸收根（Absorbing roots）多位於地表下方 15 至 25 公分處，很少根系能深達地表下 1 公尺以下的範圍。土壤過硬、石礫大小在土壤中的分布、地下水位過高等因素，皆會影響樹木根系生長分布範圍，根系會尋找最適合生長的土壤環境，讓根系舒展



圖 6-44、觀察樹根生長情形。



圖 6-45、根系分布全景範例。

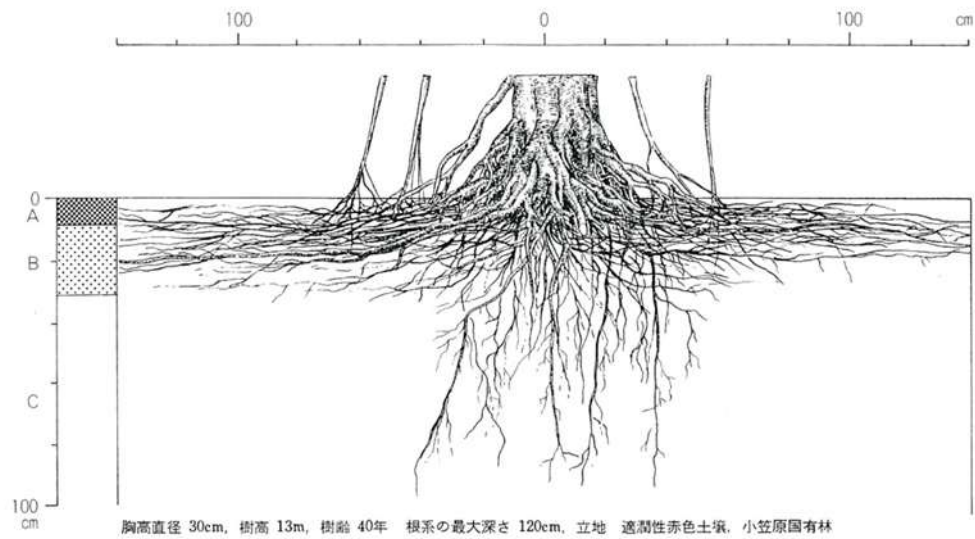


圖 6-46、榕樹根系分布圖（荻住昇，1979）由此圖可知，榕樹根系約 70%皆分布於土表下 0~40cm 左右之深度，屬淺根系樹種。



圖 6-47、根系調查範圍打網格範例。



圖 6-48、土壤過硬、石礫過多的環境，根系分布範圍較小，更讓根系產生轉彎生長的現象開來。

(三)根系生育地地下水位與排水環境

臺灣地質特性特殊，常因河溪流域或其他因素影響造成地下水位過高，地下水位亦經常影響樹木根系分布之深度，若地下水位過高，會影響根系分布在地表下較淺的區域；移植時，若地下水位過高，根球底部土壤吸水飽和，與根球上部土壤重量不均，吊運過程中易造成根球土壤崩裂、進而造成根球根系損傷，影響樹木移植之存活率。故包裹方式應以網紮間隔縮小為原則，並搭配多點吊運的方式以維護土球之完整，防止土球崩解。



圖 6-49、若地下水位過高，根球底部土壤吸水飽和，與根球上部土壤重量不均，吊運過程中易造成根球土壤崩裂。

(四)根基部腐朽菌之危害檢測

近年來受保護樹木受木材腐朽菌危害，尤以褐根病侵襲情況日益嚴重，建議受保護樹木移植前應進行褐根病檢測，確認樹木是否感染褐根病，以利後續救治或其他規劃。常見之褐根病檢測方式為褐根病偵測犬與採樣送實驗室檢驗。

一般植株罹患褐根病時樹勢衰退，葉片變色，提早落葉，終致整株枯死，有時亦有立即枯死者，被害根部表面覆有褐色菌絲塊及土粒，剖開時木材白色腐朽，生長有褐色網紋狀菌絲束。大小植株皆可被感染。

編號	照片	檢測結果	備註
01		需再進行確認	有斷生孢子，菌落型態相似，但植株上並無發現褐根病病徵

斷生孢子



刷毛狀構造



圖 6-50、褐根病採樣送實驗室檢驗範例。

第七節、 精密儀器檢測

受保護樹木移植前，可針對目視評估診斷（VTA）結果中具有腐朽空洞的部位進行進一步精密儀器檢測，常見的檢測方式介紹如下。

（一）鑽孔阻抗儀

（Resistance recording drill）

鑽孔阻抗儀係用小直徑的鏟形鑽頭鑽到樹體中，當鑽頭鑽入木材時，將穿透阻力以曲線圖的方式記錄（樹木風險評估手冊，2017）。



圖 6-51、鑽孔阻抗儀操作與記錄範例（樹木風險評估手冊，2017）。

(二)應力波（Sonic assessment）

應力波係由木材發送音波（應力），並測量聲波從發送點行進到接收點的時間。可使用許多點之間的測量，來建立二維或三維的斷層圖像。斷層掃描(Tomography)的解析度取決於樹上所使用感應器的數量。

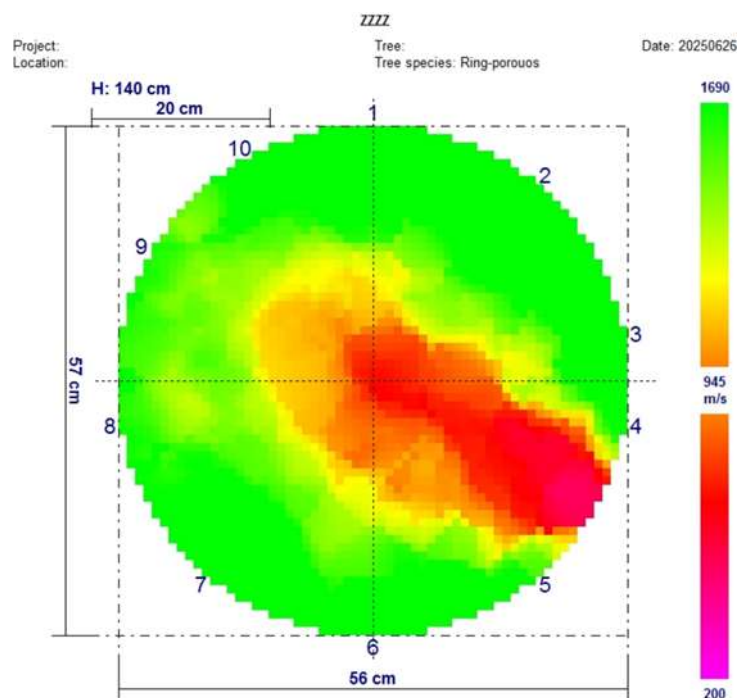


圖 6-52、應力波檢測操作與記錄範例。

第八節、 定植點環境調查

定植點的環境、微氣候環境、排水與透水率、土壤含水量及土壤硬度，與定植後苗木存活有密切的關係。

(一)微氣候環境調查(包含日照、年均降雨量、溫濕度及慣行風向)

定植前進行定植點之基地微氣候模擬作業，執行數據調查、收集作業。第一種方法是於基地內多處架設簡易微氣候監測儀，取得當地架設期間內之風向、風速、日照、雨量、溫度與濕度等數據，第二種方法是取得基地周遭氣候站之歷史數據資料，模擬分析判斷基地之微氣候狀況（如颱風期間之風速、風向與風量等）。微氣候模擬分析結果，除可了解受保護樹木移植前後可能面臨的微氣候條件差異，亦可供基地其他樹木種植地點或樹種選擇之設計規劃參考。

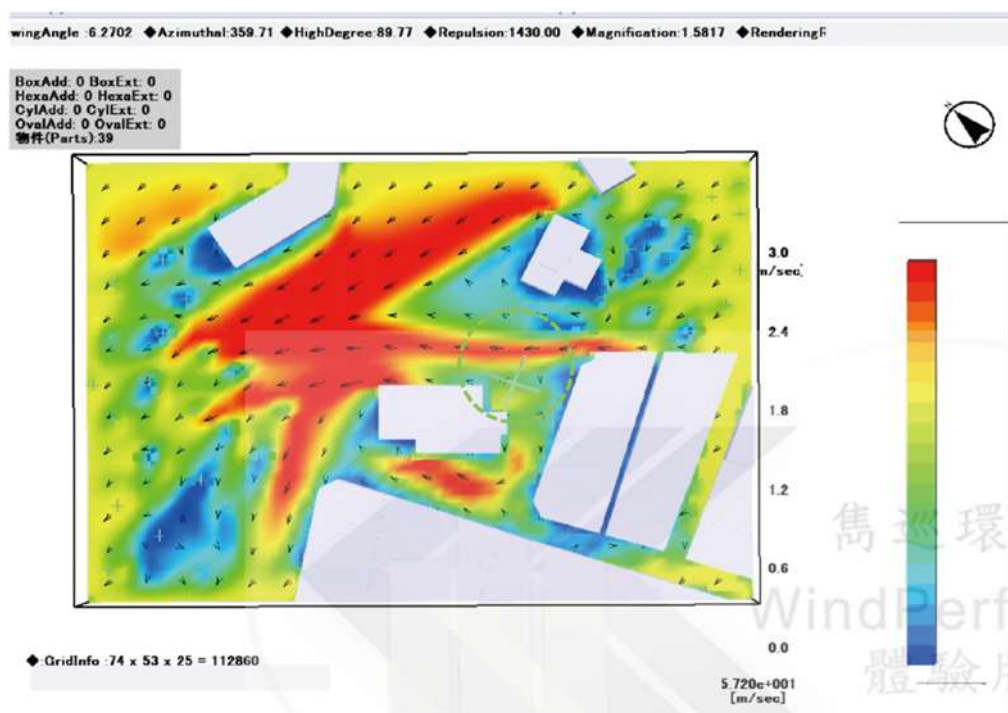


圖 6-53、定植點微氣候模擬範例。

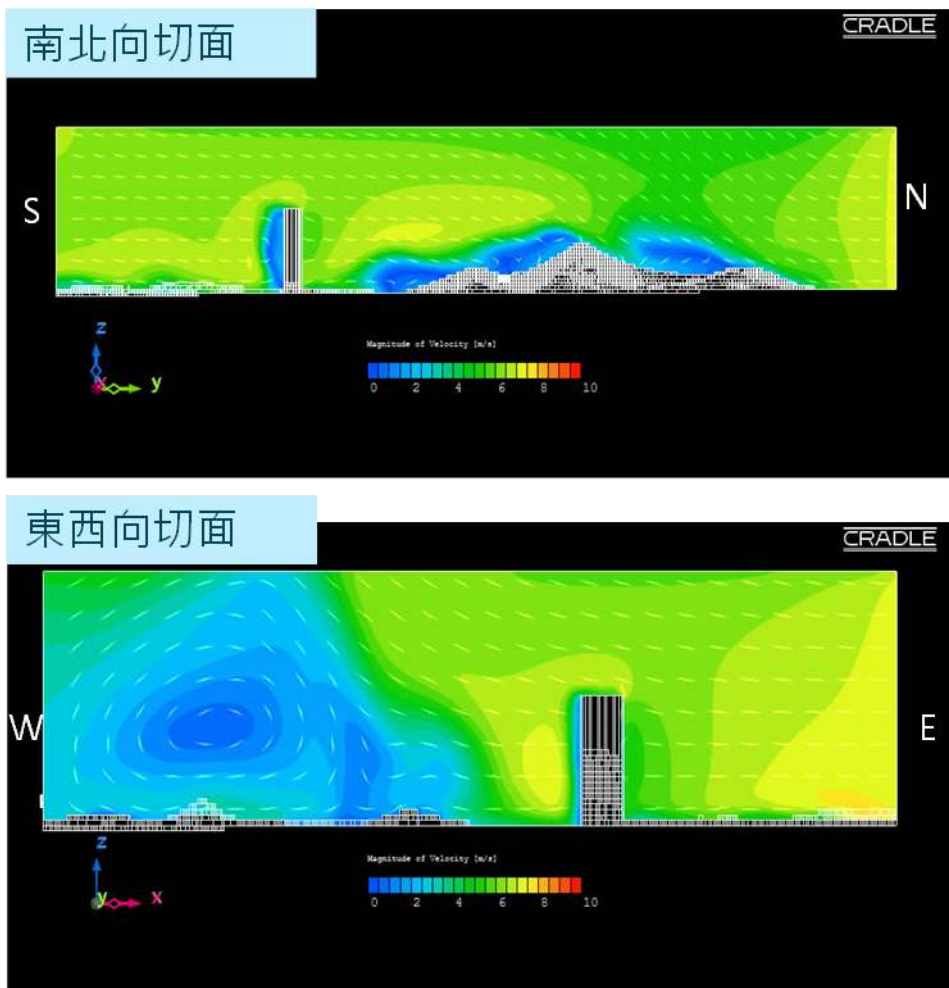


圖 6-54、風場模擬。

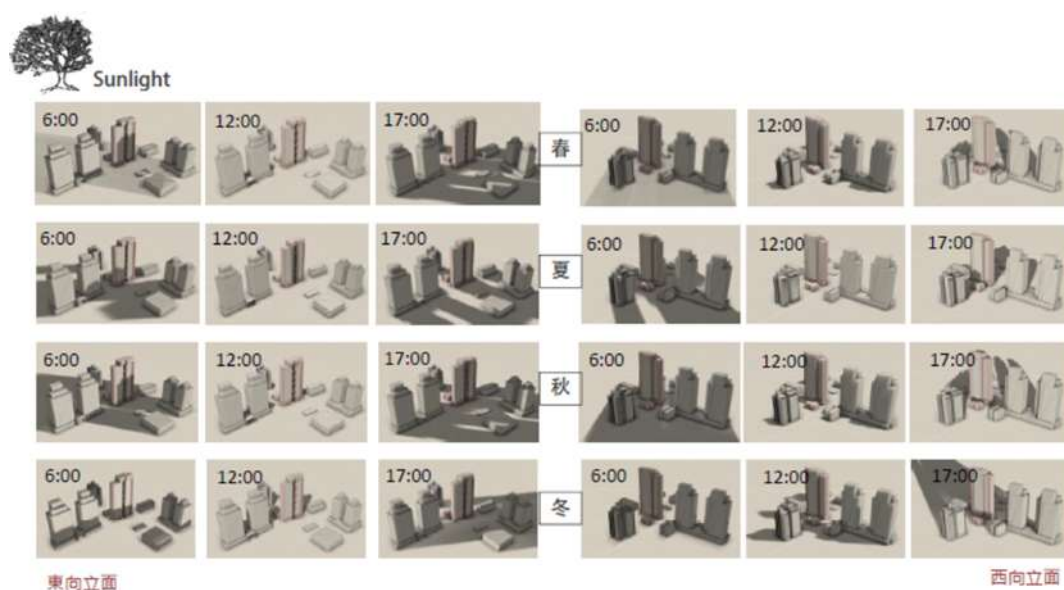


圖 6-55、日照模擬。

(二)透水率

表 6-2、長谷川式透水試驗檢測數值參考表

土壤透水率 (cm/hr)	評價	應對做法
>10	過快	評估後據以進行土壤改良以增加土壤保水性
3~10	良	
<3	不良	評估後據以進行土壤改良以增加土壤排水性
<1	極不良	



圖 6-56、長谷川透水試驗。

(三)土壤硬度

表 6-3、長谷川式硬度試驗檢測數值參考表

階段 cm/drop	根生長受阻現象	土壤軟硬度	判定	應對做法
<0.7	多數根侵入困難	土壤堅硬	極不良	應評估後據以 進行土壤改良
0.7~1.0	根系生長受阻	土壤硬實	極不良	
1.0~1.5	有些樹種根系受阻	有效土區	不良	
1.5~4.0	根系生長順暢	有效土區	佳	
>4.0	低度根支持力	過於膨鬆	不良	

(四)土壤剖面調查

土壤剖面調查係利用怪手挖掘 1 公尺（長）、1 公尺（寬）乘以 1 公尺（深）之試坑，調查記錄試坑斷面之土層分布狀況，判定表係引用自日本土壤學會編 (2000) 的土壤調查手冊修訂版，判定項目為 1 公尺土層之層位、土色、緊密度、有機質、土性、硬度（山中式）、石礫、可塑性、濕度等，可確認定植點之土層分佈與相關細節，用以決定如何改良定植點土壤。需進行定植點之土壤剖面調查、高程檢測並標註於基地圖面上，以利後續表面排水系統規劃。

(五)地下水檢測

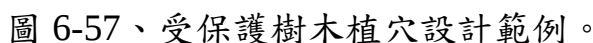
若地下水位高於樹穴底部，則須設置底部排水系統與陰井，並設置抽水馬達，避免樹穴底部積水，影響根系發展。

(六)小結

於植穴開挖前提出土壤改良建議書及排水設計，將定植點土壤環境調整至適合植栽栽種之條件。

第九節、 樹穴設計

(三)為促進根系盡速長出新的根系，樹穴底部可埋設通氣管，增加樹穴土壤透氣率，促進新根系生長。



進行定植喬木之選址規劃時，應針對受保護樹木定植後規劃樹木保護帶 (Tree protection zone, TPZ)，樹木保護帶美國規範為樹木根領直徑之 8~12 倍，在樹木保護帶範圍內，應設立簡易柵欄或圍籬，禁止人車進入、避免踩踏。



圖 6-58、以柵欄或圍籬架設樹木保護帶（TPZ）。

第十一節、移植適期規劃

移植前的斷根時間點需配合移植時間點，受保護樹木斷根次數應不少於二次，每次間隔至少 60-90 天，並需檢查斷根後養根狀況，確認養根狀況許可方可進行移植作業。不同類型樹種的斷根至移植適期建議如下：

(一)溫帶落葉樹種（如櫻花、梅花、青楓）：

移植適期為冬季休眠後至芽體萌芽前或開花前，以立春前後的 12~1 月為佳。

(二)亞熱帶常綠樹種（如樟樹）：

移植適期為芽體萌動後，即每年 2-3 月期間，不宜超過清明時節為佳；次佳時間於 3-4 月斷根、10 月中旬天氣轉涼後移植。

(三)亞熱帶落葉樹種（如小葉欖仁）：

移植適期和樟樹類似，但斷根時更不耐低溫，故移植適期宜在 3 月中旬吐

芽後至端午節前時節為宜。

(四)熱帶樹種（如棕櫚類、羅漢松、榕樹等）：

移植可在清明至早秋的 4-10 月間進行，然樹體較龐大或較老的樹木仍避免於盛夏間進行，故以初夏、早秋間進行移植作業為佳，其中又以初夏更適合斷根及根系發育。

(五)溫帶常綠松柏類（如松類、龍柏等）：

此類型樹種發根緩慢，建議加長養根時間，以一年以上為期最佳。若有時程壓力，斷根於早春至清明間，則宜於晚秋進行移植；或於晚秋斷根（10-11 月），則宜於隔年 3-4 月進行移植作業。

