

學術論述

環根初探

章錦瑜¹

(收件日期：民國 96 年 10 月 18 日、接受日期：民國 97 年 4 月 24)

【摘要】環根會影響樹木的生長，環根係指根系圍繞著莖幹呈環狀生長，隨時間莖幹與根系都逐漸變粗而漸接近，最終可能彼此壓制，環根在生理上使樹木生長漸漸衰退，甚至死亡。接觸部位的莖幹因被勒住致無法增粗而顯得特別細縮，強風下可能於此處彎折，對周遭環境之人、車與建築物造成威脅。本文將從環根之定義開始，論及環根的症狀、潛在原因、發生環根後該如何處理、以及如何預防樹木因環根而造成樹勢衰退現象等。

【關鍵詞】環根、危害、形成因素、徵兆、預防、處理

AN EXPLORATORY STUDY ON GIRDLING ROOTS

Chin-Yu Chang¹

(Received: October 18, 2007; Accepted: April 24, 2008)

【Abstract】 Stem girdling roots (SGRs) do affect trees. SGRs, as opposed to root-girdling roots, encircle or run tangential to a tree stem, eventually compressing the stem. Physiologically, trees might slowly decline and die as a result of SGRs. Or, a tree might suddenly fail during a windstorm when stresses accumulate to the point on the tree. The purpose of this study is to present an objective perspective of SGRs. Most importantly, this study reviews the symptomology, potential causes, treatments, and prevention of decline associated with SGRs.

【Key words】 Girdling roots, Damage, Formation of factors, Symptom, Prevention, Treatment

I、前言 (Introduction)

環根之英名為 Stem girdling roots (SGRs)，意即「莖環根」，或 Root-girdling

roots，意即「根環繞根」，簡稱環根 (Girdling roots)。環根造成樹木被自己的根纏繞而死亡，像是自殺，卻絕非刻意，常因忽略

¹ 東海大學景觀學系副教授，通訊作者，台中市港路三段181號。
Associate Professor, Tunghai Univ., Taichung, Taiwan, R.O.C., Corresponding Author. e-mail: lily@thu.edu.tw

環根形成的條件，或渾然不自知下所造成。與植物纏勒作用不同，纏勒作用乃樹木被其他具纏勒作用的植物（如雀榕與紫藤等）纏勒莖幹，至終壓迫而死，但只要在喬木附近不要栽植這類纏勒植物，即可避免發生，大自然因纏勒現象使植物致死的比例不高。環根乃發生於地表之土壤淺層處，不同於樹木正常的根系生長方式，指根系環繞著莖幹、或根系與莖幹呈切線方向生長，是根系環繞幹基的一種自我勒死（Self-strangulation）現象。而所謂正常的根系生長方式，係指其第 1 側生根系自根頂（Root collars 根與莖相接處）呈輻射狀向外生長，不同於環根之呈環繞莖幹方式生長。種植於都市的樹木，生育環境多不佳，常受到許多的限制；若形成環根，對都市喬木而言，又造成另一類型的生長壓力。

環根說來亦是一種自然現象，當植物長時間盆栽，根系生長至盆壁，就會環繞著盆壁生長，這就是最常見的環根。將種植多年之盆栽從盆鉢移出定植時，若未將這些已成形的環根切斷，日後這些圍繞著莖幹已成形的環根，將日漸粗大，最後甚至會緊貼樹幹，就產生彼此壓迫的現象。相接處之莖幹也無法再擴大，而造成莖幹變型，日後易因強風而於莖幹緊縮處折幹倒伏。環根對莖幹的壓迫，不僅妨礙、甚至阻斷其內部的水分與養分的移動，而影響其地上部莖枝與葉片、以及地下部根系的發育，因此植物就日漸衰弱、最後可能活不下去（Johnson and Hauer, 2000）。