樹木保護專業人員教材

【高級】



第七章 移植施工與養護實務

呂學義



移植復育與支撐

第七章 移植施工與養護實務

第一節、前言

本章節所提之樹木移植操作，主要聚焦在受保護樹移植時所需之工項，若樹體不大之受保護樹移植，則可採用傳統中小型樹木移植作業要點施作，本章節不再贅述。大部分的受保護樹通常具有樹齡高、樹體大、具該區地標性甚至與當地居民情感結合的記憶性等特色，正常來說不應撼動該樹存留在原地的正當性，倘若經判定該樹需移植，必定是預期該樹在往後的期間有可能因為生育地惡化或與必要性開發產生衝突，所決定的不得已行為，在前一章節應已詳細敘述，受保護樹因有上述特性，勢必在移植工程上存在著一定的複雜性及困難度，本章節將按步驟詳細敘述。除此之外動工前還需要下列兩項最後的確認：

(一)確認移植前斷根養根的植株狀態

受保護樹因有其特殊性，移植時養根量比一般中小型植栽需更多，更需注意於樹種移植適期進行斷根養根作業，因此移植時一定要確認植株的健康狀態，進行斷根、養根之後新生根系是否養成足夠。當樹木斷根環節施做不確實，如：土球(根球)縮減過小、養根給水不足、養根之回填土壤不佳等狀況，樹體將呈現逐步衰弱的狀態，出現異常的問題，例如生長季節卻葉量明顯減少、新芽萌發情況不佳、病蟲害增多等，表示前次斷根所造成的傷害還未適應，此時不建議貿然將樹木進行移植。

也可進行局部開挖，觀察前次斷根處是否有細根長出、生長的量是否足夠，對於受保護樹木建議隨機洗開一部分養根區土壤，新生根系的分佈若能占洗開區塊的 40-50% 以上(此為較高規格之期望值，若「受保護樹木移植及復育施工規則」頒定後則應遵循其規範為準)，則判定已達到可移植狀態，否則無法承擔碩大樹冠上葉片所需要的水分吸收量，而洗開區塊也不宜過大，因洗開動作也會破壞新生根前端的根毛，破壞吸收能力，在確保根系生長無虞、植株健全時，再

進行後續說明之移植動作。



圖 7-1、新生根系的分佈若能占洗開區塊的 40-50%以上為最佳移植狀態

(二)確認動線評估及模擬計畫

動線的遠近、載具及動線的限制，深切影響移植樹木最後的樹型、土球(根球)大小，吊掛形式，所以開挖前是動線評估的最後期限，若能越早討論及制定模擬計畫，絕對有助於移植工程的順暢度及成功率，因此要提高移植後的存活率，一定要提早進行動線模擬，而在實際的執行過程中還會有不少的應變修正，所以執行者的經驗累積也是進階級樹木保護人員無形的資產，經驗越豐富就能為工程進行順暢度加分。

第二節、移植作業

(一)移植作業前修剪

樹木移植作業前是否需要進行修剪，在傳統的移植技術中常被質疑其必要性，有些人會認為只要在養根期促使土球(根球)內成長出足夠的新根，只要新根量足夠供應樹葉片所需之水分時，就可不必進行移植前修剪，另也有人認為移植當下不論操作者多小心，還是會對新根成長處產生部分擾動，因此新根絕對多少

會被傷害，影響日後水分吸收，所以移植挖掘時，還是必須進行移植前的修剪。此次修剪主要的目標是去除蒸散水分的器官「葉片」，去除葉片可有效減少水分蒸散，當可吸收礦物元素與水分的根系(根毛)減少，樹木的葉量卻維持原樣時，會呈現入不敷出的窘境，樹體內的水分將不斷遺失，樹木將步入生存危險，適度將老葉去除也是保障存活的移植手段之一。

而受保護樹木的移植挖掘前是否需要修剪常取決於下列幾項：

1.根系生長狀況

決定修剪量的關鍵在於根系生長的情形，若發根良好，細根滿佈，如同容器苗一般恢復完整，葉片的去除量便可減少，反之則需去除大量葉片。因此移植前的修剪可先少量局部施做，待土球(根球)挖掘看見細根情況時再決定是否去除更多的葉片。

2.土球(根球)大小

土球(根球)留存的大小有一部分代表著可供應樹冠水分的根系量是否足夠，所以一般來說較小的土球(根球)，意味著移植時可能必須再減少部分的葉片，但如果能養出足夠的新根，當然也有可能小土球(根球)支撐著全樹冠，在材料科學日益精進的狀況下，「土球(根球)最小化、樹冠最大化」是各方努力的目標，也是移植最重要的技術所在。

3.道路寬度及載具大小

如須經過一般道路時，運輸過程的道路最小寬度也會限制到樹冠的存留多寡，而選用的載具大小通常與運輸的道安限制有關，運輸載具的載重及載運物的限高、寬度必須符合規範，以上兩點就會決定挖掘前是否會再進行修剪，必須依照內政部所頒定的道路交通安全規則下執行，如有特殊狀況則依照申請許可內容操作。

而需注意的是挖掘前的修剪量不宜過大，僅可進行樹冠清理，不適合大幅度修剪。若需大量修剪，那就應在斷根養根前進行而不是挖掘前，斷根前的修剪若

不能保留足夠的頂芽來合成生長素誘導發根，修剪後就不能立即斷根，必須修剪後待萌發新梢後才可斷根，否則在缺乏生長素合成的情況下不易促進新根生成，此點是在養根前的修剪必須注意的重點。

(二)挖掘作業

土球(根球)挖掘步驟分為：土球(根球)側邊挖掘及土球(根球)底根挖掘：

1.土球(根球)側邊挖掘

傳統的移植作業經常失敗的原因，常常就是因為操作者不理解先前的斷根目的是在誘導出具吸收水分能力的根毛，使其新生在土球(根球)範圍內即為所謂的「養根」，操作者在不了解的情況下，經常開挖時又將新生根毛擾動而扯斷導致移植不成功。

因此下列將依照不同的斷根養根模式，提出土球(根球)側邊挖掘時應注意事項：

(1)斷根後無埋設養根護根資材即回填土方進行養根形式者：

隨著養根期間根系生長，移植時開挖範圍應比斷根時的範圍擴大 20-30 公分，保留樹木新生長的根系，否則先前的養根便毫無意義，而擴大的範圍通常為重新填入之土方或是客土的介質區外圍，因此緊密度通常比原土壤鬆軟，所以開挖時建議機械與人工並用，接近回填土方時應採人力細心挖掘，維持土方擾動量最少化，其後再以強韌之包裹材料進行輔助保護。

(2)斷根後有設置養根護根資材再回填客土介質進行養根形式者：

此時根系應滿佈在養根護根資材的土球(根球)那一側，挖掘時通常建議盡量不要移動到養根護根資材，甚至可連同養根護根資材進行土球(根球)包裹保護(視材料特性而定)，直至定植點再小心移除。



圖 7-2、以人力細心挖掘

(3)採用空氣斷根材料誘導根系增生且不盤根進行養根形式者：

採用此種方法斷養根者，正確做法是只填入內側土方，外側不應回填土方，所以定植前的工序就無側邊土方需開挖，因此應注意空氣斷根材料應該穩穩的固定在土球(根球)側邊，且材質務必具備抗紫外線能力者為佳，甚至能回收再利用，且能確實誘導根系不盤根，此種方式斷根養根模式，與傳統方式操作上完全不同，是利用材料科學所創造出的輔助及增進生根模式，操作者對於材料質地及作用原理必須充分理解，方能達到預期的效果，否則將適得其反。



圖 7-3、空氣斷根材料應用於養根期



圖 7-4、採空氣斷根材料方法斷養根者，外側不應回填土方

2.土球(根球)底根挖掘

土球(根球)之深度則在第一次斷根時就已決定，但在吊掛前為方便挖掘底根通常會多挖出人員操作的空間，傳統中小型樹木為例，開挖深度約為預期土球(根球)厚度的 1.5-2.5 倍，依樹體大小及樹種而異，隨著樹體越大，倍數比例通常隨之縮小，因為開挖 60 公分後會發現根系逐漸減少，此時便可挖至 80-100 公分深左右便向內部收縮土球(根球)，鏟斷部分底根。而大型樹木移植時挖掘溝的寬度約為 1-1.5 公尺，以方便人員至底部以圓鋤挖掘，但挖掘至工具最長極限後，人員則不得再進入底部操作，因有安全疑慮違反勞安規定，若仍需進入底層挖掘底根則應配合吊掛等安全措施後方可進行，開挖過程中若土壤中的含水量過高，則應放慢速度，避免土球(根球)破裂。



圖 7-5、採空氣斷根材料方法斷養根者，外側不應回填土方

因人員挖掘底部有安全疑慮，因此大型樹木底部的挖掘常利用下列方式進行：

(1)人員進入底層挖掘法：

因大多數受保護樹木樹體均較龐大，為了方便挖掘底根，有時挖掘深度必須達2公尺以上，故於挖掘時應考慮樹體會傾倒或周遭土壤會有崩塌之情形發生，應於挖掘前採取安全預防措施，且配合吊掛支撐防護，人員方能進行挖掘土方及切除支持根(註1：深度挖掘請遵循勞動部頒布之營造安全衛生設施標準施作)。外圍可先以機械開挖，靠近土球(根球)位置應以人工進行挖掘，處理土球(根球)表面時，有受傷或撕裂情形之根系需剪除，切口應保持平整。因安全考量，挖掘及切除下方底根時土球(根球)下方可再設置防護支撐，例如回填土方、石材或支架等防護。

註1：節錄勞動部「營造安全衛生設施標準」第五章露天開挖第71條規範：雇主僱用勞工從事露天開挖作業，其開挖垂直最大深度應妥為設計；其深度在一點五公尺以上，使勞工進入開挖面作業時，應設擋土支撐。但地質特殊或採取替代方法，經所僱之專任工程人員或委由相關執業技師簽認其安全性者，不在此限。

(2)工字樑圍底邊直吊脫離法：部分植物種類因大主幹下方的土壤含氧量較低之緣故，較不具備粗大的直立底根者，可在土球(根球)底部向內挖後，在其底部周邊架設具支撐力的工字鋼樑作為托底，必須配合土球(根球)周邊的緊密包裹保護土球(根球)，直接垂直吊掛使土球(根球)脫離地面，但此種方式會有底土掉落過多之風險，嚴重時可能會波及養根區之土方，造成移植失敗。

(3)鋼軌或鋼管敲擊伸入法：

此法為先採用工字鋼樑圍底邊之後，會再加上鋼軌(或鋼管)利用油壓鉗頭，將數支鋼軌(或鋼管)鉗擊伸入土球(根球)下方形成托底，防止吊掛時土球(根球)大量掉落，此為較穩當之托底吊掛模式，但此法會因材料數量較多而增加整體吊

掛之重量。



圖 7-6、利用油壓鎚頭將鋼軌(或鋼管)鎚擊伸入土球(根球)下方形成托底



圖 7-7、工字鋼樑圍邊後再加上鋼軌(或鋼管)鎚擊伸入土球(根球)下方形成托底

(4)箱型油壓托底工法：

此法採配合土球(根球)大小，量身定製鋼構箱框，底部為伸縮鋼製底板配合油壓力道，強壓伸入土球(根球)底部進行切斷底根及土方之方法，此鋼構箱框同時具備吊掛點，可直接作為吊掛托底，但此法會因油壓力道極限，而限制大小，且須有一定的操作空間，因此常用在中小型土球(根球)的移植作業。



圖 7-8、鋼製底板配合油壓力道，強壓伸入土球(根球)底部進行切斷底根及土方

(5)空氣挖掘機吹除法：

利用空氣挖掘機，將底土慢慢吹除，同時邊吹除邊架構托底材料，來達成底部挖掘及佈署支撐托底之方式，但此方式作業時會揚起大量塵土，若會影響周邊則需事先架構好阻擋土塵擴散的圍籬。

(三)土球(根球)包裹

傳統的中小型樹木移植時的土球(根球)包裹，是在挖掘土球(根球)將近完成時進行，操作時先使用麻布包裹，再使用麻繩從樹幹基部繞至土球(根球)下方，再延伸到對向拉上，反覆拉緊，逐步讓繩索形成網狀，捆綁固定保護土球(根球)不破裂，也可再使用工業 PE 伸縮膜進行加強包裹，不過如果使用 PE 伸縮膜全面包覆後，若未即時定植時，則會阻礙補水作業。

但對於大樹體之受保護樹木移植，如上節所述由於底根底土挖掘不易，因此在大型樹木的土球(根球)包裹作業程序，也可能在土球(根球)側邊挖掘完後土球(根球)底根挖掘前進行，以確保土球(根球)不破裂，這是大型樹木移植與中小型樹木移植步驟順序上的不同。

而常用包裹土球(根球)的材料如麻布、麻繩、遮陰網、尼龍繩、不織布、PE伸縮膜等只要是能保護土球(根球)不破裂的材料均可使用，甚至是養根期原本使用的阻根或空氣斷根之材料在不拆除的情況下進行加強保護，都可作為包裹用之材料，大原則就是能保護土球(根球)在移動作業時不會鬆散破裂為最佳。當使用麻繩與麻布包裹的樹，若種植時無法順利將其拆除時，此材料之優點就是可不必完全卸除直接種植，日後將自然分解。但若是使用尼龍繩、黑網等非有機材質包裹的材料，則必須將其材料卸除，否則日後會影響根系生長，將成為不定期的危害。在材料科學日益精進的未來或許還會有更佳的产品出現都是可行之方案，執行者應充分了解其特性選擇使用。

土球(根球)包裹是樹木移植吊掛前最細膩之工序，尤其是大型樹木移植此步驟將攸關著存活機率，畢竟土球(根球)若包裹不當，如此龐大之重量常引起破裂現象導致影響日後水分吸收，因此務必細心、謹慎、沉穩、周到的來完成此項工序。



圖 7-9、麻布加麻繩



圖 7-10、尼龍繩



圖 7-11、麻布、尼龍繩、PE 伸縮膜

(四)吊掛作業

大型樹木移植之吊掛移動工程中，因為樹體及重量龐大，因此與中小型喬木運用的吊掛手法不盡相同，原則上儘量不以樹幹主體為主要吊掛支撐點，以防止因樹體過重發生環狀剝皮之損傷現象。全部的吊掛過程須注意項目如下說明：

1.樹體重量估算

樹體總重若能精準估算，有利於準確選擇合適的吊運機具及後續載具大小選擇，並選擇合適的鋼索或配繩（配帶），而樹體因不是整齊的幾何形狀，因此多採估算模式，而可使用估算樹體重量的建議公式眾多，本節則依照「建築空間の緑化手法 1988 彰国社出版」所提之公式作為估算模式介紹。

參考網站：<http://www.green-site.com/manual/zyumokuzyuuryou.html>

(1)樹木地上部重量公式：

$$W=k\pi(d/2)^2Hw(1+p)$$

W=重量

k=樹幹形狀係數(通常情況下為 0.5)

d=米徑(m)

H=樹高(m)

w=樹幹的單位體積重量(1100 至 1500 kg / m³)

p=取決於枝葉數量的比例(0.2 至 0.3)

(2)樹木地下部重量公式：

$$W=k\pi A^3w$$

W=重量

k=土球(根球)的形狀係數(落葉喬木 0.13，常綠喬木[深根]0.17)

A=土球(根球)直徑(該網站建議估算法 $4D+0.12$)

D 是根元直徑(當 $d>0.2$ 則 $D=1.5d$ ，當 $d<0.2$ 則 $D=2-2.5d$)

w=單位體積土壤的重量(約為 1700kg/m³)

該網站的樹木地下部公式以土球(根球)直徑之立方來估算，較適合用在中小型樹木，對大型樹木來說，土球(根球)高度相對於土球(根球)直徑會比較小，若用此公式計算可能會較重，僅提供操作者參考。

2.鋼纜(鋼索)

鋼纜亦稱鋼絲索、鋼繩或是鋼索等，工地習慣稱之為鋼索。鋼索是由數條至數十條鋼線(絲)或稱素線，纏繞組織成一股 (strand)，再由數股纏繞成一條鋼索。鋼索是最常使用的起重吊掛工具，其兩端必須設有吊鉤、鉤環、鏈環、編結環首或壓縮環首，否則不能作為吊掛用具，一般常用規格為 6 股之鋼索，25mm 以下

之吊掛鋼索採用 6x24 規格，25mm 以上則使用 6x37。

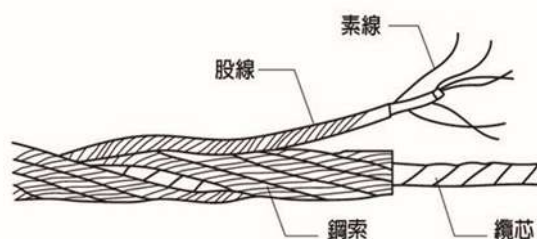


圖 7-12、鋼索結構

使用鋼索必須先了解鋼索破壞強度(噸數)又稱斷裂荷重，臺灣常用的估算方式是以直徑(mm)的平方除以 20 來估算(還有更精確的估算方式但較複雜)。實際使用時，必須除以一定之安全係數，來確保吊掛之重量是否安全，係數越高越安全，通常會以 6 為基礎，所以吊掛用鋼索所能承載的噸數，約等於直徑(mm)的平方除以 120。也就是一條 12mm 的鋼索，可以負擔的吊掛荷重大約為 1.2 噸。而勞動部頒佈之「移動式起重機安全檢查構造標準」就有規範鋼索使用種類之安全係數規範(註 2：移動式起重機安全檢查構造標準第 45 條)。

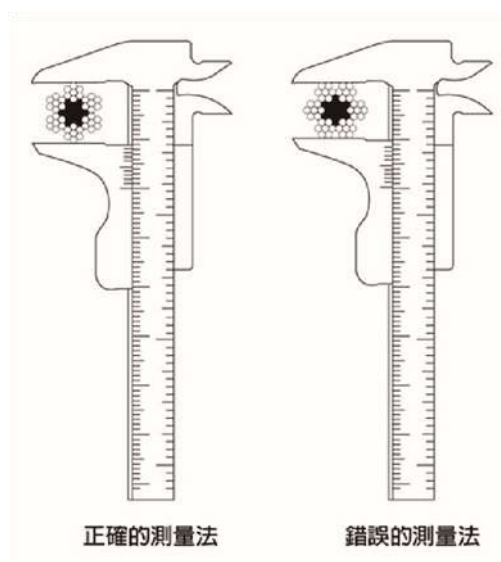


圖 7-13、鋼索直徑是以量測外接圓也就是最大的外徑才是正確的

註 2：節錄勞動部「移動式起重機安全檢查構造標準」第五章第 45 條規範鋼索應依下列規定辦理：

(1)安全係數應依下式計算，且為下表所列之值以上：

安全係數=鋼索之斷裂荷重÷鋼索所承受之最大荷重

表 7-1、鋼索安全係數表

鋼索種類	安全係數
捲揚用鋼索 / 伸臂起伏用鋼索	4.5
伸臂伸縮用鋼索	3.55
支持伸臂用鋼索	3.75

(2)鋼索不得有下列情形之一：

- a.鋼索一撚間有百分之十以上素線截斷者。
- b.直徑減少達公稱直徑百分之七以上者。
- c.有顯著變形或腐蝕者。
- d.已扭結者。

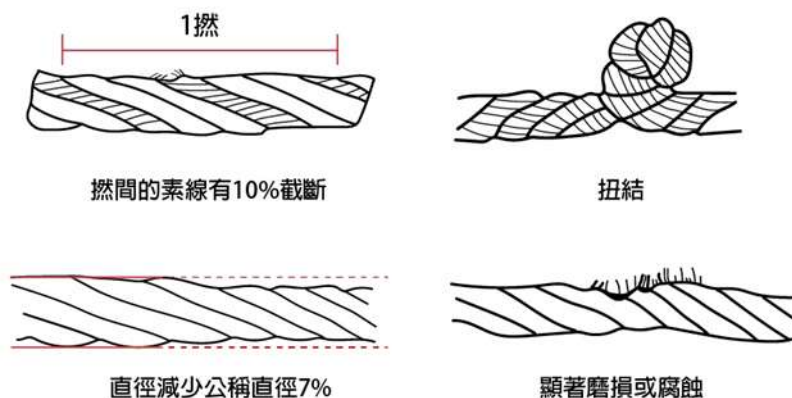


圖 7-14、鋼索檢查標準

3.纖維吊帶

纖維吊帶之材質有棉、麻、化學合成纖維等，外型斷面有圓形及長方形斷面等形式，化學合成纖維材質有尼龍 (nylon)、聚酯 (polyester)、聚丙烯纖維 (polypropylene fiber)、聚乙烯 (polyethylene) 等，尼龍不受油脂影響，使用最廣泛。聚酯纖維具有高抗拉強度，較低拉伸率，高熔點和抗磨耗性。聚丙烯纖維則是熔點低，重量輕但抗紫外線能力差，抗拉強度較尼龍低。聚乙烯則類似聚丙烯纖維，但抗紫外線佳，較聚丙烯纖維重，抗磨耗性佳。以上各材質可在特定用途或環境下利用，一般較常用為尼龍和聚酯纖維兩種。

尼龍和聚酯纖維皆是從石油中提煉的塑膠化合物。剛開始是為了要創造更強韌、輕量和耐用的材質，而後來也漸漸的取代了天然纖維布料。在工程利用上將其編織成雙環眼扁帶作為吊掛貨物之用俗稱配帶。尼龍和聚酯纖維編織製成之吊帶具有下列特性：

- (1)荷重保護：在高度拋光的金屬表面上，荷重物不會毀損或刮傷，對於非金屬表面物也很溫和。
- (1)強度：張力強度可以處理到 136 噸或更大。
- (2)方便：重量輕和可彎性，可以容易的處理和調整荷物。
- (3)安全：可調整荷重輪廓和緊覆住，不易滑動。
- (4)壽命長：不受黴菌、細菌和腐蝕影響有非常好的耐磨性。
- (5)吸震：人造纖維吊帶有延長的特性，可以減少震動效應，所有荷重物有如墊片作用減少震動。

纖維吊帶使用上應注意額定荷重、材質、製造編碼 (Code) 或料號名稱、廠商等，一般標示於環眼標籤上，貨物重量不可超過額定重量。不可使用接觸酸或腐蝕性酸等物品，會導致造成之腐蝕或是腐爛。而纖維帶使用時如有下列情形者應與汰換：

- (1)縫製部、帶眼及縫合部的絲線剝離截斷者。

(2)纖維帶之毛刺甚多者。

(3)有顯著的損傷、擦傷、割傷、腐蝕、焊渣灼傷、化學灼傷、索環損傷或打結者。

在選擇適當的吊帶時，通常是以荷重、結構計算求得所需承受荷載重量。為了正確的得出吊帶長度及承載能力，必須先求出荷載的重心位置。如果荷載的重心位置是位於荷載的中心點，則只要測量荷載的長度和知道所選擇的吊掛方式，就可以求得吊帶所需要的長度。如果荷載的重心位置不是位於荷載的中心點，則必須個別求得每一條吊帶所需要的長度。簡單來說就是不論重心是否位於中心點上，起重吊鉤的位置都必須位於重心的垂直正上方。

4.吊掛支點

樹木移植起吊作業若遇樹體過大及土球(根球)過重時，需增加土球(根球)的吊掛支點並固定，而非單一吊掛點，因為過重之樹木如果採枝幹作為吊掛點，即使有採取軟質材料墊底，一樣有可能造成表皮過度摩擦而受傷，嚴重時也會發生環狀剝皮現象，所以最好增加土球(根球)支點以免樹體損傷，而大型樹木若以土球(根球)為支點吊掛時，需做支點壓力保護例如實木或硬塑料墊片，以免因全樹重量壓破土球(根球)。



圖 7-15、纖維吊帶於標籤上之標示



圖 7-16、纖維吊帶施力內側增設支點墊片



圖 7-17 未配置支點力道分散墊片導致土球(根球)受壓迫

因此受保護樹木在吊運至車上時，禁止於樹幹作單點吊運，吊掛索具與樹幹之接觸部位及車斗靠接處應另加襯墊包裹保護，保護材料如棉被、麻布、麻繩、寬版棉繩等，以免損傷樹體組織。如果環境及載具條件許可下，最好採土球(根球)之鋼樑托底作為支點，或是採用吊運土球(根球)輔助框架吊掛法(註 3)，四點

直立吊掛，此法對於樹木之損傷最小，而相關鋼構材料如何對接、負重能力是否足夠及吊掛支點需如何製作最為穩固，必要時須請結構技師進行相關安全計算，以期達到結構之安全。



圖 7-18 鋼樑托底四點直立吊掛



圖 7-19 吊運土球(根球)輔助框架吊掛法

註 3：吊運土球(根球)輔助框架吊掛法：訂製約與土球(根球)直徑大小差不

多的鋼構組合圓盤，鋼盤結構不可接觸到根領，置於土球(根球)上方，土球(根球)下方圍上鍊條固定，鍊條圍圈直徑需小於土球(根球)直徑，再以纖維束緊帶將兩者上下多點緊縛，分散壓力，再以鋼盤為支點直立吊掛之方法。

5.吊掛安全

樹木移植吊掛作業是整個工序中最具危險性之步驟，尤其是受保護樹木之移植，常採用保留全樹型模式，使得整體重量相對提高，相對危險性也隨之加劇，所以安全考量必須謹慎為之，相關安全作業必須遵照勞動部頒定之「起重升降機具安全規則」相關規定辦理，其規則中第五章起重吊掛作業安全管理第 63 條規範雇主對於使用起重機具從事吊掛作業之勞工，應使其辦理下列事項：

- (1)確認起重機具之額定荷重，使所吊荷物之重量在額定荷重值以下。
- (2)檢視荷物之形狀、大小及材質等特性，以估算荷物重量，或查明其實際重量，並選用適當吊掛用具及採取正確吊掛方法。
- (3)估測荷物重心位置，以決定吊具懸掛荷物之適當位置。
- (4)起吊作業前，先行確認其使用之鋼索、吊鏈等吊掛用具之強度、規格、安全率等之符合性；並檢點吊掛用具，汰換不良品，將堪用品與廢棄品隔離放置，避免混用。
- (5)起吊作業時，以鋼索、吊鏈等穩妥固定荷物，懸掛於吊具後，再通知起重機具操作者開始進行起吊作業。
- (6)當荷物起吊離地後，不得以手碰觸荷物，並於荷物剛離地面時，引導起重機具暫停動作，以確認荷物之懸掛有無傾斜、鬆脫等異狀。
- (7)確認吊運路線，並警示、清空擅入吊運路線範圍內之無關人員。
- (8)與起重機具操作者確認指揮手勢，引導起重機具吊升荷物及水平運行。
- (9)確認荷物之放置場所，決定其排列、放置及堆疊方法。
- (10)引導荷物下降至地面。確認荷物之排列、放置安定後，將吊掛用具卸離荷物。

(11)其他有關起重吊掛作業安全事項。

為提高作業安全，業者也可制定吊掛作業檢核表，來確保起重吊掛之安全確認，可參考臺北市勞動檢查處製使用鋼索起重吊掛作業檢核表。

(五)保護

在整個移植作業中對於樹身的保護是持續進行中的項目，無論是修剪後、移植吊掛前、運輸中或是定植後，只要有損傷疑慮就必須進行必要的保護。

例如：若有必要執行大量修剪或去除大量葉片時，當下季節剛好又是盛夏，此時就要防止樹幹曬傷或水分過度散失，包裹主幹可使用工業用 PE 膜避免水分散失，或是以麻繩、麻布、黑網布、不織布等包裹樹幹防止曬傷。塑膠材料必須在種植時拆除，而防曬材料須等新芽長成成葉之後拆除。

若是吊掛時容易與吊繩或是器具接觸之土球(根球)、樹幹、枝條等，為防止壓迫、摩擦或拉扯，土球(根球)部分支點應分散壓力避免破裂，枝幹部分可選擇用軟質材料，如棉布或是棉被等物保護，或是綑綁枝條使其暫時避開碰撞等方式防止折斷。

表 7-2、鋼索啟動吊掛作業檢核表

使用鋼索起重吊掛作業檢核表

104.06.11 臺北市勞動檢查處製

鋼索直徑(mm)	斷裂荷重(T)	掛數及其安全可吊物重量(T)					
		1	2	3	4	6	8
6	1.80	0.30	0.60	0.90	1.20	1.80	2.40
7	2.45	0.41	0.82	1.23	1.63	2.45	3.27
8	3.20	0.53	1.07	1.60	2.13	3.20	4.27
9	4.05	0.68	1.35	2.03	2.70	4.05	5.40
10	5.00	0.83	1.67	2.50	3.33	5.00	6.67
11	6.05	1.01	2.02	3.03	4.03	6.05	8.07
12	7.20	1.20	2.40	3.60	4.80	7.20	9.60
13	8.45	1.41	2.82	4.23	5.63	8.45	11.27
14	9.80	1.63	3.27	4.90	6.53	9.80	13.07
15	11.25	1.88	3.75	5.63	7.50	11.25	15.00
16	12.80	2.13	4.27	6.40	8.53	12.80	17.07
17	14.45	2.41	4.82	7.23	9.63	14.45	19.27
18	16.20	2.70	5.40	8.10	10.80	16.20	21.60
19	18.05	3.01	6.02	9.03	12.03	18.05	24.07
20	20.00	3.33	6.67	10.00	13.33	20.00	26.67
21	22.05	3.68	7.35	11.03	14.70	22.05	29.40
22	24.20	4.03	8.07	12.10	16.13	24.20	32.27
23	26.45	4.41	8.82	13.23	17.63	26.45	35.27
24	28.80	4.80	9.60	14.40	19.20	28.80	38.40

Ex: 使用 12mm 鋼索、2 掛吊法，則查表得此狀況下可安全吊 2.4 噸以下的物體，超過即違反起升則 65 條。

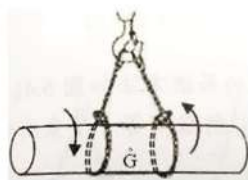
掛數示意圖

1. 鋼索直徑(mm) _____

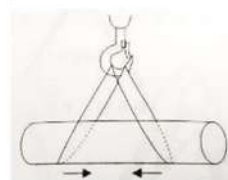
2. 掛數 _____

3. 現場實際吊物重量(T) _____

4. 安全可吊物重量(T) _____



2 掛(建議使用，透過鋼索係緊可防脫落)



4 掛

5.1 ☐ 現場實際吊物重量 _____ < 安全可吊物重量 _____，合格。

5.2 ☐ 現場實際吊物重量 _____ > 安全可吊物重量 _____，不合格，請依起重升降機具安全

規則第 65 條辦理改善。

事業單位簽名：_____ 事業單位名稱：_____

受檢日期：_____ 受檢地址：_____



圖 7-20、以麻布包裹樹幹防止曬傷



圖 7-21、過大的樹冠圍束縮小



圖 7-22、支撐點保護及覆蓋黑網

若是採用倒伏式運輸，需檢查樹木與車體接觸面皆須有襯墊保護，並固定穩固以免運送時鬆脫，吊掛至載具之前更須將過大的樹冠圍束縮小，以防運輸過程中折損，圍束操作方式可採用繩索緩緩限縮樹冠大小，由較大枝幹開始綑綁，逐步綁向枝條末端，可讓樹冠範圍縮至最小不至於斷裂。

如果需進行高速運送，還必須以濕布或濕棉被覆蓋土球(根球)，以保持土球(根球)濕度，且全株也必須覆蓋黑網來防風防曬傷，尤其是樹冠部分，避免高速運輸使空氣產生強對流導致中途水分散失及葉片剝離。

上述保護事項所用之材料，操作者都必須瞭解其材質特性，再依照其特性及當下需求使用在必要之處，切勿用錯方式及時間，當保護需求消失後也應立即移除，以免適得其反而造成傷害。

(六)運輸

國內目前面對受保護樹木的處置態度多以現地保留為首選，若需移植也多朝向區內移植，因此移動距離相對較短，甚至吊掛機具即可直接吊掛至定植點，但若遇到必須區外移植者，就會經過非自主管控區域，因此在規劃及操作上就必須注意下列事項：

1.路徑確立與障礙排除

運達新種植地的路徑，應事先規劃，此步驟甚至在移植準備工項前就應進行，且務必實地勘察過，模擬運送時間之人車流量，避免寬度及高度不足的路段，需特別注意轉彎處時車輛長度是否能通行，遇障礙物時的排除方案，及人力需求。

2.運送載具選擇

大型樹木移植多以平板拖車進行載運，須依先前的路線勘查及樹木重量來選擇載具，拖車依載重能力有多種規格可選擇，下列規格可提供參考，但實際車況規格還須以廠商實際所能提供的規格表為準。

表 7-3、平板拖車規格參考表

名稱	工作負荷 (t)	拖掛高度 (mm)	軸距 (mm)	轉向角	轉彎半徑 (mm)	輪數	台面尺寸 (mm)	自重 (t)
1 噸平板拖車	1	450 可調	1500	全迴轉	≈2600	4 個	2400×1300	0.5
2 噸平板拖車	2	450 可調	1700	全迴轉	≈3000	4 個	2700×1500	0.7
3 噸平板拖車	3	450 可調	1800	全迴轉	≈3200	4 個	2800×1500	0.8
5 噸平板拖車	5	450 可調	2300	全迴轉	≈3600	8 個	4000×2000	1.8
7 噸平板拖車	7	450 可調	2800	全迴轉	≈3800	8 個	4500×2000	2.2
8 噸平板拖車	8	450 可調	2800	全迴轉	≈4000	8 個	4500×2000	2.6
10 噸平板拖車	10	450 可調	2900	全迴轉	≈4500	8 個	5000×2200	3.5
15 噸平板拖車	15	450 可調	3600	全迴轉	≈5200	10 個	6000×2400	4
20 噸平板拖車	20	450 可調	4000	全迴轉	≈5800	10 個	7000×2400	5
25 噸平板拖車	25	450 可調	4800	全迴轉	≈6800	10 個	8000×2400	5.5
30 噸平板拖車	30	450 可調	5500	全迴轉	≈8000	12 個	9000×2600	8
40 噸平板拖車	40	450 可調	6000	全迴轉	≈11000	16 個	10000×3000	9
60 噸平板拖車	60	450 可調	7500	全迴轉	≈12000	20 個	12000×3000	12
80 噸平板拖車	80	450 可調	9000	全迴轉	≈13500	20 個	14000×3000	15



圖 7-23、平板拖車直立運輸



圖 7-24、平板拖車臥式運輸

3.相關準備與路權申請

需檢查移植動線及種植地點，所需的工作範圍中，是否將影響相關設備：水、電、瓦斯、電信、燈號、道路標誌及商家住宅等，以及交通路線上必要的路權申請等，需在施工前向相關單位提出查詢、申請，實際運送當天所有核准文件務必現場備妥，以利工作順利進行。

4.紀錄與復原

運送過程務必隨時進行記錄，如有臨時拆除物件者，必須在拆除前及復原後進行照相記錄，過程中相關有影響及改變的事物必須恢復原貌，如有損壞者也應照價賠償，定植之後，原先挖掘的場地也需依相關規定計畫進行復原及清潔。

第三節、定植作業

(一)植穴檢查(整地放樣、植穴規格、高程、土壤質地、排透水)

1.整地放樣

定植作業前應考量欲移之樹木未來的生長空間，預留適當的株距，需確保樹冠範圍與新植地之既有樹木保持距離，放樣時應依據設計圖說進行，確認樹木種植地點、位置與定植完成面的高程，且利用定樁或做記號標示。整地作業針對基地內之土石塊雜物等，應先進行挖除運棄清理，如現場土質不佳則須置換客土，應使用壤土或砂質壤土，並注意排水坡度，以避免積水而影響樹木日後生長。

2.植穴規格

植穴直徑的挖掘以土球(根球)直徑之 1.5-2 倍大為原則，確保新根生長出來的土壤為鬆軟的回填土，植穴之開挖大小須視定植地之保水保肥特性及樹種特性作增減，例如定植地土壤優良者，植穴可不必太大，如果土壤質地不佳者，則可視基地條件適度增加植穴寬度，使其可回填入較多的理想介質，以利日後樹木生長。

3.高程

中小型樹木定植植穴的深度通常以完成面平整為基準，不可過於突起種植，或是種植完畢後陷入地表，根領絕不可被土方覆蓋是很重要之關鍵，若在排水無虞的情況下，最佳之狀態為根領略高於土表 5-10 公分，但大型樹木因考量日後可能隨樹體自身重量而有下陷的可能，通常完成面會再略高於土表 10-20 公分以內，若有排水疑慮再視狀況向上提升。

因此植穴深度應以喬木土球(根球)大小為基準，再加上底部回填資材及土壤之厚度為植穴的深度，通常為土球(根球)厚度之 1.1-1.3 倍，其次會再根據樹種及環境特性作調整，其目的都是以增進存活率為前提而微調之。

4.土壤質地

移植時回填的土壤質地以多數喬木可接受的砂質壤土為佳，然而需視不同樹種再另行調整。定植地現況之土壤質地若不適合該移植樹木時，如土壤過粘，則需拌入相關改善介質，如腐熟堆肥、河砂、珍珠石、黑曜石、生物炭等，若土壤過鬆，則需拌入適量粘質土壤、腐植質等拌合調整。切忌土壤不可過鹼，需控制土壤酸鹼值至弱酸性以利發根為佳。

5.排透水

種植地之排透水，會嚴重影響定植的存活率及日後之維護管理，通常是所有土層結構組成後的綜合表現，有時很難以局部觀察來概括全部，除可使用長谷川式現場簡易透水試驗器或相關儀器來量測透水效率之外，也可使用圓形鑿孔器具，開挖出圓柱形測試孔，深約 30 公分左右，將水分灌入至土壤飽和後（約持續灌水維持半小時），之後再灌入水分，並經過一小時檢視，水位降低位置，若與一小時前相比少於 3 公分內表示排水不佳，多於 3 公分屬於排水尚可，若多於 10 公分以上則為排水良好。

若周圍土壤質地為粘土，降雨時周圍雨水容易灌入植穴中，此時植穴的排水及透水性至關重要，除了可擴大植穴，增加下滲面積之外，於底部可設置排水層，如碎石層搭配透排水管連接至外排，切忌只加入碎石層而沒有設置排水管路，這樣會引起水分蓄積在碎石上方土層形成積水層，造成根系缺氧腐爛，同時於植穴周圍設立表層排水，使用透水網管搭配碎石或其他排水材料成為導水溝，最後將水管接至外排，以利表層逕流水分排出。