目前在台灣尚未見任何有關環根的研究，僅國外有研究報告發表，但此方面的

研究並不多，乃因調查環根的工作不易施行，限制頗多，原因之一為根系多埋於土壤中，並不是那麼明顯易見，要調查得大費周章地將根群四周的土壤清除部份，才得見調查的根系；另外一原因乃當樹木發生問題，如生長不良時，較少想到可能因根部出現問題所造成的，忽略根部檢查。國外早在 1937 年由 Van Wormer 提出關於環根方面的研究，1940 年又發表另一篇相關研究報告，調查發現許多樹木在乾旱季節過後，樹勢衰退，原因是所產生的環根所造成的，另外一些健康的樹木則未見環根發生，那時即推測可能是因為環根卡住了樹木莖幹，以致生長不良。Tate（1980）最早針對環根發生的頻率以及對樹木造成的衝擊進行調查研究，並得到了量化數據。在這 2 位學者發表論文之年代期間，又出現一些關於環根之病理學、環根發生的原因、環根對樹木健康的衝擊、樹木發生環根之徵兆、以及樹木發生環根後的處理等（Pirone, 1941; Marshall, 1942; Hallar, 1959; Tattar, 1978）之研究報告。本文將論及環根的症狀、潛在原因、發生環根後該如何處理、以及如何預防樹木因環根而造成樹勢衰退現象。

II、根系（Root System）

樹木根系的第 1 側根大多數都發自根頂，其走向與土壤表面平行，分佈的深度並不深，僅位於地面下數英吋而已。第 1 側生根的數目一般約數條至 12 條，Kormanik（1986）指出栽植於森林中的樹木之根系，不同於其他地區（如都市人造環境）的樹木，第 1 側生根系的數目會較

多，使森林中的樹木更具競爭優勢；第 1 側生根系的直徑約 1.2~7.5cm，距樹幹越遠將越顯尖細。許多樹木亦會萌發斜生根，且多以銳角方式斜生，具穩固樹木的作用。約 75% 的樹木會自第 1 側生根再分生出向下生長的根系，其機能除提供支持作用外、亦具吸收功能，與莖幹距離約 15~25cm。自第 1 側生根所分生出的 2 次與 3 次已木質化之根系、以及具吸收水分與養分之非木質化的細根毛，這群根系喜歡在水分、氧氣與養分充裕的土壤中增長，土壤表層的環境較符合此條件，因此根系多分佈於土壤的表土層。根群橫向分佈的範圍多超過樹冠投影的範圍，甚至達 3 倍之多 (Gilman, 1997)。

D'Ambrosio (1990) 發現環根發生的部位有 2 種，其一位於於根頸 (Root collar) 下方，另一位於於根頸上方者，則較為嚴重；環根與樹幹呈切線方式生長，除常向上生長外、且較正常生長的幅射根與側根更顯優勢。環根會影響植物的健康，但交錯生長的根系卻不一定影響植物的生長；當根系交疊時，交會的根系常自動嫁接成一體，反倒不妨礙植物體內水、養分的流動。Gilman (1997) 指出樹木在生長過程中，可能會產生一些不正常的根系，但後續再新萌發的根系，可能將之前不正常的根系問題導正。無論如何只要藉著根系檢查，實際觀測根系的生長狀況，據以評估樹木本身是否健康、或潛藏任何可能因根系所引起的問題。

樹木位於地面上莖幹，越近地表幹徑越粗大，近地面時常呈喇叭擴張狀，而根系即由此處發生。因此若栽植太深、填土

太多，則幹基擴張狀被土壤掩埋就不容易看到。但若由此處發生的根系形成環根，近地面之莖幹因被環根纏勒、喇叭擴張狀就不明顯了，因此由幹基的形狀可估測環根是否已形成 (Johnson and Hauer, 2000)。

III、危害 (Damage)

形成環根之樹木可能因生理或結構原因而死亡，生理上之致死原因，乃因環根日漸粗大，外部緊密貼近莖幹基部，內部則強烈地壓迫到莖幹的木質部與韌皮部，因而影響植物的正常生育與發展。結構上致死原因，則是環根導致莖幹基部無法再增粗擴大，其他部位卻正常變粗，導致被環根纏繞之處顯得特別細縮，終有一日，於莖幹緊縮部位造成斷裂現象。環根形成後對植物體本身與外在危害，例如倒塌危險以及經濟和整體環境效益之影響分別說明如下：

(I) 對植物體本身之影響

環根對樹木所造成的影響，乃因莖組織遭到環根之壓迫，至於影響程度則視環根纏繞之狀況、樹木生長的環境、氣候、植物本身的樹齡、植株大小，以及遺傳基因而異。環根對樹木本身之影響如下：