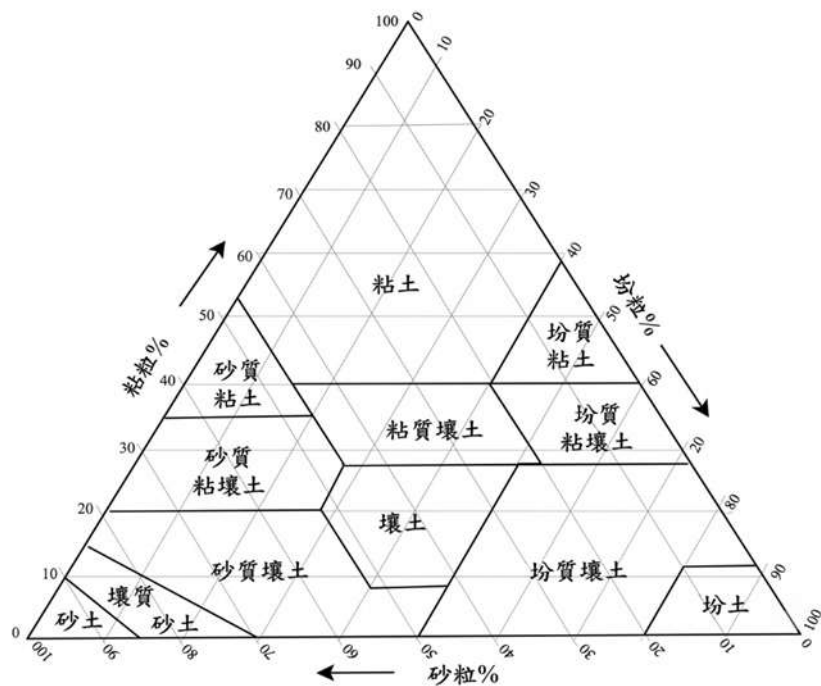


圖 7-25、土壤質地三角圖



圖 7-26、使用長谷川式現場簡易透水試驗器或相關儀器來量測透水效率



圖 7-27、無儀器時可使用圓形鑿孔器具，開挖出圓柱形簡易測試孔

(二)種植方式(定植、填土、澆水)

1.定植

當樹木吊起準備執行定植作業時，須考慮：樹木與周邊環境關係，重點為良好陽光的取得，其次為樹姿美感坐向。如何讓樹體日後能有充足的陽光，對日後樹體健康有重大的影響，有時需搭配現場其他樹木的修剪一併執行，當部分枝條位於陽光不充足處時，該枝條日後會出現乾枯的可能性。

2.填土

回填土壤應確實且填入最佳之種植介質，例如取自排水良好砂質壤土，土壤 pH 值在 5-7.5 範圍內，富含有機質，且不能含有石塊及其他外來物質，且不能為泥濘之狀態，並可均勻混入有機質或其它土壤改良劑之土壤。當樹木放置於植穴中，並確認高度之後回填土壤，過程中可利用竿子擾動內部土壤，確保緊密與土球(根球)貼合，並加水讓土中空氣減少後，視情況補土，過程中應確保樹體擺正，確立日後能良好生長。填土的過程中，應逐步分次適度壓實，但切勿過度踩踏造成過度緊密，而是確保土壤貼合土球(根球)的適度踩踏，夯實的土壤往往導致根系無法向外生長，避免想踏實土壤貼合土球(根球)的美意反而導致反效果。

3.澆水

土壤回填完畢後，應澆灌充足水分。何謂充足水分？即為土壤中的水達到田間容水量，意即重力水幾乎完全排出後，土壤保有水的情形。

種植時的定根水，需一次澆透，由於土壤滲透速度可能比澆灌速度慢，即使澆灌水已形成地表逕流，仍有可能尚未澆透，底部仍沒有俱足水分；再加上前述的排水設施設立，澆灌水亦可能經由排水管而流出，土壤並沒有完全吸收水分，所以定根水的水量通常是比以為足夠的情況還需要更多。我們可以試算植穴的大小為多少公升，乘以 1.3-1.5 倍，便可得知基礎所需的水量，建議緩慢且小量持續澆，老實澆完才算完成澆水。同時觀察土壤情況，是否會出現積水或粘、坩質土壤比例過多導致水分無法滲透等現象，才能即時發現問題及調整。

另外大型樹木定植後第一次澆水所設立的集水坑，主要只是減緩水分快速從表面逕流，在第一次達到充分澆水後就應撤除，之後就不建議設立集水坑，運用集水坑作為澆水的用途容易讓人誤以為澆水足夠，但事實上卻相差甚遠；或是即便設立集水坑也需多次澆水才行。且集水坑的土堆通常被設置在樹木根系最需要拓展的地方，也有可能導致根系生長不良。再者集水坑在樹木成長良好後便需移除，也是容易忘記的一個環節，而操作者通常是現場攤平而非運走，是否會增加土壤的深度也必須考量進去。

定植後的充分澆水是為了讓新介質、舊介質及土球(根球)三方充分融合的關鍵，為種植步驟中最容易被忽略的環節，卻是樹木存活最重要的關鍵。若是剛移植不久即發現大量落葉現象則表示根系已在移動過程受損，此時就必須再設法減少葉片數量(僅能以人工方式除葉，不得採修剪枝條方式，過大的傷口會使水分加速散失)，必要時得於樹冠加裝噴霧設施，來增加空氣濕度減少水分流失，直至新根再度長出。

(三)定植後樹木支撐及保護(覆蓋物、鋪面層)

1.支撐

定植後的樹木支撐有許多種形式及材質，若為地下底盤式支架應於土球(根球)放置時埋入，若為杉木、桂竹、孟宗竹、金屬支架及防颱鋼纜等，則支點應於樹體 1/2 以上至 2/3 的區域，過高及過低的支持效果皆不良。支架插入地下應有足夠的深度，打入時應避免傷及土球(根球)，並應視實際需求調整深度至足以承載之地層，應力求穩固及整齊美觀，支架與樹體接觸的部分，應以透氣柔軟材料襯墊，例如使用麻布保護樹皮，支架與樹木接觸綁點建議選用麻繩細綁，因麻布麻繩為日久會自然腐朽鬆脫的材料，若後續萬一維護管理頻率降低時，也不會產生生長受限的問題；若使用鋼纜、塑膠繩、鐵絲等，日後則必須拆除，以免導致韌皮部受壓迫，向下運輸養分受阻，生長不良。一般常見的支撐，其型式有下列六種：

- (1)單柱式：一般應用於主幹較小之樹木，應避免使支架打入土球(根球)，且將支架設立於迎風面。
- (2)雙柱式：一般應用於中等幹莖的樹木。兩柱平行於樹幹兩側，柱頂間用橫桿相連以麻繩縛住樹幹，或是用寬大平滑的綁帶來取代橫桿。
- (3)三柱式：在雙柱式基礎上增加 1 根斜柱，以強化穩定程度。
- (4)四柱式：一般應用於較大的樹木。在柱上相對綁紮兩個橫桿，然後在橫桿上再加紮兩個緊靠樹幹的橫桿，或是四橫桿圍繞四邊，兩對角間用綁帶來交叉固定樹木。
- (5)鋼索固定：大型樹木常用之固定方式，利用 3-4 條鋼索，將樹拉向不同方向之固定方式，鋼索與樹幹接觸部位除必須包覆塑膠套管外，樹幹與塑膠套管部位還要加放軟質襯墊材料以防摩擦。
- (6)多點式或其他足以穩固樹木之方式。

以上立支柱上為傳統中小型樹木常用之方式，而受保護樹木因樹體龐大則多採用第 5 項鋼索或第 6 項多點式支撐，若樹體過於龐大，天然材料的支架無法有效提供支撐時，可使用金屬支架，製作為 U 字型，自斜邊提供支撐，支架底

部固定須遠離根系生長範圍，此外與樹幹接觸的位置可使用橡膠墊進行保護，基於美觀考量，金屬建議烤漆棕色。

立支柱之用意主要是防止新植樹木因搖晃而影響根系開展及給人安定感，有立支撐之樹木，也必須在根系開展穩固之後，就立即拆除，以免樹木因應力效應使其生長出現不正常現象。相關支撐內容在進階級的樹木保護專業人員教材中第五章「樹木支撐與避雷系統」，內容十分具參考價值，本章節則不再概述之，請學員參閱第五章教材。



圖 7-28、大型樹木定植後的支撐

2. 覆蓋物

種植完畢後，可使用覆蓋物提供保護，不僅可抑制其他雜草長出，避免除草時傷害樹幹，同時作為土壤阻隔層可降低溫度變化，改善土壤結構，避免固結，並保持土壤水分濕潤，但經過一段時間後若覆蓋物喪失其上述功用時，就必須將其移除，也就是說覆蓋物是有其需求時才進行鋪設，並非移樹過程一定必須執行之項目，操作者可由自身經驗審慎考量為之。

執行覆蓋操作時，覆蓋範圍盡可能與樹冠滴水線範圍相同，或是覆蓋至一開始開挖的樹穴範圍，覆蓋在土壤的部分盡可能不要接觸到樹幹基部，而覆蓋厚度不宜超過 5 公分。

常見的覆蓋物為樹皮、碎木堆肥、松木塊及稻草等材料。

若是針對珍貴樹木的移植，且位於大眾出入頻繁區域時，建議使用稻草作為覆蓋物使用，稻草色澤較淺，當有人傾倒東西是較易察覺，並可盡速改善。



圖 7-29、使用覆蓋物提供保護

第四節、養護管理

(一)水分管理

水是維持植物生長的基本物質，也是植物重要的組成成分，水分在植物體內約佔鮮重的 70-90%，水分不僅是提供植物行光合作用之原料用，另外也是養分吸收及輸送之媒介，影響著許多植物生理代謝作用，適當的供給植物水分，是維持植物生長的重要因素，而最明顯的缺水反應就是萎凋，植物缺水時，植物細胞失水，膨壓下降，葉片、幼莖下垂，此稱之為萎凋，萎凋發生之起點則稱為「暫時萎凋點」，而萎凋發生後若及時供水，植株可恢復原狀之期間則稱為暫時萎凋，若持續失水至澆水後仍無法讓植物恢復正常之時則稱為「永久萎凋點」，此時在草本植物就會引起植株死亡，而木本植物則會引發落葉。



圖 7-30、當植物發生萎凋時給水後，能回復原本的樣貌，此現象開始發生的起始點稱之為「暫時萎凋點」。

然而一般常有現象是每天勤加澆水，卻不見植物長得好，反而枯萎，甚至死亡。探討其原因，是讓土壤隨時處於潮濕狀態，根部會因長期在積水狀態之下，無法行呼吸作用，以致組織壞死而腐爛，造成全株枯萎。因為植物根系必須在土壤團粒結構中行呼吸作用，亦即由孔隙中吸收氧氣，呼出二氧化碳，若長期積水，土壤孔隙中沒有空氣，植物根部會窒息而死亡。水分何時供給和需要量多少，會依植物發育階段、光量、空氣流動量、溫度、濕度、土壤質地與排水等狀況而定。

所以澆水還肩負著另一項任務，就是幫植物置換土壤中的空氣，雖然植物之光合作用原料及生理代謝所需的水量，遠遠少於我們澆水的總量，但我們必須利用一次大量澆水，來排擠根系因呼吸作用所排出存留在土壤團粒結構中的二氧化碳，再經過一段時間水分逕流及乾燥過程中產生之吸引力置換新鮮空氣，得以讓根系呼吸正常伸展，所以每次澆水應一次澆透直至飽和，把孔隙內根部所排放之二氧化碳徹底排出，然後直至一段時間後再澆(不得超過暫時萎凋點之前)，是大多植物的正常澆水模式，適度的讓根系經歷乾燥期如此才會刺激根系伸長。

掌握澆水之基本模式後，必須再配合樹種、天候及環境作為澆水模式調整之依據，例如澆水時間以早晨或傍晚為佳，盛夏中午高溫達 30°C 以上不宜澆水。但若持續高溫時應視植栽生長需求及天候狀況經常澆水以維成活良好。

供水方法包括：人工灌水、固定噴頭法、畦溝灌水法、軟管灌水法、滴灌法

等，軟管澆水及滴灌澆水法常使用在水源不足之地區，其供應之水量就僅能達到光合作用及生理代謝所需的水量，可視情況而加以選擇。通常有灌水設施的綠帶，在管理維護時只需維持設施的正常運作，並依前述原則，定期供水即可。無設施時，則採用人工應變方式灌水。

(二)養分管理

本章節所討論的養分管理對象是移植的受保護樹木，而傳統的樹木移植概念上，剛移植的樹木因根系數量可能相對少於在移植前，因此不建議在種植後立即添加肥份，過多的養分可能造成 EC 值過高，導致移植的樹木產生水分逆境及根系傷害，必須等根系展開至新植地的土壤中後才會進行正常的養分管理，此點在受保護樹木的移植也是相同的，但不同的是受保護樹木移植一段時間後的養分管理模式會與促進苗木快速成長之施肥目的有所不同。

受保護樹木理論上都是生理成熟、成長率緩慢及體積最大值階段的大樹，因此在養分管理的概念上是以維持樹體不弱化衰敗為原則，植物營養學家發現大多數植物必須的養分元素有：碳、氫、氧、氮、磷、鉀，鈣、鎂、硫、鐵、錳、鋅、銅、硼、鈾、氯、鎳等 17 種，其中碳、氫、氧可由空氣與水充分供應，植物不虞匱乏，其餘養分主要來自土壤礦物、土壤有機質，而土壤礦物與土壤有機質，通常會經由自然界之理化與生物作用，釋放植物所需的大部份營養元素，若定植生育地沒有強酸土、排水不良、土壤密質、有機質缺乏、鹽分過高、重金屬污染等六大問題，那提供移植受保護樹木生長不弱化的必要元素理當足夠，因此只須適度補充即可。

1.施肥時機：

一般可從外部觀察來判斷植物是否需追加施用肥料，廣義來說植物若是缺乏營養元素時，無論是何種元素，最終都會影響到植物的產能器官也就是葉片，而最多的表現就是黃化及落葉，而從黃化的部位及程度又可再做進一步的分析，如老葉黃化或新葉黃化，再細分則是全葉、葉緣、葉尖或葉脈部位，都可做為診

斷之依據，例如氮、鉀、鎂等元素在體內有較大的移動性，磷屬中等，當植物缺乏時，可以從老葉向新葉中轉移，因此這類營養元素的缺乏症大都發生在植物下部的老熟葉片上。反之，鐵、鈣、硼、鋅、銅等元素在植物體內不易移動，這類元素的缺乏症常表現於新生芽、葉上，所以當初步觀察到這類症狀時可能就是需要追加營養元素的時機。

2.植物營養元素缺乏症狀及分辨要領

氮：老葉淡綠→葉尖變黃→全株變黃(植株矮小)。

磷：磷移動性中等，缺乏症狀不集中在老葉或幼葉。葉片成暗綠色及紅紫色→變黃(開花及成熟停頓)。

鉀：老葉尖端及邊緣變黃、白或枯萎→黃色逐漸向葉中心及基部發展→紅棕或棕灰色→徵狀逐漸蔓延至新葉，最後整株枯死(幼葉亦可能發生缺鐵黃化)。

鈣：幼葉葉尖黃白化→葉緣枯萎→葉捲曲，生長點枯死。

鎂：老葉葉脈間斑點，葉緣黃化，葉脈綠色→嚴重時，產生褐變及壞死，終而落葉。

硫：幼葉黃化→整株黃化→生長受阻(葉薄及細長)。

鐵：幼葉黃化→白化→焦枯。

錳：幼葉及老葉皆黃化像缺鎂但葉片變小→葉片中肋及葉脈出現壞疽→有時出現灰斑及葉片捲曲。

鋅：幼葉黃化→焦枯→脫落(植株生長矮小，長出細葉，且葉片叢集)。

銅：幼葉黃化→尖端枯萎→葉片脫落→莖部頂端向下枯萎、流膠或發生裂果。

硼：生長點歪曲、幼葉畸形，形成許多小新枝或幼芽，隨後幼葉幼芽及新枝死亡，樹皮破裂、流膠出現。

鉬：老葉黃化(缺氮之症狀)，葉子捲曲、狹長。

氯、鎳：植物很少有缺氯、缺鎳現象。

以上為缺乏特定營養元素時可能會產生之徵狀即現象，但在不同樹種及環境下未必會有相同狀況，或是有多種同時缺乏也會有不同表現，僅提供參考，若需更精準診斷，則可藉由土壤分析協助之。

3.施肥方法：

依照不同的肥料商品有相對應適當的施肥方式，操作者必須詳細瞭解所要施用的肥料廠牌建議之施用方法，以發揮其正確之效用，若是液體肥料必須依照建議或適當濃度稀釋，若是固體肥料則建議施用在具吸收能力的根系周邊，因為具吸收能力之根系大都分佈在滴水線下方，而「少量多次」則是避免肥傷的基本概念。詳細之施肥方式可參閱基礎級教材第九章基地改良與實務之肥培管理篇章。

4.注意事項：

施肥時除了注意天候及環境條件外，還需注意元素間之拮抗作用，所謂的「拮抗作用」是指元素被吸收或存在受到了相互抑制作用，可能是在細胞內有二者的共同轉運通道和受體，即是兩樣元素相互競爭同一通道或受體所以會有一樣元素多另一樣元素則變的很少，而造成不平衡。例如：

胺根離子：胺根離子濃度過高時會使鈣離子的吸收量降低。

鈣離子：當鈣離子濃度增加時，則對胺根離子、錳、硼、鋅的吸收會減少。

鉀離子：鉀離子含量過高時會與鈣、鎂元素產生拮抗作用降低對鈣、鎂元素的吸收，且會對胺根離子產生抑制作用。

鐵離子：鐵離子含量過高時會與錳、磷離子產生拮抗作用。

所以有時候植物產生缺肥症狀時，並非真正的單純缺乏，有時是元素的交互作用，最常見的就是指元素間的拮抗作用，這是一種因為某種營養元素的過量，因而抑制另一種元素的吸收利用之現象，最常見的有氮與鉀間的拮抗、磷與鋅間的拮抗、鉀與鎂之間的拮抗作用，另外氮也會與鈣競爭使鈣素之吸收量降低，因此若提高施肥量卻得不到相對的補充反應時，操作者就必須做更進一步的思考，

而不是一味的加重施肥。

(三)樹木保護措施

受保護樹木經移植後就應視為該樹永存直至自然衰亡之最終棲息地，因此樹權單位應盡所有可能進行保護，一般定植後對於樹木最大的衝擊就是人為活動造成生育的土壤硬化密實，如何減輕對樹木根圈土壤衝擊，最積極作法在於阻斷基地土壤過度使用的問題，通常可直接架設保護區域圍欄，嚴禁人為進入干擾。



圖 7-31 直接架設保護區域圍欄，嚴禁人為進入干擾

但對於受保護樹木來說讓人瞻仰親近也是其價值的一環，若是都不讓人靠近，有時也可能矯枉過正流於形式，失去其保護之意義，所以如須讓人可親近該樹，可劃定特殊固定動線，引導人們在特定動線內進行親近行為，或是架高平台設施，以阻隔人員踐踏夯實，將對生育基地土壤的直接衝擊因素降至最低。同時設立保護解說牌，來喚醒親近民眾對於樹木保護的共鳴。



圖 7-32 架高平台設施，以阻隔人員踐踏夯實

定植同時也須規劃未來執行維護管理的適當空間，預留機具可進入操作之可能性，而定植地若是位於空曠之環境，且有落雷之機率時，也可設置避雷設備進行保護。詳細之避雷方式請參閱進階級的樹木保護專業人員教材中第五章「樹木支撐與避雷系統」。

(四)病蟲害管理

通常受保護樹木在移植前勢必會對於該樹進行健康管理，排除所有會干擾移植存活的病蟲害後才進行移植操作，在移植當下該樹理論上是處於最優勢的狀態，因此在定植後，初期無須進行特定的病蟲害管理作為，至於日後會發生的病蟲害在進階級的樹木保護專業人員教材中「樹木疾病蟲害健康管理」與「進階樹木健康檢驗」兩章節，就是本次之培訓重點，內容十分具參考價值，本章節則不再概述之，請學員參閱前兩章教材。

(五)基地環境管理

光線、溫度、水分(雨)、土壤和空氣(風)等為影響定植後樹木生育之主要基地環境因素，我們就其影響分別進行說明：

1.光線：

理論上受保護樹木申請移植前對於定植生育地完成評估，光線照度應該都是超越「最少需光量」(樹木生存所必需之最起碼的受光量)，定植後則必須留意

是否有後來的設施物或是臨時的遮蔽物出現，來影響其照度導致生長異常，必須進行排除作業。而光的另一種影響光週期主要是影響植物的開花與否，除非該樹的開花現象是該樹的重要價值，否則在此節較不會進行該項討論。

2.溫度：

氣溫為左右樹木光合、呼吸、蒸散作用等代謝活動及樹木發芽、成長、開花、結實、休眠等發育之重要因子。倘若溫度過低或過高，就會導致種種障礙，影響樹木的生育。臺灣位處亞熱帶及熱帶氣區，除非該樹根系生長發育不良，因此在該區能生長達到受保護樹木規格之樹種，鮮少會有熱障礙現象，亦少有凍傷疑慮，因此對於受保護樹木定植後的溫度管理，需多加注意的時期則落在剛定植後根系尚未全面展開之時，要慎防突如其來的高溫及寒害。

3.水分(雨)：

臺灣島每年的雨水量相當大，平均年降雨量大約 2500 毫米左右，是世界平均雨量的 3 倍之多，尤其是突發之強降雨，因此受保護樹木的保護範圍邊緣，建議設置抽水陰井，可隨時進行人工強制排水作業，以備突發之強降雨造成的積水傷害。



圖 7-33、設置簡易式浮球式自動排水陰井

4.土壤：

在都市地區土壤有機質較容易缺乏，因此受保護樹木定植後的維護管理中，持續補充土壤有機質是維持土壤優良理化性質的方式之一，後續也可對生育地進行土質硬度監測，定期使用儀器例如土壤硬度計、EC 檢測儀及 pH 值測定器等進行量測，再配合土壤採樣分析等手段，來決定何時需添加有機質或改善土質，以維持生育的土壤之優良性質。



圖 7-34、長谷川貫入式土壤硬度計

5.空氣(風)：

適度的風可促進地面蒸發及葉片蒸散作用，隨著這些蒸散與蒸發，由於周圍之熱量被奪去，因而能降低樹木體溫及地面溫度，可達到提高養分、水分之吸收效率。但在臺灣則需留意颱風及東北季風所帶來的瞬間強風，因此在有可能發生強風的季節，可搭設臨時固定物如支柱、鋼索等來進行即時的輔助保護。

(六)養護期

一般大型樹木定植後，針對上述的養護工作，建議至少需維持 1 年以上，再依照定植當下樹冠幅與未移植前樹木在原生育地初始樹冠之減少比率逐步增加，例如定植當下若樹冠幅減少 30%，則養護期需增加至 2 年以上，若樹冠幅減少 50%則養護期需增加至 3 年以上，尚可依照樹木種類特性再進行養護期調整。若

「受保護樹木移植及復育施工規則」頒定後則應遵循其規範之養護期為準。

第五節、追蹤與紀錄

對定植後的受保護樹木進行追蹤與紀錄是最積極的樹木保護層面，在經費與許的情況下建議可執行下列手段：

(一)制定管理檢核表

移樹單位在定植後的養護期，應建立管理檢核紀錄，供樹權單位稽查。表 7-4 為節錄臺北市樹木移植維護管理階段應辦事項檢核參考表之部分內容提供參考，稽查單位可自行訂定之。

(二)建立基本資料

針對樹種基本資料、健康程度及棲地環境、修剪養護時間等…詳細紀錄，將其資料以電子化作業匯入至系統資料庫中。基礎資料的建立，對於日後的管理者能有效提出具體依據，進行管理決策。

(三)製作樹木掛牌(QR-Code)

設立保護解說牌，內容可包括樹種、樹徑、樹圍、樹高、樹冠幅、樹木特性、樹木習性及特殊價值歷史意義等資料，甚至可將移樹的過程，製作成解說牌，來喚醒親近民眾對於樹木保護的共鳴，若是要表達的資訊過多時，也可製作成 QR-Code 讓民眾掃描下載資料後細細品味。



圖 7-35、設立保護解說牌

(四)通報系統(QR-Code)

可於樹木解說牌上或另立標示說明通報管道，讓其一般親近民眾協助檢視該樹生育狀態，若民眾有發現該樹生育不良、遭人為破壞或相關疑問時，都可以藉由通報系統加以通報或尋求理解，以期望填補管理間隔期之突發風險管控。

(五)健康檢查及風險評估

除定期進行樹木初步健康檢查，除可採用目視觀察判定外，亦使可用高科技儀器測量，對樹體進行試驗及紀錄，蒐集資料供樹權單位執行相關保護操作。在進階級的樹木保護專業人員教材中「進階樹木健康檢驗」與「樹木風險評估與實務」兩章節，就是本次之培訓重點，內容十分具參考價值，本章節則不再概述之，請學員參閱前兩章教材。

表 7-4、臺北市樹木移植維護管理階段應辦事項檢核參考表部分內容

項次	內容	是	否	備註
1	定植完成之後，是否依樹種特性、環境及氣候適時、適量澆水灌溉，以保持土壤介質濕潤。			
2	定植地點應配合土壤排水能力、環境、氣候及樹種特性，規劃設置適當排水系統以避免積水而影響樹木生長。			
3	適時於植穴進行補土及鬆土。			
4	集水坑是否已復原(是否於萌芽成葉後將集水坑整平復原)。			
5	日常是否有確實清除雜草作業。			
6	遇天災或豪雨時是否有確實巡視加強注意排水情形。			
7	是否維持基地範圍環境之整潔。			
8	樹幹包裹保護材料是否完整。			
9	基地排水是否良好，排水不良之處置： _____			
10	樹木是否健康無感染病蟲害，病蟲害感染之處置： _____			
11	樹木支架是否牢固。			
12	支架綁繩是否過緊。			
13	基地原有樹木是否受損。			
14	定植後是否有符合圖說規定。			
15	移植完成而尚未驗收前或假植期間移工程單位是否於每月 15 日提送上個月養護資料予監造單位，並是否每月會同監造單查驗 1 次。			
16	保活期間是否每月提送養護資料予樹木管理單位，爾後每季是否查驗 1 次。			

承辦人：

複核：

主管：

*1：機關得依實際需求修訂表格內容。

*2：本表由樹木移植之申請機關或該委外監造填寫。

*3：本表勾稽應全數填寫，若選「否」於備註欄加原因。



圖 7-36、應力波斷面顯像儀檢測

樹保高級題庫

第七章、移植施工與養護實務

編者註：以下簡答題為作者提供教師與學員授課參考

簡答題：

1.	請說明裸根苗、土球苗及容器苗各自的優缺點？
2.	「樹木移植應剪除 1/3 樹冠以平衡根系損失，有利於樹木存活」請問上述是否正確？請說明原因。
3.	請簡述種植容器苗時的重要步驟及注意事項。

題庫

高級樹木保護專業人員培訓考選題庫

第一章 樹木風險評估與實務

一、是非題：

答案		
(X)	1.	生育地的改變通常只對樹木造成負面影響，沒有正面的影響。
(O)	2.	風險評估時，通常以正常的天氣模式和生育地歷史作為評估基準。
(O)	3.	當風速達到蒲福風級的 10 級風時，即使是無缺陷的樹木也可能斷落。
(X)	4.	風速在地面最強，所以矮的樹或低海拔的樹會比高大的樹、山頂上的樹受到更強的風力。
(O)	5.	當累積降水量與強風同時發生時，則樹木斷落的可能性將增加。
(X)	6.	在北半球，朝南和朝西的斜坡，陽光的直接照射較少，通常具有較薄的土壤層。
(O)	7.	當土壤含水量飽和時，樹木容易風倒，特別是淺根的樹。
(O)	8.	壓縮材通常具含量較高之木質素及較細小之纖維素。
(O)	9.	一棵外觀看起來健康且結構健全的樹木，仍可能具嚴重的內部腐朽。
(X)	10.	具腐朽外觀的樹木，代表樹木即將一定會傾倒。
(X)	11.	樹木腐朽區隔化 (CODIT) 中，第一道壁的防禦是四道壁中最薄弱的，主要抵抗腐朽向樹幹中心擴散。
(X)	12.	U 型等勢幹較 V 型等勢具有較高的劈裂、斷裂風險。

二、 單選題：

答案		
(3)	1.	都市樹木常見議題哪一項與生命財產關係最密切？ (1)樹木移植 (2)樹木修剪 (3)樹木風險 (4)樹木生態效益
(2)	2.	英國國家樹木安全小組(NTSG)所提出的「樹木風險管理的基本原則」，下列何者有誤？ (1)樹木是活的生物(有機體)，且會自然地掉落樹枝或傾倒 (2)樹木對人類安全的風險是高的 (3)樹木所有人(業主)有法律上的注意責任 (4)樹木所有人(業主)應採取適當的樹木安全管理做法
(2)	3.	以辨別、評估、緩解、監控和告知等方式，來調控樹木風險，稱為： (1)樹木風險評估(tree risk assessment) (2)樹木風險管理(tree risk management) (3)樹木風險衡量(tree risk evaluation) (4)樹木風險標的(tree risk target)
(1)	4.	識別、分析和評估樹木風險的系統化過程，將風險依照發生的可能性和後果的嚴重性做分級或量化，稱為： (1)樹木風險評估(tree risk assessment) (2)樹木風險管理(tree risk management) (3)樹木風險衡量(tree risk evaluation) (4)樹木風險標的(tree risk target)
(3)	5.	將評估出的樹木風險與既定的風險標準作比較，以決定該風險的重要性，稱為： (1)樹木風險評估(tree risk assessment) (2)樹木風險管理(tree risk management) (3)樹木風險衡量(tree risk evaluation) (4)樹木風險標的(tree risk target)

答案		
(4)	6.	樹木風險評估術語中的「可能性(likelihood)」可被用來指下列哪個事項？ (1)樹木的一部分斷落(塌壞)發生的機會 (2)樹木的一部分撞擊特定標的的機會 (3)樹木斷落(塌壞)並撞擊到特定標的物的機會 (4)以上皆是
(1)	7.	估計事件的發生機率和後果的數值，然後產生一個風險等級數值，稱為： (1)量化之風險評估 (2)質化之風險評估 (3)風險評估方法 (4)以上皆非
(2)	8.	對於事件的可能性與後果加以評分，藉此決定風險之等級，稱為： (1)量化之風險評估 (2)質化之風險評估 (3)風險評估方法 (4)以上皆非
(2)	9.	下列何者為目前國際上眾多政府和企業認可和推薦之樹木風險評估方法？ (1)量化之風險評估 (2)質化之風險評估 (3)以上皆是 (4)以上皆非
(4)	10.	樹木風險等級受下列哪些因子決定？ (1)樹木斷落(塌壞)的可能性 (2)斷落(塌壞)後撞擊標的物的可能性 (3)撞擊標的物的後果 (4)以上皆是

答案		
(3)	11.	下列有關樹木風險評估的工作範疇(scope of work)之敘述，何者不正確？ (1)確認受評估的樹木或區域 (2)訂定評估的層級細節 (3)以口頭報告為主，不一定要書面型式報告 (4)報告通常包含樹木風險評等和緩解風險的選項及建議
(2)	12.	下列何者是樹木風險評估者的「注意責任」？ (1)確保樹木周遭的人或財產，有合理程度的安全 (2)在執行工作時，使用普遍接受的注意標準 (3)一個合理謹慎的人，在相同或相似情況所應行使的注意程度 (4)維護職業道德規範和誠信是極為重要的
(1)	13.	從樹木的一邊經過或上空飛過進行目視評估，尋找明顯的缺陷處，是屬於哪一層級評估？ (1)有限的目視評估 (2)基本評估 (3)進階評估 (4)高階評估
(1)	14.	步巡、開車巡視和空中巡查，是屬於哪一層級評估？ (1)有限的目視評估 (2)基本評估 (3)進階評估 (4)高階評估
(2)	15.	於地面上徹底繞行樹木，並檢視生育地、板根、主幹和枝條；並檢視樹冠形狀與周圍的環境，是屬於哪一層級評估？ (1)有限的目視評估 (2)基本評估 (3)進階評估 (4)高階評估
(2)	16.	使用樹徑尺、量角器、捲尺、望遠鏡或放大鏡等工具協助檢測，是屬於哪一層級評估？ (1)有限的目視評估 (2)基本評估 (3)進階評估 (4)高階評估

答案		
(1)	17.	有限的目視評估(limited visual assessment)在樹木風險評估層級中屬於哪一級？ (1)第一級 (2)第二級 (3)第三級 (4)不一定
(2)	18.	基本評估(basic assessment)在樹木風險評估層級中屬於哪一級？ (1)第一級 (2)第二級 (3)第三級 (4)不一定
(3)	19.	進階評估(advanced assessment)在樹木風險評估層級中屬於哪一級？ (1)第一級 (2)第二級 (3)第三級 (4)不一定
(1)	20.	當時間和資源有限時，要評估大量樹群時相對快速的評估層級，是屬於哪一級？ (1)第一級 (2)第二級 (3)第三級 (4)不一定
(2)	21.	對大部分客戶的樹木風險評估需求，所會執行的標準評估層級，是屬於哪一級？ (1)第一級 (2)第二級 (3)第三級 (4)不一定
(4)	22.	下列何者是基本評估(basic assessment)的限制？ (1)僅能從地面檢查到樹木的狀況 (2)樹木內部、地面下的因素難以評估 (3)樹冠頂層的因素難以評估 (4)以上皆是

答案		
(3)	23.	空中檢查(樹冠檢查)是對樹木地上部的檢查，特別是那些從地面上不容易看見之部分，是屬於哪一層級評估？ (1)有限的目視評估 (2)基本評估 (3)進階評估 (4)高階評估
(3)	24.	鑽孔和聲波評估儀器測量，是屬於哪一層級評估？ (1)有限的目視評估 (2)基本評估 (3)進階評估 (4)高階評估
(3)	25.	根系評估(根系檢查與衡量)，是屬於哪一層級評估？ (1)有限的目視評估 (2)基本評估 (3)進階評估 (4)高階評估
(3)	26.	實驗室分析鑑定有害生物、分析土壤或葉片中營養元素含量，是屬於哪一層級評估？ (1)有限的目視評估 (2)基本評估 (3)進階評估 (4)高階評估
(4)	27.	下列何者是指樹木斷落(塌壞)時的「標的(target)」？ (1)可能受害傷害到的人 (2)可能遭到破壞的財物 (3)可能會遭到中斷的活動 (4)以上皆是
(3)	28.	目標區是指一棵樹木斷落(塌壞)時，可能落下的區域範圍，其半徑一般為樹高的幾倍？ (1)0.5 倍 (2)1.0 倍 (3)1.5 倍 (4)2.0 倍

答案		
(1)	29.	房屋、涼亭或其他建築物是屬於下列哪一種標的？ (1)靜態的標的 (2)可移動的標的 (3)移動中的標的 (4)不一定
(2)	30.	路邊停好的車輛、野餐桌以及流動廁所是屬於下列哪一種標的？ (1)靜態的標的 (2)可移動的標的 (3)移動中的標的 (4)不一定
(3)	31.	道路上的行人、腳踏車以及車輛是屬於下列哪一種標的？ (1)靜態的標的 (2)可移動的標的 (3)移動中的標的 (4)不一定
(1)	32.	靜態、不可移動的標的是屬於哪一種滯留率(occupancy rate)？ (1)持續滯留 (2)經常滯留 (3)偶爾滯留 (4)罕見滯留
(2)	33.	每天或每週大部分時間出現在目標區是屬於哪一種滯留率(occupancy rate)？ (1)持續滯留 (2)經常滯留 (3)偶爾滯留 (4)罕見滯留
(3)	34.	標的很少或不規律的出現在目標區、或可能在短時間內有高使用率，是屬於哪一種滯留率(occupancy rate)？ (1)持續滯留 (2)經常滯留 (3)偶爾滯留 (4)罕見滯留

答案		
(4)	35.	下列何種滯留率(occupancy rate)，可以不必進行樹木風險評估？ (1)持續滯留 (2)經常滯留 (3)偶爾滯留 (4)罕見滯留
(3)	36.	下列有關斷落(塌壞)的後果的敘述，何者正確？ (1)離樹木越近的標的，樹木斷落(塌壞)撞擊的力量會越大 (2)鄰近的樹木與受評估的樹木的風險關係不大 (3)樹木在濕潤或飽和水分的土壤狀況下，較容易發生倒伏 (4)以上皆是
(1)	37.	考量管理層級，下列何者通常會被列為最高優先目標區？ (1)主要道路 (2)郊區道路 (3)休閒農場 (4)河濱公園
(1)	38.	人員傷亡、高價值房產的損害或重要活動的嚴重中斷，是屬於哪一種後果(consequences)？ (1)嚴重 (2)重大 (3)輕微 (4)可忽視
(2)	39.	人員受傷、中至高價位的房產損害或是相當程度的活動中斷，是屬於哪一種後果(consequences)？ (1)嚴重 (2)重大 (3)輕微 (4)可忽視
(3)	40.	人員輕傷、低至中價位的房產損害或是短暫的活動中斷，是屬於哪一種後果(consequences)？ (1)嚴重 (2)重大 (3)輕微 (4)可忽視