1. 影響水份與養份的運輸

環根形成會對樹木內部之生理造成危害，乃因環根隨著時間漸漸加粗，莖幹亦漸粗壯，以致環根越來越鄰近莖幹，至終甚至密貼一起，內部強烈地壓迫到莖幹的木質部與韌皮部。發生環根樹木的木質部於解剖時發現多已變型，會阻礙植物體內部水分流動，進而影響整個植物體正常的

發育與生長，植株將日漸衰弱，甚至提早死亡。Hudler 與 Beale (1981) 認為莖幹內部組織被壓縮，導致樹勢衰弱，乃因莖組織間的傳導作用，向上、向下或側向以及幅射向外的輸送作用都被抑制而降低。植物體內長距離於根與莖之間運輸水分與養分的兩大組織為木質部及韌皮部。水分輸送乃由根部的根毛從土壤中吸收水分後，利用葉片氣孔蒸散水分出去時所產生之強大拉力，將水分穿過皮層送到木質部的導管，再由下往上運輸到植物體的地上部各處，包括葉片等。

而植物經由光合作用所製造的有機養分，大部分轉化為蔗糖，再經由韌皮部的篩管，自地上部向下至根部、或側向輸送到植物體其他部位。環根導致韌皮部組織受損，就會影響樹木的活力，阻礙植物枝葉與根部之間為維持植物生長所需物質之傳輸，因為韌皮部負責運輸植物體經光合作用所製造的醣類、生長調節劑、荷爾蒙、礦物質、氮合成物、以及其他物質，此類物質傳輸出了問題，無法到達根部，根系接收不到營養，勢必日漸衰弱、終至死亡。這部份尚未見直接量度的量化數據出現，但發生環根後植物體確實出現一些外觀的病徵，如胸徑增加減緩、葉片變小、以及葉色、枝葉疏密度等變差等之狀態。

若管路變得越小，水分輸送會越來越不順利，此時需要更大的水壓，才能將水分輸送到植物體上部。可藉由哈跟卜瓦醉定律 (The Hagen-Poiseuille Law models) 解釋液體經過圓形管路、有著堅硬管壁以及層流時，測定一定體積的流體，以某壓力在毛細管中通過的時間。此模型可用來

評估木質部，當管徑變小時其流速所受到的影響。黏度 (Viscosity)，乃流體在流動時，內部液層間所產生的阻力。當流體內部流動的鄰接處所形成的兩液層間有速度差時，根據兩者所產生的摩擦力發生黏性。溫度升高，黏度降低；壓力升高，黏度增加，可以黏度的大小相對比較樣品的聚合程度。

(1) 測定原理：毛細管黏度計 (或奧士華黏度計 Ostwald viscometer) 依據哈跟卜瓦醉定律，測定一定體積的流體以某壓力在毛細管中通過的時間。

(2) 計算方式：黏度 (μ) = $\mu' \times (d t / d' t')$

μ ：油品的黏度。 μ' ：標準液的黏度。

d ：油品的比重。 d' ：標準液的比重。

t ：油品留下的秒數。

t' ：標準液留下的秒數。

利用以上公式，相同的水流經導管與篩管，比較在正常與被擠壓的狀況下所產生的壓力 (The pressure gradient)。採用 Hudler 與 Beale (1981) 的數據，發現出現約 10 倍之差異，當土壤中含水量不高，需經由細縮的管道將水分向上輸送，就產生更大的壓力，甚至大到植物體無法承擔的地步，造成水分無法向上輸送，因而對植物之生育產生頗大的影響。

2. 造成其他生理與形態上的改變

Hudler 與 Beale (1981) 發表關於產生環根之樹木，其莖幹木質部以及樹皮組織於解剖學上的影響，發現挪威楓被環根勒住之莖幹部位之木質部組織發生變形壓縮，導管數目變少、橫切面的面積與直徑亦變小，僅原本正常的 1/10；髓 (Rays)

扭曲，射髓 (Pits in rays) 變少；樹皮組織被嚴重壓縮，僅原本正常的 1/25，韌皮部組織較木質部傷害更嚴重。因此環根造成樹木衰弱的可能原因，乃環根壓縮到莖幹組織，造成其內部的木質部以及樹皮組織發生形態上的改變，進而影響植物正常的生理過程。