答案		
(4)	41.	下列何者為生育地的評估事項？ (1)樹木斷落的歷史 (2)氣候因素 (3)地形 (4)以上皆是
(4)	42.	林分(forest stand) 中的樹木中，下列何者的抗風性最差？ (1)優勢木 (2)等優勢木 (3)亞優勢木 (4)被壓木
(3)	43.	土壤影響樹木生長和穩定性，下列何者不屬於土壤應考慮的主要因素？ (1)體積 (2)深度 (3)溫度 (4)濕度
(3)	44.	下列敘述何者錯誤？ 壓縮材常出現於裸子植物，通常在樹幹、樹枝下側發現，生長具有含量較高之木質素及較細小之纖維素木材組織 木質部細胞具有細胞壁 長壽命之樹種通常以新的生長來克服環境逆境，生長策略上傾向利用較多資源盡可能的生長，如榕樹、構樹等 樹木的健康與活力是參考的重要指標之一
(3)	45.	在外力作用下造成木材張力時，提供木材具彈性及強度的木材特性，主要來自於？ 薄壁細胞 木質素 纖維素 射髓
(2)	46.	創傷木 (癒傷組織) 的形成，主要源自於？ 韌皮部受損 形成層受損 木質部受損 真菌入侵

答案		
(1)	47.	下列敘述何者錯誤？ 褐腐感染初期病原菌會主要降解木質素，與不同程度的降解纖維素及半纖維素，留下潮濕、海綿狀之木材 樹木腐朽區隔化的目的是停止或減緩腐朽生物進入健康的木材 一般來說，根腐難以檢測和評估，因為其程度和嚴重性在基本的外觀檢查中不易觀察 樹皮若有機械外傷或破損，通常病原體可透過傷口侵入樹體
(4)	48.	下列有關射髓的敘述，何者正確？ 主要為垂直運輸養分、儲存能量 只存在於單子葉植物中 可形成樹木腐朽區隔化之第 1 道壁，利用堵塞假導管和導管，抵抗沿微管束系統向上或下擴散的腐朽 為沿木質部及韌皮部輻射向生長的特化細胞
(4)	49.	當評估造成樹木負重的因子時，通常不會考慮以下何種因子？ 樹葉密度 樹木本身負重 風力所造成的負重 當樹木傾倒時，會影響的標的物，如行人、車輛
(4)	50.	當樹幹樹皮出現嚴重之橫向裂紋時，代表以下何種情形？ 可能發生過度的施力於樹幹本身 裂紋裡的纖維組織可能發生部分斷裂或變形 傾倒的可能性為很可能至即將發生 以上皆是
(3)	51.	不定枝通常在結構連結上較正常發育的側枝脆弱，最主要原因為何？ 不定枝本身與主幹間屬於 U 型連結 不定枝常具內生樹皮 不定枝屬於非結構枝，或與主幹間僅靠樹皮表層連結 以上皆是
(1)	52.	在檢查樹木外觀缺陷的階段，必須考慮？ 可能存在多個缺陷造成樹木傾倒斷裂 標的物的存在頻率可能會是一整天或一整晚 傾倒或斷裂造成標的物的損失嚴重性 以上皆是

答案																																
(4)	53.	當調查樹幹開口空洞時，必須採取何者措施？ 量測樹洞大小 確認樹洞位在樹幹橫切面之位置 判斷傷口癒合速度與腐朽速度所造成之影響 以上皆是																														
(3)	54.	下列何者非決定樹木塌壞可能性的因子？ (1) 樹木的基本結構 (2) 樹木的缺陷狀況 (3) 標的在樹木影響範圍內的滯留率 (4) 樹木是否有反應生長																														
(2)	55.	下列何者為決定樹木影響標的可能性的因子？ (1) 樹木的負重 (2) 標的在樹木影響範圍內的滯留率 (3) 樹木的缺陷狀況 (4) 標的的價值																														
(4)	56.	下列何者為決定樹木影響後果的可能性的因子？ (1) 樹體大小 (2) 樹體的掉落距離 (3) 標的物的價值 (4) 以上皆是																														
(3)	57.	如下列矩陣所示，如果一株樹木的塌壞可能性為很可能，影響標的的可能性為高，那麼其發生塌壞且影響到標的的可能性為何？ <table><tr><td>塌壞可能性</td><td colspan="4">影響標的可能性</td></tr><tr><td></td><td>非常低</td><td>低</td><td>中</td><td>高</td></tr><tr><td>即將發生</td><td>不太可能</td><td>有點可能</td><td>可能</td><td>非常可能</td></tr><tr><td>很可能</td><td>不太可能</td><td>不太可能</td><td>有點可能</td><td>可能</td></tr><tr><td>可能</td><td>不太可能</td><td>不太可能</td><td>不太可能</td><td>有點可能</td></tr><tr><td>不太可能</td><td>不太可能</td><td>不太可能</td><td>不太可能</td><td>不太可能</td></tr></table> (1) 不太可能 (2) 有點可能 (3) 可能 (4) 非常可能	塌壞可能性	影響標的可能性					非常低	低	中	高	即將發生	不太可能	有點可能	可能	非常可能	很可能	不太可能	不太可能	有點可能	可能	可能	不太可能	不太可能	不太可能	有點可能	不太可能	不太可能	不太可能	不太可能	不太可能
塌壞可能性	影響標的可能性																															
	非常低	低	中	高																												
即將發生	不太可能	有點可能	可能	非常可能																												
很可能	不太可能	不太可能	有點可能	可能																												
可能	不太可能	不太可能	不太可能	有點可能																												
不太可能	不太可能	不太可能	不太可能	不太可能																												

答案																															
(3)	58.	如下列矩陣所示，如果一株樹木發生塌壞且影響到標的的可能性為非常可能，影響的後果為輕微，那麼其風險等級為何？ <table><tr><td rowspan="2">塌壞並影響可能性</td><td colspan="4">影響的後果</td></tr><tr><td>可忽視</td><td>輕微</td><td>重大</td><td>嚴重</td></tr><tr><td>非常可能</td><td>低度</td><td>中度</td><td>高度</td><td>極度</td></tr><tr><td>可能</td><td>低度</td><td>中度</td><td>高度</td><td>高度</td></tr><tr><td>有點可能</td><td>低度</td><td>低度</td><td>中度</td><td>中度</td></tr><tr><td>不太可能</td><td>低度</td><td>低度</td><td>低度</td><td>低度</td></tr></table> (1) 極度 (2) 高度 (3) 中度 (4) 低度	塌壞並影響可能性	影響的後果				可忽視	輕微	重大	嚴重	非常可能	低度	中度	高度	極度	可能	低度	中度	高度	高度	有點可能	低度	低度	中度	中度	不太可能	低度	低度	低度	低度
塌壞並影響可能性	影響的後果																														
	可忽視	輕微	重大	嚴重																											
非常可能	低度	中度	高度	極度																											
可能	低度	中度	高度	高度																											
有點可能	低度	低度	中度	中度																											
不太可能	低度	低度	低度	低度																											
(1)	59.	樹木的整體風險等級如何決定？ (1) 各項塌壞因子與標的的組合中風險最高者 (2) 各項塌壞因子與標的的組合中風險最低者 (3) 各項塌壞因子與標的組合之風險相加總 (4) 依最終樹木傾倒的可能性來判定																													
(2)	60.	下列敘述何者為非？ (1) 讓樹木維持完全無風險是不可能的 (2) 當樹木被評估為高度風險時，則代表其超出可接受的風險範圍 (3) 安全並非風險管理者建立可接受風險層級的唯一基準 (4) 風險的對應措施會依業主的需求而異																													
(1)	61.	以樹木為主的緩解措施通常是透過減少哪項因子來降低風險？ 樹木發生塌壞的可能性 樹木影響標的的可能性 塌壞造成的後果 以上皆是																													
(1)	62.	下列何者為以標的為主的緩解措施？ (1) 圍設警戒區 (2) 修剪 (3) 移除樹木 (4) 架設纜繩																													

答案		
(3)	63.	在樹木具極度風險的情形下，下列哪項緩解措施可能較不適當？ (1) 移除現有標的 (2) 修剪 (3) 棲地改良 (4) 移除樹木
(4)	64.	修剪為常見緩解措施之一，下列何者非其降低風險的方式？ 透過樹冠清理，減少枯枝斷裂的可能性 (2) 透過樹冠疏剪，降低樹冠的負重 (3) 透過樹冠提升，減少對周邊人車的阻礙 (4) 透過降低樹木的尖削度，增加樹木對風的抵抗能力
(4)	65.	下列敘述何者為是？ 結構上無缺陷的樹木，即為無風險的樹木 樹木通常會針對所有具塌壞可性的部分進行緩解措施 當樹木進行緩解措施後，通常便不再有風險 當樹木的殘留風險大於可接受的風險，就要重新擬定緩解措施
(2)	66.	下列敘述何者為非？ 當樹木的風險越高，其所能處理的時效也就越短 極度風險的樹木通常會於工作期程或修剪周期允許時方進行緩解 中度風險的樹木可能會於數年內僅進行監測，而不採取緩解措施 低度風險的樹木通常不需要緩解處理
(2)	67.	下列關於風險評估書面報告之敘述何者正確？ 書面報告必須以完整報告書的方式呈現 書面報告的內容必須包含評估的日期、人員、地點及清楚的狀況描述 書面報告具有較佳的即時性，可快速得到委託人的回饋 在發現重大風險時，通常會先以書面報告告知委託人，以求精確
(1)	68.	下列敘述何者正確？ 風險評估的對象通常僅限於已知的標的和可見的樹木狀況 風險評估的時間範圍可作為此評估的保證期 只要樹木無結構缺陷，即使承受較大的外力，亦不會發生塌壞 撰寫風險評估報告時，通常不會將本次評估的限制列入

答案		
(3)	69.	下列敘述何者為非？ 隨著檢查間隔時間越長，原有評估的可信度便會越低 當樹木經歷大型颱風或周邊有建築工程時，應再度進行檢查評估 在規劃檢查間隔時間時，應以年作為單位，以利比較狀況的變化 風險等級較高的樹木，通常檢查間隔時間較短

第二章、進階樹木健康檢驗

一、是非題：

答案		
(O)	1.	樹木檢查發現必要時或有特別目的時，可以採取精密儀器或非破壞技術，實施進階樹木健康檢驗，以更進一步了解樹木的問題。
(O)	2.	各種不同的非破壞性技術來檢測樹木，有其優缺點及限制性。
(X)	3.	為了更進一步瞭解樹木內部狀況，不必評估利害關係，即使會傷害樹木也要進行樹木檢驗。
(O)	4.	未來科技、技術、儀器陸續發展，樹木健康檢驗的技術將陸續更加便利、改善或精確，因此，要隨時掌握最新資訊。
(X)	5.	為了作為評估、診斷、處置最好的決定，無論樹木狀況如何，可以使用所有已知的非破壞性技術及方法，進行樹木健康檢驗，以獲取最精確完整的樹木資訊。
(X)	6.	使用生長錐技術進行樹木鑽孔檢驗，是完全不會傷害樹木的方法。

二、 單選題：

答案		
(4)	1.	一般樹木檢查法的順序，由簡單到詳細，下列何者正確： (1)目視檢查、精密儀器檢驗、工具檢測 (2)工具檢測、目視檢查、精密儀器檢驗 (3)精密儀器檢驗、工具檢測、目視檢查 (4)目視檢查、工具檢測、精密儀器檢驗
(4)	2.	下列哪項是屬於非破壞性技術可以應用來檢測樹木： (1)音響性法 (2)鑽孔抵抗法 (3)電阻抵抗法 (4)以上皆是
(4)	3.	下列哪項是屬於工具性檢查樹木方法： (1)目診 (2)打診 (3)觸診 (4)以上皆是
(4)	4.	下列非破壞性技術哪項是屬於侵入性或微(半)破壞檢查樹木方法： (1)超音波或應力波法 (2)鑽孔抵抗法 (3)電阻抵抗法 (4)以上皆是
(3)	5.	下列哪項是屬於完全非侵入性檢查樹木方法： (1)超音波法 (2)輻射線法 (3)紅外線(熱)影像法 (4)應力波法

第三章、 樹木疫病蟲害健康管理

一、 是非題：

答案	
O	柯霍氏法則 (Koch's postulates) 是判定植物病因「因果關係」最基本的依據。
O	樹木健康的定義是指自種子發芽開始，皆依循正常的生理程序，進行生長、同化、代謝、生殖、反應、調適等。
O	植物病因診斷錯誤會導致後續防治處方失去意義。
O	樹木對外傷的圍堵反應簡稱為 CODIT。

三、 單選題：

答案		
(4)	1.	下列何者為樹木病害微觀診斷使用的設備？ (1)放大鏡 (2)酸鹼度儀 (3)光度計 (4)顯微鏡
(3)	2.	針對整排行道樹進行樹木病害分佈型態之診斷可歸為： (1)微觀診斷 (2)巨觀診斷 (3)宏觀診斷 (4)分子診斷
(4)	3.	樹木病害的確定診斷常須符合那一法則？ (1)虎克法則 (2)巴斯德法則 (3)牛頓法則 (4)柯霍氏法則
(2)	4.	依據樹木葉片的病徵進行之診斷可歸為： (1)分子診斷 (2)巨觀診斷 (3)宏觀診斷 (4)微觀診斷
(3)	5.	依據樹木葉片中污染物質的累積量進行之病害診斷可歸為： (1)分子診斷 (2)巨觀診斷 (3)化學診斷 (4)宏觀診斷
(4)	6.	在臺灣地區鳳凰木除了褐根病以外最常出現的根基部病害為： (1)根腐病 (2)根瘤線蟲 (3)立枯病 (4)靈芝根基腐病

答案		
(2)	7.	在臺灣地區樟樹的枝葉最常出現的病蟲害為： (1)葉斑病 (2)樟白介殼蟲 (3)輪點病 (4)藻斑病
(3)	8.	樹木褐根病的確定診斷除了病徵以外，最可靠的依據為： (1)分子診斷 (2)根系診斷 (3)病菌的分離培養 (4)化學診斷
(1)	9.	在田間估算樹木族群中發病的百分比可稱之為： (1)發病率 (2)死亡率 (3)流行率 (4)嚴重度
(4)	10.	樹木木材的白腐菌是可分解木材中的： (1)纖維素 (2)半纖維素 (3)木質素 (4)以上皆是
(4)	11.	樹木藥劑注射常使用的藥劑大多屬於何者？ (1)農用藥劑 (2)環境用藥 (3)營養劑 (4)以上皆是
(2)	12.	樹木木材的褐腐菌是可分解木材中的： (1)醣類 (2)纖維素 (3)木質素 (4)以上皆是

答案		
(3)	13.	樹木木材的軟腐菌一般是屬於： (1)擔子菌 (2)卵菌 (3)子囊菌 (4)藻類
(1)	14.	在臺灣地區櫻花的莖部最常出現的病蟲害為： (1)流膠病 (2)炭疽病 (3)疫病 (4)膏藥病
(4)	15.	在臺灣地區桃花心木根基部最常出現的病蟲害為： (1)潰瘍病 (2)輪斑病 (3)腐黴病 (4)褐根病
(3)	16.	在顯微鏡下區別擔子菌與子囊菌其菌絲最大的差別是前者會有特殊的菌絲突起稱為： (1)配子體 (2)節生體 (3)扣子體 (4)菌質體
(4)	17.	在臺灣地區松樹除了松材線蟲以外具有致命性的病蟲害為： (1)樟疫黴 (2)褐根病 (3)松斑天牛 (4)以上皆是
(3)	18.	樹木藥劑注射在美國 70 年代開始普遍使用於那一病蟲害？ (1)蠹蟲病 (2)松樹萎凋病 (3)荷蘭榆樹病 (4)靈芝根基腐病

答案		
(4)	19.	樹木疫病蟲害的外科手術醫療施用的藥劑主要為： (1)殺蟲劑(2)殺菌劑 (3)抗腐朽藥劑 (4)以上皆是
(4)	20.	樹木疫病蟲害經過外科手術後對傷口的處理宜考慮者有： (1)防止病菌入侵 (2)防止白蟻入侵 (3)增加抗風能力 (4)以上皆是
(3)	21.	下列何者無法利用「彎嘴尖鑷」技術，觀察染病根系並快速鏡檢及診斷土媒病害？ (1)立枯絲核菌 (2)軟腐細菌 (3)靈芝菌 (4)根瘤線蟲
(1)	22.	下列何者為防治樹木白蟻之重要用藥？ (1)亞特松 (2)因得克 (3)二福隆 (4)蘇力菌
(1)	23.	樹木褐根病常用施藥方法不包括下列何者： (1)高位噴藥 (2)土壤藥劑注射 (3)樹木藥劑注射 (4)混土法施藥
(3)	24.	針對害菌及害蟲的樹木診療，建議採複方用藥的原因： (1)精準用藥 (2)早期診斷與防治 (3)避免產生抗藥性 (4)增進木材品質

答案		
(4)	25.	「樹木藥劑注射」的優點為下列何者：： (1)減少噴灑化學藥劑帶來環境污染 (2)於莖基部注藥即可運送至全株 (3)提高藥劑接觸病原真菌、細菌或昆蟲可能性 (4)以上皆是
(4)	26.	樹木清創後的腐朽防治施作，主要為避免： (1)褐根病 (2)靈芝根基腐病 (3)菌朽蟲蛀 (4)以上皆是
(4)	27.	樹木褐根病的傳播預防，應優先採用： (1)傷口保護 (2)樹木藥劑注射 (3)混土施藥 (4)健株與病株的隔離
(2)	28.	樹木修剪或清創處理後，保護傷口免於腐朽菌侵害的主要方法： (1)注射預防藥劑 (2)傷口塗佈保護藥劑 (3)土壤灌注藥液 (4)隔離病株
(4)	29.	下列何種病原，會造成根腐病害，並好發於淹水期及苗期？ (1)軟腐病菌 (2)鐮孢菌 (3)疫病菌 (4)腐霉菌
(2)	30.	腐朽樹木之分級救治策略，何者錯誤？ (1)健康樹木之預防級：注意樹皮傷害與修剪時菌朽蟲蛀 (2)極輕微之早期防治：對各價值之樹木皆採「藥劑注射」 (3)一級傷口或腐朽之防治：高價值樹木注射、施藥，低價值樹木「以新植取代病樹」 (4)二級以上傷口或腐朽之防治：僅針對珍貴價值樹木進行防治處理

二、 多選題：

答案	
C	疫情嚴重度估計中，「發病率」通常以何種單位表示？ (A) 平方公尺 (B) 公斤 (C) 百分比 (%) (D) 級數。
A	依據診斷尺度分類，觀察田間農林植物群體的受害分佈屬於何者？ (A) 宏觀診斷 (B) 巨觀診斷 (C) 微觀診斷 (D) 分子診斷。
D	下列何者是影響樹木健康的主要因子？ (A) 疫病蟲害 (B) 逆境因子 (C) 外傷 (D) 以上皆是。
B	依尺度分類，利用顯微鏡進行的診斷稱為？ (A) 巨觀診斷 (B) 微觀診斷 (C) 分子診斷 (D) 空拍診斷。
C	柯霍氏法則中，第四條的主要目的是？ (A) 縮短診斷時間 (B) 確定病原可純種培養 (C) 慎重其事，要求可重複驗證 (D) 評估損害量。
A、 B、 C、D	關於木質素 (Lignin) 的敘述，下列何者正確？ (A) 具疏水性 (B) 具抗菌功能 (C) 針葉樹含量高於闊葉樹 (D) 含有苯環。
B	下列哪一種診斷類型屬於「依精確度或品質分類」？ (A) 分子診斷 (B) 嗅覺診斷 (C) 空拍診斷 (D) 死亡害因診斷。
C	植物醫師診斷作業中，針對「進出口農產品」進行的診斷屬於？ (A) 流行病學診斷 (B) 損害量診斷 (C) 進出口檢疫診斷 (D) 藥害鑑定診斷。
B	下列何者屬於樹木的「二次代謝產物」，具防禦與顯色功能？ (A) 葡萄糖 (B) 植化素 (C) 蛋白質 (D) 脂肪。
A、 B、 C、D	柯霍氏法則的四個步驟包含？ (A) 病原必出現於每一病株 (B) 可純種培養 (C) 接種健康植株必發病 (D) 發病後可再分離。