環根形成限制了植物體內的運輸功能以及樹液與養分配置，同時也會引發生長激素、生理活動及生長形態之變化。例如環根形成後常會造成其上方之莖幹顯得特別腫大，此乃植物體為了修補環根所造成的輸送水分不順利，而自行調整的一種適應性生長 (Adaptive growth)。環根位置的上方之膨大現象，乃因醣類堆積於此，於其篩管中也發現了高濃度的醣類。韌皮部有運輸醣類的功能，因為環根而阻斷碳水化合物往地下部輸送所造成的現象。此狀況如同環剝 (除去部份樹幹的韌皮部) 所造成之類似影響，而環剝技術應用於果樹栽培已有多年歷史。環剝使營養生長期的光合作用速率下降，氣體交換與礦物元素的吸收減少，進而抑制枝條的營養生長。果樹進入生殖生長期時之環剝，地上部會累積光合作用產物，並增加養分在果實的可利用性，因此能增加著果、著色及總可溶性固形物，以達到增加產量及果實品質 (Carreno *et al.*, 1998; Vaio *et al.*, 2001; Goren *et al.*, 2004; Yamane and Shibayama, 2006)。

(II) 外在危害

1. 倒塌危險

發生環根後，該樹木外表看起來似乎

仍健康而正常，但卻可能在暴風雨時忽然倒伏，若倒下部位在幹基，可能就是環根造成的。環根導致樹幹衰弱，莖幹被環根勒纏處無法順利長粗，因此顯得特別脆弱，經不起颶風吹襲，而於此勒纏之細縮處折幹、致樹木忽然倒塌。Johnson 等 (1999) 自 1997 年於美國明尼蘇達州，針對 600 株 Linden species，調查暴風雨後之危害情形，73% 樹木於暴風後完全倒伏，折斷處即為環根之受壓迫點；若比較不是位於暴風中心、卻處於邊緣地帶之樹木，因風雨較小，僅 30% 的樹木在暴風雨後於環根之受壓迫點處倒伏。

2. 對經濟與整體環境效益之影響

環根導致樹木死亡會間接引起其他許多問題，如經濟與環境效益損失，因培養此株大樹於以往已投入之所有資源與人力，不僅造成浪費還要再花錢將此樹木移走，以及購買與補植新樹木的費用。樹木忽然傾倒，也可能傷害人、車或其他周遭之建築物等，且需支付賠償費用。樹木死亡將損失對空氣中之 CO₂ 的吸收量、供應氧氣的量降低、以及淨化空氣的機能減弱。樹木死亡以致無法提供遮蔭機能、野生動物棲息地，以及減緩噪音等環境功能 (Johnson and Hauer, 2000)。

IV、形成因素(Formation of Factors)

根據已發表的論文，影響環根發生的原因與樹種、鄰近根系四周之硬體、種植深度以及栽植技術等有關。D'Ambrosio (1990) 以及 Watson 等 (1990) 有關環根發生於不同樹木之頻率，發現環根常見於

槭樹科 (Aceraceae) 楓樹屬 (Acer) 楓樹類 (Maples) 的樹木，如紅楓 (Red maple, *Acer rubrum*)、銀楓 (Silver maple, *Acer saccharinum*)、糖楓 (Sugar maples, *Acer saccharum*)、以及挪威楓 (Norway maple, *Acer platanoides*) 的比例最高，另外還有青櫟 (Green ash, 木犀科之 *Fraxinus pennsylvanica*) 與美國皂莢 (Honeylocust, 蘇木科之 *Gleditsia triacanthos*)；但在 Littleleaf linden (椴樹科 *Tilia cordata*) 的發生機率不高；另發現當盆鉢苗木移植時，自盆鉢取出的土球外圍都已形成環根。Johnson 與 Johnson (1997) 隨機抽樣調查 100 株胸徑 8~23cm 的糖楓，41% 的莖幹基部被環根纏勒。Hauer 與 Johnson (1997) 這 2 位主要從事樹木維護管理的工作者，大量調查樹木的環根現象，地點遍及美國與加拿大，發現 56 種樹木出現環根，最常見於挪威楓、紅楓、銀楓、糖楓以及 Littleleaf lindens。Johnson (1999) 經過 5 年的研究，發現生長勢弱的糖楓，超過 80% 都因環根所造成。另外，Johnson 與 Borst (1999)、Tate (1980)、Van Wormer (1937、1940) 等，發現有特定的一些樹種特別容易發生環根。

Wilson 早在 1967 年即研究根系在正常的土層深度，常被迫圍繞著鄰近之障礙物四周生長而形成環根，但根系也可能超過土層之上、越出障礙物之外生長。d'Ambrosio (1990) 發現環根常因栽植於受限的生長空間、植栽槽或凸出的坡地而形成。Hauer 與 Johnson (1997) 認為環根的形成與該樹木四周存在著限制根系生長之硬體有很大關係，例如人行道的植栽穴、

植栽帶或植栽槽等，會限制根系的生長，因此若樹木栽植於此類環境較容易形成環根。

Wilson (1967) 研究結果認為樹木若種植太深，較易形成環根；Johnson (1999) 在明尼蘇達州以及 Miller (1999) 在威斯康辛州也觀察到此現象。但 Watson 等 (1990) 卻認為根系之土壤深度與環根形成的頻率不具相關性。Johnson 與 Johnson (1997) 以及 Johnson 與 Borst (1999) 之調查發現種植深度與形成環根間之相關性未達顯著水準。Johnson (1999) 認為雖然於苗木發生初生根系處加填過深的土壤，可能刺激 2 次或 3 次根系發生，這些 2 次或 3 次根系未來較易形成環根，但此說法僅是推測，卻未見任何其他論文支持此說法。事實上，若莖幹組織未被埋入土壤中，環根發生的早期就容易被發現而能提早處理，確實可減少未知潛藏的環根導致樹木忽然倒塌之危機。Watson 等 (1990) 調查發現當盆鉢苗木移植時，自盆鉢取出的土球外都是纏繞的環根，不加以處理，環根會越來越嚴重；但若處理不當，如修剪方法不對，日後仍將會形成環根。

V、徵兆 (Symptom)

環根不一定出現在土面之上，因此較不容易被注意到。一位頗受尊崇的病理學家診察美國明尼蘇達州好幾株挪威楓與糖楓，發現產生環根的植株生長較衰弱，並日漸萎凋。Tate (1980, 1981)、d'Ambrosio (1990) 以及 Johnson 與 Hauer (2000) 之調查，發現環根出現後，植物體外觀會呈現之徵兆如下：

(I) 葉片

葉片變色、變小、出現枯焦斑，落葉，以及葉尖與葉緣開始焦褐化。

(II) 樹冠與枝葉

枝條缺乏生氣、枝條稀疏，枝葉枯萎，尤其是上層樹冠枯萎，植物體一側的枝葉生長不良或枯萎。

但仍有其他原因，如土壤過濕或過乾、細菌感染、乾風、焚風、空氣中鹽霧、土壤累積鹽分、過低溫造成形成層死亡、或不當施用殺草劑等問題，也可能引起以上 2 類的病徵，另外只要造成根系生長不佳之原因，都可能出現這些徵兆。

(III) 樹幹

常出現的徵兆包括樹幹膨脹或分泌液體、樹皮出現枯死斑塊、樹幹胸徑加粗之速度變慢等，環根出現的可能性就較高。正常樹幹的幹基多會擴張，尤其是落葉樹的幹基常呈擴張狀，但許多針葉樹幹基卻無擴張現象，而發生環根的幹基則顯得較平直或細縮。在種植時若填土太高，幹基真實狀況被土壤掩埋，是否平直或擴展就不明顯了。隨環根造成根系以及樹勢漸衰弱、根系對樹木之穩固性變差後，樹幹可能向一側傾倒。但很多原因也會引起此現象，如強風、高地下水位、切根，在暴風雨後導致樹木突然傾倒，確實令人憂慮，而斷裂點就是環根造成樹幹細縮部位，通常在地表下數英尺而已。此種莖幹緊縮現象，在嫁接不良、或該部位被繩索勒住纏繞時亦會發生。Johnson (1999) 研究發現環根造成外在明顯的植株地上部之徵兆，常需要數年或 12~20 年之久；而環根導致