第四章、樹木保護用藥及農藥之合理安全施用與實務

一、是非題：

答案		
(X)		樹木需要用藥時，如果是害蟲就要採用環境保護署的環境用藥。
(O)		一般樹木用藥時，可以在網路上買不列管農藥來使用。
(X)		慢性健康毒害是一種危害防範圖示。 
(X)		在接觸農藥的過程中，消費者接觸到的濃度是遠高於農藥的使用者。
(X)		林木若用藥，需在上市前，查驗林木的農藥殘留。
(O)		在觀賞的玫瑰花上如有斜紋夜蛾的嚴重為害，就可由政府公告的花木夜蛾類用藥中找登記的農藥來使用。
(O)		樹木診療師在用藥上應考慮「長效、高效、無藥害下之最大濃度」。
(O)		環境用藥與農用藥劑的有效成分有許多是相同的。
(O)		在對樹木褐根病進行藥劑注射防治時，應設立安全警示範圍並做好支撐。
(O)		樹木藥劑注射若濃度不足，可能會造成害蟲或害菌產生抗藥性。
(O)		「植物診療師」與「樹木診療師」在藥劑施用邏輯上存在顯著差異。
(O)		農作類用藥多需考慮食安，故一般不能使用「環境用藥」。
(X)		進行土壤澆灌後，兩天內應大量澆水以利吸收。
(O)		樹木保護用藥較不需關心農藥殘留問題，反而需關心「藥物動力學」
(O)		環境用藥殺蟲劑名稱中，「芬普尼」屬於吡唑類。
(O)		土壤澆灌時，若土壤過於乾燥，藥液擴散效果會變差。

答案		
(X)		除蟲菊精類殺蟲劑（如百滅寧）主要是作用於昆蟲的能量代謝系統。
(X)		「污染防治劑」是屬於農藥管理法中的防治類別。
(O)		所謂「藥物動力學」在樹醫用藥上是研究藥物的濃度在樹木體內隨時間的變化。

二、 單選題：

答案		
(2)	1.	農藥的急性毒性分級中，輕毒性是屬哪種顏色的標示帶？ (1) 紅色 (2) 藍色 (3) 黃色 (4) 綠色
(2)	2.	如要進行益達胺用藥的抗藥性，要找下列行動委員會的網站資料較合宜： (1) 殺菌劑抗藥性行動委員會 (2) 殺蟲劑抗藥性行動委員會 (3) 除草劑抗藥性行動委員會 (4) 以上皆非
(1)	3.	針對林木害物，可以施藥的方式有四種，請問哪一種方法的液滴粒徑通常是比較小？ (1) 空噴 (2) 地噴 (3) 澆灌 (4) 注射
(4)	4.	有關農藥混用，下列何者為非： (1) 農藥在登記前評估的藥效都以其成品單劑來進行 (2) 通常希望能省工或是增加藥效 (3) 不適宜的混用會有降低藥效甚至增加藥害的風險 (4) 混用時越多支農藥混用越好
(4)	5.	施用農藥時的順序，A. 溶液、 B. 液肥、C. 尿素、D. 乳劑、E. 可濕性粉劑；混合順序哪一個較合宜？ (1) A、B、C、D、E (2) A、B、D、E (3) D、A、E (4) B、E、A、D

答案		
(3)	6.	施用農藥時應穿戴何種材質的保護手套？ (1)棉質 (2)乳膠 (3)橡膠 (4)塑膠
(3)	7.	農藥液滴粒徑「越小」，對藥劑的影響，何者錯誤： (1)粒徑越小，飄移距離越遠 (2)粒徑越小，越容易蒸發 (3)粒徑越小，藥液更細緻有效 (4)粒徑越小，沉降目標區的藥量越少
(3)	8.	以澆灌方法施作林木用藥，何種錯誤？ (1)應優先選擇具系統性特性的農藥 (2)澆灌時土壤太乾 (3)土壤水分飽合時，施作效果最佳 (4)施作後二天內應避免澆水
(4)	9.	林木害物施藥方法，不包括下列何者？ (1)澆灌 (2)地噴 (3)注射 (4)煙燻
(2)	10.	注射林木用藥的方式，何者正確？ (1)春天較合適。注射傷口小，建議自然癒合 (2)春天較合適。注射傷口應處理避免二度感染 (3)冬天較合適。注射傷口小，建議自然癒合 (4)冬天較合適。注射傷口應處理避免二度感染
(3)	11.	關於混用農藥的注意事項，何者錯誤？ (1)混用時應確認是否有不相容現象 (2)混用後須進行小規模試噴試驗 (3)混用時若農藥可相容，可立即施用無風險 (4)試噴後觀察五天，確認無藥害再大規模施用

答案		
(4)	12.	不列管農藥又稱免登記植物保護資材，其使用範圍不包括何者？ (1)防除有害生物 (2)影響林作物生理功能 (3)調節農林作物生長 (4)促進林作物傷口癒合
(4)	13.	農藥化學品分類中的「健康危害」，不包括下列何者？ (1)腐蝕、刺激皮膚 (2)呼吸道過敏 (3)吸入性危害 (4)水環境危害
(1)	14.	有關農藥的使用方法，何者錯誤？ (1)農藥為防治害物的唯一有效方法 (2)害物密度達到經濟危害水準時，才採用農藥 (3)針對害物，應採先預防、後干預手段 (4)族群密度發生量達到行動閾值時，才施用農藥
(3)	15.	以煙燻或顏色驅趕、設置阻隔避免取食或產卵、以燈光誘捕等方式防治害物，稱為何種防治手段？ (1)耕作防治 (2)生物防治 (3)物理防治 (4)化學防治

三、多選題：

答案	
B	下列何種害蟲在目前的植物保護資訊系統中「無」推薦農藥，常需使用環境用藥？(A) 蚜蟲 (B) 白蟻 (C) 紅蜘蛛 (D) 粉蝨。
A	根據急性毒性分類，對蜜蜂「劇毒」的 LD50 標準為？(A) $\leq 2 \mu\text{g}/\text{bee}$ (B) $\leq 11 \mu\text{g}/\text{bee}$ (C) $> 11 \mu\text{g}/\text{bee}$ (D) $> 100 \mu\text{g}/\text{bee}$ 。
B	針對林木用藥，哪種施藥技術最適合具系統性的藥劑？(A) 噴霧 (B) 澆灌 (C) 燻蒸 (D) 粉劑。
C	下列何者不屬於重要環境害蟲？(A) 蚊子 (B) 蟑螂 (C) 瓢蟲 (D) 螞蟥。
C	益達胺注射刺桐防治釉小蜂，其高濃度有效期間可達約多久？(A) 1 個月 (B) 3 個月 (C) 1 年 (D) 3 年。
D	哪類殺蟲劑主要作用於昆蟲的神經系統？(A) 除蟲菊精類 (B) 有機磷類 (C) 新尼古丁類 (D) 以上皆是。
B	為了避免容易產生抗藥性，樹木藥劑注射多建議使用？(A) 單方 (B) 複方 (C) 純水 (D) 營養液。
B	關於「跨物界藥物」在樹木保護的應用，下列敘述何者正確？(A) 禁止使用 (B) 指使用人醫用藥或動物用藥 (C) 僅限於果樹使用 (D) 為了省錢才使用。
A、B、C	樹木診療師與植物診療師在職能面向上的差異包含？(A) 公共安全要求 (B) 藥劑施用邏輯 (C) 工程規劃設計監造 (D) 植株高度。
B	根據室內空氣品質標準，細菌的最高值標準為何？(A) 500 CFU/m ³ (B) 1000 CFU/m ³ (C) 1500 CFU/m ³ (D) 2000 CFU/m ³ 。
C	在臺灣溫濕度環境下，地噴時最適當的液滴粒徑範圍為？(A) 10-50 微米 (B) 100-200 微米 (C) 223-325 微米 (D) 500-1000 微米。
A、B、C	樹木診療師在用藥上會特別要求哪些特性？(A) 長效 (B) 高效 (C) 無藥害下之最大濃度 (D) 快速分解。
B	下列哪一種藥劑的作用部位是「幾丁質生成」？(A) 因得克 (B) 二福隆 (C) 益達胺 (D) 蘇力菌。
B	關於農藥對蜜蜂的毒性，「第二級」危害警告訊息應標註為？(A) 劇毒 (B) 對蜜蜂有毒 (C) 需注意 (D) 無需標註。
B	樹木保護施藥時，若僅告知胸高直徑 (DBH) 的藥量，應如何換算？(A) 量週長乘以 3.14 (B) 量週長除以 3.14 (C) 量樹高乘以 2 (D) 量冠幅。

C	蘇力菌屬於哪一類殺蟲劑？ (A) 有機磷類 (B) 氨基甲酸鹽類 (C) 微生物殺蟲劑 (D) 幾丁質抑制劑。
B、 C、D	進行土壤澆灌時，下列哪些做法是正確的？ (A) 靠近主幹根圈 (B) 挖 5-8 公分深的溝 (C) 重粘土應挖深 (D) 兩天內不要澆水。
D	針對環境真菌，下列何者為台灣中部常見的種類？ (A) 黃麴黴 (B) 黑麴黴 (C) 尖孢枝孢菌 (D) 以上皆是。
A	下列何種化學成分作用於「體液平衡系統」？ (A) 矽藻土 (B) 愛美松 (C) 芬諾殺 (D) 安丹。

第五章、樹木支撐與避雷系統

一、是非題：

答案		
(X)	1.	樹木支撐是緩解樹木風險的唯一選項
(O)	2.	在環境條件許可的情況下，支撐可以延長樹木的壽命與保全其價值
(O)	3.	需要支撐的情境通常是因為樹木有一些結構上的缺陷
(X)	4.	樹洞周圍是否有癒傷材(wound wood)及反應材形成，不會影響枝幹強度
(O)	5.	當樹木的根系切斷、盤根或腐朽，造成強度損失而不足以支撐樹木整體的重量是，便可能發生倒伏。
(O)	6.	支撐前都需要審慎評估並制定周詳的計畫，必要時配合修剪減少樹木結構缺陷的負重，或透過棲地改良及其他養護作為，維持或改善樹木的生長勢
(X)	7.	支柱通常會用來支撐等勢幹
(X)	8.	所有樹木都可以透過引導氣生根來形成天然支柱
(X)	9.	所有樹木都可以透過引導氣生根來形成天然支柱
(O)	10.	支柱需要定期檢查並於必要時進行更換。
(X)	11.	支架固定位置以樹幹全高的 1/2 以下支撐效果最佳
(O)	12.	設置支架的目的是為了避免因風力或其它外力影響使其倒伏
(X)	13.	設置彈性纜繩後不需要定期更換及檢查
(O)	14.	依據目的不同，樹木彈性纜繩的架設方式可分為動態固定、穩態固定、支撐固定等三種
(O)	15.	相較於樹木彈性纜繩，鋼纜的延展性更低
(X)	16.	有安裝避雷針的樹木下是安全的避雷區。
(O)	17.	側邊閃電：閃電由大樹傳導到地表，因為短路傳到旁邊人或物。
(O)	18.	接地體與建築物的距離不宜小於 1.5 公尺。

二、 單選題：

答案		
(4)	1.	支架是針對樹木因根系未能支撐樹木整體而設置的暫時性支撐，設置時機是？ 樹木移植後 根系發生病害及腐朽 樹木有倒塌疑慮，但仍有救治可能 以上皆是
(3)	2.	關於樹木支撐的更換，下列敘述何者正確？ 應先將舊的拆除，再設置新的支撐系統 只有當材料劣化斷裂後才需要進行更換 隨著樹木的成長，可能需要更換支撐位置已達到良好支撐效果 只要支撐材料尚未到達使用年限就不需要更換
(4)	3.	關於樹木支撐的定期檢查內容包括？ 支撐材料是否損壞 材料與枝幹接觸面有無樹皮損傷及腐朽 評估樹木結構的變化 以上皆是
(2)	4.	設置樹木彈性纜繩時，若有維護交通和行人安全的需要，要避免斷裂的枝條墜落砸下，通常採用何種支撐方式？ 穩態固定 支撐固定 動態固定 以上皆非
(4)	5.	關於彈性纜繩的優點，下列何者正確？ 具彈性，容許樹木枝條適度擺動並產生反應生長 可隨著時間因應樹木的變化而調整 適當安裝時，可將對樹木傷害減到最小 以上皆是
(4)	6.	下列何種狀況可能會導致樹木倒伏？ 樹木根系切斷 盤根 腐朽 以上皆是

答案		
(1)	7.	下列何者不是樹木支撐的主要目的？ 控制樹木病蟲害的擴散 避免樹木倒伏 降低枝條折斷的機率 減緩樹木的風險
(2)	8.	樹木空洞造成的的強度損失可從以下何者來判斷？ 樹皮的顏色變化 樹洞的開口與圓周的比例、殘存外殼厚度與枝幹直徑的比例 樹高與胸高直徑的比例 枝條直徑與主幹的直徑比例
(3)	9.	樹木支撐方式中，支柱指的是？ 針對樹木因根系未能支撐樹木整體而設置的暫時性支撐 為支撐樹木而設計的纜繩 在地面和枝條或主幹間安裝堅硬的結構物 避免樹木受到雷擊的系統
(1)	10.	樹木支撐方式中，支架指的是？ 針對樹木因根系未能支撐樹木整體而設置的暫時性支撐 為支撐樹木而設計的纜繩 在地面和枝條或主幹間安裝堅硬的結構物 避免樹木受到雷擊的系統
(2)	11.	關於支柱的設置要點，下列何者正確？ 力求限制枝幹的加粗生長 避免應力集中於單點 國內外對於支柱的設計皆有統一的規範 屬於永久性支撐，一旦設置即不需要檢查與更換
(4)	12.	支架柱必須牢牢固定在地上以避免？ 支撐材料的強度可能隨著時間經過而減弱 應力集中於單點 破壞工程範圍外的樹根 樹木枝幹晃動並從支柱落下

答案		
(2)	13.	下列何種樹木可以透過導引氣生根的方式來形成天然支柱？ 樟樹 正榕 大葉桃花心木 臺灣檫
(4)	14.	下列何者不是鋼纜的缺點？ 容易對樹木造成傷害 需要定期調整與更換 視施作方式，可能造成侵入性傷口 延展性高，張力不足
(1)	15.	樹木支撐方式中，彈性纜繩指的是？ 針對樹木因根系未能支撐樹木整體而設置的暫時性支撐 為支撐樹木而設計的纜繩 在地面和枝條或主幹間安裝堅硬的結構物 避免樹木受到雷擊的系統
(3)	16.	樹木彈性纜繩是專門為支撐樹木而設計的纜繩，下列何者「不是」常用的材料？ 聚酯纖維 聚丙烯 麻繩 聚酰胺
(4)	17.	樹木遭受雷擊的機率取決於條件？ (1)高度、樹冠幅 (2)空曠地、樹冠幅 (3)樹徑、空曠地 (4)高度、空曠地
(1)	18.	避雷針系統中樹冠的半徑小於 10 公尺(直徑 19 公尺內)需要導體？ (1)一個 (2)二個 (3)三個 (4)無需要

答案		
(2)	19.	避雷針系統中樹冠的半徑大於 10 米(直徑 21 米)最少導體數量？ (1)一個 (2)二個 (3)三個 (4)無需要
(3)	20.	避雷針系統中導體埋入地溝深度最少多少公分？ (1)10 (2)15 (3)20 (4)無需要
(4)	21.	接地端應遠離樹基部多遠為最佳？ (1)1 公尺 (2)2 公尺 (3)3 公尺 (4)滴水線外
(2)	22.	樹木避雷系統的用途？ (1)避開雷擊 (2)引導雷擊 (3)具歷史意義 (4)提供保護區
(1)	23.	樹木被雷擊中後，下列描述何者正確？ (1)維管束系統受損 (2)立即枯萎 (3)根部隆起 (4)不易遭受蛀蟲
(4)	24.	樹木被雷擊中，閃電由根部離開後，下列描述何者正確？ (1)電荷消除 (2)建築物受損 (3)根部枯萎 (4)土壤表面產生電位差

答案		
(4)	25.	樹木避雷系統安裝 (1)樹群中最高 (2)空曠地點的高物 (3)越高越好 (4)以上皆是

第六章、移植前準備作業與評估

一、是非題：

答案		
(O)	1.	受保護樹木、珍貴老樹以原地保留為原則。如非必要，原地保留最好。
(O)	2.	受保護樹木、珍貴老樹若確有移植需要時，需提送「移植與保育計畫書」送請地方政府主管機關審查通過後再依計畫執行。
(O)	3.	移植前評估系確保受保護樹木、珍貴老樹本身健康度適合移植或進行定植地之生長環境適宜性。
(X)	4.	移植前應進行適切性評估辦理需移植之樹木，應優先考慮移植境外，且以緊鄰基地周邊之土地，以避免樹木搬運過程之傷害
(O)	5.	珍貴稀有或具地方特色、特殊景觀，或具生態、生物、地理、文化或區域人文歷史之代表性。
(O)	6.	森林法第五章之一樹木保護第 38-3 條土地開發利用範圍內，有經公告之受保護樹木，應以原地保留為原則；非經地方主管機關許可，不得任意砍伐、移植、修剪或以其他方式破壞。
(O)	7.	樹木移植並非易事，移植工程修剪挖掘必然受到損傷，不健康的樹木無法承受移植過程中的損傷。因此須先了解樹木特性並評估樹木健康狀態。
(O)	8.	樹木生長發育所需要的空間。包含地上部與地下部的生育空間。
(X)	9.	一般而言針葉樹、落葉樹於早冬(11-12 月)，樹木生長停滯之時，液葉開始流動之前為移植適期。
(X)	10.	闊葉樹於晚秋(10-11 月)樹木儲備能量充足準備發芽生長之時，樹液開始流動初期為移植適期。
(O)	11.	移植前樹木修剪首先要清理樹冠，頂稍分叉,樹幹分支,不健康的枝條移植前作一次測底檢查與枝條清理。
(O)	12.	修剪首先須運用「不良枝判定修剪法」之後，再實施「疏刪」、「短截」修剪，將各部枝條的老葉摘除，末梢則應留有小枝及枝葉。
(O)	13.	移植前配合原樹型並於斷根前作適當整枝修剪，剪去過密之枝條、病蟲害枝、衰弱之下垂枝、折裂枝、徒長枝及主幹 2 公尺以下之枝條。