植株死亡更非立即會發生的事，除非莖幹變細而於強風時折斷導致提早死亡。d'Ambrosio (1990) 發現當樹木幹基被環根限制發展時，可能造成樹幹其他部位膨脹之現象。

(IV) 其他

例如種子產量大增以及板根缺乏光澤等。

VI、檢測 (Examination)

Hauer 與 Johnson (1997) 認為調查環根非常費時，因為環根多發生於地表之下，若要正確診斷是否發生環根，必須做地表下之根群檢查，另輔以植株地上部的生長狀況。如樹勢衰弱或部份枝葉枯萎，當這些徵兆出現，因環根所引起的機率就增高了，可做為是否進一步調查環根的決定因素。環根從外面（地表之上）不一定看得到，若懷疑植物生長不佳，可能因環根引起時，可將幹基附近的土壤小心地移除，做進一步檢視，要瞭解是否已形成環根，最先要做的就是觀察幹基。

一般來說，大多數健康喬木的正常幹基係呈逐漸擴張形（喇叭狀）的形態進入土壤中，此樹幹基部擴張是根張現象，是主側根徑向生長肥大所導致。但若幹基直直入土並未肥擴，也不能確定未形成環根；亦有可能已形成環根但因填土太多，將莖幹部份掩埋了，此時必須將表土清除，才知道是否出現問題 (Johnson and Hauer, 2000)。根頂檢查常用來確定根系是否已經不正常，甚至對樹木產生威脅，必須與正常的根系做比較，才能確定根系

是否已產生不正常的生長。d'Ambrosio (1990) 調查環根之項目如下：

(I) 基本資料

1. 種植地點 (例如街道名稱)
2. 地形類型 (上突或下陷嵌壁式)
3. 根因硬體受限制的程度 (0, 25, 50, 75 or 100%)
4. 最近之樹木方位 (N, S, E, or W)
5. 根部接受光照比例 (0, 25, 50, 75 or 100%)
6. 最新修剪痕跡 (1-很少不明顯、2-有一些、3-許多、大型)
7. 以前修剪痕跡 (1-很少不明顯、2-有一些、3-許多、大型)
8. 地表是否有沖刷
9. 是否種植太深

(II) 樹木本身

1. 樹木名稱
2. 樹冠密度 (1~3, 3 為最茂密)
3. 分枝方式、枝條形態 (近軸的、軸外的、分散的)
4. 樹幹分枝高度 (cm)
5. 胸徑 (cm)
6. 樹冠高度 (低或高)
7. 是否形成明顯板根

(III) 環根方面

1. 是否形成環根
2. 已形成環根的比例

Smiley (1999b) 藉檢查根頂來瞭解根

系是否正常，一株小樹約需 20 分鐘，大樹需要時間可能超過 2 小時。胸徑 18 cm 的糖楓，調查的區域範圍約 27.5 cm 深、75 cm 寬，利用吸塵器將土壤清除約需 15 分鐘。調查方法如下：

1. 自靠近樹幹的地方用一根金屬硬粗線 (徑 1 cm) 向下插入土壤中，估測根系的分佈範圍、深度、以及是否已形成環根，藉此過程可瞭解莖幹四周需要移除的土壤範圍。
2. 如胸徑 22~38 cm 的樹木，根系分佈於地表之深度約 15~25 cm，需要調查的區域範圍長度約 30~45 cm。若根系分佈更深時，需要調查的區域範圍亦需擴大。
3. 若樹幹四周被草地覆蓋，須先將草皮掀起去除，深度約 5 cm。
4. 若地表有覆蓋 (如樹皮或不織布、塑膠布等)，需小心除去覆蓋。
5. 將調查的區域範圍之土壤弄鬆，用吸塵器將土壤吸出或用水沖走，然後移至區域外。
6. 儘量不要用圓鋤以免傷及根系，除非確定要移除之表土區域內無任何根系。
7. 清除土壤至根莖相接處或根頂 (根系由此處發生分支) 出現處。

VII、預防 (Prevention)

d'Ambrosio (1990) 建議：早期即開始定期修剪樹木之下部枝條，可有效控制環根形成。Watson 等 (1990) 推測環根的形成早在苗木定植前，因此預防環根的發生應早自定植之時就要非常注意。此推測已

經被 Johnson (1999) 於美國明尼蘇達州立大學所進行的大量樹木之田間調查時確定了。因此在定植時，必須花些時間仔細檢查苗木是否形成環根；若已形成環根，則需要處理後苗木才能定植。利用此時機來處理環根是非常必要的，總比種植下去數年後，再檢查根頂是否形成環根來得容易得多。定植時若發現 J 型根，亦該及早清除，此時割除會較日後轉變成環根時再處理容易得多。尤其是裸根苗木，移植時很容易發現是否已形成 J 型根或環根。若苗木的根群已變形，如形成嚴重的環根時，此苗木甚至應考慮丟棄不用。尤其是盆栽苗，更需仔細檢查環根已木質化之程度，以及環根之位置離根頂的距離；若已形成環根，首先須將環根拉直或修剪清除後再定植。檢查根球之土壤覆蓋厚度，可用一堅硬的金屬線垂直向下測試，若根頸 (Root collar) 上方土壤深度超過 2~5 cm 時，必須先移除這些過多的栽培介質。若定植前將根球移出時發現土壤覆蓋太深，因有潛伏環根形成的傾向，此苗木必須捨棄。盆栽苗木取出後，垂直切開根球，可促進更多幅射向外的根系發生；另外一種做法就是在定植前，將根球外纏繞的根系拉直、呈幅射狀朝向外後再種植；樹穴最好橫向儘量加大，可減少日後環根的危害 (Johnson and Hauer, 2000)。

VIII、處理 (Treatment)

d'Ambrosio (1990) 認為樹木若發現已出現環根，當樹皮組織被環根壓迫比率低於 1/30 時尚無問題，如超過就會影響植物生長，處理環根最好方法就是切斷或除

去。且須小心地切除，儘量以多切除為原則，但不可傷及莖幹，切除後再將土壤回填。但此方法卻未見於較嚴謹之科學研究報告，用以支持或反對此做法。Watson 與 Clark (1993) 發現挪威楓之環根於切除後，根系日後生長的方向仍圍繞著莖幹，又產生了新的環根。Hauer 與 Johnson (1997) 這 2 位業界專門處理問題樹木的專家，發現當樹木出現問題要求處理的案件中，88% 是因環根所引起的，最常處理的方式就是將已形成、且已碰觸到莖幹的環根切除，以及利用施肥、澆水與土壤通氣等做法，恢復並提升樹勢。切除環根過程需特別小心，千萬不要傷害到鄰貼環根的莖幹。都市樹木雖常因環根而降低壽命，但也僅提早死亡數年而已，若切除環根時不小心傷害到樹木本身，對樹木的影響反倒更大，會產生即時危害。因此若無法安全地移除環根時，就寧願不處理。妥協的做法，既希望環根未來不會影響植物生長，切割環根時又不致傷害植物本身，因此在切除環根時僅切至莖幹邊緣即可，完全不傷及莖幹，環根並不要求徹底處理乾淨。只要殘留的環根未來於短時間內，不致威脅到莖幹，雖沒有完全清除乾淨，但留下之殘餘環根部份，因為在切除過程，已將環根之水養分供應的管道破壞，未來也多會漸漸腐爛 (Tate, 1981; Watson *et al.*, 1990; Johnson and Hauer, 2000; Karen, 2004)。

Smiley (1999a) 認為處理環根夏天較秋天適合，夏天是生長旺季，於此季節處理環根，未來 2 年胸徑生長會較佳。處理環根後，土壤不必回填，裸露的根系稍加覆蓋即可，尤其是莖幹基部以及根頂千萬

不要覆土，以便於觀測環根之後續發展。之後對該植物亦須盡心維護，覆蓋區域最好包括該植物所有根系分佈之範圍。若環根已圍繞莖幹達 1/2~1/3，該如何讓植物仍持續穩固站立不倒才是首先課題，例如增立支架扶持樹幹，再計畫如何清除環根。亦可於發生環根嚴重的植物旁邊，及早栽植另一株樹木，俟該植物因環根導致死亡後，可立即替代。