答案		
(O)	14.	修剪方法在若修枝條直徑 6 公分以上者，為粗枝，使用三刀修剪法，修剪時修剪位置應剪至枝領，並且修剪過程應確保切口平整，避免造成撕裂傷造成日後成為腐朽菌入侵之傷口。
(O)	15.	進行剪枝時以使樹形完整、均衡、穩定、美觀等目的進行稱之“目標樹型修剪”。
(O)	16.	受保護樹木進行斷根作業時，使樹體的地上及地下兩處樹體部份能保持相對的「吸水速率與蒸散速率的平衡」，來提高移植墓的成活率進行「補償修剪」作業。
(X)	17.	「補償修剪」用於移植修剪保持樹體的營養均衡，減少耗費樹體過多的養份，減少樹冠過密修剪方式。
(O)	18.	移植前樹木斷根需先要保留根球，一般大型樹木移植以樹幹基部直徑的 3-5 倍為根球直徑。
(O)	19.	斷根之方式有一次環斷法(根球四周一次全部斷根完畢)，及二階段分區斷根法(於預留根球的外框圓周等分為 4、6、8 等分並做連續編號，分二階段進行斷根)。
(X)	20.	為保持樹木直立的支持拉力，可保留四個方位或至少於東西方向之主要粗根各一，及根球底部向下之主根，以維持穩定免受風倒伏。
(X)	21.	根端切削處理後，其切口過大部位以「消毒藥劑調和石灰或樹脂塗料」，即「好年冬」稀釋 500 倍水溶液混合石灰或樹脂調勻後塗佈，做為斷根切口處理。
(O)	22.	樹木定植地點須先做土壤檢查，包括酸鹼度、導電度、土壤顆粒分析、有機質含量分析。如有不適合種植樹木之情形，應盡速進行土質改良。
(O)	23.	植穴排水為左右樹木成活的重要關鍵，因此定植點須先挖洞進行排水測試。

二、 單選題：

答案		
(3)	1.	受保護樹木移植前，第一件要做的事是什麼？ (1) 詢問業主要定植的地點 (2) 確認移植施工動線 (3) 評估樹木狀況，包含樹勢、結構、土壤 (4) 評估樹木定植後如何支撐
(1)	2.	受保護樹木經過評估後，下列工作何者為優先？ (1) 將評估結果詳細紀錄下來，提供給業主或主管機關參考 (2) 決定移植工程能不能賺錢 (3) 決定後續要噴灑哪些藥劑 (4) 將評估結果詳細紀錄下來，公布在網路上
(4)	3.	受保護樹木評估表，下列何者正確？ (1) 評估表只能使用唯一一種格式 (2) 評估表內容應包含移植經費預算 (3) 評估表是個人專業，應盡量藏私不讓人知道 (4) 評估表應盡可能詳細記錄，格式不拘
(2)	4.	受保護樹木地下部評估，下列何者正確？ (1) 地下部評估越方便越好，因此可以直接請怪手挖開檢查 (2) 地下部評估是為了了解樹木根球形塑時土壤是否會崩解 (3) 地下部評估可以不用管地下水位高度 (4) 地下部評估可以用圓鋤挖開 10 公分確認即可
(2)	5.	受保護樹木地下部評估時，可評估根基部是否感染腐朽菌，下列何者正確？ (1) 若看到根基部長出靈芝子實體，清除子實體即可，不需再做其他處理 (2) 可採樣後送實驗室檢驗或請專家現勘 (3) 若看到根基部長出子實體，無論如何都必須立刻移除樹木 (4) 若樹木已感染褐根病，可不予理會，讓樹木自生自滅

答案		
(4)	6.	受保護樹木主幹若有腐朽或空洞，可用何者儀器進行進一步檢測？ (1) 空氣挖掘機 (2) 探地雷達 (3) 測距儀 (4) 應力波
(1)	7.	受保護樹木移植前需評估定植點環境是否適合種植，下列何者較不恰當？ (1) 小明到定植點調查，在定植點站了 10 分鐘，覺得日照充足、風也蠻小的，因肚子餓就離開了，後續在評估報告內寫上「定植點日照充足、風速小，適合定植」 (2) 小華在定植點使用儀器調查土壤硬度、透水率並回辦公室分析數據後決定進行樹穴土壤與排水改良 (3) 小英在定植點旁邊測量鄰近水溝深度、陰井位置，並標示在平面圖上 (4) 小婷使用電腦軟體模擬定植點周邊建築物高度與日照關係，並模擬出定植點春、夏、秋、冬四季上午與下午日照狀況
(4)	8.	受保護樹木樹穴設計攸關樹木是否能在新植位置長久安居，下列設計何者較適合？ (1) 受保護樹木移植時根球直徑 5 公尺，樹穴直徑 6 公尺 (2) 受保護樹木樹穴深度為 90 公分，鄰近排水溝深度為 60 公分 (3) 受保護樹木樹穴深度為 200 公分，根球深度為 90 公分 (4) 受保護樹木移植時根球直徑 3.5 公尺，樹穴直徑 7 公尺
(3)	9.	受保護樹木定植後常常受到鄰近建築施工影響，需設立樹木保護帶（TPZ, Tree Protection Zone）避免樹木受到損傷，下列何者正確？ (1) 因建築施工範圍不足，因此可將工程料件堆放在樹木保護帶內 (2) 樹木可自行吸收廢水，因此建築廢水可倒在樹木保護帶內 (3) 可使用丙種或乙種圍籬設置樹木保護帶，並張貼告示避免工人移動 (4) 因建築施工空間有限，因此可將樹木保護帶推到緊貼樹幹的位置以爭取空間

答案		
(2)	10.	受保護樹木移植與斷根適期將影響後續存活甚鉅，下列何者正確？ (1) 受保護樹木不需斷根，可直接現挖現移 (2) 受保護樹木斷根後需視養根狀況方可移植，若養根狀況不佳，需延長養根時間，不可任意移植 (3) 受保護樹木只要規劃和施工做得好，任何季節都可以移植 (4) 受保護樹木可於斷根後三年再直接移植
(3)	11.	符合下列情形之一者，應避免移植： 非經公告指定之特定紀念樹木 樹齡達五十年以上 離地一點三公尺處（以下簡稱胸高），闊葉樹之樹幹胸高直徑達一點五公尺以上或胸高樹圍達四點七公尺以上；針葉樹之樹幹胸高直徑達零點七五公尺以上或胸高樹圍達二點四公尺以上。 樹冠投影面積達二百平方公尺以上。
(2)	12.	移植評估未能通過審核的主要原因為何？ (1)沒有原地保留之替代方案且確實需要移植 (2)樹木本身健康程度經不起移植 (3)移植路線沒有障礙 (4)移植技術沒有困難
(4)	13.	樹木健康評估不包括何者？ (1)樹木的外觀 (2)結構 (3)生長活力 (4)樹木高度。
(4)	14.	樹木健康檢查不包含下列何者？ (1)整體樹型 (2)活冠比 (3)樹冠枝葉 (4)根領是否明顯
(2)	15.	移植後存活率評估不包含？ (1)施作季節 (2)移植經費 (3)施作方式 (4)施作團隊經驗

答案		
(3)	16.	樹葉為樹木進行光合作用的生產工廠，必須控制移植前枝葉的修剪量，不得超過枝葉總量的多少比例為宜？ (1)40% (2)35% (3)25% (4)20%
(1)	17.	修剪幅度以不超過樹冠之 25%為原則，如樹木因病蟲害、斷根期程短及公共安全等因素，需加強修剪幅度時，應如何確認其必要性？ (1)諮詢專業監造技師 (2)諮詢工程主辦技師 (3)會同專家學者 (4)書面審查
(4)	18.	斷根後根球四周會長出新根，有些材料可以保護新長出的細根，以下何者為非？ (1)工業用保鮮膜 (2)不織布 (3)導根板 (4)HDPE 布

第七章、移植施工與養護實務

一、是非題：

答案		
(X)	1.	種植樹木時，支架是否為必要之設施？
(O)	2.	受保護樹因有其特殊性，移植時養根量比一般中小型植栽需更多，不能純粹以時間或季節來做為界定，因此移植挖掘前一定要確認植株的健康狀態，進行斷根、養根之後新生根系是否養成足夠。
(O)	3.	移植前可進行局部開挖，觀察前次斷根處是否有細根長出、生長的量是否足夠，對於受保護樹木建議逢機洗開一部分養根區土壤，再以新生根系的分佈比例來判定是否已達到可移植狀態。
(X)	4.	移植挖掘動工前，無論土球內根系發展如何，反正修剪可減輕吊掛重量，又可減少水分需求，所以挖掘前一定要將樹冠大幅修剪。
(X)	5.	斷根後無埋設阻根材料即回填土方進行養根，隨著養根期間根系生長，移植時開挖範圍應比斷根時的範圍擴大 15-20 公分，保留樹木新生長的根系，開挖時可用機械直接挖掘。
(X)	6.	挖掘大型土球底根時，只要有使用吊掛機具，吊掛著樹身，人員就可以安心的到根球底部作業，無須再做土方支架支撐。
(X)	7.	勞動部「營造安全衛生設施標準」第五章露天開挖第 71 條規範：雇主僱用勞工從事露天開挖作業，其開挖垂直最大深度應妥為設計；其深度在二公尺以上，使勞工進入開挖面作業時，應設擋土支撐。
(X)	8.	為了防止土球破裂，土球包裹材料在定植時都不用拆除，當外部養分充足時，根系會自然會伸出包裹材料，吸收養分正常生長。
(X)	9.	鋼索如果有扭結現象者，因為沒有斷裂，所以只要長度足夠，就能繼續使用，在吊掛上不會有安全疑慮。
(O)	10.	樹木移植起吊作業若遇樹體過大及土球過重時，需增加土球的吊掛支點並固定，而非單一吊掛點，若以土球為支點吊掛時，需做支點壓力保護例如實木或硬塑料墊片，以免因全樹重量壓破土球。
(O)	11.	受保護樹木在吊運至車上時，禁止於樹幹作單點吊運，吊掛索具與樹幹之接觸部位及車斗靠接處應另加襯墊包裹保護，保護材料如棉被、麻布、麻繩、寬版棉繩等，以免損傷樹體組織。

答案		
(O)	12.	起吊作業前，先行確認其使用之鋼索、吊鏈等吊掛用具之強度、規格、安全率等之符合性；並檢點吊掛用具，汰換不良品，將堪用品與廢棄品隔離放置，避免混用。
(X)	13.	移植受保護樹木採用倒伏式運輸，需檢查樹木與車體接觸面皆須有襯墊保護，並固定穩固以免運送時鬆脫，吊掛至載具之前更須將過大的樹冠圍束縮小，以防運輸過程中折損，若是因為樹體樹冠寬度過大時，可直接採取裁切措施，但是裁切位置應遵守景觀樹木修剪作業指引的原則。
(X)	14.	移植運輸的交通路線上必要的路權申請等，需在施工前向相關單位提出查詢、申請，若事先申請過，運送當天就不須再攜帶核准文件以免遺失。
(O)	15.	最明顯的缺水反應就是萎凋，植物缺水時，植物細胞失水，膨壓下降，葉片、幼莖下垂，此稱之為萎凋，萎凋發生之起點則稱為「暫時萎凋點」，而萎凋發生後若及時供水，植株可恢復原狀之期間則稱為暫時萎凋，若持續失水至澆水後仍無法讓植物恢復正常之時則稱為「永久萎凋點」。
(X)	16.	所謂的「拮抗作用」是指營養元素與水份在細胞內有共同轉運通道和受體，因此會有相互影響吸收的現象。

二、 單選題：

答案		
(2)	1.	斷根環剝的目的主要是將什麼移除？ 樹皮 韌皮部 形成層 木質部
(3)	2.	移植時若需進行修剪作業，下列敘述何者正確？ 盡可能縮小冠幅以便運送作業及減少水分蒸發 盡量將葉子去除 只將枯、老、病、弱等不良結構枝移除即可 可一併做整形修剪
(2)	3.	若實施二次斷根，其養根階段判斷是否可做第二次斷根及移植作業最重要的依據為以下何者？ 根系的粗細 根系的數量及狀態 根系的長度 根系的顏色
(1)	4.	有關移植及定植後的養護，在土球根系完整保護下，其最重要的存活關鍵為何？ 排水與給水 肥料養分的多寡 是否做修剪作業 是否架設黑網減少蒸散
(3)	5.	有關移植包裹材，下列敘述何者正確？ 使用可分解材料，因其可分解之特性，種植時不需去除包裹材 應選擇耐用性佳的材料避免土球崩解 使用可分解材料，並於種植時盡量去除包裹材 以上皆非
(1)	6.	枝條圍束的正確步驟為何？ 圍束順序由小枝條開始圍束至大枝條 圍束方向由外而內 為節省時間，可用絞緊器一次網綁 於覆蓋黑網後一次網綁

答案		
(3)	7.	有關正確吊運樹木的敘述何者正確？ 吊運枝條並加厚棉被或包裹保護材 吊運枝條並將繩子綁在枝條兩側分散吊運重量 採三點或五點吊運，分別將繩子架設在樹幹及土球上分散重量 以上皆可
(3)	8.	挖掘土球時，保持土球的完整性可提高樹木存活率的關鍵原因為何？ 土球美觀，客戶接受度高 防止土球破裂，容易造成倒伏 防止土球崩解，造成根系大量損失 以上皆非
(4)	9.	有關樹木移植前的評估項目，下列何者為非？ 樹勢活力度與樹木結構安全 樹木土球可否完整包裹 施工動線是否順暢 可否獲取最大利益
(3)	10.	樹勢活力判斷的依據，下列何者為非？ 葉子密度是否異常 葉子顏色是否異常 葉片越大越健康 節間是否異常生長
(4)	11.	定植點植穴深度應為土球的幾倍 1.5 倍 1.3 倍 2 倍 1 倍
(3)	12.	為避免嚴重擾動傷害根系，最佳的斷根工法下列何者為非？ 空氣挖掘機 水刀法 挖土機 人工挖掘

答案		
(1)	13.	有關定植後於土壤表面鋪設的覆蓋物的作用，下列何者為非？ 美觀 保溫保濕 減少直接踩踏導致土壤硬化 防止土壤表面產生生物膜
(4)	14.	有關樹木種植的敘述，下列何者為非？ 在土球下方堆置鬆軟填充物，容易導致土球下沉，使根領覆蓋過深 深挖淺種，下方放置鬆軟填充物，容易在樹穴底部形成滯水帶 挖掘適當大小的土球有利於保護完整的根系，種植時亦有助於樹木的穩固 底部放置鬆軟填充物有利於植物生長
(3)	15.	有關移植後的樹木支撐架，其最佳的支撐位置為 樹高 1/4 樹高 1/3 樹高 1/2~2/3 樹木頂部
(2)	16.	若定植點的土壤質地屬黏質土壤時，其最可能面臨的逆境為何？ 給水不足 排水不良 有機質不足 以上皆是
(4)	17.	有關樹木移植存活的判斷因素，下列何者為非？ 移植適期 移植工法 移植定點的微氣候條件 樹木價值
(4)	18.	樹木移植時應考量的重點為何？ 機具能否到達施工位置並順利操作 移植交通動線的可行性評估 定植環境的排水、日照、微氣候等條件 以上皆是

答案		
(4)	19.	剛移植完成的樹木其根系有限，建議第一次施肥應於何時較佳？ 施工後一個月 施工後三個月 施工後六個月 施工後的第一個生長季
(1)	20.	定植點為黏質土壤時，其土球完成面高度應比周圍既有土壤高程高 5-10 公分 10-20 公分 15-25 公分 20-30 公分
(3)	21.	受保護樹木進行移植挖掘前，以下事項何者為非必要？ (1)確認植株的健康狀態 (2)進行斷根、養根之後新生根系是否養成足夠 (3)開工拜拜，祈求工程順利 (4)進行動線模擬
(3)	22.	根為樹木吸收水分的器官，下列哪個構造是最主要的吸收部位？ (1)根領 (2)支持根 (3)根毛 (4)直徑 2 公分以上的根系
(3)	23.	下列何項非為受保護樹木的移植挖掘前修剪取決事項？ (1)土球大小 (2)根系生長狀況 (3)移植及定植地點之土地所有權人、使用人或管理人同意書 (4)道路寬度及載具大小
(2)	24.	斷根後無埋設阻根材料即回填土方進行養根形式者在挖掘土球時應該採取何種方式？ (1)從原斷根線開挖 (2)開挖範圍應比斷根時的範圍擴大 20-30 公分 (3)從原斷根線再向內 10 公分挖掘 (4)找鬆軟的部位挖掘。

答案		
(4)	25.	鋼索出現下列哪一種狀況則不得再使用？ (1)鋼索一撚間有百分之十以上素線截斷者 (2)直徑減少達公稱直徑百分之七以上者 (3)有顯著變形或腐蝕者 (4)以上皆是。
(1)	26.	吊掛樹木時起重吊鉤的位置都必須位於 (1)重心的垂直正上方 (2)樹冠內中心 (3)其中一個支撐點上方 (4)以上皆非。
(4)	27.	大型樹木移植之吊掛移動工程中，所運用的吊掛工法之敘述何者有誤？ 需計算樹體總重才能準確選擇合適的吊運機具及後續載具大小選擇，並選擇合適的鋼索或配繩(配帶) 起重吊鉤的位置都必須位於重心的垂直正上方 大型樹木若以土球為支點吊掛時，需做支點壓力保護例如實木或硬塑料墊片，以免因全樹重量壓破土球 為避免吊繩斷裂，可以鋼索固定在土球作為吊掛點
(3)	28.	下列哪一種吊掛方式對樹木之損傷最小？ (1)綁於樹幹作單點吊運 (2)綁於多個分枝作多點吊運 (3)鋼樑托底四點直立吊掛 (4)以上皆非
(2)	29.	樹木移植吊掛作業安全，雇主對於使用起重機具從事吊掛作業之勞工，下列何者非為辦理事項？ 確認起重機具之額定荷重，使所吊荷物之重量在額定荷重值以下 提供伙食及提神飲料 估測荷物重心位置，以決定吊具懸掛荷物之適當位置 確認吊運路線，並警示、清空擅入吊運路線範圍內之無關人員
(3)	30.	下列何者不是移植作業的保護措施？ (1)以麻布包裹樹幹防止曬傷 (2)接觸點選擇用軟質材料防接觸摩擦 (3)土球鑽洞灌水 (4)覆蓋黑網來防風防蒸散

答案		
(3)	31.	常使用在水源不足之地區的供水模式為何？ (1)畦溝灌水法 (2)固定噴頭法 (3)滴灌法 (4)人工灌水。
(1)	32.	定植後的樹木支撐有許多種形式及材質，其支撐之重點為何？ (1)應力求穩固及整齊美觀 (2)應華麗花俏可引人注目 (3)應架設越多越好 (4)有架設一兩支即可
(4)	33.	在植物體內有較大的移動性的營養元素缺乏時，缺乏症大都發生在植物的何部位？ (1)根系 (2)主幹 (3)嫩芽 (4)老熟葉片
(3)	34.	當植物發生萎凋時給水後，能回復原本的樣貌，此現象開始發生的起始點稱之為？ (1)永久萎凋點 (2)需肥起始點 (3)暫時萎凋點 (4)水分飽和點