IX、引用文獻

- Carreño, J., S. Faraj, and A. Mateinez (1998) Effects of girdling and covering mesh on ripening, colour and fruit characteristics of 'Italia' grapes. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 73(1): 103-106.
- d'Ambrosio, R. P. (1990) Crown density and its correlation to girdling root syndrome. *J. Arbor.* 16: 153-157.
- Gilman, E. F. (1997) *Trees for Urban and Suburban Landscapes*. Delmar Pub. Albany, NY. 662 pp.
- Goren, R., M. Huberman, and E.E. Goldschmidt (2004) Girdling: physiological and horticultural aspects. *Hort. Rev.* 30: 1-36.
- Hallar, J. M. (1959) *Tree Care*. Macmillan Co. New York. 224pp.
- Hauer, R. J. and G. R. Johnson (1997) Survey of Practitioner Insight of Girdling Roots. Unpublished manuscript and data. University of Minnesota.
- Hudler, G. W. and M. A. Beale (1981) Anatomical features of girdling roots. *J. Arbor.* 7: 29-32.
- Johnson, G. R. and B. Johnson (1997) Sugar maple conditions related to deep planting and stem girdling roots. Unpublished manuscript and data. University of Minnesota.
- Johnson, G. R. and J. E. Borst (1999) The Effects of Soil Depth Over Main Order Roots on Green Ash and Lindens. Unpublished survey data. University of Minnesota.
- Johnson, G. R. and R. J. Hauer (2000) *A Practitioner's Guide to Stem Girdling Roots of Tree*. College of Natural Resources University of Minnesota. 20pp.
- Johnson, G. R., J. Hermann, K. Holman, and D. Mueller (1999) Storms over Minnesota: Seven months of severe weather and catastrophic tree damage. *Minnesota Shade Tree Advocate* 2(1): 1-3, 11-12.
- Johnson, G. R. (1999) Unpublished stem girdling roots data, 1994-1999. University of Minnesota.
- Karen, L. K. (2004) Identify and treat girdling roots. *Grounds Maintenance* 39(1): 68.
- Kormanik, P. P. (1986) Lateral root morphology as an expression of sweetgum seedling quality. *For.Sci.* 32: 595-604.
- Marshall, R. R. (1942) Core of damaged shade trees. *USDA Farmer's Bull.* No. 1896.
- Miller, R. W. (1999) Personal communication. University of Wisconsin-Stevens Point.

- Pirone, P. P. (1941) Maintenance of Shade and Ornamental Trees. Oxford University Press. New York-422 pp.
- Smiley, E. T. (1999a) Personal communication. Bartlett Tree Research Laboratories, Charlotte, N. C.
- Smiley, E. T. (1999b) Air excavation: The next arboricultural frontier. *Arbor Age* 19(12): 8-10.
- Tate, R. L. (1980) Detection, Description, and Treatment of Girdling Roots on Urban Norway Maple Trees. Ph.D. dissertation. The University of Michigan. Ann Arbor, Mich. 93 pp.
- Tate, R. L. (1981) Characteristics of girdling roots on urban Norway maples. *J. Arbor.* 7: 268-70.
- Tattar, T. A. (1978) Diseases of Shade Trees. Academic Press. San Diego, Calif. 361 pp.
- Vaio, C. D., A. Petito, and M. Buccheri (2001) Effect of girdling on gas exchange and leaf mineral content in the "independence" nectarine. *J. Plant Nutr.* 24(7): 1047-1060.
- Van Wormer, H. M. (1937) Effect and treatment of girdling roots, Proc. 13th Nat. Shade Tree Conf. 13:30-36.
- Van Wormer, H. M. (1940) Effect of girdling roots on trees. *Arborist News* 5(11): 81-84.
- Watson, G. W., S. Clark, and K. Johnson (1990) Formation of girdling roots. *J. Arbor.* 16: 197-202.
- Watson, G. W. and S. Clark (1993) Regeneration of girdling roots after removal. *J. Arbor.* 19: 278-80.
- Wilson, B. F. (1967) Root growth around barriers. *Bot. Gaz.* 128: 79-82.
- Yamane T. and K. Shibayama (2006) Effects of Trunk Girdling and Crop Load Levels on Fruit Quality and Root Elongation in 'Aki Queen' Grapevines. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 75(6): 439-444.

